Fältdatasystem för skogliga fältförsök

Kjell Karlsson, Magnus Mossberg och Thomas Ulvcrona

Sveriges lantbruksuniversitet
Enheten för skoglig fältforskning Rapport 5

Swedish University of Agricultural Sciences
Unit for Field-based Forest Research Report 5 Umeå 2012

Fältdatasystem för skogliga fältförsök

Kjell Karlsson[1], Magnus Mossberg[2] & Thomas Ulvcrona[3]

[1]SLU, Enheten för skoglig fältforskning, 750 07 Uppsala

[2]SLU, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, 230 53 Alnarp

[3]SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, 901 83 Umeå

Foto: Kristina Ahnlund Ulvcrona. llustrationer: Författarna.

Denna serie rapporter utges av Enheten för skoglig fältforskning, Fakulteten för skogsvetenskap vid Sveriges lantbruksuniversitet, med början 2011. Serien publiceras endast elektroniskt.

This series of Reports is published by the Unit for Field-based Forest Research, Faculty of Forest Science at the Swedish University of Agricultural Sciences, starting in 2011. The reports are only published electronically.

Innehållsförteckning

Summary ... 7
Sammanfattning ... 7
Inledning ... 9
Det nya fältdatasystemet ... 9
- Försöksyta ... 9
- Fältdatorer ... 10
- Egenutvecklad programvara ... 10
- Databasen ... 10
- Statistikkort ... 10
- Webbsidan ... 11
- Arbetsgång vid revision av fältförsök ... 11
- Primärbearbetning av revisionsdata ... 11

Dataset för statistiska analyser ... 15
Möjliga förbättringar ... 15
Diskussion ... 16
- Val av volymfunktion ... 16
- Provträdsuttagning ... 16
- Skattning av löpande tillväxt ... 16
- Metodutveckling och rationaliseringar ... 16
- Andra volymuppskattningsmetoder än massalinjemetoden ... 17

Tack ... 18
Referenser ... 18

Bilagor

1. Databasdiagram
2. Statistikkort
3. Diameterklassfördelning
4. Flödesscheman
5. Volymfunktioner som används i fältdatasystemet 2012
6. Volymfunktioner som används endast i undantagsfall
7. Exempel på grafiska presentationer

Summary

This report describes a system for handling tree data on permanent sample plots, acquired in field-based forest research, using an Internet-accessible relational database and handheld, rugged computers in the field. The system was constructed to meet several requirements, *inter alia* to provide a safe store for permanent sample plot data that can be easily accessed anywhere at any time with no need of an administrator on duty, and to provide support for tree assessments of permanent sample plots, statistical reports and datasets for statistical analyses. The system includes customized software that can be run in handheld rugged computers when assessing permanent sample plots. This report includes a detailed description of how collected field data are processed and presented in different ways, to show the state and development of the forest on permanent sample plots.

Keywords: Database, Internet, forest production, silviculture, assessments.

Sammanfattning

Denna rapport beskriver ett Internet-baserat system anpassat för att hantera träd-data från skogliga fältförsök. Systemet har konstruerats för att uppfylla ett flertal krav. Systemet erbjuder säker långtidslagring av skogliga fältförsöksdata, tillgänglighet överallt och när som helst utan behov av jourhavande administratör, datorstöd vid revision av fältförsök, samt tillhandahåller sammanställningar av tillståndet på försöksytor vid olika revisioner (statistikkort) och digitala dataset för statistiska analyser. I systemet ingår ett skräddarsytt datorprogram att användas i handdatorer för utomhusbruk vid revision av skogliga fältförsök. Rapporten inkluderar en detaljerad beskrivning av hur insamlad fältdata bearbetas för olika presentationer över skogstillståndet på skogliga försöksytor.

Nyckelord: Databas, Internet, skogsproduktion, skogsskötsel, revision.

Inledning

Många av de frågeställningar som skogforskningen ställs inför kan bara besvaras genom att anlägga och utvärdera långsiktiga fältexperiment. En stor del av den skogliga forskningen karaktäriseras således av att den kräver studier över lång tid och på stora arealer. De första skogliga fältexperimenten i Sverige anlades i början av 1900-talet och flera experiment från denna tid är fortfarande föremål för observationer. För närvarande (år 2012) finns aktiva skogsförsök i Sveriges lantbruksuniversitet:s (SLU) regi på över 1600 lokaler. De första långtidsförsöken som anlades i början av 1900-talet har över tiden haft hemvist i olika huvudorganisationer såsom Statens skogsförsöksanstalt, Statens skogsforskningsinstitut, Skogshögskolan och SLU och inom dessa organisationer också vandrat mellan olika ansvariga institutioner.

Fältförsöksdokumentation, fältdataregistreringar och beräkningsrutiner var fram till i mitten av 1960-talet helt och hållet baserad på pappersdokument och manuell primärbearbetning. Datorer började då användas för att rationalisera databearbetningen och fältdata stansades på hålkort för vidare bearbetning i dator. Nästa språng i utvecklingen mot dagens system kom i mitten av 1980-talet då fältdatorer började användas för att direkt i fält registrera fältdata digitalt och således komma bort från hålkortsstansningen. Fältdatorerna möjliggjorde också att registrerad data direkt vid inmatningen kunde testas för onormala värden bl.a. med hjälp av data från föregående revision. I och med att bruket av fältdatorer kom i gång upphörde således de handskrivna fältdataprotokollen som arkivdokument. I stället lagrades fältdata på magnetband, läsbara av den tidens datorer. Vid olika teknikbyten under åren därefter har digitalt lagrad data överförts till nästa generations datalagringsmedia (disketter, CD, DVD och central server).

Den långsiktiga aspekten är förknippad med skogliga fältexperiment och den ställer krav på kontinuitet vad gäller metoder för registrering och arkivering av data från fältexperimenten. Sättet att vidmakthålla fältförsöksdata måste således vara robust på olika sätt och några grundläggande krav kan listas:

- Fysiskt säker arkivering
- Klara omorganisationer och/eller byte av ansvariga befattningshavare
- Vidmakthållas på ett säkert sätt under perioder av minskat intresse för forskningsområdet
- Säkra data i samband med teknikbyte
- Tydlig och tillgänglig dokumentation

De närmaste åren före 2004 genomfördes omfattande omorganisationer av SLU:s institutionsstruktur och några institutioner med stor verksamhet kopplad till skogliga fältförsök splittrades eller blev nedlagda. Det var nödvändigt att finna en ny hemvist för dessa institutioners fältförsök. År 2004 bildades Enheten för skoglig fältforskning, vilken då fick ett övergripande ansvar för de av skogsfakulteten finansierade långsiktiga fältförsöken.

Olika institutioner inom Skogshögskolan/SLU utvecklade egna system för fältdatahanteringen. När Enheten för skoglig fältforskning bildades 2004 hade det dominerande systemet för fältdatahanteringen varit i bruk i nästan 20 år och var i starkt behov av modernisering. En angelägen uppgift var därför att utveckla ett nytt fältdatasystem som baseras på det tidigare. Eftersom Enhetens personal finns lokaliserad till SLU:s bemannade skogliga försöksparker (Tönnersjöheden, Asa, Siljansfors och Vindeln) så var det ett krav att systemets resurser skulle vara tillgängliga från valfri plats. Mer specifikt skulle följande krav tillgodoses:

- Tillgängligt från alla delar av landet
- Tillgodose en säker datalagring
- Alltid tillgängligt
- Inget behov av en jourhavande administratör
- Datorstöd vid anläggning och revision av försök
- Redovisning av primärbearbetad revisionsdata
- Tillhandahålla dataset för statistiska analyser

Ovanstående krav kunde tillgodoses genom att utnyttja en internet-baserad databashantering och genom att utveckla ett för fältdatorer skräddarsytt datorprogram för att användas vid revision av skogliga försöksytor i fält.

År 2010 togs det nya fältdatasystemet i bruk. Syftet med denna rapport är att ingående redogöra för detta systems struktur och funktion. Särskild vikt läggs vid att ge en detaljerad dokumentation av de beräkningsrutiner som används för att skatta försöksbeståndens volymer och löpande tillväxter, etc. Dokumentationen ska vara så utförlig att metoden i detalj kan återvinnas med hjälp av beskrivningen här. Mätrutinerna vid fältdatainsamling enligt den här metoden behandlas inte i denna rapport utan finns i en separat instruktion (Anon, 2003).

Det nya fältdatasystemet

Försöksyta

I det nya fältdatasystemet kan data hänföras till tre nivåer.

Den första nivån är området där försöksytan är belägen. Detta tilldelas en unik identitet (ytnummer). För försöksytan lagras information om när experimentet startades, markägaruppgifter, belägenhet (kommun eller socken, fastighet, latitud, longitud, altitud), kartkod, etc.

Nästa nivå är en försöksyteavdelning (parcell). En försöksyta kan bestå av en eller flera avdelningar. Varje avdelning tilldelas en unik identitet (avdelningsnummer). På avdelningsnivå lagras information om avdelningens areal, huvudträdslag, föryngringsmetod, beståndets födelseår, marklutning, vindexposition, etc. Avdelningen är en behandlingsenhet och arealen är i typfallet 0,1 ha.

Den tredje nivån är en avdelningsrevision. Träden på en avdelning mäts (revideras) i normalfallet vart 5-10 år och revisionerna får ett löpande ordningsnummer. Vanligtvis har alla träd en unik identitet, ett trädnummer, som möjliggör identifikation i fält. På samtliga numrerade träd mäts diametern genom korsklavning och trädslag, trädklass, behandlingskod och eventuella trädbeteckningar registreras (se anon. 2003 för beskrivning av dessa parametrar). Provträd utses enligt en särskild algoritm, för vilka även trädhöjd, grön krongränshöjd och dubbel barktjocklek i brösthöjd mäts. När det förkommer många småträd (brösthöjdsdiameter < 45 mm), vilka oftast är av mindre dignitet, får inmätningen förenklas. Småträden kan då mätas in i diameterklasser med 1 cm vidd i stället för att tilldela varje träd en egen unik identitet.

Fältdatorer

Fältdatorer har i kombination med egenutvecklad programvara sedan mitten av 1980-talet använts för att underlätta datafångsten i samband med revision av försöksytor. På marknaden finns nu några olika fabrikat av fältmässiga handdatorer att välja mellan. Eftersom den nu moderniserade programvaran för att användas vid revision av försöksytor är utvecklad för Window mobile operativsystem, är det ett krav att tilltänkta fältdatorer använder detta operativsystem. Merparten av de fabrikat som hittills kommit till användning har uppfyllt ställda krav på robusthet, tillförlitlighet, bildskärmskrav, tangentbordsfunktioner, batteriernas drifttid etc.

