



Höjdtvecklingskurvor för tall och gran – en jämförelse av ståndortsindex-skattning vid olika beståndsåldrar

*Site index curves for Scots pine and Norway spruce – a
comparison of site index estimation across stand ages*

CASPER SKYTTESTRAND LARSSON

ANDREAS HEIDRICH



Examensarbete i skogshushållning, 15 hp

Serienamn: Examensarbete /SLU, Skogsmästarprogrammet 2026:29

SLU-Skogsmästarskolan

Herrgårdsvägen 8

739 31 SKINNSKATTEBERG

www.slu.se/skogsmastarskolan

Höjdotvecklingskurvor för tall och gran – en jämförelse av SI-skattning vid olika beståndåldrar

Site index curves for Scots pine and Norway spruce – a comparison of site index estimation across stand ages

Andreas Heidrich

Casper Skyttestrand Larsson

Handledare: Back Tomas Ersson, SLU Skogsmästarskolan

Examinator: Staffan Stenhag, SLU Skogsmästarskolan

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Självständigt arbete (examensarbete) med nivå och fördjupning G2E med möjlighet att erhålla kandidat- och yrkesexamen

Kurstitel: Kandidatarbete i Skogshushållning

Kursansvarig institution: Skogsmästarskolan

Kurskod: EX0938

Program/utbildning: Skogsmästarprogrammet

Utgivningsort: Skinnskatteberg

Utgivningsår: 2026

Omslagsbild: Bild på äldre granskog. Foto: Casper Skyttestrand Larsson

Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se>

Serietitel: Examensarbete/SLU, Skogsmästarprogrammet

Delnummer i serien: 2026:29

Nyckelord: Bonitering, tillväxtmodell, beståndsutveckling



Sveriges lantbruksuniversitet
Skogsvetenskapliga fakulteten
Skogsmästarskolan

Sammanfattning

Höjdtvecklingskurvor används för skattning av ståndortsindex (SI) och tillväxtbedömning. På 1970-talet togs höjdtvecklingskurvor fram som sedan tillämpats praktiskt i skogsbruket. År 2013 togs nya kurvor fram som skulle vara förfinade och ge säkrare skattningar av ståndortsindex. Dessa kunde även tillämpas i lägre åldrar än de tidigare kurvorna. Trots detta saknas studier som påvisar skillnaderna mellan kurvornas skattning, särskilt vad gäller yngre bestånd som närmar sig den undre gränsen för funktionernas tillämpningsområden. Detta är viktigt att undersöka eftersom skattningar av ståndortsindex i unga bestånd ofta ligger till grund för viktiga skogliga beslut, såsom röjning, gallringsprogram och prognoser för framtida virkesproduktion – vilket gör det angeläget att veta hur väl de olika funktionerna presterar i just detta åldersspann.

Syftet med denna studie var att jämföra skattningen av ståndortsindex av de äldre höjdtvecklingskurvorna från 1970-talet med de nyutvecklade höjdtvecklingskurvorna från 2013. Studien genomfördes i form av ett examensarbete vid SLU Skogsmästarskolan. Studien inriktades mot trädslagen tall och gran, med särskilt fokus på träffsäkerheten av skattningarna i unga åldrar – under 30 år i Svealand. Datamaterialet som användes var från de väletablerade gallrings- och gödslingsförsöken (GG), Siljansfors försöksparks trädslagsförsök, samt egna inmätningar från ett bestånd tillhörande GG-försöken. Både det tillförsedda och det egeninsamlade datamaterialet bearbetades genom Siljansfors försöksparks statistikfiler och lästes sedan in i programmet R och Microsoft Excel. I R skattades sedan ståndortsindex för varje revision (inmätningstillfälle) och avvikelserna med det aritmetiska medelvärde för hela avdelningen beräknades. I Excel skapades tabeller där differensen i skattat SI mellan de äldre och nyare kurvorna beräknades, samt liknande som gjordes i R, differensen mellan skattat SI per revision och aritmetiska medelvärde för hela avdelningen.

Resultatet visar att båda funktionerna gav osäkra skattningar i unga bestånd under ca 30 år. Funktioner framtagna år 2013 gav generellt mest konsekvent rätt resultat, medan en funktion framtagna år 1972 gav den minsta avvikelserna i området där den var tillämpningsbar för gran.

Slutsatserna från studien är att båda funktionerna visade på styrkor och brister, och fortsättningsvis bör man i praktiken använda funktionerna med försiktighet, speciellt i unga bestånd. Det är viktigt att vara noggrann samt att förstå och följa anvisningarna för när funktionerna är tillämpningsbara. Det vore därför önskvärt med framtida studier som utvecklar nya höjdtvecklingsfunktioner med högre träffsäkerhet i unga bestånd.

Nyckelord: Bonitering, tillväxtmodell, beståndsutveckling

Abstract

Site index curves are used for estimating site index (SI) and for growth assessment. In the 1970s, site index curves were developed that have since been applied in practical forestry. In 2013, new curves were developed that were intended to be more refined and provide more reliable estimates of site index. These could be applied at lower ages than the earlier curves. Despite this, there are none or few studies showing the difference in site index estimates between the curves, especially in younger stands that approach the curves limit of applicability.

The purpose of this study was to compare the site index estimates from the older curves from the 1970s with the newly developed curves from 2013 for Scots pine and Norway spruce, with particular focus on the accuracy of the estimates in young stands—under 30 years of age in Svealand.

In this study, we used data from the well-established “Gallrings- och gödslingsförsöken” (GG-experiments), “Trädslagsförsöken” at Siljansfors försökspark, as well as measurements collected from a trial belonging to the GG-experiments. Both the provided datasets and the newly collected data were processed through the statistical files of Siljansfors försökspark and then imported into the programs R and Microsoft Excel. In R, the site index was estimated for each revision (measurement occasion), and the deviation from the arithmetic mean for the entire stand was calculated. In Excel, tables were created where the difference in estimated SI between the older and newer curves was calculated, as well as - similar to what was made in R - the difference between the estimated SI per revision and the arithmetic mean for the entire stand.

The results showed that both functions produced uncertain estimates in young stands, under approximately 30 years. The functions from 2013 generally produced the most consistently right results, while a function from 1972 showed the smallest deviation in the area where it was applicable for spruce.

Both functions demonstrated weaknesses and strengths, and going forward, they should be used with caution in practice, especially in young stands. It is therefore important to carefully understand the guidelines and to use the functions only in stands with the appropriate conditions according to those guidelines.

Keywords: site quality assessment, growth model, stand development

Innehåll

1. INLEDNING	1
1.1 BAKGRUND	1
1.2 SYFTE.....	3
2. MATERIAL OCH METODER	4
2.1 FÖRSÖKSLOKALERNAS GEOGRAFISKA PLACERING	4
2.2 STUDERADE FÖRSÖKSYTOR	5
2.3 DATAINSAMLING I FÄLT	7
2.4 DATABEARBETNING OCH ANALYS	8
3. RESULTAT.....	11
3.1 TALL: ÅLDERSBEROENDE AVVIKELSE I SI-SKATTNING MED JOHANSSON ET AL. (2013).....	11
3.2 GRAN: ÅLDERSBEROENDE AVVIKELSE I SI-SKATTNING MED JOHANSSON ET AL. (2013)	12
3.3 TALL: ÅLDERSBEROENDE AVVIKELSE I SI-SKATTNING MED HÄGGLUND (1974).....	14
3.4 GRAN: ÅLDERSBEROENDE AVVIKELSE I SI-SKATTNING MED HÄGGLUND (1972, 1973)	16
3.5 JÄMFÖRELSE AV SI-SKATTNINGARNAS ÅLDERSBEROENDE MELLAN FUNKTIONERNA	19
3.5.1 JÄMFÖRELSE FÖR TALL: HÄGGLUND (1974) MOT JOHANSSON ET AL. (2013)	19
3.5.2 JÄMFÖRELSE FÖR GRAN: HÄGGLUND (1972, 1973) MOT JOHANSSON ET AL. (2013).....	20
4. DISKUSSION	22
4.1 HUVUDRESULTAT	22
4.2 JÄMFÖRELSE MED BEFINTLIG KUNSKAP	22
4.3 FÖRKLARING AV NY KUNSKAP.....	23
4.4 STYRKOR OCH SVAGHETER.....	23
4.5 REKOMMENDATIONER	24
4.6 SLUTSATSER.....	24
REFERENSER.....	27
BILAGOR	29
BILAGA 1: R-SCRIPT FÖR SI-BERÄKNING MED JOHANSSON ET AL. (2013)	29
BILAGA 2: R-SCRIPT FÖR SI-BERÄKNING MED HÄGGLUNDS HÖJDUTVECKLINGSFUNKTIONER	33
BILAGA 3: ORIGINALIMPLEMENTATION I VISUAL BASIC – SITEINDEXFUNCTIONS.VB (UTDRAG)	39
BILAGA 4: TABELLER FÖR GRAN.....	43
BILAGA 5: TABELLER FÖR TALL	47
BILAGA 6: RÅDATAMATERIALET I MICROSOFT EXCEL.....	51

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Höjdtvecklingskurvor är det främsta verktyget för skattning av ståndortsindex (SI) inom skogsbruket (Hägglund & Lundmark 2021). Ståndortsindex används för bonitering och tillväxtprognostisering. Det i sin tur används för att optimera skogliga åtgärder, avkastningsprognoser och värderingar.

Med bonitet avses växtplatsens bördighet mätt i virkesproduktion, m³sk/ha och år, vid medeltillväxtens kulmen för det bonitetsvisande trädslaget (Hägglund & Lundmark 2021). För att komma fram till en bonitet använder man sig av ståndortsindex (SI), som beskriver övrehöjden för det bonitetsvisande trädslaget vid en viss referensålder.

Den vanligaste metoden för att skatta ståndortsindex är med höjdtvecklingskurvor (Lundmark & Hägglund 1977). Utöver denna metod används främst två till i svenskt skogsbruk (Hägglund & Lundmark 2021). Dessa är interceptmetoden och bonitering med ståndortsegenskaper. I denna rapport kommer endast bonitering med höjdtvecklingskurvor att jämföras.

Användningen av höjdtvecklingskurvor baseras på sambandet mellan beståndshöjd och total volymproduktion (Johansson 1996; Skovsgaard & Vanclay 2008). Redan på 1800-talet upptäcktes det att sambandet mellan beståndets medelhöjd och ålder liknade sambandet mellan virkesförråd och ålder (Skovsgaard & Vanclay 2008). Utöver detta används just övrehöjd för ståndortsindex för att det i likåldriga bestånd är relativt oberoende av stamtäthet (Sharma et al. 2011).

Funktionerna för dessa kurvor använder måttet övrehöjd, som innebär den aritmetiska medelhöjden på de 100 grövsta träden - mätt i brösthöjdsdiameter - per hektar (Elfving & Kiviste 1997). Vid praktisk mätning används främst de två grövsta träden på en cirkelprovyta med 10 meters radie (Lundmark & Hägglund 2021). Med 'ålder' avses ofta brösthöjdsålder, vilket innebär åldern mäts in som antal årsringar vid tvärsnitt på 1,3 m höjd upp på stammen. I vissa fall kan 'ålder' avse totalålder vilket då är åldern från groningstillfället (Lundmark & Hägglund 2021). Den senare metoden kan endast användas om groningstidpunkten är känd. Man använder sig av höjd för att höjdtillväxten inte påverkas lika mycket av skötselåtgärder som exempelvis diametertillväxten kan göra.

Blickar man utåt så kan man se att definitioner och modeller för framtagning av SI varierar runt om i världen. Först och främst så är det definitionen av övrehöjd som varierar. I Europa används främst samma definition som vi använder i Sverige, alltså höjden av de 100 grövsta (brösthöjdsdiameter) träden per hektar (Sharma et al. 2002). I USA används dock oftast medelhöjden av de härskande och medhärskande träden (Sharma et al. 2002). För- och nackdelarna med dessa olika definitioner är i praktiken den samma. Ett träd som vid ett tidigare inmätningstillfälle räknas med i antingen de härskande och medhärskande träden

eller ett av de 100 grövsta per hektar kan vid en senare inmätningstidpunkt ha ”fallit ur” den kategorin. Detta leder till att olika träd mäts in som övrehöjdsträd vid olika inmätningstidpunkter, då tillväxten hos varje enskilt träd inte är konstant över omloppstiden (Sharma et al. 2002)

Det finns flera tillväxtmodeller och metoder för framtagning av höjdtutvecklingskurvor. De vanligaste metoderna är guidekurvmetoden, parameterprediktionsmetoden och differensekvationsmetoden (Elfving & Kiviste, 1997). Höjdtutvecklingskurvorna som togs fram på 1970-talet är framtagna genom ”Richards-Chapman funktionen” och parameterprediktionsmetoden (Elfving & Kiviste 1997). De nyutvecklade funktionerna är framtagna med differensekvationsmetoden och Hossfelds tillväxtfunktioner (Johansson et al. 2013).

Med de olika metoderna för framtagning av höjdtutvecklingskurvor i kombination med en tillväxtmodell kan man få fram två olika sorters kurvor: anamorfa kurvor eller polymorfa kurvor (Biging 1985, Elfving & Kiviste 1997). Dessa skiljer sig åt på så vis att de anamorfa kurvorna tas fram från ett medel som sedan anpassas till olika skalor, baserat på likformighet (Elfving & Kiviste 1997). För att skapa dessa typer av kurvor med god noggrannhet krävs det att data från alla ståndortsindex representeras i samtliga åldersklasser (Elfving & Kiviste 1997). De polymorfa kurvorna är mer flexibla vad gäller referensålder (Elfving & Kiviste 1997, Cieszewski & Bailey 2000). Dessa kurvor har olika form beroende på vilket ståndortsindex den leder till. Där beräknas parametrarna för varje ståndortsindex separat och både asymptotet - den teoretiska maximala höjden, och en ytterligare parameter kan variera (Cieszewski & Bailey 2000). Detta gör en polymorf modell mycket mer flexibel än en anamorf modell (Cieszewski & Bailey 2000).

En sann tillväxtfunktion måste uppfylla vissa kriterier. Den måste:

- ha en noll-punkt;
- vara ökande (positiv lutning);
- ha en asymptot som är parallell med åldersaxeln (x-axeln);
- ha en tydlig inflektionspunkt vid den löpande tillväxtens kulmen.

För att bonitering med höjdtutvecklingskurvor ska kunna användas finns ett antal grundförutsättningar som behöver uppnås enligt Skogsstyrelsens anvisningar (Hägglund & Lundmark 2021). Beståndet skall domineras av det bonitetsvisande trädslaget, beståndet måste vara tämligen likåldrigt, får ej ha huggits uppifrån, beståndsåldern får ej vara utanför tillämpningsområdet för höjdtutvecklingskurvorna, det får ej varit hämmat i ungdomsutvecklingen, vara gödlat eller skadat så det påverkar höjdtutvecklingen.

Sedan höjdtutvecklingskurvorna från 1970-talet började användas i praktiskt bruk, har produktionsforskare kontinuerligt utvecklat och förbättrat funktionerna och flera nya funktioner har testats (Johansson 1996). Den senaste versionen blev klar 2013 och ska från 2013 och framåt användas i praktiken (Johansson 2013).

De äldre höjdtutvecklingskurvorna som utvecklades på 1970-talet har för gran ett tillämpningsområde på mellan 30–140 år och för tall 30–150 år (Hägglund &

Lundmark 2021). De nya kurvorna har för gran och tall ett tillämpningsområde på 10–80 år (Johansson 2013). Detta innebär att de nya kurvorna skall kunna användas i lägre åldrar utan att ge systematiska fel så som de äldre kunnat göra. Höjdtvecklingskurvorna från 1970-talet fungerar inte bra i unga bestånd (Lundmark & Häggglund 1977). De nya kurvorna från 2013 (Johansson et al.) ska vara förfinade och ge säkrare skattningar av ståndortsindex. De har även ett bredare tillämpningsområde som börjar redan vid 10 år i stället för 30 år som de äldre kurvorna har. Eftersom skattningen av ståndortsindex är som säkrast ju närmre den givna referensåldern man kommer (Heger 1969), samtidigt som behovet av skattningen är som störst tidigt i beståndsutvecklingen, är det av stort intresse att utvärdera hur de olika höjdtvecklingskurvorna skiljer sig i skattning av SI vid olika inmätningstidpunkter.

Enligt observationer från forskare vid SLU:s skogliga fältforskningsenhet har de äldre kurvorna överskattat SI vid inmätning i unga åldrar och underskattat SI i äldre åldrar. Enligt dessa forskare verkar detta fenomen bero på kurvornas form. De äldre kurvorna har flackare ungdomsutveckling än de nyare vilket innebär att ett träd med lägre höjd vid exempelvis 20 år kan leda till högre SI än med de nyare kurvorna med brantare ungdomsutveckling. De nyare kurvorna (Johansson 2013) skulle vid samma ålder (exempelvis 20 år) och samma höjd ge ett lägre SI.

Trots att de nyare kurvorna (Johansson et al. 2013) har ett utökat tillämpningsområde mot lägre åldrar saknas oberoende empiriska utvärderingar mot långtidsdata från svenska försöksparkar. Siljansfors försökspark erbjuder ett unikt material med upprepade mätningar över flera decennier i bestånd med känd skötselhistorik, vilket möjliggör en direkt jämförelse av kurvorna vid olika åldersstadier i samma bestånd.

För att få en klarare bild av hur höjdtvecklingskurvorna från 1970-talet och de nyutvecklade från 2010-talet skiljer sig, behövs flera jämförelser göras. I denna studie görs detta för tall (*Pinus sylvestris*) och gran (*Picea abies*).

