

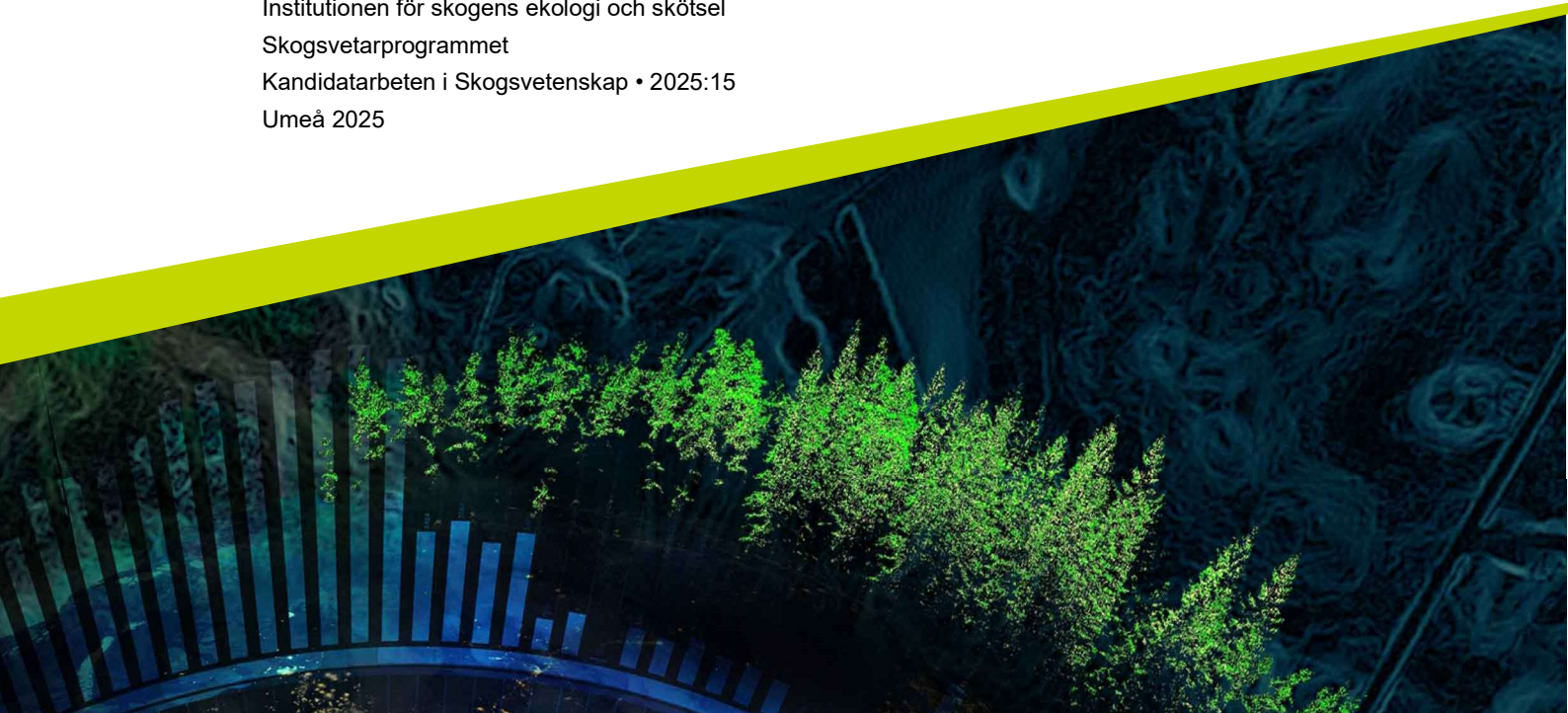


***Pinus contorta* i en karta**

Kan trädslagsandelen i bestånd mätas med satellitbild?

Maja Hammarström Gjervaldsaeter

Kandidatarbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skogens ekologi och skötsel
Skogsvetarprogrammet
Kandidatarbeten i Skogsvetenskap • 2025:15
Umeå 2025



Pinus contorta i en karta – Kan trädslagsandelen i bestånd mätas med satellitbild?

Pinus contorta on a map – Is it possible to measure the species proportion in a stand with satellite images?

Maja Hammarström Gjervaldsaeter

Handledare:	Jonas Bohlin, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning
Bitr. handledare:	Erik Willén, Stora Enso Skog AB
Examinator:	Marcus Klaus, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Omfattning:	15 hp
Nivå och fördjupning:	Grundnivå, G2E
Kurstitel:	Självständigt arbete i skogsbruksvetenskap
Kurskod:	EX1015
Program/utbildning:	Skogsvetarprogrammet
Kursansvarig inst.:	Institutionen för skogens ekologi och skötsel
Utgivningsort:	Umeå
Utgivningsår:	2025
Upphovsrätt:	Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Serietitel:	Kandidatarbeten i Skogsvetenskap
Delnummer i serien:	2025:15

Nyckelord:	Fjärranalys, satellit, kNN, contorta, fältinventering
-------------------	---

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Sammanfattning

I mer än hundra år har contortatallen (*Pinus contorta*) planterats i Sverige från liten skala med forskningsförsök till det moderna storskogsbruket. Det främmande trädslaget har en oklar påverkan på de svenska ekosystemen vilket gör att användandet regleras i svensk lagstiftning samt i skogsbrukscertifieringarna PEFC och FSC. Fjärranalys är ett alternativ för att mäta stora ytor på kort tid och Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) har skapat en samling kartprodukter under namnet SLU Skogskarta, även kallat kNN Sverige med hjälp av satellitbildsskattning.

Syftet med denna studie var att undersöka hur väl SLU Skogskarta 2010 och SLU Skogskarta-Trädslag skattar trädslagsandelen contortatall för att ta reda på om kartprodukterna är tillräckligt noggranna, det vill säga ± 10 procentenheter¹, för att kunna användas till att uppdatera skogsföretagens beståndsregister. Undersökningen genomfördes som en fallstudie med inventering på mark som ägs av Stora Enso Skog AB där trädslagsandel identifierades utifrån relaskopsmätt grundyta. Data bearbetades i QGIS och Excel och resultatet presenteras främst med RMSE, relativt RMSE samt medelavvikelse.

Resultatet av studien visar att det inte går att använda SLU Skogskarta 2010 och SLU Skogskarta-Trädslag till att uppdatera beståndsregister med då skattningarna inte är tillräckligt noggranna. RMSE och relativt RMSE beräknades till 46,7–58,9 procentenheter respektive 90%–113%. Medelavvikelsen för resultatet tyder på att både SLU Skogskarta 2010 och SLU Skogskarta-Trädslag systematiskt underskattar andelen contortatall, -46,17 respektive -41,97 procentenheter. Kartprodukterna är inte exakta nog för att antas beskriva verkligheten korrekt men de kan användas som ett hjälpmedel för att indikera områden med hög andel contortatall och då söka ut områden att vidare inventera.

Nyckelord: Fjärranalys, satellit, kNN, contorta, fältinventering

¹ Erik Willén, Manager Precision Forestry, Stora Enso Skog AB, muntlig kommunikation 2025-05-07.

Abstract

For more than a hundred years the lodgepole pine (*Pinus contorta*) has been planted in Sweden, from small-scale research trials to modern large-scale forestry. The foreign tree species has an unclear impact on Swedish ecosystems, which is why its use is regulated in Swedish legislation and in the forestry certifications PEFC and FSC. Remote sensing is an alternative for measuring large areas in a short time and the Swedish University of Agricultural Sciences (SLU) has created a collection of map products under the name SLU Forest Map, also called kNN Sweden, using satellite images.

The purpose of this study was to investigate how well the SLU Forest Map 2010 and SLU Forest Map-Tree Species estimate the proportion of lodgepole pine in order to find out whether the map products are sufficiently accurate, i.e. ± 10 percentage points², to be used to update the forest companies' stand register data. The study was conducted as a case study with an inventory on land owned by Stora Enso Skog AB where the proportion of tree species was identified based on relascope-measured basal area. The data was processed in QGIS and Excel and the results are presented primarily with RMSE, relative RMSE and mean deviation.

The results of the study show that it is not possible to use SLU Forest Map 2010 and SLU Forest Map-Tree Species to update the stand register data as the estimates are not sufficiently accurate. RMSE and relative RMSE were calculated to be 46.7–58.9 percentage points respectively 90%–113%. The mean deviation for the results indicates that both SLU Forest Map 2010 and SLU Forest Map-Tree Species systematically underestimate the proportion of lodgepole pine, -46.17 and -41.97 percentage points respectively. The map products are not precise enough to be assumed to describe the reality correctly, but they can be used as a tool to indicate areas with a high proportion of lodgepole pine and further to select areas for inventory

Keywords: Remote sensing, satellite, kNN, lodgepole pine, field inventory

² Erik Willén, Manager Precision Forestry, Stora Enso Skog AB, muntlig kommunikation 2025-05-07.

