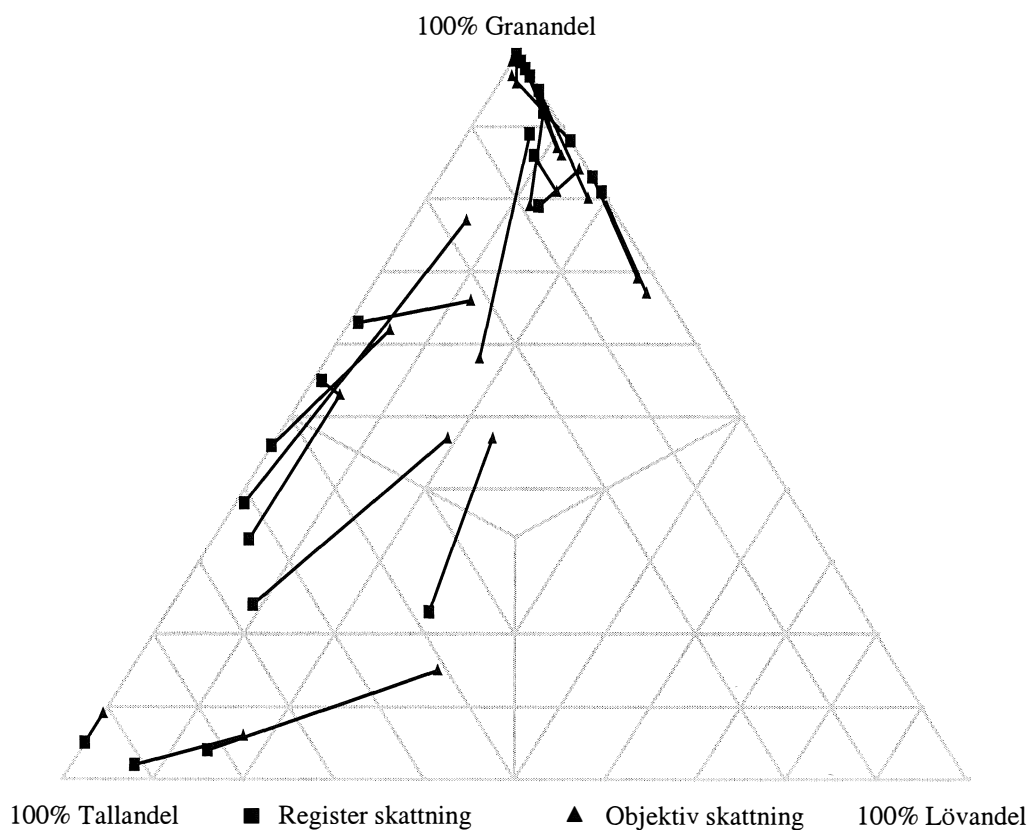


Kalibrering av den multivariata variabeln trädslagsfördelning

Niklas Lundberg

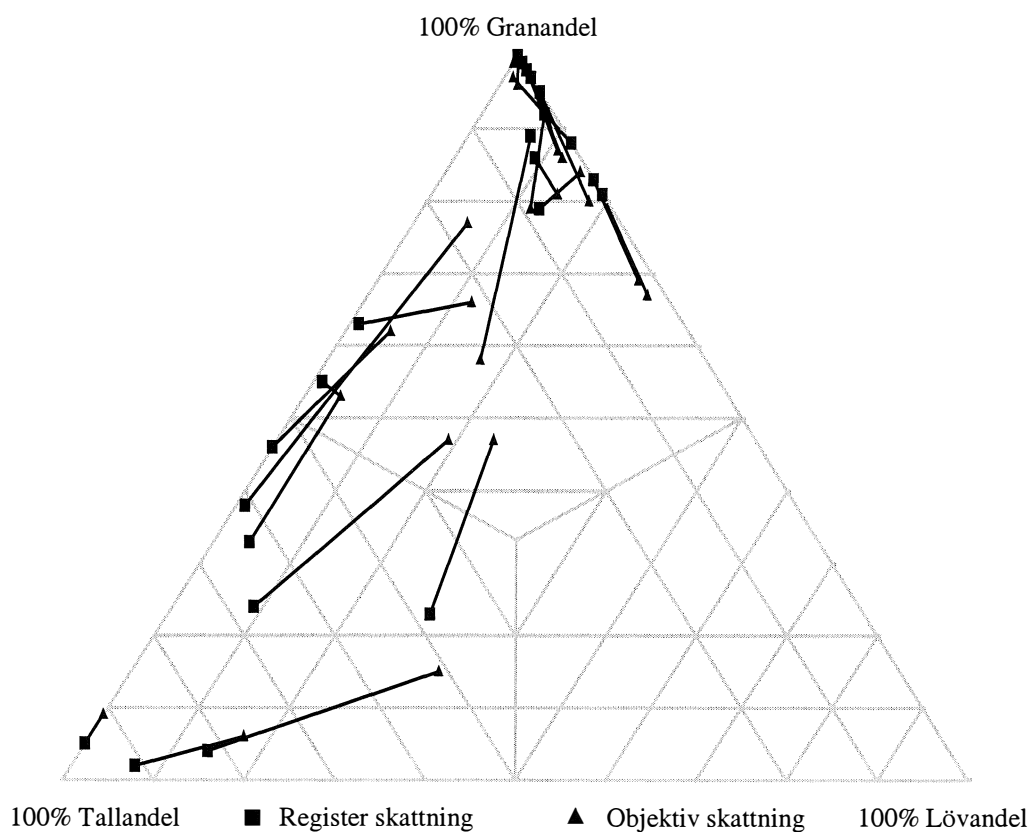


Arbetsrapport 71 2000



Kalibrering av den multivariata variabeln trädslagsfördelning

Niklas Lundberg



Arbetsrapport 71 2000

Examensarbete i skoglig planering, inriktning biometri

Handledare: Sören Holm, SLU

Examinator: Sören Holm, SLU

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET
Institutionen för skoglig resurshushållning
och geomatik
S-901 83 UMEÅ
Tfn: 090-786 58 25 Fax: 090-14 19 15, 77 81 16

ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR--71 --SE

Förord

Föreliggande studie är genomförd som ett examensarbete på jägmästarprogrammet vid Sveriges lantbruksuniversitetet. Arbetet omfattar 20 universitetspoäng och är utfört vid institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik. Studien är gjord efter ett initiativ av Ola Lindgren, OL inventering AB.

Jag vill i första hand tacka min handledare Sören Holm utan vars hjälp det här arbetet aldrig hade kunnat genomföras. Vidare vill jag tacka Henrik Feychting som bistått vid konstruktionen av det makro som ritat vektordiagrammen, Getachew Eshete som granskat den engelska sammanfattningen, Torgny Lind som granskat rapporten och Ola Lindgren som försett mig med de datamaterial på vilka arbetet baseras. Dessutom vill jag tacka övriga som givit mig goda råd och hjälpt mig med de problem som uppkommit under arbetets gång.

Jag hoppas att detta arbete kan komma att bli en källa till idéer och uppslag eller kanske rent av en vägledning vid praktiskt kalibreringsarbete och att det inspirerar till fortsatt forskning på området.

Umeå Maj 2000

Niklas Lundberg

Sammanfattning

Den multivariata variabeln trädslagsfördelning beskriver volymsförhållandet mellan tall, gran och löv i ett skogsbestånd. Ofta är variabeln skattad med subjektiva metoder vilket resulterar i två typer av fel, systematiska och slumpmässiga.

$$\text{Subjektivt värde} = \text{Sant värde} + \text{systematiskt fel} + \text{slumpmässigt fel}$$

De slumpmässiga felen är omöjliga att justera, men de systematiska går att åtgärda genom kalibrering.

Målet med arbetet har varit att finna lämpliga metoder att kalibrera trädslagsfördelningen i subjektivt skattade register för att eliminera det systematiska felet. Kalibreringar har gjorts med fyra olika regressionsmodeller och ett neuralt nätverk. Resultaten har utvärderats med delvis egenkonstruerade kriterier. Studien är gjord på sex registermaterial som är 2 – 20 år gamla.

Efter utvärderingar valdes direkt logistisk regression för kalibrering av registermaterialen.

När det gäller resonemang kring variabeln trädslagsfördelning är det ofta mer lämpligt att studera de enskilda trädslagens volymmsskattningar än procentandelar.

Tallvolym överskattades i samtliga register och utgör det tydligaste felet. Gran- och lövvolym underskattas i princip alltid. De systematiska felen i skattningen av tall- och granandel förklaras ur flera aspekter: icke ajourhållna gallringsingrepp vilka riktat sig mot tall, psykologiska förklaringar, framskrivningsfel och inventeringstekniska orsaker.

Underskattningen av löv beror delvis på att registren ofta endast anger trädslagsfördelningen i tiondelar eller hela tiotals procentenheter. Det gör att löv ofta felaktigt avrundas till noll. Underskattningen beror sannolikt också på att vid inventeringstillfället för 10-20 år sedan uppfattades inte lövträden som del av det bestånd som mättes, utan som underväxt och försumrades.

Summary

The variable species composition describes the volume relationship between pine, spruce and broad leaved tree species in a stand. The tree species composition is generally estimated by subjective inventory methods and can be expressed as:

$$\text{Subjective value} = \text{True value} + \text{Systematic error} + \text{Random error}$$

As can be detected, there are two types of errors in the expression. The random error component is impossible to correct but the systematic part can be eliminated by calibration of the subjectively collected data.

The aim of this study was to determine appropriate methods, which could be used to remove the systematic error. Four regression models and one neural network have been tested and evaluated in the process of selecting the most suitable calibration model. The accuracy of the calibration results, i.e. the predictions, have been determined using three models estimating error deviation.

After evaluation a direct logistic regression model was chosen and the tree species composition in six compartment registers differing in age from 2 to 20 years have been calibrated

Because of the propagation of misjudgment in tree species composition it is preferred to study the volume estimate of its components instead.

The most evident error in the examined registers was overestimation of pine volume. The volumes of spruce and broad leaved tree species were generally underestimated. Not updated silvicultural activities, psychological reasons, incorrect growth functions, and inventory technical factors are possible explanations of the systematical errors in the estimates of pine and spruce.

The underestimation of broad leaved tree species is partially explained by the fact that tree species composition is normally stated as tenths or as even tens of percentage units. This crude rounding has often incorrectly caused low volumes of broad leaved tree species to be set to zero. This effect is enhanced by the fact that when the inventory was conducted some 10 or 20 years ago small broad leaved stems were probably overlooked as understorey trees and never entered in the inventory protocol.

Innehållsförteckning

Förord	1
Sammanfattning	2
Summary	3
Innehållsförteckning	4
1 INLEDNING	7
1.1 Bakgrund	7
Vad är trädslagsfördelning?	7
Olika typer av inventeringar ger olika typer av fel	7
Studier av fel vid subjektiva inventeringar	8
Några kända inventeringar	9
Riksskogstaxeringen	9
Indelningspaketet	9
Kalibrering – en lösning på problemen?	10
Kvalitetsmått	10
1.2 Syfte	11
2 MATERIAL OCH METOD	13
2.1 Material	13
Projektmaterialen	13
Projekt 1	13
Projekt 2	13
Projekt 3	13
Projekt 4	13
Projekt 5	14
Östadsmaterialet	14
2.2 Metoder	14
Kalibrering av en variabel i taget	14
Kalibrering av flera variabler samtidigt	15
Tillämpning på den multivariata variabeln trädslagsfördelning	15
Direkt linjär regression (OLS)	16
Indirekt linjär regression	16
Logistisk direkt metod	17
Logistisk indirekt metod	18
Kriterier på bra regressionsfunktioner	19
Neurala nätverk (NNW)	19
Vad är ett NNW?	19
För- och nackdelar med ett NNW	19

2.3 Inledande dataanalys	20
2.4 Utvärdering av kalibreringarna	21
3 RESULTAT	23
3.1 Östadsmaterialet	23
Indirekt linjär regression	24
3.2 Projektmaterial	26
Projekt 1	26
Markägare A	26
Fem avvikande bestånd	27
Markägare B	28
Projekt 2	29
Projekt 2, bestånd under eller lika med 50 års registerålder	31
Projekt 3	32
Projekt 4	34
Projekt 5	36
4 DISKUSSION	39
4.1 Projektmaterial	39
Projekt 1	39
Markägare A	39
Fem avvikande bestånd	39
Markägare B	40
Projekt 2	40
Projekt 3	40
Projekt 4	41
Projekt 5	41
4.2 Östadsmaterialet	41
4.3 Generella tendenser vad gäller fel i register	42
Överskattning av tallandel och tallvolym	42
Bristande ajourhållning	42
Önsketänkande – psykologiska förklaringar	42
Felaktig inventeringsteknik – ”lågskofenomen”	43
Framskrivningsfel	43
Granunderskattning förvärrar tallöverskattningen	44
Effekter av angivelse av trädslagsfördelning i tiondelar	44
4.4 Går det att kalibrera trädslagsfördelningen?	45
4.5 Kalibrera permanent eller temporärt?	45
4.6 Kopplingar mellan trädslagsfördelning och andra variabler	46
4.7 Heteroscedasticitet	46

4.8 Problem vid regressioner på små material	47
---	-----------

5 REFERENSER	49
---------------------	-----------

BILAGOR

- Bilaga 1: Tolkning av vektordiagram
- Bilaga 2: Varför redovisas volymer istället för andelar?
- Bilaga 3: Skillnaden mellan precision och noggrannhet
- Bilaga 4: Synonymer och ordval
- Bilaga 5: Variabelförteckning
- Bilaga 6: Makro för konstruktion av vektordiagram
- Bilaga 7: Residualplottar från Östadsmaterialet

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Vad är trädslagsfördelning?

T	G	L	Eller	T:G:L
64	28	8		6:3:1

Trädslagsfördelningen beskriver volymsförhållandet mellan olika trädslag i ett bestånd i procent eller tiondelar. En avdelning är ett avgränsat område som karakteriseras av homogenitet vad gäller ståndortsfaktorer och beståndsvariabler som till exempel markfuktighet, trädslagsfördelning och ålder. Beståndet är den skog som finns i avdelningen. En skogsbruksplan för en skogsfastighet omfattar dels en karta med avdelningarna inritade och ett register med avdelnings- och beståndsdata.

Normalt används ordningen tall, gran och löv (alla arter lövträd adderas) när man beskriver trädslagsfördelningen. Registeruppgiften är till exempel användbar då man önskar finna bestånd med stor andel tall, gran eller lövskog för ett speciellt ändamål som att vidta naturvårdsåtgärder, tillgodose en viss typ av kundorder, värdering eller ta skogsskötselbeslut.

Trädslagsfördelningen i dagens register bygger nästan uteslutande på data insamlade enligt någon subjektiv inventeringsmetod. Noggrannheten i data beror därför på många faktorer, till exempel förrättningsman, mätinstrument, beståndsheterogenitet och tidspress. Subjektiva inventeringsmetoder leder i princip alltid till någon form av systematiskt fel.

Det är också vanligt med tolkning av flygbilder i stereoskop för att bestämma skogliga variabler. En av de mer kända metoderna är LMV-metoden som utvecklats av Lantmäteriverket (Norell m fl, 1987). Noggrannheten i skattningarna vid flygbildstolkning är helt beroende av bildtolkarens skicklighet, men generellt skattas uppgifter som t ex trädhöjd och virkesförråd relativt bra medan åldersbestämningen har låg precision (Ståhl, 1992).

Olika typer av inventeringar ger olika typer av fel

En vanlig uppdelning av inventeringsmetoder är mellan objektiva och subjektiva metoder.

Objektiva metoder

Objektiva metoder karakteriseras av att förrättningsmannen som utför mätningarna inte själv får påverka provvyornas utläggning eller valet av provträd. Alla drag av subjektiva bedömningar av förrättningsmannen har minimerats.

Subjektiva metoder

Subjektiva metoder innebär att förrättningsmannen gör mätningar på subjektivt valda, enligt honom representativa platser i avdelningen som stöd för sin visuella bedömning av beståndsvärdena. Data baseras således vanligen på ett lågt antal provpunkter per bestånd. Ambitionsnivån varierar och inte sällan kombineras inventeringen med flygbildstolkning.

Skillnaden i utförande mellan de två metoderna resulterar i en mycket viktig skillnad: Korrekt utförda objektiva inventeringar ger väntevärdesriktiga skattningar av beståndsvärden, de är fria från systematiska fel. Subjektiva inventeringar har ofta ett systematiskt fel i själva mätningarna, vilket överförs till skattningarna. Det innebär att även om man upprepar inventeringen oändligt många gånger så kommer inte medelvärdet av skattningarna att sammanfalla med sanna värdet. Avvikelsen är det systematiska felet, "biasen".

En vanlig modell för att beskriva detta är:

$$\text{Subjektivt värde} = \text{Sant värde} + \text{systematiskt fel} + \text{slumpmässigt fel}$$

För objektiva inventeringar är den systematiska felkomponenten lika med noll, så:

$$\text{Objektivt värde} = \text{Sant värde} + \text{slumpmässigt fel}$$

De enskilda slumpmässiga felen är omöjliga att bestämma i båda modellerna, medan det systematiska felet i den subjektiva metoden kan bestämmas och i många fall åtgärdas genom någon form av kalibrering.

Studier av fel vid subjektiva inventeringar

Noggrannheten i subjektiva inventeringar och de systematiska felens storlek har studerats i viss utsträckning. De flesta av studierna gäller skattningen av variabeln virkesförråd per ha.

Flera undersökningar rör noggrannheten i Skogsstyrelsens översiktliga skogsinventering, ÖSI, en inventering som åren 1979-93 omfattade all privat mark i hela landet. Gemensamt för studierna är att de visar på generella underskattningar av virkesförråden. Lennart Eriksson (1990) har undersökt fem ÖSI-inventerade fastigheter med arealer mellan 72 och 210 ha i olika delar av landet och han fann att i samtliga fall hade volymen underskattats, i genomsnitt med 22%. Vidare redovisar Jacobsson & Jonsson (1989) en underskattning med 24% vid ÖSI-inventering i delar av Småland. Studier har också visat att flygbildstolkning av virkesförrådet med efterföljande subjektiv fältkontroll av de flygbildstolkade uppgifterna ger lägre systematiskt fel än enbart subjektiv inventering i fält (Ståhl, 1992).