Egenutvecklad programvara

Eftersom det på marknaden inte finns någon generell ändamålsenlig programvara tillgänglig att användas i fältdatorerna vid revision av försöksytor så var det nödvändigt att i egen regi utveckla ny programvara skräddarsydd för uppgiften. Programvaran använder filformatet XML vid lagring och överföring av fältdata mellan handdator och databas. En avgörande omständighet för att välja detta filformat är att XML-filer är lätt läsbara för både maskin och människa och att de även i en överskådlig framtid kommer att vara läsbara. Fältdatasystemets struktur är utformad så att den egenutvecklade programvaran lätt kan bytas ut när den behöver anpassas till nya typer av fältdatorer utan att databasen eller rapportverktygen behöver ändras.

Följande grundläggande krav ställdes på fältdataprogrammet, baserat på erfarenheter från programvara som använts i tidigare fältdatasystem:

- Logisk testning av nyregistrerad data
- Kontroll av omöjliga kombinationer av data
- Kontroll att obligatorisk data finns
- Kontroll mot mätdata från närmast föregående revision
- Provträdsurval enligt en förutbestämd algoritm
- Hjälpfunktioner som stöd vid aktiv gallring
- Möjlighet att göra anteckningar om speciella observationer på trädnivå

Databasen

Kärnan i fältdatasystemet utgörs av en databas som fysiskt finns på en central server. Databasen är en relationsdatabas och informationen är lagrad och organiserad i olika tabeller som är strukturerade i enlighet med:

- Statisk information om en försöksyta
- Statisk information om en avdelning
- Statisk information om enskilda träd
- Information om en revision
- Revisionsdata på avdelningsnivå
- Revisionsdata om enskilda träd i stamräkning
- Revisionsdata om provträd
- Revisionsdata om onumrerade träd

Med statisk information förstås information som normalt inte förändras vid revision, men som kan behöva uppdateras i samband med densamma ifall någon oplanerad förändring har skett på avdelningen.

Databasens struktur i detalj framgår av organisationsschema i bilaga 1.

Statistikkort

Skogstillstånd och tillväxtuppgifter vid varje revision, liksom allmän information om försöket sammanställs i ett dokument som benämns statistikkort (Bilaga 2). Statistikkortet ger en samlad information om försöket som olika intressenter, t.ex. forskare, förrättningsmän och markvärdar kan ta del av. Den bearbetning som resulterar i ett statistikkort benämns *primärbearbetning*. Över tid har principen och metoden för beräkningarna alltid varit densamma och har inte ändrats vid skifte från handbearbetning till datorbearbetning och inte heller vid byte av datasystem. I primärbearbetningen ingår också att presentera revisionsdata i form av listor med diameterklassfördelningar (Bilaga 3). I dessa redovisas revisionsuppgifter om antal träd, medeldiameter, medelgrundyta och medelvolym inom 2 cm vida diameterklas-

ser. I det nya fältdatasystemet finns en modul för automatisk primärbearbetning av fältdata.

Webbsidan

Fältdatasystemets faciliteter nås via dess webbsida, http://www.slu.se/faltdata. Webbsidan är åtkomlig efter inloggning som kräver behörighet. Den mest grundläggande behörigheten är ett konto i SLU:s Active Directory. Beroende av användarens behörighet, kommer olika delar av systemet att vara tillgängliga. Följande rubriker med underliggande funktioner finns tillgängliga för personer med full behörighet:

Utdata
- Statistikkort
- Diameterklassfördelning
- Data till textfil (CSV-format)

Databasadministration
- Redigera avdelningsrevision
- Redigera avdelning
- Redigera yta
- Ny yta
- ID-ändringar

Fältdata
- Revisionsunderlag
- Ladda upp fil
- Uppladdade filer
- Verktyg

Funktionerna under rubriken ”Fältdata” ovan kommer till användning i samband med revision av en försöksyteavdelning. Dessa subrutiner är endast tillgängliga för personal med behörighet att administrera datainsamlingen i fält.

Arbetsgång vid revision av fältförsök

Tillgång till ändamålsenlig fältdator krävs. Första gången fältdatorn används för ändamålet måste fältdatorprogrammet för revision av fältförsök laddas hem. Detta görs via subrutinen *Verktyg*, där det finns en länk för att hämta fältdatorprogrammet. Fältdatorprogrammet kan behöva förnyas ifall en ny version finns att tillgå. Datum för den aktuella versionen visas jämte hämta-knappen.

Arbetsgången vid revision av fältförsök visas schematiskt i bilaga 4. Det första momentet vid revision av fältförsök, under förutsättning att den aktuella revisionen inte är den första (d.v.s. vid anläggning av ny avdelning), är att via hemsidan hämta data från databasen från avdelningens föregående revision. Detta görs via subrutinen *Revisionsunderlag*. Data från föregående revision erhålls i form av en XML-fil.

Mätningar av försöksträden utförs i enlighet med gällande instruktioner (se anon. 2003) och registreras i fältdatorn med hjälp av fältdatorprogrammet. När alla registreringar är utförda sparas data i en ny XML-fil.

Efterbearbetningen inleds med att XML-filen överförs till en persondator för att laddas upp till servern via subrutinen *Ladda upp fil* (bilaga 4). I samband med uppladdningen till servern kan ett preliminärt statistikkort produceras där den nya revisionen ingår. Detta används i första hand för att kontrollera att inga fel har uppstått vid fältdatainsamlingen.

Under subrutinen *Uppladdade filer* finns funktionerna *Ta bort, Visa statistikkort, Visa diameterklassfördelning* och *Till databasen*. *Ta bort* eliminerar aktuell revision från servern. *Visa statistikkort* och *Visa diameterklassfördelning* producerar preliminära statistikkort respektive diameterklassfördelningar. *Till databasen* utför import till databasen. Efter import till databasen har förrättningsmannen inte längre möjlighet att korrigera revisionsdata. När revisionsdata ändå i sällsynta fall behöver korrigeras så måste databasadministratören ingripa. Efter import till databasen är revisionen tillgänglig för subrutinerna *Revisionsunderlag*, *Statistikkort*, *Diameterklassfördelning* och *Redigera avdelningsrevision*.

Registrerade statiska uppgifter om försöksytan eller avdelningen måste kontrolleras och vid behov kompletteras eller uppdateras.

Primärbearbetning av revisionsdata

Vid beställning av statistikkort och diameterklassfördelningar utförs beräkningsarbetet utifrån insamlad och lagrad fältdata i form av brösthöjdsdiametrar på samtliga träd och träd- och krongränshöjder samt barktjocklekar på provträd.

För äldre revisioner vilka bearbetats för hand och således saknar digitaliserad data för stamräkningar och provträd, skrivs de tidigare lagrade handbearbetade resultaten ut direkt på statistikkortet. Revisionen är då märkt med texten ”Primärbearbetad”.

Sammanfattningsvis utförs trädslagsvis följande moment vid primärbearbetningen:

- Beräkning av stamantal ha^{-1}
- Beräkning av medeldiameter
- Beräkning av grundyta ha^{-1}
- Skattning av medelhöjd
- Skattning av stamvolym ha^{-1}
- Beräkning av gallringsuttag i procent
- Beräkning av totalproduktion
- Skattning av löpande tillväxt (medeldiameter, grundyta, volym)
- Skattning av övre höjd
- Skattning av ståndortsindex (SI)
- Skattning av parametrarna *a* och *b* för höjdkurvans ekvation

Skattning av övre höjd, parametrarna för höjdkurvans ekvation och SI fordrar underlag som inte alltid finns till hands. Vilka underlag som krävs redogörs

för under deras respektive avsnitt nedan. Närmast följer en redovisning av definitioner av använda begrepp samt en detaljerad genomgång av de olika moment som fordras som underlag för statistikkort och listor med diameterklassfördelningar.

I databasen finns uppgift om antal stammar (N) per trädslag och avdelning tillgänglig och vid utskrift på statistikkort av N ha^{-1} sker avrundning till närmaste heltal. När N ha^{-1} redovisas som en totalsumma, t.ex. vid flera trädslag, redovisas summan N ha^{-1} som ett korrekt avrundat heltal av summan, vilket inte alltid överensstämmer med summan av de redovisade delsummorna, trots att också de är korrekt avrundade heltal.

I fält korsklavas diametern i brösthöjd och två diametermått registreras (d_1 och d_2). I efterföljande beräkningar används den geometriska medeldiametern (d_{12}) och den beräknas enligt:

$$d_{12} = \sqrt{d_1 \times d_2}$$

Brösthöjdsgrundytan (g) beräknas enligt:

$$g = d_{12}^2 \pi / 4$$

Summa brösthöjdsgrundyta (g_s) redovisas trädslagsvis och totalt för kvarvarande och utgallrade träd beräknas enligt:

$$g_s = \sum g \quad \text{eller} \quad g_s = (\sum d_{12}^2)\pi / 4$$

Den metod som används i fältdatasystemet för att skatta stamvolymen på försöksytor har använts sedan slutet av 1930-talet, då volymfunktioner för enskilda träd blev tillgängliga.

Ett enskilt träds stamvolym kan skattas med tillämplig volymfunktion när de volymbestämmande trädkaraktärerna såsom brösthöjdsdiameter, trädhöjd, grön krongränshöjd och barktjocklek är kända. En förteckning och beskrivning av vilka volymfunktioner som används i fältdatasystemet ges i bilaga 5 (i undntagsfall används de som ges i bilaga 6). Uppsättningen av nödvändiga trädkaraktärer varierar bl.a. mellan olika trädslag, men brösthöjdsdiameter och trädhöjd är alltid ett krav. Diametern mäts på alla träd medan övriga nödvändiga volymbestämmande trädkaraktärer, för att spara tid och kostnader, bara mäts på provträd. Således behövs en metod som utnyttjar information från provträdens volymskattningar för att skatta volymen på de träd som bara mätts för diameter. Den metod som i fältdatasystemet används för att utnyttja provträdens volym för volymskattning av stamräkningsträden bygger på att det för träd föreligger ett närmast linjärt samband mellan brösthöjdsdiametern i kvadrat och dess stamvolym (Kopezky, 1899, Hummel, 1955). Nämnda samband brukar kallas massalinjen. Baserat på detta samband utarbetade Bertil Matérn, sedermera professor i skoglig matematisk statistik vid Skogshögskolan, detaljerna för den volymskattningsmetod som används för att skatta volymen på försöksytor. Metoden har hittills inte fått något specifikt namn men här lanseras nu *massalinjemetoden* som ett begrepp att använda när denna metod åsyftas. Sambandet mellan träds brösthöjdsdiameter i kvadrat och stamvolym är inte alltid perfekt linjärt men genom att utföra diameterklassvisa volymskattningar blir felet försumbart. Nedan följer en detaljerad beskrivning av de olika moment som genomgås vid skattning av stamvolym baserad på revisionsdata från en försöksyteavdelning.