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	6
Figurförteckning	7
Förkortningar	8
1. Inledning	9
1.1 Syfte och frågeställning	10
1.2 Bakgrund	10
1.2.1 Skogscertifieringarna och skogsvårdslagen	10
1.2.2 Fjärranalys	12
1.2.3 SLU Skogskarta	13
1.2.4 Tidigare forskning om noggrannhet i skattade skogliga variabler	15
2. Material och metod	18
2.1 Undersökning av beståndsregister och SLU skogskarta	18
2.2 Val av bestånd	19
2.3 Provyteutläggning	20
2.4 Fältmätning	21
2.5 Databearbetning och analys	21
3. Resultat	23
4. Diskussion	27
5. Slutsatser	31
Referenser	32

Tabellförteckning

Tabell 1. Inventerade bestånd	20
Tabell 2. Antal provytor som slumpats ut i ett bestånd utifrån dess area.	20
Tabell 3. Resultatet av RMSE och relativt RMSE.	23
Tabell 4. Andel contortatall per bestånd från de olika datakällorna.	24
Tabell 5. Differensen mellan skattat värde och fältmätt värde.	24

Figurförteckning

Figur 1. Contortaförbudsområdet nedom fjällnäragränsen (Bergkvist et al. 2018).....	11
Figur 2. Karta över yttäckningen av SLU Skogskarta 2000, 2005, 2010 och 2015 (Om SLU Skogskarta u.å.a.).....	13
Figur 3. Relativt medelfel av pixelvisa skattningar för virkesförråd per hektar mot areal i hektar för ett referensområde i Västerbotten och ett i Uppland (Söderberg 2002).	16
Figur 4. Andelen contortatall per bestånd från BESK mot andelen contortatall per bestånd från fältinventeringen.	25
Figur 5. Andelen contortatall per bestånd från SLU Skogskarta-2010 mot andelen contortatall per bestånd från fältinventeringen.	26
Figur 6. Andelen contortatall per bestånd från SLU Skogskarta-Trädslag mot andelen contortatall per bestånd från fältinventeringen.	26

Förkortningar

Förkortning	Betydelse
GET	Geographic Extraction Tool
Ha	Hektar
Lidar	Light detection and ranging
NIR	Närinfrarött
RMSE	Root mean square error
SLU	Sveriges Lantbruksuniversitet
QGIS	Quantum Geographic Information System

1. Inledning

Contortatallen (*Pinus contorta*) är en art i släktet *Pinus* som planterats i stor utsträckning i Sverige, framförallt på 1980-talet (Engelmark 2011). Contortatallen kategoriseras som ett främmande trädslag och finns idag på 2% av Sveriges skogsmark (SLU 2024.e). För markägare som har mark med främmande trädslag planterat och vill vara certifierad med FSC och PEFC tillkommer fler restriktioner än de som finns i svensk lagstiftning. Att kontrollera främmande trädslag och huvudsakligen förhindra och ta bort självspridning är en del av kraven (FSC 2020; PEFC 2024). Den kontroll som behövs kräver både mycket tid och resurser.

Hur skogen ser ut och vad den innehåller undersöks vanligtvis med inventering eller fjärranalys. Inventering är tidskrävande då stora arealer behöver avsynas och många mätpunkter behöver tas. Att dessutom söka efter självspridning kan vara svårt då frön kan sprida sig långt med vinden. Med hjälp av fjärranalys kan stora ytor på kort tid undersökas och skogliga variabler erhållas vilket gör det till ett potentiellt alternativ till den storskaliga inventeringen.

SLU Skogskarta är en samling kartprodukter som baseras på satellitbilder och riksskogstaxeringens provytor (SLU u.å.a). Samtliga SLU Skogskarta presenterar skattade variabler för trädslagen gran, tall, contortatall, björk, ek, bok och övriga lövträd (Reese et al. 2003). Dessa kartprodukter är då en möjlighet att använda för att mäta contortatallen.

Ett skogsbolag som äger mycket skogsmark i Sverige är Stora Enso Skog AB som dessutom är certifierat enligt både FSC och PEFC (StoraEnso u.å.). Företaget har ungefär 57 000 hektar skogsmark med contortatall planterat (Stora Enso 2022). I dagsläget uppdateras alla data i företagets beståndsregister med Skogliga grunddata och framskrivning med hjälp av tillväxtmodeller eller i samband med åtgärd³. Dock finns det ingen skattning om trädslagsfördelning i skogliga grunddata och därför skulle SLU Skogskarta kunna vara ett alternativ till fältinventeringar. Om skattningarna av trädslagsandel i SLU Skogskarta är tillräckligt bra, det vill säga +/- 10 procentenheter⁴, vore det möjligt att använda kartan för att uppdatera beståndsregistret utan att behöva inventering i fält.

³ Erik Willén, Manager Precision Forestry, Stora Enso Skog AB, mejlkontakt 2025-04-01 ;2025-04-29

⁴ Erik Willén, Manager Precision Forestry, Stora Enso Skog AB, muntlig kommunikation 2025-05-07.

1.1 Syfte och frågeställning

Syfte

Syftet med uppsatsen är att undersöka hur exakt SLU Skogskarta kan skatta trädslagsandelen *Pinus contorta* på beståndsnivå.

Frågeställningar

- Hur stor är skillnaden mellan företagets beståndsdata jämfört med fältmätt data för trädslagsandel *Pinus contorta*?
- Hur stor är skillnaden mellan SLU Skogskarta 2010 respektive SLU Skogskarta – Trädslag jämfört med fältmätt data för trädslagsandel *Pinus contorta*?
- Vad är RMSE och relativt RMSE för skattningarna av trädslagsandel *Pinus contorta* på beståndsnivå i SLU Skogskarta 2010 respektive SLU Skogskarta-Trädslag?

Hypotes

Hypotesen i denna uppsats är att SLU Skogskarta 2010 och SLU Skogskarta-Trädslag inte kommer att vara tillräckligt noggranna för att de ska kunna användas till att uppdatera beståndsregister.

1.2 Bakgrund

1.2.1 Skogscertifieringarna och skogsvårdslagen

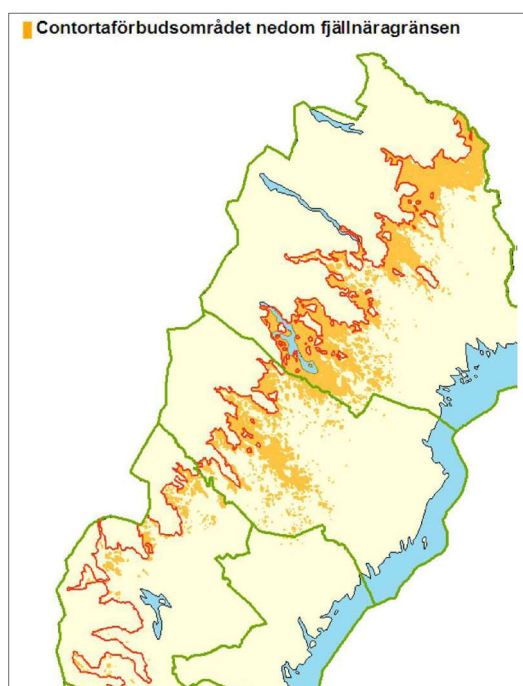
Främmande trädslag har länge planterats som alternativ till de inhemska trädslagen av olika anledningar (Engelmark 2011). Den nordamerikanska contortatallen (*Pinus Contorta*) klassificeras som ett främmande trädslag då arten inte tillhör Sveriges ursprungliga flora (ibid). Engelmark (2011) förklarar att arten uppskattas ha en 36% högre tillväxt än den svenska tallen (*Pinus sylvestris*) vilket var anledningen till att arten infördes i Sverige. På 1920-talet planterades contortatallen i en liten experimentell skala och senare i stor skala på 70-talet för att den antogs kunna bidra till en stabilare virkesförsörjning (ibid). Som mest planterades 40 000 ha under året 1984 (ibid).

Konsekvenserna av införandet av contortatall i Sverige på den biologiska mångfalden är oklara men det har bevisats att contortabestånd tenderar att ha annorlunda artsammansättning och färre antal arter än en inhemsk tallskog (Engelmark 2011). Contortatallen konkurrerar främst med inhemsk tall, gran och björk (ibid). Arten är en pionjärart vilket innebär att den etablerar sig snabbt på nyligen störda ytor, dessutom har den en högre skuggtålighet än den svenska tallen och kan därför även föryngra sig under en skärm av tall eller gran (ibid). Arten är klassad som invasiv då det finns risk för att den självsprider sig och risken för

självspredning är som störst då contortatallarna är äldre än 30 år, vilket majoriteten av den contortatall som finns i Sverige idag är (ibid). Engelmark (2011) förklarar att studier har visat att mellan 42%-86% av all contortatall över 30 år självföryngrar sig.

Idag finns det totalt omkring 600 000 ha skogsmark med contortatall beskriver Engelmark (2011). Att de allra flesta bestånden med arten är mer än 30 år gamla innebär som tidigare nämnt en stor risk för självspredning och därmed en osäkerhet kring påverkan på artsammansättningen i contortabestånden och omkringliggande skog. Då arten är så utbredd och konsekvenserna av artens utbredning är oklara har Skogsstyrelsen valt att reglera förekomsten av contortatallarna i Sverige.

Enligt Skogsstyrelsens allmänna råd och föreskrifter till Skogsvårdslagen (SKSFS 2011:7), paragraf 27 och 28, måste plantering av främmande trädslag anmälas i avverkningsanmälan samt att contortatall endast får finnas på mark som är mellan latitud 60° och 68° med undantag för en del av Värmland och Örebro län. Gränsen för plantering av contortatall mot fjällkedjan illustreras i figur 1 nedan. Trädslaget får även inte planteras på hög höjd (Figur 1) och inom 1 km från en nationalpark eller naturreservat (SKSFS 2011:7). Arten får alltså inte förekomma nära känsliga naturområden.



