

Fält- och flygbildsskattning av i skogen kvarvarande virkesvolymen i Medelpad efter 2010-talets stormar

Field- and Aerial image estimation of residual timber volumes in Medelpad after the storms of the 2010s



Ljungandalen, sett från en lunchstubbe under fältinventeringen, oktober 2017

Anders Ellingsson

Arbetsrapport 484 2018
Examensarbete 30hp A2E
Jägmästarprogrammet

Handledare:
Jörgen Wallerman

Fält- och flygbildsskattning av i skogen kvarvarande virkesvolymen i Medelpad efter 2010-talets stormar

Field- and Aerial image estimation of residual timber volumes in Medelpad after the storms of the 2010s

Anders Ellingsson

Nyckelord: Flygbildstolkning, linjetranspekt, skogsinventering, linjekorsning, Horwitz-Thompson skattning

Examensarbete i Skogshushållning vid Institutionen för skoglig resurshushållning, 30 hp

EX0768 A2E

Jägmästarprogrammet

Handledare: Jörgen Wallerman, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, fjärranalys

Bitr handledare: Jonas Bohlin, Institutionen för skoglig resurshushållning, fjärranalys

Examinator: Håkan Olsson, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, fjärranalys

Extern handledare: Karl Duvemo, SCA Skog

Förord

Många har varit delaktiga i detta arbete och det finns således många att tacka. Jag vill tacka min handledare, Jörgen Wallerman (SLU), min externa handledare Karl Duvemo (SCA), samt mina biträdande handledare Hans Petersson och Jonas Bohlin (SLU). Dessutom vill jag tacka: Anders Muszta (SLU) som tog sig tid att hjälpa mig med de statistiska analyserna. Mikal Bobik (SCA) som var till stor hjälp gällande fältutrustningen; Jonas Örnehog (Haglöf), för utlålandet av GPS-utrustning samt för att ha specialsytt programvara till dataklaven enkom för inventeringsmomentet i denna studie; Sören Wulff vid Riksskogstaxeringen, för att ha tillhandahållit lämpliga kalibreringsytor gällande bestämning av nedbrytningsgrad för död ved (stående och liggande stammar), även dessa för fältinventeringen; samt Terratec Sweden AB som levererade flygbilderna till flygbildstolkningen samt SCA som finansierat detta arbete.

Dessutom vill jag rikta ett varmt tack till Petter Johansson (som lät mig sova på golvet i hans studentrum) och övriga, såväl studenter som personal vid Ålsta folkhögskola (mitt i studieområdet) för att ha gjort kvällarna under inventeringstiden väldigt trevliga. Tack!

Sammanfattning

Att snabbt kunna skatta hur mycket virkesvolymer i form av lågor det finns i skogen efter en storm är viktigt för att få en bild av skadeläget. Dessutom är det av intresse gällande biologisk mångfald, förluster i virkesintäkter samt för bedömning av risk för framtida angrepp av skadeinsekter. Linjekorsningsinventering har tidigare använts för att skatta mängden död ved i ett område. Inventeringsmetoden som används i denna studie går ut på att följa en linje och mäta in antalet liggande trädstammar som korsar densamma för att sedan kunna skatta volymen död ved för ett större område. Inventeringen kan ske i fält, via fjärranalys eller genom en kombination av de förra. I denna studie kombineras fält och fjärranalys och tanken med detta är att utnyttja modern kamerateknik för snabbare, billigare och noggrannare skattningar. Denna studie testar en sådan inventeringsmetod på det SCA kallar Stöde distrikt i Medelpad. Hösten 2017 togs flygbilder kontinuerligt i 15 ”hakar” (L-formade linjer) spridda över distriktet. Dessa flygbildstolkades genom att räkna antalet vindfällen som korsade en linje som projicerades i mitten av dessa bildstråk. Därefter besöktes dessa hakar och inventerades i fält. Samtliga träd klavades (diametern mättes) där den döda veden korsade linjen. Nedbrytningsgrad och trädslag noterades för varje träd. Resultatet av fältinventeringen för hela distriktet blev 11,22 kubikmeter stamved per hektar. Den kombinerade fältinventerings- och flygbildsmetoden testades genom att undersöka hur utfallet blivit givet ett antal olika inventeringsdesigner. En nackdel var att endast cirka en tredjedel av den döda veden identifierades i flygbilderna (där facit utgjordes av fältinventeringar på motsvarande sträcka) men metoden visade sig ändå vara möjlig att använda i praktisk tillämpning. Resultaten visar att det finns mer virke på den mark som ägs av SCA än övrig. Vad detta beror på diskuteras i slutet av denna rapport.

Nyckelord: Flygbildstolkning, linjetranspekt, skogsinventering, linjekorsning, Horwitz-Thompsons-kattning

Abstract

It's important to quickly evaluate the impact after a storm when it comes to timber volumes from downed trees. The residual volumes are of interests because of its importance to biological diversities, loss in timber revenues and risk assessment of insect pests. Line intersection inventory techniques have earlier been used to estimate volume of residual timber in an area. The inventory technique used in this study is performed by following a transect in the forest and to count each log that has fell across the line in order to estimate the total volume of residual timber in a large area. The inventory can be performed through fieldwork, aerial imagery or a combination of both. In this study a combination is used. The idea is that modern camera technology can be used for a quicker, cheaper and better estimations. This study is performed in order to evaluate such a method in what the forest company of SCA calls Stöde district in Medelpad, Sweden. In the fall of 2017, aerial photographs were continuously taken in 15 L-shaped lines within the district. These mosaics were then interpreted by counting each visible downed log that had fell over a projected line in the pictures. Shortly after the pictures were taken, the L-shaped lines were visited and an inventory was carried out on foot. Diameter, species, and degradation data were collected were the log crossed the transect. The inventory result for the whole district was 11.22 cubic meter per hectare. The combination of aerial image estimation and field inventory were evaluated by testing a few different inventory designs. There were some difficulties in performing such an estimation. Only one third of the downed logs were visible in the images. However the method was shown to have potential and possible to use in practice. When it comes to comparing forest areas owned by SCA with forest area owned by private landowners, the volumes were greater on SCAs forest area. Some possible explanations to why that is the case is discussed in the end of this report.

Keywords: Aerial image interpretation, line intersect sampling, forest inventory, line intersection, Horwitz-Thompson estimation

Innehåll

Förord.....	2
Sammanfattning	3
Abstract	4
1. Inledning.....	6
1.1 Bakgrund	6
1.2 Tidigare forskning och tillämpade inventeringar	7
1.3 Syfte	8
1.4 Hypotes.....	8
2. Material och metod.....	9
2.1 Horwitz-Thompsons-kattning	9
2.2 Volymkattning	9
2.3 Volymkattning med hjälp av fjärranalys.....	10
2.4 Försöksdesign.....	10
2.5 Flygbildstolkning.....	11
2.6 Linjekorsningsinventering i fält	11
2.7 Totalt skattad volym utifrån enbart fältinventering.....	12
2.8 Totalt skattad volym utifrån kombination av fältinventering och flygbildstolkning.....	13
2.9 Analys av upptäckbarhet i flygbild.....	14
3. Resultat.....	15
3.1 Totalt skattad volym utifrån enbart fältinventering.....	15
3.2 Totalt skattad volym utifrån kombination av fältinventering och flygbildstolkning.....	17
3.3 Analys av upptäckbarhet i flygbild.....	18
4. Diskussion	19
4.1 Totalt skattad volym utifrån enbart fältinventering.....	19
4.2 Totalt skattad volym utifrån kombination av fältinventering och flygbildstolkning.....	20
4.3 Analys av upptäckbarhet i flygbild.....	20
4.4 Försöksdesign.....	20
4.5 Utvärdering av fältinventeringsmetodiken	21
4.6 Utvärdering av flygbildstolkningen.....	21
4.7 Slutsatser	22
Referenser.....	23
Bilaga 1	26
Bilaga 2	29
Bilaga 3	32

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Under 2000-talet har Sverige drabbats av ett antal kraftiga stormar. Den kraftigaste, stormen Gudrun, slog till mot södra Sverige den 8:e januari 2005 och beräknas ha skadat cirka 270 000 hektar skog samtidigt som uppskattningsvis 110 000 till 130 000 hektar drabbats av så pass omfattande skador att återbeskogningsplikt uppkommit. Stormen uppskattas ha fällt ungefär 75 miljoner kubikmeter skog (Skogsstyrelsen, 2006). Denna siffra kan sättas i relation till 2017 års totala avverkningsvolym på 93,3 miljoner kubikmeter (Skogsstyrelsen, 2017a).

Även andra delar av Sverige har drabbats. SCA Skogs skogsförvaltning i Medelpad har under första hälften av 2010-talet genomlidit två kraftfulla stormar, Dagmar, den 26:e december 2011 (SMHI, 2017) och Ivar, den 12:e december 2013 (SMHI, 2014). Detta har resulterat i stora mängder stormfällt virke inom förvaltningens verksamhetsområde. Bolaget har lagt ner mycket möda och kraft på att lokalisera och bearbeta det stormfällda virket, både på eget och på privata markägares innehav. Trots ansträngningarna finns en hel del virke kvar i skogen som antingen inte återfunnits eller av andra anledningar, som dess åtkomlighet, inte upparbetats och skotats ut. Detta är problematiskt ur flera aspekter. Stora virkesvärden har gått förlorade samtidigt som det stormfällda virket fungerar som yngelmateriel för olika skadegörare. Ett exempel på en sådan är granbarkborren vilken kan orsaka ytterligare skador på den stående skogen (Skogsstyrelsen, 2017b).

Medelpads skogsförvaltning ligger, till följd av stormskadorna, inom det så kallade bekämpningsområdet för granbarkborre. Därmed råder ett förhöjt lagkrav enligt skogsvårdslagens allmänna föreskrifter angående högsta tillåtna, i skogen, kvarlämnade stormfällda virkesvolym som är tjänlig som yngelmateriel. Denna gräns är för bekämpningsområdet tre istället för, som i övriga delar av landet, fem skogskubikmeter per hektar (Skogsvårdslagen, 2014). Under 2016 bedömdes granbarkborren ha dödat ungefär 200 000 skogskubikmeter skog enbart i Medelpad (Skogsstyrelsen, 2017c). Granbarkborren gynnas av en ökad tillgång på färskt yngelmateriel i form av stormfälld granskog, samt av en varm och torr miljö. Granbarkborreskador tros därför kunna öka i framtiden på grund av ett förändrat, och för barkborren mer gynnsamt klimat (Marini et al., 2016).

