

Optimal användning av förädlade granplantor i blandbestånd med björk

En pilotstudie för vidareutveckling av verktyget Plantval optimal.

Mats Berlin, Nils Fahlvik, Johan Sonesson & Sven Tegelmo



Blandskogs försök med gran och björk i Toftaholm. Foto: Nils Fahlvik

Innehåll

Förord	4
Summary	5
Sammanfattning	6
Bakgrund	7
Syfte	8
Material & Metoder	8
Stora Ensos föryngringstrakter	9
Stora Ensos frökällor och tillgång	10
Föryngrings- och skötselsystem	11
Typtrakter	12
I: Analyser med Heureka-systemet	14
Material och metoder	14
Scenarier	14
Förädlingsgrad	14
Ståndortsegenskaper	14
Simulering	15
Etablering	15
Röjning	15
Gallring	15
Simulering av skötselalternativ och val av avverkningsstidpunkt	15
Utdata från Heureka PlanWise och beräkningar	16
Resultat	16
II: Utveckling av en blandskogsmodul	20
C-värden	20
Utveckling av en blandskogsmodul i Plantval optimal	22
Justeringar av indata till optimeringsfunktionen i Plantval optimal	24
III: Analyser med Plantval optimal	25
Material och metoder	25
Val av blandskogstrakter	25
Val av vikt	27
Simuleringar i Plantval optimal	28
Resultat från analyser med Plantval optimal	29
Vinstnivåer vid olika simuleringar	29

Årlig medeltillväxt i blandbestånden	31
Användning av och årlig medeltillväxt för olika fröplantagekategorier	34
Diskussion	39
Heureka-analyserna	39
Blandskogsmodulen i Plantval optimal	41
Analyser med Plantval optimal	42
Slutsatser	43
Framtida arbete	44
Referenser	45



skogforsk

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

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts januari månad 2024 av Ulfstand Wennström, seniorforskare. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, granskat och godkänt publikationen för publicering 26 mars 2024.

Redaktör: Caroline Rothpfeffer, caroline.rothpfeffer@skogforsk.se
©Skogforsk 2024 ISSN 1404-305X

Förord

Projektet har finansierats av Skogssällskapet och drivits i nära samarbete med Eva Stattin och Helena Gålnander från Stora Enso. Förutom att ha bidragit med data om planerade föryngringstrakter och fröförsörjning har Eva och Helena bidragit med värdefulla synpunkter och återkoppling på modeller, metoder och analys. Ett tack riktas också till Ulfstand Wennström som interngranskat rapporten och kommit med konstruktiva förbättringsförslag.

Uppsala och Ekebo februari 2024

Mats Berlin, Nils Fahlvik, Johan Sonesson & Sven Tegelman

Summary

In this project, we have developed a mixed forest functionality in Plantval optimal where genetically improved spruce seedlings are allowed to be planted with a lower planting density than usual and thus benefit from the extra growth that occurs from naturally regenerated birch. To develop this functionality, we used Stora Enso's planned spruce regeneration sites and Heureka to simulate the growth of spruce and birch for different types of regeneration and management systems aiming for a higher or lower degree of tree species mix. The Heureka simulations showed that the growth of spruce and birch in these mixed stands varied relative to a pure spruce stand, depending not only on the selected regeneration and management system, but also on the area's site index, altitude and latitude, as well as the genetic gain level of the spruce seedlings. Since we wanted to retain Plantval optimal's current optimization model and its design as far as possible even with the added mixed forest functionality, we have developed a database of adjustment values (C-values) for spruce and birch in mixed stands that expresses the annual average growth of each tree species relative to a pure spruce stand on the corresponding site and genetic level of the spruce plants. Plantval optimal with the mixed forest functionality was then used to evaluate how to combine spruce seedlings of different planting densities and of different genetic gain levels with naturally regenerated birch in different management systems to maximize mean annual growth across Stora Enso's entire holding of planned spruce regeneration sites. The analyses showed that no management or regeneration system aiming at some form of mixed forest stand of spruce and birch achieves the same average annual growth as planting pure spruce stands only. It is therefore not possible to fully compensate for the reduced volume production in individual mixed forest plots by planting the spruce seedlings with the highest genetic gain at more regeneration sites. If, on the other hand, the most highly genetically improved seedlings are used in pure spruce stands on the sites with highest site index, while at sites with slightly lower stand index they are used in as many mixed sites as possible, it is possible to reduce the decrease in mean annual growth in management systems with mixed stands compared with spruce monoculture. This is most feasible when there is a significant but far from complete availability of spruce seedlings with the highest genetic gain. In order to implement the mixed forest functionality operationally in Plantval optimal, this pilot study would need to be extended to cover the whole country rather than just Stora Enso's holdings. In addition, we believe that it would be very interesting to further develop the optimization model in Plantval optimal so that it also includes the choice of which regeneration sites are best suited as mixed forest sites.

Sammanfattning

I det här projektet har vi utvecklat en blandskogsfunktionalitet i Plantval optimal där förädlade granplantor tillåts planteras i ett glesare förband än brukligt och på så vis dra nytta av den extra tillväxt som uppstår från naturligt föryngrad björk. För att kunna bygga denna funktionalitet har vi använt Stora Ensos planerade föryngringstrakter för gran och genom Heureka simulerat tillväxten på gran och björk för olika typer av föryngrings- och skötselsystem som syftar till högre eller lägre grad av blandskog i trakterna. Heureka-simuleringarna visade att tillväxten på gran och björk i dessa blandbestånd varierade relativt ett rent granbestånd beroende på, förutom valt föryngrings- och skötselsystem, traktens bonitet, altitud och latitud samt förädlingsnivån på granplantorna. Eftersom vi önskade behålla Plantval optimal's nuvarande optimeringsmodell och dess design i möjligaste mån även med tillagd blandskogsfunktionalitet, har vi utvecklat en databas av justeringsvärden (C-värden) för gran och björk i blandbestånd som uttrycker trädslagets årliga medeltillväxt relativt ett rent granbestånd på motsvarande trakt och förädlingsnivå på granplantorna. Plantval optimal med blandskogsfunktionaliteten användes sedan för att utvärdera hur man kan kombinera granplantor med olika planteringsförband och av olika förädlingsgrad med naturligt föryngrad björk i olika skötselsystem för att maximera årlig medeltillväxt över hela Stora Ensos innehav av planerade föryngringstrakter för gran. Analyserna visade att inget skötsel- eller föryngringssystem vars mål är någon form av blandskogsbestånd av gran och björk når upp till samma årliga medeltillväxt som plantering av endast rena granbestånd. Det går alltså inte att fullt ut kompensera för den minskade volymproduktionen på enskilda blandskogstrakter med att de högförädlade granplantorna kan sättas på fler trakter. Om man däremot använder de mest högförädlade plantorna i rena granbestånd på de högsta boniteterna samtidigt som man på lite lägre boniteter använder dem på så många blandskogstrakter som möjligt, går det att minska reduktionen av årlig medeltillväxt i skötselsystem med blandbestånd jämfört med monokultur av gran. Störst möjlighet till detta får man då det finns en betydande men långt ifrån heltäckande, tillgång på högförädlade plantor. För att kunna implementera blandskogsfunktionaliteten operativt i Plantval optimal skulle denna pilotstudie behöva utökas så att den täcker hela landet. Dessutom vore det mycket intressant att vidareutveckla optimeringsmodellen i Plantval optimal så att den även inkluderar val av vilka trakter som är bäst lämpade som blandskogstrakter.

Bakgrund

En ökad tillväxt i Sveriges produktionsskogar ger större möjligheter att tillgodose fler ekosystemtjänster från den svenska skogen. Ett väl beprövat och effektivt sätt att öka den skogliga tillväxten är genom att använda förädlad skogsodlingsmaterial (Rosvall & Lundström 2011). För gran har de förädlade plantor som använts de senaste decennierna i huvudsak kommit från fröplantager med en förväntad tillväxt på 10–15 procent över föryngringar baserade på oförädlade naturbestånd. De senaste åren har nästa generations fröplantager (TreO) med en förväntad ökad tillväxt på 25 procent jämfört med oförädlade naturbestånd, börjat producera plantor. Många TreO-plantager är dock i dagsläget unga med en låg och osäker produktion av frö och det kommer därför i närtid att råda en brist på dessa högförädlade plantor i större delen av landet (Almqvist & Wennström 2020).

Bristen på högförädlade plantor gör att det är extra viktigt att rätt planta blir satt på rätt plats och för detta finns verktyget Plantval optimal (Skogforsk 2023). Plantval Optimal optimerar förväntad arealproduktion på ett helt innehav av trakter genom att kombinera information om trakternas klimat, bonitet och förväntade årliga tillväxt vid olika alternativa frökällor (Davidsson m.fl. 2018). När verktyget blev operativt under 2020, gjordes företagsvisa analyser på årliga planteringar av tall och gran (Berlin 2021). Några viktiga slutsatser från dessa analyser var att: (i) tillgång till plantor från TreO-plantager är den enskilt viktigaste faktorn till ökad arealproduktion och (ii) dessa värdefulla TreO-plantor ska planteras med omsorg på klimatisk välanpassade trakter med god bonitet.

Verktyget Plantval optimal är baserat på modeller som förutsätter traditionella skötselsystem med trakthyggesbruk och monokulturer för var enskild trakt (Berlin m.fl. 2014). För att kunna analysera andra typer av skötselsystem behövs modellsystem som kan hantera komplexa interaktioner mellan enskilda träd av olika arter och beräkna deras tillväxt både individuellt och på beståndsnivå. För detta finns modellsystemet Heureka (Wikström 2011) som bland annat kan simulera och skriva fram blandskogsbestånd vid olika skötselsystem. Heureka och Plantval optimal har olika modellstruktur och hittills varit ämnade att besvara olika frågor så någon direkt koppling mellan modellsystemen har inte utvecklats.

Granen har under de senaste åren drabbats hårt av skador, till exempel torka och granbarkborre. Mellan 2018 och 2022 bedöms 32 miljoner m³ granskog ha dödats av granbarkborren i Sverige (Skogsstyrelsen 2023). Det här har belyst dels vikten av ståndortsanpassat trädslagsval, dels de generella riskerna som finns med monokulturer i ett framtida klimat. Samtidigt ökar intresset för alternativa skötselmetoder till monokulturbaserat trakthyggesbruk på såväl nationell som på EU-nivå (SOU 2013; EC 2021). Bland annat anses det önskvärt med ett ökat inslag av löv i barrskogen, något som även dagens certifieringssystem (FSC, PEFC) ställer krav på.

Ett alternativ för att uppnå detta är skötselsystem där planterad gran kombineras med naturligt föryngrad björk genom att plantera färre granplantor än om syftet varit en ren monokultur av gran (Holmström m.fl. 2016). På så vis skapas blandbestånd som kombinerar den höga tillväxten hos de planterade granplantorna med riskspridningen och den ökade biologiska mångfalden det innebär att blanda barr- och lövträd. En sådan idé är dock inte ny och på nivån enskilt bestånd kommer färre granplantor i ett blandbestånd att producera sämre än en ren monokultur av (fler) granplantor. Samtidigt råder det brist på, och kommer vara så inom överskådlig tid, de mest högförädlade granplantorna, till exempel just nu från TreO-plantager. Skulle man i stället sätta färre av dessa per trakt kommer de att räcka till flera trakter som kan dra nytta av

förädlingseffekten. Dock gäller det att se till att denna förädlingseffekt används på bästa sätt genom att fördela granplantorna optimalt mellan monokultur- och blandbestånd och mellan produktiva och magra marker.

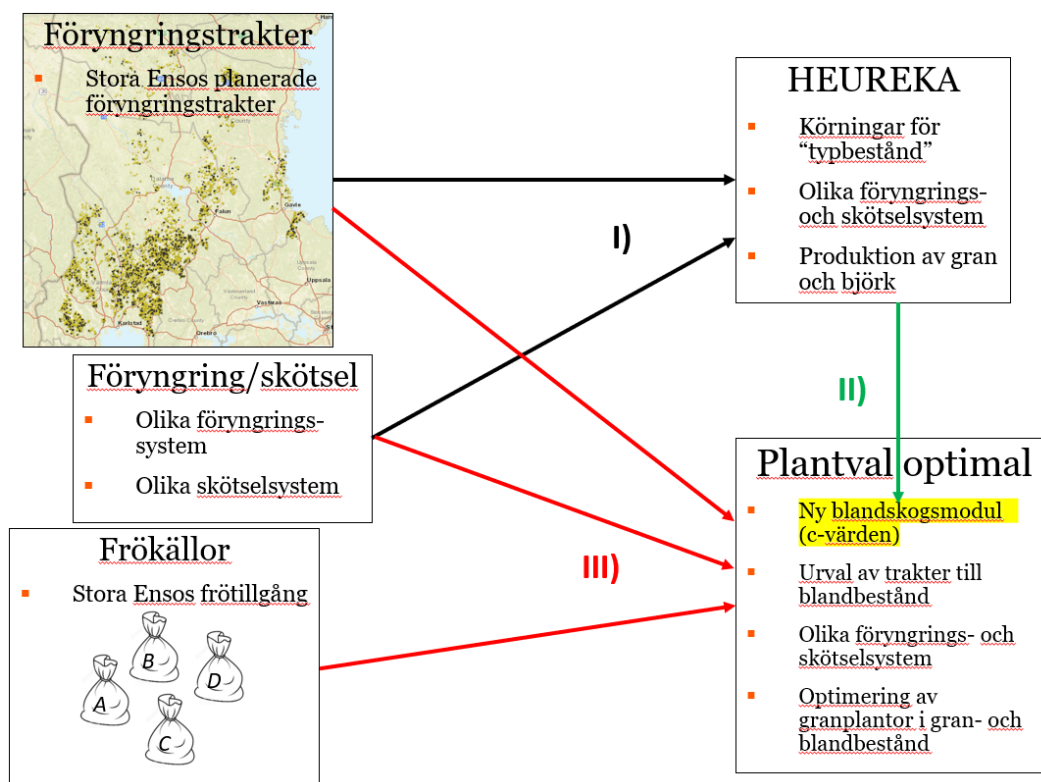
I den här studien ville vi därför studera hur förädlade granplantor bäst fördelas över ett helt innehav av planteringstrakter när man i viss omfattning väljer blandbestånd i stället för monokulturer av gran och hur hög produktion som kan uppnås. För att kunna göra detta behöver prestationsutfall i olika typer av gran-björkblandbestånd från Heureka introduceras i verktyget Plantval optimal för att möjliggöra analyser även för blandbestånd. Därefter kommer vi att använda Stora Ensos planerade planteringstrakter (jfr Berlin 2021) för att analysera hur den skogliga tillväxten förändras över alla dessa trakter vid olika planterings- och skötselsystem. Denna pilotstudie kan ses som ett första steg till att utveckla och introducera en blandskogsmodul i den operativa versionen av Plantval optimal.

Syfte

Syftet var att analysera hur en alternativ skötselmetod som innefattar blandbestånd mellan förädlade granplantor och naturligt föryngrad björk skulle prestera i termer av arealproduktion jämfört med traditionell skötsel med traktvis monokultur av gran över ett helt innehav bestående av många trakter. Vi använde Stora Ensos planerade föryngringstrakter för gran och analyserade olika andelar mellan gran och björk på trakterna och olika typer av framtida skötsel av dessa genom specialdesignade Heureka-analyser. Med denna kunskap kunde vi uppdatera modellerna i Plantval optimal's testmiljö och utveckla en blandskogsfunktionalitet. Slutligen användes Plantval optimal för att maximera årlig medeltillväxt över Stora Ensos föryngringstrakter för olika föryngrings- och skötselsystem innehållandes både blandbestånd och granmonokulturbestånd vid olika tillgång på förädlade plantor.

Material & Metoder

Det här projektet bygger på data från Stora Enso om tillgängliga föryngringstrakter och frötillgång under en 5-årsperiod samt en uppsättning föryngrings- och skötselsystem som ska analyseras av såväl Heureka-systemet som Plantval optimal. I ett första steg (figur 1, I) används informationen om föryngringstrakter och de utvalda föryngrings- och skötselsystemen för att definiera ett antal kategorier typbestånd och göra en uppsättning Heureka-simuleringar med syfte att få fram beståndsutvecklingen och volymproduktionen av gran och björk. I det andra steget (figur 1, II) används Heureka-simuleringarna för att utveckla en blandskogsmodul där produktionen av gran och björk i blandbestånden sätts i relativt jämfört med produktionen av gran i motsvarande rena granbestånd. Slutligen används informationen om föryngringstrakter och de utvalda föryngrings- och skötselsystemen igen tillsammans med information om tillgängliga frökällor för att göra en uppsättning körningar med Plantval optimal's nya blandskogsmodell (figur 1, III).



Figur 1: Översikt av indata (vänster) till analysverktygen Heureka och Plantval optimal (höger) och hur de olika delarna hänger samman.

Stora Ensos föryngringstrakter

Vi har utgått från samma föryngringstrakter för en tänkt 5-årsperiod som i Berlin (2021) men med skillnaden att alla trakter från område Hylte tagits bort då Stora Enso inte längre innehar trakter i detta område. Vidare har trakter som haft ett ståndortsindex (SI) under 16, över en altitud på 800 meter över havet och norr om latitud 62,5°N uteslutits. Dessa trakter uteslöts då vi velat bygga upp en matris av typtrakter (se längre fram) och de uteslutna trakterna representerar en mycket liten del och befinner sig i utkanten av Stora Ensos innehav. Av de 8040 trakter som användes i Berlin (2021) blev det 7452 trakter kvar i den här studien (tabell 1).

Tabell 1: Information om de grantrakter som använts i analysen. Med plantåtgång avses det antal plantor som enligt Stora Ensos riktlinjer behövs vid ett rent granbestånd.

Område	Antal trakter	Proportion (%)	Medelbonitet (m ³ /ha·år)	Medel-SI	Medelareal (ha)	Total areal (ha)	Plantåtgång
Fryksdal	765	10,3	8,5	29,2	4,8	3 658	6 041 500
Gäst N Upp	370	5,0	8,0	26,8	3,6	1 324	2 106 800
Härjedal	223	3,0	3,2	18,0	6,8	1 517	1 878 800
N Hälsingl	195	2,6	5,7	23,2	3,5	689	1 003 200
N Värml	636	8,5	7,3	26,6	4,8	3 078	4 917 900
NV Dala	647	8,7	5,3	22,1	2,3	1 482	2 100 500
S Hälsingl	214	2,9	6,4	24,5	3,0	637	964 800
V Bergsl	738	9,9	6,5	24,4	3,2	2 382	3 554 600
Värml Boh	955	12,8	8,3	28,8	3,5	3 348	5 516 500
Ö Bergsl	564	7,6	7,0	25,9	2,6	1 482	2 298 800
Ö Dalarna	611	8,2	5,8	23,1	2,7	1 678	2 457 500
Ö Värml	1534	20,6	7,4	26,8	3,7	5 664	8 994 500
Totalt	7452	100,0	7,0	25,8	3,6	26 937	41 835 400

Stora Ensos frökällor och tillgång

Precis som i Berlin (2021) användes Stora Ensos frölager 2021 för gran som bas för analyserna men i denna studie använde vi endast fröplantager och inga bestånd. Likaså återanvände vi vissa fröinflödesscenarier som tagits fram i Berlins (2021) studie men lade till ett extra. De frötillgångsscenarier vi nyttjade här är:

Referens: Hela nuvarande fröbank utan fröinflöde från någon frökälla.

TreO_bas: Som referensscenariot men med schablonmässigt tillflöde från nya TreO-plantager utan åtgärder för förbättrad fröproduktion (se Berlin, 2021 för detaljer).

TreO_opt: Som Treo_bas men med hela teoretiska potentialen av ökad fröproduktion genom skötselåtgärder från nya TreO-plantager (se Berlin, 2021 för detaljer).

TreO_kompl: Som Treo_opt men med obegränsad tillgång på frö från TreO-plantagerna nedan. Detta är ett tänkt framtidsscenario där alla TreO-plantager ger full täckning av fröbehovet för sitt område. Detta åstadkoms genom att åsätta frötillgången för varje plantage högre än det totala behovet av plantor.

Den totala frötillgången per fröplantage för de olika scenarierna blev som visas i tabell 2.

Tabell 2: Beräknad frötillgång (antal frön) i studien för alla fröplantager som Stora Enso har och kommer att ha tillgång till.