Volymskattningen utförs diameterklassvis och separat för olika trädslag och kategorier. De olika kategorierna är:

- Kvarvarande numrerade träd (KvN)
- Utgallrade numrerade träd (UtN)
- Kvarvarande onumrerade träd (KvO)
- Utgallrade onumrerade träd (UtO)

Därutöver särredovisas torra träd som en delmängd av utgallrade numrerade träd.

Diameterklassvidden är 2 cm med klassmitt enligt 1,5 cm, 3,5 cm, 5,5 cm, o.s.v. Denna indelning, som är den ursprungliga, lämnar intervallet 0-0,49 cm utanför. Under 1980-talet infördes en ny klass för de riktigt små träden (0 - 0,49 cm) med klassmitt 0,25 cm. Anledningen till att klassmitt inte är ett heltal, vilket vore logiskt och praktiskt, beror på att onumrerade träd mäts i 1-cm-klasser med heltal som klassmitt och att den efterföljande volymbestämningen utförs för två sammanslagna 1-cm-klasser. Beräkningsoperationerna är som följer och de utförs trädslagsvis och kategorivis:

1. Provträdens volym (Vp) skattas med tillämplig volymfunktion och hänförs till sin 2-cm diameterklass inom vilken antalet träd ($\sum$Np), diameterkvadrater ($\sum$D2p), och volymer ($\sum$Vp) beräknas och ackumuleras.
2. När alla provträd behandlats enligt (1) beräknas trädslagsvis, diameterklassvis och kategorivis det aritmetiska medelvärdet av diameterkvadraterna och volymerna ($D2p_{mean}=\sum D2p/\sum Np$ respektive $Vp_{mean}=\sum Vp/\sum Np$).
3. Stamräkningsträdens diameterkvadrat (D2s) beräknas. De hänförs, i analogi med provträden, till sin diameterklass inom vilken antalet träd ($\sum$Ns) och diameterkvadrater ($\sum$D2s) ackumuleras.
4. När alla stamräkningsträd behandlats enligt (3) beräknas trädslagsvis, diameterklassvis och kategorivis det aritmetiska medelvärdet av diameterkvadraterna ($D2s_{mean}= \sum D2s/\sum Ns$).
5. Därefter beräknas volymen (Vs) för stamräkningsträden i en diameterklass ($Vs=\sum Ns \times Vp_{mean} \times D2s_{mean}/D2p_{mean}$).

Genom att summera Vs över trädslag, diameterklasser och kategorier och räkna om till hektarvärden, erhålls de skattningar av stamvolym som redovisas på statistikkorten.

I samband med vissa vetenskapliga bearbetningar uppstår behov av volymskattningar för de ingående enskilda träden. I analogi med punkt 5 ovan, kan ett enskilt träds volym (V_t) skattas enligt

$$V_t = Vp_{mean} \times d_{12}^2 / D2p_{mean}.$$

Metoden innebär att inom en 2-cm diameterklass skatta ett träd i taget i stället för att med hjälp av Ns och $D2s_{mean}$ skatta den totala volymen i klassen i ett enda moment, vilket var arbetsbesparande innan bearbetningen datoriserades. En summering av de enskilda volymskattningarna ger samma totalvolym som Vs enligt punkt 5. När data för enskilda träd beställs från databasen erhålls, utöver trädvisa fältregistreringar, även volym per träd, skattad enligt ovan beskrivna metod.

Den metod som används för att utse vilka träd som ska mätas som provträd lämnar ingen garanti för att det alltid finns provträd för aktuellt trädslag, diameterklass eller kategori, när volymen för stamräkningsträden skall bestämmas. Följande strategi används för att söka provträd för volymbestämning av stamräkningsträd:

1. Generellt gäller att i första hand välja provträd för samma trädslag, diameterklass och kategori som det/de stamräkningsträd som ska volymbestämmas. Saknas provträd i rätt diameterklass väljs de närmaste klasserna. När två klasser är lika nära väljs den med flest provträd och om två klasser då har lika många provträd väljs den övre klassen av de två.
2. När provträd finns för aktuellt trädslag men inte för rätt kategori görs försök att hitta provträd i övriga kategorier enligt turordning i tabell 1. När provträd hittats inom en annan kategori fortsätter sökningen enligt punkt 1 ovan.

   För trädslagen ask, avenbok, bok, ek och rödek görs vid volymbestämningen åtskillnad på A-, B- och C-stammar. A-stammar är stammar med genomgående stam, B- och C-stammar är klykstammar med klykor i rot- respektive mittsektionen. Skilda volymfunktioner används för de olika stamtyperna vid volymbestämningen av provträden (A-stammar har egen volymfunktion, B- och C-stammar har en gemensam volymfunktion). Vid volymbestämningen av stamräkningsträden för dessa trädslag tillkommer vid sökning av provträd, att när provträd saknas för A-stammar sökning görs bland provträden för trädslagets B- och C-stammar och vice versa.
3. För ett trädslag där provträd saknas helt och hållet och som har stamräkningsträd, utnyttjas provträd för det trädslag som inom aktuell kategori har flest provträd. Därutöver tillämpas sökvägar enligt punkt 1 och 2 ovan.
4. Torra träd volymbestäms i enlighet med kategorin utgallrade träd.

Tabell 1. Prioritetsordning vid utnyttjande av andra kategorier än den aktuella, vid volymsbestämning av stamräkningsträd när provträd saknas i den aktuella kategorin

Aktuell kategori för stamräkningsträd	Val av kategorier för provträd		
	Prio 1	Prio 2	Prio 3
KvN	UtN	KvO	UtO
UtN	KvN	UtO	KvO
KvO	UtO	KvN	UtN
UtO	KvO	UtN	KvN

Medeldiametern som redovisas på statistikkorten är grundytemedelstammens diameter (d_g). Den redovisas trädslagsvis och totalt för kvarvarande respektive utgallrade träd enligt

$$d_g = \sqrt{(\sum d_{12}^2)/N}$$

Alternativt kan d_g beräknas utifrån g_s enligt

$$d_g = \sqrt{(g_s / N)4/\pi}$$

Sambandet mellan diameter och höjd för tall beskrivs av Näslund (1936) enligt

$$H = \frac{D^p}{(a+bD)^p} + 1.3$$

där H är trädhöjden i m och D är trädets medeldiameter (=d_{12}) i cm. För värdet på *p* använde Näslund *p*=2 för tall och Petterson (1955) använde *p*=3 för gran. I fältdatasystemet används *p*=3 för samtliga *abies*- och *picea*-arter samt douglasgran, medan *p*=2 används för övriga trädslag. För att skatta parametrarna *a* och *b* utförs först tranformationen

$$z = \frac{d_{12}}{\sqrt[p]{H-1.3}}$$

Parametrarna *a* och *b* kan sedan skattas med linjär regression (z=*a*+*b*D) eller beräknas enligt

b=(zant × zdsum – dsum × zsum)/(zant × d2sum – $dsum^2$)

a=(zsum – *b* × dsum)/zant

där

zant = antal träd som ingår i beräkningarna

zsum = ∑z, d.v.s. summan av alla *z* som ingår

zdsum = ∑(z × d_{12})

dsum = $\sum d_{12}$

d2sum = $\sum d_{12}^2$

Skattning av parametrarna *a* och *b* i fältdatasystemet använder av precisionsskäl minst tre provträd med uppgift om diameter och höjd för respektive trädslag, diameterklass och kategori.

Trädhöjden (h) mäts på alla provträd. På statistikkorten redovisas grundytevägd medelhöjd (h_g), som beräknas enligt

$$h_g = \sum gh \Big/ \sum g$$

eller

$$h_g = (\sum d_{12}^2 h) \Big/ \sum d_{12}^2$$

På listan med diameterklassfördelningar redovisas medelhöjd (h_d) för diameterklasser med stamräkningsträd. Metoden för denna medelhöjdsberäkning varierar beroende på förutsättningarna.

1. När provträd finns för rätt trädslag, diameterklass och kategori används den aritmetiska medelhöjden för dessa provträd.
2. I andra hand utnyttjas den höjd som enligt höjdkurvan för aktuellt trädslag svarar mot medeldiametern i klassen.
3. Kan inte höjdkurvan för aktuellt trädslag och kategori användas görs försök att utnyttja höjdkurvan för det trädslag och den kategori som användes vid volymbestämningen av träden i klassen (se tabell 1).
4. När ingen av ovanstående metoder kan användas för att skatta medelhöjden (h_{ms}) för träden i en viss diameterklass, används en funktion

$$h_{ms} = \frac{d_{ms}^{1.63135} d_{ms}^{-0.370243} 0.414667502(h_{mp} - 1.3)}{(d_{mp}^{1.63135} d_{mp}^{-0.370243 \log d_{mp}} 0.414667502) + 1.3}$$

   där h_{mp} är medelhöjd i m för aktuell diameterklass provträd, d_{ms} är medeldiametern i cm för aktuell diameterklass stamräkning, d_{mp} är medeldiametern i cm för aktuell diameterklass provträd, h_{mp} och d_{mp} avser uppgifter från provträden i klassen som använts vid volymbestämningen. Logaritmen (log) avser 10-logaritmen. Funktionens ursprung är oklar (trolig upphovsman är Bertil Matérn). Förfaringssättet bygger på att den procentuella ökningen eller minskningen i höjd när man går från en diameterklass till en annan är densamma som för höjdkurvan.

Vid beräkning av den aritmetiska medeldiametern för de 100 grövsta träden ha^{-1} (D100), väljs träden ut oberoende av trädslag. Den aritmetiska medeldiametern räknas därefter ut trädslagsvis på dessa träd. D100 redovisas inte men används vid skattning av övre höjd.

Övre höjd (H100) för ett trädslag kan skattas när två förutsättningar är uppfyllda:

- Trädslaget är representerat bland de 100 grövsta träden ha^{-1}
- Parametrarna för höjdkurvan har kunnat skattas (se beskrivning av *höjdkurvemetoden*).

Övre höjd som anges på statistikkortet definieras som höjden enligt höjdkurvans ekvation för diametern D100.

Ståndortsindex (SI) kan skattas för trädslag för vilka det finns höjdutvecklingsfunktioner och när trädslagets H100 kan skattas. För närvarande finns höjdutvecklingsfunktioner för trädslagen tall (Hägglund, 1974), gran (Hägglund, 1972, 1973), björk (Erikson et.al., 1997), bok (Carbonnier, 1971), ek (Carbonnier, 1975) och contortatall (Hägglund & Remröd, 1977). För att skatta beståndets brösthöjdsålder eller totalålder krävs att den är känd och definierad (ej blädningsytor). Efter höggallring kan SI inte skattas på ett meningsfullt sätt. Således skattas inte SI för avdelningar som höggallrats.