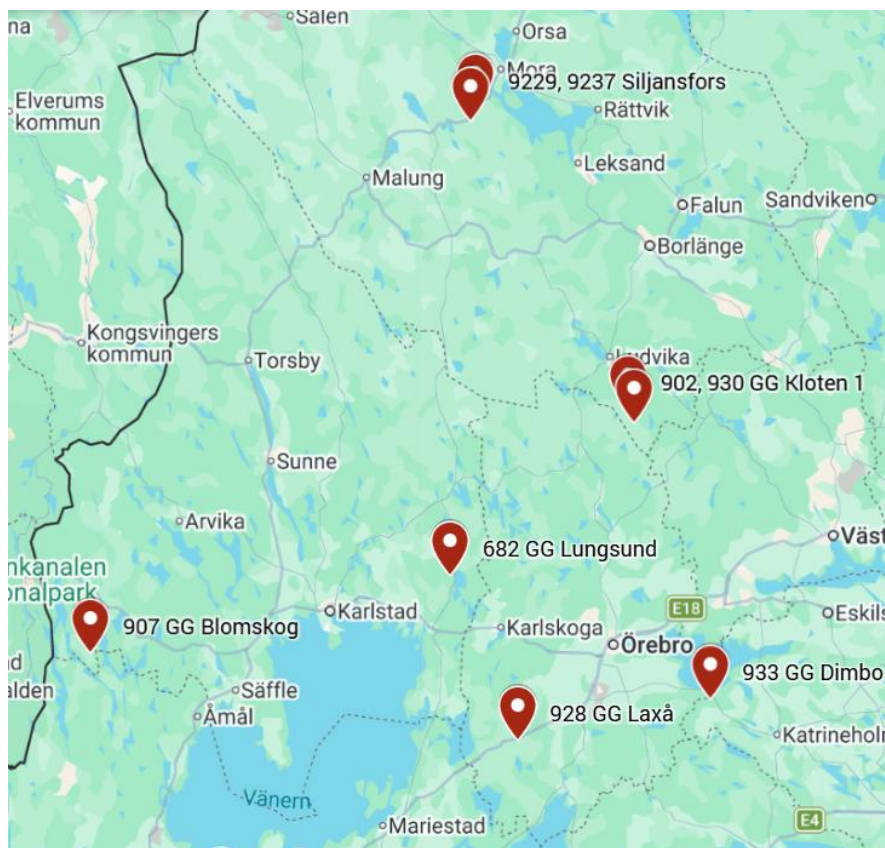
1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att jämföra hur Häggglunds (1974) och Johansson et al. (2013) höjdtvecklingskurvor uppskattar ståndortsindex för tall och gran vid olika beståndåldrar. Studien fokuserar särskilt på träffsäkerheten vid låga åldrar (10–30 år) och begränsas till långtidsförsöksdata från Svealand.

2. Material och metoder

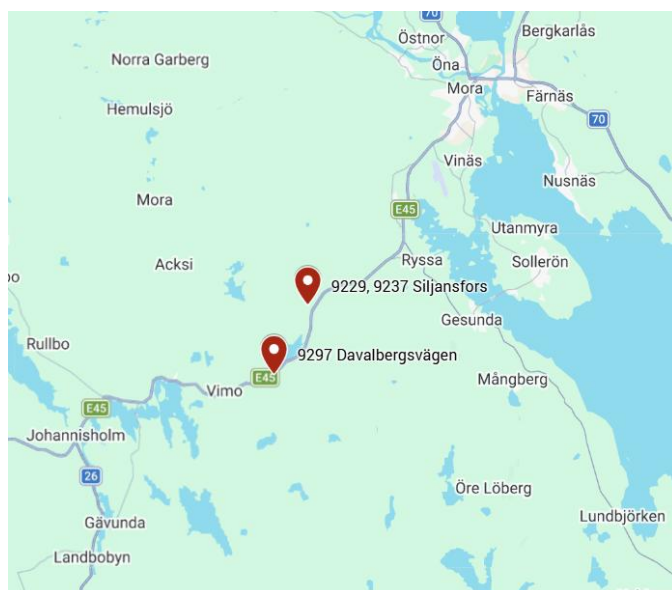
2.1 Försökslokalernas geografiska placering

Studien baseras på data från nio långliggande försöksytor belägna i södra och mellersta Sverige (Figur 1). Försöksytorna tillhör tre olika försöksserier: Gallring- och gödslings-försöken (GG-försöken), trädslagsförsöken vid Siljansfors samt ett contortaförsök vid Siljansfors. GG-försöken är en serie gallrings- och gödslingsförsök i tall- och granbestånd vars gemensamma syfte är att studera hur olika gallringstyper påverkar beståndsutvecklingen över tid.



Figur 1. Geografisk placering av de försöksytor som ingår i studien. Försöksytorna är belägna i Värmlands, Örebro och Dalarnas län.

Försöken 9229, 9237 och 9297 är belägna vid och i anslutning till Siljansfors försökspark i Dalarna (Figur 1). Försöken 902, 930, 933 och 928 i Örebro län samt 682 och 907 i Värmlands län (Figur 2).



Figur 2. Inzoomad karta över Siljansfors-området med försöksytorna 9229 och 9237 belägna inom Siljansfors försökspark samt försök 9297 vid Davalbergsvägen, strax söder om försöksparken.

2.2 Studerade försöksytor

De avdelningar som ingår i studien representerar tre olika gallringstyper för region C (Svealand). Behandling B innebär stark gallring i två omgångar med ett uttag på 43 procent vid första gallringen, behandling C innebär en enda stark gallring med ett uttag på 63 procent, och behandling H utgör en ogallrad jämförelseyta utan någon aktiv gallringsåtgärd. Gallringsformen som tillämpas i de aktiva leden är fri gallring, vilket innebär en kombination av låg- och krongallring där alla kronskikt påverkas och uttaget styrs av att de kvarvarande träden ges ett ökat utrymme för fortsatt tillväxt (Enheten för skoglig fältforskning 2007).

De tallförsök som ingår i studien redovisas i Tabell 1. Försöken 902, 930 och 933 följer GG-försökens behandlingsstruktur med en ogallrad kontroll (H) och två gallrade led (B och C) i varje försök, medan trädslagsförsöken 9229 och 9237 saknar denna struktur men har en behandling som är jämförbar med B. Anläggningsåren sträcker sig från 1923 till 1965, vilket ger ett brett spann av beståndsåldrar för jämförelsen.

Tabell 1. Gallring- och gödslingsförsöken (GG) samt trädslagsförsöken på Siljansfors försökspark för tall. Försöksnumret avser ett geografiskt område med liknande ståndortsegenskaper där fler avdelningar anlagts med olika behandlingar för framtida jämförelse. Behandlingarnas bokstäver innebär: B – stark gallring, två åtgärdstillfällen. C – stark gallring, ett åtgärdstillfälle. H – kontrolllyta, ingen åtgärd. Kolumnen avdelning avser vilken avdelning det gäller för respektive försök. Varje försök har ett visst antal avdelningar för att kunna jämföra olika behandlingsformer för samma försök. *Skattad ståndortsindex i statistikort från silvaboreal.com för respektive bestånd. **Bestånden har gallrats efter respektive trädslags behov och är närmast jämförbara med behandling B, men ingår inte i GG-försökens behandlingsstruktur.

Försök	Namn	Län	Avdelning	Behandling	Anläggningsår	Skattad SI*
902	GG Kloten 1	Örebro	5	C	1931	26
902	GG Kloten 1	Örebro	1	H	1932	25
930	GG Kloten 2	Örebro	4	B	1934	26
930	GG Kloten 2	Örebro	7	C	1934	28
930	GG Kloten 2	Örebro	3	H	1934	27
933	GG Dimbo	Örebro	7	B	1930	23
933	GG Dimbo	Örebro	8	C	1926	22
933	GG Dimbo	Örebro	4	H	1923	23
9229	Trädslagsförsök Siljansfors	Dalarna	11	B**	1961	28
9229	Trädslagsförsök Siljansfors	Dalarna	21	B**	1961	29
9237	Trädslagsförsök Siljansfors	Dalarna	11	B**	1965	28
9237	Trädslagsförsök Siljansfors	Dalarna	21	B**	1965	29
9237	Trädslagsförsök Siljansfors	Dalarna	31	B**	1965	28

Granförsöken redovisas i Tabell 2. Försöken 682, 907 och 928 följer samma behandlingsstruktur med en ogallrad kontroll (H) och de gallrade leden B och C, medan trädslagsförsöken 9229 och 9237 saknar denna struktur men har en behandling som är jämförbar med B. Granförsöken anlades mellan 1943 och 1965 och kompletterar tallmaterialet med bördigare ståndorter, vilket framgår av de högre skattade SI-värdena i tabellen.

Tabell 2. Gallring- och gödslingsförsöken (GG) samt trädslagsförsöken på Siljansfors försökspark för gran. Försöksnumret avser ett geografiskt område med liknande ståndortsegenskaper där fler avdelningar anlagts med olika behandlingar för framtida jämförelse. Behandlingarnas bokstäver innebär: B – stark gallring, två åtgärdstillfällen. C – stark gallring, ett åtgärdstillfälle. H – kontrolllyta, ingen åtgärd. *Skattad ståndortsindex i statistikort från silvaboreal.com för respektive bestånd. **Bestånden har gallrats efter respektive trädslags behov och är närmast jämförbara med behandling B, men ingår inte i GG-försökens behandlingsstruktur.

Försök	Namn	Län	Avdelning	Behandling	Anläggningsår	Skattad SI*
682	GG Lungsund	Värmland	4	B	1943	32
682	GG Lungsund	Värmland	5	C	1943	34
682	GG Lungsund	Värmland	8	H	1943	33
907	GG Blomskog	Värmland	4	B	1944	35
907	GG Blomskog	Värmland	1	C	1944	34
907	GG Blomskog	Värmland	5	H	1944	36
928	GG Laxå	Örebro	4	B	1957	34
928	GG Laxå	Örebro	8	C	1957	35
928	GG Laxå	Örebro	5	H	1957	33
9229	Trädslagsförsök Siljansfors	Dalarna	12	B**	1961	25
9229	Trädslagsförsök Siljansfors	Dalarna	22	B**	1961	25
9237	Trädslagsförsök Siljansfors	Dalarna	12	B**	1965	29
9237	Trädslagsförsök Siljansfors	Dalarna	22	B**	1965	28
9237	Trädslagsförsök Siljansfors	Dalarna	32	B**	1965	29

2.3 Datainsamling i fält

Datainsamlingen i fält av stamdiametrar och övrehöjd utfördes i slutet av mars 2026 under barmarksförhållanden i försök 933 beläget i Örebro kommun i Örebro län, några hundra meter väster om länsgränsen mot Södermanlands län. Försöket 933 omfattar nio avdelningar som samtliga inventerades. Datainsamlingen genomfördes för att upprätthålla den kontinuerliga mätserien som finns för beståndet.

Inför fältarbetet introducerades försöksytan av Siljanfors parkchef och försöksledare. Samtliga träd i försöket var sedan tidigare individuellt numrerade, vilket möjliggjorde en säker identifiering av varje enskild individ vid inmätningen.

Samtliga fältdata registrerades löpande i en handdator i vilken tidigare inmätning från försökets äldre revisioner redan var inlagda, vilket möjliggjorde direkt jämförelse med historiska mätdata i fält och minimerade risken för registreringsfel. Klavningen utfördes med en 50 cm Haglöfs klave och höjdmätningarna genomfördes med en Haglöfs Vertex Laser Geo.

Klavning utfördes på samtliga numrerade träd i varje avdelning genom korsklavning, det vill säga att diametern i brösthöjd (1,3 m) mättes i två vinkelräta riktningar. På samtliga träd var brösthöjden (1,3 m) sedan tidigare markerad, vilket säkerställde att klavningen utfördes på exakt samma höjd vid varje revision och möjliggjorde jämförbara mätningar trots att marken inom avdelningarna är ojäm. Antalet klavade träd varierade mellan avdelningarna (Tabell 3). Totalt omfattade försöket 342 stammar.

Tabell 3. Avdelningsnummer och antal klavade stammar på angiven avdelning. Avdelning 4 hade flest stammar med totalt 69 stycken. Totalt klavades 342 stammar.

Avdelning	Antal stammar
1	29
2	32
3	22
4	69
5	43
6	37
7	32
8	34
9	44
Totalt	342

På 20 slumpmässigt utvalda träd per avdelning mättes, utöver brösthöjdsdiameter, även totalhöjd, krongränshöjd samt barktjocklek. Urvalet av de 20 provträden per avdelning gjordes inte manuellt utan genererades automatiskt av handdatorn, vilket säkerställde ett slumpmässigt urval oberoende av subjektiva bedömningar i fält. Höjdmätningen utfördes trigonometriskt i tre steg: i det första steget mättes det horisontella avståndet till trädet, i det andra steget mättes vinkeln ned till roten och i det tredje steget mättes vinkeln upp till trädtoppen respektive krongränshöjden, varefter höjden beräknades automatiskt av höjdmätaren.

2.4 Databearbetning och analys

All databearbetning och samtliga figurer producerades i R (version 4.5.1) med paketen tidyverse och ggplot2 samt Microsoft (MS) Excel.

I R lästes data in från försöksytornas statistikfiler och filtrerades till de avdelningar som ingår i studien. Det fullständiga skriptet redovisas i sin helhet i bilagor (Bilaga 1; Bilaga 2).

Ståndortsindex skattades för varje revision med de höjdtvecklingskurvor som utgör grunden för jämförelsen, varvid kurvornas förmåga att ge ett konsekvent SI oberoende av mätålder utvärderades. För att identifiera eventuella åldersberoende systematiska fel beräknades för varje revision avvikelsen mellan det skattade SI-värdet och avdelningens aritmetiska medelvärde över samtliga revisioner.

För att åskådliggöra det generella mönstret i avvikelserna anpassades en utjämnad kurva med metoden LOESS (locally estimated scatterplot smoothing). LOESS är en icke-parametrisk metod som anpassar kurvan lokalt till datapunkterna i stället för att tvinga in dem i en förutbestämd matematisk form, och ger därför en flexibel bild av hur avvikelsen i genomsnitt varierade med åldern. Hur hårt kurvan jämnades ut bestämdes av parametern "span", som sattes till 0,75. Ett högre värde ger en jämnare kurva och ett lägre värde en kurva som följer datapunkterna tätare. Kring kurvan beräknades även ett 95-procentigt konfidensintervall, som visar osäkerheten i den utjämnade kurvans läge; ett brett intervall innebär stor osäkerhet, vilket framför allt uppstod vid de åldrar där få observationer fanns.

Funktionerna av Johansson et al. (2013) implementerades direkt utifrån de parametrar och formler som redovisas i publikationen (Johansson et al. 2013). Hägglunds funktioner för tall (1974), gran i södra Sverige (1973) och gran i norra Sverige (1972) implementerades med utgångspunkt i en befintlig implementation i programmeringsspråket Visual Basic, som användes som referens för att säkerställa att parametrar och beräkningslogik återgavs korrekt (Bilaga 3). Eftersom Hägglunds funktioner är uppbyggda kring brösthöjdsåldern approximerades denna som totalålder minus 8 år, och SI beräknas genom en iterativ bisektionsmetod som söker det värde som ger en teoretisk höjd vid mätåldern motsvarande den uppmätta höjden.

För gran tillämpades Hägglunds norra funktion (1972) på försöksytorna i Siljansfors och den södra funktionen på övriga försöksytor, eftersom Siljansfors geografiskt befinner sig norr om gränsen vid 60°N mellan de två funktionernas tillämpningsområden. De fullständiga R-scripten redovisas i Bilaga 1 och Bilaga 2.

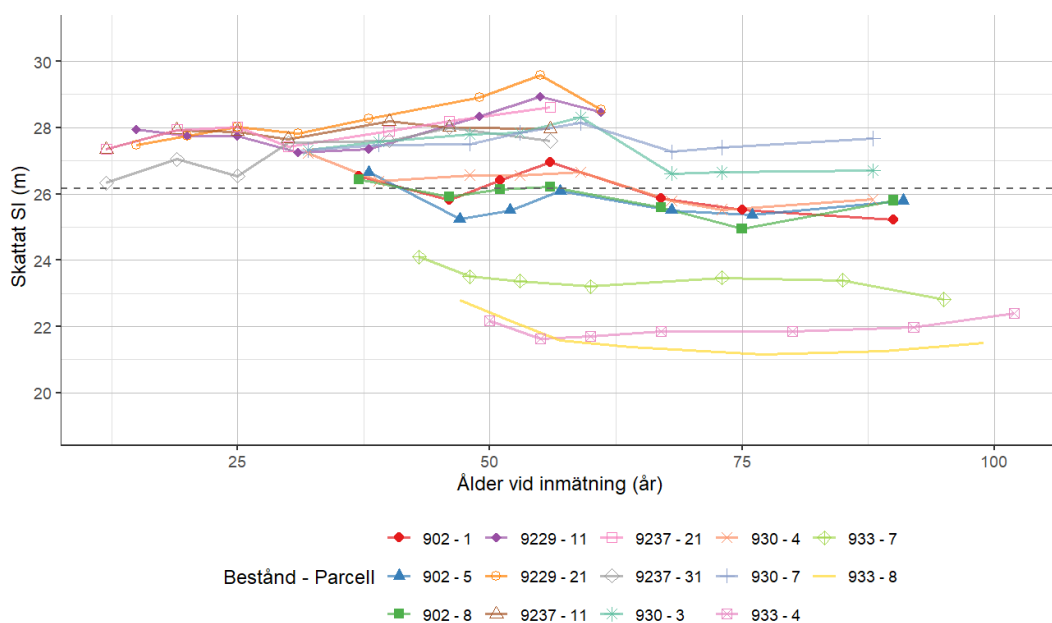
I MS Excel lästes Siljansfors försöksparks statistikfiler in och relevanta kolumner sorterades fram (Figur 15). Därefter skapades tabeller (Bilaga 4; bilaga 5) med beräkningar av ståndortindex skattade av både Hägglunds (1972; 1973 ; 1974) och Johanssons (2013) funktioner för varje revision samt aritmetiskt medelvärde för hela försöksytan. Därefter beräknades differensen mellan Hägglunds (1972, 1973 & 1974) och Johanssons (2013) funktioners skattningar av ståndortsindex och även differensen mellan de aritmetiska medelvärdena för hela försöksytan (Bilaga 4 & 5). Detta gjordes för att se relativ skillnad i skattning mellan funktionerna. Därefter beräknades för båda funktionerna differensen mellan skattningen av ståndortsindex per revision med aritmetiska medelvärdena för hela försöksytan.

Detta gjordes i sin tur för att se hur skattningarna förändrades över tid, alltså mellan revisionerna. Resultaten sammanställdes i tabeller som presenteras i Bilaga 4 och 5.

3. Resultat

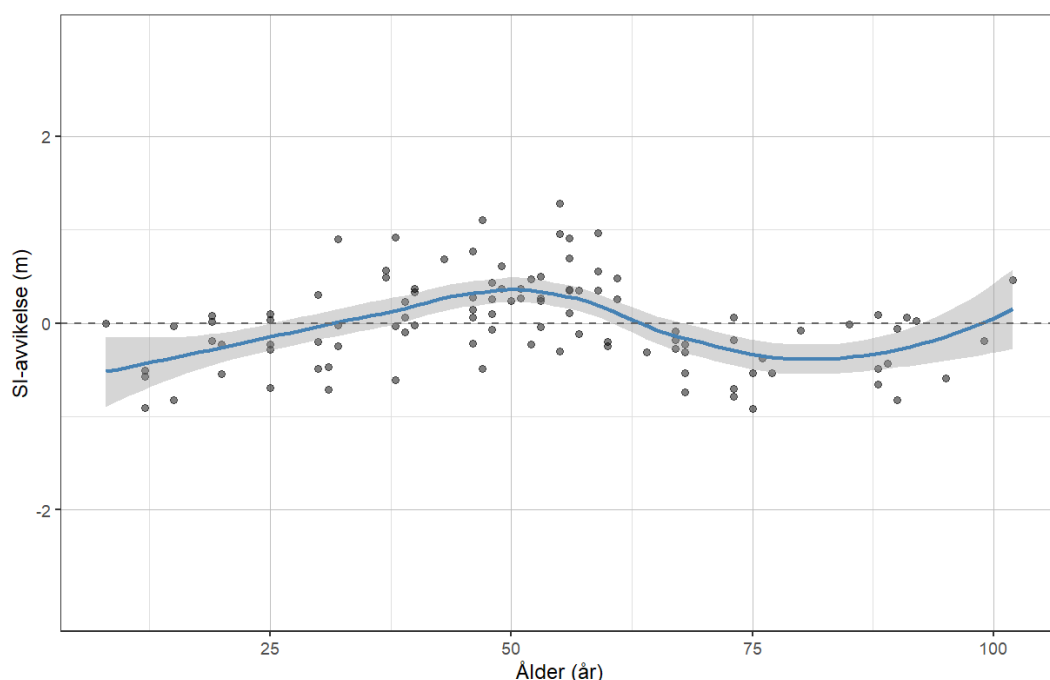
3.1 Tall: åldersberoende avvikelse i SI-skattning med Johansson et al. (2013)

För tall varierade det uppskattade SI-värdet inom enskilda avdelningar mellan 0,8 och 2,1 m över respektive mätperiod (Figur 3). Den minsta variationen återfanns i försök 933 (avdelning 4) och försök 9237 (avdelning 11) med 0,8 m vardera, medan den största variationen på 2,1 m återfanns i försök 9229 (avdelning 21). I försök 902 och 930, där mätningarna sträcker sig från ca 32–38 till 88–91 års ålder, låg variationen på 0,9–1,7 m. Försök 9229 och 9237, med mätningar från 12–15 års ålder, uppvisade en variation på 0,8–2,1 m.