Figur 1. Contortaförbudsområdet nedom fjällnäraregränsen. Förbud gäller även mot att plantera contortatall ovanför den fjällnära gränsen. Röd linje är gränsen för fjällnära skog. Orangea områden är högt belägna områden där förbud mot contortatall gäller. (Bergkvist et al. 2018)

På grund av problematiken och de osäkra riskerna med främmande trädslag har även FSC och PEFC valt att reglera skogsbrukets användande av dem hårdare än svensk lagstiftning i sina standarder. Enligt skogsbruksstandarderna (FSC 2020; PEFC 2024) ska bland annat självspridning begränsas och tas bort vilket medför att de skogsägare som har främmande trädslag på sin mark måste ha kontroll över sina främmande trädslag för att få vara certifierade. Enligt PEFC får inte skogsägarens mark bestå av mer än 20% främmande trädslag (PEFC 2024) och FSC har krav att max 5% av skogsägarens markinnehav efter november 1994 får bestå av nyanlagd planterad skog (FSC 2020), det vill säga att naturskog inte får omvandlas till planterad skog på mer än 5% av markinnehavet. Planterad skog kan bestå av båda inhemska och främmande trädslag (FSC 2020). Majoriteten av Sveriges skogsmark är certifierad med FSC eller PEFC, 67% år 2023, vilket innebär att mer än hälften av Sveriges skogsmark följer dessa riktlinjer och behöver ett system för att kontrollera sin skog där det finns främmande trädslag (Skogsstyrelsen u.å.).

1.2.2 Fjärranalys

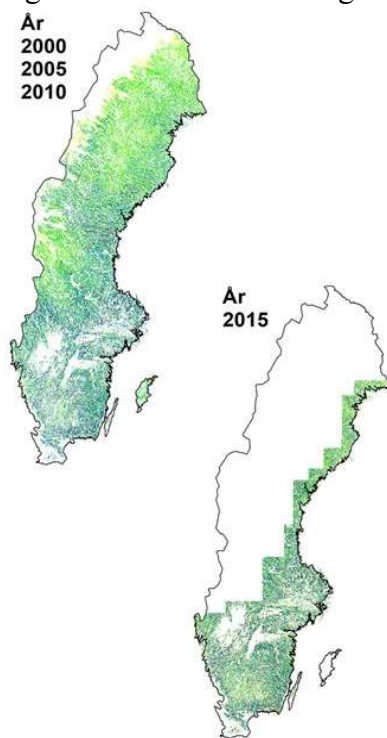
Det finns olika sätt att mäta sin skog och dess utveckling. Fjärranalys är en metod som används för att mäta på avstånd vilket gör att stora ytor kan täckas. Det som mäts kan antingen vara en reflektion av solens ljus eller värme exempelvis med satellit alternativt reflektionen från en puls av strålning som människan sänt ut exempelvis radar eller Lidar vilket används vid flygburen laserscanning (Harrie 2022). När en puls av strålning sänds ut mäts tiden det tar för pulsen att reflekteras (ibid). Då ljusets hastighet är känd kan avståndet till reflektionsobjektet beräknas och en tredimensionell koordinat erhållas (ibid). Varje puls som reflekteras kan sedan användas för att modellera mätobjekten tillsammans i exempelvis en karta (ibid). När en satellit mäter reflektionen av solens ljus och värmestrålning mäter en sensor de olika våglängderna och frekvenserna på strålningen (ibid). Verklighetsbeskrivande färgbilder skapas genom att kombinera våglängdsband inom spektrumet för synligt ljus, röd, grön och blå, därefter kan varje satellitbild sedan kombineras med andra och bilda en heltäckande karta (ibid). Vid analys av vegetation är det istället vanligt att skapa en falsk färgbild där grönt visas som blått, rött visas som grönt och närinfrarött (NIR) visas som rött (ibid). Växter reflekterar mycket NIR vilket gör att vegetation lyser rött i bilden och blir lätt att se (ibid).

Idag är fjärranalys ett verktyg som blir alltmer lättillgängligt. Olsson (2015) beskriver utvecklingen av fjärranalys sedan 70-talet. Den första mätningen med fjärranalys var år 1975 med flygburen fotografering där foton togs och analyserades (ibid). På samma gång började det komma bilder tagna med satellit över södra Europa för att sedan 1979 tas satellitbilder även på norra Europa (ibid). På 80-talet var det satellitbildsanalys i fokus vilket sedan flyttades till laserscanning under 90-talet (ibid). Då utvecklades metoder för flygburen

laserscanning tillsammans med militären (ibid). Samtidigt under 90-talet kom inspiration från den finska riksskogstaxeringen med vidareutveckling av fjärranalys med satellit (ibid). Det första rikstäckande rastret med skogliga variabler kunde skapas med data från satellit kombinerat med riksskogstaxeringens provytor och år 2000 lanserades den första SLU Skogskarta (ibid).

1.2.3 SLU Skogskarta

SLU skogskarta, som även kallas kNN-Sverige, är en samling kartprodukter med skattade skogliga data utifrån satellitbilder tillsammans med riksskogstaxeringens provytor och syftet med produkterna beskriver SLU är att "kostnadsfritt tillhandahålla skoglig information" (SLU u.å.a). Det är volym per trädslag, grundyta, grundtevägd medelhöjd, grundtevägd medeldiameter och biomassa som skattats och presenteras med en variabel per raster (ibid). SLU skogskarta har gjorts i fyra versioner; år 2000, 2005, 2010 och 2015. Viss variation mellan versionerna förekommer i vilka skogliga variabler som är skattade och hur stor yta av Sverige som täcks av skattningarna (SLU 2024a).



Figur 2. Karta över yttäckningen av SLU Skogskarta 2000, 2005, 2010 och 2015 (Om SLU Skogskarta u.å.a.).

SLU Skogskarta är skapat i rasterformat. De första tre SLU Skogskarta har upplösningen 25×25 meter per rastercell (SLU 2024b). SLU Skogskarta från 2015 är mer högupplöst med 12,5×12,5 meter per rastercell (ibid).

De första tre versionerna är rikstäckande och är skapade med satellitbilder från LANDSAT 5 och LANDSAT 7 (2000) respektive SPOT 4 och SPOT 5 (2005 och 2010) (SLU 2024b). Den senaste versionen, 2015, är skapad med satellitbilder från Sentinel-2 och ytmodeller från Lantmäteriet (SLU 2024a) som är baserade på flygfotografering (SLU 2021). Dock är den bara skattad för södra Sverige och längs östkusten, se figur 2. Det finns ingen plan hos SLU att själva göra en ny version av SLU Skogskarta⁵. Däremot har Naturvårdsverket påbörjat skapandet av en ny version av Nationella Marktäckedata (NMD) där contortatall kommer karteras och bilda ett eget skikt i kartprodukten⁶. Den nya versionen av NMD beräknas vara klar mot slutet av året 2025 för att sedan utvärderas av SLU⁷.

Samtliga SLU Skogskarta har producerats med samma metod även om indata kan skilja sig mellan de olika versionerna på grund av olika satelliter samt att SLU Skogskarta 2015 även inkluderar Lantmäteriets ytmodeller. Reese et al. (2003) beskriver att den första SLU Skogskarta producerades med tre typer av data för att skatta de skogliga variablerna; 1) skogliga fältmätta data från riksskogstaxeringens provytor vilka är GPS positionerade sedan 1996, 2) satellitbilder, och 3) digitala kartdata, en topografisk karta i skala 1:100 000, för att markera skogsmark och icke skogsmark då icke skogsmark inte ska vara med i den slutgiltiga produkten. Innan skattning av skogliga variabler genomfördes förbearbetades data då satellitbilder som var oklara, med exempelvis moln, rensades bort (Reese et al. 2003). Om en provyta inte var mätt samma år som satellitbilden togs framskrevs dessa data med tillväxtmodeller och provytor där det hade skett en förändring i vegetationen, exempelvis en gallring, användes inte i skattningen då provytans data inte var jämförbart med satellitbilden (ibid). De rensade även bort extremvärden med hjälp av regression (ibid). När data var redo kunde skattningar göras med metoden k Nearest Neighbour, förkortat kNN (Reese et al. 2003).

kNN är en algoritm som använts till att skatta volym per trädslag (tall, gran, contortatall, björk, ek, bok och övriga lövträd), ålder och höjd för alla pixlar i respektive raster (Reese et al. 2003). Varje pixels värde i det skattade rastret beräknas som ett vägt medelvärde av de k i färg närmaste referensytorna från riksskogstaxeringens provytor (ibid). Detta innebär då att det data som finns i referensytorna kan användas för att skatta samma variabler i resterande pixlar inom satellitbilden. Det data som saknas på provytorna kan inte skattas inom satellitbilden för algoritmen har då inget träningsdata för de variablerna. Reese et al. (2003) förklarar vidare att olika studier där kNN metoden har använts har testat olika värden på k. Studierna kom fram till att ju högre värde på k desto mer kommer skattningen av pixelns värde att dras mot medelvärdet. Reese et al. (2003) valde att

⁵ Jonas Jonzen, Institutionen för skoglig resurshushållning, Sveriges Lantbruksuniversitet, mejlkontakt 2025-05-09.

⁶ Camilla Jönsson, Naturvårdsverket, mejlkontakt 2025-05-08.

⁷ Camilla Jönsson, Naturvårdsverket, mejlkontakt 2025-05-08.

vid skapandet av SLU skogskarta använda $k = 15$. När skattningarna med kNN metoden var klara användes korsvalidering för att utvärdera skattningarna och Root Mean Square Error (RMSE) beräknades för varje skoglig variabel (ibid). Vid behov beräknades en skattning om med fler och äldre provytor (Reese et al. 2003).

En sista SLU skogskarta har skapats som en del av ett större projekt. Den kallas SLU Skogskarta – Trädslag. Kartan innehåller endast skattningar av trädslagsandel baserat på volym för tall, gran, contortatall, björk, ek, bok och övriga lövträd (SLU u.å.b). Andra skogliga variabler ansågs av SLU kunna hittas i Skogliga grunddata istället (ibid). Trädslagskartorna är skapade med Sentinel-2-bilder från främst 2018 men även 2017 och 2019 har använts vid behov samt med data från Skogliga grunddata (SLU u.å.b). Upplösningen på rasterskikten är $12,5 \times 12,5$ meter (ibid). Skattningarna gjordes med kNN metoden och riksskogstaxeringens provytor användes som referensytor som i de tidigare versionerna av SLU Skogskarta (ibid). Noggrannheten bedöms vara högst i välskötta barrträdsdominerade skogar och något lägre i blandskogar och lövdominerade skogar (ibid).