Det är viktigt att snabbt få en bild av skadeläget efter kraftfulla stormar, bland annat för att kunna allokera lämpligt med resurser gällande bearbetning och tillvaratagande av de stormfällda träden. De redan stormfällda virkesvolymerna har inneburit en stor kapitalförlust och kostnad för SCA och det finns således även ett ekonomiskt intresse av att skatta hur stora virkesvolymerna som ligger kvar efter det som hittills upparbetats. Informationen skulle kunna användas som ett betyg på hur väl bolaget lyckats med att tillvarata stormfällorna och samtidigt utvärdera om det finns plats för förbättring i arbetsprocessen inför eventuella framtida stormar. En sådan skattning skulle även kunna ligga till grund för en riskanalys gällande potentiella skadegörare. Tidigare inventeringar genomförda av företaget har skett via helikopter för att hitta stormfällt virke. Ett intresse finns också i att ta reda på hur väl företaget uppfyller skogsvårdslagens maximalt tillåtna kvarlämnade virkesvolym yngelmateriel. Det har ännu inte genomförts någon pålitlig skattning av totalvolymen kvarlämnat virke inom skogsförvaltningen.

Ett möjligt tillvägagångssätt att utföra en sådan skattning är att använda sig av rumsliga stickprovsmätningar. Detta innebär att ett antal mätningar utförs som sedan får representera en hel population alternativt att flera mindre områden får representera ett större område (Thompson, 1992).

1.2 Tidigare forskning och tillämpade inventeringar

Skogsskador till följd av stormar har ökat under det senaste århundradet. En av orsakerna antas vara en följd av att återbeskogning efter avverkning främst skett med hjälp av barrträd. En ökning i efterfrågan av skogsprodukter och ett ökat brukningstryck på skogen kan antas innebära en fortsatt ökning av stormskador både utanför och inom Sverige (Schelhaas et al., 2003).

Efter stormen Gudrun gjordes en grundlig undersökning angående vilka faktorer som påverkar skadornas omfattning. Studien genomfördes med hjälp av långsiktiga beståndsförsök anlagda av Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) samt med data från Riksskogstaxeringen. Det kunde konstateras att granskog som innehöll stora virkesvolymerna hade drabbats särskilt hårt. Även skog som nyligen gallrats, det vill säga under den senaste femårsperioden hade omfattande stormskador (Valinger et al., 2006). Att bestånd som nyligen gallrats är känsliga för stormar stöds av en tidigare studie som genomförts i södra Sverige där olika gallrings- och gödslingsprogram av gran testades (Valinger & Pettersson, 1996).

I samband med att tekniken runt digitalfotograferingen gått framåt har möjligheterna att på ett kostnadseffektivt sätt använda sig av flygbilder ökat. Utrustningen har blivit både mindre och bättre (Nämnden för Skoglig Fjärranalys, 1993). Helikopter och senare även drönare har möjliggjort en ökad användning av tekniken i såväl skoglig inventering som planering (Skogsaktuellt, 2017).

Tidigare inventeringar av skogsskador har visat att det är möjligt att med hjälp av provyteinventeringar skatta skadad skog över ett större område. Då har taxeringsytorna från Riksskogstaxeringen använts för att identifiera och stratifiera ett urval av skog som kan vara känslig för en viss skadegörare (Roberge et al., 2016).

Efter Stormen Gudrun genomförde Skogsstyrelsen tillsammans med SLU en studie av hur stor virkesvolym som blåst omkull. Skattningen gjordes genom att jämföra slutenheten i krontaken på taxeringsytorna före respektive efter stormen. Slutenheten innan Gudrun hade skattats vid Riksskogstaxeringens fältbesök sommaren 2003 och 2004, alltså två, respektive ett år innan Gudrun. Slutenheten efter skattades med hjälp av flygbilder över samma ytor. Genom att ta fram skillnaden i slutenhet före och efter stormen kunde detta sättas i förhållande till den på marken inmätta volymen på taxeringsytorna säsongen innan stormen ägde rum. Därefter kunde volym stormskadad skog skattas (Valinger et al., 2006).

NILS eller *Nationell Inventering av Landskapet i Sverige* genomför årligen inventeringar för att kartlägga förutsättningar för biologisk mångfald och andra parametrar som fungerar som stöd till andra undersökningar. Inventeringen genomförs av Sveriges lantbruksuniversitet och bygger på flygbildsinventeringar där polygoner avgränsas i flygbilder (SLU, 2007). Inventering från luften är för övrigt vanligt vid skattning av viltpopulationer, då handlar det i sådana fall ofta om transektinventeringar.

Linjeinventeringar har främst använts för att skatta populationsstorlekar hos vissa djurarter men kan också användas för att skatta exempelvis volym död ved i ett område. I det fallet används ofta en så kallad linjekorsningsinventering. Inventeringen går ut på att följa en linje i terrängen varpå lågor (död ved) som korsar denna räknas och mäts för att sedan skatta den totala volymen död ved inom ett område (Mandallaz, 2007).

I en studie av Ståhl (1995) används en linjekorsningsinventering med hjälp av specialutvecklat stort relaskop för att skatta den totala mängden död ved i två skogstyper. Studien bygger på att en linje inventeras med hjälp av relaskop där liggande träd kan inkluderas i stickprovet. Inklusionssannolikheten (det vill säga sannolikheten att en enhet, i detta fall en låga hamnar i stickprovet) för ett träd beror på hur stort trädet är, hur långt från linjen det befinner sig samt hur god sikten är i skogen. Därefter används antalet träd som kommit med i stickprovet för att skatta den totala längden död ved. Ett argument som Ståhl höll fram för att genomföra en sådan studie var att vissa arter är krävande gällande vissa typer av substrat, exempelvis död ved. Det är därför intressant ur en biologisk mångfaldssynvinkel att skatta hur mycket substrat död ved som finns i ett område.

Bland annat för att skatta hur mycket avverkningsrester som lämnats kvar efter skörd, noterades och mättes trädresterna som korsade en inventeringslinje. Detta låg till grund för en volym-skattning. Studiens författare anser att denna metod är betydligt mer tidseffektiv än att använda sig av provyteinventeringar för volym-skattning (Warren & Olsen, 1964).

1.3 Syfte

Målet med studien var att genomföra och utvärdera två typer av linjekorsningsinventeringar för att skatta hur mycket stormfällt virke som ligger kvar i skogen efter de senaste årens stormar (Dagmar 2011, Ivar 2013). Inventeringarna begränsades till Stöde distrikt inom SCA Skogs skogsförvaltning i Medelpad. Ena metoden bestod av enbart fältinventering medan den andra kombinerade tolkning i högupplösta flygbilder med stödmätningar i fält. Fältinventeringen skulle ligga till grund för en jämförelse mellan hur mycket virke som ligger kvar på SCA ägd mark och mark med övriga ägare. Dessutom avsågs att utvärdera hur stor omfattning stödmätningarna bör ha för att nå önskvärd precision gällande den flygbildsbaserade skattningen.

1.4 Hypotes

Hypotesen är att det, med modern kamerateknik, går att genomföra linjekorsningsinventeringar med hjälp av flygbilder. Alltså att i flygbilder notera enstaka träd i terrängen som i sin tur, kombinerat med stödmätningar i fält, ger en bra skattning av kvarliggande virkesvolym efter en storm.

2. Material och metod

Metoden som ligger till grund för studien är en så kallad linjekorsningsinventering.

2.1 Horwitz-Thompsonskattning

Horwitz-Thompson skattningen är en metod för att skatta förekomsten av objekt över ett begränsat område (Horwitz & Thompson, 1952). Skattningen kan användas för att skatta den totala längden död ved inom ett område genom att räkna antalet vindfällen som fallit över en inventeringslinje enligt:

$$L = \frac{\pi}{2} * \frac{AR_S}{L_I} \sum_1^n \mathbf{1} \quad (1)$$

Där AR_S är arean (här uppmätt) av studieområdet (S) inventeringen ska representera. L_I är den totala längden på inventeringslinjerna (I). n är antalet träd som korsar inventeringslinjerna L_I . Härledning till formeln ovan finns i bilaga 1.

Beroende på vilken riktning träden fallit samt dess längd har de olika stor sannolikhet att komma med i stickprovet (noteras korsa en linje). Ståhl (1995) föreslog att inventeringslinjerna ska vara formade som hakar (L-form) alternativt utlagda i slumpmässig riktning. I den studien undersöktes dock kvarlämnade hyggesrester och inte lågor. Hakar kan dock tänkas vara ett bra alternativ (jämfört med en rak linje) även för vindfällen, men om lågorna ligger i en, under stormen, rådande, förhärskande vindriktning och inte fallit i slumpmässig riktning finns dock en viss risk för bias såvida inte hakarnas riktning slumpas.

2.2 Volymskattning

Volymen död ved skattas genom att kombinera längden död ved från 2.1 med en skattning av medelvärdet för stammarnas tvärsnittsarea (A) där lågorna och linjen korsar varandra. Arealmätningen mäts indirekt i fält via lågornas diametrar. En låga antas falla över linjen och korsa denna på slumpmässig höjd, därmed kan det faktum att träden inte är cylinderformade utan smalnar av mot toppen bortses från. Vid dessa beräkningar antas alltså träden ha samma form som en cylinder. Eftersom diametrarna mäts i fält kan mätningen med fördel delas upp per trädslag (och om så önskas, kan även trädets nedbrytningsgrad bedömas). Den genomsnittliga tvärsnittsarean (A) kan räknas ut enligt:

$$A = \frac{\frac{\pi}{4} \sum_1^n d_i^2}{n} \quad (2)$$

Där d_i är diametern för stock nummer i som fallit över inventeringslinjen vid korsningen. n är antalet lågor som fallit över linjen. Därefter kan volymen död ved i studieområdet (V) räknas ut enligt:

$$V = A * L \quad (3)$$

2.3 Volymkattning med hjälp av fjärranalys

Ett alternativ till att enbart använda sig av data från en fältinventering vid beräkning av längden död ved är att kombinera en mindre del fältinventering med en mer omfattande flygbildstolkning. Alltså, att inventera hela linjen i flygbilderna men endast en del av linjen i fält. Längden död ved kan då räknas ut enligt:

$$L = \frac{n_{fält}}{n_{RS}} * \frac{\pi}{2} * \frac{AR_S}{L_T} \sum_1^{n_f} \mathbf{1} \quad (4)$$

Där L_T är längden flygbildsinventerad sträcka och AR_S är studieområdets storlek. n_f är antalet lågor som noterats i flygbilderna under den längre sträckan, L_T . $n_{fält}$ är antalet lågor som mätts i fält på den kortare fältinventerade sträckan. n_{RS} är antalet lågor som mätts i flygbilderna på samma sträcka som inventerats i fält, alltså den kortare. Förhållandet $n_{fält}$ och n_{RS} fungerar här som en kalibrering av längdskattningen då det är troligt att inte alla lågor är synliga i flygbilderna. Tvärsnittsarea och därefter volym räknas ut som tidigare beskrivits för fältinventeringsskattningen i stycke 2.2.