Några kända inventeringar

Riksskogstaxeringen

Till de mer kända objektiva inventeringarna hör riksskogstaxeringen som utförs av institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) i Umeå. Inventeringen har utförts med varierande design sedan 1923 och omfattar idag (år 2000) ca 18 000 provytor fördelade på knappt 2000 trakter. Riksskogstaxeringen är objektiv i och med att förrättningsmannen inte kan påverka cirkelytornas placering eller valet av provträd, men innehåller inslag av subjektiva bedömningar av parametrar, som kronutglesning och täckningsgrader för växtarter. När det gäller skattningen av virkesförråd per ha länsvis eller på riksnivå är riksskogs-taxeringen såsom den objektiva inventeringens ledstjärna fri från systematiska fel. Dessutom kan precisionen i enskilda skattningar, dvs det slumpmässiga felets storlek, beräknas eftersom metoden bygger på sannolikhetsurval (se Chuan-Zong & Ranneby, 1992). Riksskogstaxeringen är designad så att avståndet mellan taxeringstrakterna och mellan cirkelytorna i en trakt ger god precision på femårsmedeltal på länsnivå, vilket är målet med denna inventering.

Indelningspaketet

För att skatta skogstillståndet på fastighetsnivå används ofta Indelningspaketet, här benämnt IP. Utvecklingen av IP inleddes under 70-talet för den strategiska planeringen (oändlig tidshorisont) av större skogsinnehav och syftet med de insamlade uppgifterna är att finna långsiktigt optimala handlingsalternativ. En central del i IP är prognosticering av framtida virkesförråd vilket kräver att ingångsdata är fritt från systematiska fel. Ett systematiskt fel i starttillståndet skulle vid en långsiktig prognosticering av framtida virkesförråd och avverkningsprofil fortplanta sig. Detta vore förödande för skötseln av fastigheten och skulle inte leda till ett optimalt handlingsprogram, vilket är syftet med IP.

För att undvika systematiska fel sker inventeringen efter en genomtänkt och strikt objektiv rutin. Första steget, eller den första fasen, är att dela in skogsfastigheten i avdelningar. Den första fasen behöver formellt inte vara speciellt noggrann (eller fri från systematiska fel) utan den sedvanliga kvaliteten i en skogsbruksplan räcker. Fas två är den ”riktiga” inventeringen och sker för IP på avdelningsnivå. Avdelningar utväljs med ett objektivt sannolikhetsurval och de samplade avdelningarna inventeras sedan enligt en noggrann objektiv metod. Detta stickprov får sedan representera hela skogsinnehavet. Inventeringen inom samplade avdelningar sker genom att cirka 10 cirkelytor läggs ut i kvadratförband med slumpad startpunkt. På cirkelytorna klavas samtliga träd. Ett fåtal av klavträden slumpas också ut som provträd och mer ingående mätningar görs på dem. Dessutom noteras för varje provyta ståndortsfaktorer såsom markfuktighetsklass, jordmån, markvegetation.

Även om IP:s inventeringsrutin främst skapades för insamling av material för prognosticering av virkesförrådsutveckling och avverkningsnivåer används rutinen till andra ändamål. I det här arbetet har data som insamlats med IP:s rutin använts för

kalibrering av subjektivt inventerade register, dvs nivåläggning av data i skogsbruksplanen. Dessutom har insamlade data i vissa av de projekt som nedan beskrivs i arbetet använts för värdering med Beståndsmetoden (BM), ett värderingsprogram från Lantmäteriet, i samband med markbyte och planerad försäljning.

Kalibrering – en lösning på problemen?

Skattningen av det systematiska felet kan ske genom att "sanna" (egentligen väntevärdesriktiga) värden samlas in med en objektiv inventeringsmetod på ett objektivt draget stickprov av de subjektivt inventerade avdelningarna. Det systematiska felet kan skattas genom att helt enkelt jämföra de två värdena, det subjektiva och det objektiva, över avdelningarna. Hur denna jämförelse ska gå till är dock inte självklar, och det är detta problem som detta arbete handlar om.

När man väl bestämt det systematiska felet utifrån stickprovet, genom den jämförelsemetod man valt, kan man kalibrera hela registret för det systematiska felet. Detta betyder dock ingalunda att registeruppgifterna efter kalibreringen är helt korrekta. Fortfarande finns fel, men de kan hänföras till den slumpmässiga felkomponenten och är omöjliga att åtgärda.

Detta förfaringssätt är vanligt vid alla former av skogliga inventeringar och ger förutom en förbättring av data en uppföljning av noggrannheten i det subjektiva inventeringsarbetet och en indikation på spridningen av data kring de "sanna" värdena och på vilka parametrar som är svåra att bedöma bra med subjektiva metoder.

Speciella problem vid kalibrering ger variabler som är "flerdimensionella" eller om restriktioner förekommer. Variabeln trädslagsfördelning är en sådan variabel som har dimensionstalet tre, dessutom med restriktioner. Detta eftersom variabeln består av tre komponenter, andel tall, andel gran och andel löv med restriktionen att deras summa ska vara lika med 1 och med restriktionen att ingen får vara negativ.

Kvalitetsmått

Spridningen av de subjektiva skattningarna kring de objektiva observationerna kan mätas med flera olika mått vilka samtliga är mer eller mindre besläktade med varandra, men vanligast är variansen, och roten ur densamma, standardavvikelsen. I det här arbetet förekommer även ett antal mindre kända spridningsmått vilka använts vid utvärderingen av olika kalibreringsmodeller.

1. 2 Syfte

Syftet med arbetet har varit att undersöka möjligheten att kalibrera subjektiva uppgifter om trädslagsfördelning i befintliga register. Ansträngningarna har inriktats speciellt på att finna en metod som ger predicerade procentvärden mellan 0 och 100, och som summerar till 100. Syftet har också varit att pröva olika metoder och att finna lämpliga kriterier för utvärdering av kalibreringsresultat.

Arbetet är gjort efter ett initiativ av OL inventering AB, och en av deluppgifterna var att kalibrera trädslagsfördelningarna i fem register med varierande bakgrund, från uppdrag som OL inventering AB haft.

2 MATERIAL OCH METOD

2.1 Material

Projektmaterialet

Projektmaterialet är beståndsregister från OL inventering AB:s kunder. Uppgifterna om registren var medvetet knapphändiga för att arbetet skulle ske så "förutsättningslöst" som möjligt. För var och ett av materialet finns förutom de ursprungliga registren objektiva data insamlade enligt IP:s inventeringsrutin. I vart och ett av fallen är registerdata framskrivna till tidpunkten för den objektiva inventeringen. Nedan beskrivs och kommenteras projektmaterialet i korthet.

Projekt 1

Projekt 1 innehåller data från två markägare i Norrland, A och B, vilka planerar ett markbyte med varandra. Från vardera ägare finns 25 registerposter i projektet. Enligt uppgift är båda registren 10-20 år gamla.

Projekt 2

Projekt 2 innehåller 25 registerposter från en markägare i södra Sverige. Registret uppges vara minst 10 år gammalt. En objektiv taxering gjordes som underlag för värdering inför en planerad försäljning.

Projekt 3

Projekt 3 innehåller 40 registerposter från ett markinnehav i Mälardalen. Enligt uppgift var fastigheten nyindelad, dvs en ny beståndsindelning av skogsinnehavet har gjorts. I samband med nyindelningen gjordes naturligtvis nya subjektiva inventeringar för att bestämma beståndsdata för de nyskapade avdelningarna. Ett nyindelat register bör generellt ha bättre noggrannhet än ett äldre eftersom aktualiteten är större.

Projekt 4

Projekt 4 innehåller 693 registerposter från södra Norrland. Projektet avviker från de andra genom att jämförelsen inte gäller äldre registervärden subjektivt insamlade i fält kontra objektiv insamlade värden. I stället handlar projekt 4 om noggrannheten i bildtolkat material (insamlat "på rummet") kontra objektiv fältkontroll vid samma tidpunkt. Bildtolkningen är gjord i ett "Wild B8", ett avancerat instrument för bildtolkning, men metoden som sådan är typiskt subjektiv.

Bildtolkningen av de nästan 700 avdelningarna har gjorts av sex olika bildtolkare. Varje bestånd har tolkats först av en bildtolkare och sedan inventerats enligt IP i fält.

Här är det inte bara intressant att studera noggrannheten i bildtolkning generellt, utan även frågan om eventuella personeffekter. Personeffekter kan uppträda både som personvisa systematiska fel och olika storlekar (standardavvikelser) på de slumpmässiga felen.

Projekt 5

Projekt 5 innehåller 58 registerposter från norra Sverige. Markägaren önskar värdera sitt innehav inför ett förestående markbyte. Till skillnad från projekt 1 innehåller projekt 5 bara data från den ena parten. Registret är enligt uppgift "gammalt", dvs sannolikt minst 10 år.

Östadsmaterialet

Registret kommer från Östad, en större skogsfastighet utanför Alingsås som sedan flera år inventerats årligen (1993-98) som en del av planeringskurserna vid SLU. Det objektiva samplet innehåller 121 registerposter. Registret är från 1990-92 och registervärdena har för varje samplad avdelning framskrivits till inventeringsåret.

2.2 Metoder

Kalibrering kan göras efter olika metoder. Valet av metod visar sig ha stor betydelse för hur de kalibrerade värdena blir.

Kalibrering av en variabel i taget

Traditionellt kalibreras samtliga variabler i ett dataset oberoende av varandra. Förklaringen är enkel, man utgår från att skattningarna är oberoende, och om till exempel skattningen för medeldiametern är fel så justerar man inte trädhöjden för samma fel (procentuellt) utan man använder objektivt insamlade höjddata och gör en ny kalibrering för höjderna oberoende av diameterjusteringen. Trots att det är mycket troligt att trädhöjdsdata ska justeras på ett liknande sätt så tittar man på den med "nya ögon". På samma sätt kalibrerar man varje subjektivt skattad variabel genom jämförelse med motsvarande objektivt skattade.

Vid kalibrering enligt ovan används i praktiken alltid regressionsanalys. Denna kan antingen vara sk. *direkt*, vilket innebär att det objektiva värdet väljs som beroende variabel och registervärden är förklarande, eller *indirekt*, vilket innebär att registervärdet förklaras av det objektiva. Vid den indirekta metoden måste det objektiva värdet "lösas" ut ur den resulterande regressionsfunktionen, det är ju det objektiva värdet som är det "sanna". Vid den direkta metoden kan flera förklarande variabler användas, vilket inte är möjligt vid den indirekta.

Kalibrering av flera variabler samtidigt

Även vid kalibrering av flera variabler samtidigt, *multivariat* kalibrering, kan regressionsanalys användas. Både den direkta och den indirekta metoden kan användas. Vid multivariat kalibrering är dock flera objektivt mätta variabler inblandade samtidigt, vilket leder till flera regressionsfunktioner.

Vid den direkta metoden sätts objektiva värden som beroende variabler, dvs regressionsuttrycken får formen

$$\begin{aligned}y_1 &= \beta_{10} + \beta_{11} \cdot x_1 + \beta_{12} \cdot x_2 + \dots \\y_2 &= \beta_{20} + \beta_{21} \cdot x_1 + \beta_{22} \cdot x_2 + \dots \\&\text{etc.}\end{aligned}$$

där $y_1, y_2, \dots$ är objektiva värden för variablerna 1, 2, ... (till exempel ålder och virkesförråd) och $x_1, x_2, \dots$ är registervärden för samma eller andra variabler. Målet är då att med hjälp av registervärdena $x_1, x_2, \dots$ predicera de "sanna" värdena för $y_1, y_2, \dots$. Det är naturligt att samma variabler (ålder och förråd) förekommer både som beroende och förklarande, men inte nödvändigt. Listan av förklarande variabler kan dock utan tillämpningsproblem göras längre än antalet beroende.

Vid den indirekta metoden sätts i stället registervärdena som beroende, dvs vi får nu uttrycket

$$\begin{aligned}x_1 &= \alpha_{10} + \alpha_{11}y_1 + \alpha_{12}y_2 + \dots \\x_2 &= \alpha_{20} + \alpha_{21}y_1 + \alpha_{22}y_2 + \dots \\&\text{etc.}\end{aligned}$$

med samma beteckningar som ovan. Målet är fortfarande att predicera y -värden med hjälp av x -värden. Ekvationssystemet ovan måste därför lösas i $y_1, y_2, \dots$, vilket ställer vissa krav. Antalet ekvationer i systemet måste vara lika med antalet y -variabler, dvs antalet variabler som ska kalibreras.

Till systemen av regressionsfunktioner kan också restriktioner vara aktuella. Det är inte heller nödvändigt att regressionsmodellerna är linjära.

Tillämpning på den multivariata variabeln trädslagsfördelning

De variabelvärden man vill kalibrera är andel tall, andel gran och andel löv, där andel avser volymandel. Det kan därför vara naturligt att sätta de tre y -variablerna till de objektivt skattade andelarna. Ett första försök visade dock att resultatet av kalibreringen blev bättre om man i stället kalibrerade de tre variablerna volym tall, volym gran och volym löv (volym per arealenhet), varefter trädslagsfördelningen beräknades från de tre kalibrerade volymerna.

Linjär regressionsanalys av volymerna kan leda till kalibrerade värden som är negativa, medan summan av andelarna är lika med 1. En delvis annan metod som garanterar positiva andelar är logistisk regression. Denna metod har också använts, med i princip andelar som beroende variabler. Både linjär och logistisk regression har testats enligt både den direkta och den indirekta metoden.

Förutom dessa fyra regressionsmodeller har också ett neuralt nätverk provats.

Metoderna och variabelvalen beskrivs nedan i närmare detalj.

Direkt linjär regression (OLS)

Objektiva värdet är beroende variabel, och prediceras med registervärden som förklarande. Volymsprediktion med kalibrering av ett trädslag i taget. Predicerade negativa värden satta till 0.

Anm. Man kan visa att Maximum Likelihood-metoden tillämpad på regressionsmodeller med flera beroende variabler resulterar i separata regressioner, även om residualerna är korrelerade, allt under förutsättning att samma förklarande variabler används för alla beroende variablerna.

Modellen har det principiella utseendet

$$Tallvolym / ha_{Obj} = \alpha \cdot Tallvolym / ha_{Reg} + \beta \cdot \text{Ålder}_{Reg} + \gamma \cdot SI_{Reg} \dots$$

Regressioner av enligt motsvarande modell gjordes även för *Granvolym* och *Lövvolym*.

I slutversionerna fick de tre beroende variablerna individuella förklarande variabler, vilket kanske kan tolkas som ett avsteg från den multivariata modellen beskriven ovan. Man kan dock hävda att detta närmast är ekvivalent med att sätta koefficienter till 0 för de variabler som inte har förklaringsvärde. Signifikansen (p-värde) fick vara avgörande för de slutliga variabelvalen.

Indirekt linjär regression

Registervärden är beroende variabler och prediceras med objektiva värden. Erhållna funktioner måste sedan lösas i objektiva värden. Volymsprediktion med kalibrering av ett trädslag i taget.

Den modell som har använts har utseendet

$$\begin{aligned} Tallvolym / ha_{Reg} &= \alpha_1 \cdot Tallvolym / ha_{Obj} + \beta_1 \cdot Granvolym / ha_{Obj} + \gamma_1 \cdot Lövvolum / ha_{Obj} \\ Granvolym / ha_{Reg} &= \alpha_2 \cdot Tallvolym / ha_{Obj} + \beta_2 \cdot Granvolym / ha_{Obj} + \gamma_2 \cdot Lövvolum / ha_{Obj} \\ Lövvolum / ha_{Reg} &= \alpha_3 \cdot Tallvolym / ha_{Obj} + \beta_3 \cdot Granvolym / ha_{Obj} + \gamma_3 \cdot Lövvolum / ha_{Obj} \end{aligned}$$

Det är de objektiva som ska skattas. Eftersom dessa variabler förekommer i högerleden i de tre uttrycken, erhålls ett ekvationssystem. Ur ekvationssystemet löser man sedan fram tre nya funktioner som ger prediktioner av de objektiva värdena utifrån registervärdena på formen:

$$\begin{aligned} Tallvolym / ha_{Obj} &= \eta_1 \cdot Tallvolym / ha_{Reg} + \lambda_1 \cdot Granvolym / ha_{Reg} + \tau_1 \cdot Lövvolum / ha_{Reg} \\ Granvolym / ha_{Obj} &= \eta_2 \cdot Tallvolym / ha_{Reg} + \lambda_2 \cdot Granvolym / ha_{Reg} + \tau_2 \cdot Lövvolum / ha_{Reg} \\ Lövvolum / ha_{Obj} &= \eta_3 \cdot Tallvolym / ha_{Reg} + \lambda_3 \cdot Granvolym / ha_{Reg} + \tau_3 \cdot Lövvolum / ha_{Reg} \end{aligned}$$

Negativt predicerade värden satta till 0.

Av metoden framgår att ytterligare förklarande variabler (objektiva) inte utan problem kan läggas till funktionerna. Vi skulle ju då få fler obekanta än ekvationer. En lösning på detta problem är att lägga ytterligare en registervariabel som beroende.

Den tanke som motiverar den indirekta metoden är att mätfelen i objektiva är små, vilket innebär att "mätfelen i de oberoende variabelerna" är mindre än vid den direkta metoden.

Logistisk direkt metod

Andelar, som till exempel tallandel, är variabler som antar värden mellan 0 och 1 (0 och 100%). Ett sätt att skapa regressionsmodeller för sådana variabler är att använda logistisk regression. Detta innebär att regressionsfunktionen $f(x)$, som uttrycker förväntade värdet för andelen y givet förklarande variabelerna x , skrivs på formen

$$f(x) = \frac{e^{\theta(x)}}{1 + e^{\theta(x)}}$$

där $\theta(x)$ oftast har formen av en vanlig linjär funktion med parametrar som ska skattas. För skattning av parametrarna skrivs uttrycket ovan lämpligen om på formen

$$\ln(f(x)/(1 - f(x))) = \theta(x)$$

och observationerna y får ersätta $f(x)/(1 - f(x))$ för skattning av $\theta(x)$.