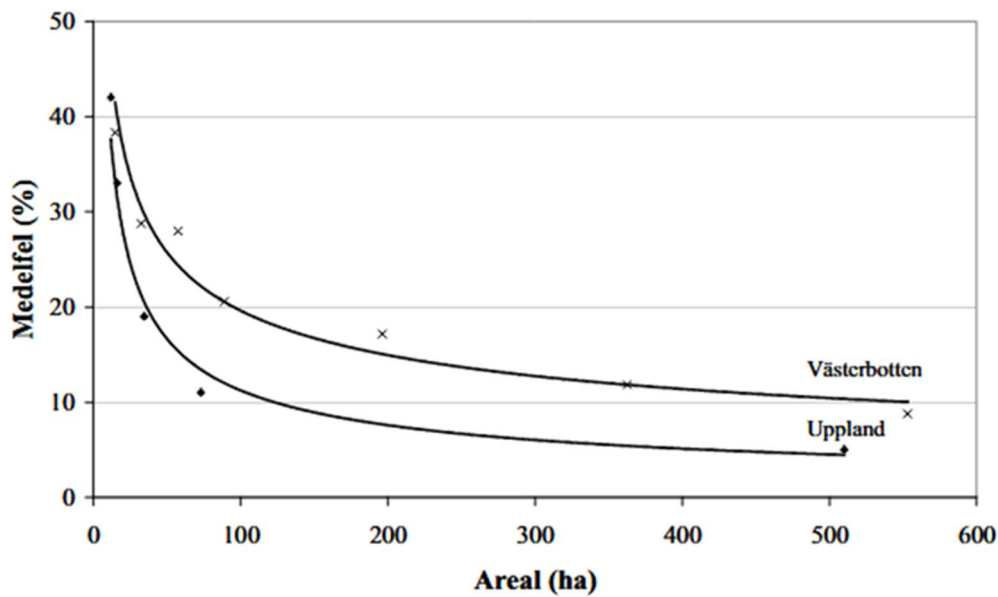
1.2.4 Tidigare forskning om noggrannhet i skattade skogliga variabler

Satellitdata

Det finns många utvärderingar av noggrannheten i skattade skogliga variabler med satellitbilder och fältmätt data.

Vid skapandet av den första SLU Skogskarta konstaterades det att noggrannheten i skattningarna av skogliga variabler var låg på rastercellnivå men betydligt bättre på större aggregerade arealer (Reese et al. 2003). Resultatet visade att i Västerbotten var relativt RMSE 38,9% för bestånd med en area på 14,9 ha medan RMSE var 12% för bestånd med en area på 350 ha (ibid). I samma studie visades liknande värden mer söderut i Uppland då relativt RMSE var 20% för bestånd med en area på 50 ha och 10% för bestånd med en area på 100 ha.

Tomppo et al. (2008) har sammanfattat forskningsläget i Sverige och Finland fram till 2008. De lägger fram försök som har visat relativt RMSE på rastercellnivå på upp mellan 50%-80%. I artikeln visar de även på resultat som har gett relativt RMSE på så lite som 5%-16%, dock för ytor på minst 100 kvadratkilometer. Baserat på detta är en reflektion att relativt RMSE varierar mellan varje studie som görs men de tillsammans styrker att det finns ett samband mellan noggrannheten i skattningarna och arealen, att med kNN metoden blir skattningarna bättre ju större yta som undersöks. Söderberg (2002) har illustrerat sambandet mellan relativt medelfel och areal i figuren nedan baserat på sin studie med satellitdata, provytedata och kNN metoden (Figur 3).



Figur 3. Relativt medelfel av pixelvisa skattningar för virkesförråd per hektar mot areal i hektar för ett referensområde i Västerbotten och ett i Uppland. Medelfelet är avtagande med ökande areal (Söderberg 2002).

Detta samband är även känt av SLU. I det metadata som följer med vid nedladdning av SLU Skogskarta skriver SLU om just denna osäkerhet att noggrannheten inte är bra i liten skala utan kartan bör användas för att analysera ytor på större skogsområden om minst några hundra hektar (SLU u.å.a).

Som tidigare nämnt finns det variation i resultat mellan studier men det är även variation i noggrannheten mellan de studerade skogliga variablerna. Variablerna ålder och total volym bedöms ha högre noggrannhet än variabeln volym per trädslag och skattningarna kan vara sämre i lövskogar än barrskogar (Reese et al. 2003). Detta förklarar även Söderberg (2002) som påvisat att trädslagen contortatall, björk och övrigt löv visar större fel än total volym. kNN metoden har dessutom påvisats medföra dragning mot mitten så att låga värden överskattas och höga värden underskattas (Reese et al. 2003; Söderberg 2002). Specifikt har skattningen av ålder en större dragning mot medelvärdet än volymskattningen enligt Söderberg (2002), ytterligare att gamla skogar och ovanliga trädslag vanligtvis blir underskattade (ibid).

Mycket av den svenska forskningen inom detta ämne är inspirerat av tidigare forskning från Finland. Mestadels av studierna inom ämnet är från omkring tidigt 2000-tal och för att få ett senare perspektiv måste sökningen ske utanför Norden. McNery et al. (2018) undersökte skogliga och skattade skogliga variabler på Irland utifrån satellitdata, riksskogstaxering samt kNN metoden. Resultatet blev ett genomsnittligt relativt RMSE på ungefär 52% för en större region av landet. En annan studie från Japan testade även om fler variabler, skogstyp, topografi och klimat kunde bidra till ett lägre relativt RMSE. Utan ytterligare variabler var relativt

RMSE mellan 55,2% och 75% på beståndsnivå, storleken på bestånd är ospecificerad, och betydligt högre på pixelnivå (Tanaka et al. 2015). Fler variabler minskade relativt RMSE med ungefär 10%. I samma studie styrks även tidigare påvisanden om att skattningar i lövskogar har lägre noggrannhet än barrskogar (ibid).

Fältmätt data

I denna studie kommer det fältmätta data från inventeringen att antas vara det riktiga värdet, sanning. Ståhl (1992) undersökte medelfelet vid olika fältmättningsmetoder varav de bland annat kom fram till att genomsnittligt medelfel för fältmätt data är; med hoftning 20%, subjektivt utvalda relaskopspunkter 14,1% och för subjektivt utvalda cirkelytor 15,1%. Lägre medelfel kan fås med en objektiv inventering. Då är det genomsnittliga medelfelet 7% (Ståhl 1992).

2. Material och metod

Denna studie är en empirisk fallstudie baserad på en komparativ ansats. Kvantitativ granskning och analys av dataset samt egna mätningar på plats har genomförts med fokus på jämförelse mellan de olika datakällorna SLU Skogskarta 2010, SLU Skogskarta-Trädslag, beståndsregister (Stora Enso Skog ABs beståndsregister i programvaran BESK) och fältmätt data. SLU Skogskarta 2010 samt SLU Skogskarta-Trädslag valdes för att de var de två senaste versionerna vilka hade skattade variabler för båda studieområdena. SLU Skogskarta 2015 täckte inte studieområdena.

Utifrån beståndsregistret och SLU Skogskarta 2010 samt SLU Skogskarta-Trädslag valdes bestånd ut att mätas. Provpunkter för fältmätning slumpades ut med avtagande antal provpunkter desto större areal på beståndet eftersom de antas vara homogena och skilja sig från omgivningen. Fältmätning utfördes i 14 bestånd av varierande storlek. I varje bestånd mättes trädslagsandelen med relaskop och noterades i fältblankett.

Dataanalysen gjordes i Excel och utgjordes av beräkning av RMSE, relativt RMSE och medelavvikelse för alla bestånd. För att visualisera resultatet skapades spridningsdiagram där överskattning och underskattning av trädslagsandelen kan avläsas mot en 1:1 linje.

Uppsatsens koppling till Stora Enso Skog AB

I denna uppsats har data tillhandahållits av Stora Enso Skog AB från deras beståndsregister ur programvaran BESK. Företaget har ej annat än initialt bidragit med idéer och data.

2.1 Undersökning av beståndsregister och SLU skogskarta

Stora Enso Skog AB tillhandahöll beståndsdata ur sitt beståndsregister, BESK, i form av vektorfiler med tillhörande beståndsinformation i attributdata. Data i BESK fylls i och uppdateras av personal som besökt bestånden vid inventering eller åtgärd⁸. Dessutom skrivs data fram årligen och när det kommer en ny version av skogliga grunddata används det för att uppdatera beståndsregistret⁹.

Vektorfilen innehållande data från ett urval av bestånd kallas hädanefter för BESK trots att det inte innehåller hela beståndsregistret. Kraven i deras utsök av

⁸ Erik Willén, Manager Precision Forestry, Stora Enso Skog AB, mejlkontakt 2025-29-04.

⁹ Erik Willén, Manager Precision Forestry, Stora Enso Skog AB, mejlkontkat 2025-01-04.

bestånd att tillhandahålla studien var att bestånden skulle innehålla contortatall som var äldre än 25 år samt utan åtgärd sedan 2009¹⁰. Detta för att inte trädslagsandelar ska ha påverkats av att en röjning eller gallring skett sedan satellitbilderna togs. Utöver detta data laddades SLU Skogskarta 2010 (SLU 2010) och SLU Skogskarta-Trädslag (SLU u.å.c) ner från SLU Skogsdatalabb. Lantmäteriets terrängkarta, vägkarta och fastighetskarta samt SLU markfuktighetskarta laddades ner från SLU Geodata Extraction Tool (GET). Alla geografiska data hanterades i programvaran QGIS version 3.22.12 ltr.