Figur 3. Skattat ståndsindex (Johansson et al. 2013) för tall. Varje linje representerar en avdelning och färg samt punktform anger bestånd och avdelning. Streckad linje visar medel-SI för samtliga avdelningar med tall. Idealt ska SI vara konstant oberoende av ålder. SI = ståndsindex.

En variation i skattat SI inom enskilda avdelningar innebär att kurvan inte ger ett konsekvent ståndsindex oberoende av vid vilken ålder som mätningen görs, vilket är ett tecken på systematiska fel i höjdutvecklingskurvan (Figur 4). För tall visade avvikelseanalysen ett tydligt åldersberoende mönster; kurvan tenderade att underskatta SI vid lägre åldrar (under ca 35 år), överskatta SI i medelåldern (ca 35–65 år) och åter underskatta vid högre åldrar (ca 65–90 år). Detta S-formade mönster antyder att kurvans form inte helt stämmer överens med den faktiska höjdutvecklingen i dessa bestånd. Avvikelserna var dock genomgående små och låg inom cirka $\pm 0,4$ m, vilket motsvarar mindre än en halv SI-klass och därmed var av begränsad praktisk betydelse.



Figur 4. SI-avvikelse från avdelningens medelvärde för tall i relation till beståndets ålder vid mättillfället. Varje punkt representerar en enskild revision. Den blå kurvan visar ett utjämnat medelvärde (LOESS, span = 0,75) med 95-procentigt konfidensintervall. Positivt värde indikerar överskattning och negativt värde indikerar underskattning av SI relativt avdelningens medelvärde över samtliga revisioner. SI = ståndortsindex. LOESS = locally estimated scatterplot smoothing.

I avdelning 629 och 930 sjönk skattningen av ståndortsindex med ökad ålder (Bilaga 5, Tabell 15; Tabell 11). På avdelning 629 mötte enskilda revisionens skattning medlet för hela avdelningen mellan 99 och 104 år (Bilaga 5, Tabell 14). På avdelning 930 mötte skattningen av enskild revision medlet för avdelningen mellan 59 och 68 år (Bilaga 5, Tabell 11). Differensen från första mätningen till sista mätningen var 2,7 på avdelning 629 och 1,1 på avdelning 930.

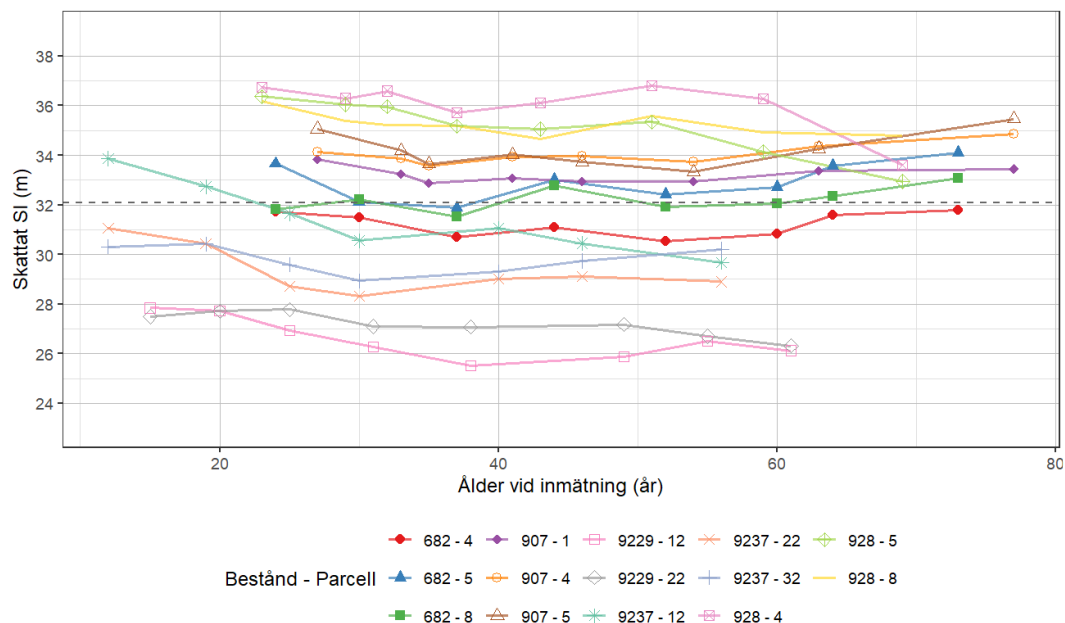
I avdelning 9229 och 9237 ökade skattningen av ståndortsindex med ökad ålder. Där mötte skattningen per revision medelvärdet för avdelningen mellan 38 och 49 år för avdelning 9229 (Bilaga 5, Tabell 13) och mellan 30 och 40 år för avdelning 9237 (Bilaga 5, Tabell 14). Skillnaden mellan första och sista revisionens skattning var 1,3 för avdelning 9237 (Bilaga 5, Tabell 14) och 0,8 för avdelning 9229 (Bilaga 5, Tabell 13).

För resterande avdelningar med tall, avdelningarna 902 och 933 kunde ingen tydlig trend synas. Där var skattningarna jämnare över tid och således närmre medlet för hela avdelningen vid varje revision (Bilaga 5, Tabell 10 och Tabell 12).

3.2 Gran: åldersberoende avvikelse i SI-skattning med Johansson et al. (2013)

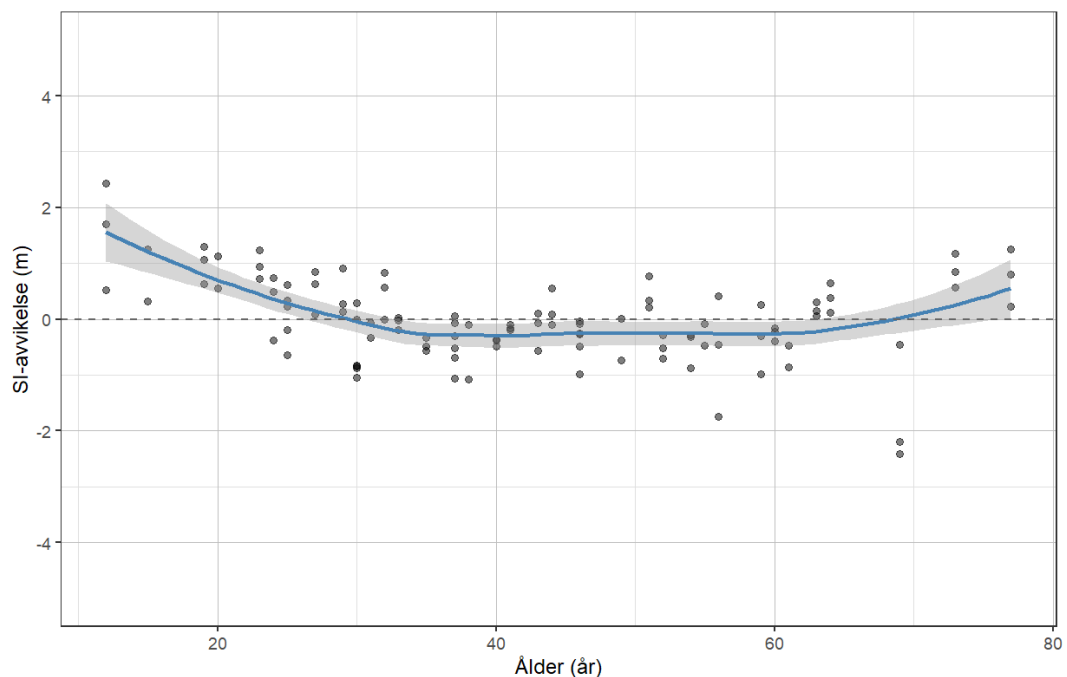
För gran varierade det skattade SI inom enskilda avdelningar mellan 1,0 och 4,2 m över respektive mätperiod (Figur 5), vilket innebar att gran hade en generellt större variation än vad tall hade. Den minsta variationen återfanns i försök 907

med 1,0 m, medan den största på 4,2 m återfanns i försök 9237. I de äldre försöken 682, 907 och 928, med mätningar från ca 23–27 till 69–77 års ålder, låg variationen på 1,0–3,4 m. De yngre försöken 9229 och 9237, med mätningar redan från 12–15 års ålder, uppvisade en större variation på 1,5–4,2 m.



Figur 5. Skattat ståndortsindex (Johansson et al. 2013) för gran. Varje linje representerar en avdelning och färg samt punktform anger bestånd och avdelning. Streckad linje visar medel-SI för samtliga granavdelningar. Idealt ska SI vara konstant oberoende av ålder. SI = ståndortsindex.

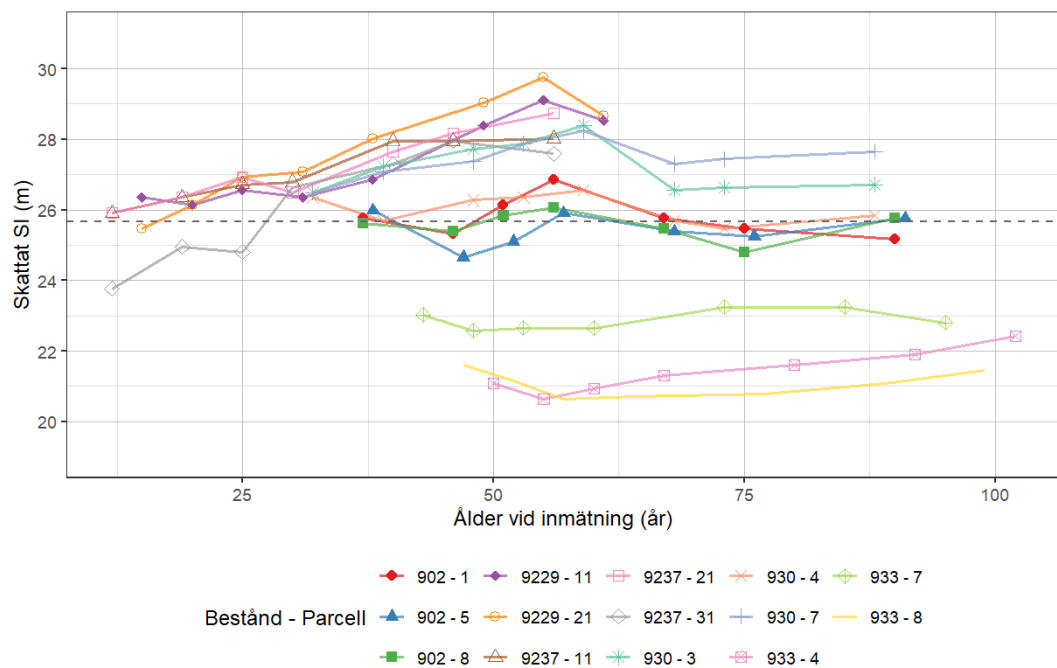
För gran visade avvikelseanalysen ett tydligt åldersberoende mönster (Figur 6). Kurvan överskattade kraftigt SI vid låga åldrar (under ca 25 år), varefter avvikelserna minskade och övergick i en svag men konsistent underskattning genom medelåldern (ca 35–65 år). Vid de högsta representerade åldrarna (över ca 65 år) indikerade LOESS-kurvan en svag uppgång mot noll, dock med ett brett konfidensintervall till följd av få observationer. Det dominerande mönstret var således en överskattning vid unga åldrar och en underskattning i medelåldern, vilket antyder att kurvans form inte helt stämde överens med den faktiska höjdtutvecklingen i dessa granbestånd. Överskattningen i unga bestånd var flera gånger större än underskattningen i medelåldern.



Figur 6. SI-avvikelse från avdelningens medelvärde för gran i relation till beståndets ålder vid mättillfället. Varje punkt representerar en enskild revision. Den blå kurvan visar ett utjämnat medelvärde (LOESS, span = 0,75) med 95-procentigt konfidensintervall. Positivt värde indikerar överskattning och negativt värde indikerar underskattning av SI relativt avdelningens medelvärde över samtliga revisioner. SI = ståndortsindex. LOESS = locally estimated scatterplot smoothing.

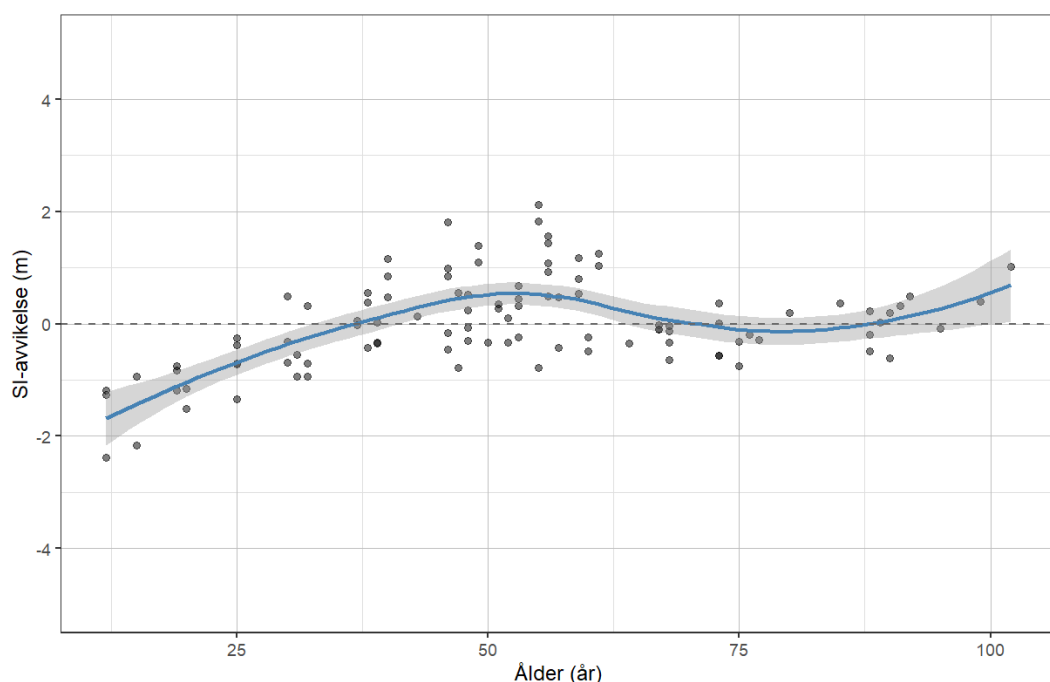
3.3 Tall: åldersberoende avvikelse i SI-skattning med Hägglund (1974)

För tall varierade det skattade SI inom enskilda avdelningar mellan 0,7 och 4,3 m över respektive mätperiod (Figur 7), vilket innebar en betydligt större spridning än med Johansson et al. (2013). Den minsta variationen återfanns i försök 933 (avdelning 7) med 0,7 m, medan den största på 4,3 m återfanns i försök 9229 (avdelning 21). I de äldre försöken 902 och 930, med mätningar från ca 32–38 till 88–91 års ålder, låg variationen på 1,1–1,9 m. De yngre försöken 9229 och 9237, med mätningar från 12–15 års ålder, uppvisade en klart större variation på 2,1–4,3 m.



Figur 7. Skattat ståndortsindex (Hägglund 1974) för tall. Varje linje representerar en avdelning och färg samt punktform anger bestånd och avdelning. Streckad linje visar medel-SI för samtliga avdelningar för tall. Idealt ska SI vara konstant oberoende av ålder. SI = ståndortsindex.

För tall visade avvikelseanalysen ett svagt men åldersberoende mönster (Figur 8). Vid låga åldrar (under 25 år) underskattades SI med i genomsnitt $-0,32$ m, varefter funktionen övergick i en svag överskattning i medelåldern ($0,16$ m vid 25–50 år och $0,07$ m vid 50–75 år). Vid de högsta representerade åldrarna (över 75 år) återgick avvikelsen till en svag underskattning på $-0,24$ m. Det sammantagna mönstret var relativt jämnt fördelat kring noll, vilket indikerade att funktionen generellt gav ett konsekvent SI oberoende av ålder, med undantag för en viss variation vid ytterlighetsåldrarna.