Den schematiska beskrivningen ovan har här tillämpats med granandel som referens, till vilken tallandelen och lövandelen refererades på följande sätt:

$$\ln(Tallandel_{Obj} / Granandel_{Obj}) = \alpha_1 + \beta_1 \cdot Tallandel_{Reg} + \gamma_1 \cdot \text{Ålder}_{Reg} + \lambda_1 \cdot SI_{Reg} + \dots = \theta_1(x)$$

$$\ln(Lövandel_{Obj} / Granandel_{Obj}) = \alpha_2 + \beta_2 \cdot Tallandel_{Reg} + \gamma_2 \cdot \text{Ålder}_{Reg} + \lambda_2 \cdot SI_{Reg} + \dots = \theta_2(x)$$

Efter skattning av $\theta_1(x)$ och $\theta_2(x)$ med vanlig regression (OLS) kan de objektiva andelarna lösas ut genom exponentiering och genom att samtliga tre andelar summeras till 1. Lösningarna uppfyller alltid villkoren att andelarna alltid ligger mellan 0 och 1. Lösningarna (prediktionerna) har formen

$$Tallandel_{Obj} = \exp(\theta_1(x)) / (1 + \exp(\theta_1(x)) + \exp(\theta_2(x)))$$

$$Granandel_{Obj} = 1 / (1 + \exp(\theta_1(x)) + \exp(\theta_2(x)))$$

$$Lövandel_{Obj} = \exp(\theta_2(x)) / (1 + \exp(\theta_1(x)) + \exp(\theta_2(x)))$$

där $\exp(\cdot)$ betecknar exponentialfunktionen, dvs $\exp(t) = e^t$

Ett problem är att den objektiva andelen av något trädslag i materialet ibland är lika med 0. I dessa fall har andelen 2% åsatts¹.

Logistisk indirekt metod

Metoden innebär samma variation på logistisk direkt regression som den indirekta linjära på den direkta linjära. Det vill säga, registervärden prediceras först med objektiva, varefter de senare löses. För att lösningarna ska ha de önskvärda egenskaperna måste alla ingående variabler ha den logaritmiska formen. Modellen är alltså

$$\ln(Tallandel_{Reg} / Granandel_{Reg}) = \alpha_1 + \beta_1 \cdot \ln(Tallandel_{Obj} / Granandel_{Obj}) + \gamma_1 \cdot \ln(Lövandel_{Obj} / Granandel_{Obj})$$

$$\ln(Lövandel_{Reg} / Granandel_{Reg}) = \alpha_2 + \beta_2 \cdot \ln(Tallandel_{Obj} / Granandel_{Obj}) + \gamma_2 \cdot \ln(Lövandel_{Obj} / Granandel_{Obj})$$

Liksom för den ”vanliga” indirekta linjära modellen löses ekvationssystemet i de objektiva variablerna och två nya funktioner erhålls att göra prediktioner med. Efter att ekvationssystemet har lösts kan predicerade andelarna tas fram exakt som i fallet direkt logistisk regression.

¹ Att värdet 2% åsatts och inte 1% har ingen matematisk orsak. Värdet valdes vid början av de logistiska regressionerna och kom sedan att användas även i fortsättningen.

Kriterier på bra regressionsfunktioner

Vid arbetet att ta fram regressionsfunktionerna har följande kriterier använts:

1. Av de testade funktionerna är standardavvikelsen en av de lägsta observerade.
2. De är ämneslogiska, dvs "rätt" tecken på koefficienterna.
3. Funktionerna ger realistiska resultat även i utkanterna av datamaterialet.
4. Endast "säkert" förklarande variabler (låga p-värden) har accepterats..
5. Funktionerna klarar en korsvalidering.
6. Inga funktioner innehåller (tydliga) systematiska fel.

Neurala nätverk (NNW)

För materialen Östad och Projekt 5 testades även ett neuralt nätverk från BioComp systems. Sharewareversionerna av iUnderstand och Neuro Genetic Optimizer användes.

Vad är ett NNW?

Ett neuralt nätverk kan beskrivas som ett system av algoritmer som hittar samband mellan invariabler och skapar nya nivåer med nya variabler baserade på de ursprungliga. Nätverket testar sedan de nya variablerna, "korsar" de bästa med varandra "muterar" dem, testar de nya variablerna, korsar tillbaka mot de ursprungliga invariablerna osv. Det hela är tänkt efterlikna den darwinistiska utvecklingsteorin där de bästa individerna korsas och skapar en ny generation, samtidigt som ytterligare vissa förändringar sker – mutationer. Processen upprepas ett stort antal gånger, till det att nätverket inte längre kan finna några nya samband varvid man avbryter processen.

Namnet neurala nätverk kommer av efterliknandet av hjärnans system med nervceller för mönsterigenkänning och sambandsförklaring som bygger på ett stort antal små enheter (neuroner) som genom att förstärka eller dämpa signaler tillsammans kan uttrycka komplexa samband mellan olika variabler.

För- och nackdelar med ett NNW

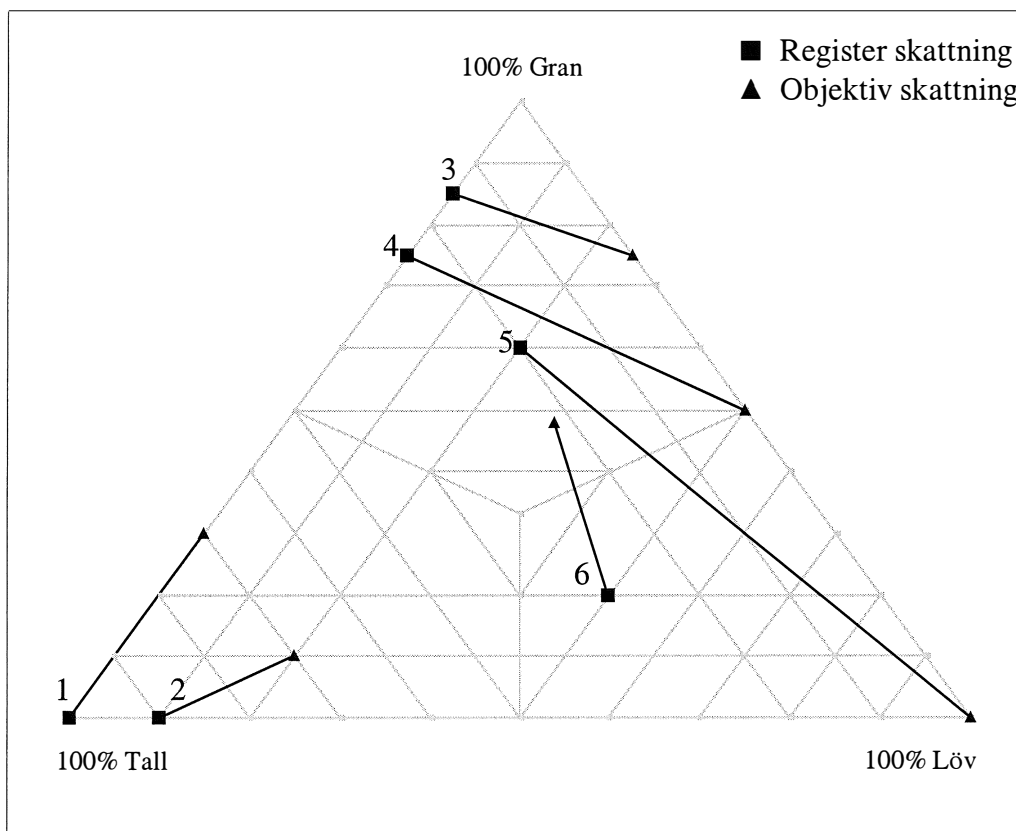
En av de största fördelarna med ett neuralt nätverk är möjligheten att finna nya förklarande variabler, som är svåra att hitta vid vanlig regression. En annan av de stora fördelarna är den rent administrativa aspekten: i de situationer där man förut varit tvungen att skapa ett stort antal regressionsfunktioner som bara varit giltiga under vissa specifika förhållanden klarar nätverket att förstå när vissa variabler inte går att använda eller när specielsituationer uppstår. Vidare ger inte ett tränat nätverk de extremvärden som en (mindre bra) regressionsfunktion kan ge i utkanten av materialet. En av de större nackdelarna med de neurala nätverken är att man inte kan få speciellt bra insikt i hur data behandlas och det aldrig finns någon funktion att sätta

på pränt. Man kan få viss information om antalet nivåer av parametrar som använts av modellen, men att skriva ner funktionen för hur varje neuron behandlar data skulle kräva flera sidor.

2.3 Inledande dataanalys

Innan arbetet med regressionsanalyserna påbörjades studerades givetvis datamaterialen "explorativt". Förutom vanliga plottar har också ett speciellt sorts diagram, kallat vektordiagram, använts.

I ett sådant diagram ges varje avdelning en koordinat baserad på beståndets trädslagsfördelning. Genom att sammanbinda koordinaterna för både den subjektiva och objektiva skattningen kan felens spridning och storlek studeras.



Figur 2.1. Exempel på vektordiagram².

Triangelns hörn motsvarar trädslagsrena bestånd. Det nedre vänstra hörnet motsvarar 100% tall, det nedre högra 100% löv och det övre hörnet 100% gran. Mittpunkten motsvaras följaktligen lika andelar av de tre trädslagen.

Registervärden markerats med kvadrater och den objektiva skattningen med trianglar.

² Vektordiagrammen är inte helt skalriktiga. Anledningen till att axlarna tall-gran och gran-löv gjorts kortare än tall-löv är att man visuellt uppfattar ett helt skalriktigt diagram som för "högt" och ögat feltolkar vektorerna. För beskrivning av det visual basic makro som använts för konstruktionen se bilaga 6.

För att lättare kunna avläsa värden har diagrammet försetts med grå skallinjer. Bortsett från de tre linjerna som sammanstrålar i mittpunkten, markerar linjerna jämna tiotals procentenheter av trädslagen.

Vektorena i Figur 2.1 motsvaras av följande hypotetiska bestånd

Tabell 2.1. Bestånd som återfinns i figur 2.1.

Vektor	Register			Objektiv skattning		
	Tall	Gran	Löv	Tall	Gran	Löv
1	100	0	0	70	30	0
2	90	0	10	70	10	20
3	15	85	0	0	75	25
4	25	75	0	0	50	50
5	20	60	20	0	0	100
6	30	20	50	22	48	30

För en ingående beskrivning om avläsning av vektordiagram se bilaga 1.

2.4 Utvärdering av kalibreringarna

För att utvärdera kalibreringarna gjorda enligt de fyra (fem) modellerna skapades tre olika mått. Att konstruera ett mått som säger så mycket som möjligt om felens fördelning, utan att gynna någon av metoderna specifikt, och ger en så sanningsenlig bild som möjligt visade sig vara en utmaning.

Följande fyra mått skapades med vilka prediktionerna utvärderades. Samtliga modeller bygger på avvikelser mellan den objektiva uppmätta och det predicerade andelen trädslagsvis, summerat avdelningsvis.

M1 =

$$= \frac{1}{n} \sum_{Avd=1}^n \left| Tallandel_{Obj} - Tallandel_{Pred} \right| + \left| Granandel_{Obj} - Granandel_{Pred} \right| + \left| Lövandel_{Obj} - Lövandel_{Pred} \right|$$

M2 =

$$= \frac{1}{n} \sum_{Avd=1}^n \sqrt{(Tallandel_{Obj} - Tallandel_{Pred})^2 + (Granandel_{Obj} - Granandel_{Pred})^2 + (Lövandel_{Obj} - Lövandel_{Pred})^2}$$

M3 = Som M2, dvs kvadratisk men med produktterm och vägd med hänsyn till varianser och kovarianser (Mahalanobis-avstånd med objektiva materialets kovariansmatris).

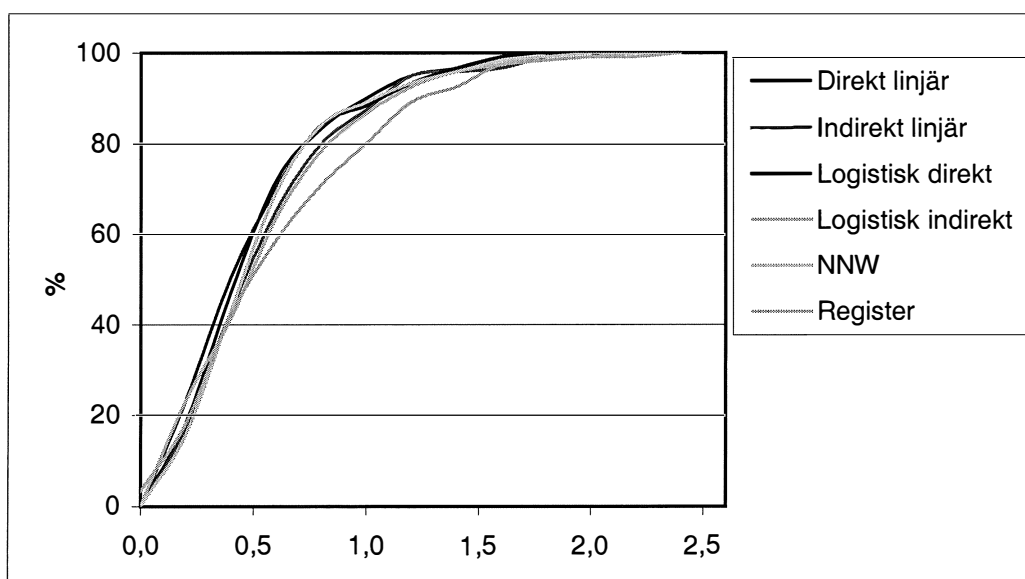
M4 = Antal observationer med värde > 1,50 i M3 modellen (total, inte medelvärde).

Som exempel på tillämpning av sådana *felsummor* redovisas en tabell:

Tabell 2.2. Exempel på utvärdering. Felsummor för Östadsmaterialet ($n = 121$).

	M1	M2	M3	M4
Register	32,80	21,66	0,66	10
Direkt linj. regr.	27,70	17,94	0,54	5
Indirekt linj. regr.	29,63	19,59	0,59	5
Logistisk direkt	27,40	17,79	0,54	4
Logistisk indirekt	29,94	19,79	0,60	6
NNW	26,61	17,36	0,52	3
Normerat mot registervärden				
Register	100	100	100	100
Direkt linj. regr.	84	83	82	50
Indirekt linj. regr.	90	90	90	50
Logistisk direkt	84	82	82	40
Logistisk indirekt	91	91	91	60
NNW	81	80	79	30

De ovanstående summorna av måtten ger en grov bild av genomsnittliga felen. För att få en mer detaljerad bild har även de kumulativa fördelningarna för måtten M1 – M3 studerats för varje metod. Ett exempel visas nedan.



Figur 2.2. Kumulativa fördelningen av M3 för fem metoder och register. Östadsmaterialet (samma som för tabell 2.1).

Den kurva som ligger överst kommer få minst summa felavvikelser. Det perfekta vore en graf som väldigt snabbt stiger från 0 upp till 100% utan påtaglig "svans". Endast små skillnader mellan de olika måtten M1-M3 noterades.

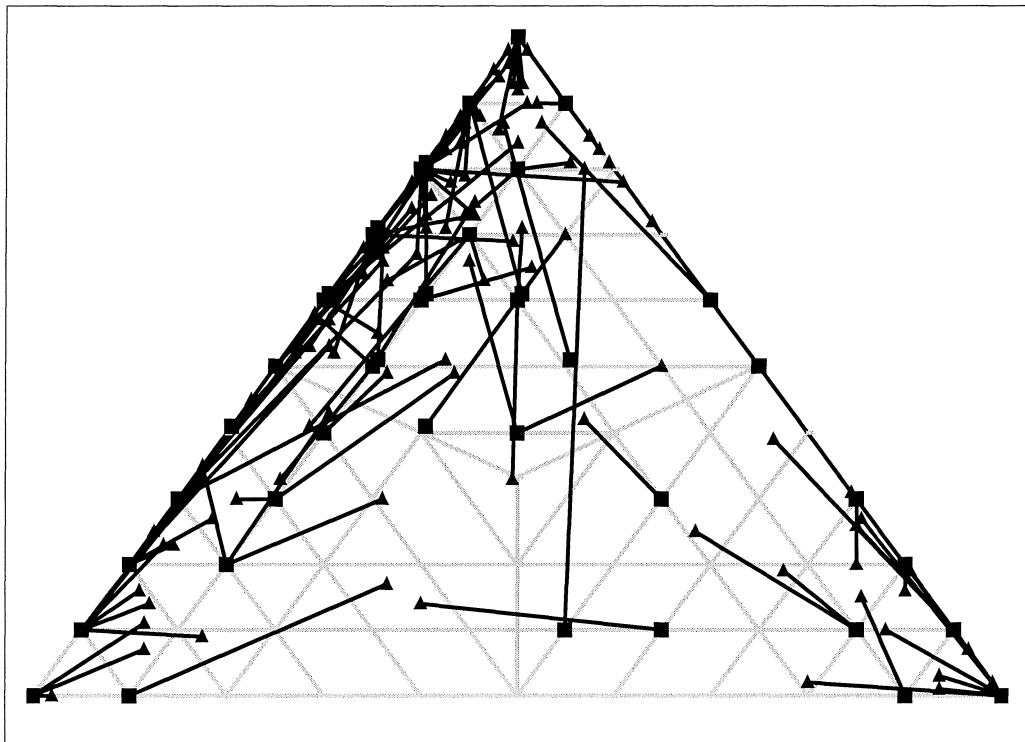
Man bör fråga sig vilken typ av prediktioner som önskas innan man bestämmer kalibreringsmetod: Vilket är bäst, en metod som ligger väldigt bra i 90% av fallen och stora fel på resten av avdelningarna eller en som har en hyfsad precision i samtliga fall, men aldrig ligger helt rätt?

3 RESULTAT

För undersökningarna rörande kalibreringsmetoderna har det största normala materialet, Östads materialet haft störst betydelse. Därför presenteras resultaten från detta först, och utförligast. Härfter följer resultaten från projekten 1 – 5, var och en med sina egenheter, med endast väsentliga sifferresultat. Förklaringar av variabelnamn återfinns i bilaga 5.

3.1 Östads materialet

Östads materialet avviker från de andra registren i det avseendet att stickprovet (n) innehåller flera lövdominerade avdelningar. Dessutom finns åtskilliga grandominerade avdelningar med höga virkesförråd – en avdelning höll 385 m³sk/ha vid den objektiva taxeringen.



Figur 3.1. Vektordiagram för Östad.