Plantagenamn	Nummer	Genetisk		TreO bas	TreO opt	TreO kompl
		nivå ¹	Referens			
Lill-Pite	FP-7	10	38 398	38 398	38 398	38 398
Hissjö	FP-13	10	40 412	40 412	40 412	40 412
Jung	FP-26	10	6 598 147	6 598 147	6 598 147	6 598 147
Högseröd	FP-31	10	58 934 435	58 934 435	58 934 435	58 934 435
Runesten	FP-58	10	29 091	29 091	29 091	29 091
Saleby (s)	FP-66	10	1 929 185	1 929 185	1 929 185	1 929 185
Ön	FP-444	10	10 731 668	10 731 668	10 731 668	10 731 668
Sör Amsberg	FP-453	10	2 549 779	2 549 779	2 549 779	2 549 779
Lustnäset	FP-487	10	423 646	423 646	423 646	423 646
Myra	FP-496	10	2 363 916	2 363 916	2 363 916	2 363 916
Bredinge (s)	FP-501	15	1 970 408	1 970 408	1 970 408	1 970 408
Ålbrunna	FP-504	15	88 945 903	88 945 903	88 945 903	88 945 903
Nedra Sandby (s)	FP-506	10	16 529 908	16 529 908	16 529 908	16 529 908
Gringelstad G4	FP-507	10	30 626 412	30 626 412	30 626 412	30 626 412
Almnäs	FP-508	15	2 046 998	2 046 998	2 046 998	2 046 998
Mållilla (s)	FP-512	10	16 991 364	16 991 364	16 991 364	16 991 364
Multrå G3	FP-517	15	4 391 556	4 391 556	4 391 556	4 391 556
TreO G4 Sollerön	FP-520	25	131 250	2 891 250	4 156 250	∞ ³
TreO G5 Ön	ej reg ²	25	0	1 725 000	2 415 000	∞ ³
TreO G5 Sjögränd	ej reg ²	25	0	2 300 000	3 565 000	∞ ³
TreO G5 Gårdskär	ej reg ²	25	0	0	230 000	∞ ³
TreO G4 Östhammar	FP-523	25	0	1 725 000	2 530 000	∞ ³
TreO G6 Saleby	FP-525	25	0	805 000	1 725 000	∞ ³
TreO G89M Olofs	FP-524	25	0	0	690 000	∞ ³
Brunsborg zon5	FT-901	10	3 060 598	3 060 598	3 060 598	3 060 598
Brunsborg zon6 (s)	FT-902	10	1 597 266	1 597 266	1 597 266	1 597 266

¹Genetisk vinst i tillväxt (%) enligt Rosvall m.fl. (2001)

²Plantagen ännu ej registrerad i rikslängden

³Obegränsad tillgång har tilldelats genom att sätta frötillgången högre än totalt behov

Föryngrings- och skötselsystem

I studien har vi jobbat med tre föryngringssystem:

Mono: Traditionell föryngring med förädlad gran enligt Stora Ensos rekommenderade planeringsförband. Referensalternativet.

Mix50: En alternativ föryngringsregim där endast hälften så många (50 procent) granplantor sätts jämfört med referensalternativet med syfte att få upp självföryngrad björk mellan granplantorna.

Mix75: Ett försiktigare alternativ till "Mix50" där 75 procent av granplantor sätts jämfört med referensalternativet med syfte att få upp självföryngrad björk mellan granplantorna.

För dessa förnyringssystem har vi använt tre skötselsystem:

Trad: Traditionell skötsel av monokultur av gran enligt gängse metoder.

Gran: Ett skötselsystem där man väljer att utveckla blandbeståndet mot grandominans.

Bland: Ett skötselsystem där man väljer att utveckla blandbeståndet mot bibehållen blandskog.

I kommande analyser med såväl Heureka som Plantval optimal har vi byggt upp sex analys-scenarier som kombinerar dessa förnyrnings- och skötselsystem enligt tabell 3.

Tabell 3: Kombinationer av de sex förnyrnings- och skötselsystem som analys-scenarierna består av.

Analys-scenario	Förnyringssystem	Skötselsystem	Förädling ¹
Ref_oförädlad	Mono	Trad	Nej
Ref_förädlad	Mono	Trad	Ja
Mixbland_50	Mix50	Bland	Ja
Mixgran_50	Mix50	Gran	Ja
Mixbland_75	Mix75	Bland	Ja
Mixgran_75	Mix75	Gran	Ja

¹Vid nej användes oförädlade granplantor och vid ja användes förädlade granplantor

Typtrakter

Den trädslagvisa utvecklingen och produktionen i blandbestånd kan antas variera beroende på både miljöfaktorer som latitud, altitud och bonitet och förädlingsgrad på granplantorna. Vi har skapat diskreta klasser av samtliga miljöfaktorer och kombinationen av dessa klasser kallar vi för en uppsättning typtrakter. För varje typtrakt (och förädlingsgrad) kan vi räkna ut trädslagets relativa prestation vilket ger oss en diskret modell av blandbestånden. Då denna studie baseras på Stora Ensos förnyringstrakter ville vi primärt kunna täcka in merparten av deras trakter genom dessa typtrakter. För att inte få för många typtrakter att arbeta med sorterades vissa trakter bort som skulle utöka typtrakterna betydligt, men vars områden innehöll få trakter och väldigt kärva sådana. Vi gjorde därför ett urval där trakter med ett SI mindre än 16, altitud högre än 800 meter över havet och latitud över 62,5 uteslöts ur studien (tabell 4).

Tabell 4: SI, altitud och latitud för Stora Ensos föryngringstrakter för en 5-årsperiod från Berlin (2021) exklusive trakter i område Hylte med typtrakterna utvalda.

SI	Ant trakt	Typtrakter	Min alt	Medel alt	Max alt	Min lat	Medel lat	Max lat
12	154	0	227	698	840	59,98	62,17	62,64
13	50	0	229	661	814	60,08	62,06	62,61
14	91	0	210	589	798	60,10	61,81	62,62
15	73	0	180	574	781	60,23	61,68	62,64
16	529	524	3	316	770	59,32	60,56	62,60
17	89	84	75	469	736	59,85	61,43	62,62
18	200	200	53	389	686	59,36	60,94	62,48
19	91	91	48	400	666	59,49	60,85	62,34
20	352	351	3	337	740	59,34	60,67	62,52
21	125	125	7	351	595	59,43	60,69	62,34
22	589	589	3	309	606	59,30	60,48	62,31
23	181	181	1	319	622	59,43	60,66	62,33
24	819	817	2	272	514	59,31	60,38	62,33
25	251	250	2	282	577	59,28	60,43	62,34
26	758	758	2	243	504	59,29	60,14	62,15
27	306	306	7	269	499	59,30	60,19	62,09
28	727	726	5	243	476	59,28	60,03	62,10
29	395	395	5	249	489	59,29	60,07	62,06
30	679	679	3	226	452	59,28	60,00	62,02
31	381	381	2	218	450	59,29	59,99	62,06
32	482	482	2	183	401	59,30	59,91	61,28
33	250	250	4	166	395	59,30	59,86	61,27
34	154	154	7	171	455	59,33	59,86	60,78
35	62	62	2	146	378	59,34	59,90	60,64
36	47	47	9	151	368	59,30	59,92	61,20
7835	7452	1	281	840	59,28	60,34	62,64	

Vi skapade därefter typtrakterna i diskreta klasser enligt:

- $SI=[16, 18, 20, \dots, 34, 36]$. Elva klasser med två SI-enheters intervall
- $LAT=[59, 60, 61, 62]$. Fyra klasser med en latituds intervall.
- $ALT=[0, 100, 200, \dots, 700, 800]$. Nio klasser med 100 meters intervall.

Med alla möjliga kombinationer skulle typtrakterna då kunna vara 396 men i denna studie blir det något färre då alla kombinationer inte förekommer i Stora Ensos aktuella föryngringstrakter.

I: Analyser med Heureka-systemet

Material och metoder

Scenarier

Simuleringsverktyget Heureka PlanWise användes för att simulera etablering och beståndsutveckling fram till slutavverkning för scenarier med olika trädslagsblandningar och olika förädlingsgrad för granens plantmaterial. Följande scenarier simulerades:

Ren granskog. Plantering med 2000 granplantor per hektar. Traditionell skogsskötsel för gran tillämpas vid röjning och gallring.

- REF_OFÖRÄDLAD. Plantering med oförädlade granplantor.
- REF_FÖRÄDLAD. Plantering med förädlade granplantor.

Blandbestånd. Reducerat planteringsförband med gran och utfyllnad av naturligt föryngrad björk. Röjningen används för att skapa det önskade blandningsförhållandet mellan trädslagen i utgångsläget. Gallringsfasen används för att påverka den fortsatta utvecklingen i enlighet med den långsiktiga målsättningen för blandningen.

Målsättning: långsiktig blandning. Enbart träddimensionen styr uttagets fördelning på trädslagen vid gallring.

- MIXBLAND_75. Plantering med 1500 förädlade granplantor per hektar. Efter röjning lämnas 1500 granar och 500 björkar per hektar.
- MIXBLAND_50. Plantering med 1000 förädlade granplantor per hektar. Efter röjning lämnas 1000 granar och 1000 björkar per hektar.

Målsättning: grandominans. Björk gallras ut i så stor utsträckning som möjligt under gallringsfasen med målsättningen att skapa ett grandominerat bestånd vid slutavverkning.

- MIXGRAN_75. Plantering med 1500 förädlade granplantor per hektar. Efter röjning lämnas 1500 granar och 500 björkar per hektar.
- MIXGRAN_50. Plantering med 1000 förädlade granplantor per hektar. Efter röjning lämnas 1000 granar och 1000 björkar per hektar.

Förädlingsgrad

Scenario REF_OFÖRÄDLAD planterades med oförädlad plantmaterial (inställning i PlanWise: Control Category/Treatment Model/2.Regeneration/Use Breeding->FALSE). För övriga scenarier användes förädlade granplantor (.../Use Breeding->TRUE) med en förväntad produktionsökning på 10, 15, 20 respektive 25 procent (.../2.Regeneration/Breeding).

Ståndortsegenskaper

Respektive scenarier och förädlingsgrad simulerades för matriser med olika ståndortsförhållanden:

- Ståndortsindex (H100 gran): 16-36 (2 enheters intervall)
- Breddgrad (°N): 59-62 (en breddgrads intervall)

- Höjd över havet (m): 0-800 (100 m intervall)

För att undvika simuleringar av orealistiska ståndortsförhållanden ströks kombinationer som inte fanns representerade i beståndregistret levererat av StoraEnso.

Simulering

Etablering

Enligt standardinställningarna i PlanWise utfördes markberedning ett år efter avverkning av föregående bestånd. Planteringen utfördes år två. Även den naturliga föryngringens initiering och egenskaper följde standard för PlanWise. Inväxning i den etablerade skogen (>50 år) tillämpades ej (Control Category/Production Model/3.Regeneration/Ingrowth Model->NONE).

Röjning

Röjningen användes för att skapa blandningsförhållanden mellan gran och björk i enlighet med scenarierna. I samtliga scenarier lämnades 2000 stammar per hektar efter röjning. Stamantalet och dess andel per trädslag definierades i "Control Category/Treatment Model/3.Cleaning/Cleaning Configuration". I övrigt användes standardinställningar för röjningens utförande. Naturlig avgång bland de planterade granarna innebär att en mindre andel av stamantalet efter röjning utgjordes av naturligt föryngrad gran.

Gallring

Gallring tilläts upp till en övre höjd av 30 m. Gallringsuttaget var 30 procent av grundytan eller högre. I övrigt användes standardinställningar för REF_FÖRÄDLAD och REF_OFÖRÄDLAD. För scenarier med blandskog tillämpades skilda gallringsregimer beroende på om målsättningen var långsiktig blandskog (MIXBLAND) eller en strävan efter grandominans med ökande beståndsålder (MIXGRAN). För att styra gallringsuttagets fördelning på olika trädslag användes inställningarna för gallringsmodell "HuginOld" i "Control Category/Treatment Model/3.Cleaning/Thinning Configuration". Uttagets fördelning på lövträd och barrträd justeras genom att ange ett tal mellan -1 och 1 i fältet "Deciduous/Conifers". Ett värde >0 innebär ett större gallringsuttag för löv än för barr och vice versa för värden <0. För MIXBLAND sattes värdet till 0, det vill säga samma vikt för både löv och barrträd. I MIXGRAN maximerades uttaget av löv vid gallring genom att sätta värdet till 1.

Simulering av skötselalternativ och val av avverkningstidpunkt

För varje simulering genererade Heureka PlanWise ett stort antal skötselalternativ givet de kontrollparametrar som har satts av användaren. Skötselalternativen innebär olika tidpunkt för röjning, skilda regimer för gallring och varierande slutavverkningsålder. I denna studie tilläts slutavverkningstidpunkten variera mellan lägsta slutavverkningsålder enligt skogsvårdslagen (SVL) och en beståndsålder som var 40 år högre än denna nedre gräns. Det skötselalternativ som genererade högsta årlig volymmedeltilläxt (MAI) valdes för respektive simulering. Beslutspunkterna för skötselåtgärder och slutavverkning följer PlanWise framskrivningsintervall på 5 år.

Utdata från Heureka PlanWise och beräkningar

Från PlanWise erhöles beståndsdata från år noll till slutavverkning med 5-åriga framskrivningsintervall. Baserat på utdata beräknades volymens medeltillväxt (MAI) för den simulerade omloppstiden enligt:

$$MAI = \frac{V_{i=s} + \sum_{i=0}^s V_{ut_i} + \sum_{i=0}^s V_{mort_i}}{L_{i=s}}$$

Där V är stående volym (m³sk), V_{ut} är uttagen volym vid röjning och gallring (m³sk), V_{mort} är volymen för döda träd (m³sk), L är simuleringsperiodens längd (år) och i är index för simuleringsperiod där 0 är simuleringsstart och s är slutavverkningstidpunkt.

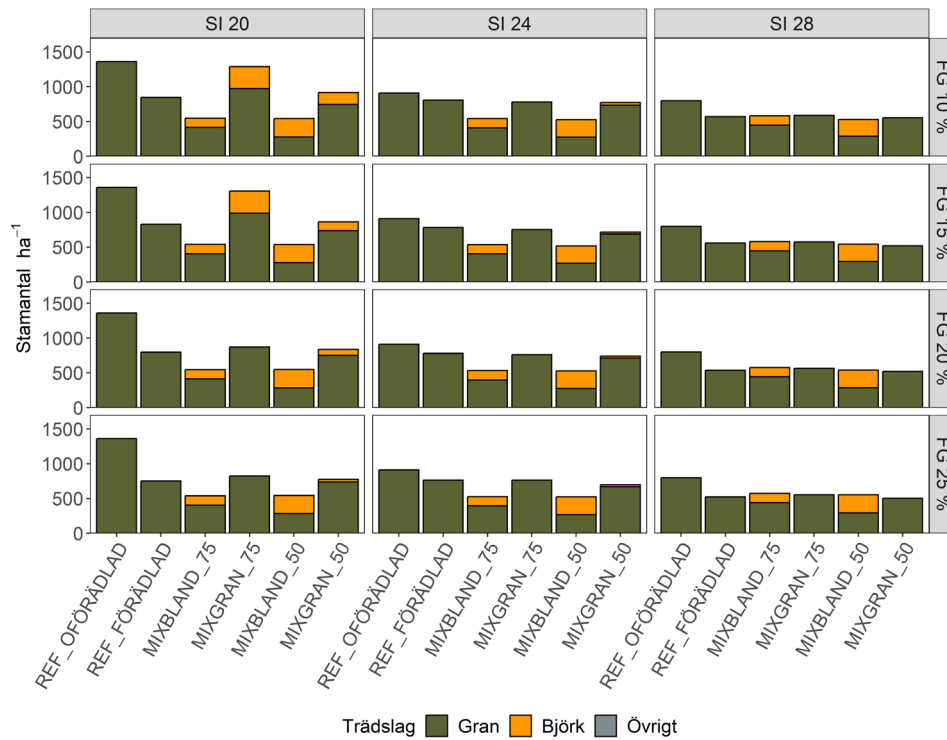
Beräkningarna av MAI gjordes trädslagsvis och totalt för respektive scenario, förädlingsgrad och ståndortsförhållande.

Resultat

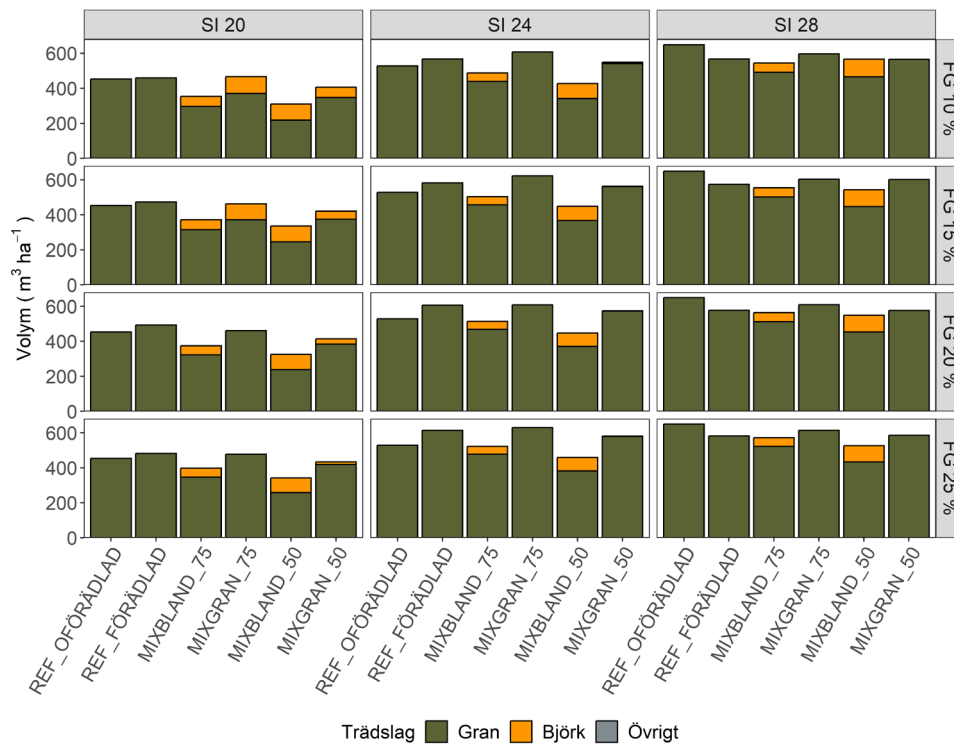
I simuleringarna tilläts gallringsprogram och slutavverkningstidpunkt variera. För varje scenario valdes det simuleringsalternativ som gav högst MAI. Vid tidpunkten för slutavverkning hade MAI kulminerat eller var nära kulmination för de valda scenarierna. Omloppstiden var i genomsnitt kortare för granbestånd med förädlat material (REF_FÖRÄDLAT) än för oförädlat (REF_OFÖRÄDLAT). Vid en förädlingsgrad på 25 procent var medelålder vid slutavverkning 95 år för hela materialet i REF_FÖRÄDLAT jämfört med 102 år i REF_OFÖRÄDLAT. Vid samma förädlingsgrad var antalet gallringar 1,4 för REF_FÖRÄDLAT och 0,5 för REF_OFÖRÄDLAT. Antalet gallringar under en omloppstid var högre i scenarier med målsättningen att bibehålla en blandning (1,8-1,9 ggr i MIXBLAND_50 och MIXBLAND_75, förädlingsgrad 25 procent) jämför med scenarier med grandominans som mål (0,9 ggr i MIXGRAN_50 och MIXGRAN_75). Slutavverkningsåldern låg på samma nivå oavsett den långsiktiga målsättningen för blandbestånden (96-99 år, förädlingsgrad 25 procent).

Stamantalet vid tidpunkten för slutavverkning var i genomsnitt högre för REF_OFÖRÄDLAT jämfört med REF_FÖRÄDLAT och högre för MIXGRAN än för MIXBLAND (Figur 2). Detta är troligtvis en effekt av skillnader i gallringsregim där instruktionen var att gallra.

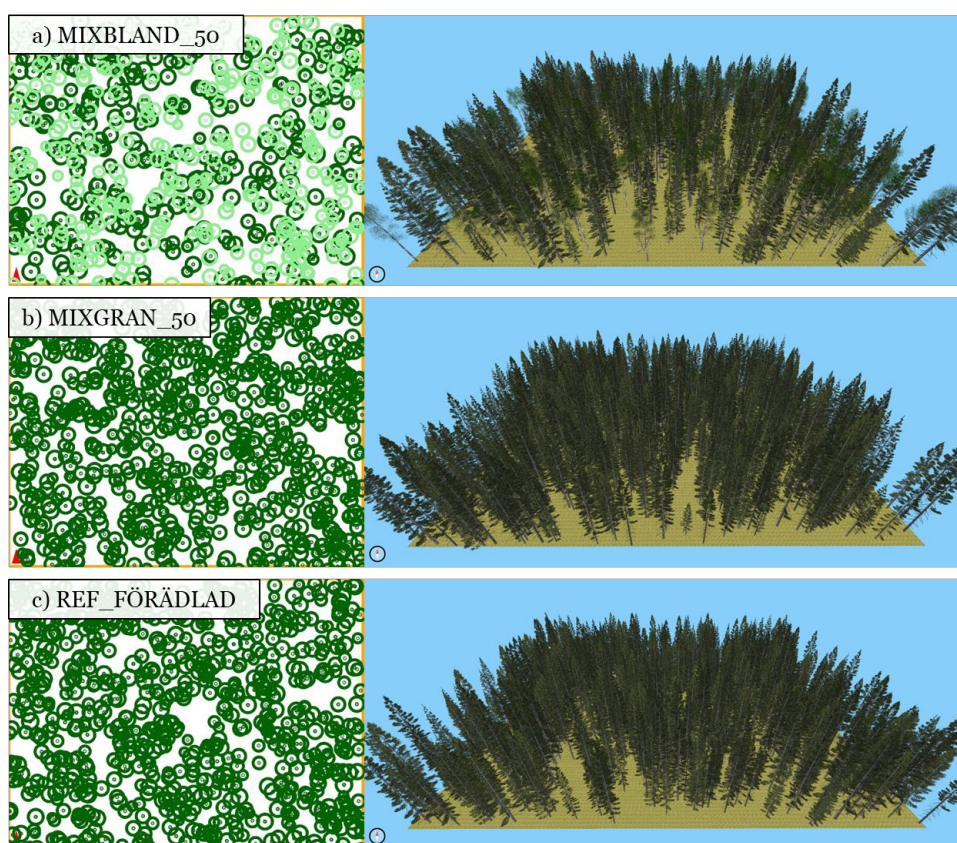
Den långsiktiga målsättningen för blandbestånden påverkade trädslagsfördelningen vid slutavverkning. Vid scenarier med en förädlingsgrad på 25 procent var den genomsnittliga andelen björk vid slutavverkning 44 procent av stamantalet och 16 procent av volymen i MIXBLAND_50 (Figur 2, 3 och 4). För MIXGRAN_50 var motsvarande siffror 14 procent för stamantal och 5 procent för volymen. Vissa kombinationer av ståndortsindex och förädlingsgrad innebar scenarier utan gallring. Som en effekt av detta fanns det en ansevärd andel björk i MIXGRAN på låga boniteter (Figur 2 och 3). Vid högre ståndortsindex var gran helt dominerande vid slutavverkning i MIXGRAN.



