

Validering av funktioner för att beräkna topplängd

Funktioner för tall och gran

Kalvis Kons, Björn Hannrup, John Arlinger & Maria Nordström



Innehåll

Förord	3
Summary	4
Sammanfattning	5
Bakgrund	6
Syfte och mål	7
Material och metoder	7
Beräkning av topplängd	9
Analys	9
Resultat och diskussion	10
Referenser	13
Bilaga 1. Residualplottar för beräknad topplängd	14



Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala
skogforsk@skogforsk.se
skogforsk.se

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts 06 september 2023 av Johan J Möller Bitr Programledare. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, granskat och godkänt publikationen för publicering 06 september 2023.

Redaktör: Caroline Rothpfeffer, caroline.rothpfeffer@skogforsk.se
©Skogforsk 2023 ISSN 1404-305X

Förord

Denna studie är utförd inom ramen för projektet “Nytt omräkningstal från m^3_{fub} till m^3_{sk} för avverkningsberäkningar”. Projektet är initierat och finansierat av Skogsstyrelsen och syftar till att förbättra kunskapsläget gällande hur olika faktorer påverkar relationen mellan virkesvolymen i m^3_{fub} och m^3_{sk} . Den här projektdelen behandlar längden på toppar från avverkade trädstammar. I studien görs en jämförelse mellan manuellt referensmätta topplängder och beräknade längder, där basen för beräkningarna utgörs av produktionsdata från skördare.

I studien har data över längden på toppar samlats in av kvalitetstekniker från Biometria. Databasinsamlingen samordnades av Jonas Hemmingsson, Biometria.

Planering av studien samt analys och avrapportering har gjorts av en arbetsgrupp bestående av John Arlinger (JDA Forest), Björn Hannrup, Kalvis Kons och Maria Nordström från Skogforsk.

Ett varmt TACK till alla som bidragit till studiens genomförande!

/Kalvis Kons, projektledare

Summary

Functions for calculating the length of tops can be used in combination with production data from harvesters to determine the height of cut tree stems. This method of determining tree height is integrated in a number of applications that are widely used in Swedish forestry. An accurate figure for the length of tops is also important for the relationship between the two volume units, m^3_{sub} and $m^3_{standing}$ volume, as the latter includes the volume contribution from the top.

The aim of the study was to evaluate existing functions for estimating top length from cut stems of pine and spruce. One key aspect was to analyse the occurrence of systematic errors and, in such cases, develop an expression that calibrates for such systematic errors.

Reference material was collected, comprising manual measurements of length of tops performed by quality technicians from Biometria. The data comprised measurements of 216 pines and 223 spruces, and included measurements from thinning and final-felling trees. Calculations of top length were based on the functions currently used in Sweden, which were originally developed in Finland at the start of the 2000s.

The results showed that the calculated values for top length overestimated the actual top length. The average overestimate was 25 cm for pine and 62 cm for spruce, and was statistically significant for both species. A possible explanation can be the difference in the composition of the data material used for model development and data collected in the study. The data used in the model only comprised tops from final-felling trees, while our data also included tops from thinning trees, where the tops tend to be shorter than tops from final-felling trees.

The relationship between the calculated and reference lengths of the tops was used to develop an expression to calibrate calculated values. The expression can be used immediately to adjust for the systematic overestimate of calculated top length within existing applications. At the same time, it is important that a new study is initiated with the aim of developing completely new functions for direct estimate of top length based on production data collected from harvesters. The data in our study can be used as a basis for such a study, but it should be expanded with supplementary measurements and should also include measurements of birch.

Sammanfattning

Funktioner för beräkning av längden på toppar kan användas i kombination med produktionsdata från skördare för bestämning av höjden på avverkade trädstammar. Sådan bestämning av trädhöjd finns integrerad i ett flertal tillämpningar som används brett i det svenska skogsbruket. En korrekt bestämning av topparnas längd är också central för relationen mellan de två volymenheterna m^3_{fub} och m^3_{sk} , då den senare enheten inkluderar det volymmässiga bidraget från toppen.

Syftet med studien var att utvärdera befintliga funktioner för skattning av längden på toppar från avverkade trädstammar av tall och gran. En central del av studien var att analysera förekomsten av systematiska fel och i förekommande fall ta fram uttryck som kalibrerar för sådana systematiska fel.