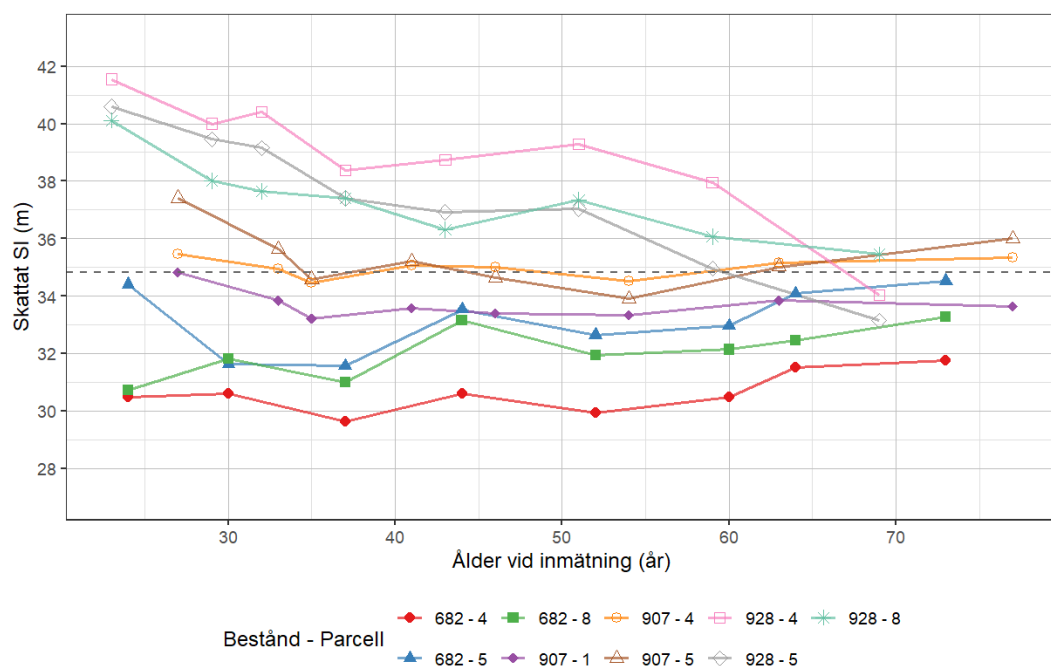
Figur 8. SI-avvikelse från avdelningens medelvärde för tall i relation till beståndets ålder vid mätstillfället (Hägglund 1974). Varje punkt representerar en enskild revision. Den blå kurvan visar ett utjämnat medelvärde (LOESS, span = 0,75) med 95-procentigt konfidensintervall. Positivt värde indikerar överskattning och negativt värde indikerar underskattning av SI relativt avdelningens medelvärde över samtliga revisioner. SI = ståndortsindex. LOESS = locally estimated scatterplot smoothing

På avdelning 933 och 9229 kunde man se att skattningen av ståndortsindex ökade med ökad ålder (Bilaga 5, Tabell 12; Tabell 13). De senare revisionerna hade alltså ett högre skattat ståndortsindex än de tidigare, förutom vid sista revisionen för avdelning 9229 då ståndortsindex sjönk med 1 m (Bilaga 5, Tabell 13). Revisionernas skattning mötte medlet för hela avdelningen mellan 31 och 38 för avdelning 9229 (Bilaga 5, Tabell 13) och vid 66 år för avdelning 933 (Bilaga 5, Tabell 12).

För de andra avdelningarna kunde man inte se en tydlig trend i skattningarna av SI. Varken att det minskade eller ökade med ökad ålder (Bilaga 5).

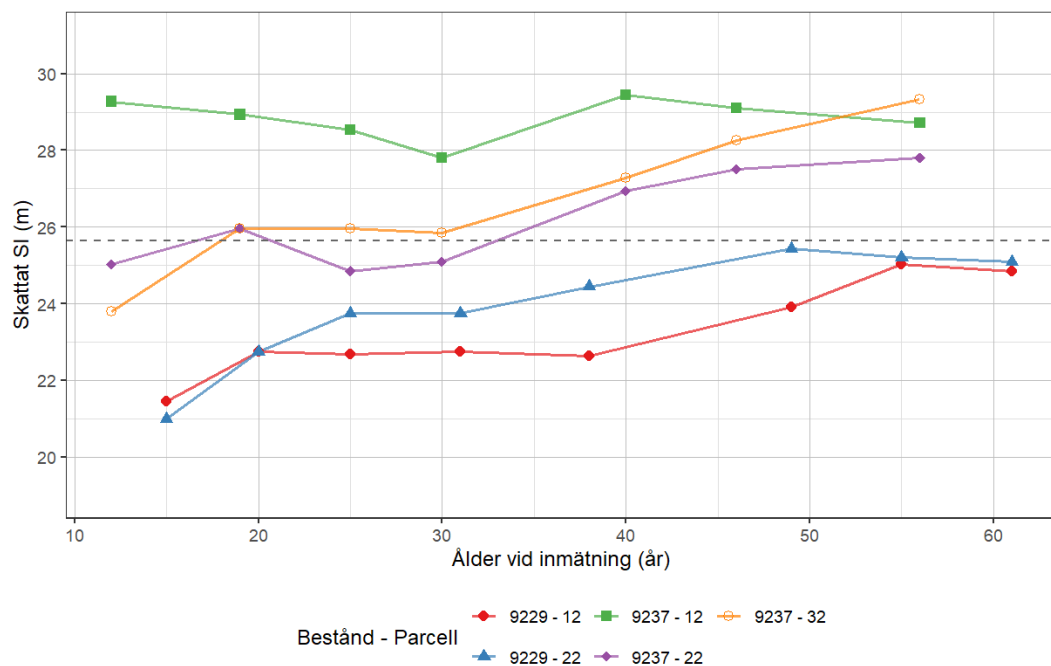
3.4 Gran: åldersberoende avvikelse i SI-skattning med Hägglund (1972, 1973)

För gran varierade det skattade SI inom enskilda avdelningar mellan 1,7 och 5,5 m över respektive mätperiod (Figur 9), vilket innebar den största spridningen av samtliga funktioner. Den minsta variationen återfanns i försök 928 med 1,7 m, medan den största på 5,5 m återfanns i försök 9237. I de äldre försöken 682, 907 och 928, med mätningar från ca 23–27 till 69–77 års ålder, låg variationen på 1,7–4,4 m. De yngre försöken 9229 och 9237, med mätningar från 12–15 års ålder, uppvisade en större variation på 3,6–5,5 m.



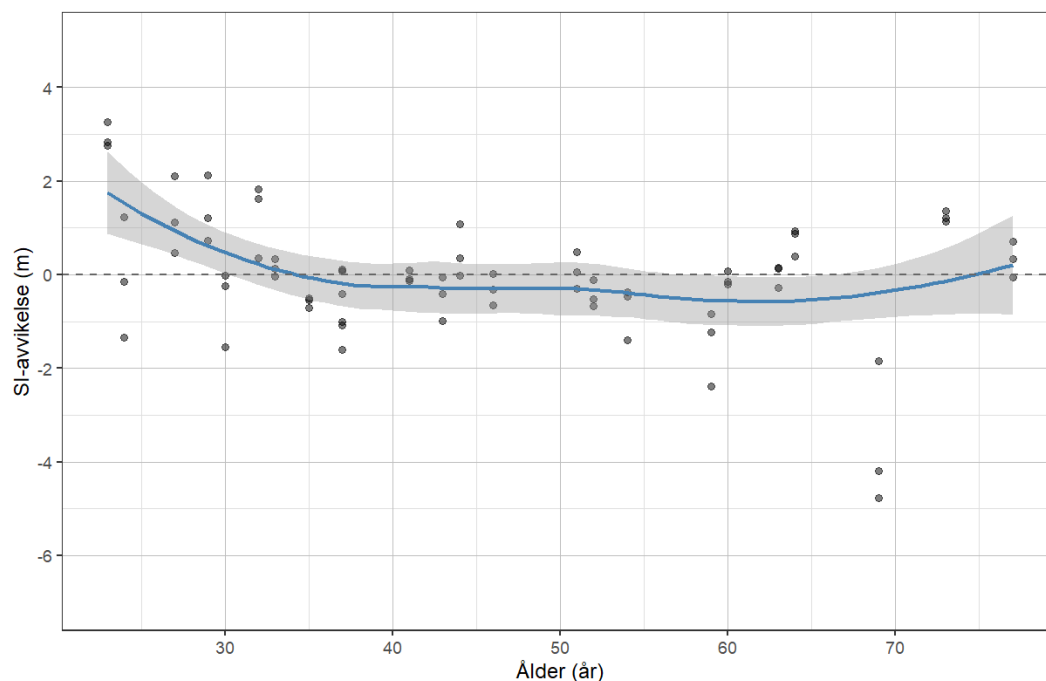
Figur 9. Skattat ståndortsindex (Hägglund 1973, södra Sverige) för gran. Varje linje representerar en avdelning och färg samt punktform anger bestånd och avdelning. Streckad linje visar medel-SI för samtliga avdelningar för gran i södra Sverige. Idealt ska SI vara konstant oberoende av ålder. SI = ståndortsindex.

För gran i norra Sverige ingår försök 9229 och 9237, där samtliga avdelningar erhållit behandling B (Figur 10). I försök 9229 representeras behandlingen av avdelning 12 och 22, och i försök 9237 av avdelning 12, 22 och 32. Det skattade SI för avdelningarna med gran i norra Sverige redovisas i Figur 10.



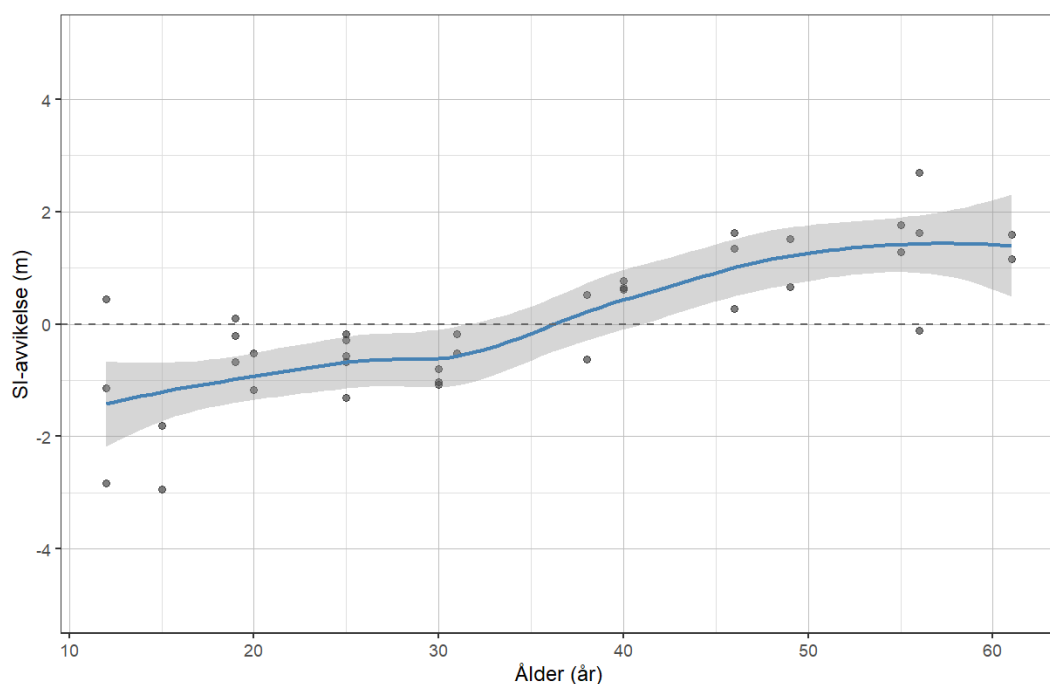
Figur 10. Skattat ståndortsindex (Hägglund 1972, norra Sverige) för gran. Varje linje representerar en avdelning och färg samt punktform anger bestånd och avdelning. Streckad linje visar medel-SI för samtliga avdelningar för gran i norra Sverige. Idealt ska SI vara konstant oberoende av ålder. SI = ståndortsindex.

För gran i södra Sverige är avvikelsemönstret svagare men liknar det norra (Figur 11). Vid låga åldrar (under 25 år) överskattades SI med i genomsnitt 0,62 m, varefter avvikelsen var nära noll i medelåldern (-0,02 m vid 25–40 år och -0,18 m vid 40–60 år). Vid de högsta representerade åldrarna indikerade analysen en svag uppgång mot noll (+0,10 m), dock med brett konfidensintervall till följd av få observationer. Det dominerande mönstret är en måttlig överskattning vid unga åldrar och en svag underskattning i medelåldern.



Figur 11. SI-avvikelse från avdelningens medelvärde för gran i relation till beståndets ålder vid mätillfället (Hägglund 1973, södra Sverige). Varje punkt representerar en enskild revision. Den blå kurvan visar ett utjämnat medelvärde (LOESS, span = 0,75) med 95-procentigt konfidensintervall. Positivt värde indikerar överskattning och negativt värde indikerar underskattning av SI relativt avdelningens medelvärde över samtliga revisioner. SI = ståndortsindex. LOESS = locally estimated scatterplot smoothing

För gran i norra Sverige visade avvikelseanalysen ett tydligt åldersberoende mönster (Figur 12). Vid låga åldrar (under 25 år) överskattades SI med i genomsnitt 0,75 m, varefter funktionen konsekvent underskattade SI genom medelåldern och vid högre åldrar, med avvikelser på -0,56 m (25–40 år), -0,43 m (40–60 år) och -0,67 m (över 60 år). Det dominerande mönstret är således en överskattning vid unga åldrar följt av en tilltagande underskattning, vilket antyder att funktionens form inte helt stämmer överens med den faktiska höjdtvecklingen i dessa granbestånd. Konfidensintervallet är brett vid höga åldrar till följd av få observationer.



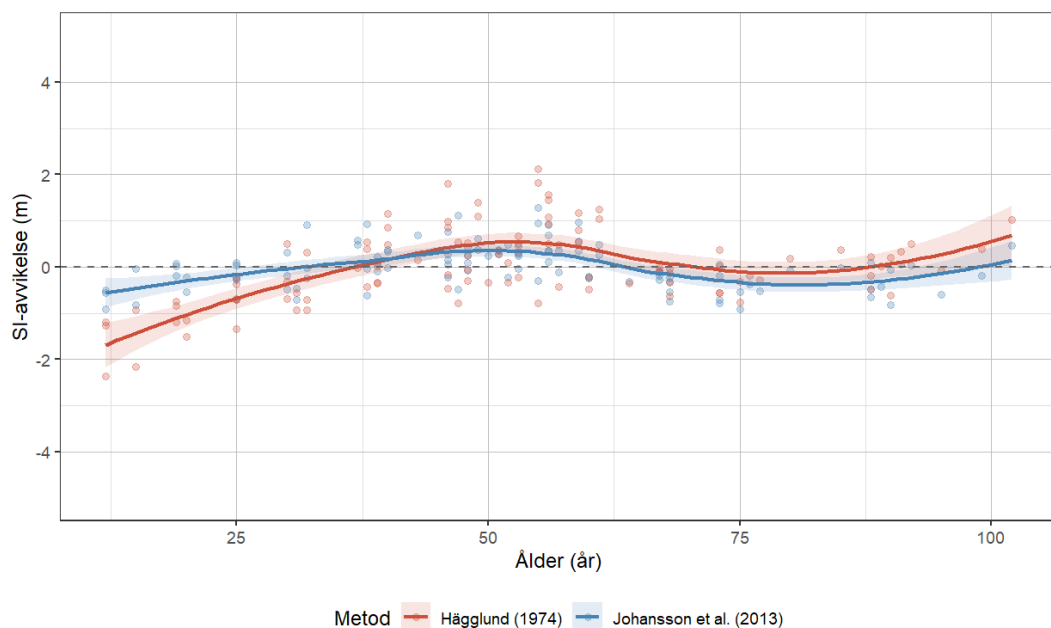
Figur 12. SI-avvikelse från avdelningens medelvärde för gran i relation till beståndets ålder vid mätillfället (Hägglund 1972, norra Sverige). Varje punkt representerar en enskild revision. Den blå kurvan visar ett utjämnat medelvärde (LOESS, span = 0,75) med 95-procentigt konfidsintervall. Positivt värde indikerar överskattning och negativt värde indikerar underskattning av SI relativt till avdelningens medelvärde över samtliga revisioner. SI = ståndortsindex. LOESS = locally estimated scatterplot smoothing

På avdelning 682, 9229 och 9237 kan man se att skattningen av ståndortsindex ökade med ökad ålder (Bilaga 4, Tabell 5; Tabell 7; Tabell 8). För avdelning 682 och 9229 fanns enstaka skattningar som gick emot den stigande trenden, men över alla skattningar är mönstret ändå tydligt (Bilaga 4, Tabell 5; Tabell 7).

3.5 Jämförelse av SI-skattningarnas åldersberoende mellan funktionerna

3.5.1 Jämförelse för tall: Hägglund (1974) mot Johansson et al. (2013)

För tall var Johansson et al. (2013) den stabilaste av de två funktionerna över åldersspannet, medan Hägglund (1974) uppvisade en tydligare åldersberoende variation, framför allt i unga bestånd (Figur 13). Hägglund (1974) underskattade SI kraftigt vid låga åldrar, med ett medelvärde på -1,12 m för bestånd under 25 år, och övergick därefter i en svag överskattning i medelåldern (0,13 m vid 25–50 år och 0,28 m vid 50–75 år) för att återgå mot noll vid höga åldrar (0,09 m över 75 år). Johansson et al. (2013) låg nära noll genom hela åldersintervallet, med en svag underskattning både vid låga åldrar (-0,32 m under 25 år) och vid höga åldrar (-0,24 m över 75 år).

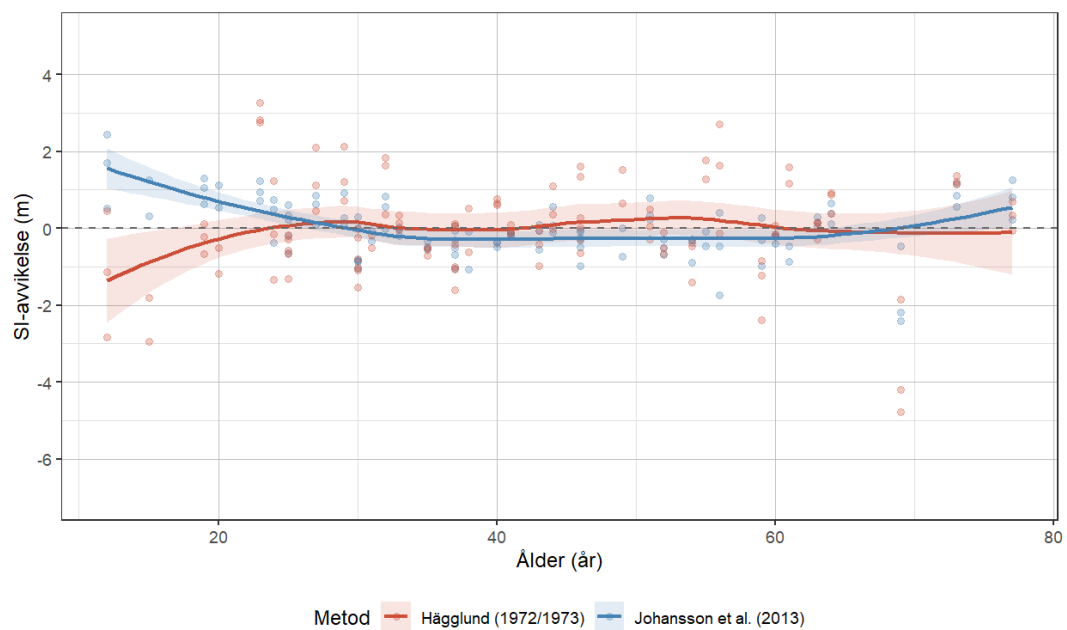


Figur 13. SI-avvikelse från avdelningens medelvärde för tall, beräknad med Johansson et al. (2013) och Hägglund (1974). Varje punkt representerar en enskild revision. Kurvorna visar LOESS-anpassning (span = 0,75) med 95-procentigt konfidensintervall. Den streckade linjen markerar nollavvikelse. SI = ståndortsindex. LOESS = locally estimated scatterplot smoothing

För tall framgår av tabellerna (Bilaga 5) att differensen mellan skattningar av ståndortsindex av Hägglunds funktioner och Johanssons funktioner minskade med ökad ålder. Detta framgår i de flesta avdelningars tabeller i kolumnen “Diff, Hägglund-Johansson”. På avdelning 629 och 9237 kunde inget sådant mönster uppvisas (Bilaga 5, Tabell 14; Tabell 15).

3.5.2 Jämförelse för gran: Hägglund (1972, 1973) mot Johansson et al. (2013)

För gran var mönstret omvänt jämfört med tall, med Hägglund (1972, 1973) som den stabilaste funktionen och Johansson et al. (2013) som den med tydligast åldersberoende variation (Figur 14). Johansson et al. (2013) överskattade SI vid låga åldrar, med ett medelvärde på 0,71 m för bestånd under 25 år, och övergick därefter i en svag underskattning i medelåldern (-0,18 m vid 25–40 år och -0,25 m vid 40–60 år) för att återgå mot noll vid höga åldrar (0,01 m över 60 år). Hägglund (1972, 1973) låg nära noll genom hela åldersintervallet, med en svag underskattning vid låga åldrar (-0,25 m under 25 år) och marginella avvikelser i övriga åldersgrupper.



Figur 14. SI-avvikelse från avdelningens medelvärde för gran, beräknad med Johansson et al. (2013) och Hägglund (1972/1973). Norra och södra funktionen för Hägglund redovisas tillsammans. Varje punkt representerar en enskild revision. Kurvorna visar LOESS-anpassning (span = 0,75) med 95-procentigt konfidensintervall. Den streckade linjen markerar nollavvikelse. För gran var det inte lika tydligt hur skattningen skiljer sig mellan Hägglunds och Johanssons funktioner enligt tabellerna i Bilaga 4. På två av avdelningarna, avdelning 907 (Bilaga 4, Tabell 8) och 928 (Bilaga 4, Tabell 5) kunde man se att differensen mellan skattningarna minskade med ökad ålder, men i de övriga avdelningarna kunde inget sådant mönster utläsas. SI = ståndortsindex. LOESS = locally estimated scatterplot smoothing

4. Diskussion

4.1 Huvudresultat

Vilken höjdtutvecklingsfunktion som gav den jämnaste skattningen av ståndortsindex skilde sig mellan trädslagen. För tall gav Johansson et al. (2013) avvikelser nära noll genom hela åldersintervallet, medan Hägglund (1974) underskattade SI kraftigt i unga bestånd. För gran var förhållandet det omvända; här gav Hägglunds funktioner (1972; 1973) den bästa skattningen, medan Johansson et al. (2013) överskattade SI i unga bestånd (Figur 14). Ingen av funktionerna gav alltså den bästa skattningen för båda trädslagen.

Skillnaderna var som störst i de unga bestånden. För tall underskattade Hägglund (1974) SI med i genomsnitt -1,12 m för bestånd under 25 år, medan Johansson et al. (2013) låg betydligt närmare noll (-0,32 m). För gran överskattade Johansson et al. (2013) SI med i genomsnitt 0,71 m under 25 år, medan Hägglunds funktioner avvek med endast -0,25 m.

Tabell 4. Sammanfattning av hur de jämförda höjdtutvecklingsfunktionerna skattade ståndortsindex (SI) i förhållande till beståndsåldern, redovisad per funktion och trädslag.

Funktion	Trädslag	Beskrivning av funktionens beteende
Johansson et al. (2013)	Tall	S-format åldersberoende: underskattade SI i unga bestånd (under ca 35 år), överskattade i medelåldern och underskattade åter vid höga åldrar
Johansson et al. (2013)	Gran	Kraftig överskattning i unga bestånd (under ca 25 år) som avtog och övergick i svag underskattning i medelåldern
Hägglund (1974)	Tall	Liknande S-format mönster som Johansson et al. (2013) men med kraftigare utslag; underskattade SI med ner mot -1 m i unga bestånd
Hägglund (1972, 1973)	Gran	Minst åldersberoende av samtliga funktioner i söder; i norr, överskattning i unga bestånd som övergick i tilltagande underskattning

4.2 Jämförelse med befintlig kunskap

Resultaten bekräftar den kända problematiken med Hägglunds kurvor i unga bestånd (Lundmark & Hägglund 1977), men för tall är mönstret omvänt mot vad som tidigare beskrivits – underskattning snarare än överskattning i unga åldrar. Att problematiken bekräftas är förväntat eftersom tillämpningsområdet för Hägglunds kurvor är 30–140 år för gran och 30–150 år för tall (Lundmark & Hägglund 2021).

Johansson et al. (2013) är mer konsekvent i skattning av ståndortsindex (SI) jämfört med Hägglund, men överskattningsproblemet kvarstår för gran vid låga

åldrar. Anledningen till att dessa nya kurvor togs fram var för att göra skattningen säkrare och mer förfinad (Johansson et al. 2013). Att resultatet således visar att Johansson et al. (2013) funktioner är mer konsekventa i skattning av SI är som förväntat. Ser man till skattningsproblematiken i unga bestånd så borde skattningen av SI varit bättre för funktionerna av Johansson et al. (2013) då tillämpningsområdet för gran är satt mellan 10–80 år. En orsak till att detta inte var fallet i denna studie kan bero på att datamaterialet inte varit normalslutet (Johansson 2013).

4.3 Förklaring av ny kunskap

Det åldersberoende avvikelsemönstret för tall innebär att Häggglunds (1974) funktion inte avviker slumpmässigt utan systematiskt med åldern, vilket pekar på att kurvformen inte helt motsvarar den faktiska höjdutvecklingen i dessa bestånd. Den tydligaste avvikelserna finns i de unga bestånden, där SI underskattas med i genomsnitt drygt en meter. Detta beror på att kurvan i ungdomsfasen stiger brantare än den höjdutveckling som observeras i materialet: funktionen förutsätter att ett bestånd vid en given låg ålder ska ha nått en viss höjd, och när den uppmätta höjden är lägre än så tolkas beståndet som mindre produktivt än det är och tilldelas ett för lågt SI. När bestånden passerar ungefär 30 år försvinner underskattningen, och i medelåldern (ca 40–60 år) övergår avvikelserna i en svag överskattning. Mot de högsta åldrarna planar mönstret ut nära noll med en svag uppgång, om än med ökande osäkerhet till följd av få observationer och brett konfidensintervall.

Att avvikelserna är som störst och mest systematiska i de unga bestånden, men nära noll i medelåldern, förklaras av att funktionens tillämpningsområde börjar först vid 30 år (Häggglund & Lundmark 2021). Under denna gräns saknar funktionen stöd i det data den anpassats till, och den måste därför extrapolera, vilket förstärker formfelet just där behovet av en tidig SI-skattning är som störst.

4.4 Styrkor och svagheter

Vår studies främsta styrka var det långa åldersspannet med upprepade mätningar på samma avdelningar. Eftersom varje avdelning har inventerats vid flera tillfällen över en lång period kunde SI-skattningens konsekventhet utvärderas vid olika åldrar inom ett och samma bestånd, utan att skillnader mellan ståndorter störde jämförelsen. Detta gav ett robust underlag för att urskilja systematiska åldersberoende mönster i funktionernas skattningar, vilket hade varit svårt med enstaka mätningar från olika bestånd. En ytterligare styrka med vår studie var att den är lätt att reproducera, eftersom de fullständiga R-skripten redovisas i sin helhet i bilagorna. Därmed kan skattningarna granskas i detalj och jämförelsen upprepas och kontrolleras av andra.

En svaghet var att brösthöjdsåldern för Häggglunds funktioner inte mättes direkt utan approximerades som totalålder minus åtta år. Det verkliga antalet år för ett träd att nå brösthöjd varierar med ståndort och föryngringsförhållanden, vilket innebär att den antagna brösthöjdsåldern medförde en viss osäkerhet i skattningarna. Denna osäkerhet var störst i unga bestånd, där ett fast åldersavdrag får proportionellt större betydelse.

En ytterligare svaghet var att de jämförda funktionerna utgick från olika åldersbegrepp. Johansson et al. (2013) baseras på totalålder medan Hägglunds funktioner baseras på brösthöjdsålder, vilket försvårade en direkt jämförelse mellan funktionerna. Skillnaden i åldersdefinition bör därför hållas i åtanke vid tolkningen av de observerade avvikelsemönstren, särskilt vid unga åldrar där åldersbegreppen skiljer sig mest.

4.5 Rekommendationer

Två av tio ingående bestånd når referensåldern H100, som i fallet av ståndortsskattning med valda funktioner (Hägglund 1972, 1973, 1974; Johansson et al. 2013) är den åldern man skattar höjden till. Detta gör det svårt att bedöma träffsäkerheten direkt, eftersom det är få av våra bestånd som når referensåldern och vi får få facit att jämföra mot. Framtida studier borde inkludera bestånd som passerat referensåldern för ett tydligare facit.

Vid praktisk bonitering bör resultaten tolkas som att valet av höjdutvecklingsfunktion har störst betydelse i unga bestånd, där avvikelserna är som störst. För skogsbruket innebär det att en SI-skattning gjord i ett ungt bestånd (under ca 25–35 år) bör betraktas som preliminär och gärna kontrolleras med en ny inmätning närmare referensåldern innan den läggs till grund för långsiktiga beslut om skötsel eller värdering. I äldre bestånd, där funktionerna ger mer samstämmiga skattningar, kan resultaten användas med större säkerhet oavsett vilken av funktionerna som väljs

Framtida studier bör komplettera med statistisk signifikanstestning av de observerade mönstren, exempelvis med polynomisk regression med ålder som prediktor för SI-avvikelsen. Polynomisk regression är en utvidgning av linjär regression där ålder läggs in inte bara som en rak term utan även i högre ordning (ålder i kvadrat, i kubik och så vidare). Det gör att modellen kan beskriva ett kurvat samband, till exempel den böjda form som avvikelsen mot åldern uppvisar i denna studie, i stället för enbart en rät linje. Genom att testa om de kurvade termerna är statistiskt säkerställda kan man avgöra om de åldersberoende mönster vi observerat är verkliga eller om de lika gärna kan bero på slumpen.

Vid skattningar av ståndortsindex med någon utav dessa funktioner bör försiktighet vidtas då man använder de på unga bestånd, under 25–35 år. Oavsett vilken av funktionerna man väljer. Samtidigt är det viktigt att man förstår anvisningarna och tillämpar dem där förhållandena är rätt (Johansson 2013; Lundmark & Hägglund 2021).

4.6 Slutsatser

Utifrån våra resultat kan följande slutsatser dras:

- För gran uppvisade Hägglunds funktion för södra Sverige (1973) den minsta systematiska avvikelsen i det studerade materialet, medan Johansson et al. (2013) generellt gav mer konsekventa skattningar än Hägglunds funktioner (1973, 1974). Trots detta kvarstod ett åldersberoende mönster för båda trädslagen och samtliga funktioner.

- Varken Johansson et al. (2013) eller Hägglunds funktioner (1972, 1973, 1974) gav en helt åldersrobust skattning av ståndortsindex i de studerade bestånden. Skattningar gjorda i unga bestånd, under cirka 25–35 år, bör därför tolkas med försiktighet oavsett vilken funktion som används.
- Valet av höjdutvecklingsfunktion har störst praktisk betydelse i unga bestånd, där avvikelserna också var som störst, medan funktionerna gav mer samstämmiga skattningar och kan användas med större säkerhet i äldre bestånd.

Referenser

- Biging G, (1985). Improved Estimates of Site Index Curves Using a Varying-Parameter Model. *Forest Science* 31(1): 248–259
<https://doi.org/10.1093/forestscience/31.1.248>
- Cieszewski, C., Bailey, R., (2000) Generalized Algebraic Difference Approach: Theory Based Derivation of Dynamic Site Equations with Polymorphism and Variable Asymptotes. *Forest Science* 46: 116–126,
<https://doi.org/10.1093/forestscience/46.1.116>
- Elfving, B. & Kiviste, A. (1997). Construction of site index equations for *Pinus sylvestris* L. using permanent plot data in Sweden. *Forest Ecology and Management* 98: 125–134. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00077-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00077-7)
- Elfving, B. & Tegnhammar, K. (1996). Performance of *Pinus contorta* in relation to site index and climate in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 11(1–4): 87–96. <https://doi.org/10.1080/02827589609382914>
- Enheten för skoglig fältforskning (2007). *GG 682 Lungsund*. Sveriges lantbruksuniversitet. <https://www.silvaboreal.com/?p=trial&id=682> [Hämtad 2026-05-06]
- Goelz, J.C. & Burk, T.E. (1992). Development of a well-behaved site index equation: jack pine in north central Ontario. *Canadian Journal of Forest Research* 22(6): 776–784. <https://doi.org/10.1139/x95-204>
- Heger, L. (1969). Site-index curve shape in Spruce. *The Forestry Chronicle* 45(3): 184–186. <https://doi.org/10.5558/tfc45184-3>
- Hägglund, B. (1972). *Om övre höjdens utveckling för gran i norra Sverige*. (Rapporter och uppsatser 21). Institutionen för skogsproduktion, Skogshögskolan.
- Hägglund, B. (1973). *Om övre höjdens utveckling för gran i södra Sverige*. (Rapporter och uppsatser 24). Institutionen för skogsproduktion, Skogshögskolan.
- Hägglund, B. (1974). *Övre höjdens utveckling i tallbestånd*. (Rapporter och uppsatser 31). Institutionen för skogsproduktion, Skogshögskolan.
- Hägglund, B. & Lundmark, J-E. (2021). *Bonitering av skogsmark: anvisningar, diagram och tabeller*. Skogsstyrelsen.
- Johansson, T. (1996). Site index curves for Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) planted on abandoned farmland. *New Forests* 11: 9–29.
<https://doi.org/10.1007/BF00034890>

Johansson, U., Ekö, P.M., Elfving, B., Johansson, T., Nilsson, U. (2013). Nya höjdtutvecklingskurvor för bonitering. *Fakta skog*. [Faktablad]. Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Fakulteten för skogsvetenskap.
<https://res.slu.se/id/publ/53068>

Lundmark, J.-E. & Häggglund, B. (1977). *Skattning av höjdboniteten med ståndortsfaktorer: tall och gran i Sverige*. (Studia Forestalia Suecica 138). Stockholm: Skogshögskolan.

Sharma, M., Amateis, R., Burkhart, H. (2002). Top height definition and its effect on site index determination in thinned and unthinned loblolly pine plantations, *Forest Ecology and Management* 168(1–3):163-175.
[https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00737-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00737-X)

Sharma, R., Brunner, A., Eid, T., Øyen, B.-H. (2011). Modelling dominant height growth from national forest inventory individual tree data with short time series and large age errors. *Forest Ecology and Management* 262(12): 2162-2175.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.07.037>

Skovsgaard, J.A. & Vanclay, J.K. (2008). Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. *Forestry* 81(1): 13–31.
<https://doi.org/10.1093/forestry/cpm041>

Bilagor

Bilaga 1: R-script för SI-beräkning med Johansson et al. (2013)

Nedanstående script är skrivet i R och används för att beräkna ståndortsindex (SI) med Johansson et al. (2013) för tall och gran. Johansson et al. (2013) använder en och samma funktion för hela Sverige för respektive trädslag. Scriptet förutsätter att datafiler med namnmönstret statistics.test.txt finns i arbetskatalogen. Avsnittsrubriker markerade i grönt.

```
# =====
# =====

library(tidyverse)
library(ggplot2)

# =====
#  DEL 1 - SI-FUNKTIONER (Johansson et al. 2013)
#  =====

SI_tall <- function(alder, HtOH) {
  asi = 25; beta = 7395.6; b2 = -1.7829
  d <- beta * asi^b2
  r <- ((HtOH - d)^2 + 4 * beta * HtOH * alder^b2)^0.5
  (HtOH + d + r) / (2 + (4 * beta * 100^b2) / (HtOH - d + r))
}

SI_gran <- function(alder, HtOH) {
  asi = 10; beta = 1495.3; b2 = -1.5978
  d <- beta * asi^b2
  r <- ((HtOH - d)^2 + 4 * beta * HtOH * (alder - 3)^b2)^0.5
  (HtOH + d + r) / (2 + (4 * beta * 97^b2) / (HtOH - d + r))
}

# =====
#  DEL 2 - LÄS IN DATA
#  =====

datafiler <- list.files(
  path = ".",
  pattern = "statistics\\.test\\.txt$",
  full.names = TRUE
)
if (length(datafiler) == 0) stop("Inga datafiler hittades.")

las_fil <- function(fil) {
  read.delim(fil, sep = "\t", dec = ",", header = TRUE,
    fileEncoding = "latin1", stringsAsFactors = FALSE)
}
data_raa <- map_dfr(datafiler, las_fil)

# =====
#  DEL 3 - URVAL OCH DATAFÖRBEREDELSE
#  =====

avd_urval <- tribble(
  ~bestand, ~parcell, ~trädslag_txt, ~behandling,
  9229, 11, "Tall", "B",
  9229, 21, "Tall", "B",
  9229, 12, "Gran", "B",
  9229, 22, "Gran", "B",
  9237, 11, "Tall", "B",
  9237, 21, "Tall", "B",
  9237, 31, "Tall", "B",
  9237, 12, "Gran", "B",
  9237, 22, "Gran", "B",
)
```

```

9237, 32, "Gran", "B",
9297, 10, "Contorta", NA_character_,
9297, 16, "Contorta", NA_character_,
933, 4, "Tall", "H",
933, 7, "Tall", "B",
933, 8, "Tall", "C",
902, 8, "Tall", "B",
902, 5, "Tall", "C",
902, 1, "Tall", "H",
930, 4, "Tall", "B",
930, 7, "Tall", "C",
930, 3, "Tall", "H",
682, 4, "Gran", "B",
682, 5, "Gran", "C",
682, 8, "Gran", "H",
907, 1, "Gran", "C",
907, 4, "Gran", "B",
907, 5, "Gran", "H",
928, 4, "Gran", "B",
928, 5, "Gran", "H",
928, 8, "Gran", "C"
)

data <- data_raa %>%
  rename(
    bestand = yta, parcell = avd, revision = rev,
    matat = ar, alder = alder, OH = HtOH,
    grundyta = HtGprod, volym = HtVprod
  ) %>%
  mutate(bestand = as.numeric(bestand), parcell = as.numeric(parcell)) %>%
  inner_join(avd_urval, by = c("bestand", "parcell")) %>%
  filter(OH > 0, alder > 0) %>%
  mutate(
    bestand_parcell = paste0(bestand, "-", parcell),
    bp_label = paste0(bestand, "- ", parcell)
  )

# =====
# DEL 4 - BERÄKNA SI
# =====

data <- data %>%
  rowwise() %>%
  mutate(
    SI_Johansson = case_when(
      tradslag_txt == "Tall" ~ SItall(alder, OH),
      tradslag_txt == "Gran" ~ SIgran(alder, OH),
      tradslag_txt == "Contorta" ~ SItall(alder, OH),
      TRUE ~ NA_real_
    )
  ) %>%
  ungroup()

# =====
# DEL 5 - HJÄLPFUNKTIONER FÖR FIGURER
# =====

bygg_estetik <- function(df_filtrerat) {
  etiketter <- sort(unique(df_filtrerat$bp_label))
  n <- length(etiketter)
  former_pool <- c(16, 17, 15, 18, 1, 2, 0, 5, 8, 4, 3, 7, 9)
  farger_pool <- c(
    "#E41A1C", "#377EB8", "#4DAF4A", "#984EA3", "#FF7F00",
    "#A65628", "#F781BF", "#999999", "#66C2A5", "#FC8D62",
    "#8DA0CB", "#E78AC3", "#A6D854", "#FFD92F", "#B3B3B3",
    "#1B9E77", "#D95F02", "#7570B3", "#E7298A", "#66A61E"
  )
  list(
    etiketter = etiketter,
    former = setNames(former_pool[seq_len(n)], etiketter),
    farger = setNames(farger_pool[seq_len(n)], etiketter)
  )
}

y_skala <- function(data_col, extra_pad = 1) {
  lo <- floor(min(data_col, na.rm = TRUE))
  hi <- ceiling(max(data_col, na.rm = TRUE))
  lo_even <- if (lo %% 2 == 0) lo else lo - 1

```

```

hi_even <- if (hi %% 2 == 0) hi else hi + 1
list(
  breaks_major = seq(lo_even, hi_even, by = 2),
  breaks_minor = seq(lo_even, hi_even, by = 1),
  limits = c(lo_even - extra_pad, hi_even + extra_pad)
)
}

# =====
# DEL 6 - FIGURER
# =====

# Figur 1: Skattat SI - Tall
df1 <- data %>% filter(tradslag_txt == "Tall", !is.na(SI_Johansson))
if (nrow(df1) > 0) {
  es1 <- bygg_estetik(df1); ys1 <- y_skala(df1$SI_Johansson)
  fig1 <- ggplot(df1, aes(x = alder, y = SI_Johansson,
    color = bp_label, shape = bp_label, group = bestand_parcell)) +
    geom_line(alpha = 0.7, linewidth = 0.8) + geom_point(size = 2.5) +
    geom_hline(yintercept = mean(df1$SI_Johansson, na.rm = TRUE),
      linetype = "dashed", color = "grey40") +
    scale_color_manual(values = es1$farger, name = "Bestand - Parcell") +
    scale_shape_manual(values = es1$former, name = "Bestand - Parcell") +
    scale_y_continuous(breaks = ys1$breaks_major, minor_breaks = ys1$breaks_minor,
      limits = ys1$limits) +
    labs(title = "Skattat SI (Johansson et al. 2013) - Tall",
      x = "Alder vid inmatning (ar)", y = "Skattat SI (m)") +
    theme_bw(base_size = 12) +
    theme(legend.position = "bottom",
      panel.grid.minor = element_line(color = "grey88", linewidth = 0.3),
      panel.grid.major = element_line(color = "grey75", linewidth = 0.4)) +
    guides(color = guide_legend(nrow = 3), shape = guide_legend(nrow = 3))
  print(fig1)
}

# Figur 2: Skattat SI - Gran (hela Sverige)
df2 <- data %>% filter(tradslag_txt == "Gran", !is.na(SI_Johansson))
if (nrow(df2) > 0) {
  es2 <- bygg_estetik(df2); ys2 <- y_skala(df2$SI_Johansson)
  fig2 <- ggplot(df2, aes(x = alder, y = SI_Johansson,
    color = bp_label, shape = bp_label, group = bestand_parcell)) +
    geom_line(alpha = 0.7, linewidth = 0.8) + geom_point(size = 2.5) +
    geom_hline(yintercept = mean(df2$SI_Johansson, na.rm = TRUE),
      linetype = "dashed", color = "grey40") +
    scale_color_manual(values = es2$farger, name = "Bestand - Parcell") +
    scale_shape_manual(values = es2$former, name = "Bestand - Parcell") +
    scale_y_continuous(breaks = ys2$breaks_major, minor_breaks = ys2$breaks_minor,
      limits = ys2$limits) +
    labs(title = "Skattat SI (Johansson et al. 2013) - Gran",
      x = "Alder vid inmatning (ar)", y = "Skattat SI (m)") +
    theme_bw(base_size = 12) +
    theme(legend.position = "bottom",
      panel.grid.minor = element_line(color = "grey88", linewidth = 0.3),
      panel.grid.major = element_line(color = "grey75", linewidth = 0.4)) +
    guides(color = guide_legend(nrow = 3), shape = guide_legend(nrow = 3))
  print(fig2)
}

# =====
# DEL 7 - SI-AVVIKELSE FRÅN PARCELLMEDELVÄRDE
# =====

avvikelse_tall <- data %>%
  filter(tradslag_txt == "Tall", !is.na(SI_Johansson)) %>%
  group_by(bestand_parcell) %>%
  mutate(SI_medel_parcell = mean(SI_Johansson, na.rm = TRUE)) %>%
  ungroup() %>%
  mutate(SI_avvikelse = SI_Johansson - SI_medel_parcell)

avvikelse_gran <- data %>%
  filter(tradslag_txt == "Gran", !is.na(SI_Johansson)) %>%
  group_by(bestand_parcell) %>%
  mutate(SI_medel_parcell = mean(SI_Johansson, na.rm = TRUE)) %>%
  ungroup() %>%
  mutate(SI_avvikelse = SI_Johansson - SI_medel_parcell)

# Figur 3: SI-avvikelse - Tall
if (nrow(avvikelse_tall) > 0) {

```

```

ys3 <- y_skala(avvikelse_tall$SI_avvikelse)
fig3 <- ggplot(avvikelse_tall, aes(x = alder, y = SI_avvikelse)) +
  geom_point(alpha = 0.5) +
  geom_smooth(method = "loess", span = 0.75, se = TRUE, color = "steelblue") +
  geom_hline(yintercept = 0, linetype = "dashed", color = "grey40") +
  scale_y_continuous(breaks = ys3$breaks_major, minor_breaks = ys3$breaks_minor,
    limits = ys3$limits) +
  labs(title = "SI-avvikelse fran parcellmedelvarde (Johansson et al. 2013) -
Tall",
    x = "Alder (ar)", y = "SI-avvikelse (m)") +
  theme_bw(base_size = 12) +
  theme(panel.grid.minor = element_line(color = "grey88", linewidth = 0.3),
    panel.grid.major = element_line(color = "grey75", linewidth = 0.4))
print(fig3)
}

# Figur 4: SI-avvikelse - Gran
if (nrow(avvikelse_gran) > 0) {
  ys4 <- y_skala(avvikelse_gran$SI_avvikelse)
  fig4 <- ggplot(avvikelse_gran, aes(x = alder, y = SI_avvikelse)) +
    geom_point(alpha = 0.5) +
    geom_smooth(method = "loess", span = 0.75, se = TRUE, color = "steelblue") +
    geom_hline(yintercept = 0, linetype = "dashed", color = "grey40") +
    scale_y_continuous(breaks = ys4$breaks_major, minor_breaks = ys4$breaks_minor,
      limits = ys4$limits) +
    labs(title = "SI-avvikelse fran parcellmedelvarde (Johansson et al. 2013) -
Gran",
      x = "Alder (ar)", y = "SI-avvikelse (m)") +
    theme_bw(base_size = 12) +
    theme(panel.grid.minor = element_line(color = "grey88", linewidth = 0.3),
      panel.grid.major = element_line(color = "grey75", linewidth = 0.4))
print(fig4)
}

```

Bilaga 2: R-script för SI-beräkning med Häggglunds höjdtutvecklingsfunktioner

Nedanstående script är skrivet i R och används för att beräkna ståndortsindex (SI) med Häggglunds höjdtutvecklingsfunktioner (1972, 1973, 1974) för gran och tall. Funktionerna är direkt översatta från originalimplementationen i Visual Basic (Bilaga 3). För gran tillämpas norra funktionen på försöksytorna i Siljansfors (bestånd 9229 och 9237, latitud >60°N) och södra funktionen på övriga försöksytor (bestånd 682, 907 och 928, latitud <60°N). Scriptet förutsätter att datafiler med namnmönstret statistics.test.txt finns i arbetskatalogen. Avsnittsrubriker markerade i grönt.

```
# =====
# =====

library(tidyverse)
library(ggplot2)

# =====
# DEL 1 - HJALPFUNKTION
# =====

XY <- function(x, y) exp(log(x) * y)

# =====
# DEL 2 - INTERNA PARAMETERFUNKTIONER (arbetar i decimeter)
# =====

BONS <- function(oh_dm, brhald) {
  a11 <- 10; a12 <- 600; a13 <- 600; dif <- -1
  for (i in 1:100) {
    if (dif < 0.00001) { a12 <- a13 } else { a11 <- a13 }
    a13 <- (a11 + a12) / 2.0
    a2 <- 1.0075 * a13
    rm <- 0.066074 + 4.4189 * XY(10, 5) / XY(a13, 2.9134)
    rk <- 1.0002 / 10000 + XY(a13, 1.3755) * 9.5953 / XY(10, 6)
    if (rm > 0.95) rm <- 0.95
    rm2 <- 1.0 / (1.0 - rm)
    if (rk < 0.0001) rk <- 0.0001
    dif <- oh_dm - a2 * XY(1.0 - exp(-brhald * rk), rm2)
    if (abs(a11 - a12) < 1.0) break
  }
  list(a2 = a2, rk = rk, rm2 = rm2)
}

BONIT <- function(oh13_dm, brhald, lat) {
  if (lat < 600 || lat > 670) {
    b <- 3.4501; c <- 0.77518; d <- -0.42579; e <- 1.33935
  } else {
    b <- 3.3816; c <- 0.77896; d <- -1.24207 + 0.0014629 * lat; e <- 1.25998
  }
  a11 <- 10; a12 <- 600; a13 <- 600; dif <- -1
  for (i in 1:100) {
    if (dif < 0.00001) { a12 <- a13 } else { a11 <- a13 }
    a13 <- (a11 + a12) / 2.0
    rk <- 0.001936 + 0.000041 * XY(a13, 1.0105)
    a2 <- b * XY(a13, c)
    rm2 <- d + e / (0.56721 + 0.000008 * XY(a13, 1.8008))
    dif <- oh13_dm - a2 * XY(1.0 - exp(-brhald * rk), rm2)
    if (abs(a11 - a12) < 1.0) break
  }
  list(a2 = a2, rk = rk, rm2 = rm2)
}

BONITS <- function(oh13_dm, brhald) {
  a11 <- 10; a12 <- 600; a13 <- 600; dif <- -1
  for (i in 1:100) {
    if (dif < 0.00001) { a12 <- a13 } else { a11 <- a13 }
    a13 <- (a11 + a12) / 2.0
    rk <- 0.042624 - 7.1145 / XY(a13, 1.0068)
    a2 <- 1.0017 * XY(a13, 0.99808)
    rm <- 0.15933 + 3.7 * XY(10, 6) / XY(a13, 3.156)
```

```

    if (rm > 0.95) rm <- 0.95
    rm2 <- 0.98822 / (1.0 - rm)
    if (rk < 0.0001) rk <- 0.0001
    dif <- oh13_dm - a2 * XY(1.0 - exp(-brhald * rk), rm2)
    if (abs(a11 - a12) < 1.0) break
  }
  list(a2 = a2, rk = rk, rm2 = rm2)
}

# =====
# DEL 3 - WRAPPER-FUNKTIONER (meter in, meter ut)
# =====

SIall_H <- function(alder, OH) {
  if (is.na(alder) || is.na(OH) || OH <= 0) return(NA_real_)
  oh13_dm <- OH * 10 - 13
  brhald <- alder - 8
  if (brhald <= 0) return(NA_real_)
  p <- tryCatch(BONS(oh13_dm, brhald), error = function(e) NULL)
  if (is.null(p)) return(NA_real_)
  h100_m <- (13 + p$a2 * XY(1.0 - exp((8 - 100) * p$rk), p$rm2)) / 10
  if (is.nan(h100_m) || is.infinite(h100_m) || h100_m < 5 || h100_m > 60)
  return(NA_real_)
  h100_m
}

SIgran_norr_H <- function(alder, OH, lat = 609) {
  if (is.na(alder) || is.na(OH) || OH <= 0) return(NA_real_)
  oh13_dm <- OH * 10 - 13
  brhald <- alder - 8
  if (brhald <= 0) return(NA_real_)
  p <- tryCatch(BONIT(oh13_dm, brhald, lat), error = function(e) NULL)
  if (is.null(p)) return(NA_real_)
  h100_m <- (13 + p$a2 * XY(1.0 - exp((8 - 100) * p$rk), p$rm2)) / 10
  if (is.nan(h100_m) || is.infinite(h100_m) || h100_m < 5 || h100_m > 60)
  return(NA_real_)
  h100_m
}

SIgran_syd_H <- function(alder, OH) {
  if (is.na(alder) || is.na(OH) || OH <= 0 || alder < 20) return(NA_real_)
  oh13_dm <- OH * 10 - 13
  brhald <- alder - 8
  if (brhald <= 0) return(NA_real_)
  p <- tryCatch(BONITS(oh13_dm, brhald), error = function(e) NULL)
  if (is.null(p)) return(NA_real_)
  h100_m <- (13 + p$a2 * XY(1.0 - exp((8 - 100) * p$rk), p$rm2)) / 10
  if (is.nan(h100_m) || is.infinite(h100_m) || h100_m < 5 || h100_m > 60)
  return(NA_real_)
  h100_m
}

# =====
# DEL 4 - LAS IN DATA
# =====

datafiler <- list.files(path = ".", pattern = "statistics\\.test\\.txt$", full.names
= TRUE)
if (length(datafiler) == 0) stop("Inga datafiler hittades.")

las_fil <- function(fil) {
  read.delim(fil, sep = "\t", dec = ",", header = TRUE,
    fileEncoding = "latin1", stringsAsFactors = FALSE)
}
data_raa <- map_dfr(datafiler, las_fil)

# =====
# DEL 5 - URVAL OCH DATAFÖRBEREDELSE
# =====

avd_urval <- tribble(
  ~bestand, ~parcell, ~tradslag_txt, ~behandling,
  9229, 11, "Tall", "B",
  9229, 21, "Tall", "B",
  9229, 12, "Gran", "B",
  9229, 22, "Gran", "B",
  9237, 11, "Tall", "B",

```

```

9237, 21, "Tall", "B",
9237, 31, "Tall", "B",
9237, 12, "Gran", "B",
9237, 22, "Gran", "B",
9237, 32, "Gran", "B",
933, 4, "Tall", "H",
933, 7, "Tall", "B",
933, 8, "Tall", "C",
902, 8, "Tall", "B",
902, 5, "Tall", "C",
902, 1, "Tall", "H",
930, 4, "Tall", "B",
930, 7, "Tall", "C",
930, 3, "Tall", "H",
682, 4, "Gran", "B",
682, 5, "Gran", "C",
682, 8, "Gran", "H",
907, 1, "Gran", "C",
907, 4, "Gran", "B",
907, 5, "Gran", "H",
928, 4, "Gran", "B",
928, 5, "Gran", "H",
928, 8, "Gran", "C"
)

data <- data_raa %>%
  rename(
    bestand = yta, parcell = avd, revision = rev,
    matat = ar, alder = alder, OH = HtOH,
    grundyta = HtGprod, volym = HtVprod
  ) %>%
  mutate(bestand = as.numeric(bestand), parcell = as.numeric(parcell)) %>%
  inner_join(avd_urval, by = c("bestand", "parcell")) %>%
  filter(OH > 0, alder > 0) %>%
  mutate(
    bestand_parcell = paste0(bestand, "_", parcell),
    bp_label = paste0(bestand, " - ", parcell),
    gran_region = case_when(
      tradslag_txt == "Gran" & bestand %in% c(9229, 9237) ~ "norra",
      tradslag_txt == "Gran" & bestand %in% c(682, 907, 928) ~ "sodra",
      TRUE ~ NA_character_
    )
  )

# =====
# DEL 6 - BERAKNA SI MED HAGGLUND
# =====

cat("Beraknar SI med Hagglund...\n")

data <- data %>%
  rowwise() %>%
  mutate(
    SI_Hagglund = case_when(
      tradslag_txt == "Tall" ~
    SITall_H(alder, OH),
      tradslag_txt == "Gran" & bestand %in% c(9229, 9237) ~
    SIgran_norr_H(alder, OH),
      tradslag_txt == "Gran" & bestand %in% c(682, 907, 928) ~
    SIgran_syd_H(alder, OH),
      TRUE ~ NA_real_
    )
  ) %>%
  ungroup()

cat("Klar!\n")

# =====
# DEL 7 - HJALPFUNKTIONER FOR FIGURER
# =====

bygg_estetik <- function(df_filtrerat) {
  etiketter <- sort(unique(df_filtrerat$bp_label))
  n <- length(etiketter)
  former_pool <- c(16, 17, 15, 18, 1, 2, 0, 5, 8, 4, 3, 7, 9)
  farger_pool <- c(
    "#E41A1C", "#377EB8", "#4DAF4A", "#984EA3", "#FF7F00",
    "#A65628", "#F781BF", "#999999", "#66C2A5", "#FC8D62",

