



Critical length sampling for estimating the volume of coarse woody debris

Göran Ståhl

Arbetsrapport 116 2003
Working Paper 116 2003

SWEDISH UNIVERSITY OF
AGRICULTURAL SCIENCES (SLU)

Department of Forest Resource
Management and Geomatics
S-901 83 UMEÅ

Phone: 090-786 58 25 Fax: 090-14 19 15, 77 81 16

ISSN 1401-1204

ISRN SLU-SRG-AR--116-SE

Abstract

In this paper, critical length sampling for estimating the volume of downed coarse woody debris is presented. With critical length sampling, the volume of downed dead wood in a stand can be determined by summing the critical lengths of trees included in the sample. The critical length of a downed tree is the length of the stem section, which from a certain sample point is coarse enough to be counted when a relascope is used. In comparison to traditional relascope sampling, where the instrument is held vertically during the measurements, the instrument is operated horizontally.

By combining critical length sampling with critical height sampling – a method previously described for estimating the volume of standing trees – the total volume of dead wood can be estimated in a stand. It is proposed that the main area of use of the combined method would be in connection with rapid in-place inventories where a quick estimate of the volume of dead wood is needed. In this context, the combined critical height – critical length method provides a relatively simple means for obtaining such an estimate.

In this report, the theoretical background is described and a short description of the use of the method in the field is presented. The report should be considered as a simple first description of the method, which will later on be complemented with a more comprehensive proof, efficiency comparisons with other methods, and experiences from field tests.

Introduction

Coarse woody debris (CWD) has received increasing attention during the last decades due to its importance for the livelihood conditions for a large number of forest species (e.g. Samuelsson et al. 1994) and its role in national and global carbon balances. Forest management practices are now being developed in order to maintain CWD quantities at adequate levels (e.g. Wikström and Eriksson 2000). As a consequence, there is a need for inventory methods to estimate how much dead wood there is in a particular forest area and for following trends over time.

A number of methods are available for the purpose of assessing volumes of dead wood. Among traditional forest inventory methods, sample plot inventory and strip surveying (e.g. Schreuder et al 1993) can be applied. Line intersect sampling (Warren and Olsen 1964) is efficient for assessing downed CWD. Moreover, a number of methods based on the principle of relascope sampling (Bitterlich 1984) have been developed lately. Transect relascope sampling (Ståhl 1998) and Point relascope sampling (Gove et al. 1999) make use of the length of a downed log for determining its inclusion probability and thus for estimating dead wood quantities.

The objective of this article is to describe a new method for determining the volume of downed coarse woody debris based on the principle of relascope sampling. The method, critical length sampling (CLS), is an extension of the critical height sampling method developed by Kitamura (1962). It is believed that the CLS method may be a useful tool in obtaining quick estimates of the total volume of dead wood in connection with in-place inventories in forest stands. Such inventories nowadays are becoming increasingly important since there is a need to operationalise biodiversity targets in forest management. Moreover, there is a need for assessment of dead wood quality and quantity in connection with management of forest reserves.

This report should be considered a simple first description of the CLS method. Later on, more comprehensive proofs will be given, as well as efficiency comparisons with other methods and experiences from field tests.

Description of the method

With CLS, relascope sample points are distributed over the area of interest according to standard sampling principles. From the point of view of describing the theory of CLS, the points are assumed randomly distributed, although in practice they may often be located at subjectively chosen “typical parts” of a stand. At each point, a relascope is used to assess which parts of downed trees are coarse enough to be counted, when operating the instrument in a tilted manner (90°) as compared to the case in traditional relascope sampling. The length of a stem section coarse enough to be included when aiming at the tree trunk with a relascope is denoted the critical length of the tree. Summing the critical

lengths of trees, and multiplying the sum with the basal area factor of the relascope, an estimate of the per-hectare volume of downed dead wood in the stand is obtained.