I studien insamlades ett referensmaterial bestående av manuella mätningar av längden på toppar. Mätningarna utfördes av kvalitetstekniker från Biometria. Materialet omfattade mätningar på totalt 216 tallar och 223 granar och inkluderade mätningar på gallrings- och slutavverkningsträd. Beräkningarna av topplängd baserades på de funktioner som numera används i Sverige och som ursprungligen utvecklades i Finland i början av 2000-talet.

Resultaten visade att beräknade värden för topparnas längd genererade en överskattning av den verkliga topplängden. Överskattningen uppgick i medeltal till 25 cm för tall och 62 cm för gran och var för båda trädslagen statistiskt säkerställd. En möjlig förklaring till den systematiska överskattningen av längden på topparna kan vara skillnaden i sammansättning mellan materialet som användes för modellutveckling och materialet som insamlades i studien. I det förra materialet ingick enbart toppar från slutavverkningsträd medan vårt material även omfattade toppar från gallringsträd vars toppar har en tendens att vara kortare än toppar från slutavverkningsträd.

Sambandet mellan de beräknade och referensmätta längderna på topparna användes för att ta fram trädvisa uttryck för kalibrering av de beräknade värdena. Uttrycken kan omgående användas för att justera för den systematiska överskattningen av beräknad topplängd inom befintliga tillämpningar. Det är samtidigt angeläget att en ny studie initieras i syfte att utveckla helt nya funktioner för direkt skattning av topplängd baserat på produktionsdata insamlade med skördare. Materialet i vår studie kan användas som bas för en sådan studie men det bör utökas med kompletterande mätningar och skulle också ta hänsyn av mätningar på björk.

Bakgrund

Skogsstyrelsen ansvarar för framtagning av den officiella nationella avverkningsstatistiken (Skogsstyrelsen 2023). Beräkningarna av avverkade kvantiteter bygger på uppgifter om industrins virkesförbrukning, import- och exportvolymerna samt justeringar för lagerförändringar (Claesson m. fl. 2020). Avverkningsvolymen uttrycks i ett första steg som virkesvolymen under bark (m^3_{fub}) och i ett andra steg sker omräkning till skogskubikmeter (m^3_{sk}), det vill säga volymen inklusive bark och toppar. Omräkningen har baserats på ett omräkningstal framtaget på 1970-talet (Anon 1978). Skogsstyrelsen har nyligen initierat och genomfört en översyn av detta omräkningstal (Skogsstyrelsen 2022). Vår studie har utgjort en del av underlaget till denna översyn, utförd i syfte att kvalitetssäkra den del av indata som beskriver längden på toppar från avverkade trädstammar.

Produktionsdata insamlade med skördare är ett lämpligt underlag för att ge en detaljerad beskrivning av relationen mellan m^3_{fub} och m^3_{sk} . Dessa data gör det möjligt att trädvis analysera de fraktioner som bygger upp storheten skogskubikmeter, det vill säga primärt stamved, bark, topp, spån från fäll- och stockkap samt kortare lump. En begränsning med produktionsdata från skördare är dock att de enbart beskriver stamdelen upp till toppkapet. Beskrivande information om toppen får därför genereras från matematiska funktioner utifrån mätningar på stamdelen.

De funktioner som används för att skatta längden på toppar utvecklades på finska material i början av 2000-talet (Kiljunen 2002). Funktionerna finns integrerade i ett flertal tillämpningar baserade på produktionsdata från skördare, till exempel Automatiserad gallringsuppföljning (Hannrup m. fl. 2015) och Utbytesprognoser (Möller m. fl. 2017). Funktionerna har dock aldrig validerats på något svenskt material med rikstäckande karaktär. Sammanfattningsvis finns det därför en rad anledningar att närmare utvärdera funktionerna som används för skattning av topplängd. Speciell uppmärksamhet bör ägnas åt förekomsten av potentiella systematiska fel. Förekomsten av sådana fel kan påverka relationen mellan m^3_{fub} och m^3_{sk} men även ge direkt inverkan vid beräkning av övre höjd och ståndortsindex och därmed en indirekt inverkan på tillämpningar som används brett i det svenska skogsbruket.

Syfte och mål

Det övergripande syftet med studien var att utvärdera befintliga funktioner för skattning av längden på toppar från avverkade trädstammar och därigenom kvalitetssäkra viktiga indata till Skogsstyrelsens översyn av relationen mellan virkesvolymen i m³fub och m³sk.