Styrkan i denna skattning är att den skattade längden via ett större stickprov (längre) med fjärranalys antas vara mer representativ för populationen, medan kvoten mätt på den kortare sträckan (en kortare del av samma linje) anses kalibrera det bortfall som beror på att inte all död ved upptäcks i flygbilderna. Idealt borde antalet lågor per längdenhet vara detsamma oavsett mätningsslag. Om korrelationen mellan de olika metoderna varierar kan linjerna möjligtvis delas in i strata. Exempelvis kan olika strata avse homogena områden inom vilka upptäckt av död ved bedöms likartad för kvoten.

För att undersöka hur väl de kortare fältinventerade sträckorna representerar de längre flygbildstolkade sträckorna kan en kvot (här kallad tolkningskvot, TK) räknas ut. Kvoten består av antal flygbildsinventerade lågor per längdenhet i den mindre ($L/m_{Kortare\ sträcka}$) respektive den större sträckan ($L/m_{Längre\ sträcka}$):

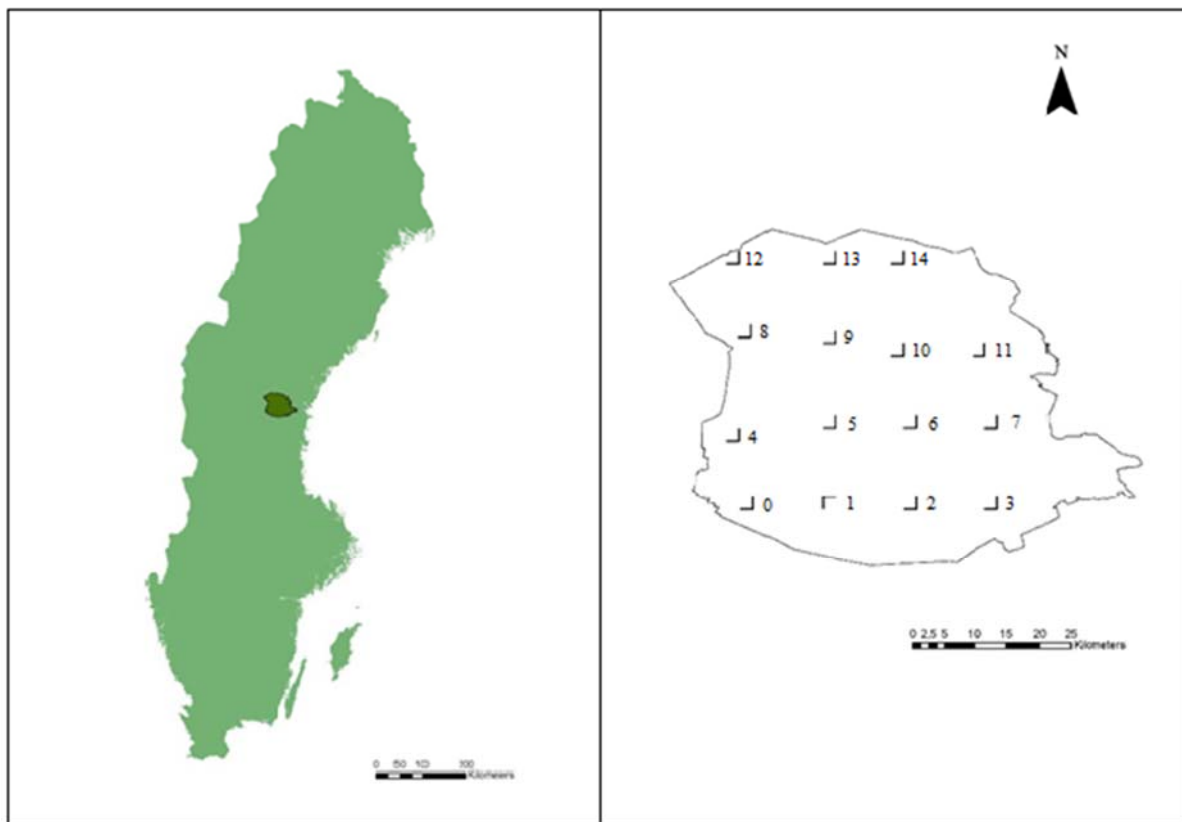
$$TK = \frac{L/m_{Kortare\ sträcka}}{L/m_{Längre\ sträcka}} \quad (5)$$

Den kortare sträckan är alltså samma sträcka som fältinventeras. Ju närmare värde ett denna kvot får, desto mer representativ kan den kortare sträckan antas vara gentemot den längre.

2.4 Försöksdesign

Studien utfördes i det område SCA kallar Stöde distrikt som ligger i Medelpads skogsförvaltning (figur 1). Distriktet delades in i 15 kvadrater varpå en hake med sidlängden två plus två kilometer lottades ut i varje kvadrat. Viss handpåläggning genomfördes angående placeringen av hakarna. Detta gjordes för att så många hakar som möjligt skulle hamna på skogsmark. En av hakarna hamnade i en sjö vilken flyttades ut till närmaste landområde. Normalt bör stickprovenheterna efter lottning (här i ett systematiskt rutnät) inte flyttas men eftersom denna studie är av pilotkaraktär bedömdes det vara mer intressant att lokalisera stickprovet till skogsmark. För att kompensera för detta användes en skogsmask baserad på SLU skogskarta (tidigare kNN – Sverige) (SLU, 2017a). Därmed kunde de delar av inventeringslinjerna som gick över exempelvis sjöar, åkrar och myrar uteslutas. SLU skogskarta

ger information om större delen av Sveriges skogsmark och är ursprungligen i rasterform med 25 gånger 25 meters pixlar (SLU, 2017b). Vidare beaktades inte så kallade speglingsproblem som kan uppstå då stickprovsenheter delvis råkat hamna utanför området som undersökts.



Figur 1. Stöde distrikts placering i mörkgrönt (vänster) samt hakarnas placering och numrering efter utlottning över distriktet (höger)

Figure 1. The district of Stöde in dark green (left) and the L-squares placement and number in the district (right)

2.5 Flygbildstolkning

I september 2017 togs flygbilder med stereotäckning av företaget Terratec AB, med fem centimeters bildupplösning längs inventeringslinjerna. Bilderna togs från helikopter på 500 meters höjd med kamera av modell D810 och märket Nikon. Bilderna processades till ortofotomosaiker i Sveriges nationella geografiska referenssystem, SWEREF 99 TM. En linje projicerades rakt ovanifrån helikopterns flygsträcka. Flygbildstolkningen genomfördes i Arcmap och en punkt placerades på kartan där en låga korsade linjen. På så sätt fick varje flygbildsnoterad låga en koordinat. Endast tydliga lågor noterades i flygbilderna. För varje linje summerades antalet punkter. En fördel med linjekorsningsinventering jämfört med provyteinventering i flygbilder är att det är lättare att identifiera om lågan ingår i stickprovet eller inte då kanteffekter kan undvikas. Det vill säga att träd i de yttre delarna av ett fotografi taget uppifrån till synes verkar mindre än de som är i centrum av bilden och närmare kameran vid fototillfället (Lillesand et al., 2008).

2.6 Linjekorsningsinventering i fält

För att kontrollera hur korrekt vindfällena noterats i flygbilderna, samt för att samla in data för volymkattningen, kompletterades flygbildstolkningen med fältbesök. Fältbesöken utfördes

genom att linjerna som inventerats i flygbilderna följdes i fält. De stormfällan som korsade inventeringslinjen klavades (diameter mättes vid korsningen) varpå trädslag och nedbrytningsgrad noterades. Trädslagen delades in i tall, gran, björk, övriga lövträd och contorta. Orienteringen genomfördes med hjälp av en fältdator med flygbilder, projicerad taxeringslinje samt en syftkompass. Handdatorn var av modellen Motion F5M och tillverkas av företaget XPlore. Samtliga hakar inventerades och volymen kunde beräknas enbart utifrån det fältinventerade datamaterialet. Den fältinventerade skattade längden död ved jämfördes med motsvarande skattat längd utifrån flygbildstolkningen. Ett gott resultat från flygbildstolkningen bör inte skilja sig alltför mycket från en totalinventering i fält.

Klaven som användes var av märket Haglöf och modell DP11. En GPS (även denna av märket Haglöf) monterades på klaven för att varje låga skulle bli tilldelad en egen lägesposition. Programvaran som användes i klaven var Estimate Pro, version 2.15. Denna modifierades för att kunna notera nedbrytningsklass samt om klavningen skett på eller under bark.

Lågorna delades in i tre olika klasser beroende på hur långt nedbrytningen framskridit. Syftet med detta var att kunna avgöra om en låga fallit under de senare stormarna eller inte. Klasserna baserades på den indelning Riksskogstaxeringen använder sig av vid klassning av död ved. Denna klassificering har dock förenklats för att snabbare kunna genomföras i fält (tabell 1) (SLU, 2017c). En mer detaljerad inventeringsinstruktion finns under bilaga 2. Inför inventeringen besöktes sju av Riksskogstaxeringens permanenta provytor i Sundsvallsområdet. Detta för att få en uppfattning om hur långt gången nedbrytningen gått hos en låga som fallit, innan, under respektive efter stormarna. Två provytor hade vindfällan som noterats i taxeringen innan stormarna, tre provytor hade vindfällan som fallit i stormarna samt två provytor som hade vindfällan som noterats efter stormarna. Uppfattningen är att de som fallit kring och under stormarna motsvarar Riksskogstaxeringens klass hård död ved (klass 2), de som fallit innan motsvarar klass nedbruten ved (klass 3) och de som fallit efter stormarna kan räknas in i klassen rå ved (klass 1).