The principle of the method will be described for the case when both the downed logs and the relascope are located/operated in the same horizontal plane, assuming that we can aim at a certain point of a stem with the relascope and use the diameter of the stem at that point for determining whether or not the log should be included. Thus, the inclusion zone (cf. Gove et al. 1999) around a certain point of a stem will be a circle, with the same properties as the circular inclusion zones around trees in traditional relascope sampling.

A first proof

Consider all the downed logs in a given population being located on the ground in a flat area. We then use a relascope, operated in a tilted manner in the same plane as the logs, to determine the critical length of trees.

By definition, the total volume, Y , of dead trees in the area is:

$$(1) \quad Y = \int_{l=0}^{\infty} G(l)dl = \int_{l=0}^{\infty} \left(\sum_{i=1}^N g_i(l) \right) dl$$

Here, $G(l)$ is the total cross-sectional area of dead trees at a common length l along the downed trees; $g_i(l)$ is the cross-sectional area of tree i at length l (which is zero if $l >$ the total length of the tree). The inclusion area around a stem at a certain point will be circular, with size $\frac{g_i}{\sin^2 \theta/2}$, where θ is the relascope angle. This follows from standard relascope sampling theory (e.g. Bitterlich 1984).

Although it would be extremely impractical, we now assume that a relascope be used for estimating the cross-sectional area at all possible lengths along the stems of downed trees, i.e. we estimate the quantity $\sum_{i=1}^N g_i(l)$ for all possible lengths, l , using a relascope at a randomly selected sample point. The estimator will be (assuming the total area is one hectare):

$$(2) \quad \hat{Y} = \int_{l=0}^{\infty} \left(R \sum_{i=1}^N I_i(l) \right) dl$$

$I_i(l)$ is an indicator variable, which is one when the tree is included at length l and zero otherwise; R is the basal area factor of the relascope.

In order to make the estimator operational in practice, the following rearrangement of (2) is made (which is valid since the order of summation and integration does not matter in this case):

$$(3) \quad \hat{Y} = \int_{l=0}^{\infty} \left(R \sum_{i=1}^N I_i(l) \right) dl = R \sum_{i=1}^N \int_{l=0}^{\infty} I_i(l) dl = R \sum_{i=1}^N c_i$$

Here, c_i is the critical length of a dead tree (which is 0 for all trees in the population that are not included in the sample at all). This length is obtained as the length along the stem where the diameter of the tree is coarse enough for the tree to be included with the relascope, from the specific sample point. For simple use in the field, some advanced type of laser ranger finder would be needed or, alternatively, in subjective surveys an ocular estimate of the critical length may be made.

The estimator (3) is found to be identical with the one proposed for standing trees by Kitamura (1962). A difference in applications will be that the thick bottom parts of lying dead trees sometimes may be excluded in CLS due to long distance from the sample point, while thinner upper parts of a tree – that happen to fall closer to a sample point – may sometimes be the only part of a tree that are included.

Adding some intuition to the proof

The proof given above may appear theoretical and difficult to follow. Therefore, a more intuitive proof is given below. In this case, we expand the case to a situation where all dead wood in a stand should be estimated, including standing, leaning, and downed dead trees.

As a basis for this more intuitive proof, assume all dead wood be chopped up into 1 dm short sections before sampling. Each piece is short enough so that a very precise volume estimate can be obtained by using Huber's formula, i.e. the volume of a piece equals its length times the cross-sectional area at its center point. Although chopped up, we assume that the pieces still are attached to each other.

Now, our population of interest is the 1 dm long units of dead wood in the stand, and we want to estimate their total volume.

A relascope with automatic correction for deviations from the horizontal plane is assumed to be used, e.g. a Spiegel Relaskop (Bitterlich 1984). Moreover, in case the pieces are not oriented vertically, the relascope must be tilted so that the gap of the relascope be oriented parallel with the orientation of the specific piece of wood.