Av diagrammet kan utläsas:

- Registret underskattar granandel (förhärskande vektorriktning uppåt)
- Underskattning är mer uttalad i bestånd med hög lövandel än i de med hög tallandel (jämför nedre högra hörnet med nedre vänstra).
- Få bestånd i området lövandel 20 – 70 %, dvs vissa bestånd sköts som lövbestånd och de övriga (flertalet) som nästan rena barrbestånd.

Förutom det speciella vektordiagrammet ger givetvis även enkla sammanställningar information, som de medelvärden som presenteras i tabell 3.1.

Tabell 3.1. Beståndsmedelvolymer trädslagsvis enligt register och objektiv taxering, m³sk/ha, Östad (*n* = 121).

	Tall	Gran	Löv	Total
Register	50	90	33	173
Taxering	44	122	36	202

Samtliga fem kalibreringsmetoder testades på Östadsmaterialet. Resultatet framgår av tabell 3.2

Tabell 3.2. Felsummor M1 – M4 för Östadsmaterialet.

	M1	M2	M3	M4
Register	32,80	21,66	0,66	10
Direkt linj. regr.	27,70	17,94	0,54	5
Indirekt linj. regr	29,63	19,59	0,59	5
Logistisk direkt	27,40	17,79	0,54	4
Logistisk indirekt	29,94	19,79	0,60	6
NNW	26,61	17,36	0,52	3
Normerat mot registervärden				
Register	100	100	100	100
Direkt linj. regr.	84	83	82	50
Indirekt linj. regr.	90	90	90	50
Logistisk direkt	84	82	82	40
Logistisk indirekt	91	91	91	60
NNW	81	80	79	30

Funktioner som använts för prediktionerna i tabell 3.2. För variabelförteckning se bilaga 5.

Direkt linjär regression:

$$\text{TAX_TVOL} = 0,669 \text{ REG_TVOL} + 0,642 \text{ REG_ALD} + 0,552 \text{ REG_SI} - 0,0286 \text{ REG_SI*ALD}$$

$$\text{TAX_GVOL} = 1,33 \text{ REG_GVOL} - 0,602 \text{ REG_ALD} + 0,0312 \text{ REG_SI*ALD} - 0,00221 \text{ REG_SQGVOL} + 0,378 \text{ REG_TILLV}$$

$$\text{TAX_LVOL} = 0,609 \text{ REG_LVOL} - 0,554 \text{ REG_GVOL} - 0,252 \text{ REG_TVOL} + 0,0290 \text{ REG_SI*ALD} + 0,345 \text{ REG_TILLV} + 0,00117 \text{ REG_SQGVOL}$$

Indirekt linjär regression

$$\text{REG_TVOL} = 0,946 \text{ TAX_TVOL} + 0,0637 \text{ TAX_GVOL} - 0,0168 \text{ TAX_LVOL}$$

$$\text{REG_GVOL} = 0,0794 \text{ TAX_TVOL} + 0,699 \text{ TAX_GVOL} - 0,0257 \text{ TAX_LVOL}$$

$$\text{REG_LVOL} = 0,0088 \text{ TAX_TVOL} - 0,0044 \text{ TAX_GVOL} + 0,874 \text{ TAX_LVOL}$$

Direkt logistisk metod:

$$\text{TAX_lnTG} = -2,46 + 0,0453 \text{ REG_TP} + 0,0189 \text{ REG_LP} - 0,00481 \text{ REG_TILLV} - 0,000088 \text{ REG_SI*ALD}$$

$$\text{TAX_lnLG} = -3,02 + 0,0434 \text{ REG_LP} + 0,00466 \text{ REG_VOLHA} + 0,0388 \text{ REG_ALD} - 0,00138 \text{ REG_SI*ALD} \\ - 0,00839 \text{ REG_GVOL}$$

Exempel på typiska residualplottar finns i bilaga 7.

Indirekt logistisk metod:

$$\text{REG_lnTG} = 0,309 + 0,897 \text{ TAX_lnTG} + 0,0021 \text{ TAX_lnLG}$$

$$\text{REG_lnLG} = 0,161 - 0,0447 \text{ TAX_lnTG} + 0,994 \text{ TAX_lnLG}$$

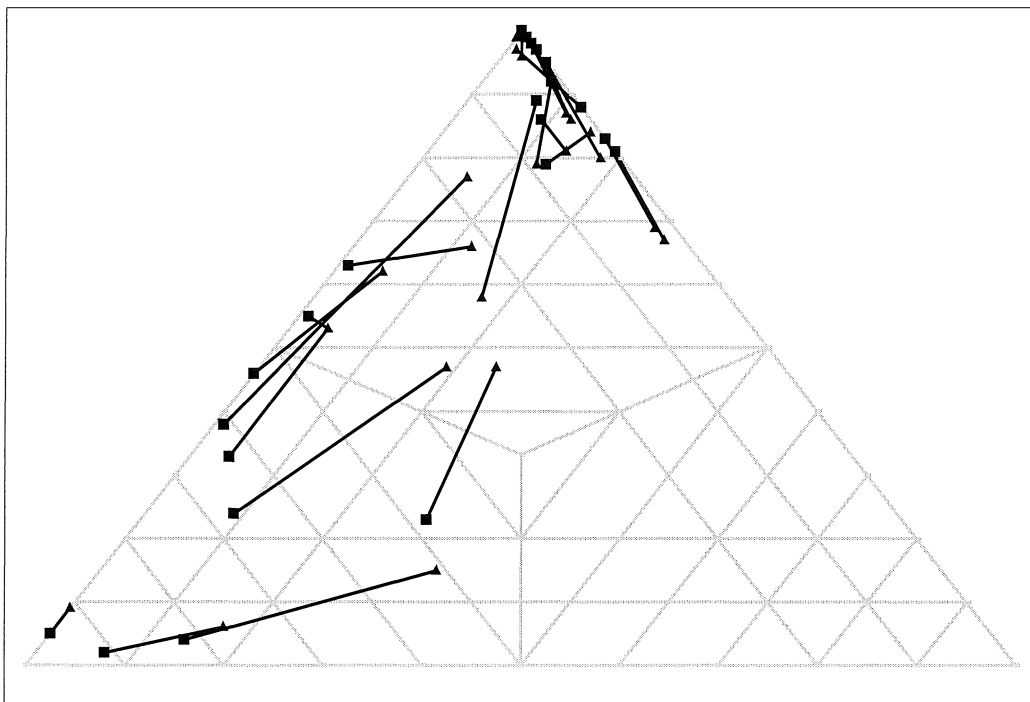
Felsummorna i tabell 3.2 och figur 2.2 har tillsammans med utvärderingen av motsvarande arbete med projekt 5 legat till grund för valet av direkt logistisk metod i de andra projekten. Skillnaden gentemot direkt linjär är liten och uppvägs av de övriga fördelarna (se kapitel 2.2). Jämför också tabell 3.16. Även det neurala nätverket verkar lovande men nackdelarna som presenterats i kapitel 2.2 gjorde att den direkt logistiska metoden föredrogs i varje fall.

3.2 Projektmaterial

Projekt 1

Markägarbyte, två register, 25 avdelningar i varje, 10-20 år gamla.

Markägare A



Figur 3.2. Vektordiagram. Projekt 1, markägare A.

Diagrammet indikerar följande registerfel:

- I stort sett avsaknad av korta, men en ansenlig mängd långa vektorer antyder en påtaglig systematisk skillnad mellan de två materialen.
- Stora systematiska fel i tall-gran led.
- Olika storlek på felen i olika beståndstyper. Bestånden som registret anger har 40-70% tallandel har stora fel medan i princip alla bestånd vilka registret klassat som mer än 80% gran har små fel.
- I bestånd med mer än 80% granandel verkar löv underskattas i högre utsträckning än annars.

Tabell 3.3. Beståndsmedelvolymer trädslagsvis för markägare A enligt register och objektiv taxering, m³sk/ha (*n* = 25).

	Tall	Gran	Löv	Total
Register	39,1	101,2	8,5	148,8
Taxering	31,2	113,3	19,5	164,0

Markägare A:s bestånd kalibrerades med direkt logistisk regression enligt:

$$\text{TAX_lnTG} = -2,24 + 0,0616 \text{ REG_TP} - 0,082 \text{ REG_SI}$$

$$\text{TAX_lnLG} = -7,29 + 0,372 \text{ REG_lnLG} + 0,0676 \text{ REG_ALD} - 0,00451 \text{ REG_SI*ALD} + 0,432 \text{ REG_SI}$$

Tabell 3.4. Felsummor för register och predicerade värden för markägare A.

Felsummor	M1	M2	M3	M4
Register	29,92	19,74	1,04	5
Predicerade	18,52	12,08	0,63	1
Normerat mot registervärden				
Register	100	100	100	100
Predicerade	62	61	61	20

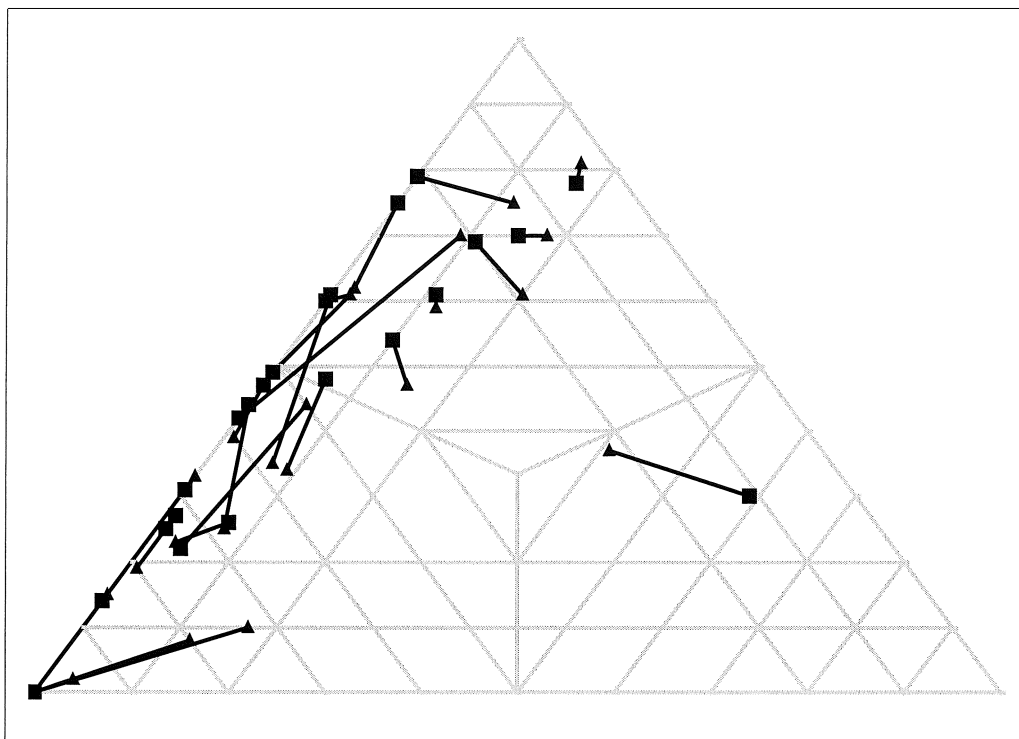
Fem avvikande bestånd

De fem talldominerade bestånd i figur 3.2 vilka alla enligt registret har mellan 40 och 70% tall studerades mer ingående.

Vid den objektiva taxeringen sjönk tallandelen för de fem bestånden från registrets genomsnitt på 58,6% till 31,2% och granandelen ökade från registrets 32,8% till 57,2% vid taxeringen.

Enligt registren ska tallvolymen i de fem bestånden i snitt vara 92 m³sk/ha men den objektiva taxeringen visar på endast 44 m³sk/ha. Granvolymen uppvisar fel i motsatt riktning: 53 m³sk/ha i registret och 82 m³sk/ha vid taxeringen.

Markägare B



Figur 3.3. Vektordiagram. Projekt 1, markägare B.

B:s register uppvisar på det hela taget god noggrannhet. Figur 3.3 visar inte på några tydliga systematiska fel, möjligen kan en svag underskattning av lövandel uttydas.

Tabell 3.5. Beståndsmedelvolymer trädslagsvis för markägare B enligt register och objektiv taxering, m³sk/ha ($n = 25$).

	Tall	Gran	Löv	Total
Register	81,0	65,6	6,3	152,9
Taxering	75,4	64,5	11,4	151,3

En svag tendens till överskattning av tall kan eventuellt noteras (5,6 m³sk/ha) liksom en underskattning av löv (5,1 m³sk/ha). Granvolymererna får anses vara fria från systematiska fel.

Markägare B:s bestånd kalibrerades med direkt logistisk regression enligt:

$$\text{TAX_lnTG} = 1,07 + 0,0435 \text{ REG_TP} - 0,174 \text{ REG_SI}$$

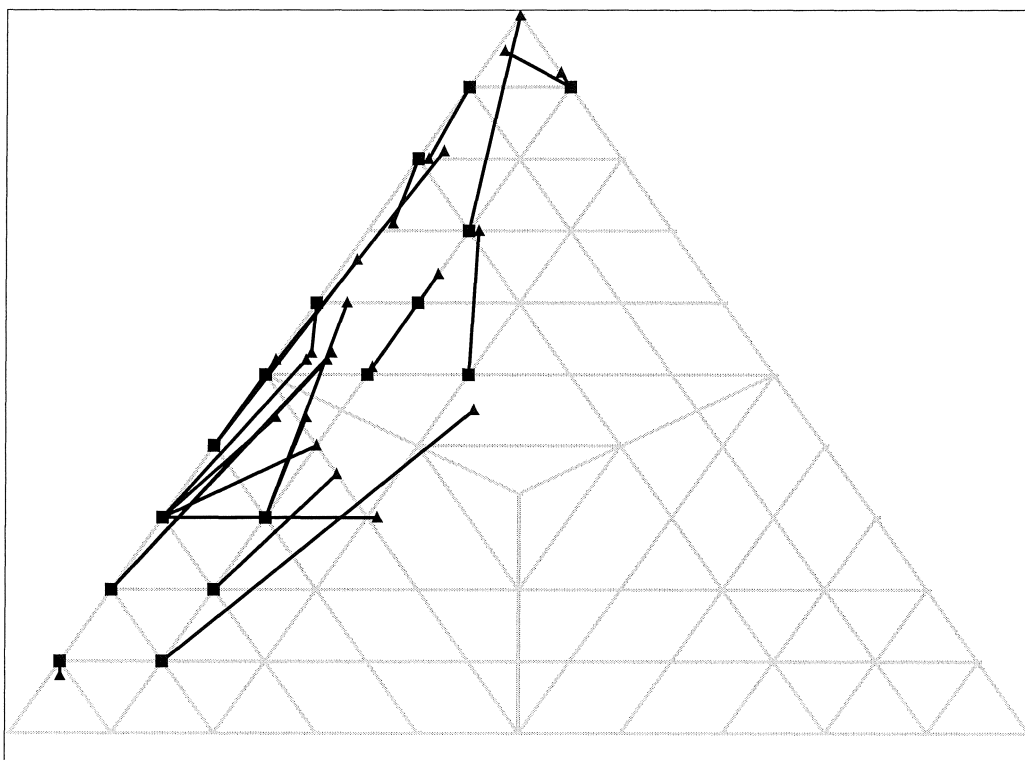
$$\text{TAX_lnLG} = 2,24 + 0,574 \text{ REG_lnLG} - 0,156 \text{ REG_SI}$$

Tabell 3.6. Felsummor för register och predicerade värden för markägare B.

Felsummor	M1	M2	M3	M4
Register	25,28	16,36	0,80	4
Predicerade	21,36	13,93	0,63	0
Normerat mot registervärden				
Register	100	100	100	100
Predicerade	84	85	79	0

Projekt 2

Minst 10 år gammalt register från södra Sverige, 25 avdelningar.



Figur 3.4. Vektordiagram. Projekt 2.

Diagrammet indikerar följande registerfel:

- I stort sett avsaknad av korta, men en ansenlig mängd långa vektorer pekande åt samma håll antyder en påtaglig systematisk skillnad mellan de två materialen.
- Stora systematiska fel i tall-gran led.

Tabell 3.7. Beståndsmedelvolymer trädslagsvis för projekt 2 enligt register och objektiv taxering, m³sk/ha (*n* = 25).

	Tall	Gran	Löv	Total
Register	108,5	94,4	7,8	210,7
Taxering	71,9	122,5	12,2	206,6

Tabell 3.7 bekräftar de stora systematiska fel i tall-gran led som syns tydligt i figur 3.4.

Projekt 2 kalibrerades med direkt logistisk regression enligt:

$$\text{TAX_lnTG} = -1,45 + 0,759 \text{ REG_lnTG} + 0,157 \text{ REG_STRATUM}$$

$$\text{TAX_lnLG} = -1,97 + 0,0311 \text{ REG_ALD} - 0,00672 \text{ REG_VOLHA} - 0,278 \text{ REG_STRATUM}$$

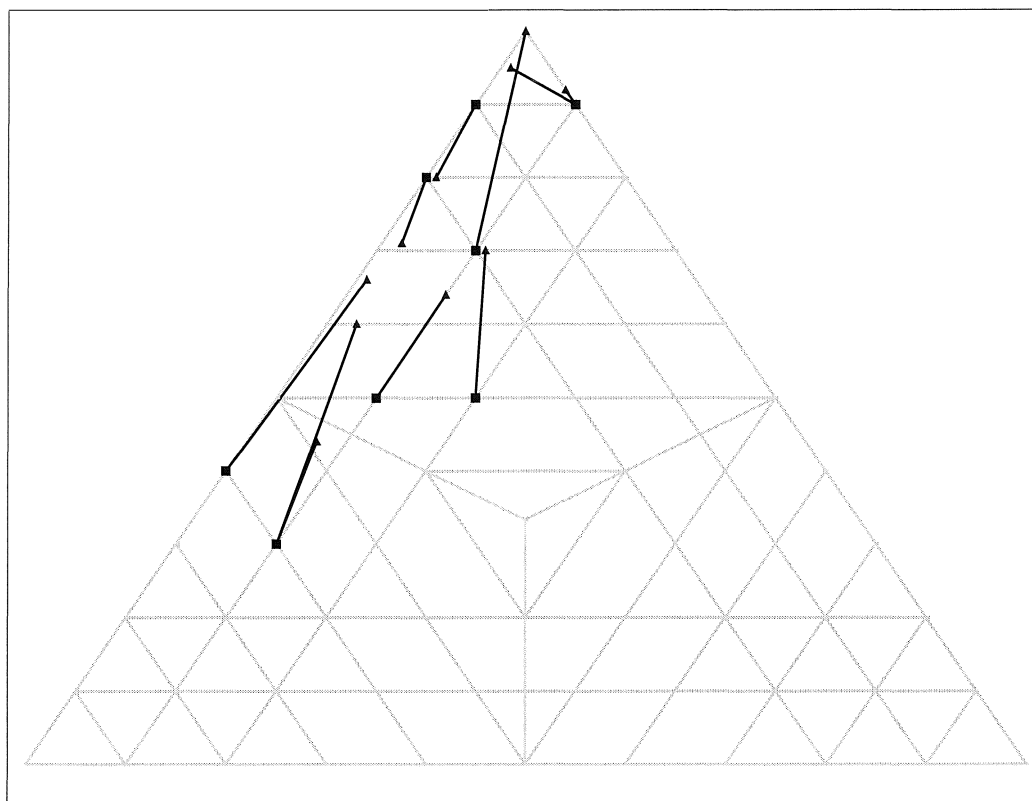
Variabeln stratum som visade sig vara användbar baseras (vanligen) på ålder och virkesförråd och används vid fas-två urvalet i IP. Här har åtta strata använts och de högre klasserna utgörs av bestånd med höga åldrar och volymsförråd.