Figur 2. Stamtal vid slutavverkning för olika skötselscenarier, ståndortsindex för gran (SI) och förädlingsgrad (FG). Simuleringarna är gjorda för breddgrad 60°N och höjd över havet 100 m.

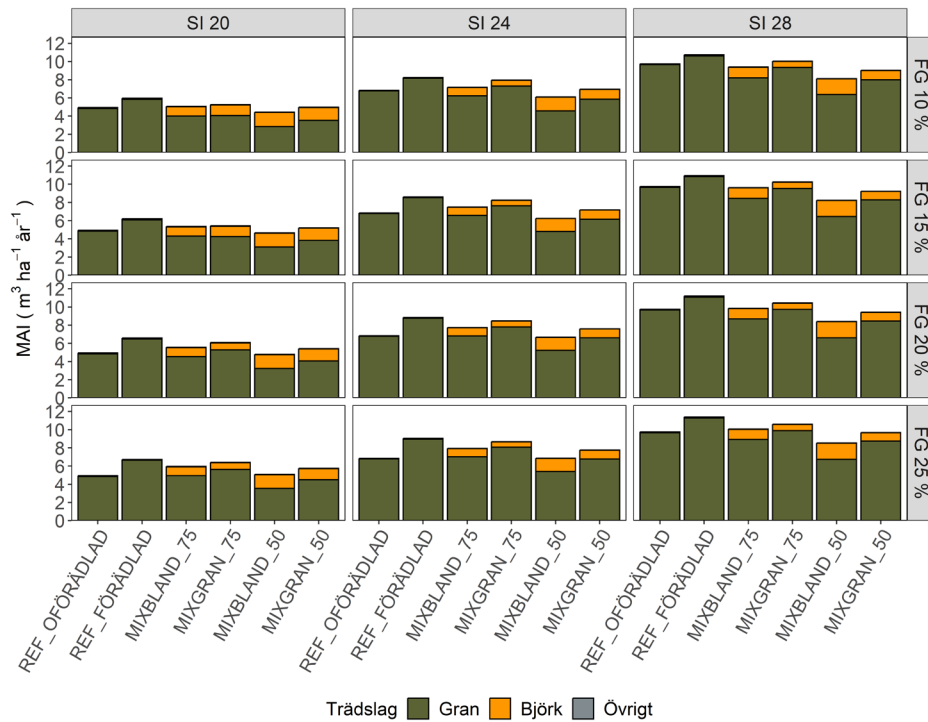


Figur 3. Stående volym vid slutavverkning för olika skötselscenarier, ståndortsindex för gran (SI) och förädlingsgrad (FG). Simuleringarna är gjorda för breddgrad 60°N och höjd över havet 100 m.

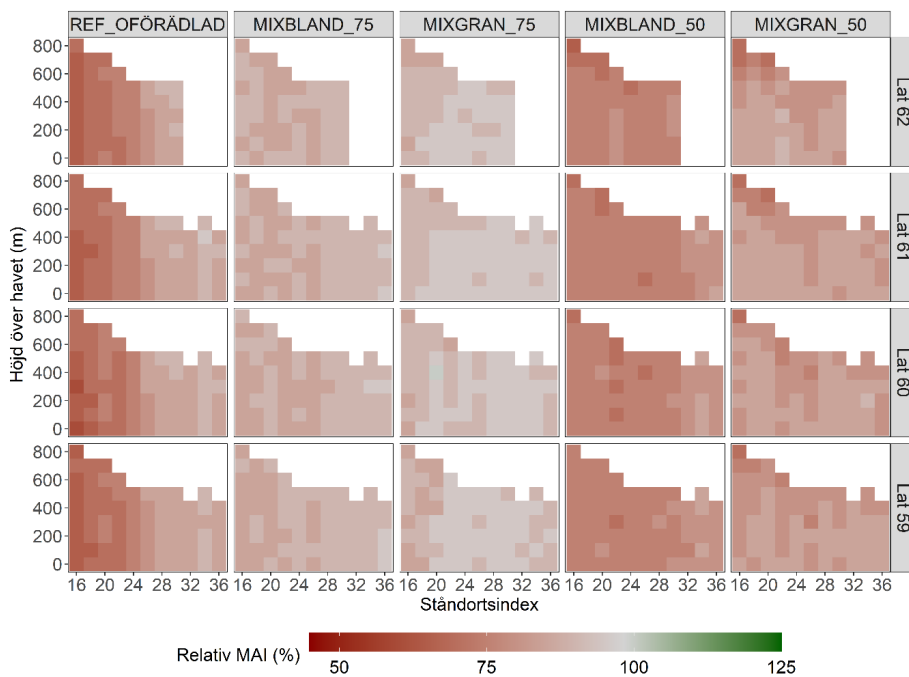


Figur 4. Visualisering av scenario a) MIXBLAND_50, b) MIXGRAN_50 och c) REF_FÖRÄDLAD vid tidpunkter för slutavverkning. Simuleringarna har gjorts för ståndortsindex G28, breddgrad 60 och altitud 100 m. Den förväntade produktionsvinsten för förädlad gran är satt till 25 procent. I de tvådimensionella bilderna till vänster visas fördelningen av björk (ljusgrön) och gran (mörkgrön). Bilderna är hämtade från simuleringsverktyget Heureka StandWise.

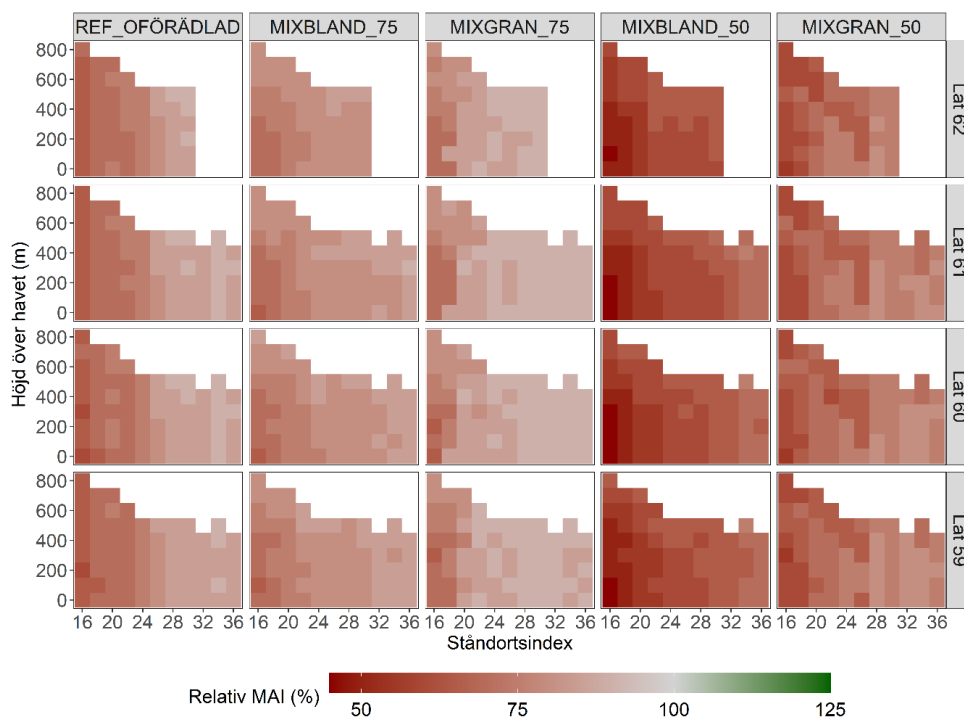
Volymens medelproduktion var i genomsnitt 10-30 procent högre i REF_FÖRÄDLAD än i REF_OFÖRÄDLAD under en omloppstid beroende på granens förädlingsgrad (Figur 5). Det fanns en tydlig trend till en ökande relativ skillnad med minskande ståndortsindex (Figur 6 och 7). En hög andel björk i utgångsläget och en målsättning att bibehålla björken under hela omloppstiden resulterade i lägre volymtillväxt än scenarier inriktade på grandominans. I MIXBLAND_50 och en förädlingsgrad för gran på 25 procent var medelproduktionen 76 procent för samtliga trädslag och 60 procent för gran jämfört med REF_FÖRÄDLAD med förädlingsgraden 25 procent (Figur 6 och 7). En lägre andel björk i utgångsläget och en målsättning att gallra bort björk resulterade i medelproduktion på 92 procent för alla trädslag och 84 procent för gran i MIXGRAN_75 jämfört med REF_FÖRÄDLAD (Figur 6 och 7). Björkens andel av totalproduktionen under en omloppstid var i genomsnitt 24 och 21 procent vid en förädlingsgrad hos granen på 10 respektive 25 procent i MIXBLAND_50. För samtliga scenarier med blandning mellan gran och björk minskade björkens andel av den totala produktionen under en omloppstid med ökande SI och ökande förädlingsgrad på granen. I MIXBLAND_50 var björkens andel av totalproduktionen 29 och 18 procent vid ståndortsindex 20 respektive 30 och en förädlingsgrad hos granen på 10 procent. Motsvarande siffror vid en förädlingsgrad på 25 procent hos granen var 24 och 17 procent av totalproduktionen.



Figur 5. Medelproduktion (volym) under en omloppstid för olika skötselscenarier, ståndortsindex för gran (SI) och förädlingsgrad (FG). Simuleringarna är gjorda för breddgrad 60°N och höjd över havet 100 m.



Figur 6. Den totala volymens (gran och björk) medeltillväxt under en omloppstid för olika scenarier relativt tillväxten hos granbestånd med förädlad material ($\text{MAI}_x/\text{MAI}_{\text{REF_FÖRÄDLAD}} \times 100$). Jämförelsen görs för olika ståndortindex för gran, breddgrad (Lat) och höjd över havet. Lägre tillväxt än förädlade granbestånd (REF_FÖRÄDLAD) markeras med röd färg, högre tillväxt med grön. Förädlingsgraden för gran är 25 procent.



Figur 7. Volymens medeltillväxt för gran under en omloppstid för olika scenarier relativt tillväxten hos granbestånd med förädlat material ($MAI_x/MAI_{REF_FÖRÄDLAD} \times 100$). Jämförelsen görs för olika ståndortindex för gran, breddgrad (Lat) och höjd över havet. Lägre tillväxt än förädlade granbestånd (REF_FÖRÄDLAD) markeras med röd färg, högre tillväxt med grön. Förädlingsgraden för gran är 25 procent.

II: Utveckling av en blandskogsmodul

C-värden

Plantval optimal maximerar den årliga medeltillväxten över alla studerade trakter genom att summera den årliga medeltillväxten för trakterna var och en för sig. Systemet är dock utvecklat för rena granbestånd och den traktvisa årliga medeltillväxten beräknas som boniteten på trakten multiplicerat med den genetiska vinstnivån för de granplantor som bestämts ska hamna där (Davidsson m.fl. 2018). För att kunna använda detta system även för blandbestånd behöver vi kunna översätta den årliga medeltillväxten för gran och björk på en gemensam skala vilket vi gör genom att beräkna den årliga medeltillväxten i ett blandbestånd för gran och björk relativt den årliga medeltillväxten i ett rent granbestånd på motsvarande trakt och räkna fram justeringsvärden (C-värden) enligt nedan.

Föryngrings- och skötselsystemen anges som $j=0,1,\dots,5$ där:

- $j=0$ – REF_OFÖRÄDLAD
- $j=1$ – REF_FÖRÄDLAD
- $j=2$ – MIXBLAND_50

- j=3 – MIXGRAN_50
- j=4 – MIXBLAND_75
- j=5 – MIXGRAN_75

Då Heureka-analyserna visar att såväl granens som björkens produktion i blandbestånd relativt ett rent granbestånd varierar över både de undersökta ståndortsfaktorerna och den genetiska vinstnivån (figur 6 & 7), måste också C-värdena inbegripa motsvarande variation. Ståndortsfaktorerna anges därför som k=16,18,...,34,36 (SI), l=59,60,61,62 (LAT), m=0,100,...,800 (ALT) och den genetiska vinstnivån som n=10,15,20,25. C-värdet för gran blir då (för j=2,...5):

$$C_{j,k,l,m,n}^{gran} = \frac{MAI_{j,k,l,m,n}^{gran}}{MAI_{1,k,l,m,n}^{gran}}$$

och C-värdet för björk blir:

$$C_{j,k,l,m,n}^{björk} = \frac{MAI_{j,k,l,m,n}^{björk}}{MAI_{1,k,l,m,n}^{gran}}$$

I Heureka-simuleringarna för typtrakterna så ingår naturlig föryngring inte bara av björk utan även av tall. Det visade sig dock att: (i) tallens andel av den årliga medeltillväxten var försumbar jämfört med gran och björk för alla föryngrings- och skötselsystem och; (ii) björkens andel av den årliga medeltillväxten var försumbar jämfört med gran i rena granbestånd (j=0,1) (tabell 5)

Tabell 5: Medelvärde för alla typtrakter av årlig medeltillväxt (m^3/ha) totalt för alla trädslag, för gran, björk och tall separat för de olika föryngrings- och skötselsystemen samt den procentuella årliga medeltillväxten för varje trädslag jämfört med total årlig medeltillväxt inom parentes.

System	MAI^{tot}	MAI^{gran}	$MAI^{björk}$	MAI^{tall}
0	8,35	8,26 (98,7)	0,06 (0,9)	0,02 (0,4)
1	9,74	9,65 (98,9)	0,07 (0,8)	0,02 (0,3)
2	7,46	6,21 (81,0)	1,23 (18,6)	0,02 (0,3)
3	7,96	6,99 (85,4)	0,95 (14,2)	0,02 (0,3)
4	8,67	7,91 (89,9)	0,74 (9,8)	0,02 (0,3)
5	8,98	8,37 (91,4)	0,59 (8,2)	0,02 (0,3)

Givet detta görs approximationerna att: (i) den årliga medeltillväxten för rena granbestånd (j=0,1) endast består av årlig medeltillväxt för gran och; (ii) den årliga medeltillväxten för blandbestånd (j=2,3,4,5) inte inkluderar årlig medeltillväxt för tall. Med dessa approximationer kan ett totalt justeringsvärde beräknas som:

$$C_{j,k,l,m,n}^{tot} = C_{j,k,l,m,n}^{gran} + v \cdot C_{j,k,l,m,n}^{björk}$$

Vikten v används för att sätta ett relativt värde på volymproduktionen av björk jämfört med gran. Vid vikten $v=1$, antas en kubikmeter björk vara lika värdefull som en kubikmeter gran och om $v<1$ är en kubikmeter björk värd mindre än en kubikmeter gran och vice versa.

Utveckling av en blandskogsmodul i Plantval optimal

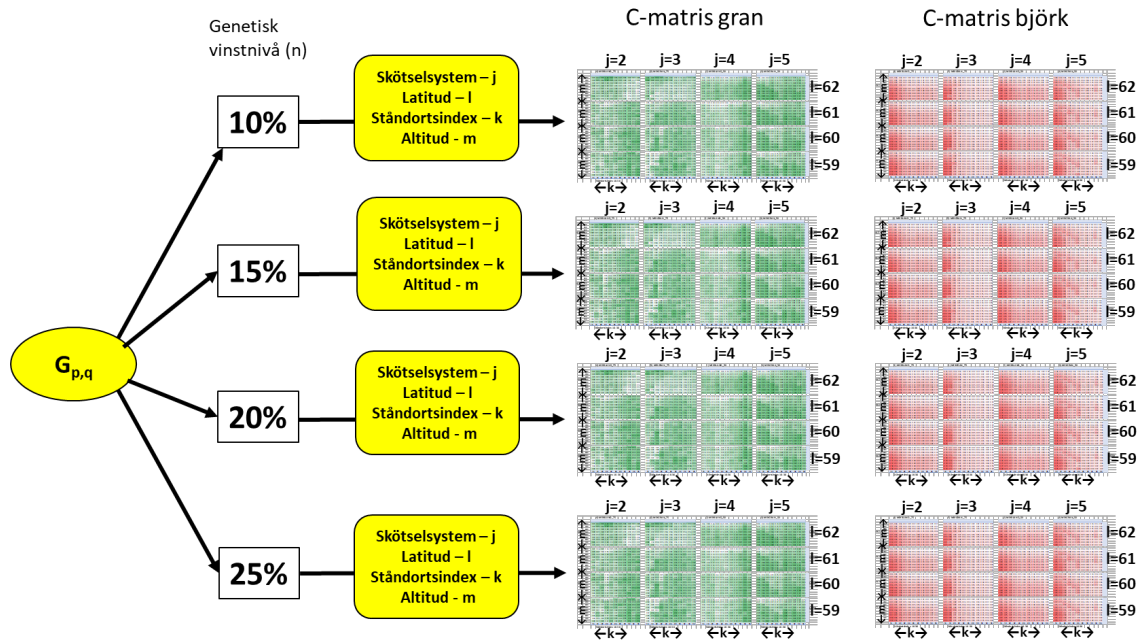
I Plantval optimal beror den årliga medeltillväxten på en föryngringstrakt på både traktens bonitet (BON) och den faktiskt uttryckta genetiska vinsten (G), vilken beror på valt föryngringsmaterials genetiska vinst och förflyttningseffekter på trakten i fråga (Davidsson m.fl. 2018). Traktens (p) årliga medeltillväxt för ett visst föryngringsmaterial (q) beräknas då som

$$MAI_{p,q} = BON_p \cdot G_{p,q}$$

Modellen ovan hanterar dock bara rena granbestånd men för ett blandbestånd ($j=2,3,4,5$) kan den årliga medeltillväxten på trakten p approximativt beräknas med hjälp av justeringsvärdena enligt

$$MAI_{p,q}^* = MAI_{p,q} \cdot C_{j,k,l,m,n}^{tot}$$

Justeringsvärdet kan åsättas genom att identifiera inom vilket spann av ståndortsindex (k), latitud (l), altitud (m) och faktiskt uttryckta genetiska vinst ($G_{p,q}$) som gäller för trakten p och föryngringsmaterialet q . Först identifieras vilket genetiskt vinstnivåspann (n) som gäller och därefter kan C -värden för gran och björk identifieras genom att leta upp rätt celler i datamatriskerna innehållandes dessa C -värden (figur 8).



Figur 8: Översikt av systemet för att åsätta C-värden för gran och björk för den faktiskt uttryckta genetiska vinst ($G_{p,q}$) som gäller för trakten p och förnyngningsmaterialet q. C-värdena är strukturerade i matrisform som täcker alla kombinationer av ståndortsfaktorer och skötselsystem.

För att exemplifiera så antar vi en trakt med ståndortsfaktorerna SI=26, LAT=60, ALT=300 med blandskogssystem MIXGRAN_50 och vars förnyngningsmaterial har en faktiskt uttryckt genetisk vinst på 25 procent. Först letas datamatrixerna för n=25 upp (Figur 8) och därefter identifieras C-värdena för gran (Figur 9) och björk (Figur 10).