In this case, the inclusion area around each piece of wood will be circular with size $\frac{g_i}{\sin^2 \theta/2}$, where θ is the relascope angle and g_i the cross sectional area at the mid-point of the piece, at which the relascope is aimed. Assuming a stand of 1 ha size (i.e. the estimate will be obtained as a per-hectare value) and one randomly laid out point within this area – ignoring boundary problems – the probability of inclusion of a specific piece will be:

$$(4) \quad \frac{g_i}{10000 \sin^2 \theta/2} = \frac{g_i}{R}$$

Since a Horvitz-Thompson estimator (e.g. Thompson 1992) always can be set up as the sum of the quantities of interest on sampled units over their corresponding probability of inclusion, an estimator of the total volume of dead wood pieces will be:

$$(5) \quad \hat{Y} = R \sum_{i=1}^n \frac{0.1 g_i}{g_i} = R n \cdot 0.1 = R C$$

In this formula, the term $0.1 g_i$ is the volume of an individual section and C is the total length of all units included ($n \cdot 0.1$). This is the same result as the estimator (3) presented above.

Discussion

From the above derivations, it should be clear that the method works from a theoretical point of view. However, some geometrical issues of minor importance remain to be solved. These concern the exact properties of the inclusion zone using the proposed method, in comparison to a perfectly circular inclusion zone with the area corresponding to that of a vertically standing tree with a given diameter.

From a practical point of view, it is proposed that the main field of application of this method might be in connection with rapid forest or biological inventories where there is a need to obtain a reasonable estimate of the volume of deadwood in an area at low cost. In this case, “typical locations” within the area of interest can be chosen and the method be applied for both standing and downed trees.

For standing (and leaning) trees, in principle a relascope with built-in correction for deviation from the horizontal plane should be used. In practice, a standard relascope with fixed angle may also be used, although in this case the surveyor needs to subjectively assess what part of a standing tree should be included. For downed trees in flat terrain, normally the relascope will be operated in close to horizontal angle, and thus there will not be any need to make corrections.

Both for standing and downed trees, the critical length needs to be assessed. It is proposed that this can be made by subjective judgment, although it is likely that modern laser instruments could be developed to simplify the assessments in the near future.

The main merit of the method may be that it provides a framework for how subjective assessments of the volume of dead wood can be assisted by simple measurements, since direct judgment of the volume of dead wood in a stand is difficult. However, since conditions regarding dead wood generally vary quite substantially within a stand, it would generally be necessary to make measurements at several locations to obtain adequate estimates.

Acknowledgements

The author would like to thank Sören Holm (SLU), Jeffrey Gove (USDA Forest Service), and Mike Williams (USDA Forest Service) for valuable discussions regarding the theory behind the method. Thanks also to Niklas Lundberg (SVEFA) for conducting a first test regarding the applicability of the method in the field.

References

Bitterlich, W. 1984. The relascope idea. Commonwealth Agricultural Bureaux, London.

Gove, J.H., Ringvall, A., Ståhl, G. and Ducey, M.J. 1999. Point relascope sampling of downed coarse woody debris. *Canadian Journal of Forest Research* 29 : 1718-1726.

Kitamura, M. 1962. On an estimate of the volume of trees in a stand by the sum of critical heights (in Japanese). *73 Kai Nichi Rin Ko*: 64-67.

Samuelsson, J., Gustafsson, L., and Ingelög, T. 1994. Dying and dead trees, a review of their importance for biodiversity. Swedish Environmental Protection Agency, Report 4306.

Schreuder, H.T., Gregoire, T.G., and Wood, G.B. 1993. Sampling methods for multiresource forest inventory. John Wiley & Sons, New York.

Ståhl, G. 1998. Transect relascope sampling. A method for the quantification of coarse woody debris. *Forest Science* 44: 58-63.

Thompson, S.K. 1992. Sampling. John Wiley and Sons, New York.

Warren, W.G. and Olsen, P.F. 1964. A line intersect technique for assessing logging waste. *Forest Science* 10: 267-276.

Wikström, P. and Eriksson, L.O. 2000. Solving the stand management problem under biodiversity-related considerations. *Forest Ecology and Management* 126: 361-376.

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.

