CONIFER VISION

Noggrannhet i AI-baserad träddetektering hos röjningsbestånd

Skellefteå, 30 mars. Författare: Roger Öhlund, grundare och CMO

Sammanfattning

Detta white paper presenterar valideringsresultat för Conifer Visions AI-baserade system för träddetektering i röjskogsbestånd i norra Sverige. Systemet uppvisade stark prediktiv prestanda över 166 RTK-positionerade provytor fördelade på 16 områden i Norrbottens och Västerbottens län: medelhöjdsprediktioner uppnådde en korrelation på r ≈ 0,96 med fältmätningar, med en genomsnittlig bias på −3% och ett medelabsolutfel på ca 13%. Stamtäthetsestimat visade en korrelation på r ≈ 0,93, med en genomsnittlig bias på −4,7% och ett medelabsolutfel på ca 14%. Resultaten indikerar att fjärranalysbaserad träddetektering kan leverera operativt tillförlitlig höjd- och täthetsinformation för röjningsplanering, men att ytterligare modellträning rekommenderas för att förbättra noggrannheten i de tätaste beståndsklasserna (>30 000 stammar/ha).

Utöver den statistiska prestandan visar resultaten att unga, täta bestånd kan kartläggas heltäckande med tillräcklig noggrannhet för att stödja verkliga operativa beslut. Skogsförvaltare kan gå från gles information baserad på ett fåtal provytor till komplett, georefererad täckning av höjd och stamantal. Det möjliggör bättre prioritering av vilka bestånd som ska åtgärdas först, hur hårt de ska röjas samt var risken är störst för under- eller överröjning. Metoden passar in i befintliga planeringsflöden och kan upprepas över tusentals hektar utan en proportionell ökning av fältarbetet, vilket gör trädnivå-detektering till ett skalbart operativt verktyg snarare än en forskningsprototyp.

Summering

Metric	Height	Stem density
Correlation vs. field	0.96	0.93
Average bias	- 3%	- 4.7%
Mean absolute error (MAE)	~13%	~14%
Maximum tested density	–	~37 000 stems/ha
RTK-positioned plots	166	166
Number of geographical areas	16	16

© 2026 Conifer Vision

Problembeskrivning

Bestånd som är aktuella för röjning representerar en av de mest utmanande miljöerna för automatiserad träddetektering. Stamtätheter överstiger ofta 20 000 – 30 000 träd per hektar, med individuella kronor som mäter mindre än en meter i diameter och ofta smälter samman till kontinuerliga krontak. Detta skapar kraftig ocklusion i både bilddata och punktmolnsdata, vilket gör tillförlitlig avgränsning av enskilda träd fundamentalt svår. Spektral information från RGB-sensorer ger begränsad diskriminering mellan tätt stående individer, medan punktmoln har svårt att lösa upp vertikal struktur när hundratals små kronor upptar överlappande horisontellt utrymme.

Traditionella fältbaserade inventeringsmetoder uppnår hög lokal noggrannhet men möter betydande operativa begränsningar. Manuella mätningar i täta ungbestånd är fysiskt krävande och tidskrävande, och omfattande täckning kräver ofta flera timmar per hektar. Provytor är nödvändigtvis små, typiskt 25 till 50 m^2, vilket begränsar deras förmåga att fånga rumslig variation inom heterogena bestånd. Subjektivitet vid gränsfall för trädinkludering och kronklassificering introducerar mätvariabilitet, medan de höga kostnaderna för fältarbete begränsar frekvensen och omfattningen av bedömningar. Skogsförvaltare fattar följaktligen kritiska röjningsbeslut baserade på gles, föråldrad eller rumsligt begränsad information.