I QGIS undersöktes beståndsregistret och båda SLU Skogskarta. Då SLU Skogskarta består av ett rasterskikt per variabel användes för version 2010 total volym och volym contortatall och för SLU Skogskarta – Trädslag användes det färdiga rastret för contortaandel. Contortaandel för SLU Skogskarta 2010 beräknades genom att dela rastret volym contortatall med rastret total volym och ett nytt raster med andel contortatall erhöles.

För att kunna jämföra företagets beståndsregister mot SLU Skogskarta behövdes medelvärden för varje bestånd från båda SLU Skogskarta. Vektorfilen med beståndens polygoner användes för att välja ut vilka rasterceller (pixlar) i SLU Skogskarta som tillhörde varje bestånd och sedan beräknades det ett medelvärde på de rastercellerna som föll inom beståndsgränsen. För varje bestånd i BESK beräknades dessa variabler först utifrån SLU Skogskarta 2010 och sedan SLU Skogskarta-Trädslag. De beräknade variablerna samlades i en ny attributtabel tillsammans med beståndsdata från BESK. Detta förarbete användes sedan som beslutsunderlag vid val av bestånd samt till den slutgiltiga analysen.

2.2 Val av bestånd

Utifrån beståndskartan ur BESK samt SLU Skogskarta 2010 och SLU Skogskarta-Trädslag gjordes ett subjektivt urval av bestånd att besöka baserat på tillgänglighet för att kunna effektivisera fältarbetet. Först söktes bestånd ut som uppnådde dessa kriterier: i) de skulle finnas inom en kilometer från väg, ii) vägen skulle vara i Trafikverkets tillgänglighetsklass A, B eller C samt att iii) det skulle vara inom maximalt två timmars bilfärd från boende. Utifrån detta urval undersöktes beståndens storlek, ålder, andel contortatall och avstånd från varandra. Det slutgiltiga valet blev 14 bestånd uppdelade på ett studieområde vid Långå kraftstation i Härjedalens kommun och ett kring Fredriksberg i Ludvika kommun. Bestånden består av planterad skog mellan åldrarna 37–46 år och med contortaandel mellan 5% och 97% (Tabell 1). Alla bestånd var på fastigheter som ägs av Stora Enso Skog AB. Den totala ytan av alla bestånd var 257 hektar.

¹⁰ Erik Willén, Manager Precision Forestry, Stora Enso Skog AB, muntlig kommunikation 2025-03-19.

Tabell 1. Inventerade bestånd. Bestånd 1–8 kring Fredriksberg i Ludvika kommun. Bestånd 11–16 vid Långå kraftstation i Härjedalens kommun. Areal, ålder och trädslagsandel är från BESK.

Bestånd	Areal (ha)	Ålder	Andel <i>Pinus contorta</i> (%)
1	6,5	46	10
2	5,9	37	70
3	6,9	38	38
4	4,3	38	49
5	4,3	41	58
6	5,2	45	5
7	2,5	40	27
8	2,6	45	79
11	26,7	39	97
12	61,8	39	26
13	39,1	39	25
14	75,3	44	95
15	4,2	40	97
16	12	39	27
Medelvärde	18,36	40,7	52

2.3 Provyteutläggning

Provpunkter, det vill säga relaskopspunkter, slumpades ut i varje bestånd i QGIS. Antalet provvytor per bestånd bestämdes vara avtagande med ökande storlek på bestånden (Tabell 2) då de antas vara homogena och skilja sig från omgivningen. Vidare bestämdes det att provpunkterna skulle vara minst 25 meter ifrån varandra för att undvika överlappning av provvytor. Eftersom det var många bestånd i Härjedalen som var mer än 10 hektar och de flesta var över 15 hektar valdes just 15 provvytor i bestånd större än 10 hektar. Totalt slumpades det ut 123 provpunkter.

Tabell 2. Antal provvytor som slumpats ut i ett bestånd utifrån dess area.

Beståndsarea (ha)	Antal provvytor
< 1,5	3
< 2,5	4
< 4	5
< 7,5	6
≤ 10	9
> 10	15

2.4 Fältmätning

Inför fältarbetet förbereddes fältkarta i QGIS samt fältblankett i Excel att föra in data i. För att skapa fältkarta laddades ortofoto IRF ner från GET. Detta visar en falsk färgbild där NIR visas som rött, grönt visas som blått och rött visas som grönt. Med ortofoto, vägmått, fastighetskarta, bestånd och provvytor skapades kartor som exporterades till mobilappen Avenza. Till GPS positionering användes mobiltelefon. En fältblankett för resultathantering skapades i Microsoft Excel och exporterades till mobilappen för Excel.

120 av 123 provpunkter mättes i fält då 3 punkter vid Långå kraftstation inte kunde nås på grund av underlaget. På varje provpunkt gjordes det en mätning med relaskop och grundyta per trädslag noterades i Excel. Mätningen gjordes enligt Riksskogstaxeringens fältinstruktion (SLU 2024d). Varje gränsträd som precis fyllde relaskopets spalt räknades som halvt (ibid).

2.5 Databearbetning och analys

Utifrån det insamlade fältmätta data beräknades medelvärdet av grundytan för varje bestånd och trädslagsandel för varje bestånd i Excel. Sedan beräknades RMSE, relativt RMSE och det systematiska felet.

RMSE beräknades med formel 1 (Næsset 2007):

$$(1) RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{D_i^2}{n}}$$

där

n = antal bestånd

i = bestånd $i \in n$

$D_i = (a_i - b_i)$, differensen mellan skattat värde (a_i) och fältmätt värde (b_i). Skattat värde är medelvärdet i bestånd i från SLU Skogskarta beräknat i QGIS eller från BESK.

Vidare beräknades relativt RMSE med formel 2 (Persson 2021):

$$(2) \text{Relativt RMSE}(\%) = \left(\frac{RMSE}{\bar{u}} \right) \times 100$$

där

$\bar{u}$ = medelvärdet av det fältmätta värdet.

Sist beräknades medelavvikelsen (eng. mean deviation) med formel 3:

$$(3) \textit{Medelavvikelse} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}$$

Medelavvikelsen är ett mått på systematisk fel som i denna studie används för att beskriva hur mycket de olika datakällorna i genomsnitt under- eller överskattar andelen contortatall i bestånden jämfört med fältmätt.

Excel användes sedan för skapandet av tabeller och spridningsdiagram.

3. Resultat

Resultatet av studien gav RMSE från 46,7 till 58,9 procentenheter och relativt RMSE från 90% till 113%. Det varierade mellan de olika datakällorna (Tabell 3). Lägst RMSE hade BESK och både SLU Skogskarta 2010 och SLU Skogskarta-Trädslag hade betydligt högre.

Tabell 3. Resultatet av RMSE (procentenheter) och relativt RMSE (%). BESK är Stora Ensos beståndsregister, 2010 är SLU Skogskarta 2010 och Trädslag är SLU Skogskarta-Trädslag.

	BESK	2010	Trädslag
RMSE	46,7	58,9	55,4
RMSE (%)	90	113	106

Variationen i andel contortatall mellan de olika datakällorna kan ses i tabell 4 och tabell 5. Tabell fyra visar resultatet av andelen contortatall i bestånden och tabell fem visar differensen mellan BESK, SLU Skogskarta 2010, SLU Skogskarta-Trädslag och det fältnätta som anses vara det sanna värdet. Differensen varierar mellan 0,05 och 96,52 procentenheter. Störst underskattning (-91,95 procentenheter) gjorde SLU Skogskarta i bestånd 11 då SLU Skogskarta 2010 skattade 6,05% contortatall och fältnätt påvisade 98% contortatall. Störst överskattning (96,52 procentenheter) gjorde BESK i bestånd 15 då det enligt BESK skulle finnas 96,52% contortatall och fältnätningen påvisade 0% contortatall.

För medelvärdet av contortaandelen i alla bestånd var BESK närmast likt den fältnätta med 50,25% respektive 52,14% (Tabell 4). SLU Skogskarta 2010 skattade endast 5,98% contortatall i genomsnitt för alla bestånd och SLU Skogskarta-Trädslag lite mer, 10,29% (Tabell 4).

Medelavvikelsen följer samma mönster. BESK hade en medelavvikelse på -1,9 procentenheter, SLU Skogskarta 2010 hade -46,17 och SLU Skogskarta-Trädslag hade -41,86 (Tabell 5). Det innebär att i medel underskattar alla datakällor andelen contortatall i bestånden jämfört med fältnätt andel contortatall. SLU Skogskarta 2010 och SLU Skogskarta-Trädslag har en hög underskattning i medel då trädslagsandelar är i en skala från 0 till 100.

Tabell 4. Andel contortatall per bestånd från de olika datakällorna. Bestånd är nummer på beståndet, BESK är Stora Ensos beståndsregister, 2010 är SLU Skogskarta 2010, Trädslag är SLU Skogskarta-Trädslag och Fältnämnt är det data som samlades in i fält under studien. Sista raden visar medelvärdet för kolumnen.