Tabell 1. Beskrivning av de olika nedbrytningsklasserna

Table 1. Description of the different degrading classes

Klass	Beskrivning	Kommentar
Klass 1	Rå ved	<i>Färiska vindfällan med gröna barr alternativt färskt kambium.</i>
Klass 2	Hård död ved	<i>En kniv kan inte tryckas genom mantelytan mer än en centimeter.</i>
Klass 3	Nedbruten ved	<i>En kniv kan tryckas genom mantelytan längre än en centimeter.</i>

2.7 Totalt skattad volym utifrån enbart fältinventering

Samtliga flyglinjer inventerades i fält och ligger till grund för en skattning som enbart bygger på fältdata. Gällande denna skattning så delades distriktet in i två strata (studieområden) för vilka två separata skattningar genomförts. Dessa områden är mark som ägs av SCA respektive övrig mark. Med andra ord delades hakarna och studieområdet upp genom att använda ännu en mask, här ett lager som utgörs av den SCA ägda marken. Ett antagande att hakarna delades upp slumpmässigt och i slumpmässig riktning gällande markägare gjordes.

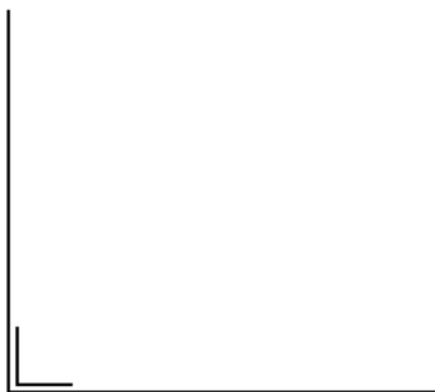
För att få en bild av spridningen mellan hakarna fick varje hake, uppdelat på mark ägd av SCA och övrig mark representera hela studieområdet för distriktet. Alltså hur resultatet skulle sett ut om endast en hake, och en ägare, inventerats och legat till grund för skattningen för hela distriktet. Efter uppdelningen av den SCA ägda och den övriga marken är dock inte

inventeringslinjerna i respektive hake lika långa och hakarna väger därför inte lika tungt i den slutliga skattningen.

En högst subjektiv utvärdering (utförd av författaren och utföraren) gällande fältinventeringen kommer att återges i slutet av diskussionsdelen i denna rapport.

2.8 Totalt skattad volym utifrån kombination av fältinventering och flygbildstolkning

Ett antal kombinationer gällande omfattningen (olika sträckor som inventerades i fält) av fältinventeringen testades för att undersöka hur väl det gick att skatta volymen utifrån en flygbildstolkning kombinerat med fältdata. Här delades inte områdena upp i strata. Detta för att inventeringshakarna skulle hållas intakta och därmed vara av samma längd och i förlängningen kunna ligga till grund för en standardavvikelseuträkning. Skattningarna baserades på hela flygbildssträckorna samtidigt som endast en del av fältinventeringen användes i de olika scenarierna. Olika fältinventeringssträckor simulerades utifrån olika sidlängder per hake (figur 2). Längder på dessa, mindre hakar var 100, 200, 500 respektive 1000 meter.



Figur 2. Illustration över den större, flygbildsinventerade haken samt den mindre haken som både flygbildstolkats och inventerats i fält

Figure 2. Illustration that shows the larger, aerial image estimated L-shaped line and the smaller line that has been inventoried in the aerial pictures and in the field

En standardavvikelse för volymsskattningen räknades ut för samtliga utlägg av inventeringshakar. Varje hakpar, alltså den längre flygbildsinventerade samt den kortare fältinventerade haken fick här representera hela studieområdet. Därmed erhöles en volymsskattning för samtliga hakar per hektar. Kvoten för hur väl de mindre hakarna representerar de större räknades ut för varje scenario. Standardavvikelsen (σ) räknades ut enligt.

$$\sigma = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2} \quad (6)$$

Där N är antalet hakar, x_i volym per hektar för hake nummer i och μ är medelvärdet för samtliga hakar. För att räkna ut volymsskattningarna för varje enskild hake användes även här formel 4. $n_{fält}$ dividerat med n_{RS} , alltså kvoten som kalibrerar flygbildstolkningen är samma vid samtliga hakars volymsskattningar.

2.9 Analys av upptäckbarhet i flygbild

En analys av upptäckbarhet gällande lågor i flygbilder genomfördes med facit från data från fältinventeringen. Hakarna som mäter totalt 60 kilometer delades in i totalt 600 segment á 100 meter långa. Dessa segment buffrades 20 meter i båda riktningarna. En klassindelning baserad på slutenheten i skogsmark gjordes för varje polygon runt segmentet och de tilldelades en viss klass (tabell 2). Till grund för klassificeringen låg medelvärde av grundyta (GY) och grundytvägd medelhöjd (HGV) utifrån raster från Skogliga Grunddata (Skogsstyrelsen, 2017d). GY och HGV är parametrar som beskriver slutenheten för skogsmark. Dessa har delats in i tre olika intervall som ligger till grund för klassindelningen av segmentens polygoner.

Tabell 2. Klasser uppdelade efter GY* (m²/ha) och HGV** (m) från Skogliga Grunddata

Table 2. Classes divided by GY* (m²/ha) and HGV** (m) from "Skogliga Grunddata"

GY*	HGV**		
	<10 m	10-15 m	>15 m
<16 m ² /ha	1	2	3
16-27 m ² /ha	4	5	6
>27 m ² /ha	7	8	9

*GY = grundyta, **HGV = grundytvägd medelhöjd

*GY = basal area, **HGV = basal area weighted height

Gränserna är fastslagna på ett sådant sätt att det ska finnas ett relativt jämt antal segment inom varje klass. Speciellt klass 1, 5 och 9 (tabell 3).

Tabell 3. Antal segment fördelade på de olika klasserna som beskrivits i tabell 1

Table 3. Number of segments in each group described in table 1

GY*	HGV**		
	<10 m	10-15 m	>15 m
<16 m ² /ha	Klass 1: 157	Klass 2: 34	Klass 3: 4
16-27 m ² /ha	Klass 4: 23	Klass 5: 119	Klass 6: 59
>27 m ² /ha	Klass 7: 0	Klass 8: 46	Klass 9: 154

*GY = grundyta, **HGV = grundytvägd medelhöjd

*GY = basal area, **HGV = basal area weighted height

Efter indelningen räknades upptäckbarheten ut för varje klass. Upptäckbarheten i procent (U_k) definieras som det totala antalet lågor som noterats i flygbilderna (T_k) dividerat med det totala antalet lågor som noterats och inventerats i fält (I_k) för varje klass (k). Därefter räknades även den totala upptäckbarheten ut, oavsett nedbrytningsklass.

$$U_k = \frac{T_k}{I_k} * 100 \quad (7)$$

3. Resultat

3.1 Totalt skattad volym utifrån enbart fältinventering

Nedan följer resultat från skattning av total mängd död ved. Alltså resultat som baseras på data som mätts i fält utan kombination med flygbilder. Resultatet från bolagsägd mark, i detta fall SCA, blev 16,98 kubikmeter per hektar (tabell 4). Totalt äger SCA 82 855 hektar skog inom distriktet.

Tabell 4. Resultat från inventeringen på bolagsägd mark uppdelat på nedbrytningsklasser
Table 4. Inventory result when it comes to company owned forest divided by degradation classes

Nedbrytningsklass	Volym ($m^3 sk$)	Volym per hektar ($m^3 sk/ha$)
Klass 1	21 919	0,26
Klass 2	987 277	11,92
Klass 3	397 723	4,80
Totalt	1 406 919	16,98

Resultatet från inventeringen av död ved för övrig mark är 7,52 kubikmeter per hektar (tabell 5). Övrig mark som klassas som skogsmark uppgår till 129 181 hektar inom distriktet.

Tabell 5. Resultat från inventering på övrig mark uppdelat på nedbrytningsklasser
Table 5. Inventory results when it comes to the remaining forest area divided by degradation classes

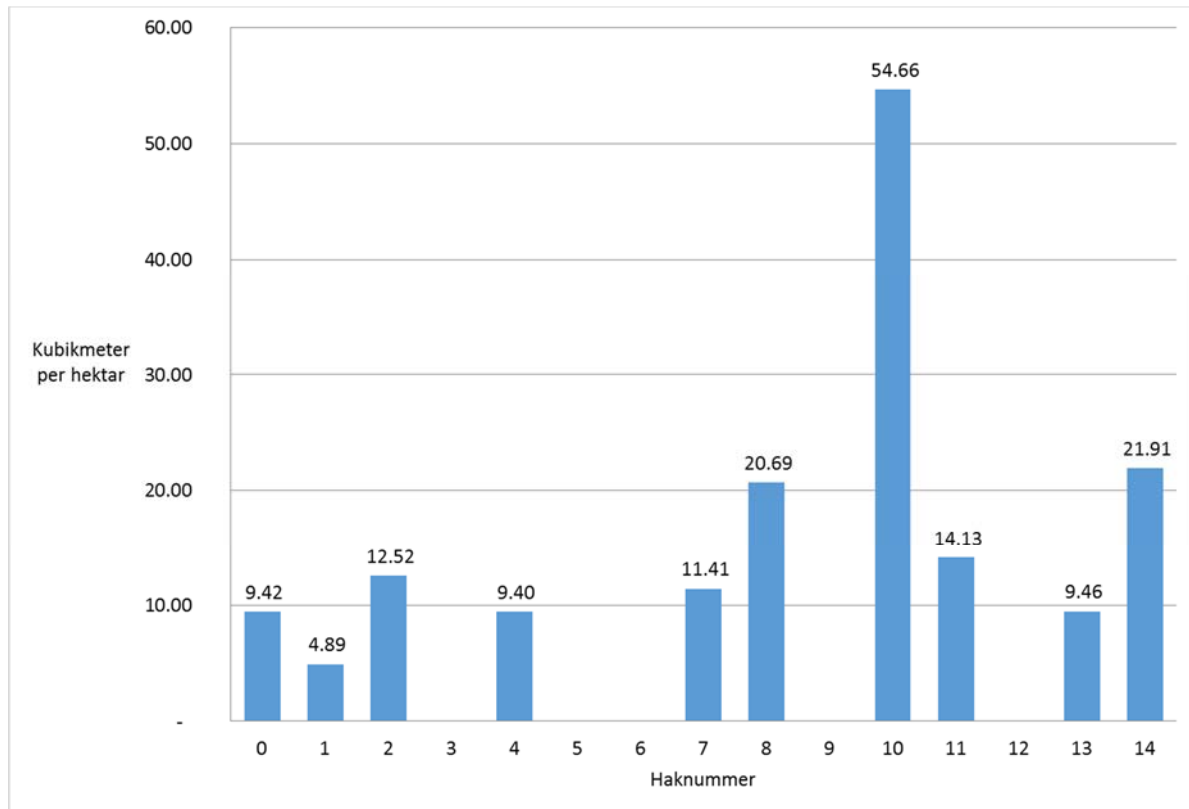
Nedbrytningsklass	Volym ($m^3 sk$)	Volym per hektar ($m^3 sk/ha$)
Klass 1	48 780	0,38
Klass 2	613 044	4,75
Klass 3	309 833	2,40
Totalt	971 657	7,52

Totalt finns 212 036 hektar skogsmark inom distriktet och med både bolagsägd och övrig mark inräknat uppgår volymerna till 11,22 kubikmeter per hektar (tabell 6).