	2) MIXBLAND_50	3) MIXGRAN_50	4) MIXBLAND_75	5) MIXGRAN_75	
800	0.66 0.68 0.64 0.68 0.65 0.65 0.67 0.68 0.70 0.74 0.70	0.69 0.67 0.68 0.74 0.73 0.75 0.79 0.77 0.78 0.77 0.76	0.87 0.86 0.83 0.82 0.82 0.85 0.85 0.86 0.87 0.87 0.88	0.87 0.87 0.84 0.85 0.90 0.90 0.92 0.93 0.92 0.90 0.89	
700	0.70 0.70 0.71 0.71 0.71 0.69 0.71 0.71 0.73 0.80 0.75	0.72 0.73 0.73 0.77 0.75 0.76 0.80 0.80 0.79 0.83 0.77	0.89 0.85 0.86 0.82 0.84 0.87 0.86 0.88 0.89 0.92 0.90	0.83 0.87 0.88 0.89 0.89 0.89 0.93 0.93 0.92 0.92 0.91	
600	0.75 0.74 0.73 0.74 0.72 0.72 0.73 0.73 0.76 0.83 0.79	0.77 0.79 0.76 0.81 0.78 0.77 0.80 0.79 0.80 0.83 0.78	0.89 0.88 0.88 0.88 0.88 0.88 0.89 0.89 0.89 0.92 0.93	0.90 0.92 0.91 0.90 0.92 0.93 0.92 0.92 0.92 0.92 0.93	
500	0.76 0.78 0.74 0.77 0.73 0.75 0.76 0.76 0.80 0.83 0.80	0.83 0.85 0.78 0.83 0.80 0.80 0.82 0.82 0.83 0.83 0.81	0.88 0.89 0.88 0.88 0.87 0.89 0.89 0.91 0.92 0.92 0.91	0.90 0.92 0.90 0.92 0.94 0.94 0.94 0.94 0.95 0.92 0.94	LAT62
400	0.77 0.77 0.74 0.77 0.75 0.76 0.77 0.78 0.80 0.82 0.80	0.83 0.85 0.85 0.83 0.79 0.80 0.82 0.84 0.83 0.81 0.81	0.90 0.90 0.87 0.89 0.89 0.88 0.89 0.89 0.90 0.91 0.91	0.92 0.93 0.93 0.94 0.94 0.94 0.94 0.94 0.95 0.93 0.91	
300	0.76 0.75 0.74 0.80 0.74 0.77 0.75 0.78 0.79 0.82 0.83	0.85 0.86 0.85 0.88 0.81 0.80 0.85 0.84 0.85 0.80 0.83	0.89 0.89 0.88 0.88 0.86 0.88 0.88 0.89 0.91 0.90 0.94	0.91 0.91 0.93 0.94 0.93 0.94 0.94 0.94 0.94 0.93 0.94	
200	0.76 0.77 0.77 0.79 0.76 0.75 0.76 0.79 0.79 0.84 0.80	0.86 0.85 0.85 0.87 0.85 0.80 0.84 0.84 0.86 0.87 0.83	0.89 0.88 0.88 0.87 0.89 0.88 0.89 0.91 0.92 0.90 0.93	0.91 0.89 0.97 0.95 0.94 0.93 0.92 0.94 0.94 0.94 0.93	
100	0.74 0.77 0.75 0.78 0.78 0.74 0.77 0.78 0.81 0.82 0.82	0.85 0.88 0.86 0.88 0.87 0.80 0.87 0.84 0.87 0.87 0.84	0.86 0.89 0.89 0.88 0.90 0.87 0.88 0.91 0.93 0.91 0.92	0.88 0.98 0.94 0.95 0.95 0.94 0.96 0.96 0.95 0.93 0.94	
0	0.77 0.75 0.77 0.80 0.75 0.74 0.76 0.77 0.79 0.82 0.82	0.84 0.86 0.87 0.88 0.84 0.83 0.86 0.83 0.86 0.86 0.82	0.89 0.88 0.90 0.89 0.88 0.87 0.90 0.89 0.93 0.91 0.91	0.91 0.90 0.96 0.96 0.93 0.93 0.94 0.94 0.95 0.93 0.92	
800	0.70 0.70 0.70 0.70 0.69 0.70 0.69 0.72 0.77 0.75	0.69 0.70 0.74 0.73 0.74 0.75 0.78 0.79 0.78 0.82 0.77	0.87 0.84 0.87 0.83 0.85 0.85 0.86 0.89 0.91 0.90 0.90	0.85 0.86 0.88 0.87 0.89 0.90 0.92 0.93 0.92 0.92 0.90	
700	0.74 0.74 0.71 0.72 0.69 0.71 0.76 0.73 0.74 0.81 0.77	0.76 0.75 0.73 0.76 0.75 0.77 0.81 0.80 0.79 0.81 0.77	0.89 0.88 0.84 0.85 0.86 0.88 0.89 0.89 0.90 0.92 0.91	0.90 0.91 0.88 0.89 0.92 0.91 0.94 0.93 0.92 0.92 0.91	
600	0.76 0.75 0.73 0.73 0.73 0.74 0.76 0.77 0.80 0.81 0.78	0.84 0.77 0.78 0.80 0.79 0.80 0.83 0.81 0.80 0.82 0.79	0.89 0.88 0.88 0.88 0.89 0.88 0.89 0.91 0.93 0.89 0.90	0.90 0.89 0.89 0.92 0.93 0.94 0.94 0.94 0.95 0.91 0.92	
500	0.76 0.77 0.74 0.74 0.73 0.75 0.76 0.77 0.80 0.82 0.80	0.85 0.85 0.83 0.80 0.80 0.79 0.83 0.82 0.82 0.81 0.82	0.88 0.90 0.86 0.87 0.88 0.88 0.90 0.91 0.91 0.92 0.93	0.92 0.92 0.90 0.93 0.93 0.93 0.94 0.94 0.93 0.93 0.92	LAT61
400	0.75 0.75 0.76 0.77 0.74 0.74 0.78 0.78 0.81 0.85 0.80	0.83 0.85 0.85 0.81 0.79 0.80 0.85 0.83 0.83 0.83 0.82	0.87 0.89 0.88 0.89 0.90 0.92 0.91 0.91 0.92 0.90	0.89 0.91 0.95 0.96 0.94 0.94 0.96 0.94 0.93 0.93 0.92	
300	0.78 0.74 0.77 0.76 0.75 0.76 0.77 0.79 0.82 0.82	0.87 0.84 0.86 0.83 0.84 0.79 0.86 0.84 0.84 0.81 0.86	0.90 0.86 0.88 0.87 0.90 0.88 0.90 0.91 0.92 0.92 0.94	0.91 0.89 0.98 0.94 0.96 0.94 0.95 0.95 0.94 0.93 0.96	
200	0.74 0.76 0.76 0.75 0.75 0.74 0.77 0.76 0.80 0.82 0.80	0.84 0.85 0.86 0.85 0.84 0.80 0.88 0.84 0.87 0.86 0.82	0.86 0.86 0.89 0.89 0.88 0.87 0.91 0.91 0.91 0.90 0.90	0.90 0.90 0.96 0.95 0.95 0.93 0.96 0.94 0.96 0.93 0.94	
100	0.76 0.77 0.76 0.75 0.76 0.73 0.76 0.77 0.78 0.82 0.81	0.87 0.85 0.86 0.86 0.84 0.80 0.86 0.84 0.84 0.86 0.83	0.89 0.87 0.88 0.87 0.88 0.88 0.89 0.90 0.91 0.90 0.92	0.89 0.91 0.95 0.93 0.95 0.93 0.95 0.95 0.94 0.94 0.94	
0	0.75 0.74 0.76 0.74 0.74 0.73 0.78 0.78 0.80 0.83 0.80	0.86 0.85 0.87 0.85 0.84 0.84 0.86 0.83 0.84 0.87 0.85	0.86 0.88 0.90 0.88 0.89 0.87 0.89 0.90 0.92 0.90 0.93	0.89 0.93 0.96 0.95 0.96 0.94 0.94 0.94 0.94 0.93 0.94	
800	0.71 0.74 0.73 0.67 0.71 0.70 0.72 0.73 0.76 0.79 0.75	0.73 0.73 0.76 0.71 0.75 0.74 0.80 0.80 0.79 0.79 0.77	0.89 0.86 0.87 0.83 0.84 0.85 0.88 0.89 0.90 0.90 0.89	0.88 0.90 0.90 0.85 0.88 0.91 0.92 0.94 0.90 0.91 0.92	
700	0.77 0.77 0.76 0.73 0.74 0.71 0.75 0.75 0.76 0.81 0.76	0.79 0.79 0.80 0.79 0.78 0.77 0.80 0.81 0.80 0.82 0.77	0.88 0.88 0.90 0.84 0.88 0.87 0.88 0.90 0.90 0.91 0.90	0.92 0.90 0.92 0.87 0.93 0.93 0.91 0.94 0.93 0.93 0.91	
600	0.76 0.76 0.74 0.72 0.72 0.74 0.77 0.77 0.78 0.82 0.78	0.84 0.84 0.79 0.77 0.78 0.78 0.83 0.82 0.79 0.82 0.81	0.90 0.90 0.87 0.84 0.87 0.89 0.90 0.93 0.92 0.92 0.91	0.93 0.91 0.91 0.87 0.93 0.93 0.95 0.96 0.92 0.94 0.90	
500	0.75 0.77 0.75 0.72 0.75 0.75 0.77 0.77 0.80 0.83 0.80	0.83 0.84 0.83 0.77 0.80 0.79 0.83 0.82 0.83 0.82 0.83	0.87 0.89 0.87 0.85 0.89 0.87 0.92 0.91 0.92 0.91 0.92	0.91 0.93 0.93 0.91 0.94 0.93 0.95 0.95 0.93 0.93 0.93	LAT60
400	0.76 0.75 0.79 0.73 0.73 0.72 0.76 0.77 0.79 0.83 0.80	0.84 0.86 0.87 0.79 0.80 0.78 0.84 0.84 0.83 0.81 0.81	0.87 0.89 0.90 0.88 0.90 0.87 0.90 0.90 0.91 0.91 0.92	0.91 0.90 0.98 0.91 0.94 0.93 0.95 0.94 0.94 0.93 0.93	
300	0.75 0.75 0.76 0.72 0.75 0.76 0.75 0.77 0.80 0.82 0.81	0.83 0.84 0.86 0.81 0.79 0.85 0.85 0.86 0.88 0.82	0.86 0.86 0.91 0.84 0.88 0.87 0.88 0.91 0.90 0.93 0.93	0.90 0.89 0.97 0.89 0.94 0.94 0.94 0.96 0.94 0.94 0.94	
200	0.74 0.78 0.77 0.73 0.75 0.75 0.74 0.79 0.80 0.84 0.79	0.84 0.86 0.87 0.82 0.84 0.80 0.85 0.85 0.86 0.88 0.82	0.86 0.89 0.89 0.85 0.87 0.88 0.90 0.92 0.90 0.92 0.92	0.87 0.93 0.97 0.92 0.93 0.92 0.95 0.96 0.95 0.95 0.92	
100	0.74 0.77 0.76 0.73 0.76 0.75 0.76 0.78 0.79 0.83 0.80	0.83 0.86 0.86 0.84 0.86 0.80 0.86 0.85 0.87 0.87 0.83	0.86 0.88 0.89 0.87 0.88 0.87 0.89 0.90 0.93 0.91 0.92	0.90 0.93 0.96 0.93 0.97 0.93 0.94 0.94 0.95 0.94 0.92	
0	0.75 0.74 0.76 0.74 0.74 0.73 0.78 0.78 0.80 0.83 0.80	0.83 0.86 0.86 0.83 0.83 0.83 0.87 0.84 0.86 0.87 0.81	0.85 0.87 0.88 0.87 0.86 0.87 0.90 0.90 0.91 0.91 0.92	0.88 0.96 0.97 0.93 0.92 0.93 0.97 0.95 0.94 0.94 0.92	
800	0.74 0.75 0.75 0.71 0.72 0.74 0.73 0.75 0.77 0.81 0.76	0.73 0.75 0.77 0.73 0.75 0.77 0.80 0.80 0.81 0.82 0.75	0.87 0.88 0.86 0.85 0.87 0.90 0.88 0.90 0.92 0.93 0.89	0.87 0.87 0.87 0.88 0.90 0.93 0.92 0.92 0.93 0.93 0.91	
700	0.76 0.75 0.78 0.75 0.75 0.74 0.76 0.77 0.78 0.82 0.80	0.77 0.75 0.79 0.77 0.77 0.80 0.81 0.81 0.81 0.79	0.90 0.87 0.88 0.90 0.88 0.90 0.89 0.91 0.90 0.90 0.91	0.90 0.89 0.88 0.92 0.92 0.94 0.93 0.94 0.93 0.91 0.90	
600	0.74 0.74 0.76 0.73 0.75 0.77 0.78 0.77 0.78 0.83 0.81	0.82 0.82 0.78 0.78 0.80 0.80 0.82 0.81 0.81 0.81 0.80	0.87 0.89 0.87 0.89 0.88 0.91 0.92 0.91 0.92 0.91 0.92	0.89 0.89 0.88 0.95 0.94 0.93 0.95 0.92 0.91 0.94 0.92	
500	0.75 0.75 0.76 0.76 0.74 0.77 0.76 0.77 0.79 0.83 0.82	0.83 0.83 0.84 0.79 0.80 0.82 0.82 0.81 0.83 0.80 0.82	0.88 0.87 0.87 0.91 0.89 0.91 0.88 0.89 0.92 0.90 0.92	0.90 0.89 0.93 0.91 0.94 0.94 0.93 0.92 0.93 0.92 0.92	LAT59
400	0.75 0.75 0.76 0.74 0.76 0.75 0.76 0.78 0.80 0.84 0.81	0.82 0.83 0.84 0.81 0.79 0.79 0.86 0.83 0.85 0.81 0.82	0.87 0.87 0.85 0.88 0.89 0.88 0.90 0.90 0.93 0.91 0.91	0.89 0.87 0.87 0.94 0.93 0.93 0.96 0.94 0.96 0.93 0.92	
300	0.75 0.78 0.77 0.72 0.74 0.75 0.79 0.77 0.81 0.79 0.82	0.82 0.87 0.85 0.82 0.84 0.78 0.88 0.83 0.87 0.85 0.83	0.85 0.90 0.87 0.89 0.87 0.90 0.91 0.93 0.89 0.91	0.87 0.93 0.93 0.93 0.94 0.92 0.97 0.95 0.96 0.91 0.92	
200	0.75 0.76 0.77 0.74 0.76 0.76 0.78 0.78 0.79 0.81 0.81	0.83 0.85 0.87 0.83 0.85 0.83 0.88 0.84 0.87 0.86 0.85	0.86 0.90 0.88 0.87 0.89 0.88 0.92 0.91 0.93 0.90 0.93	0.89 0.93 0.95 0.94 0.97 0.94 0.96 0.95 0.94 0.90 0.93	
100	0.74 0.76 0.78 0.74 0.76 0.75 0.77 0.78 0.78 0.84 0.82	0.83 0.85 0.84 0.82 0.86 0.82 0.87 0.83 0.86 0.87 0.83	0.84 0.86 0.86 0.89 0.89 0.88 0.91 0.92 0.91 0.93 0.93	0.88 0.91 0.92 0.94 0.94 0.94 0.93 0.95 0.93 0.94 0.94	
0	0.75 0.74 0.77 0.73 0.77 0.74 0.77 0.78 0.79 0.83 0.82	0.84 0.83 0.87 0.84 0.85 0.79 0.86 0.83 0.87 0.86 0.83	0.88 0.87 0.89 0.87 0.91 0.88 0.91 0.89 0.93 0.91 0.93	0.89 0.88 0.94 0.95 0.94 0.93 0.95 0.93 0.94 0.91 0.93	
	16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36	16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36	16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36	16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36	
	Ståndortsindex 16-36	Ståndortsindex 16-36	Ståndortsindex 16-36	Ståndortsindex 16-36	

Figur 9: Identifiering av C-värdet för gran (röd rektangel) på en trakt med ståndortsfaktorerna SI=26, LAT=60, ALT=300 med blandskogssystem MIXGRAN_50 och vars förnyngningsmaterial har en faktiskt uttryckt genetisk vinst på 25 procent.