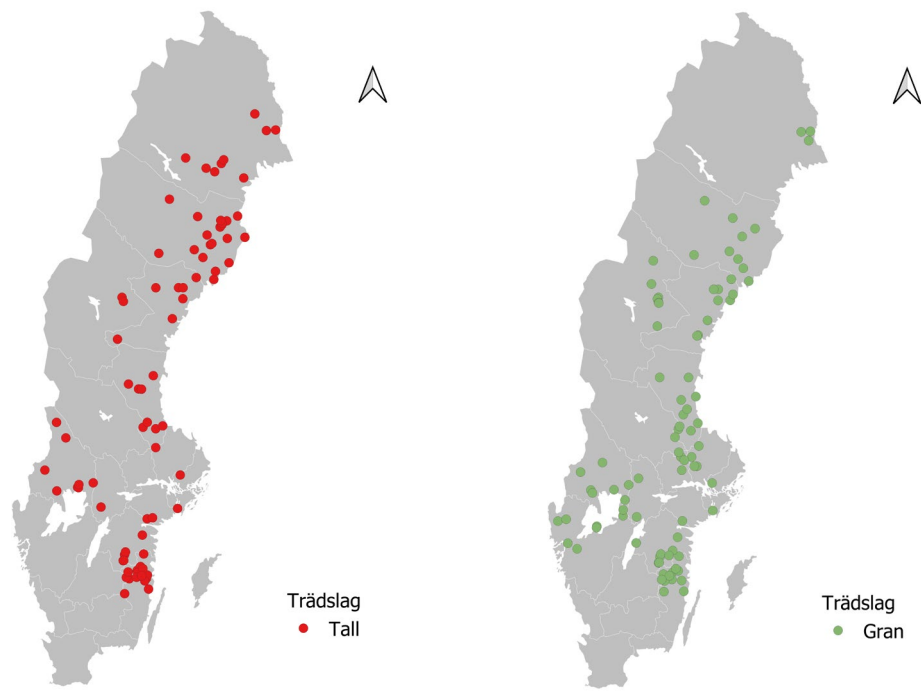
Studien har haft följande mål:

- Att samla in ett rikstäckande material med manuella mätningar av längden på toppar från trädstammar avverkade med skördare.
- Att utvärdera befintliga funktioner för beräkning av topplängd genom jämförelse mellan beräknade topplängder och manuellt mätta topplängder.
- Att analysera förekomsten av systematiska fel i funktionernas skattning av topplängd och i förekommande fall ta fram uttryck som kalibrerar för sådana systematiska fel.

Studien var avgränsad till analys av topplängder för tall och gran.

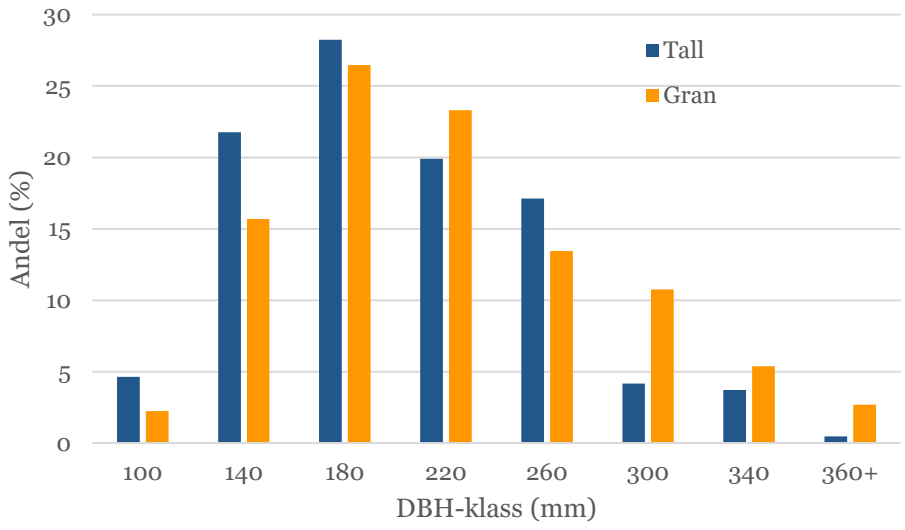
Material och metoder

Studiens mätningar av topplängd utfördes av kvalitetstekniker från Biometria. Mätningarna gjordes i samband med revisorernas ordinarie fältkontroller inom ramen för kvalitetssäkringssystemet av skördarnas längd- och diametermätning. Totalt omfattade materialet mätningar på 216 tallar och 223 granar från 125 lokaler (figur 1). I genomsnitt mättes toppar från tre träd per lokal med en variation från en till tio mätta toppar per lokal.