Tabell 6. Resultat från inventering på både bolags- och övrig mark uppdelat på nedbrytningsklasser
Table 6. Inventory result when it comes to both company and the remaining forest area divided by degradation classes

Nedbrytningsklass	Volym ($m^3 sk$)	Volym per hektar ($m^3 sk/ha$)
Klass 1	70 699	0,33
Klass 2	1 600 321	7,55
Klass 3	707 555	3,34
Totalt	2 378 576	11,22

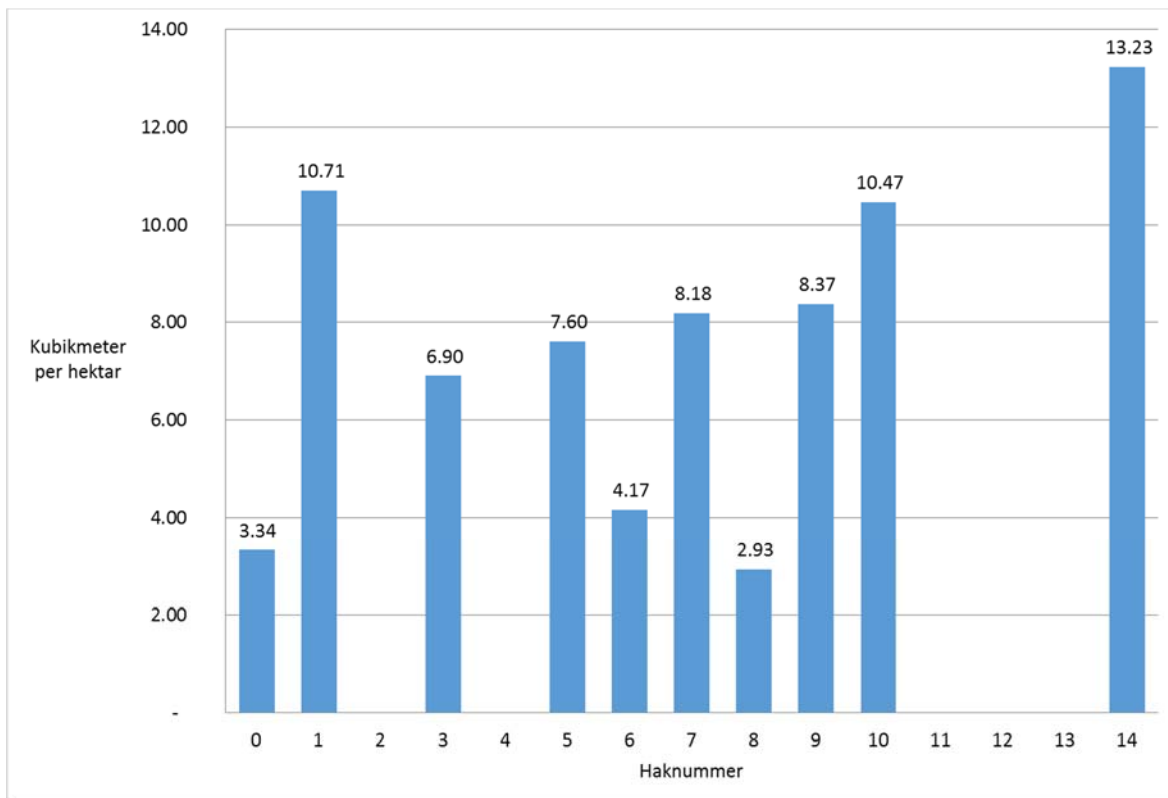
En analys av spridningen i skattning av volymen död ved mellan hakarna genomfördes. På mark ägd av SCA var det speciellt en hake som stod ut, hake nummer tio (figur 3). Totalt placerades (åtminstone en del av) tio hakar ut på SCA ägd mark. De hakar som inte är med i diagrammet var inte belägen på mark som ägs av SCA. Notera att hakarna inte väger lika tungt i den slutliga skattningen (tabell 4) för volym i området då inte lika lång sträcka inventerats vid varje hake.



Figur 3. Resultat i det fall varje enskild hake fick representera all SCA ägd mark i distriktet

Figure 3. Results in the case each L will represent the entire area owned by SCA in the district

På den övriga marken var det jämnare än på den bolagsägda (figur 4). Totalt placerades även här (åtminstone en del av) tio hakar ut. De hakar som inte är med i diagrammet är belägna på mark som ägs av SCA. Notera att även här väger hakarna inte lika tungt i den slutliga volym-skattningen (tabell 5).



Figur 4. Resultat i det fall varje hake enskilt fick representera all övrig mark i distriktet
Figure 4. Results in the case each L will represent the entire area that isn't owned by SCA in the district

Under bilaga 3 finns resultat uppdelat på trädslag för SCA-ägd mark och övrig mark.

3.2 Totalt skattad volym utifrån kombination av fältinventering och flygbildstolkning

Att skatta mängden död ved utifrån en kombination av både fältmätningar och flygbildstolkning gav olika resultat beroende på den simulerade fältinventerade längden (tabell 7). Standardavvikelsen minskar med ökad inventerad sträcka. Tolkningskvoten närmar sig värdet 1. Totalt är det 49 200 meter inventeringssträcka som ligger till grund för tolkningen.

Tabell 7. Resultat, tolkningskvot och standardavvikelse vid kombination mellan flygbildstolkning och fältinventering för olika inventeringslängder per hake och sida. Raden totalt visar resultatet då samtliga hakar som är med i flygbildstolkningen antas ha fältinventerats. Andel fältinventeringssträcka anger hur många procent av flygbildsstråken som antas ha inventerats i fält vid de olika simuleringarna.

Table 7. Results, estimation quota and standard deviation for the combination of aerial image estimations and field inventory data. Totalt shows the result in the case every L that is present in this estimation is assumed to have been inventoried. "Andel fältinventeringssträcka" is how many percent of the aerial image transects that have been assumed to have been inventoried in field when it comes to the different simulations.

Inventeringslängd (m)	Resultat (m ³ sk/ha)	Tolkningskvot	Standard-avvikelse	Andel fältinventeringssträcka
100	17,31	0,70	5,71	6 %
200	14,58	0,83	5,14	11 %
500	12,87	0,86	4,32	28 %
1000	12,87	0,88	4,23	57 %
Totalt	13,09	1,00	4,19	100 %

3.3 Analys av upptäckbarhet i flygbild

Upptäckbarheten i procent delades in utifrån de nio klasser som baserats på HGV och GY. I klass 7 återfanns inga lågor, varken i flygbilderna eller från inventeringen (tabell 9). Upptäckbarheten minskar med slutenheten. Den totala upptäckbarheten oavsett klass är 35 procent.

Tabell 9. Upptäckbarhet per klass i procent

Table 9. Discoverability per class in percent

GY*	HGV**		
	<10 m	10-15 m	>15 m
<16 m ² /ha	Klass 1: 65	Klass 2: 52	Klass 3: 95
16-27 m ² /ha	Klass 4: 4	Klass 5: 26	Klass 6: 47
>27 m ² /ha	Klass 7: -	Klass 8: 21	Klass 9: 25

*GY = grundyta, **HGV = grundytavägd medelhöjd

*GY = basal area, **HGV = basal area weighted height

4. Diskussion

4.1 Totalt skattad volym utifrån enbart fältinventering

Resultatet för total mängd död ved, 11,22 kubikmeter per hektar, kan jämföras med Riksskogstaxeringens resultat för Västernorrlands län (i vilket Stöde distrikt är beläget) på 12,6 kubikmeter per hektar för skogsmark (SLU, 2017d). Resultaten från denna studie vittnar om en ganska stor skillnad mellan mark ägd av SCA och övriga markägare gällande den totala mängden död ved. Skillnaden i mängden död ved i (den för denna studie, kanske intressantaste klassen) klass 2 (hård död ved) är även den påtaglig. Klass 2 kan antas ha fallit, om inte under, så i alla fall i anslutning till de stora stormarna som drabbat distriktet. Att skillnaderna, mellan de två olika typerna av markägare, är så stora i denna och de andra klasserna skulle kunna bero på ett antal olika saker.

Det skulle kunna bero på att bolagsmarken drabbats hårdare av stormarna än den övriga på grund av att skogarna skötts på ett sätt som skapat förutsättning för stormskador. Valinger et al. (2006) skriver som sagt att gallrad skog (speciellt de senaste fem åren) är speciellt känslig för stormskador. Ett mer fragmenterat skogslandskap genom skogsbruk ger ett större antal kantzoner. SCAs mark, vilken i vissa fall kan antas vara intensivare brukad, skulle även kunna vara mer fragmenterad än den övriga. Valinger et al. (2006) skriver även att en trädslagsren barrskog är mer mottaglig för stormskador. En välrojd skog där gran gynnats i stor utsträckning kan därför vara mer känslig för starka vindar.

En annan orsak till att det enligt skattningen finns mer kvarvarande virke på bolagsmarken skulle kunna vara att de enskilda markägarna lyckats bättre med att tillvarata virket efter stormarna. I Medelpads skogsförvaltning i vilket Stöde distrikt ingår är SCA i särklass den största aktören vad gäller skogsbruk. SCA har tillhandahållit bearbetning av stormfällt virke på såväl sin egen som på privat mark. SCA har tagit ett stort ansvar att även på övrig mark tillvarata virke. Detta har såklart begränsat de resurser som lagts på att tillvarata det egna virket.

En tredje förklaring skulle kunna vara att stormarna helt enkelt slagit till hårdare på de områden som ägs av SCA. En intressant notering är att skattningarna som baserats på de norra hakarna har en högre volym vindfällen än de södra. Det är dessutom främst i de norra delarna SCA har sitt markinnehav. Dessutom ter sig de hakar som ligger närmast Europaväg 14 (E14), som löper längs Ljungans dalgång ge en lägre volymskattning än resterande hakar. Det är möjligt att dalgången i sig gett skydd åt dessa marker eller att virke som ligger nära E14 tillvaratagits i en högre grad.