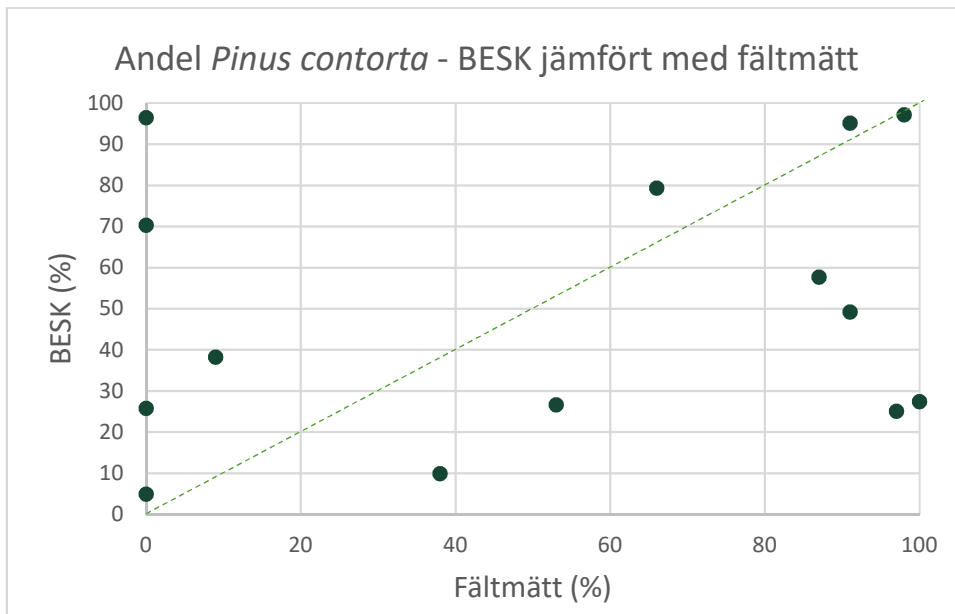
Bestånd	BESK (%)	2010 (%)	Trädslag (%)	Fältnämnt (%)
1	9,90	0,11	4,68	38
2	70,29	0,84	2,39	0
3	38,22	0,10	1,26	9
4	49,26	3,93	3,27	91
5	57,72	0,01	0,90	87
6	4,92	0,05	1,74	0
7	26,63	0,08	5,80	53
8	79,37	0,13	2,88	66
11	97,22	6,05	26,28	98
12	25,82	0,61	10,01	0
13	25,06	16,96	16,97	97
14	95,14	18,54	30,10	91
15	96,52	4,49	8,65	0
16	27,41	31,76	29,08	100
Medelvärde	50,25	5,98	10,29	52,14

Tabell 5. Differensen mellan skattat värde och fältnämnt värde (D_i) av trädslagsandelar i procentenheter för varje bestånd. Positiva värden innebär överskattning gentemot det fältnämnta värdet och negativa värden innebär underskattning gentemot det fältnämnta värdet. Bestånd är beståndsnummer, BESK är Stora Ensos beståndsregister, 2010 är SLU Skogskarta 2010 och Trädslag är SLU Skogskarta-Trädslag. Sista raden visar medelavvikelsen för kolumnen.

Bestånd	BESK	2010	Trädslag
1	-28,10	-37,89	-33,32
2	70,29	0,84	2,39
3	29,22	-8,90	-7,74
4	-41,74	-87,07	-87,73
5	-29,28	-86,99	-86,10
6	4,92	0,05	1,74
7	-26,37	-52,92	-47,20
8	13,37	-65,87	-63,12
11	-0,78	-91,95	-71,72
12	25,82	0,61	10,01
13	-71,94	-80,04	-80,03
14	4,14	-72,46	-60,90
15	96,52	4,49	8,65
16	-72,59	-68,2351	-70,9249
Medelavvikelse	-1,90	-46,17	-41,86

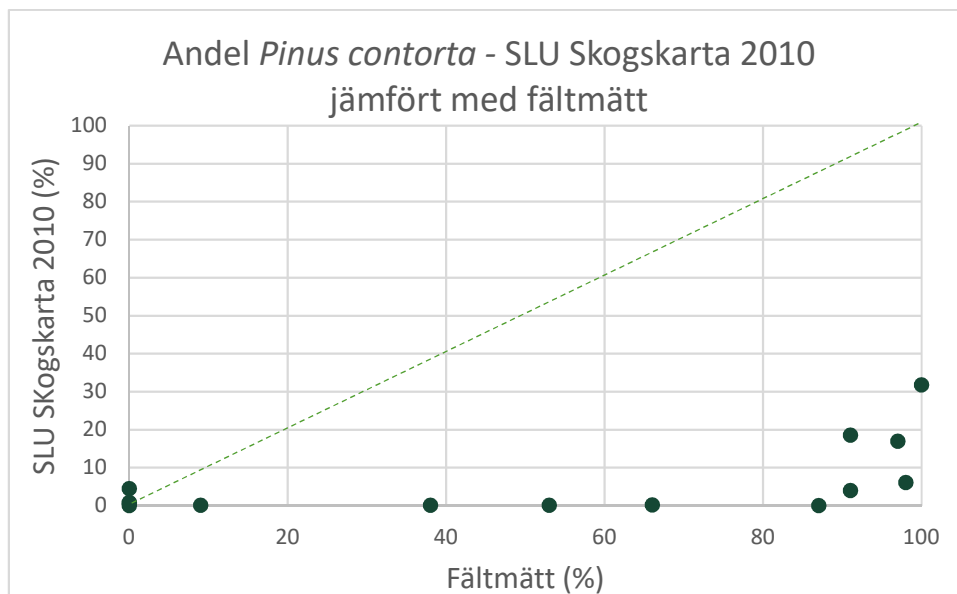
I följande spridningsdiagram representerar varje punkt ett bestånd. Den streckade linjen är en linje som visar 1:1 förhållandet. Alla punkter över linjen är överskattade värden jämfört med fältmätta värden och tvärtom underskattade värden återfinns under linjen.

I figur 4 visas spridningen i resultatet där contortaandelen från BESK jämförs med den fältmätta inventerade contortaandelen. BESK överskattar andelen contortatall i 7 bestånd och underskattar andelen contortatall i 6 bestånd. Endast en punkt infaller på 1:1 linjen då det är endast ett bestånd som BESK har lika trädslagsandel som fältmätt.



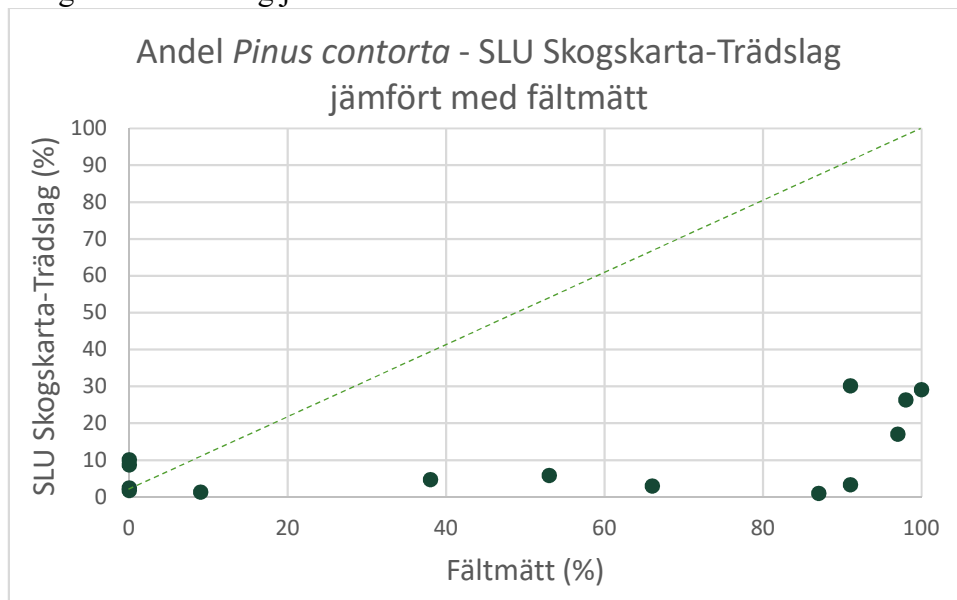
Figur 4. Andelen contortatall per bestånd från BESK mot andelen contortatall per bestånd från fältinventeringen. Varje punkt i diagrammet är ett bestånd. Den streckade linjen är en 1:1 linje där punkter ovanför linjen är överskattade värden och punkter under linjen är underskattade värden.

I figur 5 visas spridningen i resultatet där contortaandelen från SLU Skogskarta 2010 jämförs med den fältmätta inventerade contortaandelen. SLU Skogskarta 2010 underskattar andelen contortatall i 10 bestånd och överskattar något i ett bestånd. Tre bestånd är alla nära noll i både SLU Skogskarta och fältmätt.



Figur 5. Andelen contortatall per bestånd från SLU Skogskarta-2010 mot andelen contortatall per bestånd från fältinventeringen. Varje punkt i diagrammet är ett bestånd. Den streckade linjen är en 1:1 linje där punkter ovanför linjen är överskattade värden och punkter under linjen är underskattade värden.

I figur 6 visas spridningen i resultatet där contortaandelen från SLU Skogskarta-Trädslag jämförs med den fältmätta inventerade contortaandelen. SLU Skogskarta-Trädslag visar liknande resultat som SLU Skogskarta 2010. I 10 bestånd underskattas andelen contortatall, två överskattar och två är lika för SLU Skogskarta-Trädslag jämfört med fältmätt.



Figur 6. Andelen contortatall per bestånd från SLU Skogskarta-Trädslag mot andelen contortatall per bestånd från fältinventeringen. Varje punkt i diagrammet är ett bestånd. Den streckade linjen är en 1:1 linje där punkter ovanför linjen är överskattade värden och punkter under linjen är underskattade värden.