Figur 1. Karta över provtagningslokalerna för mätningar av längden på toppar för tall (vänster figur) och gran (höger figur).

För träden som ingick i studien mättes längden på topparna från toppkapet till spetsen på toppskottet. Mätningar utfördes enbart på toppar som var intakta, alternativt kunde rekonstrueras med säkerhet. Utöver toppmätningar utfördes längd- och diametermätning längs stammarna enligt ordinarie rutin. Dimensionsmätningarna omfattar längdmätning av samtliga stockar samt korsklavning av brösthöjdsdiameter, av stockarnas toppdiametrar samt korsklavning varje meter längs stockarna.



Figur 2. Diameterfördelning för de toppmätta träden i studien uppdelat på tall respektive gran.

Träden som ingick i studien var hämtade från gallrings- och slutavverkningsskog. Antalsmässigt övervägde träd från slutavverkning vilket framgår av diameterfördelningen för populationen tallar respektive granar (figur 2).

Beräkning av topplängd

Matematiska uttryck som utifrån trädvisa produktionsdata från skördare skattar mängden grot vid avverkning utvecklades i början av 2000-talet i Finland (Kiljunen 2002). Som stödfunktioner för grotuttrycken utvecklades funktioner för skattning av trädhöjd baserat på dimensions- och avsmalningsmått registrerade på stamdelen. I vår studie användes följande trädhöjdsfunktioner från Kiljunen (2002):

$$[1] h_{tall} = 93,780 - 24,579 * \ln(d_2) + 1,093 * h_{toppkap} + 25,374 * \left(\frac{d_{toppkap}}{d_{toppkap}-1}\right) + 0,507 * d_{toppkap}$$

$$[2] h_{gran} = 69,244 - 20,755 * \ln(d_1) + 0,686 * d_{toppkap} + 1,086 * h_{toppkap} + 21,651 * \left(\frac{d_{toppkap}}{d_{toppkap}-1}\right)$$

där (h_{tall}) och (h_{gran}) är skattningarna av stammens längd (i dm) från rotskåret till spetsen av toppskottet för tall respektive gran, d_1 är diameter på bark vid 1 meters höjd (mm), d_2 är diameter på bark vid 2 meters höjd (mm), $h_{toppkap}$ är avståndet från rotskåret till toppkapet (dm), $d_{toppkap}$ är diameter på bark vid toppkapet (mm), och $d_{toppkap} - 1$ är diameter på bark en meter nedanför toppkapet (mm). Indata till funktionerna hämtades genomgående från kvalitetsteknikernas längd- och diametermätning på de stammar vars toppar referensmättes inom ramen för studien.

För skattning av topplängd (tl) användes skattningarna från de trädslagsvisa trädhöjdsfunktioner i kombination med den summerade längden för stockarna upp till toppkapet:

$$[3] \quad \quad \quad tl = h - h_{toppkap}$$

där h är den skattade längden på stammen (dm) och $h_{toppkap}$ är den summerade längden för stockarna upp till toppkapet (dm) från kvalitetsteknikernas mätningar.

Analys

I analyserna jämfördes de beräknade topplängderna med de manuellt mätta topplängderna. Den genomsnittliga systematiska avvikelserna för de beräknade värdena (*bias*) uttrycktes som:

$$[4] \quad \quad \quad bias = tl_{obs} - tl_{pred}$$

där tl_{obs} är den manuellt mätta topplängden i cm och tl_{pred} är den beräknade längden på topparna i cm.

Det tillfälliga felet, eller spridningen för avvikelserna mellan de referensmätta och beräknade topplängderna (*RMSE*) uttrycktes som:

$$[5] \quad \quad \quad RMSE = \sqrt{\frac{\sum(tl_{obs} - tl_{pred})^2}{n}}$$

Systematiska avvikelser för de beräknade topplängderna kalibrerades bort med hjälp av ekvationer från linjär regression av beräknad topplängd på referensmätt topplängd. Följande trädvisa ekvationer utnyttjades för kalibreringen:

$$[6] \quad \quad \quad tl_{pred_kal} = a + b * tl_{pred}$$

där tl_{pred_kal} är den kalibrerade beräknade topplängden i cm och a och b är parametrar som skattas från regressionen av beräknad topplängd på referensmätt topplängd.