Spridningen mellan de olika hakarna (figur 3 och 4) visar en svaghet i att vissa hakar drar upp respektive ner resultatet relativt mycket. Detta gäller främst för en av hakarna som inventerats på SCAs innehav. Det kan antas råda ett beroende inom hakarna. Alltså, om det påträffas många lågor i vissa delar av inventeringslinjerna så är det troligt att det påträffas många lågor även i andra delar. För att lokala extremvärden (gällande hakarna) inte ska få en alltför stor påverkan på resultatet kan fler men kortare hakar vara att föredra vid en eventuell framtida, liknande inventering.

4.2 Totalt skattad volym utifrån kombination av fältinventering och flygbildstolkning

Vid kombinationen att skatta mängden död ved utifrån fältdata och flygbildstolkning så närmar sig tolkningskvoten värdet ett samtidigt som standardavvikelsen minskar med en ökad fältinventerad längd. Detta var väntat. Tabell sju visar att tolkningskvoten, standardavvikelsen och resultatet i kubikmeter per hektar inte ändrar sig nämnvärt vid en högre inventeringslängd än 500 meter eller vid en inventeringsandel på över 28 procent.

4.3 Analys av upptäckbarhet i flygbild

Upptäckbarheten av död ved i flygbilder visar, helt väntat, att fällen i tät skog är svårare att se än fällen på exempelvis öppna hyggen. En liknande klassificering skulle därför kunna ligga till grund för en stratifiering gällande utlägggen av hakarna vilket tas upp i 4.4.

4.4 Försöksdesign

Provområden (hakar) lottades ut efter att distriktet delats in i femton lika stora områden. Inför denna utlottning hade en stratifiering varit möjlig utifrån skogens täthet (grundyta och grundtyevägd medelhöjd). En stratifiering av utlägg hade kunnat göra skattningen bättre och mindre kostsam. Grafström & Ringvall (2013) har visat att stratifiering utifrån laserdata kan göra skogliga inventeringar både säkrare och mer effektiva. Gobakken et al. (2013) fick liknande resultat i deras studie och även de kunde dra slutsatsen att laserdata kan minska behovet av fältmätningar. En poststratifiering hade varit möjlig utifrån datamaterialet som samlats in i denna studie och hade varit av intresse. Spridningen mellan hakarna kan möjligtvis också hållas nere med en stratifiering då varje strata får ett eget resultat.

Det hade även varit att föredra att hakarna varit intakta gällande respektive strata (i detta fall ägare och skogsmark) då detta hade underlättat en framtida standardavvikelseuträkning och i förlängningen en utvärdering av metoden. Eftersom varje hake väger olika tungt i skattningarna är vissa områden mer representerade än andra. I denna studie har det antagits att påverkan av segmentering samt om haken innehar en stor del som inte är skogsmark är stokastisk. Att endast förlägga hakarna där de får plats kan dock ge en underrepresentation av segmenterad skogsmark och områden där det finns många olika typer av ägare.

Metoden är till för att utföras på skogsmark vilket ger ännu ett argument i att det är bättre att lägga hakarna på skogsmark. Detta gör att resurserna kan allokeras till skogsmark från områden som inte är intressanta och inte heller ingår i studien, exempelvis myr- och åkermark.

Det bör nämnas att användandet av hakar i en fix riktning kan medföra en viss bias gällande resultatet. Detta om träden inte ligger i slumpmässig riktning och vinklarna mellan träden och inventeringslinjerna inte tas med i beräkningarna (De Vries, 1973). Träden som fallit under stormarna kan som tidigare nämnts, antas främst ha fallit i en viss riktning. Effekten av detta bör undersökas vidare innan denna metod appliceras i någon större skala. En enkel lösning skulle vara att slumpa hakarnas riktningar.

Vid uppdelningen mellan mark ägd av SCA och övrig mark delades även hakarna upp då dessa ofta löpte över de båda ägartypernas marker. Även detta kan ha påverkat resultatet då träden förmodligen inte fallit i slumpmässig riktning. Även om det går att anta att hakarna har delats

upp slumpmässigt så skiljer sig de nord-sydliga inventeringslinjernas längder från de öst-väsliga i skattningarna för de olika ägartyperna. Detta är ett argument för att i framtida inventeringar placera inventeringslinjerna i det strata som avses undersökas och undvika en sådan uppdelning.

Ett alternativ till att använda sig av helikopter är att använda sig av drönare. Detta skulle möjliggöra en betydligt mer flexibel inventeringsprocess. För att komma ifrån det faktum att det krävs en hel del handpåläggning vid bearbetningen av flygbilderna skulle en videoinspelning kunna testas vid framtida studier. Vid en sådan inventering kan ett slumpvist antal hakar inventeras och filmas medan vissa hakar endast filmas. En fördel med att fota från helikopter är dock den snabba förflyttningen mellan provområden och därmed en betydligt snabbare datainsamling. Dessutom är helikoptern stabil och kan flyga rakt över ett område där en drönare kan tänkas vara känsligare för vindpåverkan.

Distriktet är stort och spridningen mellan hakarna vittnar om en geografisk skillnad i kvarliggande virkesvolym. Mindre områden med mindre spridning kan vara att föredra.

Studien av Valinger et. al (2006) angående riskfaktorer gällande stormskador kan mycket väl innehålla fler faktorer som kan ligga till grund för olika stratifieringar.

4.5 Utvärdering av fältinventeringsmetodiken

Det finns en svårighet i att bedöma huruvida en låga fallit i stormarna eller inte. Trädets nedbrytningsgrad beror till stor del på hur exponerat trädet varit och huruvida rötterna har haft jordkontakt eller inte. Ett träd med god jordkontakt kan överleva betydligt längre än ett träd utan jordkontakt (Brändström et al., 2005).

Totalt inventerades sex mil transekt och på många ställen låg det så många lågor att det var svårt att hålla sig på inventeringslinjen och det var lätt att hamna ur kurs. Detta kan såklart ha haft inverkan på resultatet. Dessutom så kan det ifrågasättas hur säker en sådan inventering är. I vissa fall, för att hålla inventeringslinjen var både klättring och krypning, under och över, ibland ganska hala lågor aktuellt. Detta argument talar såklart för att en flygbildsskattning är betydligt säkrare än en inventering som enbart sker i fält.

4.6 Utvärdering av flygbildstolkningen

I flygbildstolkningsmomentet var det ibland svårt att avgöra om det som syntes var lågor eller avverkningsrester. Vid inventeringen togs ett beslut att enbart räkna in lågor över fem meter i flygbildstolkningen. Vissa lågor som var överkörda med olika skogsmaskiner var ibland kortare men vid gränsen fem meter borde ett stort antal avverkningsrester kunna uteslutas ur tolkningen.

Beslutet att enbart ta med tydliga lågor som korsat inventeringslinjen berodde på att det skulle bli en tydlig metodik i tolkningen. I vissa fall täcktes linjen och lågorna av annan vegetation och det var då svårt att avgöra om lågan som syntes nådde och korsade linjen. I dessa fall valdes att inte räkna med dessa lågor för att undvika att flygbildstolkningen baserades på alltför många gissningar.

Det är möjligt att med högre upplösta bilder få en högre precision i flygbildstolkningen. Vid framtida inventeringar bör fotograferingen ske under avlövad säsong.

4.7 Slutsatser

- Denna studie visar att en kombinerad fältinventering och flygbildstolkning är möjlig att använda som metod för att skatta volym död ved för skogsmark. Detta överensstämmer med hypotesen.
- Omfattningen på en sådan inventering bör, med fjärranalysmetoden och stickprovsutläggen som använts i denna studie, vara ungefär ett till tre gällande omfattningen fältinventerings- kontra flygbildstolkningsträckor.
- En stratifiering och ett smartare utlägg av inventeringsresurserna kan möjligtvis göra att längden inventerad sträcka i förhållande till flygbildstolkad sträcka kan hållas ännu kortare och skattningen skulle kunna bli ännu säkrare.
- Det är möjligt att använda data som samlats in i denna studie för att vidare analysera hur upplägget av en inventering bör se ut.
- Ett framtida försök bör vara i mindre skala och flygbilderna kan sannolikt mycket mer effektivt samlas in med drönare och med hjälp av en videokamera i lod, eftersom det räcker med bilddata för linjen på marken rakt under kameran.

Referenser

- Brändström, J., Jonsson, M., Persson, E., Weslien, J. & Wilhelmsson, L. (2005). *Lagring av rundvirke i stormens spår*. RESULTAT, NR. 2. Uppsala: SKOGFORSK.
- De Vries, P.G. (1973). A General Theory on Line Intersect Sampling; With Application to Logging Residue Inventory. *Meded. Landbouwhogeschool Wageningen*, vol. 73(11), ss. 1-23.
- Gobakken T., Korhonen L., Næsset E. (2013). Laser-assisted selection of field plots for an areabased forest inventory. *Silva Fennica*, vol. 47(5), ss. 1-20.
- Grafström, A & Ringvall, A.H. (2013). Improving forest field inventories by using remote sensing data in novel sampling designs *Canadian Journal of Forest research*, vol. 43, ss.1015–1022
- Horvitz, D. G. & Thompson, D. J. (1952). A generalization of sampling without replacement from a finite universe. *Washington: Journal of the American statistical Association*, vol. 47(260), ss 663-685.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W. & Chipman, J. W. (2008). *Remote Sensing and Image Interpretation*. 6. Uppl. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Mandallaz, D. (2007). *Sampling Techniques for Forest Inventories*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Marini, L., Økland, B., Jönsson, A. M., Bentz, B., Carroll, A., Forster, B., Grégoire, J-C., Hurling, R., Nageleisen, L. M., Netherer, S., Ravn, H. P., Weed, A., & Schroeder, M. (2017). Climate drivers of bark beetle outbreak dynamics in Norway spruce forests. *Ecography*, vol. 40, ss. 001-010.
- Nämnden för Skoglig Fjärranalys. (1993). *Flygbildsteknik och Fjärranalys*. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Roberge, C., Wulff, S., Reese, H., & Ståhl, G. (2016). Improving the precision of sample-based forest damage inventories through two-phase sampling and post-stratification using remotely sensed auxiliary information. *Environmental monitoring and assessment*, vol. 188(213), ss. 0-21.
- Schelhaas, M. J., Nabuurs, G. J., & Schuck, A. (2003). Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biology*, vol. 9(11), ss. 1620-1633.
- Skogsaktuellt. (2017). *Fler drönare i skogsbruket*. Tillgänglig: <http://www.skogsaktuellt.se/?p=55697&pt=108&m=1422> [2018-03-04]
- Skogsstyrelsen. (2006). *Stormen 2005 – en skoglig analys*. Jönköping: Skogsstyrelsens förlag.
- Skogsstyrelsen. (2017a). *Korrigerade uppgifter om bruttoavverkning 2016*. Tillgänglig: <https://www.skogsstyrelsen.se/nyhetslista/korrigerade-uppgifter-om-bruttoavverkning-2016/> [2018-01-16]