	2) MIXBLAND_50	3) MIXGRAN_50	4) MIXBLAND_75	5) MIXGRAN_75
800	0.09 0.07 0.06 0.04 0.03 0.03 0.03 0.02 0.02	0.08 0.08 0.06 0.04 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.02	0.05 0.04 0.03 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.01 0.01	0.05 0.05 0.04 0.03 0.02 0.02 0.02 0.02 0.01 0.01
700	0.13 0.11 0.09 0.07 0.06 0.05 0.05 0.04 0.04 0.03	0.13 0.12 0.09 0.07 0.06 0.05 0.04 0.04 0.03 0.03	0.07 0.06 0.05 0.04 0.03 0.03 0.03 0.02 0.02 0.02	0.08 0.07 0.05 0.04 0.03 0.03 0.02 0.02 0.02 0.02
600	0.18 0.16 0.12 0.09 0.08 0.07 0.07 0.06 0.06 0.05	0.19 0.17 0.13 0.10 0.08 0.07 0.06 0.05 0.05 0.05	0.11 0.09 0.07 0.05 0.04 0.04 0.04 0.04 0.03 0.03	0.11 0.10 0.08 0.06 0.04 0.03 0.03 0.03 0.02 0.02
500	0.22 0.20 0.15 0.12 0.10 0.09 0.09 0.10 0.09 0.07	0.18 0.16 0.17 0.13 0.11 0.09 0.07 0.07 0.06 0.09 0.05	0.13 0.12 0.09 0.07 0.05 0.05 0.05 0.05 0.06 0.05 0.04	0.14 0.13 0.10 0.08 0.05 0.04 0.04 0.03 0.03 0.03
400	0.25 0.22 0.18 0.15 0.12 0.11 0.13 0.12 0.12 0.11 0.09	0.22 0.18 0.13 0.16 0.13 0.11 0.09 0.08 0.08 0.11 0.06	0.15 0.14 0.11 0.08 0.07 0.06 0.08 0.07 0.07 0.06 0.05	0.17 0.15 0.09 0.07 0.06 0.05 0.05 0.05 0.04 0.03
300	0.28 0.25 0.20 0.16 0.13 0.12 0.15 0.13 0.13 0.12 0.11	0.23 0.22 0.15 0.11 0.14 0.14 0.07 0.09 0.07 0.13 0.07	0.17 0.15 0.12 0.09 0.07 0.07 0.08 0.08 0.08 0.07 0.06	0.19 0.18 0.10 0.07 0.06 0.06 0.05 0.05 0.05 0.04
200	0.27 0.26 0.22 0.17 0.16 0.13 0.15 0.14 0.14 0.13 0.11	0.26 0.23 0.18 0.12 0.10 0.15 0.08 0.08 0.07 0.07 0.07	0.18 0.16 0.13 0.10 0.09 0.08 0.09 0.09 0.08 0.07	0.20 0.18 0.10 0.08 0.07 0.06 0.06 0.05 0.05 0.04
100	0.28 0.27 0.22 0.18 0.16 0.14 0.16 0.15 0.15 0.14 0.11	0.25 0.23 0.18 0.12 0.11 0.15 0.08 0.08 0.07 0.07 0.06	0.18 0.17 0.14 0.10 0.10 0.08 0.10 0.09 0.09 0.08 0.07	0.20 0.18 0.11 0.08 0.07 0.06 0.06 0.05 0.05 0.05
0	0.29 0.27 0.23 0.18 0.16 0.14 0.16 0.15 0.15 0.14 0.12	0.28 0.23 0.19 0.12 0.11 0.09 0.08 0.10 0.07 0.07 0.07	0.19 0.16 0.14 0.10 0.09 0.09 0.10 0.09 0.09 0.08 0.07	0.21 0.19 0.11 0.08 0.07 0.06 0.06 0.05 0.05 0.04
800	0.10 0.08 0.07 0.05 0.04 0.04 0.04 0.03 0.03 0.02	0.10 0.08 0.07 0.05 0.04 0.04 0.04 0.03 0.03 0.03	0.06 0.05 0.04 0.03 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.01	0.06 0.05 0.04 0.03 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.01
700	0.14 0.12 0.10 0.07 0.06 0.06 0.05 0.05 0.05 0.04	0.15 0.13 0.10 0.08 0.06 0.05 0.05 0.05 0.04 0.05 0.04	0.09 0.07 0.06 0.04 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.02	0.09 0.08 0.06 0.05 0.03 0.03 0.03 0.03 0.02 0.01
600	0.19 0.16 0.13 0.10 0.08 0.08 0.08 0.07 0.07 0.06 0.05	0.14 0.18 0.14 0.11 0.09 0.08 0.06 0.06 0.07 0.06 0.04	0.11 0.10 0.08 0.06 0.05 0.04 0.05 0.04 0.04 0.03 0.03	0.12 0.11 0.09 0.06 0.04 0.03 0.03 0.03 0.03 0.02
500	0.23 0.20 0.16 0.13 0.10 0.09 0.10 0.09 0.10 0.09 0.08	0.19 0.16 0.12 0.14 0.12 0.10 0.08 0.07 0.07 0.10 0.05	0.14 0.12 0.10 0.07 0.06 0.05 0.06 0.05 0.06 0.05 0.04	0.16 0.14 0.11 0.08 0.05 0.04 0.04 0.03 0.03 0.03
400	0.25 0.23 0.19 0.15 0.12 0.12 0.14 0.12 0.12 0.12 0.10	0.22 0.20 0.14 0.17 0.13 0.12 0.10 0.08 0.08 0.12 0.06	0.16 0.14 0.12 0.09 0.07 0.07 0.08 0.07 0.07 0.07 0.06	0.18 0.16 0.10 0.07 0.06 0.06 0.05 0.04 0.04 0.03
300	0.28 0.24 0.21 0.16 0.15 0.13 0.15 0.14 0.14 0.13 0.11	0.25 0.21 0.17 0.11 0.10 0.14 0.08 0.09 0.07 0.13 0.07	0.18 0.15 0.13 0.10 0.09 0.08 0.09 0.09 0.08 0.07 0.07	0.20 0.17 0.10 0.08 0.06 0.06 0.05 0.05 0.04 0.04
200	0.29 0.26 0.22 0.18 0.16 0.14 0.16 0.15 0.14 0.14 0.11	0.26 0.23 0.18 0.12 0.11 0.15 0.08 0.08 0.07 0.07 0.07	0.18 0.17 0.14 0.10 0.09 0.08 0.10 0.09 0.09 0.08 0.07	0.21 0.19 0.11 0.08 0.07 0.06 0.06 0.05 0.05 0.04
100	0.30 0.27 0.22 0.18 0.16 0.14 0.16 0.15 0.15 0.14 0.12	0.27 0.24 0.18 0.12 0.11 0.15 0.08 0.08 0.07 0.07 0.07	0.19 0.17 0.14 0.11 0.09 0.08 0.10 0.09 0.09 0.08 0.07	0.22 0.19 0.11 0.08 0.06 0.06 0.05 0.05 0.04 0.05
0	0.29 0.27 0.23 0.18 0.16 0.14 0.16 0.15 0.15 0.14 0.12	0.27 0.24 0.18 0.13 0.11 0.09 0.08 0.10 0.07 0.07 0.06	0.19 0.17 0.14 0.11 0.10 0.08 0.10 0.09 0.09 0.08 0.07	0.21 0.13 0.11 0.08 0.07 0.06 0.05 0.05 0.04 0.04
800	0.11 0.09 0.08 0.06 0.05 0.04 0.05 0.04 0.04 0.03 0.03	0.11 0.10 0.08 0.06 0.05 0.04 0.04 0.04 0.03 0.04 0.03	0.06 0.05 0.05 0.03 0.03 0.02 0.03 0.02 0.02 0.02 0.02	0.07 0.06 0.05 0.03 0.03 0.02 0.02 0.02 0.02 0.01 0.01
700	0.16 0.14 0.11 0.08 0.07 0.06 0.06 0.05 0.05 0.05 0.04	0.15 0.14 0.12 0.09 0.07 0.06 0.05 0.04 0.04 0.05 0.04	0.09 0.08 0.06 0.04 0.04 0.03 0.04 0.03 0.03 0.03 0.02	0.10 0.09 0.07 0.05 0.03 0.03 0.03 0.03 0.02 0.02 0.01
600	0.20 0.17 0.14 0.10 0.08 0.08 0.09 0.08 0.07 0.07 0.06	0.15 0.13 0.16 0.12 0.09 0.08 0.07 0.06 0.08 0.07 0.04	0.12 0.11 0.08 0.06 0.05 0.04 0.05 0.04 0.04 0.04 0.03	0.13 0.12 0.09 0.07 0.04 0.04 0.03 0.03 0.03 0.02 0.02
500	0.23 0.21 0.17 0.13 0.11 0.09 0.11 0.10 0.10 0.10 0.08	0.19 0.17 0.13 0.14 0.11 0.10 0.08 0.08 0.07 0.10 0.06	0.14 0.13 0.10 0.07 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.05 0.05	0.16 0.14 0.09 0.06 0.05 0.04 0.04 0.03 0.03 0.03 0.03
400	0.25 0.23 0.20 0.15 0.13 0.12 0.14 0.12 0.13 0.12 0.09	0.23 0.19 0.16 0.17 0.14 0.13 0.10 0.08 0.08 0.12 0.06	0.16 0.15 0.13 0.08 0.07 0.07 0.08 0.08 0.08 0.07 0.06	0.18 0.17 0.10 0.07 0.06 0.06 0.05 0.05 0.04 0.04
300	0.27 0.25 0.22 0.16 0.15 0.13 0.15 0.14 0.14 0.13 0.11	0.25 0.22 0.17 0.11 0.11 0.15 0.07 0.09 0.07 0.08 0.07	0.18 0.16 0.13 0.09 0.09 0.08 0.09 0.09 0.09 0.08 0.07	0.20 0.18 0.11 0.07 0.07 0.06 0.06 0.05 0.05 0.04 0.04
200	0.28 0.26 0.23 0.17 0.16 0.14 0.16 0.15 0.15 0.14 0.12	0.26 0.23 0.18 0.11 0.11 0.15 0.08 0.08 0.07 0.07 0.07	0.18 0.17 0.14 0.10 0.10 0.08 0.10 0.09 0.10 0.09 0.07	0.21 0.19 0.11 0.08 0.07 0.06 0.06 0.05 0.05 0.03
100	0.28 0.27 0.22 0.18 0.16 0.14 0.16 0.15 0.15 0.14 0.11	0.26 0.24 0.18 0.12 0.11 0.15 0.08 0.08 0.07 0.07 0.07	0.18 0.17 0.14 0.10 0.10 0.09 0.10 0.09 0.09 0.08 0.07	0.20 0.18 0.11 0.08 0.07 0.06 0.06 0.05 0.05 0.04 0.03
0	0.29 0.26 0.23 0.17 0.16 0.14 0.16 0.15 0.15 0.14 0.12	0.26 0.23 0.18 0.12 0.11 0.09 0.08 0.10 0.07 0.07 0.07	0.18 0.17 0.14 0.10 0.09 0.09 0.10 0.09 0.09 0.08 0.07	0.21 0.13 0.11 0.07 0.07 0.06 0.05 0.05 0.05 0.04
800	0.11 0.10 0.08 0.06 0.05 0.05 0.05 0.04 0.04 0.03 0.03	0.12 0.11 0.09 0.07 0.05 0.05 0.05 0.04 0.04 0.03 0.03	0.07 0.06 0.05 0.03 0.03 0.03 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02	0.07 0.07 0.05 0.04 0.03 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.01
700	0.16 0.14 0.12 0.09 0.07 0.06 0.06 0.05 0.05 0.05 0.04	0.17 0.15 0.12 0.09 0.07 0.07 0.06 0.05 0.05 0.06 0.03	0.09 0.08 0.07 0.05 0.04 0.04 0.04 0.03 0.03 0.03 0.02	0.11 0.09 0.08 0.05 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.02 0.02
600	0.19 0.17 0.14 0.11 0.09 0.08 0.08 0.08 0.08 0.08 0.06	0.15 0.13 0.16 0.12 0.09 0.07 0.07 0.06 0.08 0.04	0.12 0.11 0.08 0.06 0.05 0.05 0.05 0.04 0.04 0.04 0.03	0.13 0.12 0.09 0.05 0.04 0.04 0.03 0.03 0.03 0.02 0.02
500	0.23 0.20 0.17 0.13 0.11 0.10 0.11 0.10 0.11 0.10 0.08	0.19 0.16 0.13 0.15 0.12 0.11 0.08 0.08 0.08 0.11 0.06	0.15 0.13 0.10 0.07 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.05 0.05	0.16 0.14 0.08 0.06 0.05 0.05 0.04 0.03 0.03 0.03 0.03
400	0.25 0.22 0.19 0.15 0.12 0.12 0.14 0.13 0.13 0.12 0.10	0.23 0.19 0.15 0.10 0.14 0.14 0.07 0.09 0.07 0.13 0.06	0.16 0.14 0.12 0.09 0.07 0.07 0.08 0.08 0.08 0.07 0.05	0.18 0.17 0.13 0.07 0.06 0.06 0.05 0.05 0.04 0.03
300	0.26 0.25 0.21 0.16 0.15 0.13 0.15 0.14 0.14 0.13 0.10	0.24 0.22 0.17 0.11 0.10 0.15 0.08 0.07 0.07 0.07 0.07	0.17 0.16 0.12 0.09 0.09 0.08 0.09 0.08 0.09 0.08 0.06	0.20 0.18 0.10 0.07 0.06 0.06 0.05 0.05 0.04 0.04
200	0.27 0.25 0.22 0.16 0.16 0.14 0.15 0.15 0.14 0.14 0.11	0.25 0.22 0.18 0.12 0.11 0.09 0.08 0.08 0.07 0.07 0.06	0.17 0.17 0.13 0.10 0.10 0.08 0.09 0.09 0.09 0.07 0.06	0.20 0.18 0.11 0.07 0.07 0.06 0.06 0.05 0.05 0.04 0.05
100	0.27 0.25 0.22 0.17 0.16 0.14 0.16 0.14 0.15 0.14 0.11	0.25 0.22 0.18 0.12 0.11 0.09 0.08 0.08 0.07 0.07 0.07	0.18 0.16 0.13 0.10 0.09 0.08 0.10 0.09 0.09 0.07 0.06	0.20 0.18 0.11 0.08 0.07 0.06 0.06 0.05 0.05 0.04 0.05
0	0.28 0.25 0.22 0.17 0.15 0.14 0.15 0.15 0.14 0.14 0.11	0.25 0.22 0.17 0.12 0.10 0.15 0.08 0.10 0.08 0.07 0.07	0.18 0.16 0.13 0.10 0.10 0.08 0.09 0.09 0.09 0.07 0.06	0.20 0.18 0.11 0.08 0.07 0.06 0.06 0.05 0.05 0.04 0.04
	16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36	16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36	16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36	16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36
	Ståndortsindex 16-36	Ståndortsindex 16-36	Ståndortsindex 16-36	Ståndortsindex 16-36

Figur 10: Identifiering av C-värdet för björk (röd rektangel) på en trakt med ståndortsfaktorerna SI=26, LAT=60, ALT=300 med blandskogssystem MIXGRAN_50 och vars föryngringsmaterial har en faktiskt uttryckt genetisk vinst på 25 procent.

Det totala justeringsvärdet skulle då bli

$$C_{j=3,k=26,l=60,m=300,n=25}^{tot} = 0.79 + v \cdot 0.15$$

Om vi vidare antar att vikten $v=1$ blir då den justerade årliga medeltillväxten för trakten p med föryngringsmaterial q

$$MAI_{p,q}^* = MAI_{p,q} \cdot 0.94$$

Med detta system kan alltså den årliga medeltillväxten för blandbeståndet alltid uttryckas som en justeringsfaktor multiplicerat med den årliga medeltillväxten för ett rent granbestånd. Det ovan beskrivna systemet för identifiering och åsättande av C-värden har programmerats in i Plantval optimal's modellplattform och gör att dess optimeringsfunktion fortsatt kan användas även för blandbestånd. Däremot behöver indatafilerna uppdateras för att kunna anropa denna nya funktionalitet.

Justeringar av indata till optimeringsfunktionen i Plantval optimal

Plantval optimal kräver två indatafiler som beskriver frötillgång och traktdata.

Traktdatafilen listar alla föryngringstrakter och tillhörande information som behövs för att köra Plantval optimal (Davidsson m.fl. 2018). Utöver denna information (ej färglagda kolumner, tabell 6) adderas tre nya kolumner (gulmarkerade, tabell 6) som behövs för att kunna nyttja den nya blandskogsmodule.

Tabell 6: Utseende på traktdatafilen till Plantval optimal med de nya kolumnerna gulmarkerade. SI=ståndortsindex, Skötselsystem (j=1,...5) och vikten/värdet för björkens volym relativt granens.

ID trakt	Koord	Lat	Long	Altitud	Bonitet	Areal	Plantåtgång	SI	Skötselsystem	Vikt
Trakt1	WGS84	Lat1	Long1	Alt1	Bon1	Areal1	Plåtg1	SI1	[1,2,3,4,5]	[0-1]
Trakt2	WGS84	Lat2	Long2	Alt2	Bon2	Areal2	Plåtg2	SI2	[1,2,3,4,5]	[0-1]
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Trakt(n)	WGS84	Lat(n)	Long(n)	Alt(n)	Bon(n)	Areal(n)	Plåtg(n)	SI(n)	[1,2,3,4,5]	[0-1]

Genom att sätta skötselsystemet $j \neq 1$ för en trakt aktiveras blandskogsmodule med beräkningar av C-värden och en justerad årlig medeltillväxt enligt ovan. Innan optimeringssteget görs också en justering av plantåtgången som lagts in i tabell 6 motsvarande ett rent granbestånd. För skötselsystem $j=2,3$ multipliceras plantåtgången med 0.5 och för skötselsystem $j=4,5$ multipliceras plantåtgången med 0.75 för att motsvara blandbeståndens lägre planteringsförband. Med dessa justeringar på plats maximeras den årliga medeltillväxten på samma sätt som beskrivs i Davidsson m.fl. (2018).

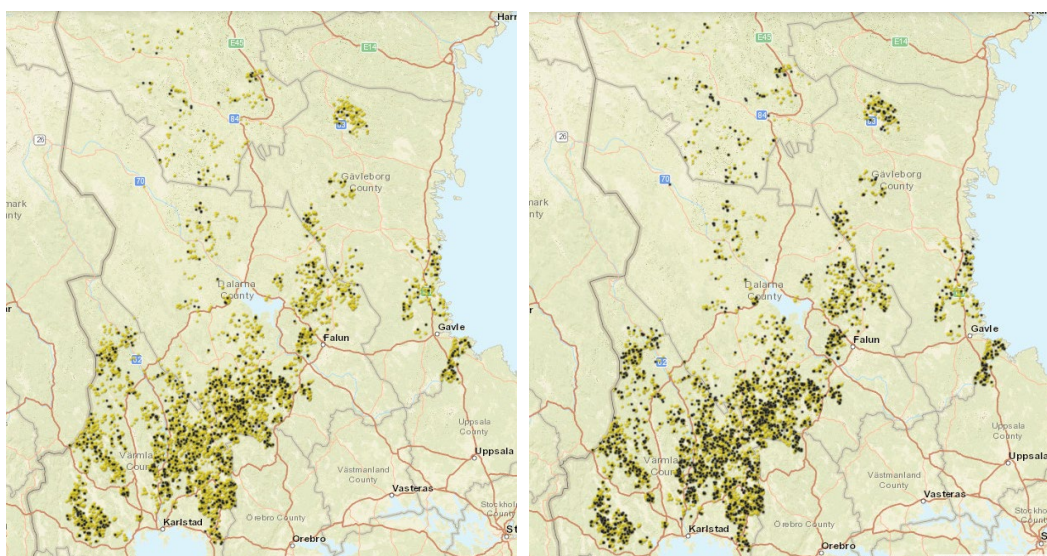
III: Analyser med Plantval optimal

Material och metoder

Val av blandskogstrakter

I samråd med Stora Enso beslutades att ett rimligt scenario avseende antalet blandskogstrakter skulle vara att 13 procent av föryngringstrakterna skulle simuleras som blandskogstrakter ($j=2, \dots, 5$) och följaktligen 87 procent som rena granbestånd. Samtidigt fanns ett intresse av att undersöka en betydligt högre ambition på antalet blandskogstrakter så vi simulerade även ett scenario med 25 procent blandskogstrakter. I ett föranalyssteg testades att medvetet välja dessa blandskogstrakter på antingen låga eller höga boniteter men vi beslutade att i den här studien slumpa ut trakterna över alla SI och ståndorsfaktorer. Sålunda har vi jobbat vidare med två traktscenarier, SLUMP_13 och SLUMP_25, på Stora Ensos föryngringstrakter (Figur 11)

Fördelningar av blandskogstrakter mot rena granstrakter och plantåtgången på gran- och blandskogstrakter visas i tabell 7 för SLUMP_13 och i tabell 8 för SLUMP_25.



Figur 11: Stora Ensos förnygringstrakter använda i den här studien där gula symboler motsvarar rena granbestånd och svarta symboler blandbestånd för SLUMP_13 (vänster) och SLUMP_25 (höger).

Tabell 7: Antalet rena grantrakter $G(n)$, blandskogstrakter $B(n)$, procent blandskogstrakter inom ståndortsindex $\%B(n)$, procent blandskogstrakter av det totala antalet blandskogstrakter $\%Tot(n)$, plantätgång för rena grantrakter $G(p)$, plantätgång för blandskogstrakter $B(p)$, procent plantätgång för blandskogstrakter inom ståndortsindex $\%B(p)$, procent plantätgång för blandskogstrakter av det totala antalet blandskogstrakter $\%Tot(p)$ per ståndortsindex för SLUMP_13.

SI	$G(n)$	$B(n)$	$\%B(n)$	$\%Tot(n)$	$G(p)$	$B(p)$	$\%B(p)$	$\%Tot(p)$
16	466	58	11,1	6,0	1 416 500	233 700	14,2	4,1
17	76	8	9,5	0,8	487 000	26 400	5,1	0,5
18	173	27	13,5	2,8	684 200	100 900	12,9	1,8
19	80	11	12,1	1,1	382 600	67 200	14,9	1,2
20	293	58	16,5	6,0	1 119 100	195 200	14,9	3,5
21	107	18	14,4	1,9	443 400	102 700	18,8	1,8
22	522	67	11,4	6,9	2 027 900	275 700	12,0	4,9
23	151	30	16,6	3,1	634 500	88 500	12,2	1,6
24	705	112	13,7	11,6	2 821 600	534 500	15,9	9,5
25	217	33	13,2	3,4	864 400	152 000	15,0	2,7
26	665	93	12,3	9,6	2 928 600	404 600	12,1	7,2
27	273	33	10,8	3,4	1 629 000	224 400	12,1	4,0
28	631	95	13,1	9,8	3 931 300	607 100	13,4	10,7
29	349	46	11,6	4,8	2 608 100	311 400	10,7	5,5
30	583	96	14,1	9,9	4 222 500	741 800	14,9	13,1
31	318	63	16,5	6,5	2 793 700	636 900	18,6	11,3
32	425	57	11,8	5,9	3 501 100	459 200	11,6	8,1
33	218	32	12,8	3,3	2 002 300	257 700	11,4	4,6
34	141	13	8,4	1,3	1 055 100	115 600	9,9	2,0
35	57	5	8,1	0,5	416 700	74 200	15,1	1,3
36	37	10	21,3	1,0	214 900	41 200	16,1	0,7
	6487	965	12,9	100	36 184 500	5 650 900	13,5	100,0

Tabell 8: Antalet rena grantrakter G(n), blandskogstrakter B(n), procent blandskogstrakter inom ståndortsindex %B(n), procent blandskogstrakter av det totala antalet blandskogstrakter %Tot(n), plantätgång för rena grantrakter G(p), plantätgång för blandskogstrakter B(p), procent plantätgång för blandskogstrakter inom ståndortsindex %B(p), procent plantätgång för blandskogstrakter av det totala antalet blandskogstrakter %Tot(p) per ståndortsindex för SLUMP_25.

Sl	G(n)	B(n)	%B(n)	%Tot(n)	G(p)	B(p)	%B(p)	%Tot(p)
16	396	128	24,4	6,9	1 175 000	475 200	28,8	4,4
17	67	17	20,2	0,9	404 900	108 500	21,1	1,0
18	144	56	28,0	3,0	607 300	177 800	22,6	1,7
19	68	23	25,3	1,2	286 300	163 500	36,3	1,5
20	256	95	27,1	5,1	987 300	327 000	24,9	3,0
21	97	28	22,4	1,5	393 700	152 400	27,9	1,4
22	447	142	24,1	7,6	1 740 600	563 000	24,4	5,2
23	133	48	26,5	2,6	573 200	149 800	20,7	1,4
24	600	217	26,6	11,7	2 415 300	940 800	28,0	8,8
25	183	67	26,8	3,6	745 500	270 900	26,7	2,5
26	573	185	24,4	9,9	2 505 100	828 100	24,8	7,7
27	232	74	24,2	4,0	1 408 500	444 900	24,0	4,1
28	547	179	24,7	9,6	3 390 100	1 148 300	25,3	10,7
29	301	94	23,8	5,0	2 196 600	722 900	24,8	6,7
30	506	173	25,5	9,3	3 629 500	1 334 800	26,9	12,4
31	274	107	28,1	5,7	2 370 300	1 060 300	30,9	9,9
32	370	112	23,2	6,0	2 950 900	1 009 400	25,5	9,4
33	192	58	23,2	3,1	1 809 800	450 200	19,9	4,2
34	125	29	18,8	1,6	951 200	219 500	18,7	2,0
35	48	14	22,6	0,8	357 600	133 300	27,2	1,2
36	31	16	34,0	0,9	192 000	64 100	25,0	0,6
	5590	1862	25,0	100,0	31 090 700	10 744 700	25,7	100,0

Som synes ovan har slumpningen medfört en viss variation i utfall av fördelning av blandskogstrakter för olika ståndortsindex men generellt sett är spridningen god. Traktstorleken kan variera inom och mellan ståndortsindex men även för plantätgången ligger andelen plantätgång i blandbestånd nära andelen trakter för de flesta ståndortsindex.