Individdetektering och modellgeneralisering i röjningsbestånd ställer utmaningar bortom standardskogsinventering. Träningsdata måste spänna över extrem strukturell variation, från enhetliga planterade bestånd till flerskiktad naturlig föryngring, över olika artsammansättningar, växtplatsförhållanden och utvecklingsstadier. Modeller tränade på skötta bestånd i en region misslyckas ofta när de tillämpas på strukturellt komplexa skogar på annat håll, eftersom rumsliga mönster och kronegenskaper skiljer sig fundamentalt. Robust generalisering kräver stora annoterade dataset som fångar denna variation, samt arkitekturer som kan hantera kraftiga skillnader i skala inom enskilda bestånd och särskilja verkliga stammar från brus i överlappande kronförhållanden.

Operativ implementering kräver mer än hög modellnoggrannhet. Systematisk bias är mindre viktigt än konsistens: en modell med 10% underskattning över alla täthetsklasser kan vara operativt användbar, medan en med bättre genomsnittlig noggrannhet men varierande bias inte är det. Georeferering måste vara tillräckligt tillförlitlig för mekaniserad röjningsutrustning, datainsamling måste vara kostnadseffektiv i skala, och outputen måste integreras i befintliga planeringsarbetsflöden. Utmaningen är att leverera inte bara korrekta detekteringar, utan ett komplett system som skogsbrukare kan lita på, verifiera och använda för att fatta bättre röjningsbeslut över tusentals hektar.

© 2026 Conifer Vision

Syfte

Detta white paper utvärderar AI-baserad träddetekteringsnoggrannhet i röjningsbestånd med Conifer Visions lösning i norra Sverige. Fokus ligger på unga täta skogar där tillförlitliga stamtäthetsestimat är avgörande för planering av tidiga skogsskötselåtgärder.

Operativ påverkan

Resultaten från Conifer Visions system levereras som högupplösta stratifierade kartor över stamantal och medelhöjd för varje bestånd. I praktiken använder planerare och entreprenörer dessa kartor för att:

- välja vilka bestånd som bör prioriteras för röjning i kommande planeringsperiod
- identifiera nettoareal för röjning
- sätta realistiska måltätheter och förväntat uttag baserat på faktiska utgångsförhållanden
- optimera arbetslagens ruttplanering mot de bestånd där åtgärden ger störst silvikulturell och ekonomisk effekt

I stället för att extrapolera från ett fåtal små provytor får användarna konsekvent, heltäckande beståndsinformation som kan importeras direkt till befintliga GIS- och planeringsverktyg. Detta kortar tiden mellan datainsamling och åtgärd och minskar risken för felprioriteringar som beror på ofullständiga eller inaktuella fältdata.

Figur 1. Kartan från Conifer online visar den rumsliga variationen i förväntad röjningskostnad inom och mellan bestånd, vilket gör det möjligt för planerare att rikta insatserna.

Studieområden och fältdata

Studien omfattar RTK-positionerade cirkulära provytor med en radie på 2,82 eller 3,99 m, vilka utgör referensdata för stamantal och medelhöjd. Totalt mättes 166 provytor, varav 124 provytor fördelade över 7 områden i Norrbottens län och 42 provytor fördelade över 9 områden i Västerbottens län. Samtliga provytor representerar röjnings-/förstagallringsliknande förhållanden med höga stamantal, normalt mellan cirka 9 000 och 37 000 stammar per hektar.

Referensdata bygger på små, RTK-positionerade cirkulära provytor, vilket ger hög positionsnoggrannhet men relativt liten total areell täckning. Inom varje provyta baseras trädmätningar och klassningar på manuell, fältbaserad tolkning, vilket innebär en viss grad av subjektivitet, till exempel vid gränsfall för trädinkludering och kronavgränsning. De statistiska jämförelserna i denna studie vilar därför på antagandet att dessa provytor är representativa för de omgivande bestånden och att fältmätningarna, även om de är mycket detaljerade, inte är helt fria från mät- och observatörsfel.