Skogsstyrelsen. (2017b). *Granbarkborre*. Tillgänglig: <https://www.skogsstyrelsen.se/bruka-skog/skogsskador/granbarkborre/> [2017-04-28]

Skogsstyrelsen. (2017c). *Fortsatta barkborreskador i mellersta Norrland*. Tillgänglig: <https://www.skogsstyrelsen.se/om-oss/var-tidning-skogseko/skogseko-4-2016/fortsatta-barkborreskador-i-mellersta-norrland> [2017-08-29]

Skogsstyrelsen. (2017d). *Skogsdataportalen*. Tillgänglig: <http://skogsdataportalen.skogsstyrelsen.se/Skogsdataportalen/> [2017-11-15]

Skogsvårdslagen. (2014). Stockholm (SFS 2014: 890)

SLU. (2007). *Instruktion för flygbildsinventeringen vid nationell inventering av landskapet i Sverige (NILS)*. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet (Institutionen för skoglig resurshushållning).

SLU. (2017a). *SLU Skogskartan*. Tillgänglig: <ftp://salix.slu.se/download/skogskarta/2010/Data/Raster/Sweref99TM/> [2017-11-08]

SLU. (2017b). *Om SLU Skogskarta*. Tillgänglig: <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/riksskogstaxeringen/statistik-om-skog/slu-skogskarta/om-slu-skogskarta/> [2017-11-08]

SLU. (2017c). *Fältinstruktion 2017 – Riksinventeringen av skog (RIS)*. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet.

SLU. (2017d). *Skogsdata 2017; Aktuella uppgifter om de svenska skogarna från Riksskogstaxeringen*. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet.

SMHI. (2014). *Sammanfattning av stormen Ivar*. Tillgänglig: <http://www.smhi.se/nyhetsarkiv/sammanfattning-av-stormen-ivar-1.34911> [2017-04-28]

SMHI. (2017). *Dagmar - Annandag jul 2011*. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/dagmar-annandag-jul-2011-1.28718> [2017-04-28]

Ståhl, G. (1995). *The Transect Relascope – An Instrument for the Quantification of Coarse Woody Debris*. Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet.

Thompson, S. K., (1992). *Sampling*. New York: John Wiley and Sons.

Valinger, E., Ottosson Löfvenius, M., Johansson, U., Fridman, J., Claeson, S. & Gustafsson, Å. (2006). *Analys av riskfaktorer efter stormen Gudrun*. Rapport 8. Jönköping: Skogsstyrelsen.

Valinger, E. & Pettersson, N. (1996) Wind and snow damage in a thinning and fertilization experiment in *Picea abies* in southern Sweden. *Forestry*, vol. 69, ss. 25-33.

Warren, W.G. & Olsen, P.F. (1964). A Line Intersect Technique for Assessing Logging Waste. *Forest Science*, vol. 10(3), ss. 267-276.

Bilaga 1

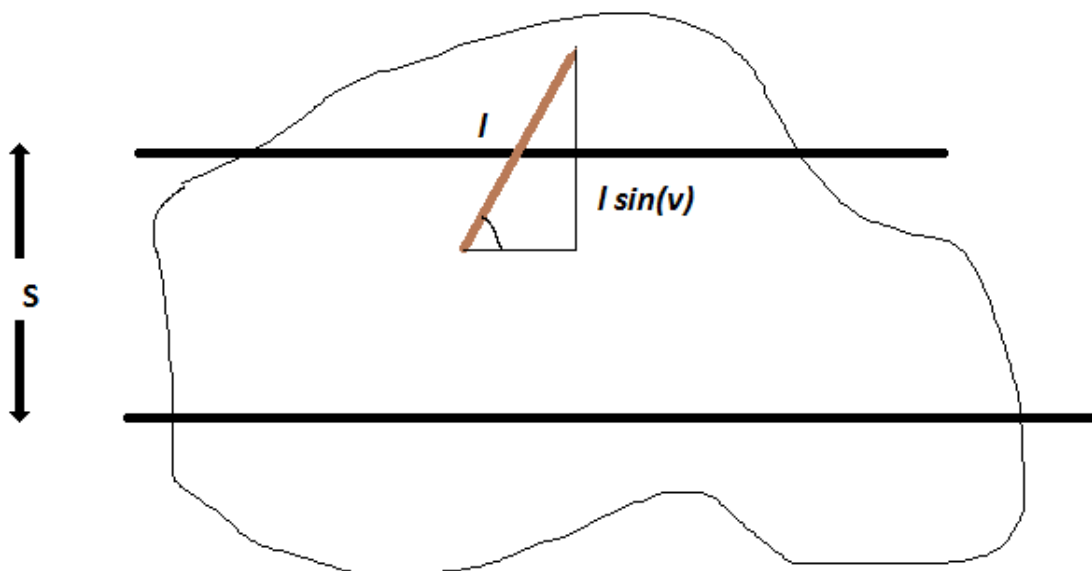
Anders Ellingsson: "I följande dokument bygger inventeringsdesign med slumpmässig transektriktning. I studien har hakformade (L-formade) transekter utgjort utlägggen."

Skattning av volym död ved med linje-skärningsmetod

Författare: Hans Petersson, SLU

Ursprungskälla: Sören Holm & Göran Ståhl. (19--). *Introduktion till statistisk inventeringsteori*. Umeå

Antag att inventeringslinjer placeras med avstånd S och att all död ved som korsar inventeringslinjen lottas att ingå i stickprovet. Urvalssannolikheten beror då på den döda vedens längd och vinkeln mot inventeringsriktningen.



Horwitz-Thompson skattningen vägs varje observation, y_i , omvänt mot dess urvalssannolikhet, π_i , enligt:

$$\hat{Y} = \sum \frac{y_i}{\pi_i} \quad \text{I fallet ovan blir formeln (efter det att vi flyttat ut S): } \hat{Y} = S \cdot \sum \frac{y_i}{l_i \cdot \sin(v_i)}$$

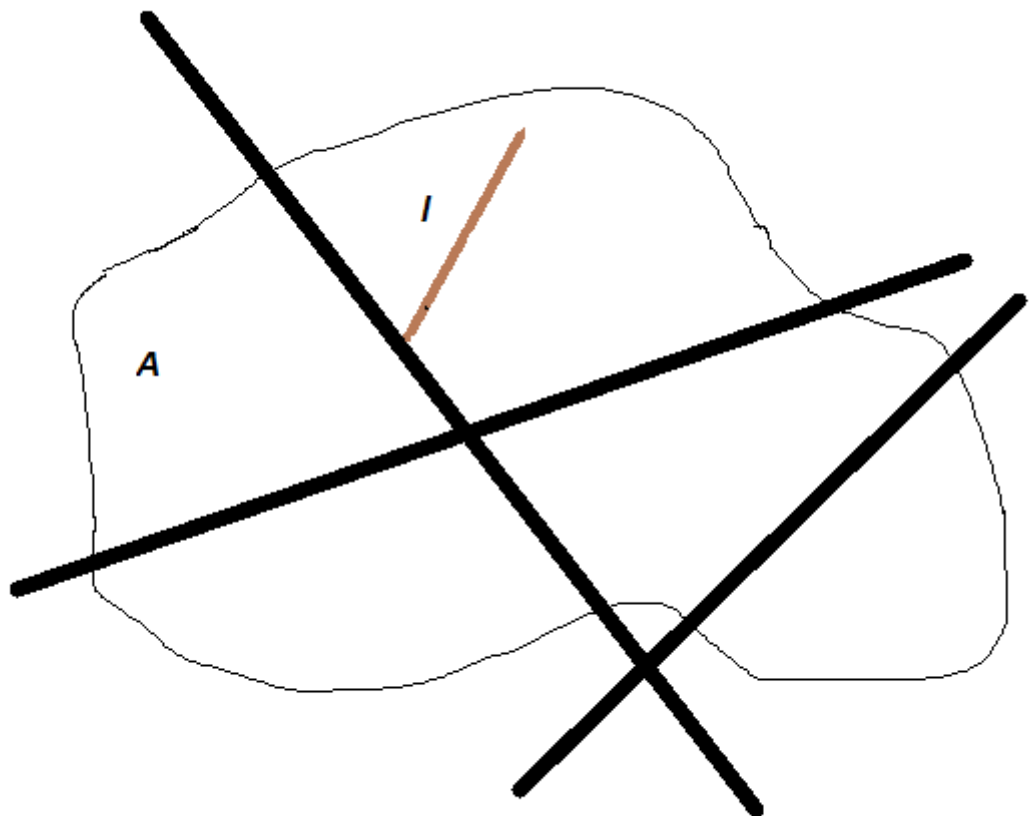
Alternativt kan vi tänka oss att slumpa ut ett antal linjer med slumpmässig riktning (likformigt mellan 0 och π [som nu är en vinkel]). Väntevärdet för denna vinkel blir $\pi/2$ och

urvalssannolikheten blir $(\pi/2) \cdot l \cdot L / A$, där L är total inventerad sträcka inom området och A

är områdets areal. Skattningen blir då $\hat{Y} = \left(\frac{\pi}{2}\right) \cdot A / L \cdot \sum \frac{y_i}{l_i}$ och om vi vill skatta längden död

ved förenklas uttrycket till $\hat{Y} = \left(\frac{\pi}{2}\right) \cdot A / L \cdot \sum 1$. Vi räknar således all död ved som korsar en centrerad linje i våra ortofoto-stråk och får då en skattning av längden död ved. För att skatta volymen död ved kompletteras fjärranalysskattningen med ett fältbesök. Här följs (helst delar av samma linjer) i fält och diameter per trädslag registreras i säg 100 meters stråk. Eftersom korsningen antas slumpmässig slipper vi hantera avsmalningen och vi borde nu kunna skatta:

- Volymen död ved per trädslag
- Medelvolymen död ved per trädslag
- Vi får viss geografisk information om död ved



Jag tror inte det blir några större problem med att inventeringslinjer kan korsa varandra. Vi har dock ett speglingsproblem som vi bortser från eftersom längden för en död ved är avsevärt kortare än ”mil av inventeringslinjer”. Därför avser§ L inventerad längd inom området och A är områdets areal. [Antag att vi lägger till en buffertzona om en maximal träd längd utanför området. Då ska 2 träd längder adderas till varje inventeringslinje och buffertzonen ska läggas

till A. Men då avser vår skattning inte ursprunglig A. Alternativt skulle vi i kanterna enbart inkludera den del av död ved som finns inom A. Hur detta påverkar formlerna får jag tänka mer på...]