This series of Working Papers reflects the activity of this Department of Forest Resource Management and Geomatics. The sole responsibility for the scientific content of each Working Paper relies on the respective author.

Riksskogstaxeringen: (*The Swedish National Forest Inventory*)

- 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.
- 65 Hallsby, G m.fl. Metodik för skattning av lokala skogsbränsleresurser. ISRN SLU-SRG-AR--65--SE.
- 75 von Segebaden, G. Komplement till "RIKSTAXEN 75 ÅR". ISRN SLU-SRG-AR--75--SE.
- 2001 86 Lind, T. Kolinnehåll i skog och mark i Sverige - Baserat på Riksskogstaxeringens data. ISRN SLU-SRG-AR--86--SE
- 2003 110 Berg Lejon, S. Studie av mätmetoder vid Riksskogstaxeringens årsringsmätning. ISRN SLU-SRG-AR--110--SE.

Inventering och planering: (*Forest inventory and planning*)

- 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. & Löfgren, P. Metodutveckling för vegetationsövervakning i fjällen.
ISRN SLU-SRG-AR--70--SE.
- 73 Holm, S. & Lundström, A. Åtgärdsprioriteter. ISRN SLU-SRG-AR--73--SE.
- 76 Fridman, J. & Ståhl, G. Funktioner för naturlig avgång i svensk skog.
ISRN SLU-SRG-AR--76--SE.
- 2001 82 Holmström, H. Averaging Absolute GPS Positionings Made Underneath Different
Forest Canopies - A Splendid Example of Bad Timing in Research.
ISRN SLU-SRG-AR--79--SE.
- 2002 91 Wilhelmsson, E. Forest use and its economic value for inhabitants of Skröven and
Hakkas in Norrbotten. ISRN SLU-SRG-AR--91--SE.
- 94 Eriksson, O. m fl. Wood Supply From Swedish Forests Managed According to the
FSC-standard. ISRN SLU-SRG-AR--94--SE.
- 2003 116 Ståhl, G. Critical length sampling for estimating the volume of coarse woody debris.
ISRN SLU-SRG-AR--116--SE.

Biometri: (*Biometrics*)

- 1997 22 Ali, Abdul Aziz. Describing Tree Size Diversity. ISRN SLU-SRG-AR--22--SE.
- 1999 64 Berhe, L. Spatial continuity in tree diameter distribution.
ISRN SLU-SRG-AR--64--SE
- 2001 88 Ekström, M. Nonparametric Estimation of the Variance of Sample Means Based on
Nonstationary Spatial Data. ISRN SLU-SRG-AR--88--SE.
- 89 Ekström, M. & Belyaev, Y. On the Estimation of the Distribution of Sample Means
Based on Non-Stationary Spatial Data. ISRN SLU-SRG-AR--89--SE.
- 90 Ekström, M. & Sjöstedt-de Luna, S. Estimation of the Variance of Sample Means
Based on Nonstationary Spatial Data with Varying Expected Values.
ISRN SLU-SRG-AR--90--SE.
- 2002 96 Norström, F. Forest inventory estimation using remotely sensed data as a stratification
tool - a simulation study. ISRN SLU-SRG-AR--96--SE.

Fjärranalys: (*Remote Sensing*)

- 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 Lofstrand, 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.
- 79 Reese, H & Nilsson, M. Wood volume estimations for Älvsbyn Kommun using SPOT satellite data and NFI plots. ISRN SLU-SRG-AR--79--SE.
- 2003 106 Olofsson, K. TreeD version 0.8. An Image Processing Application for Single Tree Detection. ISRN SLU-SRG-AR--106--SE.
- 112 Proceedings of the ScandLaser Scientific Workshop on Airborne Laser Scanning of Forests. September 3 & 4, 2003. Umeå, Sweden. Edited and organised by J. Hyypä, E. Naesset, H. Olsson, T. Granqvist Pahlén and H. Reese. ISRN SLU-SRG-AR--112--SE.
- 114 Manterola Matxain, I. Computer Visualization of forest development scenarios in Bäcksjön estate. ISRN SLU-SRG-AR--114--SE.