Metod

Conifer samlade in drönardata över samtliga testområden med en högupplöst RGB-kamera på 70 m höjd för att fånga tät överlappning lämplig för fotogrammetrisk bearbetning. Bildmaterialet bearbetades med structure-from-motion och dense matching-arbetsflöden för att generera detaljerade 3D-punktmoln och ortofoton av röjningsbestånden. Punktmolnen rektifierades med RTK-mätt markmodell och avancerad datafusion, vilket säkerställer konsekvent georeferering och korrekt höjdrepresentation på samtliga lokaler.

Därefter tillämpades en pipeline som kombinerar information från både ortofotot och 3D-punktmolnet. Matematisk bearbetning och dedikerade AI-modeller, specialiserade på bildanalys respektive punktmolnsanalys, användes tillsammans för att identifiera enskilda träd, estimera deras höjd, kvantifiera stamtäthet och bestämma trädslag. Genom att utnyttja komplementära dataaspekter från kronskikt och spektral information producerar systemet konsekventa trädnivåtolkningar lämpliga för operativt beslutsfattande i röjning.

AI-modellerna tränades på ett stort, annoterat dataset med mer än 220 000 st individuella röjningsobjekt, som spänner över ett brett spektrum av beståndstrukturer, artsammansättningar och sensorförhållanden. Denna omfattande träningsbas är uppbyggd med Conifers automatiserade träningsalgoritm och stöder robust generalisering av kronavgränsning, höjdestimering och stamtäthetsprediktering i både de välskötta Norrbottenbestånden och de mer skiktade Västerbottensbestånden.

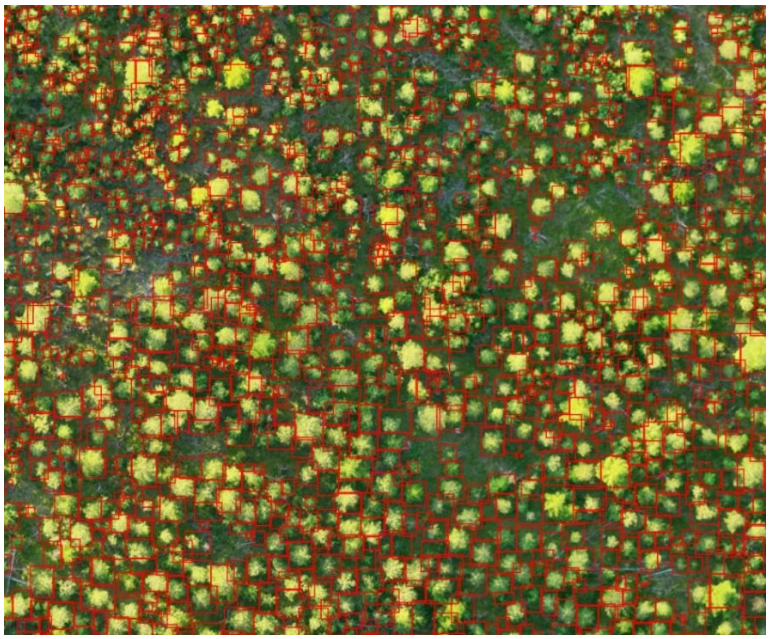
Robusthet och systemegenskaper

Till skillnad från angreppssätt som främst bygger på generaliserade höjdmodeller eller rutnätsbaserade täthetsmått är Conifers analys utformad för att detektera enskilda träd även i mycket täta bestånd. Analysen kombinerar högupplösta fotogrammetriska punktmoln med specialiserad kronsegmentering och filtrering mot RTK-korrigerade markmodeller, vilket stabiliserar både höjd- och stamantalsskattningar när angränsande kronor flyter samman.

Systemet har tränats och validerats på bestånd med kraftigt varierande struktur – från relativt homogena planteringar till flerskiktad naturlig föryngring. Som en följd betonar systemet konsekvens mellan lokaler minst lika mycket som medelnoggrannhet: när bias uppstår tenderar den att vara systematisk snarare än slumpmässig, vilket gör den enklare att hantera operativt. Detta gör det möjligt för användare att lita på relativa skillnader mellan bestånd och områden, även när den lokala beståndsstrukturen avviker från träningsdata.