Utgallrade träds procentuella andel av grundyta ($g\%_{gyt}$) och volym ($g\%_{vol}$) i avdelningen före gallring redovisas på statistikkortet både trädslagsvis och totalt. Andelarna beräknas enligt

$$g\%_{gyt} = [gyt_{ut}/(gyt_{kv} + gyt_{ut})] \times 100$$

$$g\%_{vol} = [vol_{ut}/(vol_{kv} + vol_{ut})] \times 100$$

där gyt_{ut}, vol_{ut}, gyt_{kv} och vol_{kv} är utgallrad och kvarvarande kvantitet för grundyta respektive volym.

Totalproduktion för grundyta (gyt_{tot}) och volym (vol_{tot}) redovisas på statistikkortet för varje revision, både trädslagsvis och totalt. Totalproduktionen beräknas enligt:

$$gyt_{tot} = gyttot_{fg} + gytkv_{nu} + gytut_{nu} - gytkv_{fg}$$

$$vol_{tot} = voltot_{fg} + volkv_{nu} + volut_{nu} - volkv_{fg}$$

där $gyttot_{fg}$ och $voltot_{fg}$ är totalproduktion för grundyta respektive volym vid föregående revision, $gytkv_{nu}$, $volkv_{nu}$, $gytut_{nu}$ och $volut_{nu}$ är utgallrad och kvarvarande kvantitet för grundyta respektive volym vid nuvarande (aktuell) revision och $gytkv_{fg}$ och $volkv_{fg}$ är den kvarvarande kvantiteten grundyta respektive volym vid föregående revision.

Vanligtvis saknas uppgifter om uttag, oftast röjningar, före försökets anläggning. Därför utgör redovisad totalproduktion ofta en underskattning av verklig totalproduktion.

Vid redovisning av totalproduktion ställer de onumrerade träden till problem, bl.a. därför att avgången genom självgallring förloras. Totalpro-

duktionen tenderar därför att bli underskattad även av denna orsak.

Årlig löpande tillväxt redovisas som absoluta tal för diameter, grundyta och volym samt även i procent för grundyta och volym, beräknad enligt ränta på ränta. Beräkningarna redovisas bara för kategorier med numrerade träd per trädslag och summan av dessa. Anledningen till att ingen beräkning av årlig löpande tillväxt utförs för de onumrerade träden beror på att det inte finns någon kontroll på inväxning och avgång av träd mellan revisioner. En redovisning av årliga löpande tillväxter för dessa kategorier blir därför inte meningsfull.

Årlig löpande tillväxt i absoluta tal (ÅLT) beräknas för medeldiameter, grundyta och volym med hjälp av respektive värde före gallring vid nuvarande revision (FG_n) och efter gallring vid föregående revision (EG_f) samt periodlängden (per) enligt

$$ÅLT=(FG_n-EG_f)/per$$

Periodlängden beräknas som beståndsåldern vid nuvarande revision minus beståndsåldern vid föregående revision. Brytpunkt för beräkning av beståndsåldern är 1 juli, alltså är beståndsåldern för revisioner efter 1 juli ett år högre än för revisioner före 1 juli samma år.

Årlig löpande tillväxt i procent enligt ränta på ränta (ÅLT%) beräknas för grundyta och volym enligt

$$ÅLT\%=[(FG_n/EG_f)^{(1/per)}-1]\times 100$$

Vid en revision där en arealreduktion utförts, beräknas den löpande tillväxten på tillväxten för de träd som fanns på den oreducerade arealen både vid den föregående och den nuvarande revisionen.

På det traditionella statistikkortet särredovisas tillämpliga uppgifter för träd som vid aktuell revision var döda och som inte tillhörde kategorin saknade eller vindfällda. Saknade och vindfällda träd redovisas tillsammans med eventuellt aktivt utgallrade träd. På statistikkortet i CSV-format har redovisningen av de utgallrade träden förfinats. Där redovisas

- totalt utgallrat virke, d.v.s. summan av aktivt utgallrade träd, torra, saknade och vindfällda träd,
- särredovisning av torra träd,
- särredovisning av saknade träd samt
- särredovisning av vindfällda träd.

Det dominerande trädslaget med avseende på andel stamvolym, efter eventuell gallring vid revision 1, utses som huvudträdslag. Under fältarbetet inklusive uttagning av provträd och den efterföljande primärbearbetningen behandlas huvud- och biträdslag på samma sätt. Huvudträdslaget kan ändras vid senare tidpunkt, ifall behov finns.

För en del trädslag finns flera volymfunktioner att välja mellan. För t.ex. tall, gran och björk kan mindre eller större funktioner väljas. De mindre volymfunktionerna utnyttjar bara diameter och höjd vid volymskattningen medan de större funktionerna också utnyttjar grönkrongränsen och, för grovbarkiga trädslag, även dubbel barktjocklek. I fältdatasystemet skall de större funktionerna användas. Det förekommer dock avvikelser från detta, beroende på att försök kan ha övertagits där en annan inmätningsmetodik har tillämpats där data från äldre revisioner bara möjliggör användandet av mindre volymfunktioner. Volym skattad med olika volymfunktioner kan skilja flera procentenheter. Eftersom skattningen av löpande tillväxten är känslig även för små skillnader i volymskattningen, baseras beräkningen av den löpande volymtillväxten på de mindre funktionerna vid båda revisionstillfällena, när byte av volymfunktion från mindre till större sker vid någon revision.

Dataset för statistiska analyser

Fältdatasystemet ger möjlighet att beställa dataset till textfiler (CSV-format), som är lämpliga att använda för egna statistiska analyser. Tre olika dataset kan beställas:

- Stamräkningsdata
- Provträdsdata
- Statistikkort

Vid beställning av stamräkningsdata erhålls revisionsvis och trädvis alla fältdataregistreringar, även de som inte används i beräkningarna, samt volym per träd. Provträdsdata ger också alla fältdataregistreringar för provträden, kompletterat med medeldiameter i brösthöjd. Statistikkortet ger i princip samma information som finns på det vanliga statistikkortet, men data har här arrangerats så att varje revision utgör en rad i textfilen.

Möjliga förbättringar

Fältdatasystemet tillhandahåller för närvarande skattningar av stamvolymer men intresset att kunna skatta biomassa för olika trädfraktioner är ökande. När biomassaskattningar ska göras idag, måste de utföras utanför fältdatasystemet. Det skulle vara en klar förbättring i fall biomassaskattningar kan implementeras i fältdatasystemet.

En stor del av den information som ges i statistikkort och diameterklassfördelningar är lämplig för grafisk presentation (se exempel i bilaga 7).

Det finns möjlighet att vid diametermätningen av träd använda dataklave som med trådlös överföring kan skicka data till handdatorn. På samma sätt kan data från höjd- och krongränsmätningsinstrumentet

överföras till fältdatorn. En vidareutveckling av handdatorprogrammet krävs för att kunna ta hand om mätdata på ett korrekt sätt. Detta kan också komma att påverka arbetsrutinerna i fältarbetet, vilket måste beaktas.

Diskussion

Val av volymfunktion

Det är viktigt att volymen vid olika revisioner skattas så noggrant som möjligt men ofta är det ännu viktigare att volymskattningen utförs så att det på bästa sätt över tid går att detektera eventuella effekter av utförda behandlingar (gallring, gödsling, etc.). Detta innebär att, när det finns olika volymfunktioner att välja bland (mindre och större, norra Sverige och södra Sverige, etc.), ska samma volymfunktion användas under hela observationstiden för ingående avdelningar (behandlingar) och revisioner på samma lokal.

Provträdsuttagning

Vid provträdsuttagningen tillämpas principen att från revision till revision, såvida provträden inte drabbats av diameter- och/eller höjdstörningar eller aktiv eller passiv utgallring, behålla tidigare representativt uttagna provträd. Det finns några olika tankar bakom denna princip:

1. Det är en fördel att erhålla mätserier för enskilda träds höjd- och krongränsutveckling,
2. upprepade mätningar på samma träd ger större möjligheter att kontrollera och undvika mätfel,
3. en hypotes är att volymskattningarna från en revision till en annan blir mer ”stabil” i fall så få provträd som möjligt byts ut. Detta är särskilt viktigt för pålitlig skattning av den löpande volymtillväxten.

Skattning av löpande tillväxt

Den metod som används här för att skatta den årliga löpande tillväxten för grundyta och volym benämns *differensmetoden*. Den baseras, som benämningen antyder, på differensen av de aktuella storheterna mellan två uppskattningar (revisioner). Metoden är känslig för uppskattningsfel som vid periodens början och slut drar åt olika håll. Även korta periodlängder är kritiska och populärt kan sägas att felet divideras med periodlängden.

Som exempel beräknas den årliga löpande volymtillväxten för en avdelning med en volym vid periodens start på 200 m^3, volym vid periodens slut på 250 m^3 och en periodlängd på 5 år till (250-200)/5= 10 m^3. Vid en underskattning av volymen vid periodens start med 2 % och en lika stor överskattning vid periodens slut blir den beräknade årliga löpande tillväxten (255-196)/5= 11,8 m^3, d.v.s. en överskattning med 1,8 m^3 eller 18 %. Utökas periodlängden till 10 år enligt exemplet ovan blir volymen 300 m^3 vid periodens slut. Med under- respektive överskattning med 2 % vid periodens början respektive slut skattas den årliga löpande tillväxten till (306-196)/10= 11,0 m^3, d.v.s. en överskattning med 1,0 m^3 eller 10 %.

Trots differensmetodens känslighet för uppskattningsfel så har metoden ändå sitt berättigande eftersom det inte finns någon bättre metod som ger önskade skattningar av löpande tillväxt som kan tillämpas generellt på större försöksytor.

Metodutveckling och rationaliseringar

Jämfört med nuvarande förhållanden och läget i mitten av 1960-talet, då datorer började användas för att underlätta beräkningsarbetet, så har den manuella insatsen för att utifrån fältdata komma fram till ett färdigt statistikkort minskat med en faktor på flera hundra. Fältdatorerna och den datorstödda fältregistreringen har medfört att momentet med hålkortsstansning blev överflödigt och har minskat risken för tillfälliga fel i datafångsten. Fältdatorena och dess programvara har också åtskilligt minskat den manuella tidsåtgången i fält. Så har t.ex. momentet med uttagning av provträd, tack vare datoriseringen, minskat från 30-60 minuter per avdelning till några sekunder. Under tider med stora svårigheter att finansiera revisioner av redan etablerade försök har rutinerna i fält setts över. Det mest iögonenfallande resultatet av denna översyn är att antalet provträd har reducerats vid två tillfällen. Jämfört med läget före den första provträdsreduceringen så tas idag ca hälften så många provträd ut. I samband med den senaste reduceringen utfördes en studie för att kvantifiera i vilken grad volymbestämningen blev osäkrare med färre provträd. Sammanfattningsvis ökar volymskattningarnas standardavvikelse med 0,6 %, 0,9 % respektive 1,9 % vid reduktion med 25 %, 50 % och 75 % av antalet provträd, när det ursprungliga antalet provträd i medeltal var 30,5 stycken (Karlsson, 1998).