Kompendier och undervisningsmaterial: (*Compendia and educational papers*)

- 1996 14 Holm, S. & Thuresson, T. samt jägm.studenter kurs 92/96. En analys av skogstillståndet 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 skogstillståndet 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 strategisk och taktisk skoglig planering år 1998. En analys av skogsstillståndet samt några alternativa avverknings beräkningar för Östads säteri. ISRN SLU-SRG-AR--58--SE.
- 2001 87 Eriksson, O. (Ed.) Strategier för Östads säteri: Redovisning av planer framtagna under kursen Skoglig planering ur ett företagsperspektiv HT2000, SLU Umeå. ISRN SLU-SRG-AR--87--SE..
- 2002 93 Lind, T. (Ed.) Strategier för Östads säteri: Redovisning av planer framtagna under kursen Skoglig planering ur ett företagsperspektiv HT2001, SLU Umeå. ISRN SLU-SRG-AR--93--SE..
- 2003 115 Lind, T (Ed.). Strategier för Östads säteri: Redovisning av planer framtagna under kursen Skoglig planering ur ett företagsperspektiv HT2002, SLU Umeå. ISRN SLU-SRG-AR--115--SE.

Examensarbeten: (Theses by Swedish forestry students)

- 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. Sortimentsinriktad 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 inventeringsmetodernas 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--12--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
- 62 Fridh, L. Utbytesprognoser av rotstående skog. Examensarbete i skoglig planering. ISRN SLU-SRG-AR--62--SE.
- 2000 67 Jonsson, T. Differentiell GPS-mätning av punkter i skog. Point-accuracy for differential GPS under a forest canaopy. ISRN SLU-SRG-AR--67--SE.
- 71 Lundberg, N. Kalibrering av den multivariata variabeln trädslagsfördelning. Examensarbete i biometri. ISRN SLU-SRG-AR--71--SE.
- 72 Skoog, E. Leveransprecision och ledtid - två nyckeltal för styrning av virkesflödet. Examensarbete i skoglig planering. ISRN SLU-SRG-AR--72--SE.
- 74 Johansson, L. Rotröta i Sverige enligt Riksskogstaxeringen. Examens arbete i ämnet skogsindelning och skogsuppskattning. ISRN SLU-SRG-AR--74--SE.
- 77 Nordh, M. Modellstudie av potentialen för renbete anpassat till kommande slutavverkningar. Examensarbete på jägmästarprogrammet i ämnet skoglig planering. ISRN SLU-SRG-AR--77--SE.
- 78 Eriksson, D. Spatial Modeling of Nature Conservation Variables useful in Forestry Planning. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--74--SE.
- 81 Fredberg, K. Landskapsanalys med GIS och ett skogligt planeringssystem. Examensarbete på skogsvetarprogrammet i ämnet skogshushållning. ISRN SLU-SRG-AR--81--SE.
- 2001 83 Lindroos, O. Underlag för skogligt länsprogram Gotland. Examensarbete i ämnet skoglig planering. ISRN SLU-SRG-AR--83--SE.
- 84 Dahl, M. Satellitbildsbaserade skattningar av skogsområden med röjningsbehov. Examensarbete på akogsvetarprogrammet i ämnet skoglig planering. ISRN SLU-SRG-AR--84--SE.
- 85 Staland, J. Styrning av kundanpassade timmerflöden - Inverkan av traktbankens stlorlek och utbytesprognosens tillförlitlighet. Examensarbete i ämnet skoglig planering. ISRN SLU-SRG-AR--85--SE.
- 2002 92 Bodenheim, J. Tillämpning av olika fjärranalysmetoder för urvalsförfarandet av ungskogsbestånd inom den enkla älgbetesinventeringen (ÄBIN). Examensarbete på skogsvetarprogrammet i ämnet fjärranalys. ISRN SLU-SRG-AR--92--SE.
- 95 Sundquist, S. Development of a measure of production density for the Swedish National Forest Inventory. ISRN SLU-SEG-AR--95--SE.