Conifers metod för AI-baserad fjärranalys

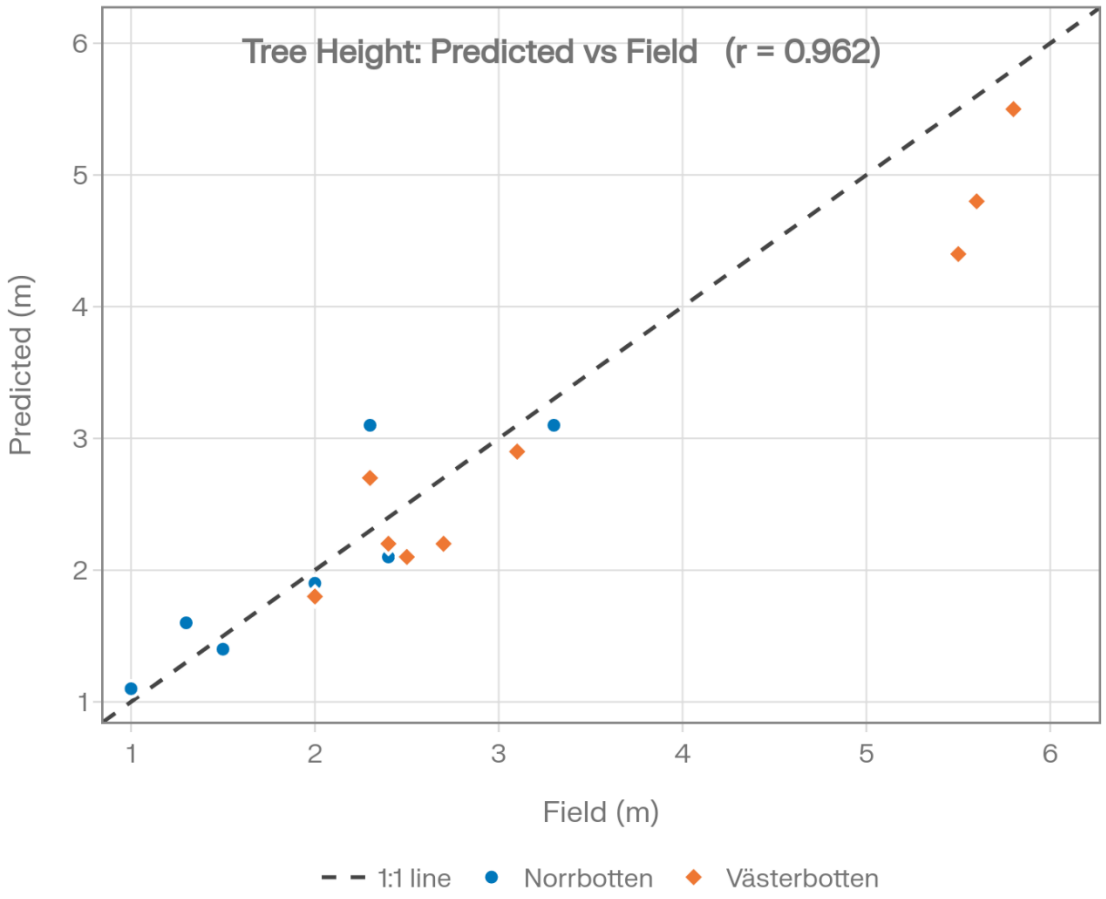
Conifers metod för AI-baserad fjärranalysanalys producerade oberoende estimat av medelhöjd och stamtäthet för varje testområde baserat på högupplösta fjärranalysdata. För vart och ett av de 16 aggregerade områdena (7 i Norrbotten och 9 i Västerbotten) jämfördes fältmätt medelhöjd och stamtäthet med Conifers resultat för att kvantifiera systematisk bias och variabilitet. Upplägget möjliggör utvärdering av prestanda längs en beståndsutvecklingsgradient från ca 1 m till nästan 6 m i medelhöjd.