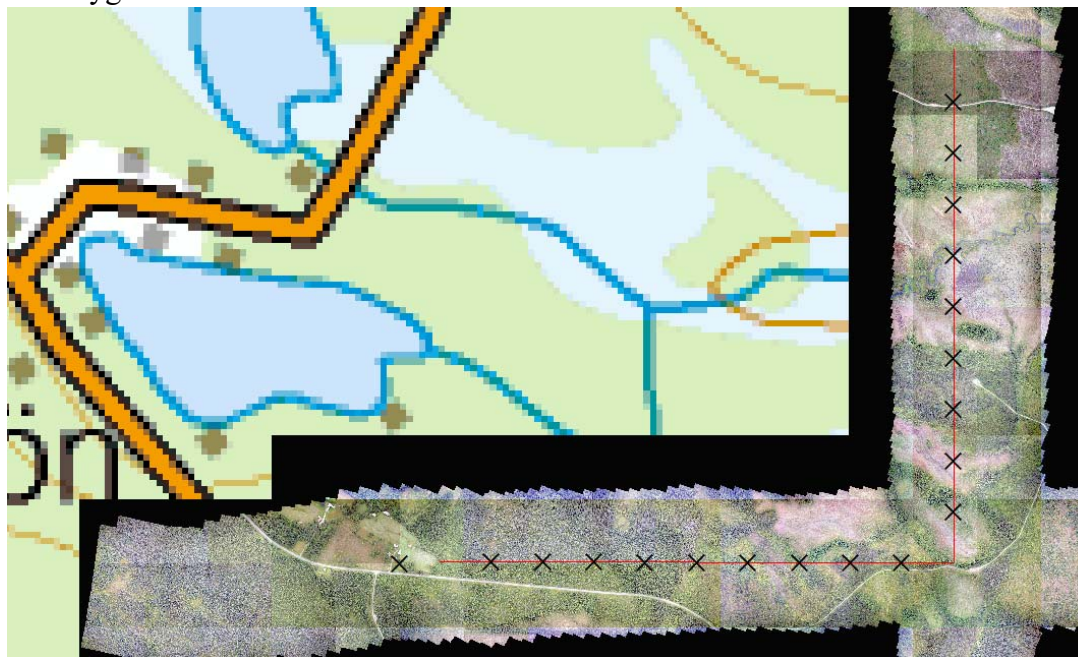
Bilaga 2

Inventeringsinstruktion

2017-10-05

Totalinventering av linjetransekt

1. Sök upp en ände på inventeringslinjerna (förslagsvis hörnet) med hjälp av fältdatorn med flygbilderna i kartstödet.



2. Ta ut riktning med riktkompassen och börja gå linjen. Kontrollera att du hela tiden (i möjligaste mån) håller dig på linjen med hjälp av plattan. Klava liggande träd som passerar med dataklaven. För varje träd noteras trädslag, nedbrytningsgrad på vindfällena samt om klavningen skett på eller under bark.

Kod, Trädslag

1. Tall
2. Gran
3. Björk
4. Övrigt löv
5. Contorta

Kod, Nedbrytningsgrad

1. Rå ved. Åsätts exv. färska vindfällena så länge gröna barr eller blad finns kvar. Dessutom klassas träd med rått kambium som rå ved även om levande barr eller blad saknas (*antas ha ramlat efter stormarna*).
2. Hård död ved. Stammens volym består till mer än 90 % av hård ved med en tillika hård mantelyta. Stammen är mycket lite påverkad av vednedbrytande organismer (*antas ha ramlat under stormarna*).

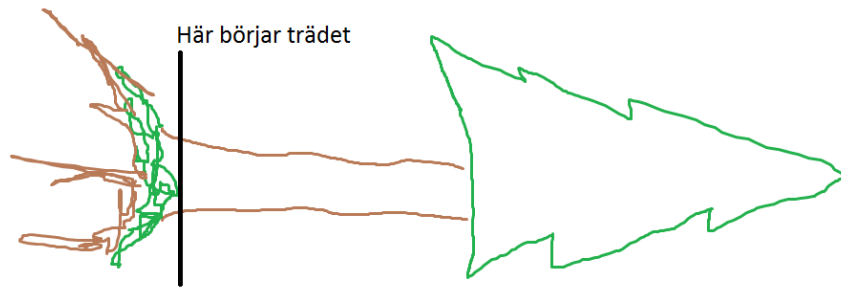
3. Något nedbruten död ved. Stammens volym består till 10-25 % av mjuk ved. Resterande andel utgörs av hård ved. Redskap, t.ex. en jordsond, kan tryckas genom mantelytan men inte genom hela splintveden (*antas ha ramlat innan stormarna*).

Navigering

Var konsekvent och använd enbart linjen i plattan för navigeringen även om du ser att linjen ligger aningen fel. Bry dig med andra ord inte om att du ibland förhåller dig fel till vissa objekt (som lågor och stenar) i förhållande till flygbilden. Lita alltså blint på plattan och positionen den ger även om den inte stämmer! Detta för att vara konsekvent vid de fall det inte finns objekt att förhålla sig till samt att det inte finns tid att fundera alltför mycket vid inventeringen.

Inventeringsregler:

- Klava bara träd som avgått i storm. Alltså även träd som blåst av.
- Minimidiameter är 12 cm i brösthöjd. Alla träd under 12 cm noteras ej. (väldigt få träd är under 12 cm. mycket al vid blötare områden kan genom detta bortses ifrån)
- Om du är osäker på om en låga ska vara med eller inte så tar du upp riktkompassen och siktar och klavar där korset ligger.
- Vid en hel bröt kan det vara svårt att ligga exakt på linjen. Håll då upp syftkompassen och sikta. Klava träden där korset visats. Då du passerat bröten så går du tillbaka till inventeringslinjen.
- Håll klaven horisontellt vid varje klavning för att vara konsekvent.
- Ibland kan det vara svårt att gå exakta inventeringslinjen (berg och annat i vägen). Då går du så nära som möjligt och inventerar tills du kan återgå till linjen.
- Alla träd som lutar mer än 45 grader alternativt är döda pga att de är omkullblåsta tas med i inventeringen. Alltså kan ett träd som lutar mindre än 45 grader men fortfarande lever (har grön barrmassa) uteslutas och noteras inte som låga. Däremot om det lever (återigen, har grön barrmassa) men lutar mer än 45 grader räknas som en låga
- Punkten ovan ger såklart en svårighet då linjen går under ett omkullblåst träd som inte inventeraren når. I det fallet så får utföraren helt enkelt gissa sig till en diameter. Inte optimalt, men bättre än att inte ta med trädet alls.
- Klava alla diametrar från det helt synliga rotbenet och uppåt. Se bild nedan:



Övriga tankar:

- OBS. plattans skärm är tänd under längre perioder, var sparsam med ljusstyrkan. Powerbank kan vara bra att ha till hands.
- Kontrollera kontinuerligt att GPSn fungerar i klaven.
- Ladda över data varje dag.

Bilaga 3

Resultat från fältinventeringen uppdelat på trädslag och klass för SCA-ägd mark.

Tall - SCA

Nedbrytningsklass	Volym ($m^3 sk$)	Volym per hektar ($m^3 sk/ha$)
Klass 1	995	0,01
Klass 2	325 075	3,92
Klass 3	86 618	1,05
Totalt	412 688	4,98

Gran - SCA

Nedbrytningsklass	Volym ($m^3 sk$)	Volym per hektar ($m^3 sk/ha$)
Klass 1	9 883	0,12
Klass 2	525 061	6,34
Klass 3	229 908	2,77
Totalt	764 852	9,23

Björk - SCA

Nedbrytningsklass	Volym ($m^3 sk$)	Volym per hektar ($m^3 sk/ha$)
Klass 1	1 895	0,02
Klass 2	50 815	0,61
Klass 3	43 558	0,53
Totalt	96 268	1,16

Övrig löv - SCA

Nedbrytningsklass	Volym ($m^3 sk$)	Volym per hektar ($m^3 sk/ha$)
Klass 1	814	0,01
Klass 2	36 749	0,44
Klass 3	37 265	0,45
Totalt	74 829	0,90

Contorta - SCA

Nedbrytningsklass	Volym ($m^3 sk$)	Volym per hektar ($m^3 sk/ha$)
Klass 1	8 331	0,10
Klass 2	49 578	0,60
Klass 3	374	0,00
Totalt	58 282	0,70

Resultat från fältinventeringen uppdelat på trädslag och klass för Övrig mark.

Tall - Övrig

Nedbrytningsklass	Volym (m ³ sk)	Volym per hektar (m ³ sk/ha)
Klass 1	26 034	0,20
Klass 2	185 719	1,44
Klass 3	118 402	0,92
Totalt	330 156	2,56

Gran - Övrig

Nedbrytningsklass	Volym (m ³ sk)	Volym per hektar (m ³ sk/ha)
Klass 1	11 722	0,09
Klass 2	355 736	2,75
Klass 3	125 857	0,97
Totalt	493 315	3,82

Björk - Övrig

Nedbrytningsklass	Volym (m ³ sk)	Volym per hektar (m ³ sk/ha)
Klass 1	2 398	0,02
Klass 2	17 633	0,14
Klass 3	43 933	0,34
Totalt	63 963	0,50

Övrig löv - Övrig

Nedbrytningsklass	Volym (m ³ sk)	Volym per hektar (m ³ sk/ha)
Klass 1	2 398	0,02
Klass 2	17 633	0,14
Klass 3	43 933	0,34
Totalt	63 963	0,50

Contorta - Övrig

Nedbrytningsklass	Volym (m ³ sk)	Volym per hektar (m ³ sk/ha)
Klass 1	5 886	0,05
Klass 2	5 713	0,04
Klass 3	-	-
Totalt	11 599	0,09