Val av vikt

Vikten v , det relativa värdet på volymproduktionen av björk jämfört med gran, har i de flesta analyser haft värdet 1. Detta för att den totala årliga medelproduktionen då uttryckts i rena kubikmeter ehuru av olika trädslag. Det innebär samtidigt att en kubikmeter björk värderas lika som en kubikmeter gran och det skulle kunna sägas motsvara massavedspriserna för gran och björk som legat väldigt nära varandra åren 2020-2022 (Skogsstyrelsen 2023). Om man däremot tittat på hela trädens användning och sammanväger priserna för sågtimmer och massaved för gran och jämför med massavedspriserna för björk skulle en vikt, v , ligga nära 0.75 (Skogsstyrelsen 2023). En motsvarande vikt skulle ligga på ca 0.80 i Finland där både sågtimmer och massaved prissätts (Anssi Ahtikoski, personligt meddelande). Givet att det vi planterar nu kommer

att falla ut i slutavverkning om 50-100 år så kan man tänka sig alternativ användning av skogsråvaran och istället titta på densitet och energiinnehåll för trädslagen. För gran (och björk inom parentes) ligger torr-rå densiteten mellan 440-490 kg/m³ (600 kg/m³) och värmevärdet mellan 2080-2320 kWh/m³f (2820 kWh/m³f) (Liss 2005). Björken har alltså en högre densitet och ett högre energivärde med en vikt som spänner mellan 1.21-1.37. Sammantaget har vi valt att testa två alternativa vikter (v=0.75 och v=1.25) som komplement till v=1 för utvalda analyser.

Simuleringar i Plantval optimal

Tabell 9 redovisar de kombinationer av traktscenarion, fröförsörjningsscenario, skötselsystem (j) och vikter (v) som simulerats i Plantval optimal. För varje traktscenario har alla fyra fröförsörjningsscenario använts och för var och en av dem har alla fem skötselsystem testats. I simuleringar där rena grantrakter och blandskogstrakter förekommer (j=2,...,5) har endast ett skötselsystem åt gången valts i för blandskogstrakterna. För traktscenario SLUMP_25 har endast vikt v=1 använts medan vi i traktscenario SLUMP_13 även använt v=0.75 och v=1.25. Totalt har då 76 simuleringar gjorts med Plantval optimal.

Tabell 9: De kombinationer av traktscenarion, fröförsörjningsscenario, skötselsystem (j) och vikter (v) som simulerats i Plantval optimal.

Traktscenario	Fröförsörjning	Skötselsystem (j) ¹	Vikt (v)
SLUMP_13	Referens	(1), 2, 3, 4, 5	0.75, 1, 1.25
SLUMP_13	TreO_bas	(1), 2, 3, 4, 5	0.75, 1, 1.25
SLUMP_13	TreO_optimist	(1), 2, 3, 4, 5	0.75, 1, 1.25
SLUMP_13	TreO_kompl	(1), 2, 3, 4, 5	0.75, 1, 1.25
SLUMP_25	Referens	(1), 2, 3, 4, 5	1
SLUMP_25	TreO_bas	(1), 2, 3, 4, 5	1
SLUMP_25	TreO_optimist	(1), 2, 3, 4, 5	1
SLUMP_25	TreO_kompl	(1), 2, 3, 4, 5	1

¹Skötselsystem j=1 består av endast av rena grantrakter vilket innebär att traktscenariot inte påverkar utfallet.

För att underlätta analyserna av simuleringarna har endast de mest relevanta av kombinationerna (tabell 9) redovisats.

I kommande analyser har vi sammanslagit alla TreO-fröplantager (TREO) med genetisk vinst på 25 procent och jämfört dem med sammanslagningen av alla äldre fröplantager (ÄLDRE) med genetisk vinst på 10 procent och 15 procent (tabell 2). Vinstnivåerna i procent beräknas som den justerade totala årliga medeltillväxten för skötselscenario j=1,...,5 summerat dividerat med den totala årliga medeltillväxten för skötselscenario j=0 (oförädlad referens) över alla 7452 förnygringstrakter enligt

$$\frac{\sum_{i=1}^{7452} MAI_{i,j}^*}{\sum_{i=1}^{7452} MAI_{i,0}} \cdot 100 - 100$$

Resultat från analyser med Plantval optimal

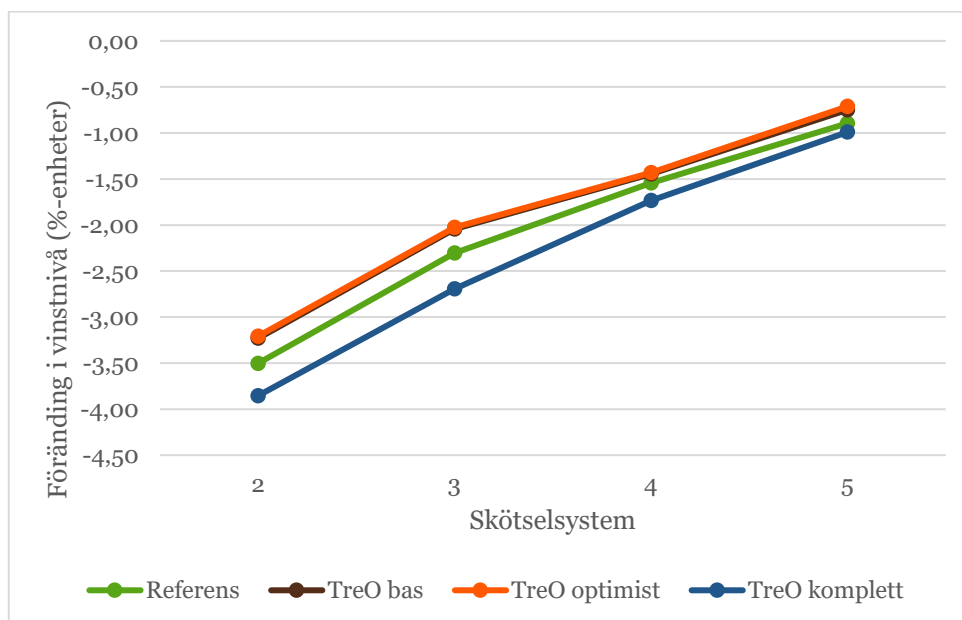
Vinstnivåer vid olika simuleringar

För SLUMP_13 har skötselscenario 1 med rena granbestånd alltid högst årlig medeltillväxt jämfört med skötselscenarier med blandbestånd ($j=2, \dots, 5$) för alla fröförsörjningsscenarier. Ju mer granplantor som planteras och ju mer skötseln styr mot granbestånd (ökande j -värde), desto högre vinstnivå (tabell 10).

Tabell 10: Vinstnivå av årlig medeltillväxt för skötselscenario $j=1, \dots, 5$ jämfört med skötselscenario oförodade rena granbestånd $j=0$ för alla fyra fröförsörjningsscenarier för SLUMP_13

	Skötselscenario				
	1	2	3	4	5
Referens	15,0	11,5	12,7	13,4	14,1
TreO bas	17,6	14,3	15,5	16,1	16,8
TreO optimist	19,2	16,0	17,2	17,8	18,5
TreO komplett	25,6	21,8	22,9	23,8	24,6

Skillnaden i vinstnivå mellan blandskogsskötselssystem ($j=2, \dots, 5$) och förädlad rent granbestånd ($j=1$) för SLUMP_13 är lägst för fröförsörjningsscenario TreO_bas och TreO_optimist medan den är större för Referens och störst för TreO_komplett (Figur 12).



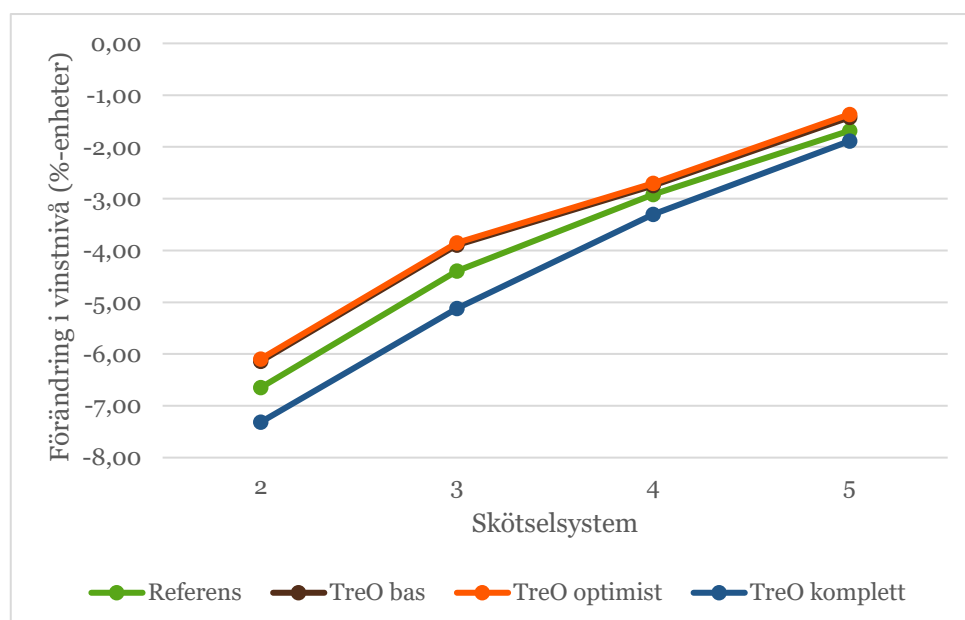
Figur 12: Skillnaden i vinstnivå mellan blandskogsskötselssystem ($j=2, \dots, 5$) och förädlad rent granbestånd ($j=1$) för SLUMP_13.

För SLUMP_25 är skillnaden mellan skötselscenarier med rena granbestånd och skötselscenarier med blandbestånd större än för SLUMP_13 men annars är rangordningen den samma (Tabell 11).

Tabell 11: Vinstnivå av årlig medeltillväxt för skötselscenario j=1,...5 jämfört med skötselscenario oförädlade rena granbestånd j=0 för alla fyra fröförsörjningsscenarier för SLUMP_25.

	Skötselscenario				
	1	2	3	4	5
Referens	15,0	8,3	10,6	12,0	13,3
TreO bas	17,6	11,4	13,7	14,8	16,2
TreO optimist	19,2	13,1	15,3	16,5	17,8
TreO komplett	25,6	18,3	20,5	22,3	23,7

Trenderna i skillnad för SLUMP_25 är väldigt lika SLUMP_13 fast med en nivåskillnad i vinstnivå (figur 13).



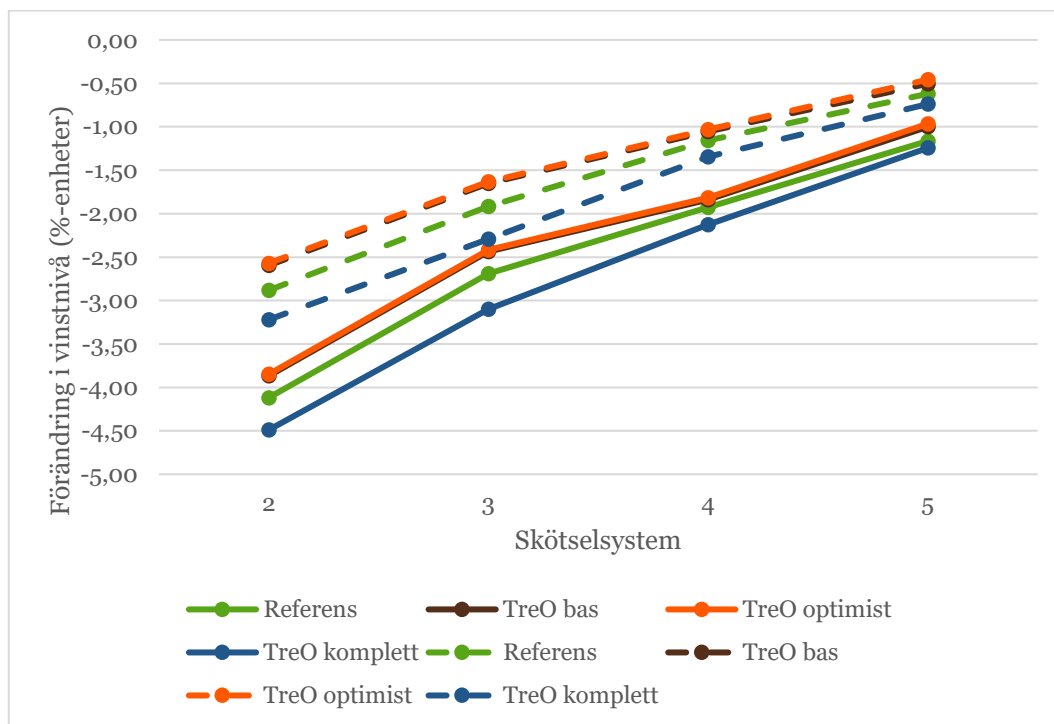
Figur 13: Skillnaden i vinstnivå mellan blandskogsskötselssystem (j=2,...,5) och förädlad rent granbestånd (j=1) för SLUMP_25.

För SLUMP_13 är skillnaden mellan skötselscenarioer med rena granbestånd och skötselscenarioer med blandbestånd större för $v=0.75$ än för $v=1.25$ men rangordningen är den samma som för $v=1$ (Tabell 12).

Tabell 12: Vinstnivå av årlig medeltillväxt för skötselscenario j=1,...5 jämfört med skötselscenario oförädlade rena granbestånd j=0 för alla fyra fröförsörjningsscenarier för SLUMP_13 och $v=1.25$ samt $v=0.75$ (inom parentes)

	Skötselscenario				
	1	2	3	4	5
Referens	15,0	12,1 (10,8)	13,1 (12,3)	13,8 (13,0)	14,3 (13,8)
TreO bas	17,6	15,0 (13,7)	15,9 (15,1)	16,5 (15,7)	17,1 (16,6)
TreO optimist	19,2	16,6 (15,3)	17,6 (16,8)	18,2 (17,4)	18,7 (18,2)
TreO komplett	25,6	22,4 (21,1)	23,3 (22,5)	24,3 (23,5)	24,9 (24,4)

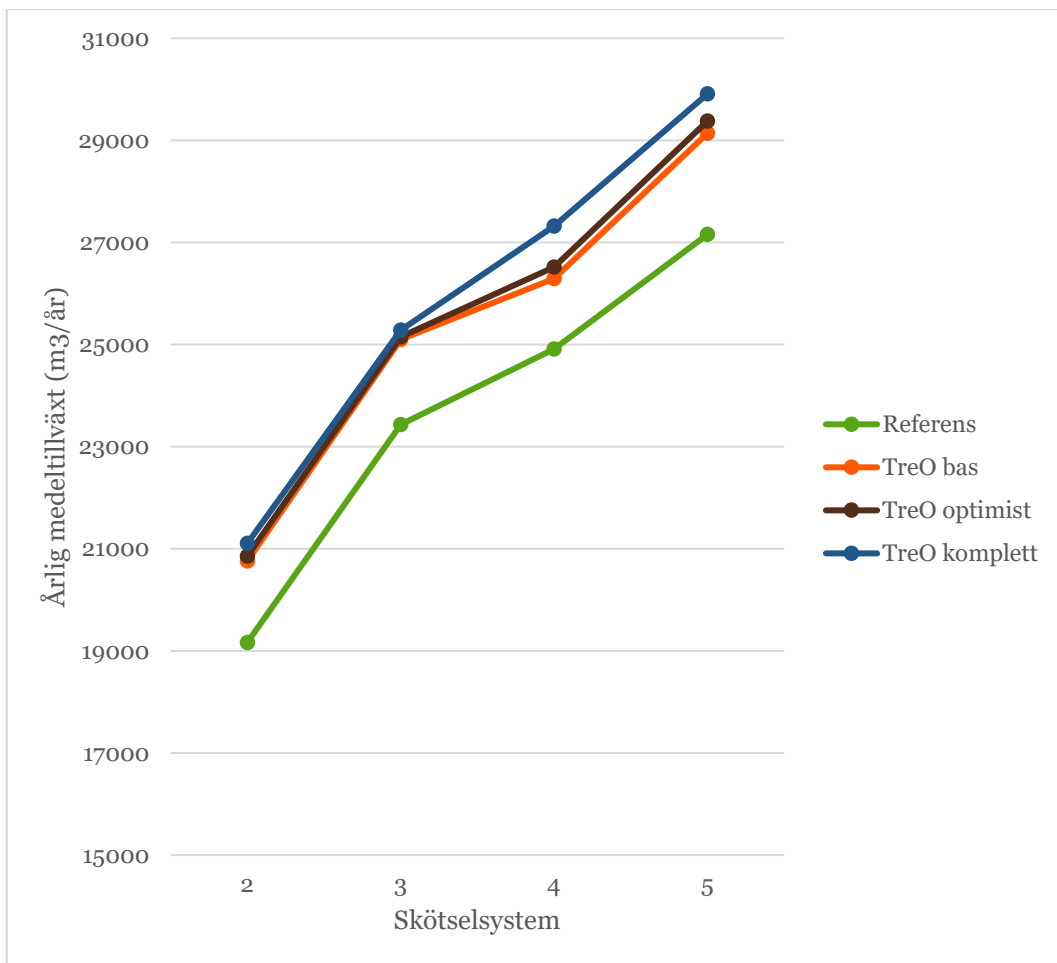
Trenderna i skillnad för SLUMP_13 och $v=0.75$ är liknande de för SLUMP_13 och $v=1.25$ fast med en nivåskillnad i vinstnivå (Figur 14).



Figur 14: Skillnaden i vinstnivå mellan blandskogsskötselsystem ($j=2, \dots, 5$) och förädlad rent granbestånd ($j=1$) för SLUMP_13 med vikt $v=0.75$ (heldragna linjer) och med vikt 1.25 (streckade linjer).

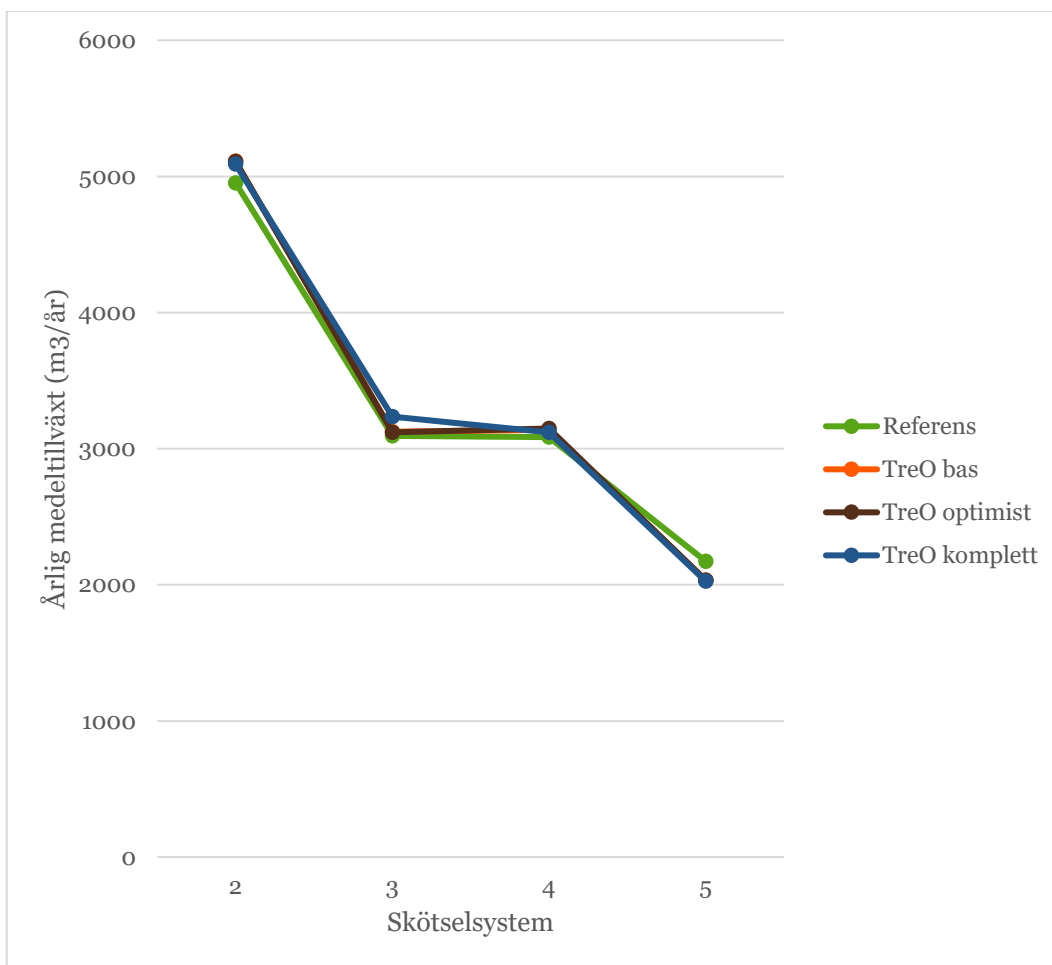
Årlig medeltillväxt i blandbestånden

För SLUMP_13 ökade den årliga medeltillväxten för gran i blandskogstrakterna ju mer gran som planterats och då målet med skötseln var grandominans (ökande värde på j) enligt figur 15. Fröförsörjningsscenario Referens hade konsekvent lägst årlig medeltillväxt medan alla TreO-scenarier hade ungefär samma årliga medeltillväxt för $j=2,3$ medan TreO komplett hade högst årlig medeltillväxt för $j=4,5$ (Figur 15).