Figur 2. Detekterade stammar överlagrade på ett ortofoto i ett heterogent bestånd. Systemet bibehåller konsekvent träddetektering både i mycket täta partier och i glesare kanter, vilket stödjer finplanering av röjskogsåtgärder.

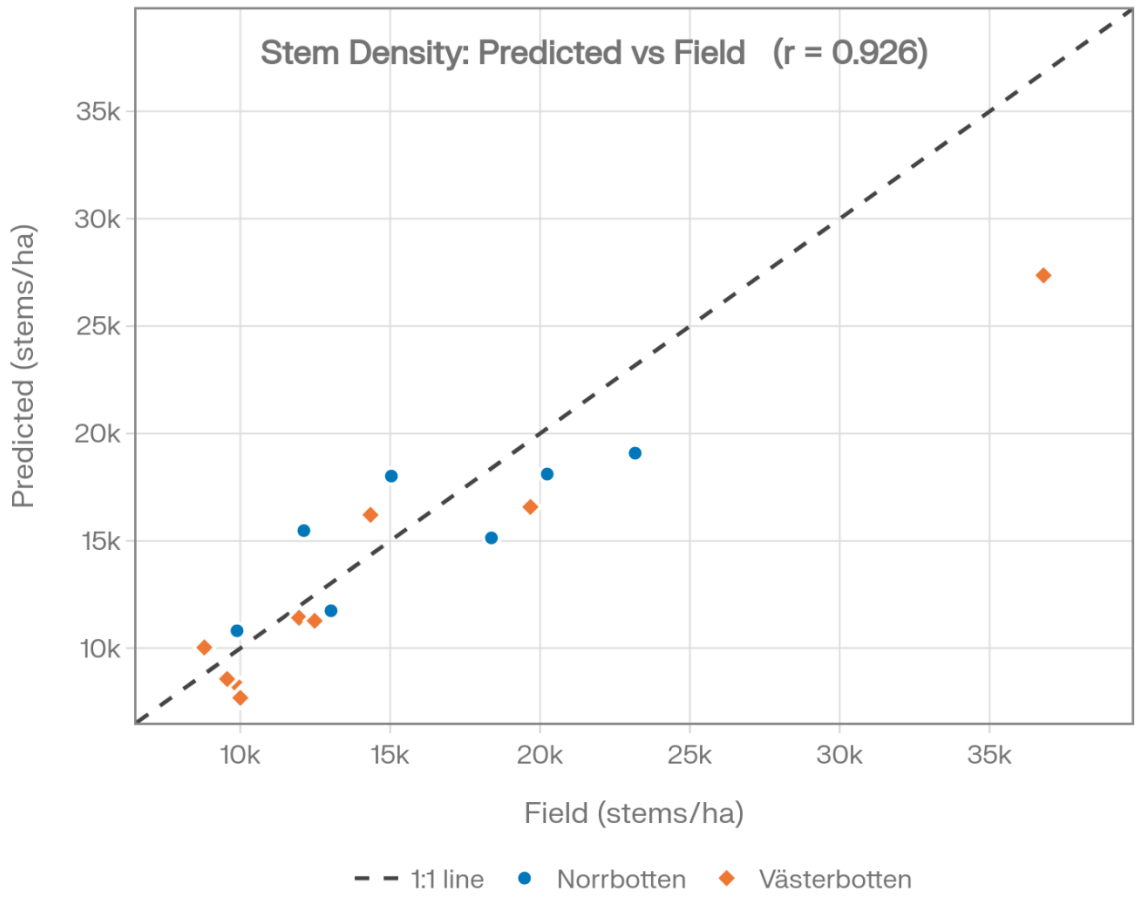
Höjd- och täthetsprestanda

Över samtliga områden återgav Conifers analys beståndsmedelhöjden med små absoluta avvikelser, vanligtvis inom några få tiondels meter från fältmätningarna. Korrelationskoefficienten mellan fältmätt och predikterad medelhöjd var mycket hög ($r \approx 0{,}96$), vilket visar att metoden väl följer höjdgradienten mellan områdena. I genomsnitt underskattades medelhöjden med ungefär 3%, med ett medelfel i absoluta tal på cirka 13% av den fältmätta höjden. En del av denna systematiska underskattning av höjd kan förklaras av tidpunkten: fältmätningarna samlades i flera fall in efter drönarflygningarna, vilket innebär att en växtsäsongs höjdtillväxt bidrar till den observerade biasen.