Är alla möjligheter att ytterligare signifikant rationalisera fältarbetet nu uttömda? Nedan följer några uppslag som kan vara värda att utreda ytterligare:

- Diametermätningen i brösthöjd utförs med en över hundraårig tradition i form av korsklavning. En intern studie har visat att behandlingsskillnader detekteras lika bra med enkel klavning. Det viktiga är att brösthöjden och klavningsriktningen är markerad så att klavansättningen från en revision till en annan blir så likartad som möjligt. Tidsåtgången bedöms kunna minska med 25 %

om enkel klavning tillämpas istället för korsklavning.

- Med fokus på att det viktiga är att kunna detektera eventuella behandlingsskillnader så kan utgallrade träd vid revision 1 (anläggningen) mätas med ett enklare förfaringssätt än det som nu tillämpas. Enligt nuvarande rutin mäts de in som numrerade träd med korsklavning i millimeter. Eftersom behandlingsskillnader beräknas utifrån kvarvarande träd vid anläggningsrevisionen (revision 1) borde en tillräckligt god skattning av grundyta och volym för det utgallrade virket vid revision 1 kunna erhållas genom att mäta in gallringvirket som onumrerade träd i 1 cm-klasser. Vid en anläggningsrevision med gallring kan denna förenkling minska klavningstiden med 10-20 % men sett över den totala observationstiden blir tidsvinsten bara några enstaka %.
- Antalet provträd har som tidigare nämnts reducerats vid två tillfällen. Nu utses trädslagsvis vartannat av de 10 grövsta träden samt 10 till 15 systematiskt utvalda träd som provträd. Hur många (10–15) systematiskt utvalda träd det blir beror på diameterspridningen. En ytterligare generell minskning av nuvarande antal provträd (5 + 10 till 15) är inte att rekommendera men det kan ändå finnas en öppning till att minska antalet provträd eftersom det av tradition har tagits ut separata provträd för kategorierna kvarvarande och utgallrade träd. Nu används samma algoritm för att ta ut provträd för kvarvarande och utgallrade träd vilket innebär att vid revision med gallring tillkommer 5 + 10 till 15 utgallrade provträd. En inte orimlig tanke är att ta ut provträd på populationen före gallring och använda dessa provträd för att skatta volymen både för kvarvarande och utgallrade träd. Metoden måste testas innan den eventuellt kan börja tillämpas men den kan till och med ha en positiv effekt i och med att volymbestämningen blir mer analog med volymbestämningen av kontrollytan, med vilken alla behandlingar brukar jämföras. Ifall metoden utan större olägenhet kan tillämpas så minskar behovet av provträd med hälften, vid revision med gallring.
- Onumrerade träd förekommer på vissa avdelningar. De klavas på mötande kant och diametern registreras i klasser om 1 cm vidd. Provträd tas ut okulärt (ca 10 per trädslag) varpå höjden och, beroende på grovlek och trädslag, eventuellt också krongräns och dubbel barktjocklek mäts in. De onumrerade träden är ofta av mindre signifikans och de utgör sällan mer än 5 % av den totala volymen. Med tanke på deras begränsade betydelse så kan det tyckas att med nuvarande förfarande omotiverat stora resurser måste läggas på provträdsmätningen av onumrerade träd. Ett sätt för att slippa provträdsmätningen av onumrerade träd är att låta volymbestämningen av onumrerade träd baseras på tidigare inmätta onumrerade provträd som redan finns i databasen. Det kan lämpligen arrangeras så att en uppsättning trädslagsvisa och regionala onumrerade provträdsset finns att tillgå vid volymbestämning av de onumrerade träden. Det är inte troligt att volymbestämningen med aktuella provträd jämfört med databasprovträd skulle avvika med mer än 2%. Metoden skulle kunna tillämpas enbart på avdelningar där de onumrerade träden utgör mindre än 5 % av den totala volymen. Då kan det maximala ”felet” i så fall bli högst 0,1 %. Förfaringssättet måste testas innan det tillämpas.

Andra volymuppskattningsmetoder än massalinjemetoden

Det finns ett stort antal olika metoder som kan användas för att skatta trädbestånds stamvolym (Karlsson, 1998). Inom skogsforskningen i Sverige har förutom massalinjemetoden även metoden med *sekundära volymfunktioner* kommit till användning. Metodbeskrivningen är som följer:

1. Skatta provträdens volym (V) med tillämplig volymfunktion för enskilda träd,
2. Använd provträdens skattade värden för V och korresponderande mätvärden för brösthöjdsdiameter (D) för att med hjälp av regressionsanalys skatta parametrarna a, b, (c) i en modell av typ $V=a+bD+c$ *(en eventuell transformation av D)*,
3. Träd som bara mätts för diameter kan sedan tilldelas volym med hjälp av funktionssambandet ovan.

Det kan vara på sin plats att nämna ytterligare en metod som här benämns *höjdkurvemetoden*. Utifrån provträdsdata skattas först parametrarna a och b för höjdkurvans ekvation. Alla träd som saknar höjduppgift kan därefter tilldelas en trädhöjd med hjälp av höjdkurvans ekvation och stamvolymen för ett enskilt träd kan skattas med hjälp av tillämplig volymfunktion för enskilda träd.

Någon omfattande utvärdering av olika metoder att utifrån stamräknings- och provträdsdata skatta stamvolymen i försöksbestånd har inte utförts. Ett hinder att göra sådana utvärderingar är att tillgången på kontrolldata (sann volym) är begränsad.

Massalinjemetoden, vilken används i fältdatasystemet, är hypotetiskt den metod som är att föredra. Metoden baseras på gruppering av träddata i diameterklasser om 2 cm vidd. En nackdel med metoden har tidigare varit att den inte genererat stamvolymer för de enskilda träden utan endast diameterklassvisa volymskattningar. Emellertid har det visats att denna

begränsning inte varit egentligt utan att det under handbearbetningens tid var arbetsbesparande att bara beräkna volymer diameterklassvis i stället för trädvis, vilket ansågs godtagbart eftersom huvudsyftet var att skatta den totala volymen. Trädvisa stamvolymer kan nu erhållas via beställning av stamlistor. Det kan här finnas anledning att nämna en omständighet som följer av sättet att räkna i fältdatasystemet. Sorteras en stamlista på diameter så kan det ibland förekomma att en större diameter inte alltid svarar mot en högre volym. Detta bör inte omedelbart uppfattas som "fel", eftersom det kan vara så också i verkligheten. I stamlistorna kan detta bara uppträda när träden tillhör olika diameterklasser. Dessa något ologiska volymskattningar beror på att provträdens höjder i aktuella diameterklasser då inte följer det generella mönstret att trädhöjden ökar med diametern. I analogi med ovanstående resonemang kan medelvolymen i två närliggande diameterklasser också minska vid övergång från en diameterklass till närmaste högre klass.

Jämfört med massalinjemetoden och utan fältdatasystemets faciliteter kan man med hjälp av sekundära volymfunktioner med liten initial ansträngning skatta ett bestånds stamvolym. Det brukar framhållas att sekundära volymfunktioner kan vara ett sämre alternativ jämfört med massalinjemetoden därför att:

- Valet av funktionsmodell vid skattning av parametrarna *a* och *b* enligt beskrivning ovan sker godtyckligt.
- *V* är en beroende variabel vid skattningen av parametrarna *a* och *b*. V är skattad med hjälp av tillämplig volymfunktion för enskilda träd och därför behäftad med ett skattningsfel men används i regressionen som en uppmätt observation (regression på regression).
- Ett abnormt eller felmätt träd påverkar parameterskattningarna av *a* och *b* och påverkar därför volymskattningen av alla enskilda träd. Med massalinjemetoden så påverkar ett abnormt eller felmätt träd bara volymskattningarna inom dess diameterklass.

En nackdel med massalinjemetoden, som ibland anförts, är att den uppfattas som mer komplicerad att beskriva, t.ex. i vetenskapliga publikationer, där krav ställs på detaljerade metodbeskrivningar.

Ambitionsnivån inom fältdatasystemet är att använda de större volymfunktionerna. Därmed är höjdkurvemetoden inte möjlig att använda i fältdatasystemet eftersom metoden bara medger att brösthöjdsdiametern och trädhöjden utnyttjas som oberoende variabler vid skattning av stamvolymen.

Tack

Författarna tackar Ulf Johansson för genomgång av manuskriptet och hans värdefulla förslag till förbättringar. Utvecklandet av det nya fältdatasystemet har möjliggjorts genom bidrag från forskningsprogrammen Tema Tillväxt och Future Forests.

Referenser

Andersson, S.-O. 1954. Funktioner och tabeller för kubering av småträd. Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut 44:12, 29 s.

Anon, 2003. Fältarbetsinstruktion för skogsfakultetens beståndsbehandlingsförsök. SLU, stencil, 88 s.

Brandel, G. 1990. Volymfunktioner för enskilda träd. Tall, gran och björk. SLU, Inst. f. skogsproduktion, Rappor 26, 72 s., Garpenberg.

Carbonnier, C. u.å. Funktioner för kubering av europeisk, sibirisk och japansk lärk. Manuskript, 12 s.

Carbonnier, C. 1971. Bokens produktion i södra Sverige. (Bilaga IV. Susanne Kalstenius). Studia foerstalia Suecica. Nr 91.

Carbonnier, C. 1975. Produktionen av kulturbestånd av ek i södra Sverige. (Bilaga VI. Björn Hägglund). Studia forerstalia Suecica. Nr 125.

Eggelie, 1960. Volymfunktion för Silvergran på bark (Stencil)

Eriksson, H. 1973. Volymfunktioner för stående träd av ask, asp, klibbal och contorta-tall. Skogshögskolan, Inst. f. skogsproduktion, Rapporter och Uppsatser 26, 26 s., Stockholm.

Eriksson, H., Johansson, U. & Kiviste, A. 1997. A site-index model for pure and mixed stands of *Betula pendula* and *Betula pubescens* in Sweden. Scand. J. For. Res. Vol. 12. 149-156.

Hagberg, E. & Matérn, B. 1975. Tabeller för kubering av ek och bok. Skogshögskolan, Inst. f. skoglig matematisk statistik, Rapporter och Uppsatser 14, 118 s., Stockholm.

Hummel F. C. 1955. The volume/basal-area-line: a study in forest mensuration. Brit. For. Comm., Bull. No. 24; 1-84.

Hägglund, B. 1972. Om övre höjdens utveckling för gran i norra Sverige. Skogshögskolan, Institutionen för skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser, nr 21, 298 pp.