```

```

      "#8DA0CB", "#E78AC3", "#A6D854", "#FFD92F", "#B3B3B3",
      "#1B9E77", "#D95F02", "#7570B3", "#E7298A", "#66A61E"
    )
    list(
      etiketter = etiketter,
      former    = setNames(former_pool[seq_len(n)], etiketter),
      farger     = setNames(farger_pool[seq_len(n)], etiketter)
    )
  }

y_skala <- function(data_col, extra_pad = 1) {
  lo <- floor(min(data_col, na.rm = TRUE))
  hi <- ceiling(max(data_col, na.rm = TRUE))
  lo_even <- if (lo %% 2 == 0) lo else lo - 1
  hi_even <- if (hi %% 2 == 0) hi else hi + 1
  list(
    breaks_major = seq(lo_even, hi_even, by = 2),
    breaks_minor = seq(lo_even, hi_even, by = 1),
    limits = c(lo_even - extra_pad, hi_even + extra_pad)
  )
}

# =====
# DEL 8 - FIGURER
# =====

# Figur 1: Skattat SI - Tall
df1 <- data %>% filter(tradslag_txt == "Tall", !is.na(SI_Hagglund))
if (nrow(df1) > 0) {
  es1 <- bygg_estetik(df1); ys1 <- y_skala(df1$SI_Hagglund)
  fig1 <- ggplot(df1, aes(x = alder, y = SI_Hagglund,
    color = bp_label, shape = bp_label, group =
bestand_parcell)) +
    geom_line(alpha = 0.7, linewidth = 0.8) + geom_point(size = 2.5) +
    geom_hline(yintercept = mean(df1$SI_Hagglund, na.rm = TRUE),
      linetype = "dashed", color = "grey40") +
    scale_color_manual(values = es1$farger, name = "Bestand - Parcell") +
    scale_shape_manual(values = es1$former, name = "Bestand - Parcell") +
    scale_y_continuous(breaks = ys1$breaks_major, minor_breaks = ys1$breaks_minor,
      limits = ys1$limits) +
    labs(title = "Skattat SI (Hagglund 1974) - Tall",
      x = "Alder vid inmatning (ar)", y = "Skattat SI (m)") +
    theme_bw(base_size = 12) +
    theme(legend.position = "bottom",
      panel.grid.minor = element_line(color = "grey88", linewidth = 0.3),
      panel.grid.major = element_line(color = "grey75", linewidth = 0.4)) +
    guides(color = guide_legend(nrow = 3), shape = guide_legend(nrow = 3))
  print(fig1)
}

# Figur 2: Skattat SI - Gran norra (9229, 9237)
df2n <- data %>% filter(gran_region == "norra", !is.na(SI_Hagglund))
if (nrow(df2n) > 0) {
  es2n <- bygg_estetik(df2n); ys2n <- y_skala(df2n$SI_Hagglund)
  fig2n <- ggplot(df2n, aes(x = alder, y = SI_Hagglund,
    color = bp_label, shape = bp_label, group =
bestand_parcell)) +
    geom_line(alpha = 0.7, linewidth = 0.8) + geom_point(size = 2.5) +
    geom_hline(yintercept = mean(df2n$SI_Hagglund, na.rm = TRUE),
      linetype = "dashed", color = "grey40") +
    scale_color_manual(values = es2n$farger, name = "Bestand - Parcell") +
    scale_shape_manual(values = es2n$former, name = "Bestand - Parcell") +
    scale_y_continuous(breaks = ys2n$breaks_major, minor_breaks =
ys2n$breaks_minor, limits = ys2n$limits) +
    labs(title = "Skattat SI (Hagglund 1972, norra Sverige) - Gran",
      x = "Alder vid inmatning (ar)", y = "Skattat SI (m)") +
    theme_bw(base_size = 12) +
    theme(legend.position = "bottom",
      panel.grid.minor = element_line(color = "grey88", linewidth = 0.3),
      panel.grid.major = element_line(color = "grey75", linewidth = 0.4)) +
    guides(color = guide_legend(nrow = 2), shape = guide_legend(nrow = 2))
  print(fig2n)
}

# Figur 3: Skattat SI - Gran sodra (682, 907, 928)
df2s <- data %>% filter(gran_region == "sodra", !is.na(SI_Hagglund))
if (nrow(df2s) > 0) {
  es2s <- bygg_estetik(df2s); ys2s <- y_skala(df2s$SI_Hagglund)
  fig2s <- ggplot(df2s, aes(x = alder, y = SI_Hagglund,

```

```

        color = bp_label, shape = bp_label, group =
bestand_parcell)) +
  geom_line(alpha = 0.7, linewidth = 0.8) + geom_point(size = 2.5) +
  geom_hline(yintercept = mean(df2s$SI_Hagglund, na.rm = TRUE),
            linetype = "dashed", color = "grey40") +
  scale_color_manual(values = es2s$farger, name = "Bestand - Parcell") +
  scale_shape_manual(values = es2s$former, name = "Bestand - Parcell") +
  scale_y_continuous(breaks = ys2s$breaks_major, minor_breaks =
ys2s$breaks_minor, limits = ys2s$limits) +
  labs(title = "Skattat SI (Hagglund 1973, sodra Sverige) - Gran",
        x = "Alder vid inmatning (ar)", y = "Skattat SI (m)") +
  theme_bw(base_size = 12) +
  theme(legend.position = "bottom",
        panel.grid.minor = element_line(color = "grey88", linewidth = 0.3),
        panel.grid.major = element_line(color = "grey75", linewidth = 0.4)) +
  guides(color = guide_legend(nrow = 2), shape = guide_legend(nrow = 2))
print(fig2s)
}

# =====
# DEL 9 - SI-AVVIKELSE FRAN PARCELLMEDELVARDE
# =====

avvikelse_tall <- data %>%
  filter(tradslag_txt == "Tall", !is.na(SI_Hagglund)) %>%
  group_by(bestand_parcell) %>%
  mutate(SI_medel_parcell = mean(SI_Hagglund, na.rm = TRUE)) %>%
  ungroup() %>%
  mutate(SI_avvikelse = SI_Hagglund - SI_medel_parcell)

avvikelse_gran_norr <- data %>%
  filter(gran_region == "norra", !is.na(SI_Hagglund)) %>%
  group_by(bestand_parcell) %>%
  mutate(SI_medel_parcell = mean(SI_Hagglund, na.rm = TRUE)) %>%
  ungroup() %>%
  mutate(SI_avvikelse = SI_Hagglund - SI_medel_parcell)

avvikelse_gran_syd <- data %>%
  filter(gran_region == "sodra", !is.na(SI_Hagglund)) %>%
  group_by(bestand_parcell) %>%
  mutate(SI_medel_parcell = mean(SI_Hagglund, na.rm = TRUE)) %>%
  ungroup() %>%
  mutate(SI_avvikelse = SI_Hagglund - SI_medel_parcell)

# Figur 4: SI-avvikelse - Tall
if (nrow(avvikelse_tall) > 0) {
  ys4 <- y_skala(avvikelse_tall$SI_avvikelse)
  fig4 <- ggplot(avvikelse_tall, aes(x = alder, y = SI_avvikelse)) +
    geom_point(alpha = 0.5) +
    geom_smooth(method = "loess", span = 0.75, se = TRUE, color = "steelblue") +
    geom_hline(yintercept = 0, linetype = "dashed", color = "grey40") +
    scale_y_continuous(breaks = ys4$breaks_major, minor_breaks = ys4$breaks_minor,
limits = ys4$limits) +
    labs(title = "SI-avvikelse fran parcellmedelvarde (Hagglund 1974) - Tall",
          x = "Alder (ar)", y = "SI-avvikelse (m)") +
    theme_bw(base_size = 12) +
    theme(panel.grid.minor = element_line(color = "grey88", linewidth = 0.3),
          panel.grid.major = element_line(color = "grey75", linewidth = 0.4))
  print(fig4)
}

# Figur 5: SI-avvikelse - Gran norra
if (nrow(avvikelse_gran_norr) > 0) {
  ys5 <- y_skala(avvikelse_gran_norr$SI_avvikelse)
  fig5 <- ggplot(avvikelse_gran_norr, aes(x = alder, y = SI_avvikelse)) +
    geom_point(alpha = 0.5) +
    geom_smooth(method = "loess", span = 0.75, se = TRUE, color = "steelblue") +
    geom_hline(yintercept = 0, linetype = "dashed", color = "grey40") +
    scale_y_continuous(breaks = ys5$breaks_major, minor_breaks = ys5$breaks_minor,
limits = ys5$limits) +
    labs(title = "SI-avvikelse fran parcellmedelvarde (Hagglund 1972, norra
Sverige) - Gran",
          x = "Alder (ar)", y = "SI-avvikelse (m)") +
    theme_bw(base_size = 12) +
    theme(panel.grid.minor = element_line(color = "grey88", linewidth = 0.3),
          panel.grid.major = element_line(color = "grey75", linewidth = 0.4))
  print(fig5)
}

```

```

# Figur 6: SI-avvikelse - Gran sodra
if (nrow(avvikelse_gran_syd) > 0) {
  ys6 <- y_skala(avvikelse_gran_syd$SI_avvikelse)
  fig6 <- ggplot(avvikelse_gran_syd, aes(x = alder, y = SI_avvikelse)) +
    geom_point(alpha = 0.5) +
    geom_smooth(method = "loess", span = 0.75, se = TRUE, color = "steelblue") +
    geom_hline(yintercept = 0, linetype = "dashed", color = "grey40") +
    scale_y_continuous(breaks = ys6$breaks_major, minor_breaks = ys6$breaks_minor,
limits = ys6$limits) +
    labs(title = "SI-avvikelse fran parcellmedelvarde (Hagglund 1973, sodra
Sverige) - Gran",
      x = "Alder (ar)", y = "SI-avvikelse (m)") +
    theme_bw(base_size = 12) +
    theme(panel.grid.minor = element_line(color = "grey88", linewidth = 0.3),
      panel.grid.major = element_line(color = "grey75", linewidth = 0.4))
  print(fig6)
}

```

Bilaga 3: Originalimplementation i Visual Basic – SiteIndexFunctions.vb (utdrag)

Nedanstående kod är ett utdrag ur originalimplementationen av Hägglunds höjdtvecklingsfunktioner i Visual Basic. Utdraget omfattar de sju funktioner som användes som underlag för R-implementationen i Bilaga 2: hjälpfunktionen XY, parameterskattningsfunktionerna BONS (tall), BONIT (gran norra) och BONITS (gran södra), samt SI-beräkningsfunktionerna TALLBON, GRAN_BON_NS och GRAN_BON_SS.

```
Imports System.Math
Imports LongtermExperiments

Public Module SiteIndexFunctions

    Private Const kMAXITER As Integer = 100

    Private Function XY(ByVal x As Double, ByVal y As Double) As Double
        '(* Beräknar x upphöjt med y *)
        Return Exp(Log(x) * y)
    End Function

    Private Sub BONS(ByVal oh As Double, ByVal brhald As Double, _
        ByVal a2 As Double, ByVal t132 As Double, _
        ByVal rk As Double, ByVal rm2 As Double, _
        ByVal upp As Integer)
        '(* Skattar parametrarna a2,rk och rm2 samt tiden till brösthöjd för
        ' tall (Enl B. HÄGGLUND) *)

        Dim a11, a12, a13, dif, rm, t26, t262 As Double
        Dim up As Integer

        a11 = 10
        a12 = 600
        a13 = 600
        dif = -1
        Dim N As Integer = 0
        Do Until (Abs(a11 - a12) < 1.0)
            If dif < 0.00001 Then
                a12 = a13
            Else
                a11 = a13
            End If
            a13 = (a11 + a12) / 2.0
            a2 = 1.0075 * a13
            rm = 0.066074 + 4.4189 * XY(10.0, 5.0) / XY(a13, 2.9134)
            rk = 1.0002 / 10000.0 + XY(a13, 1.3755) * 9.5953 / XY(10.0, 6.0)
            If rm > 0.95 Then rm = 0.95
            rm2 = 1.0 / (1.0 - rm)
            If rk < 0.0001 Then rk = 0.0001
            dif = oh - a2 * XY(1.0 - Exp(-brhald * rk), rm2)
            If N > kMAXITER Then Exit Do
            N += 1
        Loop

        t26 = (-1.0 / rk) * Log(1.0 - XY((13.0 / a2), (1.0 / rm2)))
        t262 = t26 * t26

        up = 0
        If upp = 1 Then up = 2
        If upp = 2 Then up = 2
        If upp >= 3 Then up = 1

        Select Case up
            Case 0 : t132 = 6.8889 + 0.12405 * t262
            Case 1 : t132 = 7.4624 + 0.11672 * t262 - 0.39276 * t26
            Case 2 : t132 = 7.4624 + 0.11672 * t262
        End Select

        If t132 > 50.0 Then t132 = 50.0
    End Sub
```

```

End Sub

Private Sub TALLBON(ByVal brhald As Double, ByVal totald As Double, ByVal oh
As Double, _
    ByRef t13 As Double, ByRef h100 As Double, ByRef a2 As
Double, _
    ByRef rk As Double, ByRef rm2 As Double, _
    ByRef upp As Integer)
'(* PROCEDUR FÖR HÖJDBONITERING AV TALL.
'   ENLIGT("ÖVRE HÖJDENS UTVECKLING I TALLBESTÅND")
'   INSTITUTIONEN FÖR SKOGSPRODUKTION  RAPPORT NR 31 1974
'   BJÖRN HÄGGLUND*)

Dim t132 As Double

t13 = 0.0
oh = oh - 13

If (totald > 1.0) And (brhald > 1.0) Then
    t13 = totald - brhald
    BONS(oh, brhald, a2, t132, rk, rm2, upp)
End If

If (totald > 1.0) And (brhald < 1.0) Then
    Dim N As Integer = 0
    t13 = 10.0
    t132 = 9.0
    Do Until (Abs(t13 - t132) < 0.5)
        t13 = t132
        brhald = totald - t13
        BONS(oh, brhald, a2, t132, rk, rm2, upp)
        brhald = totald - t132
        If Double.IsInfinity(t13) Or Double.IsNaN(t13) Then Exit Do
        If N > kMAXITER Then Exit Do
        N += 1
    Loop
    t13 = t132
    brhald = totald - t13
End If

h100 = 13.0 + a2 * XY(1.0 - Exp((t13 - 100.0) * rk), rm2)
End Sub

Private Sub BONIT(ByVal oh13 As Double, ByVal brhald As Double, ByVal lat As
Double, _
    ByRef a2 As Double, ByRef rk As Double, ByRef rm2 As Double)
'(* Skattar parametrarna a2,rk och rm2 samt tiden till brösthöjd för
'   gran N. SVERIGE (Enl B. HÄGGLUND) *)

Dim b, c, d, e, a11, a12, a13, dif As Double

a11 = 10
a12 = 600
a13 = 600
dif = -1
If (lat < 600) Or (lat > 670) Then
    b = 3.4501
    c = 0.77518
    d = -0.42579
    e = 1.33935
Else
    b = 3.3816
    c = 0.77896
    d = -1.24207 + 0.0014629 * lat
    e = 1.25998
End If

Dim N As Integer = 0
Do Until (Abs(a11 - a12) < 1.0)
    If dif < 0.00001 Then
        a12 = a13
    Else
        a11 = a13
    End If
    a13 = (a11 + a12) / 2.0
    rk = 0.001936 + 0.000041 * XY(a13, 1.0105)

```

```

        a2 = b * XY(a13, c)
        rm2 = d + e / (0.56721 + 0.000008 * XY(a13, 1.8008))
        dif = oh13 - a2 * XY((1.0 - Exp(-brhald * rk)), rm2)
        If N > kMAXITER Then Exit Do
        N += 1
    Loop
End Sub

Private Sub GRAN_BON_NS(ByVal lat As Double, ByVal brhald As Double, ByVal
totald As Double, ByVal oh As Double, ByRef t13 As Double, ByRef h100 As Double, ByRef a2 As Double,
ByRef rk As Double, ByRef rm2 As Double, _
ByRef upp As Integer)
'(* PROGRAM FÖR HÖJDBONITERING AV NORRLÄNSK GRAN.
' ENLIGT("OM ÖVRE HÖJDENS UTVECKLING FÖR GRAN I NORRA SVERIGE")
' INSTITUTIONEN FÖR SKOGSPRODUKTION RAPPORT NR 21 1972
' BJÖRN HÄGGLUND*)

Dim p, oh13, t26, t132 As Double
Dim up As Integer

up = 0
If upp = 1 Then up = 2
If upp = 2 Then up = 2
If upp >= 3 Then up = 1

p = XY(0.9175, up)
t13 = 0.0
oh13 = oh - 13
If (totald > 1.0) And (brhald > 1.0) Then
    t13 = totald - brhald
    BONIT(oh13, brhald, lat, a2, rk, rm2)
End If

If (totald > 1.0) And (brhald < 1.0) Then
    Dim N As Integer = 0
    t13 = 15.0
    t132 = 14.0
    Do Until (Abs(t13 - t132) < 0.5)
        t13 = t132
        brhald = totald - t13
        BONIT(oh13, brhald, lat, a2, rk, rm2)
        t26 = (-1.0 / rk) * Log(1.0 - XY((13.0 / a2), (1.0 / rm2)))
        t132 = p * (7.0287 + 0.66118 * t26)
        brhald = totald - t132
        If Double.IsInfinity(t13) Or Double.IsNaN(t13) Or N > kMAXITER
Then Exit Do
        N += 1
    Loop
    t13 = t132
    brhald = totald - t13
End If

If Double.IsInfinity(t13) Or Double.IsNaN(t13) Then
    h100 = 0
Else
    h100 = 13.0 + a2 * XY((1.0 - Exp((t13 - 100.0) * rk)), rm2)
End If
End Sub

Private Sub BONITS(ByVal oh13 As Double, ByVal brhald As Double, _
ByRef a2 As Double, ByRef rk As Double, ByRef rm2 As Double)
'(* Skattar parametrarna a2,rk och rm2 samt tiden till brösthöjd för
' gran S.SV (Enl B. HÄGGLUND) *)
Dim N As Integer = 0

Dim a11, a12, a13, rm, dif As Double
a11 = 10
a12 = 600
a13 = 600
dif = -1
Do Until (Abs(a11 - a12) < 1.0)
    If dif < 0.00001 Then
        a12 = a13
    Else
        a11 = a13
    End If

```

```

        a13 = (a11 + a12) / 2.0
        rk = 0.042624 - 7.1145 / XY(a13, 1.0068)
        a2 = 1.0017 * XY(a13, 0.99808)
        rm = 0.15933 + 3.7 * XY(10.0, 6.0) / XY(a13, 3.156)
        If rm > 0.95 Then rm = 0.95
        rm2 = 0.98822 / (1.0 - rm)
        If rk < 0.0001 Then rk = 0.0001
        dif = oh13 - a2 * XY((1.0 - Exp(-brhald * rk)), rm2)
        If N > kMAXITER Then Exit Do
        N += 1
    Loop
End Sub

Private Sub GRAN_BON_SS(ByVal brhald As Double, ByVal totald As Double, ByVal
oh As Double, _
        ByRef t13 As Double, ByRef h100 As Double, ByRef a2 As
Double, ByRef rk As Double, ByRef rm2 As Double)
    '(* PROGRAM FÖR HÖJDBONITERING AV GRAN I SÖDRA SVERIGE
    ' ENLIGHT("OM ÖVRE HÖJDENS UTVECKLING FÖR GRAN I SÖDRA SVERIGE")
    ' INSTITUTIONEN FÖR SKOGSPRODUKTION RAPPORT NR 24 1973
    ' BJÖRN HÄGGLUND*)

    Dim oh13, t26, t132 As Double
    If totald < 20 Then
        h100 = 0.0
        Exit Sub
    End If
    t13 = 0.0
    oh13 = oh - 13
    If (totald > 1.0) And (brhald > 1.0) Then
        t13 = totald - brhald
        BONITS(oh13, brhald, a2, rk, rm2)
    End If

    If (totald > 1.0) And (brhald < 1.0) Then
        Dim N As Integer = 0
        t13 = 10.0
        t132 = 9.0
        Do Until (Abs(t13 - t132) < 0.5)
            t13 = t132
            brhald = totald - t13
            BONITS(oh13, brhald, a2, rk, rm2)
            t26 = (-1.0 / rk) * Log(1.0 - XY((13.0 / a2), (1.0 / rm2)))
            t132 = 4.9546 + 0.63934 * t26 + 0.031992 * t26 * t26
            brhald = totald - t132
            If Double.IsInfinity(t13) Or Double.IsNaN(t13) Or N > kMAXITER
Then Exit Do
                N += 1
            Loop
            t13 = t132
            brhald = totald - t13
        End If

        If Double.IsInfinity(t13) Or Double.IsNaN(t13) Then
            h100 = 0
        Else
            h100 = 13.0 + a2 * XY((1.0 - Exp((t13 - 100.0) * rk)), rm2)
        End If
    End Sub

End Module

```

Bilaga 4: Tabeller för gran

Tabell 5. Ålder, övre höjd och skattat ståndortsindex (SI) för varje revision (rev) utförd på avdelning (avd.) 682 med trädslaget gran (*Picea abies*). Differenser (diff) är beräknade mellan skattningarna av SI utförda med Hägglund (1974) och Johansson (2013), samt differenser beräknade mellan SI skattat per revision och medelvärde för hela försöket.