Resultat och diskussion

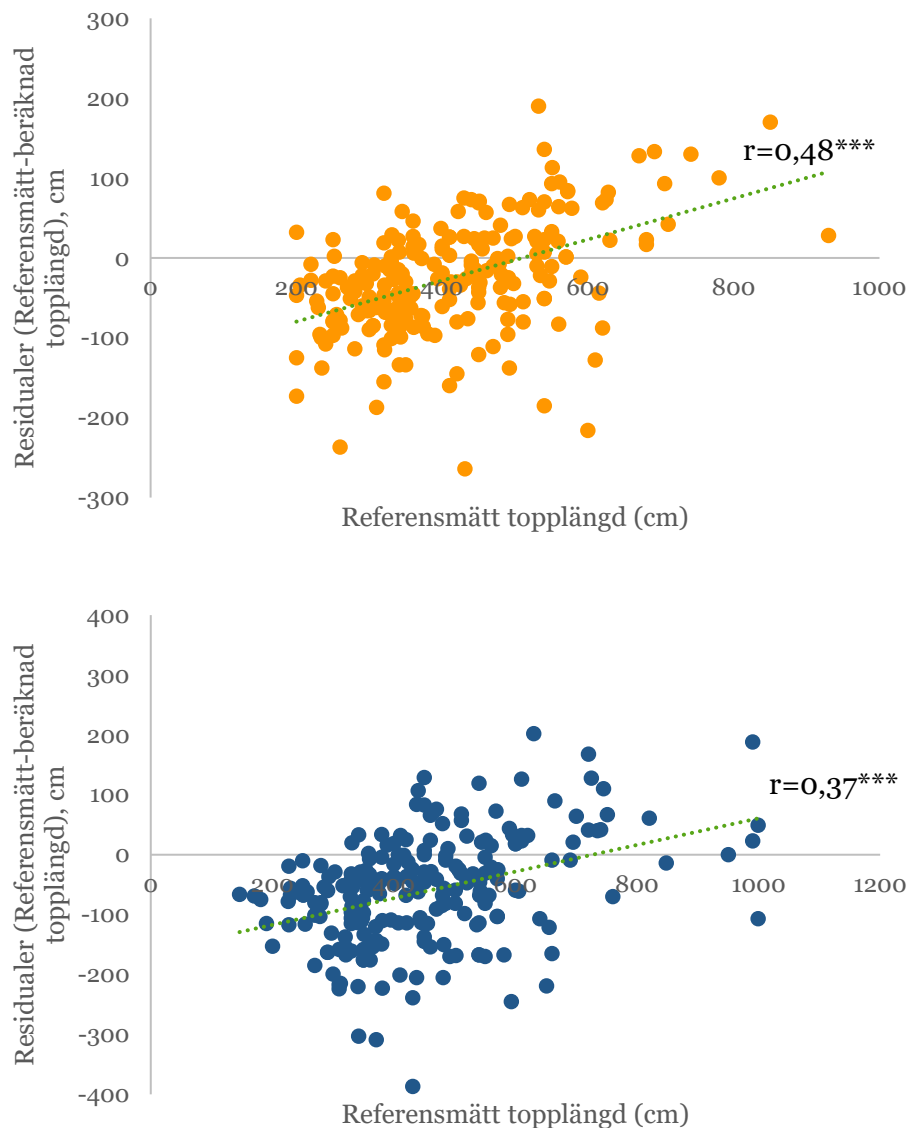
Den referensmätta längden på topparna var i genomsnitt 4,1 m respektive 4,5 m för tall och gran. Motsvarande beräknade värden uppgick till 4,4 respektive 5,1 m (tabell 1). För båda trädslagen genererade alltså de beräknade topplängderna en överskattning av de verkliga topplängderna. Skillnaden mellan referensmätt och beräknad topplängd uppgick i medeltal till 25 cm (tall) respektive 62 cm (gran). Skillnaden i medelvärden var statistiskt säkerställd både för tall ($p=0,04$) och för gran ($p<0,0001$).

Tabell 1. Medelvärden och spridningsmått för beräknad topplängd respektive referensmätt topplängd från kvalitetsteknikernas manuella mätning.

	Trädslag	Enhet	N	Medel	Standard avv.	Min	Max
Referensmätt topplängd	Tall	cm	216	414	130	200	930
Beräknad topplängd	Tall	cm	216	439	115	168	902
Referensmätt topplängd	Gran	cm	223	450	156	146	999
Beräknad topplängd	Gran	cm	223	512	150	212	1106

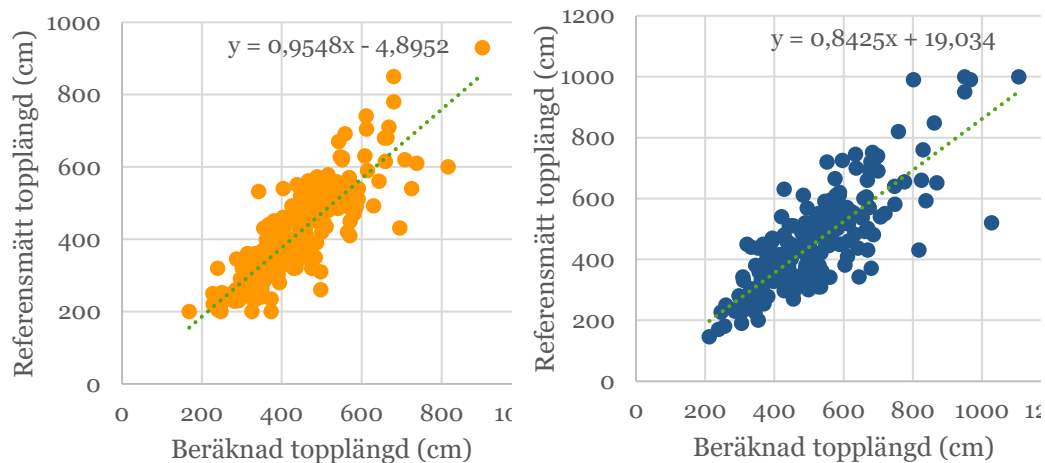
I en fördjupad analys gjordes en närmare granskning av de trädvisa avvikelserna mellan referensmätt och beräknad topplängd. Analysen indikerade att det inte för något av trädslagen fanns något samband mellan avvikelsernas storlek och läget i landet uttryckt som latitud och longitud för de toppmätta trädens växtplats (bilaga 1).

Den fördjupade analysen av avvikelserna mellan referensmätt och beräknad topplängd indikerade också att det för båda trädslagen fanns ett positivt, statistiskt säkerställt, samband mellan storleken på avvikelserna och den referensmätta topplängden (figur 3). Sambandet indikerade att negativa avvikelser, det vill säga att den beräknade topplängden överskattade den referensmätta, företrädesvis var kopplade till de kortare topparna. En möjlig förklaring till att det företrädesvis var längden på de kortare topparna som överskattades kan vara skillnaden i sammansättning mellan materialet som användes för modellutveckling (Kiljunen 2002) och materialet som insamlades i vår studie. I det förra materialet ingick enbart toppar från slutavverkningsträd medan vårt material även omfattade toppar från gallringsträd vars toppar har en tendens att vara kortare än toppar från slutavverkningsträd.



Figur 3. Samband mellan referensmätt topplängd och storleken på avvikelsen mellan referensmätt och beräknad topplängd för tall (övre figur) och gran (nedre figur). *** = $p < 0,008$.

I figur 4 återges de trädvisa sambanden mellan beräknad och referensmätt topplängd. Sambanden användes för att kalibrera för de systematiska avvikelserna i de beräknade topplängderna. Parameterskattningar tillhörande kalibreringsekvationerna finns samlade i tabell 2. Plottar av sambanden mellan de kalibrerade beräknade topplängderna och referensmätta topplängderna återfinns i figur 5.

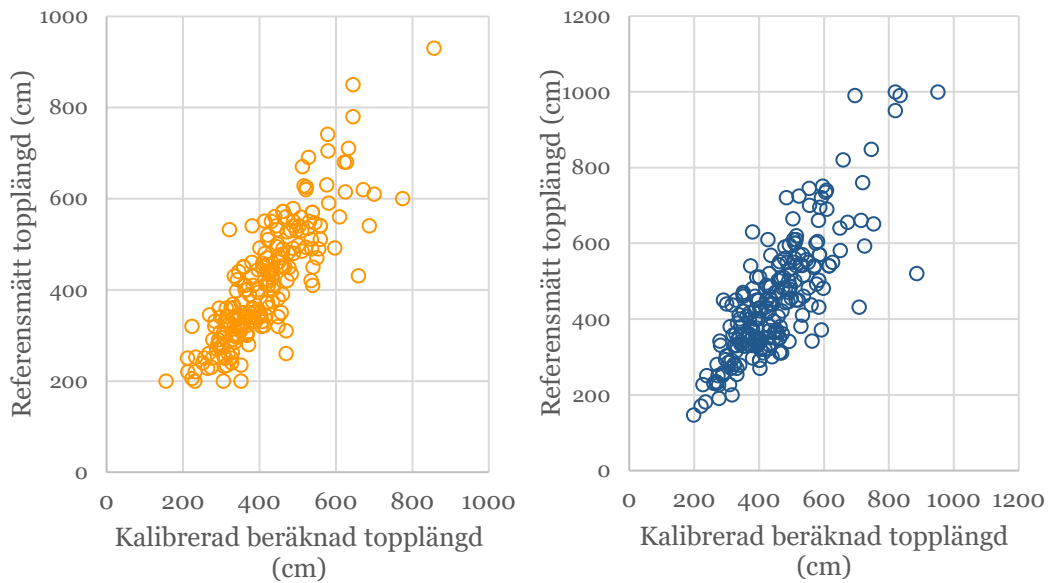


Figur 4. Samband mellan beräknad topplängd och referensmätt topplängd för tall (vänster figur) och gran (höger figur).

Tabell 2. Parameterskattningar för de trädvisa kalibreringsekvationerna (ekv. 6).

Parameter	Trädslag	Skattning
a	Tall	-4,8952
b	Tall	0,9548
a	Gran	19,034
b	Gran	0,8425

Sammanfattningsvis visade vår studie att de beräknade topplängderna överskattade de verkliga topplängderna. Det systematiska fel som därmed genereras kommer att fortplantas inom metoder som har fått bred tillämpning i det svenska skogsbruket, till exempel Automatiserad gallringsuppföljning (Hannrup m. fl. 2015) och Utbytesprognoser (Möller m. fl. 2017). De kalibreringsekvationer som tagits fram i denna studie kan användas för att kompensera för den systematiska överskattningen och ekvationerna har använts i analyser ingående i Skogsstyrelsens översyn av omräkningstal mellan m^3_{fub} och m^3_{sk} (Skogsstyrelsen 2022). Det är dock angeläget att en ny studie initieras i syfte att utveckla helt nya funktioner för direkt skattning av topplängd baserat på produktionsdata insamlade med skördare. Materialet i vår studie kan användas som bas för en sådan studie men det bör utökas med kompletterande mätningar och skulle också ta hänsyn till mätningar på björk.



Figur 5 Samband mellan beräknad *kalibrerad* topplängd och referensmätt topplängd för tall (vänster figur) och gran (höger figur).

Referenser

- Anon. 1978. Skog för framtid. Betänkande av 1973 års skogsutredning. SOU 1978:7 Bilaga 17.
- Claesson, S., Ekberg, K., Fridman, J., Nilsson, P. & Roberge, C. 2020. Skattning av avverkningsvolym – en kvalitetsstudie. Rapport Skogsstyrelsen 2020/7, 66 s.
- Hannrup, B., Bhuiyan, N. & Möller, J.J. 2015. Rikstäckande utvärdering av ett system för automatiserad gallringsuppföljning. Arbetsrapport 857, Skogforsk. 48 s.
- Kiljunen, N. 2002. Estimating dry mass of logging residues from final cuttings using a harvester data management system. *International Journal of Forest Engineering* 13(1): 17–25.
- Möller, J. J., Arlinger, J., Bhuiyan, N., Eriksson, I. & Söderberg, J. 2017. Utbytesprognoser baserade på skogs- och skördardata. Arbetsrapport 961, Skogforsk. 26 s.
- Skogsstyrelsen 2022. Nytt omräkningstal från m³fub till m³sk för avverkningsberäkningar. Rapport Skogsstyrelsen 2022/16, 42 s.
- Skogsstyrelsen 2023. <https://www.skogsstyrelsen.se/statistik/> (tillgänglig 20230321).

Bilaga 1. Residualplottar för beräknad topplängd