Figur 15: Årlig medeltillväxt av gran (m³/år) för blandskogstrakterna vid SLUMP_13 och skötselsystem (j=2,...,5) vid olika fröförsörjningsscenarier.

För SLUMP_13 så minskade den årliga medeltillväxten för björk i blandskogstrakterna ju mer gran som planterats och då målet med skötseln var grandominans (ökande värde på j) enligt figur 15. Dock var skillnaden väldigt liten mellan j=2 och j=3. Den årliga medeltillväxten för björk skiljde sig inte åt för olika fröförsörjningsscenarier (Figur 16).



Figur 16: Årlig medeltillväxt av björk (m³/år) för blandskogstrakterna vid SLUMP_13 och skötselsystem (j=2,...,5) vid olika fröförsörjningsscenarier. Skillnaden i årlig medeltillväxt för dessa olika alternativ är så liten att det kan vara svårt att urskilja i figuren.

Bidraget från björken till den totala årliga medeltillväxten i blandskogstrakterna för SLUMP_13 ligger som mest på ca 20 procent för skötselscenario j=2 och ner till dryga 6 procent för skötselscenario j=5.

Tabell 13: Bidraget från gran och björk i procent av den årliga medeltillväxten i blandskogstrakterna för SLUMP_13 vid olika skötsel- och fröförsörjningsscenarier.

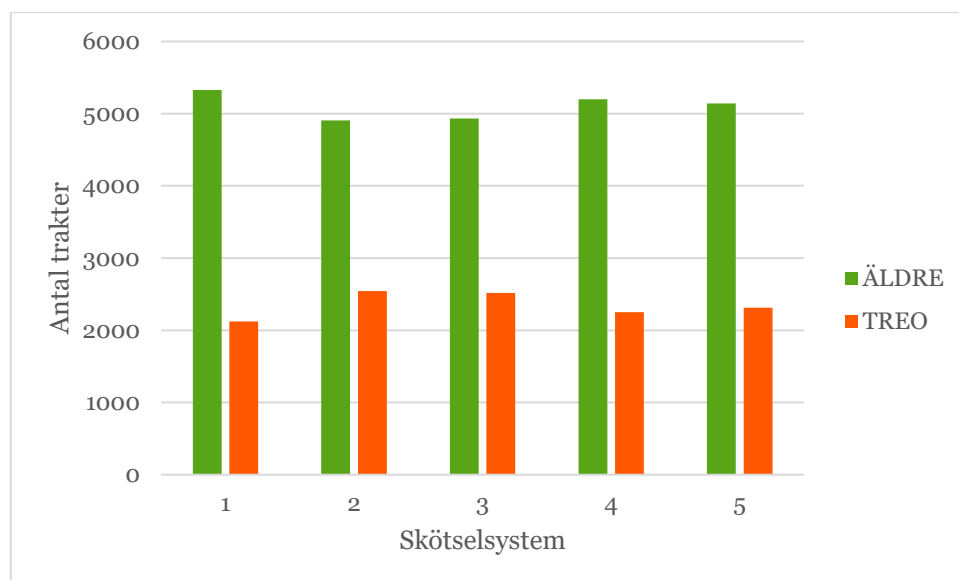
		Skötselscenario			
		2	3	4	5
Referens	Andel gran (%)	79,5	88,3	89,0	92,6
	Andel björk (%)	20,5	11,7	11,0	7,4
TreO bas	Andel gran (%)	80,2	88,9	89,3	93,5
	Andel björk (%)	19,8	11,1	10,7	6,5
TreO optimist	Andel gran (%)	80,3	89,0	89,4	93,5
	Andel björk (%)	19,7	11,0	10,6	6,5
TreO komplett	Andel gran (%)	80,6	88,7	89,8	93,7
	Andel björk (%)	19,4	11,3	10,2	6,3

För SLUMP_25 är resultaten liknande dem för SLUMP_13 med skillnaden att den årliga medeltillväxten ligger på en högre nivå för båda trädslag då blandskogstrakterna är fler. Vid olika vikter ($v=0.75$ och $v=1.25$) för SLUMP_13 är skillnaderna endast marginella jämfört med $v=1$ som redovisats ovan. Ingen av dessa resultat visas därför här.

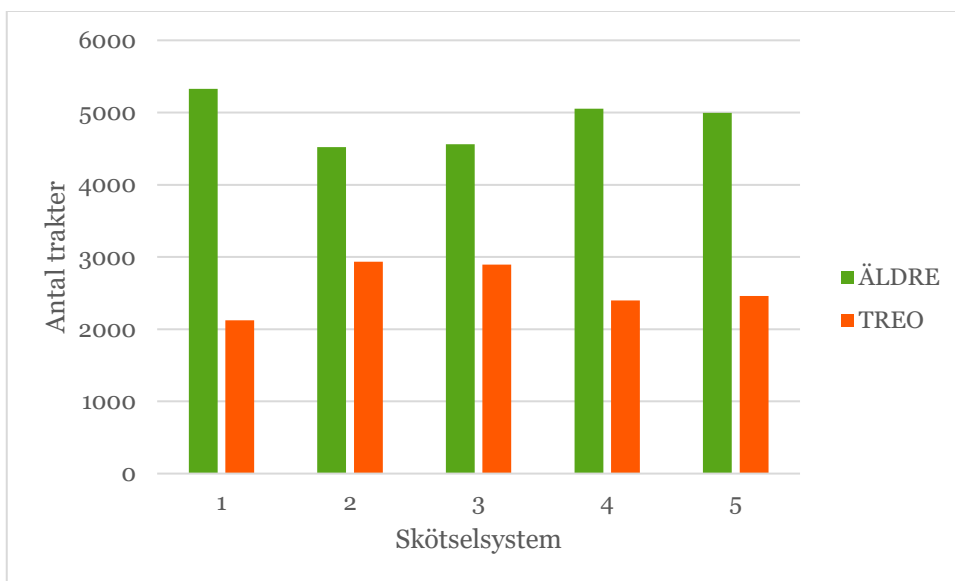
Användning av och årlig medeltillväxt för olika fröplantagekategorier

Fröförsörjningssystem med väldigt liten (Referens) eller väldigt hög (TreO-komplett) tillgång på plantor från TreO-plantager visade sig inte ge någon värdefull information om förhållandet mellan fröplantagekategorierna ÄLDRE och TREO och ingår därför inte i analysen som följer. TreO bas och TreO optimist gav resultat som var väldigt liknande. Vi har därför valt att fokuserat analysen på TreO optimist.

Jämfört med referensscenariot förnygras fler trakter med TREO-plantor och färre trakter med plantor från ÄLDRE plantager i skötselsystem med blandskog. Störst var skillnaden mellan skötselsystem med 50 procent granplantor satta ($j=2,3$) (Figur 17 och 18).



Figur 17: Antal trakter som förnygras med fröplantage kategori ÄLDRE och TREO för olika skötselsystem och SLUMP_13.



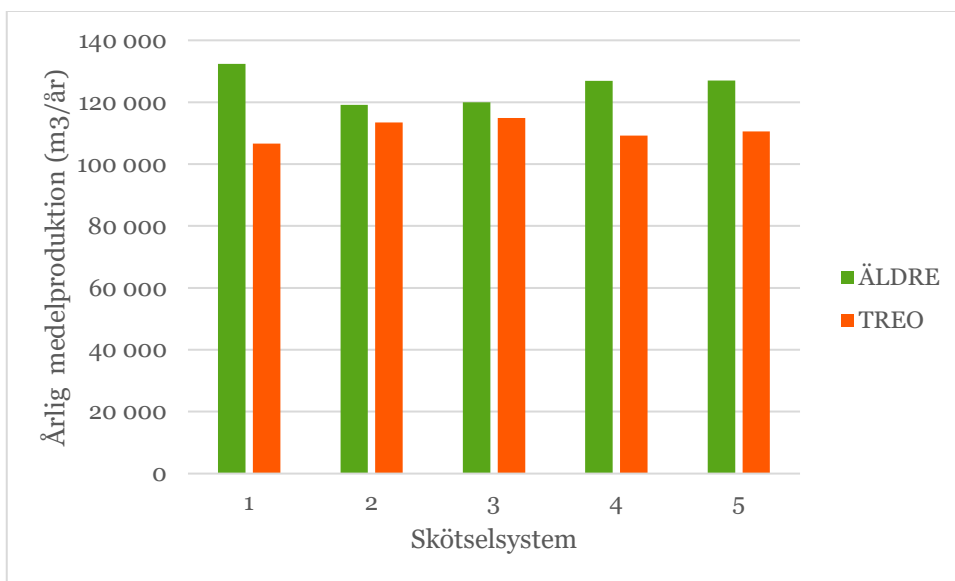
Figur 18: Antal trakter som förnygrats med fröplantage kategori ÄLDRE och TREO för olika skötselsystem och SLUMP_25.

I traktscenarion SLUMP_25 planteras något fler trakter med TREO-planter än i SLUMP_13 (Tabell 14).

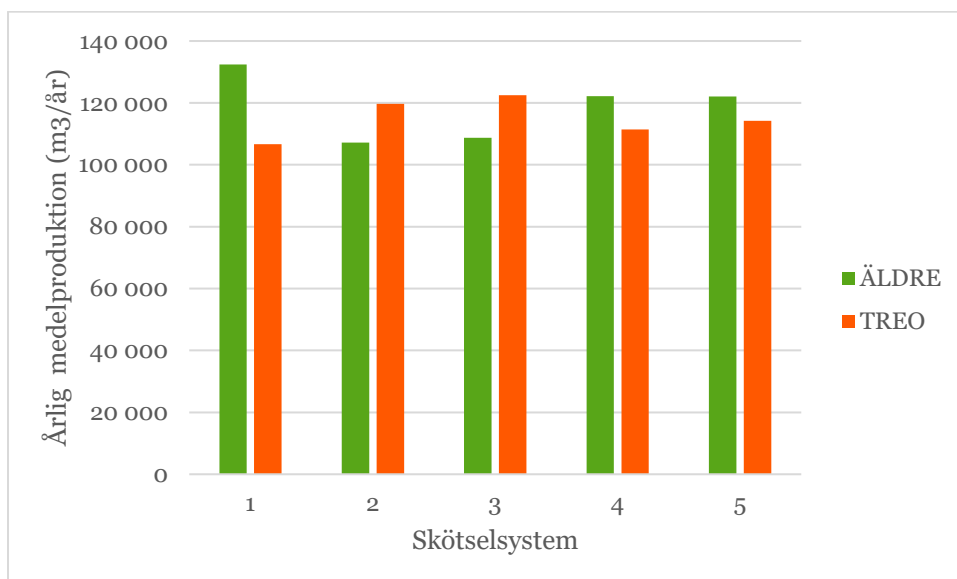
Tabell 14: Procentuellt antal trakter som förnygrats med fröplantagekategori TREO för olika skötselsystem och traktscenarier.

Skötselsystem	SLUMP_13	SLUMP_25
1	28,5	28,5
2	34,1	39,3
3	33,8	38,8
4	30,2	32,2
5	31,0	33,0

Jämfört med referensscenariot så ökar den årliga medeltillväxten från plantagekategori TREO och samtidigt minskar den årliga medeltillväxten från plantagekategori ÄLDRE i skötselsystem med blandskog. Detta är tydligast för skötselsystem med 50 procent granplanter satta (j=2,3) (Figur 19 och 20).



Figur 19: Årlig medeltillväxt för fröplantagekategori ÄLDRE och TREO för olika skötselsystem och SLUMP_13.



Figur 20: Årlig medeltillväxt för fröplantagekategori ÄLDRE och TREO för olika skötselsystem och SLUMP_25.

I traktscenarion SLUMP_25 överstiger den årliga medeltillväxten för plantagekategori TREO den för plantagekategori ÄLDRE (tabell 15 och figur 20).

Tabell 15: Procent av den totala årliga medeltillväxten som härrör från plantagekategori TREO för olika skötselsystem och traktscenarier.

Skötselsystem	SLUMP_13	SLUMP_25
1	44,6	44,6
2	48,8	52,8
3	48,9	53,0
4	46,3	47,7
5	46,5	48,3

Av de trakter som förnygrats med plantor från plantagekategori TREO är 24–30 procent blandskogstrakter medan motsvarande siffra endast är 4-8 procent för plantagekategori ÄLDRE för SLUMP_13 (Tabell 16).

Tabell 16: Antal trakter (procent inom parentes) för varje plantagekategori som förnygrats som rena grantrakter eller blandskogstrakter för olika skötselsystem och SLUMP_13.

Skötselsystem	ÄLDRE_gran	ÄLDRE_bland	TREO_gran	TREO_bland
1	5329 (100)	0 (0)	2123 (100)	0 (0)
2	4704 (95,8)	204 (4,2)	1783(70,1)	761 (29,9)
3	4681 (94,9)	252 (5,1)	1806 (71,7)	713 (28,3)
4	4779 (91,9)	420 (8,1)	1708 (75,8)	545 (24,2)
5	4866 (94,7)	274 (5,3)	1621 (70,1)	691 (29,9)

Av de trakter som förnygrats med plantor från plantagekategori TREO är 40–50 procent blandskogstrakter medan motsvarande siffra är 9–17 procent för plantagekategori ÄLDRE för SLUMP_25 (Tabell 17).

Tabell 17: Antal trakter (procent inom parentes) för varje plantagekategori som förnygrats som rena grantrakter eller blandskogstrakter för olika skötselsystem och SLUMP_25.

Skötselsystem	ÄLDRE_gran	ÄLDRE_bland	TREO_gran	TREO_bland
1	5329 (100)	0 (0)	2123 (100)	0 (0)
2	4096 (90,6)	424 (9,4)	1494 (51,0)	1438 (49,0)
3	4056 (88,9)	504 (11,1)	1534 (53,0)	1358 (47,0)
4	4164 (82,4)	889 (17,6)	1426 (59,4)	973 (40,6)
5	4343 (87,0)	651 (13,0)	1247 (50,7)	1211 (49,3)

Av blandskogstrakterna är andelen som förnygrats med plantor från TREO över 70 procent för skötselscenario j=2,3 medan siffran är 50–70 procent för skötselscenario j=4,5 (Tabell 18).

Tabell 18: Blandskogstrakternas fördelning i procent mellan de två plantagekategorierna för olika skötselsystem och traktscenarier.

Skötselsystem	SLUMP_13		SLUMP_25	
	ÄLDRE	TREO	ÄLDRE	TREO
1	-	-	-	-
2	21,1	78,9	22,8	77,2
3	26,1	73,9	27,1	72,9
4	43,5	56,5	47,7	52,3
5	28,4	71,6	35,0	65,0

De rena grantrakter som förnygras med plantagekategori TREO har konsekvent högre bonitet än blandskogstrakter som förnygras med samma plantage av kategori TREO och nästan alltid högre bonitet än för skötselsystem Referens (Tabell 19 och 20).

Tabell 19: Boniteten på de trakter som planteras som rena grantrakter (G) eller blandskogstrakter (B) samt totalt (Tot) för olika fröplantager och skötselsystem (j) för SLUMP_13. Plantagekategori TREO (25 % vinstnivå) har markerats med gula rader.

Plantagenamn	j=1	j=2		j=3		j=4		j=5		
	G	G	B	Tot	G	B	Tot	G	B	Tot
Hissjö	3,1	3,1		3,1	3,1		3,1	3,1	3,1	3,1
Jung	3,0	3,0	2,9	3,0	3,0	2,9	3,0	3,0	2,9	3,0
Saleby (s)			3,1	3,1				3,1	3,1	3,1
Ön			3,3	3,3		3,6	3,6	3,2	3,2	3,2
Sör Amsberg								3,1	3,1	
Lustnäset										3,1 3,1
Myra			3,1	3,1		3,3	3,3	3,2	3,2	3,2 3,2
Bredinge (s)*	8,3	8,5	3,1	8,4	8,5	7,5	8,4	8,5	4,5	8,4
Ålbrunna*	6,2	6,2	4,9	6,2	6,2	5,2	6,2	6,3	5,9	6,2
Nedra Sandby (s)			3,1	3,1				3,1	3,1	3,1 3,1
Gringelstad G4			3,1	3,1		5,3	5,3	3,1	3,1	3,1 3,1
Almnäs*	8,2	8,3	7,1	8,2	8,3	7,8	8,2	8,3	7,9	8,2
Multrä G3*	3,3	3,3	3,4	3,3	3,3	3,3	3,3	3,4	3,6	3,4
TreO G4 Sollerön	6,9	6,9	5,6	6,7	6,9	5,7	6,7	7,0	6,0	6,8
TreO G4 Östhammar	9,0	9,2	6,9	8,4	9,1	6,4	8,3	9,2	7,7	8,8
TreO G5 Ön	10,1	10,2	7,4	9,4	10,2	7,7	9,7	10,2	8,5	9,9
TreO G5 Sjögränd	10,5	10,6	8,2	9,9	10,6	8,7	10,0	10,6	9,4	10,3
TreO G5 Gårdskär	10,3	10,8	8,3	8,5	11,1	8,0	8,3	10,4	9,5	10,0
TreO G6 Saleby	10,3	10,5	9,2	9,9	10,4	8,7	9,7	10,5	9,3	10,1
TreO G89M Olofs	10,5	10,6	9,3	10,0	10,6	9,1	9,8	10,6	9,1	10,1
Brunsborg zon5			3,1	3,1				3,1	3,1	3,1 3,1
Brunsborg zon6 (s)			5,5	5,5		5,3	5,3	3,1	3,1	3,1 3,1

*Fröplantager i kategori ÄLDRE med vinstnivå på 15 %. De andra i kategori ÄLDRE ligger på 10 %.

Även för plantagekategori ÄLDRE finns en trend att de rena grantrakterna har en högre bonitet än blandskogstrakterna som förnygras med material från samma plantage men

skillnaderna är mindre och inte helt konsekventa som för plantagekategori TREO (Tabell 19 och 20).

Tabell 20: Boniteten på de trakter som planteras som rena grantrakter (G) eller blandskogstrakter (B) samt totalt (Tot) för olika fröplantager och skötselsystem (j) för SLUMP_25. Plantagekategori TREO (25 % vinstnivå) har markerats med gula rader.

Plantagenamn	j=1	j=2		j=3			j=4			j=5			
	G	G	B	Tot	G	B	Tot	G	B	Tot	G	B	Tot
Hissjö	3,1	3,1		3,1		3,1		3,1		3,1		3,1	
Jung	3,0	2,9	3,1	3,0	2,9	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0	2,9	2,9	2,9
Saleby (s)			3,1	3,1					3,1	3,1		3,1	3,1
Ön			3,3	3,3		3,6	3,6		3,2	3,2		3,2	3,2
Sör Amsberg			3,1	3,1		3,1	3,1		3,1	3,1		3,1	3,1
Lustnäset			3,1	3,1					3,1	3,1		3,1	3,1
Myra			3,1	3,1		3,2	3,2		3,1	3,1		3,1	3,1
Bredinge (s)*	8,3	8,5	4,1	8,3	8,5	5,5	8,3	8,5	6,0	8,3	8,6	6,7	8,4
Ålbrunna*	6,2	6,2	4,8	6,1	6,2	5,1	6,1	6,3	6,1	6,3	6,3	5,9	6,3
Nedra Sandby (s)			3,1	3,1					3,1	3,1		3,1	3,1
Gringelstad G4			3,1	3,1		3,5	3,5		3,1	3,1		3,1	3,1
Almnäs*	8,2	8,3	7,1	8,1	8,3	8,0	8,2	8,3	7,9	8,2	8,5	7,3	8,3
Multrå G3*	3,3	3,3	3,4	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,6	3,4	3,4	3,5	3,4
TreO G4 Sollerön	6,9	7,1	5,7	6,7	7,1	5,7	6,6	7,0	6,0	6,7	7,3	5,8	6,6
TreO G4 Östhammar	9,0	9,5	7,2	8,2	9,4	6,8	8,0	9,4	7,8	8,7	9,9	7,9	8,8
TreO G5 Ön	10,1	10,4	7,6	9,0	10,4	7,8	9,4	10,4	8,8	9,8	10,6	8,6	9,6
TreO G5 Sjögränd	10,5	10,6	8,5	9,6	10,6	8,7	9,7	10,6	9,5	10,2	10,6	9,2	10,0
TreO G5 Gårdskär	10,3	11,2	8,2	8,4		8,2	8,2	10,7	8,9	9,7	10,6	7,5	8,1
TreO G6 Saleby	10,3	10,4	9,1	9,6	10,5	8,8	9,4	10,4	9,6	10,0	10,5	9,4	9,9
TreO G89M Olofs	10,5	10,8	9,4	9,8	10,9	9,1	9,6	10,7	9,5	10,1	10,7	9,5	10,1
Brunsborg zon5			3,1	3,1					3,1	3,1		3,1	3,1
Brunsborg zon6 (s)			4,7	4,7		4,9	4,9		3,1	3,1		3,1	3,1

*Fröplantager i kategori ÄLDRE med vinstnivå på 15 %. De andra i kategori ÄLDRE ligger på 10 %.