Tabell 3.8. Felsummor för register och predicerade värden för projekt 2.

Felsummor	M1	M2	M3	M4
Register	38,96	25,59	1,32	10
Predicerade	24,04	15,64	0,91	2
Normerat mot registervärden				
Register	100	100	100	100
Predicerade	62	61	69	20

Stora förbättringar gjordes vid kalibreringen, men eftersom det verkade troligt att många av bestånden påverkats av skogsvårdsåtgärder efter den subjektiva datainsamlingen avskiljdes bestånd med registeråldern 50 år eller yngre ut för vidare undersökningar. Förhoppningen var att dessa bestånd inte skulle ha påverkats av gallringar. 10 bestånd uppfyllde ålderskriteriet och fick bilda ett eget material.

Projekt 2, bestånd under eller lika med 50 års registerålder



Figur 3.5. Vektordiagram. Projekt 2, bestånd under eller lika med 50 års registerålder.

Tabell 3.9. Beståndsmedelvolymer trädslagsvis för projekt 2, bestånd under eller lika med 50 års registerålder, enligt register och objektiv taxering, m³sk/ha ($n = 10$).

	Tall	Gran	Löv	Total
Register	39,7	112,14	12,56	164,4
Taxering	32,0	144,5	7,9	184,4

Huruvida tall överskattas eller inte är svårt att avgöra med tanke på stickprovets storlek. Fortfarande syns dock en underskattning av granvolymer. Det verkar emellertid fortfarande troligt att flera av bestånden förändrats då stora fel syns i vektordiagrammet för flera av bestånden.

De 10 yngre bestånden kalibrerades separat med:

$$\text{TAX_lnTG} = -0,886 + 0,678 \text{ REG_lnTG}$$

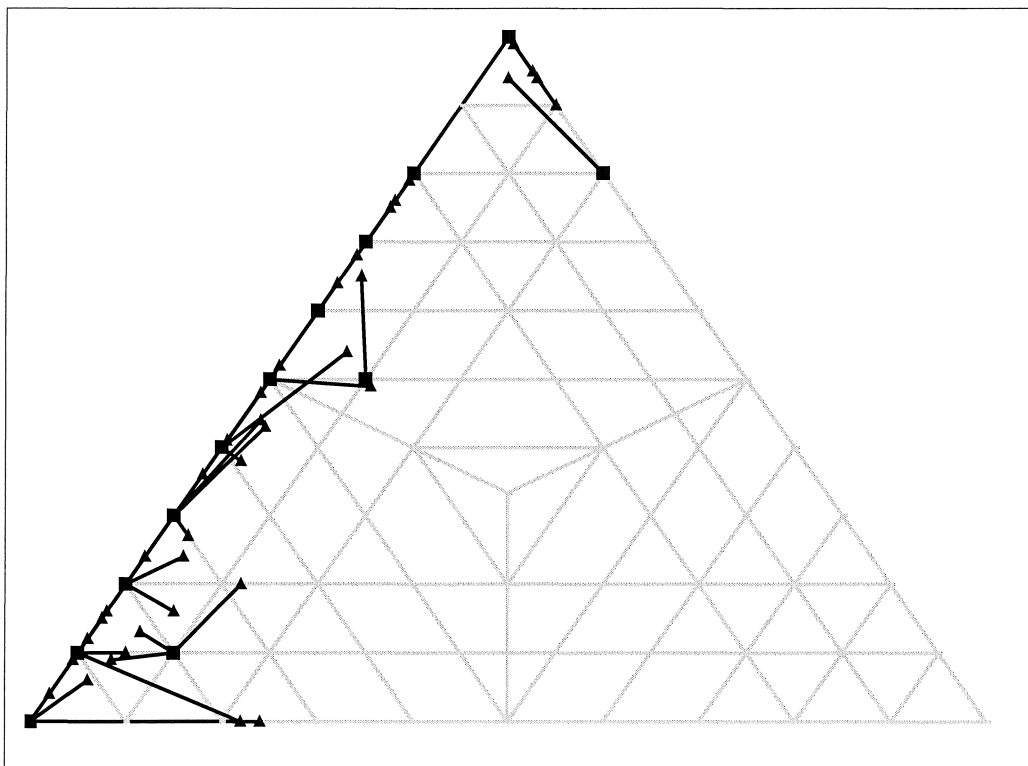
$$\text{TAX_lnLG} = -1,85 - 0,285 \text{ REG_STRATUM}$$

Tabell 3.10. Felsummor för register och predicerade värden för projekt 2, bestånd under eller lika med 50 års registerålder.

Felsummor	M1	M2	M3	M4
Register	33,00	21,47	1,49	5
Predicerade	15,72	10,27	0,82	2
Normerat mot registervärden				
Register	100	100	100	100
Predicerade	48	48	55	40

Projekt 3

Nyindelat register från Mälardalen, 40 avdelningar



Figur 3.6. Vektordiagram. Projekt 3.

Som väntat var registeruppgifterna i projekt 3 goda och figur 3.6 visar inte på några extrema fel.

Tabell 3.11. Beståndsmedelvolymer trädslagsvis för projekt 3 enligt register och objektiv taxering, m³sk/ha (*n* = 40)

	Tall	Gran	Löv	Total
Register	111	91	2	204,0
Taxering	104	101	5	210,0

Skattningen av tall och lövandel är riktigt bra. Vektordiagrammet visar direkt att materialet håller hög kvalitet och även om en viss tendens till underskattning av granandelen kan skönjas finns inga direkt uppenbara systematiska fel.

En formell kalibrering gjordes i alla fall:

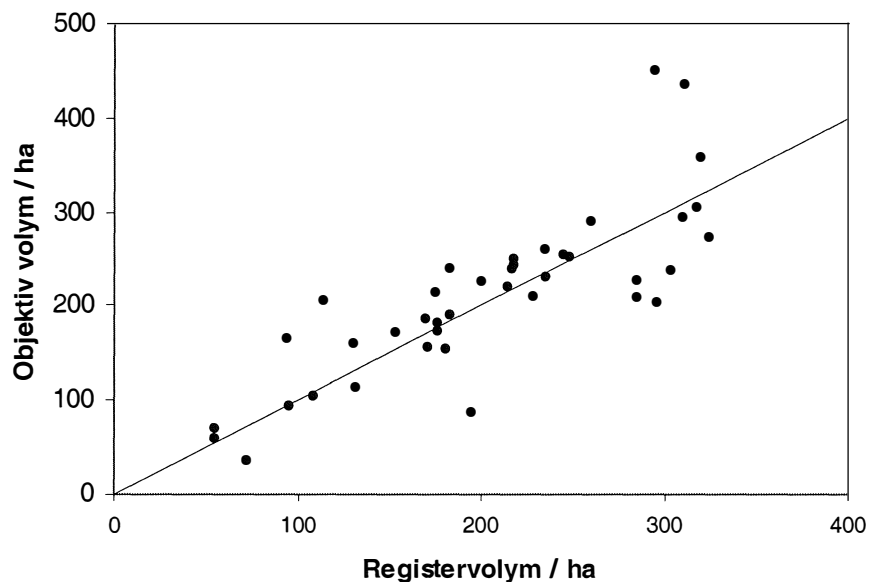
$$\text{TAX_lnTG} = -1,69 + 0,0308 \text{ REG_TP} + 0,419 \text{ REG_lnTG}$$

$$\text{TAX_lnLG} = 0,906 \text{ REG_lnLG} - 0,147 \text{ REG_LP} - 0,00590 \text{ REG_VOLHA} + 0,0562 \text{ REG_SI}$$

Tabell 3.12. Felsummor för register och predicerade värden för projekt 3.

Felsummor	M1	M2	M3	M4
Register	24,10	16,46	0,95	5
Predicerade	20,77	13,64	0,74	2
Normerat mot registervärden				
Register	100	100	100	100
Predicerade	86	83	78	40

Under arbetet med kalibreringen av projekt 3 visade sig ett mycket typiskt fel för subjektivt insamlade register, nämligen en underskattning av riktigt höga virkesförråd.



Figur 3.7. Volymsskattningar. Projekt 3. Linjen visar lika värden.

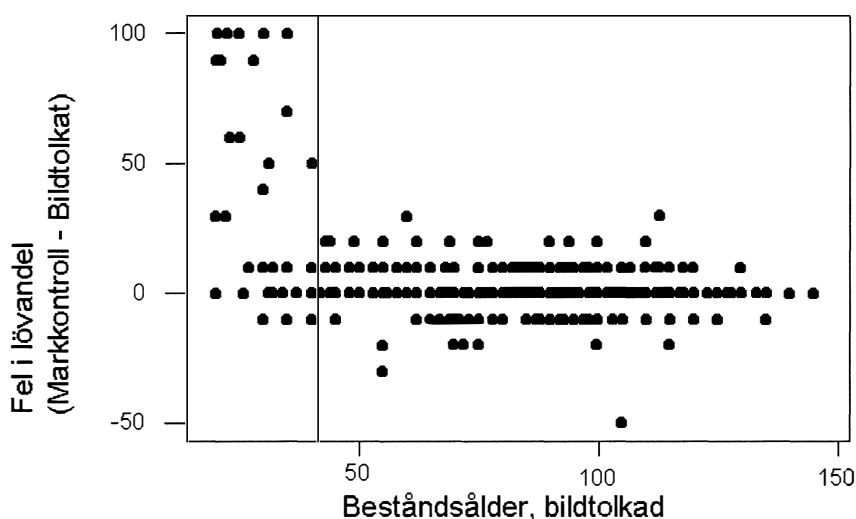
Projekt 4

Bildtolkat material från södra Norrland, 693 avdelningar.

Den objektiva taxeringens resultat presenteras endast i tiondelar vilket varit till stor nackdel vid utvärderingen av kalibreringsfunktionerna.

På grund av materialets storlek presenteras inget vektordiagram för projekt 4. Vektordiagram har gjorts för varje tolkare men den objektiva inventeringens skattningar med endast hela tiondelar göra att diagrammen inte ger användbar information. Vektordiagrammen består av korsvisa och överlagda linjer av olika kombinationer av tall och gran utan möjlighet att studera vektorriktningen.

Vid studier av materialet visade det sig att det fanns ett kraftigt systematiskt fel för låga beståndsåldrar.



Figur 3.8. Felstudie över lövandel, projekt 4. Endast material till höger om linjen användes för kalibreringen.

För bestånd med ålder under eller lika med 40 år underskattades lövandelen kraftigt i många fall vid bildtolkningen. För att inte störa regressionsfunktionen för de övriga åldrarna undantogs samtliga bestånd vilka bildtolkningen givit en ålder på 40 år eller lägre. 43 observationer, motsvarande 6,2% av stickprovet berördes av ålderskriteriet.

För de återstående 650 bestånden skapades sedan regressionsfunktioner med logistisk direkt metod.

$$\text{TAX_lnTG} = -2,36 + 0,886 \text{ L_lnTG} - 0,320 \text{ L_lnLG} + 0,0231 \text{ L_ALD} + 0,0959 \text{ L_GYTA} - 0,0126 \text{ L_VOLHA}$$

$$\text{TAX_lnLG} = 0,261 + 0,295 \text{ L_lnLG} - 0,101 \text{ L_HOJD} + 0,0112 \text{ L_ALD} - 0,112 \text{ L_GP}$$

Kalibreringen förbättrade inte registret med mer än några få procent och det är sannolikt bättre att låta de bildtolkade värdena stå än att justera dem. En förklaring till detta är förmodligen den objektiva inventeringens dåliga noggrannhetsangivelse.

För att studera eventuella personeffekter, det vill säga om det fanns tendenser att någon avvek i sin tolkning, gjordes nya regressioner med samma variabler som ovan, men med individuella koefficienter efter det att materialet delats upp på bildtolkare. Varje bildtolkare fick alltså en individuell uppsättning koefficienter för de förutbestämda variablerna. När koefficienterna för varje tolkare bestämts och residualkvadratsumman och antalet frihetsgrader för varje regression faststälts testades dessa i ett F-test mot den gemensamma funktionen för att utröna om personeffekter fanns.

F-testet visade att koefficienterna för skattningarna av tallandel var signifikanta skilda ($p = 0,000$) medan det för lövandel inte var möjligt att säkerställa personeffekter ($p = 0,0502$). Med andra ord går det att dra slutsatsen att skattningen av tallandel beror på vem som gör den och även om man låter två tolkare gå igenom ett stort antal material kommer deras genomsnittliga skattning av tallandel att skilja sig åt. Motsvarande slutsats går alltså inte att göra för lövandelskattningen med samma säkerhet.

Eftersom F-testet alltså slog fast att personeffekter förekom i skattningen av tallandelen skapades individuella funktioner, med de bäst förklarande variablerna för respektive tolkares material. För skattningen av lövandel användes den gemensamma funktionsformen, men med individuella koefficienter.

Tolkare 1, $S = 1,341$

$$\text{TAX_lnTG} = 6,28 + 1,38 \text{ L_lnTG} - 0,710 \text{ L_lnLG} - 0,00234 \text{ L_VOLHA} - 0,894 \text{ L_TP} - 0,733 \text{ L_GP}$$

Tolkare 2, $S = 1,457$

$$\text{TAX_lnTG} = -3,77 + 0,462 \text{ L_lnTG} + 0,394 \text{ L_lnLG} + 0,0159 \text{ L_ALD} + 0,387 \text{ L_GYTA} - 0,0283 \text{ L_VOLHA}$$

Tolkare 3, $S = 1,185$

$$\text{TAX_lnTG} = -33,9 - 2,84 \text{ L_lnTG} + 2,66 \text{ L_lnLG} + 4,86 \text{ L_TP} + 3,47 \text{ L_GP}$$

Tolkare 4, $S = 1,152$

$$\text{TAX_lnTG} = -1,04 + 0,837 \text{ L_lnTG} - 0,283 \text{ L_lnLG} + 0,0179 \text{ L_ALD} - 0,00601 \text{ L_VOLHA}$$

Tolkare 7, $S = 1,198$

$$\text{TAX_lnTG} = 1,01 \text{ L_lnTG} - 0,277 \text{ L_lnLG} - 0,00765 \text{ L_VOLHA}$$

Tolkare 8, $S = 1,289$

$$\text{TAX_lnTG} = 0,980 + 0,676 \text{ L_lnTG} - 0,895 \text{ L_lnLG} - 0,409 \text{ L_GP}$$

Tabell 3.13. Beståndsmedelvolymer trädslagsvis för projekt 4 enligt register och objektiv taxering, m³sk/ha ($n = 650$)

	Tall	Gran	Löv	Total
Bildtolkare	118,8	92,7	11,2	222,7
Markkontroll	103,3	90,1	13,3	206,7

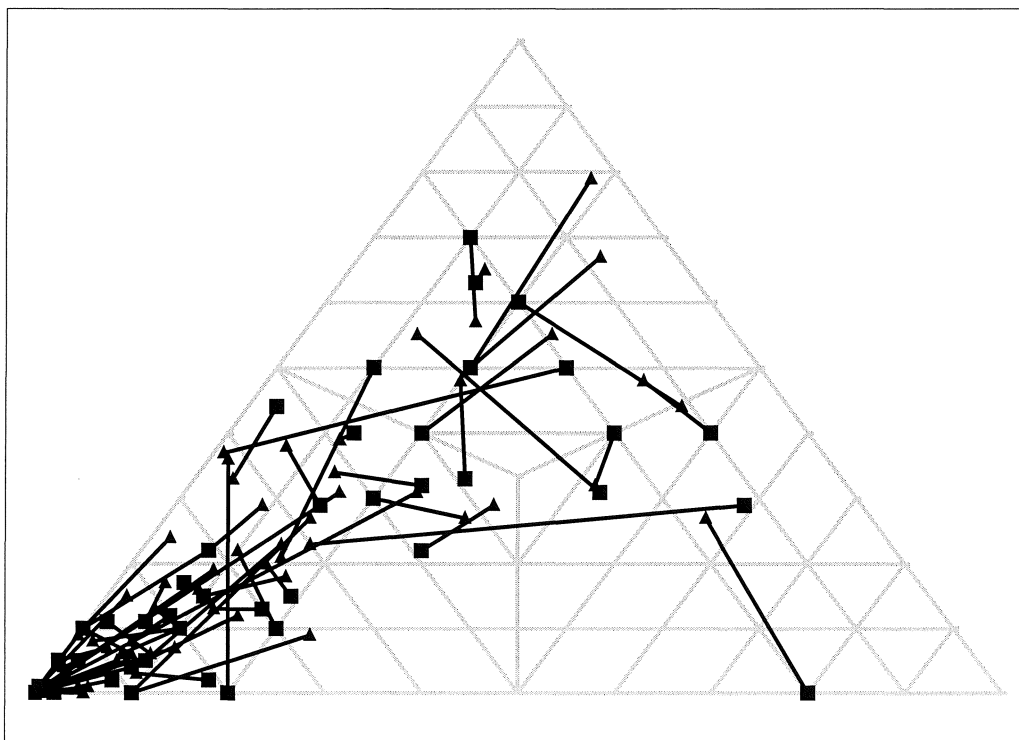
Tabell 3.14. Felsummor för register och predicerade värden för projekt 4. Testsummor ges för både den gemensamma funktionen och av tolkarnas enskilda funktioner.

Felsummor	M1	M2	M3	M4
Register	33,57	22,71	0,854	107
Pred. samma fkn	33,59	21,77	0,864	82
Pred. enskilda fknr	30,25	19,51	0,837	78
Normerat mot registervärden				
Register	100	100	100	100
Pred. samma fkn	100	96	101	77
Pred. enskilda fknr	90	86	98	73

Även projekt 4 uppvisar den typiska överskattningen av tallvolym som funnits i många material. Däremot är skattningarna av granvolym mycket bättre än den generella nivån i de register som studerats. Skattningen av lövvolymen är av genomsnittlig noggrannheten eller bättre.

Projekt 5

”Gammalt” register från Norra Sverige, värdering inför markbyte, 58 avdelningar.



Figur 3.9. Vektordiagram, projekt 5.

Diagrammet indikerar följande registerfel:

- Systematisk överskattning av tallandel, framförallt i bestånd med hög tallandel.
- Stora skattningsfel.

Figur 3.9 uppvisar flera bestånd som rört sig från i princip trädslagsrena tallbestånd till 70-80% objektivt skattad tallandel. I mitten av diagrammet verkar dock vektorena vara nästan slumpmässigt spridda, och inga systematiska fel går att urskönja.

Tabell 3.15. Beståndsmedelvolymer trädslagsvis för projekt 5 enligt register och objektiv taxering, m³sk/ha ($n = 58$)

	Tall	Gran	Löv	Total
Register	112	31	21	164,0
Taxering	93	35	19	147,0

Projekt 5 användes liksom Östadsmaterialet för att utvärdera de fem kalibreringsmetoderna som beskrivs i kapitel 2.2. Resultatet framgår av tabell 3.16.

Liksom för de övriga projekten har logistiska regressionsfunktioner skapats:

$$\text{TAX_lnTG} = -22,6 - 0,480 \text{ REG_lnLG} - 0,0745 \text{ REG_GP} + 0,233 \text{ REG_ALD} + 1,32 \text{ REG_SI} - 0,0123 \text{ REG_SI*ALD}$$

$$\text{TAX_lnLG} = 14,3 - 0,0158 \text{ REG_GP} - 0,151 \text{ REG_ALD} - 0,716 \text{ REG_SI} + 0,00749 \text{ REG_SI*ALD}$$

Tabell 3.16. Felsummor för register och predicerade värden för projekt 5.

Felsummor	M1	M2	M3	M4
Register	30,14	19,29	1,03	10
Direkt linj. regr.	27,14	17,32	0,82	5
Indirekt linj. regr	36,90	23,67	1,32	17
Logistisk direkt	24,99	16,00	0,81	9
Logistisk indirekt	50,44	32,33	2,21	27
NNW	25,25	16,22	0,80	7
Normerat mot registervärden				
Register	100	100	100	100
Direkt linj. Regr.	90	90	80	50
Indirekt linj. Regr	122	123	128	170
Logistisk direkt	83	83	78	90
Logistisk indirekt	167	168	213	270
NNW	84	84	77	70

4 DISKUSSION

4.1 Projektmaterial

Projekt 1

Det visade sig att A:s register hade ca 20% sämre noggrannhet mätt i felmodellerna än B:s, vars register på det hela taget var överraskande bra med tanke på registrets ålder. Efter kalibrering med direkt logistisk metod förbättrades A:s register med ca 40% och B:s med ca 18%. Lite förvånande var att A:s register, vilket förut varit sämst, efter kalibrering blev ca 15% bättre än B:s mätt i genomsnittlig felsumma. Tydligt var felen i A:s register mer likartade varandra än i B:s, varför de lättare kunde justeras genom kalibreringen.

Markägare A

Underskattningen av lövvolum i de grandominerade bestånden beror sannolikt på björk som försumrats vid den subjektiva inventeringen. Den objektiva inventeringen visar på en lägre medelstam för björk (14,1 cm) än för gran (21,2 cm) och sannolikt har förrättningsmannen när registret upprättades för 10-20 år sedan inte registrerat björk över huvudtaget. Detta syns också i lövandelen som underskattats med 7 procent-enheter i snitt.

Fem avvikande bestånd

Fem talldominerade barrblandskogsbestånd med extrema fel studerades mer ingående. Det troligaste är att någon form av gallring har utförts där man systematiskt tagit ut större tallar vilka varit förväxande i bestånden, sk höggallring, medan gran lämnats i hög utsträckning. Om man vidare försummat att uppdatera registren efter gallringen och sedan räknat upp tillväxten under 10-20 års tid förstår man att stora fel kan uppkomma. Teorin förklarar även varför granvolumerna underskattats i registret. Det genomsnittliga felet i granvolum, ca 30 m³sk/ha, motsvaras helt enkelt av tillväxten under perioden³. Denna har vid uppräknings till största del lagts på tallstammarna som enligt registret representerat huvuddelen av beståndet, medan gran och löv endast fått en mindre del.

³ Snittbonitet i Norrbotten (TNC -96) är 2,7 m³sk/ha/år under 10 år, vilket gör 27 m³sk/ha.

Markägare B

För ägare B är skattningen av variabeln trädslagsfördelning är av god kvalitet. Trots att 10-20 år förflutit sedan insamlandet uppvisar registret mycket god noggrannhet även för andra variabler. Förmodligen har registret uppdaterats efter eventuella ingrepp eller så har endast ett fåtal av avdelningarna i stickprovet berörts av skogsvårdsåtgärder

Projekt 2

Noggrannheten i registret visade sig vara väldigt dålig och liksom i projekt 1 förekom de största felen i skattningarna av tall- och granandel.

Mycket tyder på att det stora felet i tallvolymerna orsakats av gallringar vilka inte förts in i registret. Ett tydligt tecken på att gallringar genomförts är att flertalet av de bestånd vilka enligt registret domineras av tall ofta minskat flera tiotals procentenheter i tallandel. Avsaknaden av små skattningsfel indikerar att bestånden förändrats mellan inventeringstillfällena och att felet således inte enbart utgörs av ett inventeringsfel utan en verklig förändring av individerna mellan inventeringstidpunkterna. Detta gör att det blir svårt, för att inte säga omöjligt, att dra slutsatser om hur kvaliteten i de subjektiva skattningarna varit tidigare.

Att göra jämförelsen mellan subjektiva data i beståndsregistret och den objektiva inventeringen kan motiveras av behovet att bedöma aktualiteten i registret. Det vore här direkt felaktigt att förklara skillnaderna mellan värdena med de olika inventeringsmetoderna.

Projekt 3

Trädslagsfördelningen var skattad med både god precision och noggrannhet i projekt 3. En svag överskattning av tallandel märks vid medelvärdesstudier (tabell 3.11), men med tanke på materialets storlek kan det vara en effekt av slumpfelen.

Vidare noterades tendenser till underskattning av totalvolym per ha. Denna underskattningen av höga beståndsvolymer ska inte påverka trädslagsfördelningen om man inte undviker att registrera höga volymer av något enskilt trädslag. Så länge förrättningsmannen sänker virkesförrådet generellt och inte för något enskilt trädslag påverkas inte den procentuella fördelningen. För en skogsbruksplan eller ekonomisk kalkyl är det dock självfallet förödande med systematiska underskattningar av höga volymer. Tyvärr är dock den här typen av fel relativt vanligt i svenska beståndsregister, vilket enligt en allmän uppfattning i många fall lett till en erfarenhetsgrundad uppskrivning av volymen för vissa typer av bestånd, till exempel äldre granbestånd, med höga stamantal och hög medeldiameter.

Projekt 4

Bestånd under 40 år uppvisade kraftiga systematiska underskattningar av lövandel och motsvarande överskattning av tallandel vid bildtolkningen. Studier av bestånden visade att det i princip uteslutande handlade om tallandel som överskattats och på lövandels bekostnad, skattningen av granandel var inte inblandad.

Bildtypen som använts vid fotograferingen för projekt 4 är okänd. Av felen att döma verkar det dock som om pankromatisk film använts. Vid fotografering med pankromatisk film tas vanligen bilderna direkt efter snösmältningen men före knoppsprickningen på våren. En nackdel med fototidpunkten är att mindre lövträd inte framträder speciellt bra, om än över huvudtaget, varför lövandel underskattas.⁴

Varför lövfelet i princip alltid återspeglas i tallöverskattning, och sällan gran, har inte kunnat förklaras.

Även de övriga 650 observationerna från projekt 4 uppvisade systematiska överskattningar av tall vid bildtolkningen, ca 3 procentenheter för andel och 15 m³sk/ha i volym. Granandel och lövandel underskattades med 2,0 respektive 1,4 procentenheter vid bildtolkningen.

Projekt 5

Liksom för projekt 2 syns det att projekt 5 bygger på gamla uppgifter. Felen är stora och av varierande typ. Trots detta lyckades kalibreringen förbättra registret med ca 20%. Felen beror sannolikt på ett icke ajourhållet register tillsammans med skattningsfel.

4.2 Östads materialet

Registret uppvisar kraftiga underskattningar av granvolym. Tallvolym underskattas svagt medan skattningen av lövvolymen uppvisar god noggrannhet. En av förklaringarna till den förhållandevis goda skattningen av lövvolym kan vara att de avrundningsfel (se mer utförligt kapitel 4.3) som normalt orsakar underskattningar av lövandel delvis uppvägs av motsvarande avrundningsfel för främst tall (se figur 3.1).

En förklaring till underskattningen kan vara att de subjektiva inventeringarna skattat för låga SI vilket lett till för låg svag volymsuppräknings (objektivt skattad medelbonitet för fastigheten är 8,1 m³sk / ha*år, Bexell et al (1999)). Teorin stöds av det faktum att även tall- och lövvolym underskattats, men förklarar inte varför just

⁴ Vid fotografering med IR-känslig film finns istället risken att löv överskattas då gräs och löv ger en mycket snarlik ”signatur” (färgåterspeglings).

granvolymen drabbats. Liksom för projektmaterialen samverkar troligen flera orsaker till granunderskattningen.

4.3 Generella tendenser vad gäller fel i register

Under arbetets gång har felen i registret uppvisat vissa tendenser, som det kan vara värt att diskutera orsakerna till. Om dessa feltendenser är helt systematiska skulle de kunna kalibreras bort helt. Emellertid förefaller det sannolikt att orsakerna är kopplade till olika egenskaper hos ståndorten och bestånden, och egenskaper som man saknar information om. Det kan gälla topografi, fuktighet men även sådana egenskaper hos beståndet som inte framgår av de vanliga skogliga variablerna, till exempel spatiala mönster. Eftersom sådan information saknas kan man inte heller skatta effekterna i en (logistiskt) regressionsfunktion. Felen kommer att upplevas som rent slumpmässiga.

Det viktigaste med kalibreringsprocessen är nog den insikt den ger i hur och när fel uppträder och som krävs för förbättringar av inventeringsmetodik och registerkvalitet.

Överskattning av tallandel och tallvolym

I samtliga projekt överskattas tallandel och tallvolym. I en del fall (projekt 1 och 3) skiljer bara genomsnittsvolymen för tall 6-10 m³sk/ha mellan den subjektiva inventeringen och objektiva inventeringen medan genomsnittsvolymen i andra fall (projekt 2) kan ligga ca 35 m³sk/ha för högt. Förklaringarna till detta kan vara flera:

Bristande ajourhållning

En av huvudförklaringarna till de stora felen i tallvolym och tallandel är sannolikt utebliven ajourhållning av skogskötselåtgärder som gallringar. Problemet är bara att förklara varför de skulle få så kraftiga effekter på tallandelen. En möjlig förklaring är att förväxande exemplar vilka ofta håller lägre kvalitet tas ut i gallringar för att gynna klenare stammar av bättre kvalitet. Denna gallringsform är relativt vanlig och kallas vanligen för *fri gallring* eftersom man inte inriktar sig på individer ur någon särskild diameterklass. Uttaget av förväxande tallstammar betyder också mycket för volymen eftersom de vanligen är större än medelstammen.

Önsketänkande – psykologiska förklaringar

En hypotes är att den subjektiva förrättningsmannen styrs av något slags önsketänkande. Tall har länge ansetts vara ett "bättre" trädslag än gran och löv (läs björk) och det kanske känns bättre att avrunda skattningarna till förmån för ett sådant trädslag?

Inom psykologin talar man ibland om "subjektiv perception", det vill säga att man ser lättare saker man vill se än sådana man inte gillar. En skogsman som genom en gedigen utbildning under lång tid skolats att utsyna barrbestånd och leta kvalitetsstockar för utstämpling kommer säkert lätt att uppleva att det finns mer tall än

det faktiskt gör. Resonemanget gäller även om högkvalitativa tallstammar saknas eftersom själva tankeprocessen i vilken en sämre stam förkastas räcker för att skapa ett minne av tallförekomst.

Förrättningsmannens trädslagspreferenser påverkar sannolikt också hans rörelser i avdelningen under datainsamlingen – upptäcks på håll ett vad som förmodas vara en grupp högkvalitativa tallstammar, är det sannolikt att förrättningsmannen går bort till gruppen för att kontrollera om stammarna höll den kvalitet han först förmodade, och när han väl är där kanske han till och med passar på att göra lite stödmätningar för sin datainsamling...

Felaktig inventeringsteknik – ”lågskofenomen”

Om det upplevs som onödigt att riskera att blöta ner kängor kanske förrättningsmannen undviker att kontrollera hur mycket al, björk eller gran det växer i kärr eller längst med ett surdrog. Eftersom han i så fall försöker uppskatta volymen av vad som växer där utan att säkert veta påverkas sannolikt uppgiften, det vill säga hans gissning, av vad som han nyss sett – en trädslagsfördelning som är representativ för mindre fuktiga växtplatser.

Framskrivningsfel

Man kan tänka sig en typ av fel som beror på framskrivningen av beståndsuppgifter som till exempel diameter, höjd och volym. Flera olika funktioner finns idag att tillämpa beroende på vilka bestånds- och trädegenskaper som är skattade och vilken typ av prognoser man vill göra. Funktionerna bygger på olika dataunderlag och ger viss variation i tillväxtprognoser. Flera av funktionerna finns dessutom i olika versioner beroende på vilken del av landet de är tänkta att tillämpas på.

Det är inte helt enkelt att ange en generell funktion för framskrivning av skogliga data och i det här arbetet räcker det att konstatera att uppräkningsmodellen kan ske enligt olika modeller och dessa sannolikt stämmer mer eller mindre bra överens med verkligheten. Registerdatas kvalitet beror med andra ord till viss del på valet av framskrivningsmodell, i varje fall i de situationer då data skrivits upp i 10-20 år utan fältkontroll.

För vidare läsning om prognostisering av beståndsutveckling se till exempel Ekö & Agestam (1985) och Söderberg (1986).

Granunderskattning förvärrar tallöverskattningen

Alla projekt utom nummer 4 och markägare B i projekt 1 uppvisade mer eller mindre stora underskattningar av granvolymen. Detta gör att överskattningen av tallandel blir kraftigare än den skulle blivit om granvolymerna skattats utan systematiskt fel eftersom totalvolymen blir för låg.

Liksom för tallvolymsskattningarna kan man tänka sig flera förklaringar till underskattningen av granvolymerna.

Eventuellt kan underskattningen vara kopplad till arbetsmetodiken vid den subjektiva inventeringen. Sannolikt bestämmer förrättningsmannen totalvolymen före trädslagsfördelningen då den förra upplevs som den "primära" variabeln. Efter totalvolymsskattningen skattas tallandel, vilken tenderar att överskattas, och återstående andelar fördelas mellan gran och löv, som då underskattas.

Framskrivningsfel orsakade av för svaga tillväxtfunktioner är en annan trolig förklaring till granunderskattningen.

Effekter av angivelse av trädslagsfördelning i tiondelar

Variabler kan delas i diskreta och kontinuerliga. Lite förenklat kan man säga att en variabel som delas in i tydliga steg är av diskret karaktär medan en variabel som kan anges med vilket tal som helst, oberoende av steglängd, räknas som kontinuerlig.

Som tidigare framgått i det här arbetet anges ofta trädslagsfördelningen i tiondelar eller i jämna tiotals procent, och är följaktligen utpräglad diskret. Anledningen till att skattningen inte anges noggrannare är helt enkelt att den subjektiva metoden inte ger belägg för ytterligare precisering. Den objektiva taxeringen ger emellertid bättre precision och man vågar därför presentera resultatet i hundradelar (procent). Detta skall dock på intet sätt förväxlas med matematikens "gällande siffror" vilket innebär att antalet siffror garanterar en viss noggrannhet. En skattning som presenteras som procenttal behöver ju ingalunda vara mer korrekt än en annan vilken endast presenteras som tiondelar. I det enskilda fallet gäller detta naturligtvis oavsett skattningsform, även om noggrannheten generellt är bättre i en objektiv IP inventering än i en subjektiv inventering med endast ett fåtal stödmätningar.

Nackdelen med en kraftigt diskret variabel som trädslagsfördelning är förstås att små inslag av en variabel, till exempel löv, "försvinner". Vid den subjektiva data-insamlingen upplever man helt enkelt att lövinslaget "inte räcker" för att nå upp till en tiondel av virkesförrådet. Man är dock i många fall medveten om att det finns ett visst lövinslag, men ser det inte som tillräckligt för att anteckna i många fall. Den här bristen i de subjektiva inventeringarna syns i vektordiagrammen, tydligast för projekt 3 i figur 3.6.

4.4 Går det att kalibrera trädslagsfördelningen?

Utan tvekan är det möjligt att genom ett objektivet stickprov kalibrera och förbättra trädslagsfördelningen för ett registermaterial.

Vid en eventuell kalibrering bör man vara medveten om att precisionen och noggrannheten i prediktionerna beror på flera faktorer:

Kvaliten i de subjektiva skattningarna.

Ett dåligt register går att förbättra, men sällan att få riktigt bra. Ju större slumpfelen är i registret desto svårare blir det att kalibrera och ju större medelvärdesdragning leder kalibreringen till. Orsaken till detta är att slumpfelen kan ses som mätfel i den oberoende variabeln, se Bondesson (1990).

Stickprovsstorlek

Ett stort stickprov kommer att ge en bättre bild av hela registret och därmed öka sannolikheten för en användbar kalibreringsfunktion.

Regressionsfunktionernas konstruktion

Som tidigare påpekats handlar regression om att finna samband mellan förklarande och påverkade variabler. I en del fall kan kvoter och produkter mellan förklarande variabler vara användbara. Dessa går delvis att finna genom ämneslogiska resonemang. Logiken vid kalibrering är bestämd av hur systematiska fel uppträder, och kan ofta vara svår att inse. Kvaliteten i prediktionerna är med andra ord beroende bland annat av vilka förklarande variabler som används i regressionen. Detta särskilt svårt när kraftig multikollinearitet⁵ föreligger som i variabeln trädslagsfördelning.

Den objektiva inventeringens precision

Eftersom den objektiva inventeringens skattning används som sant värde är det önskvärt att slumpfelen i den är så små som möjligt. Även den objektiva inventeringen kan utföras på flera sätt, vilket kan avläsas i precisionen av skattningarna av beståndsvärdena.

Om de predicerade trädslagsfördelningarna visar sig var jämförbara, eller endast marginellt bättre, är det sannolikt bättre att lämna registervärdena okalibrerade istället för att justera dem.

4.5 Kalibrera permanent eller temporärt?

Frågan om huruvida man bör kalibrera ett register bara för tillfället eller permanent är svår att svara på. Även rent matematiskt är det svårt att motivera det ena framför det andra.

⁵ Multikollinearitet innebär att flera x -variabler samvarierar med y . Det blir då svårt att avgöra vilken av variablerna som bäst förklarar y .

Utan strikt matematisk motivering verkar man kunna ana att det i allmänhet inte är lönt att kalibrera ett register permanent. Några skäl till detta påstående är:

Uppdateras registret inte kontinuerligt är både det och alla kalibreringsförsök tämligen meningslösa (som vi till exempel sett i projekt 2)

Ska ett register permanentkalibreras ska rimligen alla variabler i registret kalibreras samtidigt. Detta kan vara ett onödigt omfattande arbete om man endast för tillfället behöver variabeln trädslagsfördelning för att hitta lövdominerade bestånd.

Man kan vilja använda objektiva data från inventeringar som gjorts vid något olika tidpunkter (under några år). Då är det bättre att kalibrera med hela det objektiva materialet mot framskrivna registervärden än att göra successiva kalibreringar på det redan kalibrerade registret. Observera här dock att om hela det objektiva materialet ska användas för en enda kalibrering måste man jämföra med registervärdena vid tidpunkten för de objektiva inventeringarna (man måste spara gamla registervärden).

Det förefaller alltså vara klokast att behålla registervärden, uppdaterade och även ibland äldre, och kalibrera för tillfället när det behövs.

4.6 Kopplingar mellan trädslagsfördelning och andra variabler

Felen i trädslagsfördelning har studerats och eventuella korrelationer med andra variabler har undersökts.

I projekt 4 noteras tydliga avvikelser i variabeln trädslagsfördelning vid låga beståndsåldrar, se figur 3.8. Det förefaller dock troligt att detta är en effekt av bildtolkningen, det vill säga ett metodfel, och hamnar därför lite vid sidan av det här arbetet. För de "vanliga" projektmaterialen har korrelationer med ålder endast funnits i projekt 2 varför bestånd med en ålder av 50 år eller yngre skildes ut. Bestånden uppvisade inte fullt så stora fel i tallvolym som den ursprungliga gruppen, men av jämförbar kvalitet av gran- och lövvolym. Effekten kan även varit stokastisk eftersom den urskilda gruppen endast bestod av 10 avdelningar.

Vidare har eventuella kopplingar till avdelningsstorlek undersökts för att verifiera påståendet att data från stora avdelningar skattas med högre medelfel än små (Ståhl 1992). Inga korrelationer till avdelningsstorlek har kunnat bekräftas.

4.7 Heteroscedasticitet

Heteroscedasticitet innebär att variansen kring funktionen varierar beroende värdet på de förklarande variablerna. Detta upptäckts lättast genom residualstudier.

Om man ska vara riktigt strikt bör någon form av viktad regression användas för att skatta parametrarna i regressionsfunktionen om heteroscedasticitet föreligger. Vanligen multiplicerar man varje residual (i kvadrat) med dess inverterade varians,

för att på ett optimalt sätt ta hänsyn till heteroscedasticiteten. Detta brukar dock inte göra nämnvärd skillnad på funktionen. Dock är det viktigt att vara medveten om att tester (p-värden) inte är korrekta. Den skattade funktionen är dock väntevärdesriktig även utan viktning.

Rent intuitivt kan man även föreställa sig att heteroscedasticitet borde föreligga i de flesta subjektiva skattningar av trädslagsfördelningen: Om ett bestånd innehåller 90% tall och 10% löv är det rimligt att antaga att en relativt god skattning kan göras. Men förmodligen är det svårare att subjektivt skatta trädslagsfördelningen om man står i ett bestånd med 50% tall och 50% löv till exempel.

Inga stöd för hypotesen att skattningarna av trädslagsfördelning skulle vara heteroscedastisk har kunnat påvisas. Vid arbetets start förmodades heteroscedasticitet föreligga. Flera försök att finna dessa samband har gjorts, dock utan framgång.

4.8 Problem vid regressioner på små material

Från början gjordes regressioner på projektmaterialen, men då de är relativt små uppstod en rad problem. I små material inser man lätt att slump kan få stor betydelse och leda till s.k. överanpassning. Exempel kan vara om slumpen gjort att en viss typ av avdelningar "råkat" få en viss typ av felaktiga registeruppgifter så finns en uppenbar risk att funktionen anpassar sig till någon speciell egenhet hos avdelningen. Detta går dock i viss mån att skydda sig mot genom till exempel korsvalidering. Vidare finns alltid risken att ett litet material inte innehåller tillräckligt "olika" avdelningar för att man ska få en stabil funktion – finns det bara 10 avdelningar med lövinslag så är det svårt att skatta en stabil funktion. Detta blir extra tydligt om alla avdelningar enligt registrets subjektiva skattning innehåller antingen exakt 0 eller 10% löv eller om subjektiva och objektiva data har låg korrelation.

5 REFERENSER

Bexell, O. et al. 1999. En analys av skogstillståndet samt några alternativa avverkningsberäkningar för Östads säteri. Institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik, Arbetsrapport 58, 68 sidor. ISSN 1401-1204.

Bondesson, L. 1990. Regressionsanalysens grunder. Institutionen för biometri och skogsindelning, Kompendium 98 sidor. ISBN 91-576-4240-0

Chuan-Zhong, L. & Ranney, B. 1992. The Precision of the Estimated Forest Data from the National Forest Survey 1983-1987. Institutionen för skogstaxering. 54 sidor. ISSN 0348-0496.

Ekö, P-M. & Agestam, E. 1985. Prognoshjälpmedel för tillväxt och produktion. – Skogsskötsel i södra Sverige. Skogsvetenskapliga fakulteten, Skogsfakta, Konferens nr 7, sid 98-104. ISSN 0282-7360

Eriksson, L. 1990. Kvalitet i data och åtgärdsförslag i våra skogsbruksplaner. Sveriges lantbruksuniversitet, SIMS. Rapport 11. ISSN 0284-379X.

Jacobsson, J. & Jonsson, B. 1989. Indelningspaketet – erfarenheter från tillämpningar. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 1 – 89, sid 3 - 29. ISSN 0039-3150.

Norell, L. et al. 1987. Skogsinventering vid likvidvärdering. Lantmäteriet. 65 sidor. ISSN 0280-5731.

Skogsordlista 1994. Tekniska Nomenklaturcentralen och Sveriges Skogsvårdsförbund. 518 sidor. ISSN 0081-573X

Ståhl, G. 1992. En studie av kvalitet i skogliga avdelningsdata som insamlats med subjektiva inventeringsmetoder. SLU, Avdelningen för skogsuppskattning och skogsindelning, Rapport 24, 128 sidor. ISSN 0349-2133.

Sundberg, R. 1999. Multivariate Calibration – Direct and Indirect Regression Methodology. Scandinavian Journal of Statistics. Vol 26: 161-207. ISSN 0303-6898.

Söderberg, U. 1986. Funktioner för skogliga produktionsprognoser. SLU, Avdelningen för skogsuppskattning och skogsindelning, Rapport 14, 251 sidor. ISSN 0349-2133.

BILAGOR

Bilaga 1: Tolkning av vektordiagram

Trots att trädslagsfördelningen utgörs av tre komponenter är det möjligt att beskriva varje kombination i ett tvådimensionellt diagram. Förklaringen är att summan av variablerna är 100%, och det därför egentligen blir mer korrekt att betrakta trädslagsfördelningen som två variabler och en "rest" eftersom den tredje variabeln lätt bestäms om de två övriga är kända.

Eftersom varje beståndssammansättning kan markeras i ett diagram föddes idén att studera avvikelser mellan den subjektiva registerskattningen och den objektiva taxeringen som vektorer mellan de punkter som motsvaras i diagrammet av respektive inventering. Efter en transformering omvandlades den procentuella trädslagsfördelningen till koordinater vilka sedan ritades in i diagram av ett Visual Basic makro.

För att på enklast möjliga sätt förklara hur diagrammen tolkas utgår man enklast från triangelns hörn, vilka motsvarar trädslagsrena bestånd. Det nedre vänstra hörnet motsvarar 100% tall, det nedre högra 100% löv och det övre hörnet 100% gran. Mittpunkten motsvarar följaktligen lika andelar av de tre trädslagen.

För att lättare kunna avläsa värden för en viss punkt har diagrammet försetts med grå skallinjer. Bortsett från de tre linjerna vilka sammanstrålar i mittpunkten, markerar linjerna jämna tiotals procentenheter.

Rutin för att bestämma värdet av en punkt:

1. Bestäm andel av dominerande trädslag - I vilken av de tre sektorerna som sammanstrålar i centrum ligger beståndet? Bestäm andel genom att räkna ner från 100% med stöd av skallinjerna.
2. Bestäm det trädslag som har minst andel – Hur många procentenheter är det till närmaste kant?
3. Det återstående trädslaget bestäms sedan lättast som återstoden.

Det är förvånande hur noggranna avläsningar som kan göras med ovanstående rutin, felavläsningarna blir sällan större än 1-2 procentenheter.

I diagrammen finns två typer av symboler, kvadrater och trianglar. Kvadraterna markerar läget för den subjektiva inventeringens skattning av trädslagsfördelningen och triangeln markerar den objektiva taxeringens resultat.

Tolkningen av vektorerna mellan punkterna blir därför intressant ur två aspekter: längderna på vektorerna beskriver avvikelsernas storlek och eventuellt förhärskande riktning indikerar förekomst och arten av systematiskt fel.

Redan efter en inledande plot av data i vektordiagrammet ser man vilka förutsättningar kalibreringen har att lyckas: Återfinns vektorerna tillsynes spridda slumpmässigt, som ett plockepinn, kommer kalibreringen att lyckas sämre än om alla vektorer faller åt ungefär samma håll. Detta kan ses vid en studie av figurena 3.4 och 3.6, vektordiagrammen till projekt 2 respektive 3.

Bilaga 2: Varför redovisas volymer istället för andelar?

Då arbetet handlar om skattningen av variabeln trädslagsfördelning kan det eventuellt tyckas egendomligt att volymerna redovisas trädslagsvis i varje projekt och inte andelar. Bakgrunden är att ett fel i volymsskattningarna inte sprider sig till de andra trädslagen som i fallet med andelar.

I tabell 4.1 demonstreras ovanstående fel. Av tabellen framgår att bildtolkningen i snitt funnit 41,6% gran. Vid den objektiva taxeringen i fält visar det sig att granandelen istället var 43,6% i snitt på de inventerade 650 avdelningarna. Det är då lätt att dra en felaktiga slutsatsen att förekomsten av gran underskattats vid bildtolkningen. Tittar man noggrannare finner man dock att granvolymen var mindre i snitt ($90,1 \text{ m}^3/\text{sk/ha}$) vid den objektiva inventeringen än vid den subjektiva. ($92,7 \text{ m}^3/\text{sk/ha}$).

Förklaringen är den stora subjektiva överskattningen av tallandel som gör att totalförrådet blir för högt. När sedan totalvolymen justeras kommer den lägre granvolymen att motsvara en högre andel eftersom totalförrådet förändrats.

Tabell 4.1. Genomsnitt för volym respektive andel trädslagsvis skattat vid bildtolkning och markkontroll, projekt 4 ($n = 650$).

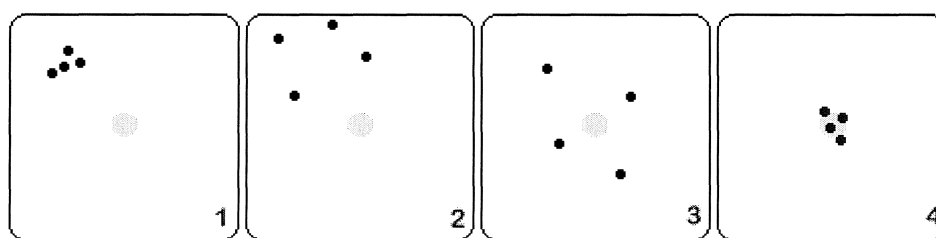
	Tall	Gran	Löv	Total
Bildtolkad volym	118,8	92,7	11,2	222,7
Bildtolkad andel	53,3	41,6	5,0	
Markkontroll, volym	103,3	90,1	13,3	206,7
Markkontroll, andel	50,0	43,6	6,4	
Diff (Mark – Bild), volym	-15,5	-2,6	2,1	-16,0
Diff (Mark – Bild), andel	-3,4	2,0	1,4	

Att volymer föredragits beror alltså på att de ger mer lättolkad information än andelarna eftersom man inte behöver ta hänsyn till hur de andra skattningarna förändrat totalvolymen.

Bilaga 3: Skillnaden mellan precision och noggrannhet

In dagligt tal används ”precision” och ”noggrannhet” synonymt, men i statistiska sammanhang representerar de två olika egenskaper. *Precision* refererar till fördelningen av en skattning kring skattningens egna väntevärde av en variabel medan *noggrannhet* refererar till fördelningen av skattningen kring variabelns sanna värde.

Förhållandet mellan precision och noggrannhet illustreras med träffbilder på en måltavla i figur 4.2.



Figur 4.2. Framställning av begreppen precision och noggrannhet.

1. God precision, dålig noggrannhet
2. Dålig precision, dålig noggrannhet
3. Dålig precision, god noggrannhet
4. God precision, god noggrannhet

Bilaga 4: Synonymer och ordval

I det här arbetet används ibland olika ord för samma sak. Exempel på detta är *stickprov* och *sampel* som i båda fallen beskriver en viss delmängd (av till exempel skogsbestånd) som dragits, antingen subjektivt eller objektivt, ur en population av individer.

Avdelning och *bestånd* används i dagligt tal ofta relativt synonymt. Skogsordlistan (1994) ger emellertid följande definition:

Avdelning: avgränsat område, ägofigur på skogskarta som karakteriseras av viss enhetlighet med avseende på skogliga faktorer

Bestånd: träd eller skogsplantor som växer inom en viss areal och karakteriseras av viss enhetlighet beträffande ålder, trädslagsblandning mm

Utgår man från definitionerna framgår det att avdelning främst avser området och bestånd i första hand det som växer där, det vill säga i det här fallet träden. I det här arbetet har distinktion gjorts på begreppen och orden har använts med skogsordlistans innebörd.

Bilaga 5: Variabelförteckning

Här förklaras de variabler som använts i kalibreringsfunktionerna.

Prefixet "REG" eller "TAX" anger om variabelns värde är hämtat ur beståndsregistret eller om det är skattat vid den objektiva inventeringen. Bildtolkade variabler från projekt 4 har prefixet "L" för att markera att de är skattade med en annan metod än de övriga.

När det gäller variabeln REG_STRATUM, kan det tyckas onödigt att påpeka att variabeln är av registerkaraktär, men det görs ändå för att undvika förvirring.

Variabel	Förklaring	Sort
REG_TP	Tallandel	%
REG_GP	Granandel	%
REG_LP	Lövandel	%
L_TP	Tallandel	%
L_GP	Granandel	%
L_LP	Lövandel	%
REG_TVOL	Tallvolym	m ³ sk / ha
REG_GVOL	Granvolym	m ³ sk / ha
REG_LVOL	Lövvolum	m ³ sk / ha
REG_SQGVOL	Kvadrerad granvolym	(m ³ sk / ha) ²
REG_VOLHA	Totalvolym	m ³ sk / ha
REG_TILLV	Tillväxt	m ³ sk / ha*år
REG_SI	Ståndortsindex	m / 100 år
REG_ALD	Ålder	År
L_ALD	Ålder	År
REG_SI*ALD	Produkten: Ståndortsindex*Ålder	(m / 100 år)*år
REG_STRATUM	Stratumklass	Dimensionslös
L_GYTA	Grundyta	m ² / ha
L_HOJD	Trädhöjd	M
L_VOLHA	Totalvolym	m ³ sk / ha
REG_InTG	Tallandel / Granandel	Dimensionslös
REG_InLG	Lövandel / Granandel	Dimensionslös
L_InTG	Tallandel / Granandel	Dimensionslös
L_InLG	Lövandel / Granandel	Dimensionslös
TAX_TVOL	Tallvolym	m ³ sk / ha
TAX_GVOL	Granvolym	m ³ sk / ha
TAX_LVOL	Lövvolum	m ³ sk / ha
TAX_InTG	Tallandel / Granandel	Dimensionslös
TAX_InLG	Lövandel / Granandel	Dimensionslös

Bilaga 6: Makro för konstruktion av vektordiagram

Här presenteras det visual basic makro som använts i MS Excel vid konstruktionen av vektordiagrammen.

Före trädslagsfördelningarna plottas av nedanstående makro måste de transformeras. Om trädslagsandelarna finns i procent och trädslagsfördelningarna önskas enligt bilaga 1 gäller:

$X\text{-koordinat} = 100 - \text{Tallandel} - (\text{Granandel} / 2)$

$Y\text{-koordinat} = (\text{Granandel} * \sqrt{3}) / 2$

Dessa värden bestäms för båda inventeringarna varefter registertaxeringen plottas i ett XY-plot diagram. Diagrammet måste sedan vara aktivt när makrot startas.

Makrot nedan kommer att söka efter följande koordinat i följande kolumner:

Koordinat	Beteckning i makro	Beteckning i Excel
Register Y	C9	I
Register X	C10	J
Objektiv Y	C11	K
Objektiv X	C12	L

Finns datat på annan plats ändras bara referenserna C9-C12 i makrot.

Följande måste värden måste bestämmas i nedanstående makro:

i: Antal serier (vektorer) som ska plottas (i makrot satt till "50")

Arknamn: Skriv arkets namn här (i makrot satt till "Arknamn")

VB-kod till makro:

```
Sub trslgbl_ordinal()  
,  
' trslgbl_ordinal Macro  
' Macro recorded 2000-03-23 by e5lun  
,  
  
Dim i As Integer  
  
For i = 1 To 50  
    ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries  
    ActiveChart.SeriesCollection(i).XValues = "=(Arknamn!R" & CStr(i + 1) &  
"C10,Arknamn!R" & CStr(i + 1) & "C12)"  
    ActiveChart.SeriesCollection(i).Values = "=(Arknamn!R" & CStr(i + 1) &  
"C9,Arknamn!R" & CStr(i + 1) & "C11)"  
    ActiveChart.Legend.Select  
    ActiveChart.Legend.LegendEntries(i).LegendKey.Select  
    With Selection.Border  
        .ColorIndex = 1
```

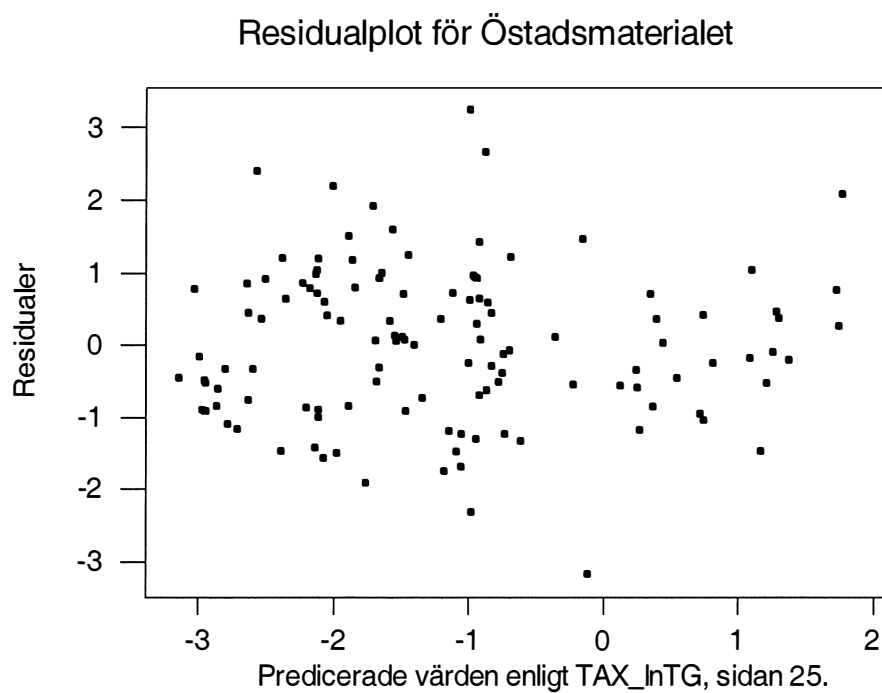


```

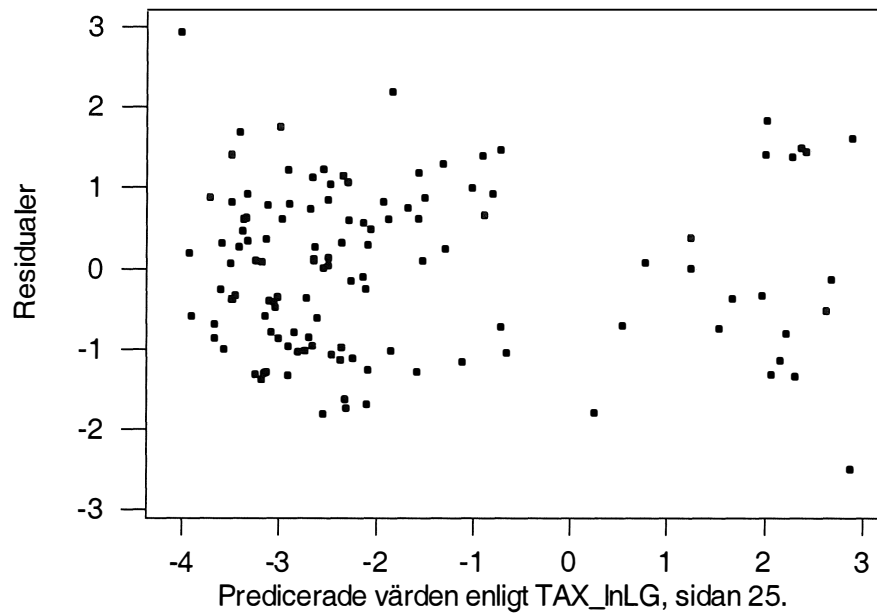
.Weight = xlThin
.LineStyle = xlContinuous
End With
With Selection
.MarkerBackgroundColorIndex = 1
.MarkerForegroundColorIndex = 1
.MarkerStyle = xlTriangle
.Smooth = True
.MarkerSize = 2
.Shadow = False
End With
Next i
End Sub

```

Bilaga 7: Residualplottar från Östadsmaterialet



Residualplot för Östadsmaterialiet



Serien Arbetsrapporter utges i första hand för institutionens eget behov av viss dokumentation. Rapporterna är indelade i följande grupper: Riksskogstaxeringen, Planering och inventering, Biometri, Fjärranalys, Kompendier och undervisningsmaterial, Examensarbeten samt internationellt. Författarna svarar själva för rapporternas vetenskapliga innehåll.

Riksskogstaxeringen:

- 1995 1 Kempe, G. Hjälpmedel för bestämning av slutenhet i plant- och ungskog. ISRN SLU-SRG-AR--1--SE
- 2 Riksskogstaxeringen och Ståndortskarteringen vid regional miljöövervakning. - metoder för att förbättra upplösningen vid inventering i skogliga avrinningsområden. ISRN SLU-SRG-AR--2--SE.
- 1997 23 Lundström, A., Nilsson, P. & Ståhl, G. Certifieringens konsekvenser för möjliga uttag av industri- och energived. - En pilotstudie. ISRN SLU-SRG-AR--23--SE.
- 24 Fridman, J. & Walheim, M. Död ved i Sverige. - Statistik från Riksskogstaxeringen. ISRN SLU-SRG-AR--24--SE.
- 1998 30 Fridman, J. & Kihlblom, D. & Söderberg, U. Förslag till miljöindexsystem för naturtypen skog. ISRN SLU-SRG-AR--30--SE.
- 34 Löfgren, P. Skogsmark, samt träd- och buskmark inom fjällområdet. En skattning av arealer enligt internationella ägoslagsdefinitioner. ISRN SLU-SRG-AR--34--SE.
- 37 Odell, G. & Ståhl, G. Vegetationsförändringar i svensk skogsmark mellan 1980- och 90-talet. -En studie grundad på Ståndortskarteringen. ISRN SLU-SRG-AR--37--SE.
- 38 Lind, T. Quantifying the area of edge zones in Swedish forest to assess the impact of nature conservation on timber yields. ISRN SLU-SRG-AR--38--SE.
- 1999 50 Ståhl, G., Walheim, M. & Löfgren, P. Fjällinventering. - En utredning av innehåll och design. ISRN SLU-SRG--AR--50--SE.
- 52 Riksskogstaxeringen inför 2000-talet. - Utredningar avseende innehåll och omfattning i en framtida Riksskogstaxering. Redaktörer: Jonas Fridman & Göran Ståhl. ISRN SLU-SRG-AR--52--SE.
- 54 Fridman, J. m.fl. Sveriges skogsmarksarealer enligt internationella ägoslagsdefinitioner. ISRN SLU-SRG-AR--54--SE.
- 56 Nilsson, P. & Gustafsson, K. Skogsskötseln vid 90-talets mitt - läge och trender. ISRN SLU-SRG-AR--56--SE.
- 57 Nilsson, P. & Söderberg, U. Trender i svensk skogsskötsel - en intervjuundersökning. ISRN SLU-SRG-AR--57--SE.

- 1999 61 Broman, N & Christoffersson, J. Mätfel i provträdsvariabler och dess inverkan på precision och noggrannhet i volymskattningar. ISRN SLU-SRG-AR--61--SE.
- 2000 65 Hallsby, G m.fl. Metodik för skattning av lokala skogsbränsleresurser. ISRN SLU-SRG-AR--65--SE.

Planering och inventering:

- 1995 3 Holmgren, P. & Thuresson, T. Skoglig planering på amerikanska västkusten - intryck från en studieresa till Oregon, Washington och British Columbia 1-14 augusti 1995. ISRN SLU-SRG-AR--3--SE.
- 4 Ståhl, G. The Transect Relascope - An Instrument for the Quantification of Coarse Woody Debris. ISRN SLU-SRG-AR--4--SE
- 1996 15 van Kerkvoorde, M. A sequential approach in mathematical programming to include spatial aspects of biodiversity in long range forest management planning. ISRN SLU-SRG-AR--15--SE.
- 1997 18 Christoffersson, P. & Jonsson, P. Avdelningsfri inventering - tillvägagångssätt och tidsåtgång. ISRN SLU-SRG-AR--18--SE.
- 19 Ståhl, G., Ringvall, A. & Lämås, T. Guided transect sampling - An outline of the principle. ISRN SLU-SRGL-AR--19--SE.
- 25 Lämås, T. & Ståhl, G. Skattning av tillstånd och förändringar genom inventerings-simulering - En handledning till programpaketet "NVSIM". ISRN SLU-SRG-AR--25--SE.
- 26 Lämås, T. & Ståhl, G. Om dektering av förändringar av populationer i begränsade områden. ISRN SLU-SRG-AR--26--SE.
- 1999 59 Petersson, H. Biomassafunktioner för trädfraktioner av tall, gran och björk i Sverige. ISRN SLU-SRG-AR--59--SE.
- 63 Fridman, J., Löfstrand, R. & Roos, S. Stickprovsvis landskapsövervakning - En förstudie. ISRN SLU-SRG-AR--63--SE.
- 2000 68 Nyström, K. Funktioner för att skatta höjdtillväxten i ungskog. ISRN SLU-SRG-AR--68--SE.
- 70 Walheim, M. Metodutveckling för vegetationsövervakning i fjällen. ISRN SLU-SRG-AR--70--SE.

Biometri:

- 1997 22 Ali, Abdul Aziz. Describing Tree Size Diversity. ISRN SLU-SEG-AR--22--SE.

- 1999 64 Berhe, L. Spatial continuity in tree diameter distribution.
ISRN SLU-SRG-AR--64--SE

Fjärranalys:

- 1997 28 Hagner, O. Satellitfjärranalys för skogsföretag. ISRN SLU-SRG-AR--28--SE.
- 29 Hagner, O. Textur till flygbilder för skattning av beståndsegenskaper.
ISRN SLU-SRG-AR--29--SE.
- 1998 32 Dahlberg, U., Bergstedt, J. & Pettersson, A. Fältinstruktion för och erfarenheter från
vegetationsinventering i Abisko, sommaren 1997. ISRN SLU-SRG-AR--32--SE.
- 43 Wallerman, J. Brattåkerinventeringen. ISRN SLU-SRG-AR--28--SE.
- 1999 51 Holmgren, J., Wallerman, J. & Olsson, H. Plot - Level Stem Volume Estimation and
Tree Species Discrimination with Casi Remote Sensing.
ISRN SLU-SRG-AR--51--SE.
- 53 Reese, H. & Nilsson, M. Using Landsat TM and NFI data to estimate wood volume,
tree biomass and stand age in Dalarna. ISRN SLU-SRG-AR--53--SE.
- 2000 66 Löfstrand, R., Reese, H. & Olsson, H. Remote Sensing aided Monitoring of Non-
Timber Forest Resources - A literature survey. ISRN SLU-SRG-AR--66--SE.
- 69 Tingelöf, U & Nilsson, M. Kartering av hyggeskanter i pankromaötiska SPOT-bilder.
ISRN SLU-SRG-AR--69--SE.

Kompendier och undervisningsmaterial:

- 1996 14 Holm, S. & Thuresson, T. samt jägm.studenter kurs 92/96. En analys av skogsstill-
ståndet samt några alternativa avverkningsberäkningar för en del av Östads säteri.
ISRN SLU-SRG-AR--14--SE.
- 21 Holm, S. & Thuresson, T. samt jägm.studenter kurs 93/97. En analys av skogsstill-
ståndet samt några alternativa avverkningsberäkningar för en stor del av Östads
säteri. ISRN SLU-SRG-AR--21--SE.
- 1998 42 Holm, S. & Lämås, T. samt jägm.studenter kurs 93/97. An analysis of the state of the
forest and of some management alternatives for the Östad estate.
ISRN SLU-SRG-AR--42--SE.
- 1999 58 Holm, S. samt studenter vid Sveriges lantbruksuniversitet i samband med kurs i strate-
gisk och taktisk skoglig planering år 1998. En analys av skogsstillståndet samt några
alternativa avverknings beräkningar för Östads säteri. ISRN SLU-SRG-AR--58--SE.

Examensarbeten:

- 1995 5 Törnquist, K. Ekologisk landskapsplanering i svenskt skogsbruk - hur började det?. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--5--SE.
- 1996 6 Persson, S. & Segner, U. Aspekter kring datakvaliténs betydelse för den kortsiktiga planeringen. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--6--SE.
- 7 Henriksson, L. The thinning quotient - a relevant description of a thinning? Gallringskvot - en tillförlitlig beskrivning av en gallring? Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--7--SE.
- 8 Ranvald, C. Sortimentinriktad avverkning. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--8--SE.
- 9 Olofsson, C. Mångbruk i ett landskapsperspektiv - En fallstudie på MoDo Skog AB, Örnsköldsviks förvaltning. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--9--SE.
- 10 Andersson, H. Taper curve functions and quality estimation for Common Oak (*Quercus Robur* L.) in Sweden. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--10--SE.
- 11 Djurberg, H. Den skogliga informationens roll i ett kundanpassat virkesflöde. - En bakgrundsstudie samt simulering av inventeringsmetoders inverkan på noggrannhet i leveransprognoser till sågverk. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--11--SE.
- 12 Bredberg, J. Skattning av ålder och andra beståndsvariabler - en fallstudie baserad på MoDo:s indelningsrutiner. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--14--SE.
- 13 Gunnarsson, F. On the potential of Kriging for forest management planning. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--13--SE.
- 16 Tormalm, K. Implementering av FSC-certifiering av mindre enskilda markägares skogsbruk. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--16--SE.
- 1997 17 Engberg, M. Naturvärden i skog lämnad vid slutavverkning. - En inventering av upp till 35 år gamla föryngringsytor på Sundsvalls arbetsomsåde, SCA. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN-SLU-SRG-AR--17--SE.
- 20 Cedervind, J. GPS under krontak i skog. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--20--SE.
- 27 Karlsson, A. En studie av tre inventeringsmetoder i slutavverkningsbestånd. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--27--SE.

- 1998 31 Bendz, J. SÖDRAs gröna skogsbruksplaner. En uppföljning relaterad till SÖDRAs miljömål, FSC's kriterier och svensk skogspolitik. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--31--SE.
- 33 Jonsson, Ö. Trädskikt och ståndortsförhållanden i strandskog. - En studie av tre bäckar i Västerbotten. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--33--SE.
- 35 Claesson, S. Thinning response functions for single trees of Common oak (*Quercus Robur* L.) Examensarbete. ISRN SLU-SEG-AR--35--SE.
- 36 Lindskog, M. New legal minimum ages for final felling. Consequences and forest owner attitudes in the county of Västerbotten. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--36--SE.
- 40 Persson, M. Skogsmarksindelningen i gröna och blå kartan - en utvärdering med hjälp av riksskogstaxeringens provytor. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--40--SE.
- 41 Eriksson, F. Markbaserade sensorer för insamling av skogliga data - en förstudie. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--41--SE.
- 45 Gessler, C. Impedimentens potentiella betydelse för biologisk mångfald. - En studie av myr- och bergimpediment i ett skogslandskap i Västerbotten. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--45--SE.
- 46 Gustafsson, K. Långsiktsplanering med geografiska hänsyn - en studie på Bräcke arbetsområde, SCA Forest and Timber. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--46--SE.
- 47 Holmgren, J. Estimating Wood Volume and Basal Area in Forest Compartments by Combining Satellite Image Data with Field Data. Examensarbete i ämnet Fjärranalys. ISRN SLU-SRG-AR--47--SE.
- 49 Härdelin, S. Framtida förekomst och rumslig fördelning av gammal skog. - En fallstudie på ett landskap i Bräcke arbetsområde. Examensarbete SCA. ISRN SLU-SRG-AR--49--SE.
- 1999 55 Imamovic, D. Simuleringsstudie av produktionskonsekvenser med olika miljömål. Examensarbete för Skogsstyrelsen. ISRN SLU-SRG-AR--55--SE
- 2000 67 Jonsson, T. Differentiell GPS-mätning av punkter i skog. Point-accuracy for differential GPS under a forest canopy. ISRN SLU-SRG-AR--67--SE.
- 71 Lundberg, N. Kalibrering av den multivariata variabeln trädslagsfördelning. ISRN SLU-SRG-AR--71--SE. Examensarbete i biometri.

Internationellt:

- 1998 39 Sandewall, Ohlsson, B & Sandewall, R.K. People's options on forest land use - a research study of land use dynamics and socio-economic conditions in a historical perspective in the Upper Nam Nan Water Catchment Area, Lao PDR. ISRN SLU-SRG-AR--39--SE.
- 44 Sandewall, M., Ohlsson, B., Sandewall, R.K., Vo Chi Chung, Tran Thi Binh & Pham Quoc Hung. People's options on forest land use. Government plans and farmers intentions - a strategic dilemma. ISRN SLU-SRG-AR--44--SE.
- 48 Sengthong, B. Estimating Growing Stock and Allowable Cut in Lao PDR using Data from Land Use Maps and the National Forest Inventory (NFI). Master thesis. ISRN SLU-SRG-AR--48--SE.
- 1999 60 Inter-active and dynamic approaches on forest and land-use planning - proceedings from a training workshop in Vietnam and Lao PDR, April 12-30, 1999. Edited by Mats Sandewall ISRN SLU-SRG-AR--60--SE.