För stamtäthet följde Conifers estimat de fältmätta mönstren nära, med både över- och underskattning beroende på beståndstruktur och region. Korrelationen mellan fältmätt och predikterad stamtäthet var ca 0,93, och den genomsnittliga täthetsbiasen var modest på ca −4,7%, vilket innebär att predikterade tätheter i genomsnitt var något lägre än fältmätningarna. Det genomsnittliga absoluta täthetsfelet motsvarade

ca 14% av den fältmätta tätheten över beståndsintervallet, ett mycket starkt resultat givet de utmanande förhållandena, och ett som demonstrerar systemets förmåga till individuell trädnivådetektering i stor skala i unga täta skogar.



Regionala mönster och implikationer

Norrbottenområdena täcker större totala arealer och ett bredare täthetsspann än Västerbottenområdena, vilket ger ett robust prestationstest i mycket täta tidiga röjningsförhållanden.

Västerbottenområdena var mindre välskötta och innehöll mer skiktade skogar, med flerskiktade strukturer och ojämn fördelning, vilket illustrerar hur metoden fungerar i strukturellt komplexa unga bestånd. Sammantaget indikerar resultaten att fjärranalysbaserad träddetektering kan leverera operativt användbar höjd- och täthetsinformation för röjning, men att ytterligare träning för mycket täta unga bestånd är viktig för att minska underskattning av stamantal i de tätaste beståndsklasserna.

© 2026 Conifer Vision

Slutsats

Valideringsresultaten bekräftar att Conifers metod med AI-baserad fjärranalys med drönare levererar noggrann, individuell trädnivådetektering i röjningsbestånd under krävande boreala skogsförhållanden. De höga korrelationerna för både höjd ($r \approx 0,96$) och stamtäthet ($r \approx 0,93$), kombinerat med låg systematisk bias, visar att lösningen ger ett genomförbart och skalbart alternativ till manuell fältinventering i unga täta skogar. Prestandan var konsekvent i både välskötta Norrbottenbestånd och de strukturellt mer komplexa, skiktade skogarna i Västerbotten, vilket understryker metodens robusthet under varierande skogsskötselförhållanden. Fortsatt utökning av träningsdatasetet, med tonvikt på extremt täta bestånd överstigande 30 000 stammar/ha, är den mest direkta vägen till att täppa till det kvarstående noggrannhetsgapet.

Sammantaget visar resultaten att AI-baserad träddetektering i röjskogsbestånd inte bara är tekniskt möjlig, utan tillräckligt mogen för att användas som ett återkommande beslutsstöd. De observerade nivåerna av korrelation och bias är tillräckliga för att ersätta en betydande del av dagens provyteinventering med fjärranalys, utan att göra avkall på den precision som krävs för att styra åtgärdsintensitet och måltäthet. Eftersom datainsamlingen är drönar-baserad och bearbetningskedjan är starkt automatiserad kan samma metod tillämpas på stora skogsinnehav med konsekvent metodik och jämförbara resultat mellan regioner. Detta möjliggör en mer systematisk, datadriven styrning av röjskogsåtgärder, där resurserna riktas mot de bestånd som har störst förväntad påverkan på tillväxt, beståndskvalitet och framtida avverkningsflöden.

Kontakt

Conifer Vision AB

Roger Öhlund, grundare och CSO

E-post: roger.ohlund@conifervision.com

Telefon: +46 (0)70-333 35 43

Hemsida: www.conifervision.com

Följ oss gärna på **LinkedIn**