Diskussion

Heureka-analyserna

Scenarier med inriktning på en långsiktig blandning mellan gran och naturligt föryngrad björk (MIXBLAND) resulterade i bestånd där en betydande andel av stamantalet vid slutavverkning utgjordes av björk. Björkens medeldiameter och dess andel av totalproduktionen vid slutavverkning var dock betydligt lägre än för granen. En orsak till detta kan vara trädslagets olika tillväxtdynamik med en snabb ungdomstillväxt hos björken och en mer uthållig tillväxt hos granen. I en studie med naturligt föryngrad björk och planterad gran i södra Sverige var volymproduktionen lika för bestånd med ren gran och blandningar med 20 respektive 50 procent björk vid en ålder av ca 25 år (Fahlvik

m.fl. 2011). Simuleringar av den fortsatta beståndsutvecklingen visade på att granen blev en alltmer dominerande volymproducent och att totalproduktionen minskade med en ökande inblandning av björk. Studier har också visat att produktionspotentialen ökar mer för gran än för björk vid stigande ståndortsindex (Braastad 1985, Ekö m.fl. 2008). Det kan vara en förklaring till att björkens andel av totalproduktionen minskade med ökande ståndortsindex i denna studie. Björkens andel av totalproduktionen minskade också med ökande förädlingsgrad hos granen. Ett rimligt antagande är att björkens konkurrenskraft i en trädvis blandning minskar med en ökande tillväxtpotential hos granen.

För varje scenario valdes det simuleringsalternativ som gav högst volymproduktion under en omloppstid. En relevant fråga är hur ändamålsenligt skötseln har varit för att skapa långsiktiga blandbestånd? Resultaten tyder på en svag dimensionsutveckling för björken i MIXBLAND och MIXGRAN. En målsättning inriktad mot blandbestånd där både björken och granen kan utvecklas och uppnå timmerdimension hade troligtvis krävt ett större fokus på att friställa björken vid senare gallringar, med en förväntad reduktion av totalproduktionen som följd. I nuläget är möjligheterna att gynna individer av ett visst trädslag vid skötselåtgärder begränsade i Heureka. Samtidigt kan det vara motiverat att minska andelen björk med stigande ålder. I Fahlvik m.fl. (2011) resulterade simuleringar där andelen björk reducerades i senare gallring i ett högre ekonomiskt utbyte. I denna studie kulminerade medeltillväxten i vissa fall vid en ålder på 90–100 år. Vid en så hög ålder kan virkesutbytet från björken påverkas negativt av vikande vitalitet, något som också talar för en reduktion av andelen björk med ökande beståndsålder.

I stället för att, för varje scenario, välja det simuleringsalternativ som gav högst volymproduktion skulle ett alternativt urval kunna vara att maximera markvärdet. En sådan ekonomisk optimering ger antagligen ett annat resultat än den mer biologiskt kopplade optimering vi nu utfört. Sannolikt skulle blandskogsalternativen kunna framstå som mer fördelaktiga eftersom man planterar färre granplantor per ha och därmed får en lägre investeringskostnad som skall förräntas i en ekonomisk optimering. Skälen till att vi i den här studien inte gick vidare med den ekonomiska optimeringen var att: (i) ett stort antal ekonomiska förutsättningar skulle behöva anges som till exempel kalkylränta, virkespriser för gran och björk samt skötsel- och drivningskostnader, vilket skulle öka komplexitetsnivån i projektet avsevärt, (ii) alla ekonomiska förutsättningar skulle behöva predikteras för hela omloppstiden och det är mycket utmanande att sja om dessa 50-100 år fram i tiden, (iii) en biologisk optimering i Heureka blir konsistent med Plantval optimala målfunktion som i dagsläget är att maximera årlig medeltillväxt. Med detta sagt är det ändå av intresse att undersöka hur en ekonomisk optimering skulle skilja sig åt från den biologiska men det har varit utanför ramen för detta projekt.

Den realiserade produktionsvinsten för förädlad plantmaterial jämfört med oförädlad, var inte konstant över olika ståndortsindex i simuleringarna. En jämförelse av volymens medeltillväxt mellan förädlad och oförädlad material visade på en överskattning av den förväntade produktionsvinsten vid låga ståndortsindex och en underskattning vid höga index. Det finns inget stöd inom forskningen för ett sådant samband. Det är angeläget att utveckla denna del av Heureka i takt med att tillgången på data från långsiktiga fältförsök ökar.

En viktig slutsats från analyserna med Heureka var att granens och björkens relativa produktion varierade med såväl ståndortsfaktorer som förädlingsgrad på de planterade granarna. Starkast var effekten för bonitet och förädlingsgrad där granen producerade bättre relativt björken för högre boniteter och förädlingsgrad. Effekten var svagare för ändrad altitud och latitud där björken producerade relativt sett sämre på höga altituder och latituder, alltså vid kärvare lägen. Effekten av förädlingsgrad är intressant då det visar

på att skötselregimerna behöver justeras för att ta hänsyn till de olika tillväxtnivåer som finns i dagens granplantor och att naturligt förnygrad björk får svårare att hävda sig över en omloppstid tillsammans med högförädlade granplantor (TREO).

Blandskogsmodulen i Plantval optimal

Resultaten från Heureka-analyserna gav förutsättningarna för hur en blandskogsmodul skulle kunna implementeras i den nuvarande modellplattformen Plantval optimal. Innan studien var en hypotes att det skulle räcka med information från trakterna i form av ståndortsindex för att kunna beräkna granens och björkens relativa årliga medeltillväxt i blandbestånd och därmed skulle justeringsvärdena (C-värdena) kunna bestämmas redan i indata för trakterna. När det visade sig att granens förädlingsgrad också påverkade trädslagets relativa årliga medeltillväxt behövde kombinationen av trakt och granplantmaterial bestämmas för att kunna räkna ut nödvändiga C-värden. Plantval optimal är redan uppbyggt så att ett mellansteg (efter indata laddats upp men innan optimeringssteget) skapar en datafil med alla möjliga kombinationer av trakter och plantmaterial, vilket innebär att själva beräkningen av C-värden programmerades in i denna del av verktyget.

Ett annat viktigt utvecklingsbeslut var att bibehålla Plantval optimal's nuvarande optimeringsmodell och dess design i möjligaste mån även med tillagd blandskogsfunktionalitet. Ett viktigt skäl till detta var att det skulle vara lätt att kunna implementera en blandskogsfunktionalitet i det operativa Plantval optimal längre fram. Därmed har vi också endast lagt till några extra kolumner i indata för trakten som styr huruvida blandskogsmodellerna används eller ej. Lämna kolumnerna tomma fungerar verktyget precis som innan utan blandskogsmodeller. Ett annat viktigt skäl var att resurserna i projektet inte medgav någon annan lösning än denna. En vidareutveckling av optimeringsmodellen och/eller en direktare koppling mellan Heureka och Plantval optimal skulle varit mycket mer resurskrävande och var inte möjlig att inkludera i den här studien.

Att behålla den nuvarande strukturen har dock medfört ett antal approximationer och begränsningar i verktyget. En betydande approximation som gjorts är att skapa C-matrisen av diskreta klasser för ståndortsvariabler och genetisk vinstnivå via Heureka-körningarna. I en eventuell vidareutveckling av verktyget med samma modellstruktur bör man utvärdera huruvida de diskreta klassernas storlek behöver förändras. En begränsning i verktyget är också att vi endast utvecklat det för och utvärderat det med Stora Ensos trakter som i huvudsak finns i Mellansverige. Innan en blandskogsfunktionalitet kan introduceras operativt i Plantval optimal behöver verktyget kunna hantera fler typtrakter och utvärderas mot mer data. En annan begränsning är att de trakter som ska vara blandskogstrakter respektive rena grantrakter måste åsättas av användaren på förhand. Vår bedömning är att det därför är ett naturligt steg att vidareutveckla optimeringsmodellen så att även frågan ”på vilka trakter ska man ha blandbestånd?” kan besvaras. Slutligen är en begränsning att verktyget endast jobbar med en vikt som använder kubikmetrar för att värdera gran och björk på en gemensam skala, vilket kan göra tolkningen av resultaten svår. Att ha en gemensam skala i en monetär enhet skulle varit att föredra men den ökade komplexiteten detta skulle medföra (till exempel åsättande av virkespriser och skötselkostnader) var bortom ramen för detta projekt.

Analyser med Plantval optimal

En viktig slutsats från studien var att inga skötsel- och förnygringssystem, fröförsörjningsscenarier eller traktscenarier som innehöll blandskogstrakter kunde nå upp till den årliga medeltillväxten då man endast planterade rena granbestånd. Resultaten visar alltså att det inte fullt ut går att kompensera förlusten i årlig medeltillväxt av att plantera färre högförädlade granplantor per trakt med att kunna sätta dem på fler trakter. Det är också tydligt att ju fler blandskogstrakter, ju färre granplantor per trakt och ju mer skötsel mot bibehållen blandskog, desto lägre årlig medeltillväxt. Den här slutsatsen inkluderar dock inte det potentiella värdet av riskreduktion som blandskogstrakter kan medföra genom att buffra mot kalamiteter i monokulturer av gran som till exempel utbrott av granbarkborre och stormfällning (Felton m.fl. 2016). Simuleringar av produktionssänkande skador och/eller kalamiteter låg utom ramarna för detta projekt men torde vara en naturlig fortsättning för att få en mer nyanserad bild av utfallet.

En annat viktigt resultat från studien var att skillnaden i årlig medeltillväxt mellan skötselsystem med rena granbestånd och skötselsystem med blandbestånd kunde reduceras vid fröförsörjningsscenarier där det fanns en betydande men långt ifrån heltäckande tillgång på TreO-plantager (TreO bas, TreO optimal). Sannolikt beror detta på att TreO-plantagernas ökade tillväxt till viss del kan kompensera för förlusterna i att sätta färre plantor per trakt genom att de sätts på många fler trakter. Resultaten från simuleringarna visar att TreO-plantagerna används på både fler trakter och ger en högre årlig medeltillväxt i skötselsystem med blandbestånd än i traditionellt skötselsystem med rent granbestånd (och omvänt för plantagekategori ÄLDRE). Ökningen i årlig medeltillväxt i skötselsystemen med blandbestånd räcker dock inte för att totalt sett nå nivån för skötselsystem med rena granbestånd. I en situation där det finns väldigt lite TreO-plantor (Referens) eller obegränsat mycket (TreO komplett) kan man inte längre kompensera för ett lägre planteringsförband av granplantor då det inte finns någon större skillnad i genetisk vinstnivå oavsett vilka fröplantager man väljer eftersom man kommer att välja från samma kategori (ÄLDRE eller TREO) till alla trakter oavsett om de är blandbestånd eller ej. De äldsta TreO-granplantagerna som anlades i början av 2000-talet håller på att komma i produktion medan den senast etablerade plantagen anlades under 2022. Tillgången på TreO-frö kommer gradvis öka och den närmaste tiden kan fröförsörjningen antas motsvara TreO bas/optimal snarare än Referens/TreO komplett. Samtidigt påbörjas nu anläggningen av den fjärde omgångens plantager (FyrO) vilket, likt TreO-programmet, kommer att pågå kontinuerligt de närmaste decennierna i takt med att material från den nya förädlingsgenerationen blir tillgängligt. I FyrO-programmet kommer den genetiska vinsten snarare att öka kontinuerligt än som för tidigare plantageomgångar, i diskreta hopp. Det är därmed sannolikt att det alltid kommer att vara en bristsituation på det allra bästa fröplantagematerialet och att fröförsörjningssituationen även framledes kommer att ha stora likheter med TreO bas/optimist.

Genom att detaljstudera hur plantor från de olika fröplantagerna och fröplantagekategorierna användes i skötselsystem med blandskogstrakter kunde vi se att blandskogstrakterna och de rena grantrakterna skilde sig åt i bonitet för TreO-plantagerna. För valfri TreO-plantage så fick de rena grantrakterna hög bonitet medan boniteten ofta var avsevärt lägre för blandskogstrakterna. Det är två olika drivkrafter som drar åt motsatt håll. Å ena sidan bör de allra bästa trakterna med högst bonitet förbli rena granbestånd där utväxlingen på den genetiska vinsten blir som högst men å andra sidan bör TreO-plantorna användas på så många trakter som möjligt för att utnyttja den högre

genetiska vinsten i fler bestånd. För näst intill alla TreO-plantager är boniteten för rena granbestånd också högre vid skötselsystem med blandskog än för skötselsystem med monokultur av gran, vilket antyder att endast de allra bästa trakterna förblir rena granbestånd.

Att ändra vikten som uttrycker björkkubikmetrarnas värde i förhållande till grankubikmetrar påverkade vinstnivån på blandskogssystemen där en lägre vikt gav lägre vinst och vice versa. Vinstnivån är dock om $v \neq 1$ inte rena kubikmetrar utan en sorts värdeproduktion där björkens kubikmetrar skalats i värde relativt gran. Vid omräkning av denna "värdeproduktion" tillbaka till rena kubikmetrar i efterhand visade det sig att skillnaderna mellan de olika vikterna var i det närmaste försumbara. Så var det också med alla andra utfall såsom rangordning mellan skötselsystem och fördelning av trakter mellan plantagekategorier. Det är möjligt att den naturligt föryngrade björkens produktion i blandbestånden, även i spannet av de vikter vi testat, är så mycket lägre än den förädlade granens produktion att det inte påverkar optimeringen och fördelningen av granplantorna oavsett vilken vikt björken har. Förutom en vikt som approximativt motsvarar dagens värdeskillnad var de vikter vi testade här var i det övre spannet av vad vi i dagsläget kan bedöma att björkens värde relativt granens kommer att kunna vara (likvärdig granen eller mer än granen via energivärdet) och att testa en högre vikt bedömdes därför inte rimligt. Däremot skulle björkens produktion kunna öka avsevärt om man tänker sig blandbestånd där både granen och björken är planterad och förädlad men en sådan analys var utanför ramarna för detta projekt.

Slutsatser

I blandbestånd med olika föryngrings- och skötselsystem varierade volymproduktionen för gran och björk med såväl analystraktens ståndortsfaktorer som granplantornas förädlingsnivå. Resultaten från dessa beståndsvisa analyser har använts för att utveckla en blandskogsfunktionalitet i Plantval optimal. Denna funktionalitet har använts för att utvärdera hur man kan kombinera granplantor av olika förädlingsgrad med naturligt föryngrad björk för att maximera årlig medeltillväxt över hela Stora Ensos innehav av planerade föryngringstrakter för gran.

Inget skötsel- eller föryngringssystem vars mål är någon form av blandskogsbestånd av gran och björk genom att plantera färre granplantor per trakt tillsammans med naturligt föryngrad björk når upp till samma årliga medeltillväxt över ett helt innehav som plantering av monokultur av gran. Det går alltså inte att fullt ut kompensera för den minskade volymproduktionen på enskilda blandskogstrakter med att de högförädlade granplantorna kan sättas på fler trakter. Om man däremot använder de mest högförädlade plantorna i rena granbestånd på de högsta boniteterna samtidigt som man på lite lägre boniteter använder dem på så många blandskogstrakter som möjligt går det att minska reduktionen av årlig medeltillväxt i skötselsystem med blandbestånd jämfört med monokultur av gran. Störst möjlighet till detta has då det finns en betydande men långt ifrån heltäckande tillgång på högförädlade plantor.

I denna studie har endast granen och björkens produktion beaktats. Syftet med inblandning av björk är främst att öka skogens värde av andra ekosystemtjänster, dvs öka diversiteten men även för att minska skaderisken av till exempel granbarkborre. På vilka marker en inblandning av björk gör störst nytta med ökad diversitet, bördiga – magra, nordliga – sydliga etc. ingår ej i denna studie.

Framtida arbete

Det här projektet kan ses som en förstudie för att kunna implementera en blandskogsmodul i verktyget Plantval optimal och genom studien har ett antal utmaningar, förbättringar och analysmetoder identifierats för att ett sådant verktyg skulle kunna realiserats och användas på ett effektivt sätt.

- Modellerna skulle behöva analyseras om med data som täcker hela landet på ett representativt sätt.
- Produktionseffekten av förädlade plantor skulle behöva förbättras ytterligare i Heureka.
- En ny optimeringsmodell i Plantval optimal som utöver nuvarande funktionalitet även kan tilldela traktens skötselsystem (blandbestånd eller monokultur) bör utvecklas.
- Modeller som kan hantera blandbestånd där både gran och björk är förädlad och planterad kan vara intressanta att utveckla givet de stora satsningar som nu görs på förädlad björk.
- Nya simuleringar som kan ta hänsyn till produktionssänkande skador och/eller kalamiteter på det ena trädslaget (speciellt gran) kan ge en mer nyanserad bild av blandbeståndens prestation.
- En ekonomisk optimering är ett intressant alternativ att undersöka till den nuvarande biologiska optimeringen.

Referenser

- Almqvist, C. och Wennström, U. 2020. Förädlat skogsodlingsmaterial 2020-2064. Tillgång och behov av förädlat frö samt utvecklingen av den genetiska vinsten över tiden. [Improved forest regeneration material 2010-2064. Supply and needs and development of genetic gain over time], Skogforsk Arbetsrapport 1066-2020. 51 s.
- Berlin, M. 2021. Bättre strategisk planering av plantproduktion - En analys av olika fröförsörjnings- och traktscenarier på Stora Ensos innehav, Skogforsk Arbetsrapport 1102-2021. 34 s.
- Berlin, M. Ericsson T. och Andersson Gull B. 2014. Plantval - manual med implementeringsteknisk bakgrund. [Plantval - manual and background to technical implementation], Arbetsrapport nr 851-2014. Skogforsk. 58 s.
- Braastad, H. 1985. Relationship between site index class and potential yield of *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Betula verrucosa* and *Betula pubescens* on the same site. In Hägglund, B., Peterson, G. (Eds.), Broadleaves in boreal silviculture - An obstacle or an asset. Institutionen för skogsskötsel, Sveriges lantbruksuniversitet. Rapport 14, pp. 175-187.
- Davidsson, A, Berlin M, och Jönsson, P. 2018. PlantvalOptimal – Effektivare och bättre användning av plantmaterial för större skogsinnehav. [PlantvalOptimal – Improved and more efficient use and distribution of plant material for large holdings of forest land], Skogforsk Arbetsrapport 996-2018. 32 s.
- EC. 2021. European Commission. New EU Forest Strategy for 2030. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM(2021) 572 Final; European Commission: Brussels, Belgium, 2021.
- Ekö, P.-M., Johansson, U., Petersson, N., Bergqvist, J., Elfving, B., Frisk, J. 2008. Current growth differences of Norway spruce (*Picea abies*), Scots pine (*Pinus sylvestris*) and birch (*Betula pendula* and *Betula pubescens*) in different regions in Sweden, Scandinavian Journal of Forest Research, 23:4, 307-318.
- Fahlvik, N., Agestam, E., Ekö, P.M., Lindén, M. 2011. Development of single-storied mixtures of Norway spruce and birch in Southern Sweden. Scandinavian Journal of Forest Research, 26(S11): 36-45.
- Felton, A., Nilsson U., Sonesson J., Felton A.M., Roberge J-M., Ranius T., Ahlström M., Bergh J., Björkman C., Boberg J., Drössler L., Fahlvik N., Gong P., Holmström E., Keskitalo E.C.H., Klapwijk M.J., Laudon H., Lundmark T., Niklasson M., Nordin A., Pettersson M., Stenlid J., Sténs A., och Wallertz K. 2016. Replacing monocultures with mixed-species stands: Ecosystem service implications of two production forest alternatives in Sweden, *Ambio*, 45: 124-39.
- Holmström, E, Ekö P M, Hjelm K, Karlsson M, och Nilsson U. 2016. Natural regeneration on planted clearcuts - the easy way to mixed forest, *Open Journal of Forestry*, 6: 281-94.
- Liss, J-E. 2005. Brännved – energiinnehåll i några olika träslag. Arbetsdokument nr. 1, Garpenberg, 19s. urn:nbn:se:du-1245

- Rosvall, O., G. Jansson, B. Andersson, T. Ericsson, B. Karlsson, J. Sonesson, och L-G. Stener. 2001. Genetic gain from present and future seed orchards and clone mixes, Skogforsk, Redogörelse nr. 1, 2001. 41 pp.: 41.
- Rosvall, O. och Lundström A. 2011. Förädlingseffekter i Sveriges skogar - Kompletterande scenarier till SKA-VB 08, Redogörelse nr. 1, 2011, *Skogforsk*. 32 s.
- Skogforsk 2023. Plantval optimal. Tillgänglig: <https://www.skogforsk.se/produkter-och-evenemang/verktyg/pvopt/> [2023-11-16]
- Skogsstyrelsen 2023. Fem miljoner kubikmeter dödades av granbarkborren 2022. Tillgänglig: <https://www.skogsstyrelsen.se/nyhetslista/fem-miljoner-kubikmeter-dodades-av-granbarkborren-2022/> [2023-11-16]
- SOU. 2013. Långsiktigt hållbar markanvändning. Statens Offentliga Utredningar, Stockholm, p. 230.
- Wikström, P, Edenius L, Elfving B, Eriksson L O, Lämås T, Sonesson J, Öhman K, Wallerman J, Waller C, och Klintebäck F. 2011. The Heureka forestry decision support system: an overview, *Mathematical and Computational Forestry & Natural-Resource Sciences*, 3: 87-94.