Hägglund, B. 1973. Om övre höjdens utveckling för gran i södra Sverige. Skogshögskolan, Institutionen för skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser, nr 24, 49 pp.

Hägglund, B. 1974. Övre höjdens utveckling i tallbestånd. Skogshögskolan, Institutionen för skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser, nr 31, 54 pp.

Hägglund, B. & Remröd, J. 1977. Övre höjdens utveckling i bestånd med Pinus contorta. (Hugin) Rapport Nr. 4. Sveriges Lantbruksuniversitet..

Karlsson, K. 1998. A strategy for reducing the number of sample trees when estimating stand volume on sample plots. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Yield Research. Report 43. 18 pp.

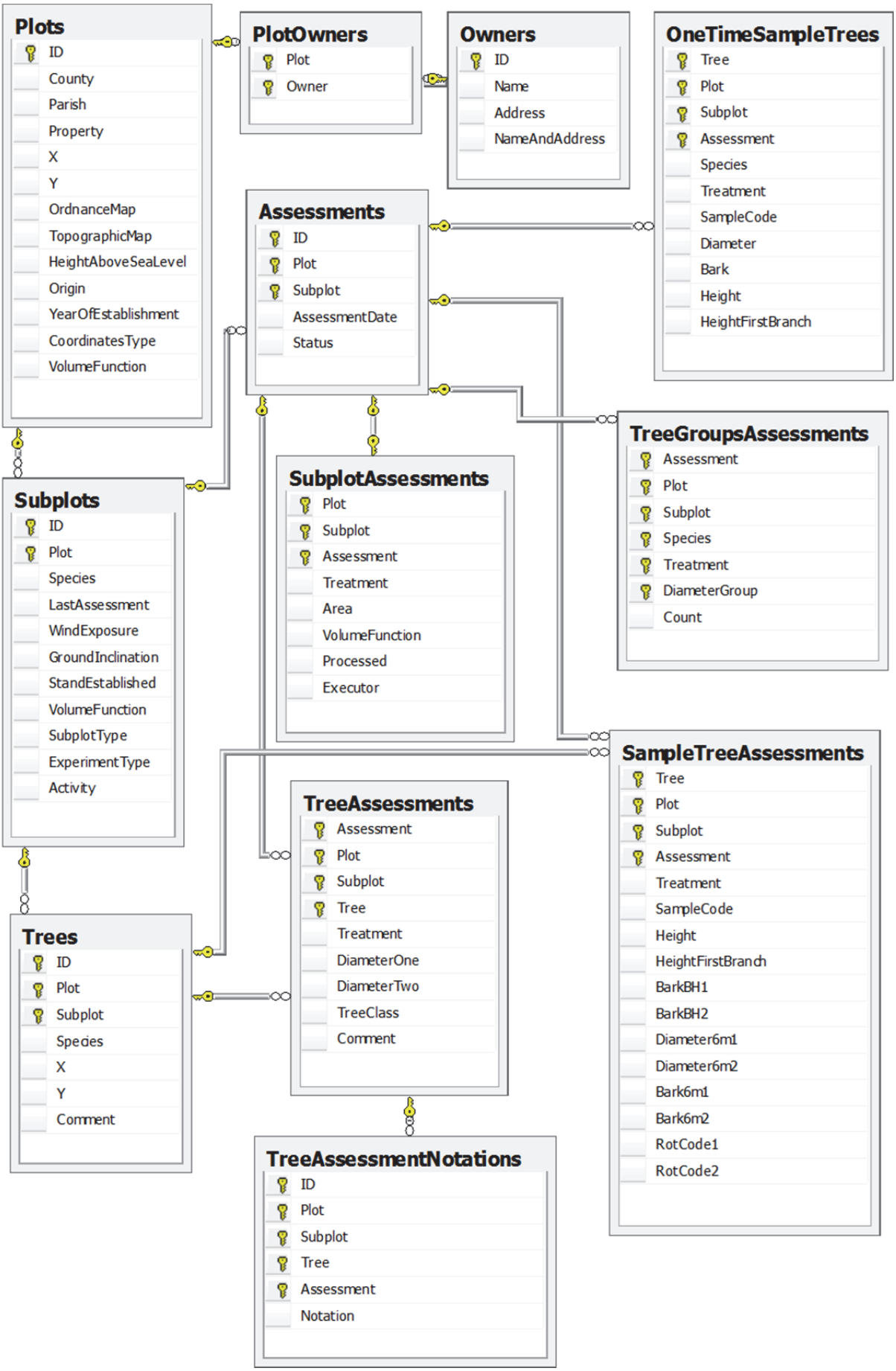
Kopezky, R. 1899. Neue Verfahren der Bestandesmassen-Ermittlung. Centralblatt fur das gesamte Forstwesen, 471-485.

Näslund, M. & Hagberg, E. 1950. Skogsforskningsinstitutets större tabeller för kubering av stående träd. Tall, gran och björk i södra Sverige. Statens Skogsforskningsinstitut, Experimentalfältet, 200 s., Stockholm.

Näslund, M. 1936. Skogsförsöksanstaltens gallringsförsök I tallskog. Primärbearbetning. Meddelanden från statens skogsforskningsinstitut 29:1.

Petterson, H. 1955. Barrskogens volymproduktion. Meddelanden från statens skogsforskningsinstitut 45:1A.

Bilaga 1. Databasdiagram



SLU Försöksyta 895 Avdelning 2

STATISTIKKORT

Ägare eller förvaltning: Melbergs Maskin AB, 731 60 VALSKOGMelbergs Trävaru AB, Börje Melberg, Granvägen 5, 731 60 VALSKOG

Fastighet: SAXHYTTAN | Socken: GRANGÄRDE | Höjd över havet: 160 m

Topografisk karta: 12FNV | Latitud: 60° 17' 00" | Longitud: 14° 58' 10"

Huvudträdslag: TALL | Ståndortsindex: 27 (vid 76 år) | Beståndets födelseår: 1936

Uppkomstsätt: Självsådd | Behandlingar vid revision nr: 1 Uppskattning. 2 Fri gallring. 3 Uppskattning. 4 Fri gallring. 5 Fri gallring. 6 Uppskattning. 7 Fri gallring.

Region: C Försöksled: A

		Kvarvarande beståndet						Utgallrat virke						Total produktion		Årlig löpande tillväxt				
			Medel-	Övre-	Stam-	Grund-		Stam-	Grund-			%	%	Grund-			Grundyta		Volym	
	Trädslag	Diam	höjd	höjd	antal	yta	Volym	Diam	antal	yta	Volym	antal	volym	yta	Volym	Diam	m^2	%	m^3	%
Revision 1	Ålder 35		Datum 1970-08-15				Areal 0,10000													
	Tall	11,3	11,1	12,6	1830	18,2	104,6	0,0	0	0,0	0,0	0	0	18,2	104,6					
Revision 2	Ålder 42		Datum 1977-09-06				Areal 0,10000													
	Tall	15,1	14,4	15,2	1060	19,0	133,1	9,3	750	5,1	31,4	41	19							
TORR	Tall							8,4	20	0,1	0,6									
SA	Tall	15,1	14,4		1060	19,0	133,1	9,3	770	5,2	32,0	42	19	24,2	165,2	2,5	0,86	4,2	8,7	6,7
Revision 3	Ålder 47		Datum 1982-08-13				Areal 0,10000													
	Tall	16,5	16,0	16,9	1050	22,4	172,6	0,0	0	0,0	0,0	0	0							
TORR	Tall							9,5	10	0,1	0,5									
SA	Tall	16,5	16,0		1050	22,4	172,6	9,5	10	0,1	0,5	1	0	27,7	205,1	2,7	0,70	3,5	8,0	5,4
Revision 4	Ålder 52		Datum 1987-09-08				Areal 0,10000													
	Tall	19,7	18,1	18,7	630	19,1	162,6	14,5	420	6,9	55,6	40	25	31,4	250,7	2,6	0,73	3,0	9,1	4,8
Revision 5	Ålder 64		Datum 1999-08-05				Areal 0,10000													
	Tall	23,0	20,7	21,3	470	19,6	189,6	21,8	150	5,6	52,2	24	22							
TORR	Tall							18,4	10	0,3	2,4									
SA	Tall	23,0	20,7		470	19,6	189,6	21,6	160	5,8	54,5	25	22	37,7	332,2	2,5	0,53	2,4	6,8	3,4
Revision 6	Ålder 70		Datum 2005-08-17				Areal 0,10000													
	Tall	24,5	21,6	22,3	470	22,2	221,3	0,0	0	0,0	0,0	0	0	40,3	363,9	2,4	0,43	2,1	5,3	2,6
ON	Vårtbjörk	2,1	5,2		90	0,0	0,1	0,0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,1					
SA	Tot	22,5			560	22,2	221,4	0,0	0	0,0	0,0	0	0	40,3	364,0		0,43	2,1	5,3	2,6
Revision 7	Ålder 76		Datum 2011-10-31				Areal 0,10000													
	Tall	26,7	23,7	24,2	360	20,2	217,2	23,5	110	4,8	49,6	23	19	43,0	409,4	2,5	0,46	2,0	7,6	3,2
ON	Gran	0,0	0,0		0	0,0	0,0	4,1	70	0,1	0,3	100	100	0,1	0,3					
ON	Vårtbjörk	0,0	0,0		0	0,0	0,0	2,5	240	0,1	0,5	100	100	0,1	0,5					
ON	Rönn	0,0	0,0		0	0,0	0,0	1,6	20	0,0	0,0	100	100	0,0	0,0					
ON	Sälg	0,0	0,0		0	0,0	0,0	2,0	10	0,0	0,0	100	100	0,0	0,0					
SA	Tot	26,7			360	20,2	217,2	11,9	450	5,0	50,4	56	19	43,3	410,3		0,46	2,1	7,6	3,2

Bilaga 3. Diameterklassfördelning

DIAMETERKLASSFÖRDELNING

Försöksyta nr: 895 Avdelning: 2 Revision: 5 Areal: 0,10000 Datum: 1999-08-05

Tall

Kvarvarande beståndet										Utgallrat virke									
Provträd						Stamräkning				Provträd					Stamräkning				
Klass mitt	Stam antal	Medel diameter	Medel höjd	Medel grundyta	Medel volym	Stam antal	Grundyta	Volym	Klass mitt	Stam antal	Medel diameter	Medel höjd	Medel grundyta	Medel volym	Stam antal	Grund yta	Volym	Klass mitt
17,50	2	17,71	18,10	246,21	210,79	30	0,74	6,35	17,50	0	0	0	0	0	0	0	0	17,50
19,50	3	19,29	19,23	292,15	263,43	50	1,48	13,38	19,50	4	19,21	18,88	289,95	256,17	40	1,16	10,25	19,50
21,50	3	20,81	20,00	340,06	315,79	140	5,02	46,60	21,50	4	21,26	20,30	355,15	337,91	40	1,42	13,52	21,50
23,50	1	23,15	21,40	420,86	431,53	130	5,60	57,45	23,50	6	23,11	20,58	419,38	401,18	60	2,52	24,07	23,50
25,50	1	25,75	21,30	520,77	511,47	60	3,00	29,51	25,50	1	24,70	19,70	479,13	432,03	10	0,48	4,32	25,50
27,50	3	27,47	21,53	592,64	590,62	30	1,78	17,72	27,50	0	0	0	0	0	0	0	0	27,50
29,50	3	29,02	21,17	661,46	621,09	30	1,98	18,63	29,50	0	0	0	0	0	0	0	0	29,50

Höjdkurvans konstanter A : 0,813288 B : 0,193890 A : 0,953872 B : 0,187437

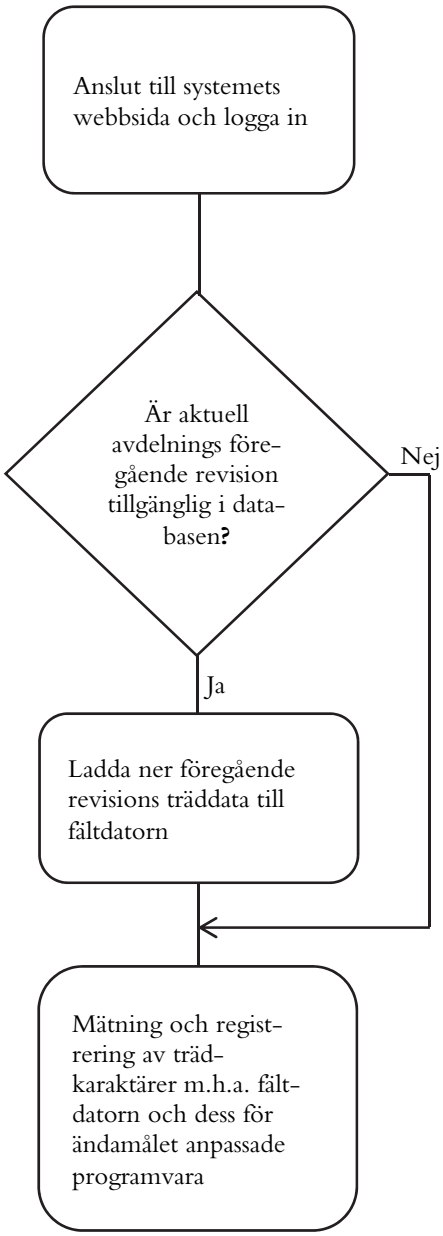
Medelhöjd enligt Lorey 20,73 m kvarvarande

Medelhöjd enligt Lorey 20,08 m utgallrat

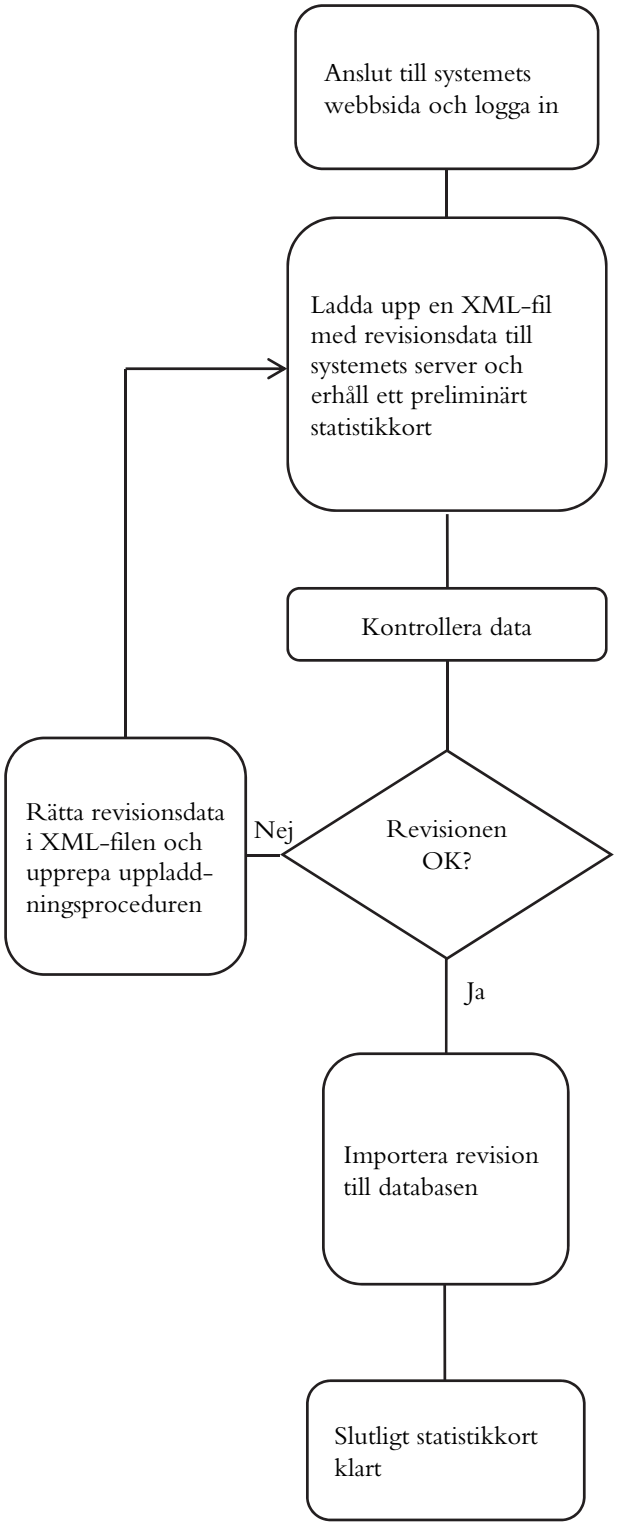
Medelhöjd enligt Lorey 20,56 m före gallring

Bilaga 4. Flödesscheman

Revision av försöksyteavdelning



Import till databasen



Bilaga 5. Volymfunktioner som används i fältdatasystemet 2012

V = volym på bark över stubbe (dm^3)
d = diameter 1,3 m över mark (cm)
h = trädhöjd över mark (m)
k = grön krongränshöjd över mark (m)
b = dubbel bark 1,3 m över mark (mm)

Tall

Brandels funktion 100-04 (Brandel, 1990)
För d >= 4,5 cm.

Norr latitud 60:

$$V = 10^{-1,12715}\ d^{2,13211}\ (d+20)^{-0,13543}\ h^{1,58121}\ (h-1,3)^{-0,73435}\ k^{0,06595}\ b^{-0,10998}$$

Söder latitud 60:

$$V = 10^{-1,20042}\ d^{2,10263}\ (d+20)^{-0,07366}\ h^{1,99751}\ (h-1,3)^{-1,11357}\ k^{0,06420}\ b^{-0,14963}$$

S-O Anderssons småträdsfunktioner (Andersson, 1954)
För d < 4,5 cm.

Norr latitud 60:

$$V = 0,22+0,08786d^2+0,03045d^2h+0,002809dh^2$$

Söder latitud 60:

$$V = 0,22+0,1066d^2+0,02085d^2h+0,008427dh^2$$

Gran

Brandels funktion 100-02 (Brandel, 1990)
För d >= 4,5 cm.

Norr latitud 60:

$$V = 10^{-0,66277}\ d^{2,16277}\ (d+20)^{-0,81628}\ h^{2,92136}\ (h-1,3)^{-1,71059}\ k^{0,04501}$$

Söder latitud 60:

$$V = 10^{-0,93173}\ d^{2,06103}\ (d+20)^{-0,51644}\ h^{2,66914}\ (h-1,3)^{-1,51878}\ k^{0,04291}$$

S-O Anderssons småträdsfunktioner (Andersson, 1954)
För d < 4,5 cm.

Norr latitud 60:

$$V = 0,22+0,1150d^2+0,01410d^2h+0,01047dh^2$$

Söder latitud 60:

$$V = 0,22+0,1086d^2+0,01712d^2h+0,008905dh^2$$

Björk

Brandels funktion 100-03 (Brandel, 1990)
För d >= 4,5 cm.

Norr latitud 60:

$$V=10^{-0,61132}\ d^{2,50844}\ (d+20)^{-1,26089}\ h^{5,15468}\ (h-1,3)^{-3,77540}\ b^{-0,07497}$$

Mellan latitud 59 och 60:

$$V=10^{-1,07276}\ d^{2,36299}\ (d+20)^{-0,81706}\ h^{5,55480}\ (h-1,3)^{-4,17340}\ b^{-0,14023}$$

Mellan latitud 58 och 59:

$$V=10^{-1,06904}\ d^{2,36299}\ (d+20)^{-0,81706}\ h^{5,55480}\ (h-1,3)^{-4,17340}\ b^{-0,14023}$$

Söder latitud 58:

$$V=10^{-1,09695}\ d^{2,36299}\ (d+20)^{-0,81706}\ h^{5,55480}\ (h-1,3)^{-4,17340}\ b^{-0,14023}$$

S-O Anderssons småträdsfunktioner (Andersson, 1954)
För d < 4,5 cm.

Norr latitud 60:

$$V=0,11+0,09929d^2+0,006405d^2h+0,01382dh^2$$

Söder latitud 60:

$$V=0,11+0,1302d^2+0,01063d^2h+0,007981dh^2$$

Klibbal (Eriksson, 1973)

$$V=0,1879d^2+0,04899d^2h+0,001820d^2k-0,2588dh+0,8600h-0,008658d^3$$

Ask (Eriksson, 1973)

Skilda funktioner för träd med genomgående stammar och för klykstammar finns.

Genomgående stammar:

$$V=0,03246d^2h+0,03310d^2+0,04127dh$$

Klykstammar:

$$V=0,03593d^2h+0,03310d^2+0,04127dh$$

Asp (Eriksson, 1973)

$$V=0,01548d^2+0,03255d^2h-0,000047d^2h^2-0,0133dh+\ 0,004859dh^2$$

Bok (Hagberg & Matérn, 1975)

Skilda funktioner för träd med genomgående stammar och för klykstammar finns.

Genomgående stammar:

$$V=0,01483d^2h+0,1213d^2+0,0003929d^2h^2+0,004861dh^2+0,005261d^2k$$

Klykstammar:

$$V=0,01721d^2h+0,1213d^2+0,0003929d^2h^2+0,004861dh^2+0,005261d^2k$$

Ek (Hagberg & Matérn,1975)

Skilda funktioner för träd med genomgående stammar och klykstammar finns.

Genomgående stammar:

$$V=0,02996d^2h+0,05960dh+0,008291d^2k$$

Klykstammar:

$$V=0,03301d^2h+0,05960dh+0,008291d^2k$$

Silvergran (Egglie, 1960)

$$V=0,1542d^2+0,01827d^2h+0,0003662d^2h^2-0,0568dh+0,01078dh^2$$

Sibirisk och europeisk lärk (Carbonnier, 1954)

$$V=0,04588d^2h+0,09006d^2-0,008844d^3-0,06460dh+0,1488h-0,001391dhb+0,002654d^2dk$$

Japansk lärk (Carbonnier, 1954)

$$V=0,05549d^2h+0,1391d^2-0,01318d^3-0,1990dh+0,3704h$$

Contortatall (Eriksson, 1973)

$$V=0,1121d^2+0,02870d^2h-0,000061d^2h^2-0,09176dh+0,01249dh^2$$

Övriga trädslag

Trädslag som saknar egna volymfunktioner volymbestäms med hjälp av befintliga volymfunktioner för andra trädslag enligt (trädslagskod inom parentes)

Trädslag	**Trädslag vars volym-funktion används**
Douglasgran (15)	Gran (2)
Sitkagran(16)	Gran (2)
Övrig abies (27)	Gran (2)
Övrig picea (28)	Gran (2)
Gråal (6)	Klibbal (5)
Poppel (26)	Asp (9)
Avenbok (10)	Bok (11)
Alm (7)	Ek (12)
Rödek (13)	Ek (12)
Lind (17)	Ek (12)
Lönn (18)	Ek (12)
Sykomor-lönn (19)	Ek (12)
Rönn (23)	Ek (12)
Sälg (24)	Ek (12)
Övrigt löv (29)	Ek (12)

Bilaga 6. Volymfunktioner som används endast i undantagsfall

Tall

Brandels funktion 100-01 (mindre funktion; Brandel, 1990)
För d ≥ 4,5 cm

Norr latitud 60:

$$V=10^{-1,20914}\ d^{1,94740}\ (d+20)^{-0,05947}\ h^{1,40958}\ (h-1,3)^{-0,45810}$$

Söder latitud 60:

$$V=10^{-1,38903}\ d^{1,84493}\ (d+20)^{0,06563}\ h^{2,02122}\ (h-1,3)^{-1,01095}$$

Näslunds större funktioner (Näslund & Hagberg,1950)
Norra Sverige:

$$V=0,1018d^2+0,03112d^2h+0,007312d^2k-0,002906dhb$$

Södra Sverige:

$$V=0,1193d^2+0,02574d^2h+0,004054dh^2+0,007262d^2k-0,003112dhb$$

Hela Sverige:

$$V=0,1121d^2+0,02919d^2h+0,006285d^2k+0,002460dh^2-0,003574dhb$$

Gran

Brandels funktion 100-01 (mindre funktion; Brandel, 1990)
För d ≥ 4,5 cm.

Norr latitud 60:

$$V=10^{-0,79783}\ d^{\ 2,07157}\ (d+20)^{-0,73882}\ h^{3,16332}\ (h-1,3)^{-1,82622}$$

Söder latitud 60:

$$V=10^{-1,02039}\ d^{2,00128}\ (d+20)^{-0,47473}\ h^{2,87138}\ (h-1,3)^{-1,61803}$$

Näslunds större funktioner (Näslund & Hagberg,1950)
Norra Sverige:

$$V=0,1102d^2+0,01648d^2h+0,01929dh^2-0,05565h^2+0,005901d2k$$

Södra Sverige:

$$V=0,1059d^2+0,01968d^2h+0,01468dh^2-0,04585h^2+0,006168d^2k$$

Hela Sverige:

$$V=0,1088d^2+0,01846d^2h+0,005873d^2k+0,01636dh^2-0,05030h^2$$

Björk

Brandels funktion 100-01 (mindre funktion; Brandel, 1990)
För d ≥ 4,5 cm.

Norr latitud 60:

$$V=10^{-0,44224}\ d^{2,47580}\ (d+20)^{-1,40854}\ h^{5,16863}\ (h-1,3)^{-3,77147}$$

Mellan latitud 59 och 60:

$$V=10^{-0,84627}\ d^{2,23818}\ (d+20)^{-1,06930}\ h^{6,02015}\ (h-1,3)^{-4,51472}$$

Mellan latitud 58 och 59:

$$V=10^{-0,85480}\ d^{2,23818}\ (d+20)^{-1,06930}\ h^{6,02015}\ (h-1,3)^{-4,51472}$$

Söder latitud 58:

$$V=10^{-0,89363}\ d^{2,23818}\ (d+20)^{-1,06930}\ h^{6,02015}\ (h-1,3)^{-4,51472}$$

Näslunds större funktioner (Näslund & Hagberg,1950)
Norra Sverige:

$$V=0,04192d^2+0,02927d^2h+0,003719dh^2+0,003263d^2k-0,001692dhb$$

Södra Sverige:

$$V=0,09595d^2+0,02375d^2h+0,01221dh^2-0,03636h^2-0,004605dhb$$

Hela Sverige:

$$V=0,08722d^2+0,02539d^2h+0,01065dh^2-0,03228h^2-0,004346dhb$$

Bok

Mindre funktioner (Hagberg & Matérn, 1975)
Genomgående stammar:

$$V=0,01450d^2h+0,1237d^2+0,0004701d^2h^2+0,006222dh^2$$

Klykstammar:

$$V=0,01696d^2h+0,1237d^2+0,0004701d^2h^2+0,006222dh^2$$

Ek

Mindre funktioner (Hagberg & Matérn, 1975)
Genomgående stammar:

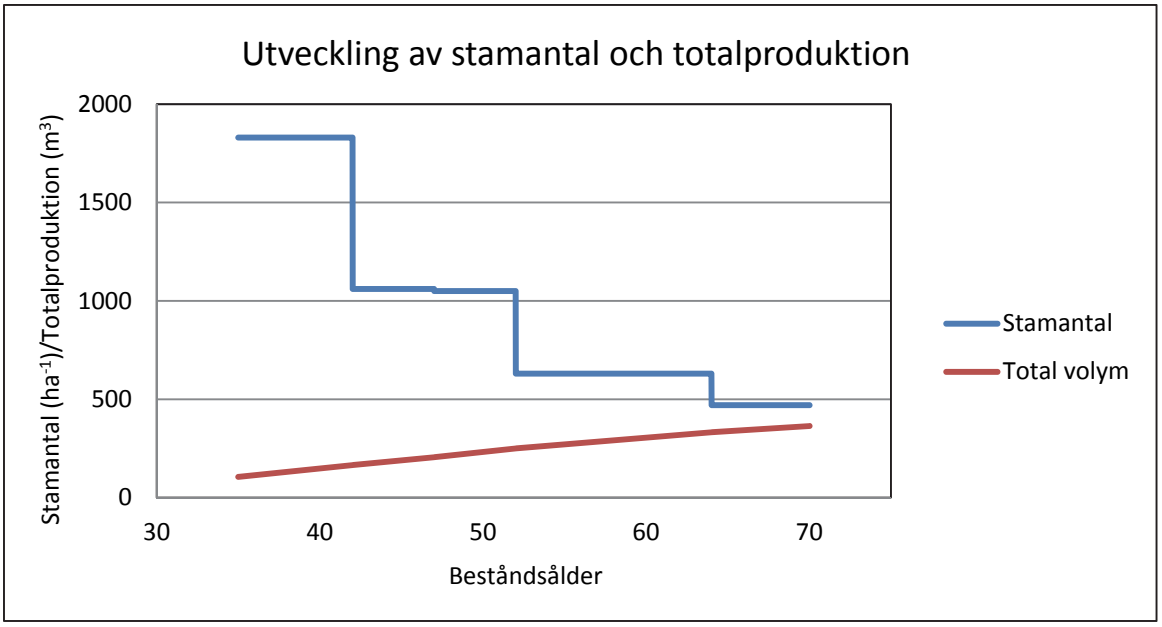
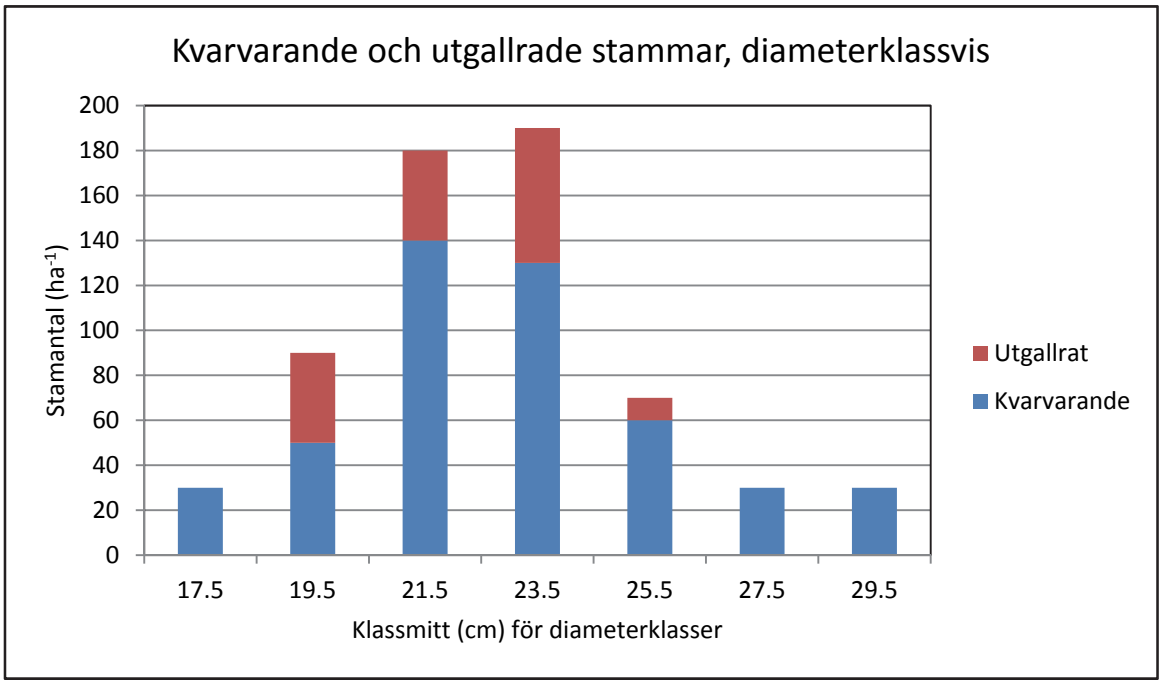
$$V=0,03611d^2h-0,04905d^2+0,08772dh$$

Klykstammar:

$$V=0,03913d^2h-0,04905d^2+0,08772dh$$

Sibirisk och europeisk lärk

Mindre funktioner (Carbonnier, 1954)

$$V=0,04801d^2h+0,08886d^2-0,01012d^3-0,08406dh+0,1972*h$$

Bilaga 7. Exempel på grafiska presentationer