Avd. 682, gran Revision, nr	Ålder, år	Övre höjd, m (medel)	SI, Hägglund (medel)	SI, Johansson (medel)	Diff, Hägglund- Johansson	Diff, Hägglund Rev-avd.	Diff, Johansson Rev-avd.
1	24	9,4	29,9	30,5	-0,6	-1,5	-0,9
2	30	12,8	31,0	30,9	0,1	-0,4	-0,5
3	37	15,5	30,2	30,2	0,1	-1,2	-1,2
4	44	19,4	31,7	31,5	0,2	0,3	0,1
5	52	21,6	31,1	31,1	0,0	-0,3	-0,3
6	60	24,3	31,4	31,4	0,0	0,1	0,1
7	64	26,1	32,3	32,1	0,2	1,0	0,8
8	73	29,2	33,3	33,0	0,3	2,0	1,7
Medel hela avdelning:			31,4	31,3	0,0		

Tabell 6. Ålder, övre höjd och skattat ståndortsindex (SI) för varje revision (rev) utförd på försök 928 med trädslaget gran (*Picea abies*). Differenser (diff) är beräknade mellan skattningarna av SI utförda med Hägglund (1974) och Johansson (2013), samt differenser beräknade mellan SI skattat per revision och medelvärde för hela försöket.

Avd. 928, gran Revision, nr	Ålder, år	Övre höjd, m (medel)	SI, Hägglund (medel)	SI, Johansson (medel)	Diff, Hägglund- Johansson	Diff, Hägglund Rev-avd.	Diff, Johansson Rev-avd.
1	23	13,0	38,0	34,7	3,3	1,3	0,1
2	29	16,5	37,7	34,7	3,0	1,0	0,1
3	32	18,2	37,5	34,8	2,7	0,8	0,2
4	37	20,3	36,7	34,5	2,2	0,0	-0,1
5	43	22,9	36,5	34,6	1,9	-0,2	0,0
6	51	26,4	36,7	35,1	1,5	0,0	0,5
7	59	28,2	36,1	34,8	1,3	-0,6	0,2
8	69	29,0	34,1	33,6	0,5	-2,6	-1,0
Medel hela avdelning:			36,7	34,6	2,1		

Tabell 7. Ålder, övre höjd och skattat ståndortsindex (SI) för varje revision (rev) utförd på försök 9229 med trädslaget gran (*Picea abies*). Differenser (diff) är beräknade mellan skattningarna av SI utförda med Hägglund (1974) och Johansson (2013), samt differenser beräknade mellan SI skattat per revision och medelvärde för hela försöket.

Avd. 9229, gran Revision, nr	Ålder, år	Övre höjd, m (medel)	SI, Hägglund (medel)	SI, Johansson (medel)	Diff, Hägglund- Johansson	Diff, Hägglund Rev-avd.	Diff, Johansson Rev-avd.
3	15	3,0	23,5	24,7	-1,2	-0,9	-1,0
4	20	4,9	24,0	25,7	-1,7	-0,4	0,0
5	25	6,8	24,5	25,8	-1,3	0,1	0,2
6	31	8,7	24,5	25,6	-1,1	0,1	-0,1
7	38	11,1	24,0	25,5	-1,5	-0,4	-0,2
8	49	15,1	25,0	26,0	-1,0	0,6	0,3
9	55	17,0	25,0	26,2	-1,2	0,6	0,5
10	61	18,3	25,0	25,9	-0,9	0,6	0,2
Medel hela avdelning:			24,4	25,7	-1,2		

Tabell 8. Ålder, övre höjd och skattat ståndortsindex (SI) för varje revision (rev) utförd på försök 9237 med trädslaget gran (*Picea abies*). Differenser (diff) är beräknade mellan skattningarna av SI utförda med Hägglund (1974) och Johansson (2013), samt differenser beräknade mellan SI skattat per revision och medelvärde för hela försöket.

Avd. 9237, gran Revision, nr	Ålder, år	Övre höjd, m (medel)	SI, Hägglund (medel)	SI, Johansson (medel)	Diff, Hägglund- Johansson	Diff, Hägglund Rev-avd.	Diff, Johansson Rev-avd.
1	3	0,0	0,0	0,0	0,0	-26,8	-27,7
5	6	0,0	0,0	0,0	0,0	-26,8	-27,7
6	12	3,1	25,7	27,0	-1,3	-1,1	-0,7
7	19	7,2	25,7	27,6	-2,0	-1,1	0,0
8	25	9,5	26,0	27,5	-1,5	-0,8	-0,2
9	30	11,9	26,3	27,5	-1,2	-0,4	-0,1
10	40	16,4	27,3	27,9	-0,6	0,6	0,2
11	46	18,7	28,0	28,1	-0,1	1,2	0,4
12	56	21,5	28,3	28,1	0,3	1,6	0,4
Medel hela avdelning:			26,8	27,7	-0,9		

Tabell 9. Ålder, övre höjd och skattat ståndortsindex (SI) för varje revision (rev) utförd på försök 907 med trädslaget gran (*Picea abies*). Differenser (diff) är beräknade mellan skattningarna av SI utförda med Hägglund (1974) och Johansson (2013), samt differenser beräknade mellan SI skattat per revision och medelvärde för hela försöket.

Avd. 907, gran Revision, nr	Ålder, år	Övre höjd, m (medel)	SI, Hägglund (medel)	SI, Johansson (medel)	Diff, Hägglund- Johansson	Diff, Hägglund Rev-avd.	Diff, Johansson Rev-avd.
1	27	13,8	35,0	33,3	1,7	0,4	-0,2
2	33	16,8	34,6	33,3	1,3	0,0	-0,3
3	35	17,4	34,2	32,9	1,3	-0,4	-0,6
4	41	20,6	34,8	33,4	1,4	0,2	-0,1
5	46	22,4	34,4	33,3	1,1	-0,2	-0,2
6	54	24,8	34,0	33,2	0,8	-0,6	-0,3
7	63	28,2	34,8	34,0	0,8	0,2	0,4
8	77	31,8	35,2	34,7	0,5	0,6	1,2
Medel hela avdelning:			34,6	33,5	1,1		

Bilaga 5: Tabeller för tall

Tabell 10. Ålder, övre höjd och skattat ståndortsindex (SI) för varje revision (rev) utförd på försök 902 med trädslaget tall (*Pinus sylvestris*). Differenser (diff) är beräknade mellan skattningarna av SI utförda med Hägglund (1974) och Johansson (2013), samt differenser beräknade mellan SI skattat per revision och medelvärde för hela avdelningen.

Försök. 902, tall Revision, nr	Ålder, år	Övre höjd, m (medel)	SI, Hägglund (medel)	SI, Johansson (medel)	Diff, Hägglund- Johansson	Diff, Hägglund Rev-avd.	Diff, Johansson Rev-avd.
1	37	13,8	25,9	26,6	-0,7	0,2	0,6
2	46	16,3	25,3	25,9	-0,6	-0,4	-0,1
3	51	18,1	25,9	26,2	-0,3	0,2	0,2
4	56	19,7	26,2	26,4	-0,2	0,5	0,4
5	67	21,2	25,4	25,6	-0,2	-0,3	-0,4
6	75	22,4	25,2	25,4	-0,2	-0,5	-0,5
7	90	24,7	25,9	25,8	0,1	0,2	-0,2
Medel hela avdelning:			25,7	26,0	-0,3		

Tabell 11. Ålder, övre höjd och skattat ståndortsindex (SI) för varje revision (rev) utförd på försök 930 med trädslaget tall (*Pinus sylvestris*). Differenser (diff) är beräknade mellan skattningarna av SI utförda med Hägglund (1974) och Johansson (2013), samt differenser beräknade mellan SI skattat per revision och medelvärde för hela avdelningen.

Avd. 930, tall Revision, nr	Ålder, år	Övre höjd, m (medel)	SI, Hägglund (medel)	SI, Johansson (medel)	Diff, Hägglund- Johansson	Diff, Hägglund Rev-avd.	Diff, Johansson Rev-avd.
1	32	12,2	25,7	26,9	-1,2	-0,4	0,5
2	39	14,9	26,1	26,7	-0,6	0,1	0,4
3	48	17,8	26,1	26,6	-0,5	0,1	0,2
4	53	19,2	26,4	26,7	-0,2	0,4	0,3
5	59	20,8	26,7	26,8	-0,1	0,6	0,4
6	68	21,6	25,8	25,8	0,0	-0,3	-0,6
7	73	22,5	25,7	25,8	-0,1	-0,4	-0,6
8	88	24,6	25,9	25,8	0,1	-0,2	-0,6
Medel hela avdelning:			26,0	26,4	-0,3		

Tabell 12. Ålder, övre höjd och skattat ståndortsindex (SI) för varje revision (rev) utförd på försök 933 med trädslaget tall (Pinus sylvestris). Differenser (diff) är beräknade mellan skattningarna av SI utförda med Hägglund (1974) och Johansson (2013), samt differenser beräknade mellan SI skattat per revision och medelvärde för hela avdelningen.

Avd. 933, tall Revision, nr	Ålder, år	Övre höjd, m (medel)	SI, Hägglund (medel)	SI, Johansson (medel)	Diff, Hägglund- Johansson	Diff, Hägglund Rev-avd.	Diff, Johansson Rev-avd.
1	49	13,7	21,6	22,6	-1,0	-0,2	0,4
2	54	14,5	21,4	22,1	-0,6	-0,3	-0,1
3	59	15,7	21,7	22,1	-0,5	-0,1	-0,1
4	66	17,0	21,8	22,2	-0,4	0,0	0,0
5	79	19,2	22,0	22,1	-0,1	0,2	-0,1
6	91	21,1	22,1	22,1	0,0	0,4	-0,1
Medel hela avdelning:			21,8	22,2	-0,4		

Tabell 13. Ålder, övre höjd och skattat ståndortsindex (SI) för varje revision (rev) utförd på försök 9229 med trädslaget tall (Pinus sylvestris). Differenser (diff) är beräknade mellan skattningarna av SI utförda med Hägglund (1974) och Johansson (2013), samt differenser beräknade mellan SI skattat per revision och medelvärde för hela avdelningen.

Avd. 9229, tall Revision, nr	Ålder, år	Övre höjd, m (medel)	SI, Hägglund (medel)	SI, Johansson (medel)	Diff, Hägglund- Johansson	Diff, Hägglund Rev-avd.	Diff, Johansson Rev-avd.
3	15	4,7	25,0	27,7	-2,7	-2,3	-0,4
4	20	7,2	26,0	27,7	-1,7	-1,3	-0,4
5	25	9,8	26,5	27,9	-1,4	-0,8	-0,3
6	31	12,4	26,5	27,5	-1,0	-0,8	-0,6
7	38	15,6	27,5	27,8	-0,3	0,3	-0,3
8	49	20,2	28,5	28,6	-0,1	1,3	0,5
9	55	22,6	29,5	29,3	0,2	2,3	1,1
10	61	23,2	28,5	28,5	0,0	1,3	0,4
Medel hela avdelning:			27,3	28,1	-0,9		

Tabell 14. Ålder, övre höjd och skattat ståndortsindex (SI) för varje revision (rev) utförd på försök 9237 med trädslaget tall (Pinus sylvestris). Differenser (diff) är beräknade mellan skattningarna av SI utförda med Hägglund (1974) och Johansson (2013), samt differenser beräknade mellan SI skattat per revision och medelvärde för hela avdelningen.

Avd. 9237, tall Revision, nr	Ålder, år	Övre höjd, m (medel)	SI, Hägglund (medel)	SI, Johansson (medel)	Diff, Hägglund- Johansson	Diff, Hägglund Rev-avd.	Diff, Johansson Rev-avd.
1	3	0,0	0,0	0,0	0,0	-27,8	-28,7
5	6	0,0	0,0	0,0	0,0	-27,8	-28,7
6	12	2,9	27,7	27,9	-0,2	-0,1	-0,8
7	19	6,3	28,0	29,1	-1,1	0,2	0,3
8	25	8,5	27,3	28,5	-1,2	-0,5	-0,2
9	30	10,3	27,0	28,1	-1,1	-0,8	-0,6
10	40	16,4	27,7	29,1	-1,4	-0,1	0,3
11	46	18,7	28,3	29,2	-0,9	0,5	0,5
12	56	20,6	28,7	29,2	-0,6	0,9	0,5
Medel hela avdelning:			27,8	28,7	-0,9		

Tabell 15. Ålder, övre höjd och skattat ståndortsindex (SI) för varje revision (rev) utförd på försök 629 med trädslaget tall (Pinus sylvestris). Differenser (diff) är beräknade mellan skattningarna av SI utförda med Hägglund (1974) och Johansson (2013), samt differenser beräknade mellan SI skattat per revision och medelvärde för hela avdelningen.

Avd. 629, tall Revision, nr	Ålder, år	Övre höjd, m (medel)	SI, Hägglund (medel)	SI, Johansson (medel)	Diff, Hägglund- Johansson	Diff, Hägglund Rev-avd.	Diff, Johansson Rev-avd.
3	76	14,7	0,0	17,9	-17,9	-16,3	1,2
4	81	15,1	0,0	17,5	-17,5	-16,3	0,8
5	87	15,7	0,0	17,3	-17,3	-16,3	0,5
6	93	16,3	0,0	17,1	-17,1	-16,3	0,4
7	99	16,8	0,0	16,9	-16,9	-16,3	0,1
8	104	17,1	0,0	16,6	-16,6	-16,3	-0,1
9	114	17,5	0,0	16,0	-16,0	-16,3	-0,7
10	124	18,4	16,5	16,0	0,5	0,3	-0,7
11	143	19,0	16,0	15,2	0,8	-0,3	-1,6
Medel hela avdelning:			16,3	16,7	-0,5		

Bilaga 6: Rådatamaterialet i Microsoft Excel

Figur 15. Siljansfors försöksparks statistikfiler för försök 9237 inlästa i MS Excel. För detta arbete har kolumnerna A, B, C, G, AI, AJ och AM använts för vidare bearbetning. A = yta = försökets numrering. B = avd = avdelningsnumret inom försöket. C = rev = Revisionsnummer, alltså inmätningstillfälle 1, 2, 3 etc. G = alder = avdelningens medelålder vid revisionen. AI = HtTrsl = Huvudträdslag, där 1 är tall och 2 är gran. AJ = HtSI = Huvudträdslag ståndortsindex, skattning gjord i statistikfilerna med Häggelunds (1972, 1973, 1974) funktioner. AM = HtOH = Huvudträdslag övrehöjd = aritmetiska medelhöjden av de 10 grövsta träden i avdelningen, där arealen per avdelning är ca 0,1 hektar blir det de 100 grövsta per hektar som är grundprincipen vid övrehöjdsberäkning.

Observera att vissa kolumner är dolda då de för detta arbete var irrelevanta, samt att kolumn AJ är filtrerad till "HtTrsl = 1".

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	
1	yta	avd	rev	år	man	dag	alder	areal	behandling	HtTrsl	HtSI	Htdeg	Htneg	HtOH	Htneg	Htgeg	Htveg	Htdut	Htnut	Htgut	Htvut	Htöpred	Htv
2	9237	11	1	1968	5	14	3	0,1024		2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	9237	21	1	1968	5	14	3	0,096		2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	9237	31	1	1968	5	13	3	0,096		2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	9237	11	5	1971	5	5	6	0,1024		2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	9237	21	5	1971	5	5	6	0,096		2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	9237	31	5	1971	5	5	6	0,096		2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	9237	31	6	1976	9	2	12	0,096		2	1	24	2,7	2,5	2,9	2312	1,3	3,2	0,1	188	0	0	1,3
44	9237	11	6	1976	8	30	12	0,1024		2	1	26	2,9	2,6	3,2	2305	1,5	3,8	0,1	195	0	0	1,5
45	9237	21	6	1976	8	31	12	0,096		2	1	27	3,2	2,7	3,2	2260	1,9	4,6	0,1	240	0	0,1	1,9
58	9237	31	7	1983	8	10	19	0,096		2	1	25	9	5,6	6,3	2052	13,2	42,8	3,8	260	0,3	0,9	13,5
60	9237	11	7	1983	8	22	19	0,1024		2	1	26	9,2	5,9	6,8	2168	14,4	49,8	3,9	137	0,2	0,5	14,6
61	9237	21	7	1983	8	18	19	0,096		2	1	26	9,9	6,2	6,8	2156	16,6	59,8	3,9	104	0,1	0,4	16,8
67	9237	31	8	1989	9	18	25	0,096		2	1	25	13,4	8,5	8,8	2031	28,5	134,9	3,6	21	0	0,1	28,9
70	9237	11	8	1989	9	12	25	0,1024		2	1	26	12,5	8,8	9,8	2119	26	123,4	3,7	49	0,1	0,2	26,3
72	9237	21	8	1989	9	14	25	0,096		2	1	27	13,5	9,4	9,9	2094	29,8	148,8	4,1	62	0,1	0,4	30
82	9237	21	9	1994	8	23	30	0,096		8	1	26	15,9	11,5	11,8	1312	26,1	154,3	14,4	781	12,7	74	38,9
83	9237	31	9	1994	8	23	30	0,096		8	1	26	15,2	11,1	11,9	1354	24,6	140,5	13,5	677	9,6	52,2	34,5
84	9237	11	9	1994	8	22	30	0,1024		8	1	27	14,8	11,3	12	1396	24,2	141,6	13,2	723	9,9	55	34,3
101	9237	31	10	2004	8	3	40	0,096		8	1	27	18,3	15,4	16,1	802	21,2	161,3	16,9	552	12,3	90,9	43,5
102	9237	21	10	2004	8	3	40	0,096		8	1	27	19,6	15,8	16,4	740	22,2	174	17,9	573	14,4	109,5	49,5
105	9237	11	10	2004	8	3	40	0,1024		8	1	28	18,2	15,7	16,7	869	22,7	173	16,1	527	10,7	79,8	43,5
117	9237	11	11	2010	9	6	46	0,0768		2	1	28	20,4	17,7	18,6	651	21,2	181	18,6	260	7	60,1	49,1
118	9237	31	11	2010	9	7	46	0,096		2	1	28	20,6	17,8	18,6	708	23,7	205,9	19,6	115	3,5	29,7	49,4
119	9237	21	11	2010	9	6	46	0,096		2	1	28	22,2	18	18,8	708	27,5	237,6	16,8	31	0,7	5,9	55,5

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här:

<https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

☒ JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

☐ NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.