4. Diskussion

Resultat - RMSE

Resultatet av denna studie visar på högre medelfel än tidigare forskning. Studien som Tanaka et al. (2015) genomförde i Japan kom fram till relativt RMSE för beståndsvolym från 63% till 75% på beståndsnivå. På pixelnivå framförde Tomppo et al. (2008) relativt RMSE på upp till 80% för volymen. De flesta tidigare studier från Norden har visat lägre relativt RMSE från 5% (Tomppo et al. 2008) till 38,9% (Reese et al. 2003) på större respektive mindre arealer. Denna studie påvisade relativt RMSE mellan 90% och 113% för trädslagsandel contortatall på arealen 257 hektar vilket är något högre än det Tomppo et al. (2002) visar. Dock är det inte direkt jämförbart då det gäller olika stora arealer. Resultatet i denna studie är jämförbart med det från Tanaka et al. (2015) men visar betydligt högre medelfel.

Det bör poängteras att en viktig skillnad mellan denna studie och tidigare forskning är att andra studier har utvärderat skogliga variabler noggrannare men utan större betoning på specifika trädslag. Det finns några studier som har tydliggjort skillnaden mellan olika trädslag men då ej presenterat det som enskilda resultat utan endast nämnt det exempelvis Söderberg (2002), Reese et al. (2003) och Tomppo et al. (2008). Resultatet i denna studie kan därför resoneras vara sämre, i bemärkelsen högre medelfel, än tidigare forskning utifrån det som Söderberg (2002) förklarar. För det första att mindre vanligt förekommande skogstyper ger sämre skattningar med kNN metoden på grund av metodens utformning (ibid). För det andra att ovanliga trädslag, specifikt contortatall, björk och övrigt löv, vanligen underskattas med kNN metoden och för det tredje att kNN metoden skapar en dragning mot medelvärde i skattningen (Söderberg 2002).

Det kan finnas fler orsaker till de höga avvikelserna som denna studie visade. Dels att detta är en liten studie med få studieobjekt, dels är det endast två olika satellitbilder som utvärderats. I denna studie inventerades 14 bestånd på totalt 257 hektar skogsmark i två olika satellitbilder vilket är en liten studieomfattning. Variation mellan satellitbilder kan förekomma i skattningar med kNN metoden och då fångas inte hela variationen upp som finns bland satellitbilderna över landet med endast två olika satellitbilder. Tidigare studier har utvärderat noggrannheten i skattningarna på både större arealer men också på fler provytor. Fler provytor, större arealer och en större geografisk spridning medför att en större variation kan representeras i skattningarna vilket då i medel kan ge mindre medelfel. Det är just den större spridningen som denna studie saknar på grund av tidsbrist.

Även tidsskillnaden mellan SLU Skogskarta 2010, SLU Skogskarta-Trädslag och tidpunkten för inventeringen påverkar resultatet men i okänd grad. Trots att inga skogsbruksåtgärder har skett i bestånden har ändå biotiska och abiotiska förhållanden löpande orsakat mortalitet bland trädslagen i bestånden. Därav kan

noggrannheten i skattningarna ha varit bättre när de gjordes jämfört med det fältmätta resultatet som inhämtats nu men det går inte att utreda med denna studie.

Resultat - Medelavvikelsen

För att beskriva hur frekvent de olika datakällorna under- eller överskattar det fältmätta värdet kan medelavvikelsen tillämpas. Medelavvikelsen för SLU Skogskarta 2010 och SLU Skogskarta-Trädslag antyder att det finns en systematisk underskattning. Om detta jämförs med medelavvikelsen för BESK antyder denna medelavvikelse ej på ett systematiskt fel, dock har BESK ändå väldigt högt RMSE och relativt RMSE vilket indikerar att felen är stora men ej systematiska, följaktligen helt slumpmässiga.

Underskattningarna som sker i SLU Skogskarta 2010 och SLU Skogskarta-Trädslag skapas framförallt av kNN metodens dragning mot medelvärde. Med dragningen mot medelvärde medföljer en dålig skattning av extremer. I detta fall när de värden som utvärderas är trädslagsandelar i procentenheter befinner sig skattningarna på en skala från 0%-100% där 0% och 100% blir de olika extremerna. I de bestånd där det inte finns contortatall, 0%, kommer SLU Skogskarta därför troligtvis ändå påvisa att det finns contortatall. Tvärtom i de bestånd där andelen contortatall är 100% kommer SLU Skogskarta troligtvis att påvisa mindre än 100%. Alltså kommer aldrig bestånd med ingen eller endast contortatall vara helt korrekt skattade.

Det skulle kunna antas att bättre upplösning ger ett bättre och noggrannare skattning men det är inget som tydligt påvisas i denna studie. SLU Skogskarta 2010, som tidigare beskrivits, har en upplösning på 25×25 meter och SLU Skogskarta-Trädslag har en högre upplösning på 12,5×12,5 meter. Relativt RMSE skiljer sig endast med 7 procentenheter mellan dessa där SLU Skogskarta-Trädslag är den med något högre noggrannhet. Detta kan grunda sig i den högre upplösningen men det kan även bero på andra orsaker. Det går inte heller att avläsa en tydlig skillnad mellan SLU Skogskarta 2010 och SLU Skogskarta-Trädslag som indikerar mot att den ena har noggrannare skattningar än den andra. Det går att svagt antyda att SLU Skogskarta-Trädslag skattar högre andel contortatall än SLU Skogskarta 2010 i bestånd med högre andel fältmätt contortatall. Däremot överskattar SLU Skogskarta-Trädslag andelen contortatall i fler bestånd än SLU Skogskarta 2010 vilket gör att det ändå blir lägre noggrannhet. Därav går det inte i denna studie att bevisa att den ena kartprodukten är tydligt bättre än den andra.

Metoddiskussion

Utöver det som resonerats kring SLU Skogskarta och kNN metoden finns även den mänskliga faktorn som påverkar resultatet. Trots att en objektiv metod användes finns ändå risken att felmätning skett. Felmätning i detta fall har påverkats mest av antalet gränsträd per provpunkt då de ej kontrollerades utan räknades som halvt. Risken är då att för många eller för få gränsträd inräknats. En objektiv metod valdes för inventeringen då det är den fältnättningsmetod som ska ge minst fel enligt Ståhl (1992). Som studien kom fram till är det relativa medelfelet vid mätning med en objektiv metod 7%. Ståhl (1992) förklarar att detta fel bör räknas med i resultatet men det gjordes ej i denna studie.

Även provyteutläggningen har påverkat resultatet i denna studie då det påverkar vilket stickprov av data som blivit insamlat. Eftersom provytorna slumpades ut med det enda kravet att de skulle vara minst 25 meter från varandra hamnade provpunkterna i flera bestånd aggregerat och i vissa bestånd saknade delar av bestånden helt provpunkter. Det hade istället varit en möjlighet att slumpa ut den första provpunkten för att sedan därifrån skapa ett rutnät av provpunkter i ett bestämt förband. Det kanske hade kunnat fånga variationen i ett bestånd mer än den metod som använts.

Svar på frågeställning, syfte och hypotes

Frågeställningarna har besvarats flera gånger tidigare i uppsatsen med att skillnaden mellan de tre datakällorna (BESK, SLU Skogskarta 2010, SLU Skogskarta-Trädslag) och fältnätta värden är stor vilket ger höga RMSE och relativt RMSE. Syftet som undersöktes i denna studie frågade om det går att använda SLU Skogskarta 2010, SLU Skogskarta-Trädslag på beståndsnivå. Det är sällan som SLU Skogskarta visar lika andel contortatall på beståndsnivå som fältnät visar. SLU Skogskarta 2010 och fältnät har lika trädslagsandel i tre bestånd och SLU Skogskarta-Trädslag i 2 bestånd. Samtliga ligger nära 0% contortaandel och SLU Skogskarta har då inte högt överskattat trädslagsandelen i dem. Resultatet visar på att felen på beståndsnivå är mycket höga förutom när det är liten andel contortatall. Medelavvikelsen, RMSE och relativt RMSE för SLU Skogskarta 2010 och SLU Skogskarta-Trädslag visar dessutom att avvikelserna är höga på beståndsnivå sett till alla bestånd.

Syftet med uppsatsen var att undersöka hur exakt SLU:s skogskarta kan skatta trädslagsandelen *Pinus contorta* på beståndsnivå för att möjligtvis kunna använda data från SLU:s skogskarta till att uppdatera beståndsregister med. Baserat på resultatet går det att dra slutsatsen att hypotesen styrktes och därav kan inte SLU Skogskarta 2010 och SLU Skogskarta-Trädslag användas för att uppdatera företagets beståndsregister. Felen blev större än gränsen på +/- 10%. Då kartprodukterna inte visade sig ha goda skattningar av trädslagsandel för contortatallen är det svårt att använda kartprodukterna rakt av. Dock visade

resultatet att de endast vid låga värden överskattar trädslagsandelen, och då endast lite, vilket gör att kartprodukterna skulle kunna användas till att indikera var det kan finnas mycket contortatall. Denna indikation kan då nyttjas till att söka ut var det sannolikt finns contortatall och vidare inventering bör ske.

Problemet som beskrevs i början av denna uppsats, om att markägare behöver ha kontroll på sin contortatall och även självspidningen av den, kan inte lösas med kartprodukterna från SLU Skogskarta 2010 och SLU Skogskarta-Trädslag. Något som hade varit väldigt användbart vore att skapa en kartprodukt för contortatall som är mer noggrann än SLU Skogskarta vilket den nya NMD har möjlighet att bli. Att i framtiden utveckla en fjärranalysmetod som kan känna igen och identifiera en contortatall jämfört med en svensk tall skulle kunna användas för att skapa nya kartprodukter som både kan visa contortatall på större arealer men också på beståndsnivå och möjligen även på individnivå. Om detta vore möjligt, att på individnivå detektera contortatall, möjliggör för ett verktyg som kan indikera på självspidning av contortatallen vilket skulle effektivisera markägares arbete och bidra till att lättare kunna uppfylla kraven för certifieringarna.