- 98 Söderholm, J. De svenska skogsbolagens system för skoglig planering. *The planning system of Swedish forest companies*. Examensarbete på skogsvetarprogrammet i ämnet skoglig planering. ISRN SLU-SRG-AR--98--SE.
- 99 Nordin, D. Fastighetsgränser. Del 1. Fallstudie av fastighetsgränserns lägesnoggrannhet på fastighetskartan. Examensarbete på skogliga magisterprogrammet i ämnet skogshushållning med inriktning skoglig planering. ISRN SLU-SRG-AR--99--SE.
- 100 Nordin, D. Fastighetsgränser. Del 2. Instruktion för gränsvård. Examensarbete på skogliga magisterprogrammet i ämnet skogshushållning med inriktning skoglig planering. ISRN SLU-SRG-AR--100--SE.
- 101 Nordbrant, A. Analyser med Indelningspaketet av privata skogsfastigheter inom Norra Skogsägarnas verksamhetsområde. Examensarbete på skogsvetarprogrammet i ämnet skoglig planering. ISRN SLU-SRB-AR--101--SE.
- 2003 102 Wallin, M. Satellitbildsanalys av gremmeniellaskador med skogsvårdsorganisationens system. Examensarbete på skogsvetarprogrammet i ämnet skogshushållning med inriktning fjärranalys. ISRN SLU-SRG-AR--102--SE.
- 103 Hamilton, A. Effektivare samråd mellan rennärning och skogsbruk - förbättrad dialog via ett utvecklat samrådsförfarande. More effective consultations between reindeer herding and forestry - improved dialog by a developed consultation process. Examensarbete på skogsvetarprogrammet i ämnet skogshushållning. ISRN SLU-SRG-AR--103--SE.
- 104 Hajek, F. Mapping of Intact Forest Landscapes in Sweden according to Global Forest Watch methodology. MSc Thesis in forest Resource management, specialization in remote sensing. ISRN SLU-SRG-AR--104--SE.
- 105 Anerud, E. Kalibrering av ståndortsindex i beståndsregister - en studie åt Holmen Skog AB. Examensarbete på skogsvetarprogrammet i ämnet skoglig planering. ISRN SLU-SRG-AR--105--SE.
- 107 Pettersson, L. Skördarnavigering kring skyddsvärda objekt med GPS-stöd. Examensarbete på skogsvetarprogrammet i ämnet skogshushållning. ISRN SLU-SRG--AR--107--SE.
- 108 Paz von Friesen, C. Inverkan på provytans storlek på regionala skattningar av skogs typer. En studie av konsekvenser för uppföljning av miljömålen. Examensarbete i ämnet skogshushållning. ISRN SLU-SRG-AR--108--SE.
- 109 Östberg, P-A. Försök med subjektiva metoder för datainsamling och analys av hur fel i data påverkar åtgärdsförslagen. Examensarbete i ämnet skogshushållning. ISRN SLU-SRG-AR--109--SE.
- 111 Hansson, J. Vad tycker bilister om vägnära skogar- två enkätstudier. Examensarbete i ämnet skogshushållning. ISRN SLU-SRG-AR--111--SE.

- 113 Eriksson, P. Renskötseln i Skandinavien. Förutsättningar för sambruk och konflikt-hantering. Examensarbete i ämnet skogshushållning med inriktning skoglig planering. ISRN SLU-SRG--AR--113--SE.

Internationellt: (*International issues*)

- 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). Masters 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.
- 2000 80 Sawathvong, S. Forest Land Use Planning in Nam Pui National Biodiversity Conservation Area, Lao P.D.R. ISRN SLU-SRG-AR--80--SE.
- 2002 97 Inter-active and dynamic approaches on forest and land-use planning in Southern Africa - proceedings from a training workshop in Botswana, December 3-17, 2001. Edited by Mats Sandewall. ISRN SLU-SRG-AR--97--SE.