5. Slutsatser

Första slutsatsen av denna studie är att SLU Skogskarta 2010 och SLU Skogskarta-Trädslag är två kartprodukter som har låg noggrannhet i skattningarna av andelen *Pinus contorta*. Kartprodukterna verkar systematiskt underskatta andelen contortatall vilket då ger en falsk uppfattning av verkligheten i kartorna som användaren bör vara medveten om. Därtill överskattas låga andelar av contortatall.

Den andra slutsatsen är att beståndsregistret (BESK) skiljer sig mycket från hur det ser ut i verkligheten och skillnaden verkar uppstått slumpmässigt. BESK varken systematisk underskattar eller överskattar andel contortatall jämfört med det som mätts i fält.

Resultatet i studien stödjer hypotesen, att SLU Skogskarta inte är tillräckligt noggrann för att användas till att uppdatera skogsföretagens beståndsregister, men visar ändå på hur kartprodukterna kan bidra med en annan funktion. Det är möjligt att använda SLU Skogskarta 2010 och SLU Skogskarta-Trädslag som en indikator för var det kan finnas högre andelar contortatall. Kartprodukterna kan därav användas för att hjälpa till att lokalisera var vidare inventering bör ske.

Referenser

- Bergqvist, J., Fries, C., Gällerspång, J., Reisek, J., Ringagård, J., Sollander, E., Svensson, L., Wågström, K. (2018). *Föreskrifter för anläggning av skog: Regeringsuppdrag*. (2018/13). Skogsstyrelsen. <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/om-oss/rapporter/rapporter-20222021202020192018/rapport-201813-foreskrifter-for-anlaggning-av-skog.pdf> [22-04-2025]
- Engelmark, O. (2011). Contortatall i Sverige – ett storskaligt ekologiskt experiment. *Fakta skog – Rön från Sveriges Lantbruksuniversitet*, 2011(9)
- FSC (2020). *FSC-standard för skogsbruk i Sverige* (SWE-03-2019). Forest stewardship council.
- Harrie, L. (2022). *Geografisk informationsbehandling: Teori, metoder och tillämpningar*. Upplaga 7:3, Studentlitteratur.
- Karlsson, A. (1997). *En studie av tre inventeringsmetoder i slutavverkningsbestånd*. Institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik, Sveriges Lantbruksuniversitet. Jägmästarprogrammet. https://stud.epsilon.slu.se/4465/1/karlsson_a_120413.pdf
- McInerney, D., Barrett, F., McRoberts, R.E., Tomppo, E. (2018). Enhancing the Irish NFI using k-nearest neighbors and a genetic algorithm. *Canadian Journal of Forest Research*. 48(12), 1482-1494. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0011>
- Nilsson, M., Granqvist Pahlén, T., Egberth, M., Hagner, O., Olsson, H. (2004). kNN-Sverige: Aktuella kartdata över skogsmarken. *Fakta skog – Sammanfattar aktuell forskning*, 2004(12)
- Nilsson, M., Nordkvist, K., Jonzén, J., Lindgren, N., Axensten, P., Wallerman, J., Egberth, M., Larsson, S., Nilsson, L., Eriksson, J., Olsson, H. (2016). A nationwide forest attribute map of Sweden predicted using airborne laser scanning data and field data from the National Forest Inventory. *Remote Sensing of Environment*. 2017(194), 447–454. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.10.022>
- Næsset, E. (2007). Airborne laser scanning as a method in operational forest inventory: Status of accuracy assessments accomplished in Scandinavia. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 22(5), 433-442. <https://doi.org/10.1080/02827580701672147>
- Olsson, H. (2015). *Forestry remote sensing in Sweden*. 35th EARSeL Symposium, Stockholm, June 15-18.
- PEFC (2024). *Skogsbruksstandard* (SWE 002:5). Programme for endorsement of forest conservation
- Persson, H. (2021). *Laserskanningsdatas noggrannhet i contortaskog en jämförelse mellan fältdata, Laserdata Skog och Laserdata NH*. Linnéuniversitetet. Institutionen för Skog och träteknik, Skogskandidatprogrammet. <https://lnu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1570413/FULLTEXT01.pdf>

- Reese, H., Nilsson, M., Granqvist Pahlén, T., Hagner, O., Joyce, S., Tingelöf, U., Egberth, M., Olsson, H. (2003). Countrywide Estimates of Forest Variables Using Satellite Data and Field Data from the National Forest Inventory. *Remote Sensing for the Environment*. 32(8), 542-548. <https://www.jstor.org/stable/4315438>
- Skogsstyrelsen. (u.å). *Statistik om frivilliga avsättningar och certifierad areal*. <https://www.skogsstyrelsen.se/statistik/skyddad-skog/frivilliga-avsattningar-och-certifiering/> [22-04-2025]
- SKSFS 2011:7. *Skogsstyrelsens föreskrifter och allmänna råd till Skogsvårdslagen*. Skogsstyrelsen.
- SLU. (u.å.a). *kNN-Sverige - Aktuella kartdata över skogsmarken, årgång 2005 och 2010*. Institutionen för skoglig resurshushållning. http://193.10.102.93:5000/fsdownload/PPqHZo3fk/Skogsdatalab_free [22-04-2025]
- SLU. (u.å.b). *SLU Skogskarta – trädslag* http://193.10.102.93:5000/fsdownload/PPqHZo3fk/Skogsdatalab_free [22-04-2025]
- SLU (u.å.c). *SLU_Forest_Map:Tradslag*. Skogsdatalabb. http://193.10.102.93:5000/fsdownload/PPqHZo3fk/Skogsdatalab_free [01-04-2025]
- SLU (2010). *SLU_Forest_Map:2010*. Skogsdatalabb. http://193.10.102.93:5000/fsdownload/PPqHZo3fk/Skogsdatalab_free [01-04-2025]
- SLU (2021). *Produktbeskrivning: SLU Skogskarta 2015 – skogliga skattningar från stereomatchade flygbilder och Sentinel-2*. Dokumentversion 1:2. Sveriges Lantbruksuniversitet. http://193.10.102.93:5000/fsdownload/PPqHZo3fk/Skogsdatalab_free
- SLU. (2024a). *SLU Skogskarta*. <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/riksskogstaxeringen/statistik-om-skog/slu-skogskarta/> [22-04-2025]
- SLU. (2024b). *Kort fakta om SLU Skogskarta*. <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/riksskogstaxeringen/statistik-om-skog/slu-skogskarta/fakta/> [22-04-2025]
- SLU. (2024c). *Om SLU Skogskarta*. <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/riksskogstaxeringen/statistik-om-skog/slu-skogskarta/om-slu-skogskarta/> [22-04-2025]
- SLU. (2024d). *Fältinstruktion 2024: Riksinventeringen av skog*. Institutionen för skoglig resurshushållning, Institutionen för mark och miljö, SLU. https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/faltinst/ris_fin_24.pdf
- SLU. (2024e). *Skogsdata 2024: Aktuella uppgifter om de svenska skogarna från SLU Riksskogstaxeringen – Tema: Arter*. (Upplaga 450). Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU. https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/skogsdata/skogsdata_2024_web.pdf

- StoraEnso. (2022). *Stora Ensos markinnehav samt sammanfattning av ekologisk landskapsplanering*. <https://forest.storaenso.com/-/media/sub-sites/forest/documents/certification-docs/sammanfattning-av-ekologisk-landskapsplan2022.pdf> [2025-05-23]
- StoraEnso. (u.å.). *Certifiering och miljöledning*. <https://forest.storaenso.com/sv-se/hallbarhet-i-skogen/certifiering-och-miljoledning> [2025-05-15]
- Ståhl, G. (1992). *En studie av kvalitet i skogliga avdelningsdata som insamlats med subjektiva inventeringsmetoder*. (24). Avdelningen för skogsuppskattning och skogsindelning, SLU.
- Söderberg, P. (2002). *Satellitbildsbaserade skattningar av skogliga variabler*. (11). Skogsstyrelsen. <https://shop.skogsstyrelsen.se/sv/publikationer/rapporter/satellitbildsbaserade-skattningar-av-skogliga-variabler-rapport.html> [22-04-2025]
- Tanaka, S., Takahashi, T., Nishizono, T., Kitahara, F., Saito, H., Iehara, T., Kodani, E., and Awaya, Y. (2015). Stand volume estimation using the k-NN technique combined with forest inventory data, satellite image data and additional feature variables. *Remote Sensing*. 7(1), 378–394. <https://doi.org/10.3390/rs70100378> .
- Tomppo, E., Olsson, H., Ståhl, G., Nilsson, M., Hagner, O., Katila, M. (2008). Combining national forest inventory field plots and remote sensing data for forest databases. *Remote Sensing of Environment*. 2008(112), 1982–1999. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.03.032>

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU kan publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver i sådana fall godkänna publiceringen. I samband med att du godkänner publicering kommer SLU även att behandla dina personuppgifter (namn) för att göra arbetet sökbart på internet. Du kan närsomhelst återkalla ditt godkännande genom att kontakta biblioteket.

Även om du väljer att inte publicera arbetet eller återkallar ditt godkännande så kommer det arkiveras digitalt enligt arkivlagstiftningen.

Du hittar länkar till SLU:s publiceringsavtal och SLU:s behandling av personuppgifter och dina rättigheter på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>

☒ JA, jag, Maja Hammarström Gjervaldsaeter har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta