

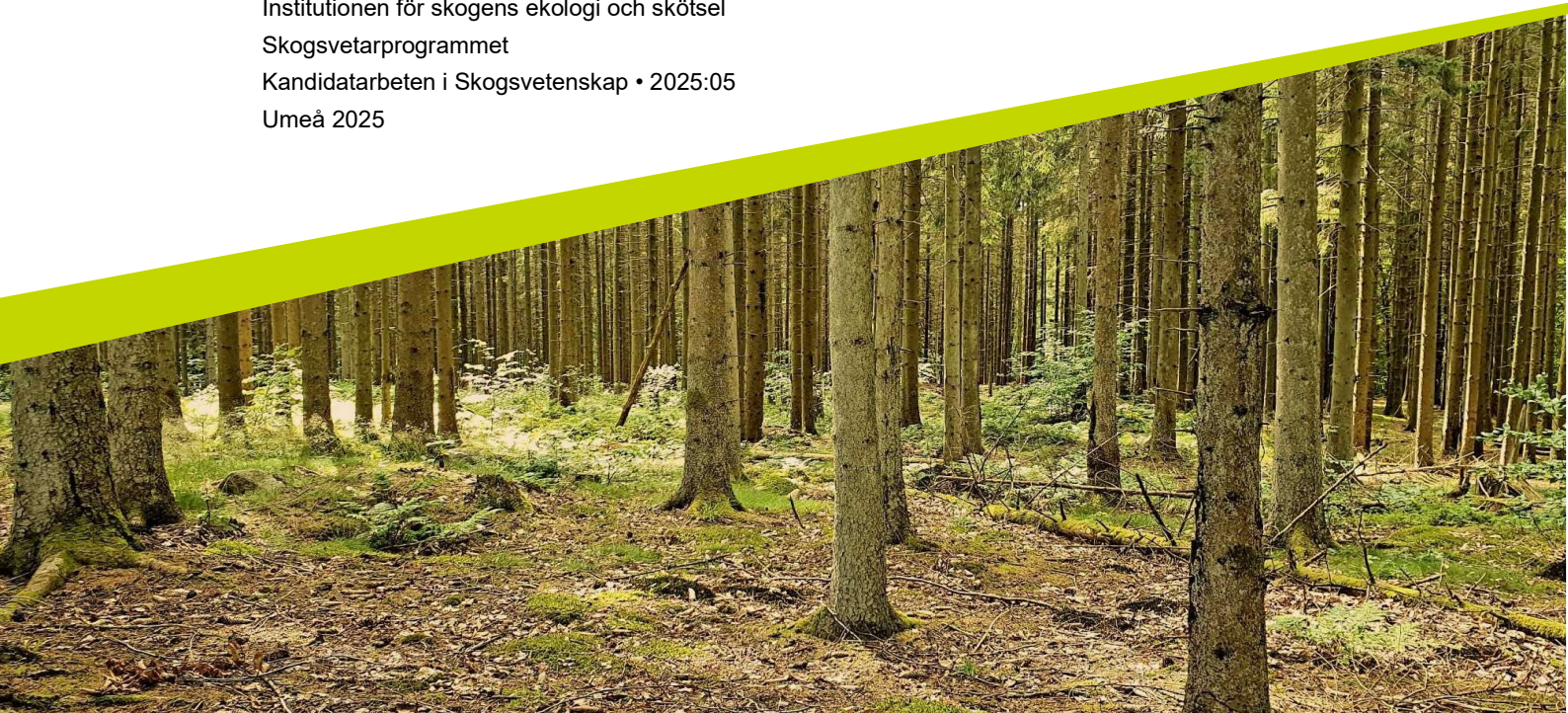


Minskad mottaglighet för granbarkborreangrepp

Ekonomisk analys av simulerad skogsskötsel

Henrik Frangel

Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skogens ekologi och skötsel
Skogsvetarprogrammet
Kandidatarbeten i Skogsvetenskap • 2025:05
Umeå 2025



Minskad mottaglighet för granbarkborreangrepp. Ekonomisk analys av simulerad skogsskötsel

Reducing Spruce Bark Beetle Susceptibility. An Economic Evaluation of Simulated Silviculture

Henrik Frangel

Handledare:	Victor Göransson, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skoglig resurshushållning
Bitr. handledare:	Teresa López-Andújar Fustel, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skoglig resurshushållning
Examinator:	Marcus Klaus, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogens ekologi och skötsel

Omfattning:	15 hp
Nivå och fördjupning:	Grundnivå, G2E
Kurstitel:	Självständigt arbete i skogsbruksvetenskap
Kurskod:	EX1015
Program/utbildning:	Skogsvetarprogrammet
Kursansvarig inst.:	Institutionen för skogens ekologi och skötsel
Utgivningsort:	Umeå
Utgivningsår:	2025
Omslagsbild:	Skånsk granskog (Henrik Frangel 2024)
Upphovsrätt:	Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Serietitel:	Kandidatarbeten i skogsvetenskap
Delnummer i serien:	2025:05

Nyckelord:	beslutsstödsystem, granbarkborre, skogsskötsel
-------------------	--

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Sammanfattning

Sedan 2018 har Sveriges största utbrott av granbarkborre observerats med rekordmycket skogsskador som följd och utbrotten förväntas öka med ett varmare klimat. Denna studie syftade till att jämföra olika skötselalternativs påverkan på skogens mottaglighet för granbarkborreangrepp och dess ekonomiska utfall. Med hjälp av beslutsstödsystemet Heureka PlanWise jämfördes standardförfarandet i svenskt skogsbruk med kortare omloppstider och ökad lövinblandning vid skötsel av granskog. Resultatet tyder på en konflikt mellan skötsel anpassad för nuvärdesmaximering och minskad mottaglighet för granbarkborreangrepp. Resultatet tyder även på att kortare omloppstider är ett alternativ för mycket låg mottaglighet. Mer forskning behövs gällande lövinblandningens påverkan på mottaglighet. Vid skötsel för minskad mottaglighet för granbarkborre minskade även skogens känslighet för stormskador. Riskhantering är en viktig del i vägen framåt och denna studie är en del av det arbetet.

Nyckelord: beslutsstödsystem, granbarkborre, skogsskötsel

Abstract

Since 2018 Sweden's largest outbreak of European spruce bark beetle have been recorded with a record-breaking amount of forest damage as consequence, and outbreaks are expected to increase in a warmer climate. This study aimed to compare different silviculture effects of the forest's predisposition of bark beetle-attacks and its economic outcome. With the decision support system Heureka PlanWise the standard procedure in Swedish forestry was compared to shortening of rotation length and an increased abundance of broadleaf in silviculture of Norway spruce forests. The results indicate a trade off between maximization of present value and decreased predisposition of spruce bark beetle attacks. The result also indicates that shortening rotation lengths is an alternative for very low predisposition. More research is needed regarding the effect of an increased abundance of broadleaf. Adapting the silviculture for lower predisposition of bark beetles also lowers the forest's sensibility to storm damage. Risk management is an important part of the way forward and this study is part of such work.

Keywords: decision support system, European spruce bark beetle, silviculture

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	5
Figurförteckning	6
1. Introduktion	7
1.1 Bakgrund	7
1.1.1 Skogsskador	7
1.1.2 Skogsskötsel	7
1.2 Syfte	9
2. Metod	10
2.1 Data	10
2.2 Heureka PlanWise	11
2.2.1 Skötselalternativ och simulering	11
2.2.2 Optimering	13
2.2.3 Bedömning av mottaglighet och känslighet	14
3. Resultat	15
4. Diskussion	20
4.1 Resultatdiskussion	20
4.2 Metoddiskussion	22
4.3 Slutsats	23
Referenser	24
Bilaga 1	27
Bilaga 2	28

Tabellförteckning

Tabell 1. Ingående tillstånd för analysen.....	10
Tabell 2. Inställningar skötselalternativ.	11
Tabell 3. Parametrar i barkborreindex.....	14
Tabell 4. Fördelning av areal i hektar för skötselalternativ i mix.	19

Figurförteckning

Figur 1. Åldersfördelning för analysen 1808 hektar.	10
Figur 2. Översikt över PlanWise arbetsgång i tre steg.....	12
Figur 3. Beräkning av nuvärde.	13
Figur 4. Trade off mellan nuvärde och barkborreindex.	15
Figur 5. Virkesförråd för trädslagen björk och gran.....	16
Figur 6. Stormindexets utveckling över tid.	17
Figur 7. Grundytevägd medeldiameter för gran för alla perioder och bestånd.	18

1. Introduktion

1.1 Bakgrund

1.1.1 Skogsskador

Granskog skadad av granbarkborre, *Ips typographus*, har i Sverige ökat kraftigt sedan 2018. Mellan 2018 och 2024 har det enskilt största utbrottet av granbarkborre i Sverige observerats (Roberge & Mikaelsson 2024; Ståhlberg 2020). Frekvensen av utbrott förväntas öka i framtiden med ett varmare klimat och större andel av Sverige kommer att ha lämpliga väderförhållanden för yngling av granbarkborre (Jönsson et al. 2009). I slutet av tjugoförsta århundradet är det i södra Sverige bedömt att granbarkborren kommer att yngla dubbla generationer mer än hälften av sommarperioderna, till skillnad från nulägets enstaka år (Jönsson et al. 2009).

1.1.2 Skogsskötsel

Rådande rekommendationer för att minska mängden skogsskador orsakade av granbarkborre syftar främst till att ståndortsanpassa föryngring, upparbeta stormfälld skog och att i tid avverka insektsangripen skog (Ståhlberg 2020). Mycket av forskningen som finns om skador vid utbrott av granbarkborre undersöker faktorer som är svåra att kontrollera när skogen väl är etablerad.

Ståndortens egenskaper har visats ha ett positivt samband med granskogs mottaglighet för angrepp av granbarkborre: topografi, bördighet, jorddjup (Blomqvist et al. 2018) och jordart (Blomqvist et al. 2018; Pulgarin Diaz et al. 2024) är viktiga faktorer som påverkar sannolikheten att finna angripna granar. Väderfaktorer som i hög grad påverkar skogens mottaglighet är ej möjliga att påverka med skogsskötsel, exempelvis sommartemperatur och nederbörd (Marini et al. 2017). Detta tyder på vikten att ta välgrundade beslut vid föryngring och skogsvård, men ger endast långsiktig effekt. Mängden skogsskador av granbarkborre är också korrelerat med storm och stormfälld skog, där nyligen döda träd agerar som yngelmateriel (Marini et al. 2017; Singh et al. 2024). Det är alltså även av intresse att veta hur känslig skogen är för stormskador för att även minska mängden lämpligt yngelmateriel.

På kort sikt är det viktigt att beakta beståndets egenskaper för att minska det etablerade beståndets mottaglighet för granbarkborreangrepp. Stor inverkan på denna mottaglighet har mängden gran i beståndet; virkesförråd (Kärvemo et al. 2014, 2016), höjd (Kärvemo et al. 2014) och grundyta (Zolubas et al. 2009) har visats ha ett positivt samband med förekomst av granbarkborreangrepp. Beståndets täthet korrelerar med dess mottaglighet för angrepp (Singh et al 2024; Zolubas et al. 2009). Forskning pekar på att stor grönkrona skuggar stammen och skapar mindre gynnsamma förhållanden för granbarkborren, särskilt vid störningar i krontäcket och slutsats dras att skötsel bör sträva efter glesa förband (Jakuš et al. 2011). Utöver detta finns det påvisat samband mellan skogens ålder och skador av granbarkborre (Pulgarin Diaz et al. 2024).

Skogsskötsel som påverkar dessa faktorer ger följder i beståndets utveckling avseende volymproduktion, enskilda träds utveckling och således skogens ekonomiska avkastning. Det är för konventionell skogsskötsel vedertaget att gallringar i tallskog och sena gallringar i granskog sänker beståndets totalproduktion (inter alia: Agestam 1979; Nilsson et al. 2010; Mäkinen & Isomäki 2004a, 2004b; Wallentin 2007), detta gäller särskilt för gallringar med starka uttag. En del av denna skillnad i volymproduktion avgår dock i form av självgallring och vid jämförelse mellan skötselprogram utan gallring och med en hård (styrka på 60–70%) tidig gallring finns det i ensartade granskogar ingen signifikant skillnad i gagnvirkesproduktion (Nilsson et al. 2010).

Sammantaget tyder detta på att för minskad mottaglighet för granbarkborreangrepp bör skötsel av granskog verka för god slutenhet utan trängsel, och högproduktiva skogar med låga virkesförråd. Avverkning bör ske tidigt för att undvika granskog i hög ålder och med högt virkesförråd. Likaså bör det undvikas att skapa störningar i krontäcket, genom exempelvis sena gallringar.

Resultat från studier som undersökt trädslagssammansättningen påverkan på skador efter angrepp och sannolikhet för angrepp, visar inte på konsensus för samband av ökad inblandning av icke-värdträd och angrepp (Cook et al 2007; de Groot et al 2023; Kärvemo 2014, 2016). Dessa studier använder eller presenterar olika metoder för att undersöka påverkan från icke-värdträd, och i svenskt sammanhang påvisas ett negativt samband vid virkesförråd av björk över 25 m³ per hektar. Detta tyder på att skötsel bör verka för ökad blandning av träslagssammansättningen, där björk utgör en betydande del av beståndets virkesförråd.

För att kunna ta välgrundade beslut om hur skogen ska skötas behöver bedömd mottaglighet vägas mot skogens ekonomiska avkastning.

1.2 Syfte

Syftet med studien var att med hjälp av ett beslutsstödsystem göra en ekonomisk analys av olika skötselalternativ ämnade att minska skogens mottaglighet för granbarkborre.

Studiens frågeställningar var: (1) Hur påverkas nuvärde och mottaglighet för granbarkborre av kortare omloppstider med endast en gallring? (2) Hur påverkas nuvärde och mottaglighet för granbarkborre av ökad lövinblandning? (3) Hur utvecklas känslighet för storm av de olika skötselalternativen?

2. Metod

I studien analyserades olika skötselalternativ med beslutsstödsystemet Heureka PlanWise. Det ekonomiska utfallet bedömdes som nuvärde, mottaglighet för granbarkborreangrepp och känslighet för storm bedömdes med hjälp av index.

2.1 Data

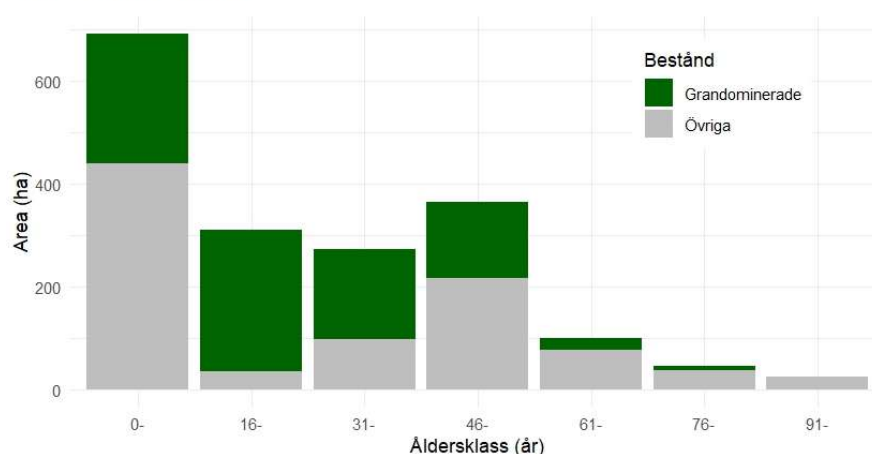
För analysen användes ett skogligt register över Hälleskog, ett 1923 hektar stort markområde i Kalmar län, södra Sverige (N56°51.02', E15°36.44'). Trädslagsfördelningen var 46,2 procent gran, 48,5 procent tall, 4,9 procent björk och övriga trädslag utgjorde mindre än 0,4 procent. I tabell 1 beskrivs analysens ingående tillstånd för hela området, del av området med gran som dominerande trädslag och övriga bestånd. I figur 1 beskrivs områdets ingående åldersfördelning, i samma uppdelning som tabell 1. 108 hektar som utgjorde målklasserna naturvård orört och naturvård skötsel exkluderades ur analysen.

Tabell 1. Ingående tillstånd för analysen.

Uppdelat på hela området, grandominerade bestånd och övriga bestånd.

	Hela området	Grandominerade	Övriga
Area (ha)	1 814	885	929
Produktiv skog (ha)	1 808	882	927
Medelålder (år)	31	28	33
Bonitet (m ³ sk/ha/år)	7,3	8,8	6,0
Volym (m ³ sk/ha)	114	118	111

Aldersfördelning



Figur 1. Åldersfördelning för analysen 1808 hektar.

Arealen uppdelad i grandominerade bestånd (grönt) och övriga bestånd (grått). Y-axeln visar area i hektar och x-axeln visar åldersklasser.

2.2 Heureka PlanWise

Analysen genomfördes i programmet Heureka PlanWise (version 2.23). Programmet är ett optimerande skogligt beslutsstödsystem som använder linjär programmering och möjliggör analys av olika skötselalternativ (Eggers & Öhman 2020). Arbetsgången i PlanWise gick i tre steg: Först definierades skötselalternativ. Sedan simulerades skogstillståndet i femårssteg utifrån alternativen och skapade möjliga skötselprogram. Sist optimerades fördelningen av skötselprogram utifrån mål och begränsningar.

2.2.1 Skötselalternativ och simulering

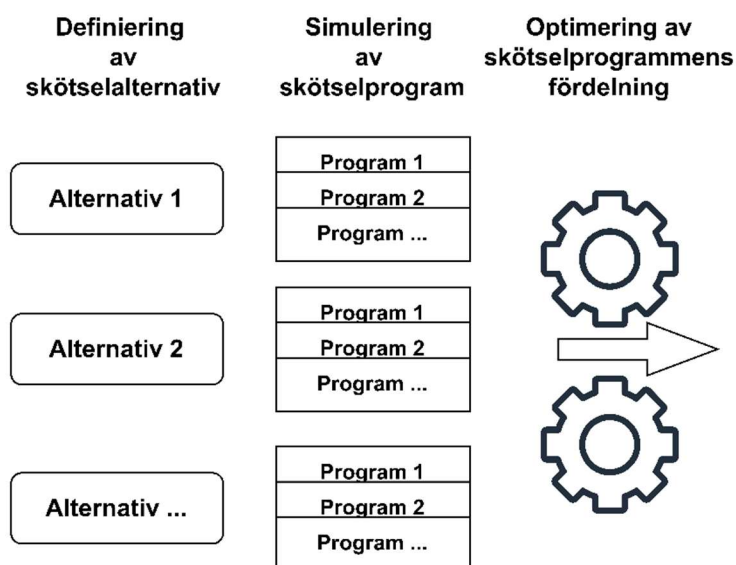
Tre skötselalternativ definierades: standard, hårdare och löv. En översikt av skötselalternativens inställningar presenteras i tabell 2. Alternativet standard simulerade den skötsel som förmodades vara standardförfarandet i svenskt skogsbruk. De av PlanWise medföljande standardinställningarna användes, men anpassades för att hindra gallringar vid 20 m övre höjd. Alternativet hårdare simulerade skötsel med endast en gallring. Eftersträvad grundyta efter gallring av gran sänktes med 15 procent jämfört med alternativet standard, genom att ändra inställningen för gallringsmallens undre kurva. Lägsta ålder för föryngringsavverkning (Låf) sänktes med tio procent jämfört med skogsvårdslagens krav. Alternativet löv simulerade röjnings- och gallringsåtgärder som eftersträvar 40 procent inblandning av lövträd i stamantal respektive grundyta.

*Tabell 2. Inställningar skötselalternativ.
Beskrivna som skillnader från standardinställningarna.*

	Standard	Hårdare	Löv
Röjning			Eftersträvar 40% löv
Gallring	Ej gallring vid övre höjd över 20 m	Ej gallring vid övre höjd över 20 m Max en gallring 15% lägre grundyta efter gallring Maximal gallringstyrka ökad till 50%	Ej gallring vid övre höjd över 20 m Eftersträvar 40% löv
Föryngringsavverkning		10% lägre Låf	

Skogstillståndet simulerade olika skötselprogram fyra gånger, en simulering för respektive alternativ och en fjärde med alla tre alternativ. Den fjärde simuleringen benämndes alternativet mix, även om det inte var ett definierat alternativ. Ett skötselprogram är ett utfall från simuleringen, där alternativet har konkretiserats med olika åtgärder vid olika tidpunkter vilket upprepas över hela planeringshorisonten. Bestånd med gran som dominerande trädslag skapade skötselprogram utefter de tre olika alternativen, övriga bestånd endast utefter alternativet standard. För varje bestånd tilläts skapande av 20 skötselprogram per simulering.

Planeringshorisonten som användes var hundra år och diskontering av det ekonomiska resultatet gjordes med kalkylränta på tre procent. För beräkning av kostnader och intäkter användes PlanWise medföljande prislista. Tio träd per hektar lämnades som evighetsträd till nästa omloppstid och tre högstubbar per hektar lämnades vid föryngringsavverkning och gallring.



Figur 2. Översikt över PlanWise arbetsgång i tre steg.

Definiering av skötselalternativ, simulering av skötselprogram och optimering av skötselprogrammets fördelning.

2.2.2 Optimering

Studien använde linjär programmering med ε -begränsningsmetoden (Kangas et al. 2015), en metod som maximerade en variabel givet att en annan variabel inte överskred bestämda värden. Denna studie syftade inte till att balansera två önskade värden och därför maximerades nuvärde för olika begränsningar av barkborreindex, men barkborreindex maximerades aldrig då det ansågs ointressant att på bekostnad av nuvärde öka en oönskad variabel.

Skötselprogrammets fördelning över bestånd optimerades för att maximera nuvärdet, för varje skötselalternativ (steg ett, Bilaga 1). Sen användes denna optimerings medelvärde av barkborreindex för hela planeringshorisonten som referensvärde för vidare begränsning, vilket motsvarade $\varepsilon = 1$. Med successivt mer restriktiv begränsning för barkborreindex i steg om -0,02 (0,98; 0,96; 0,94 ... $\varepsilon_{\max}$) kördes optimeringsmodellen till att den resulterade i ej möjlig lösning (steg två, Bilaga 1). För varje enskild begränsning i optimering maximerades nuvärdet. Detta upprepades för de fyra simuleringarna efter alternativen standard, hårdare, löv och mix. Detta resulterade i 63 olika optimeringar. Optimeringsmodellen använde kontinuerliga beslutsvariabler. En matematisk formulering över optimeringsmodellen beskrivs i Bilaga 1.

För varje optimering noterades resultatvariabler som nuvärde per hektar (som beräknades enligt formel i figur 3), barkborreindex, stormindex, skogliga data och vissa övriga indikatorer. Av skogliga data lades särskild vikt på de parametrar som ingår i barkborreindex, bland annat virkesförråd, grundytavägd medeldiameter och slutenhet. Alla dessa värden skiljde sig mellan simuleringarna, då olika skötselalternativ möjliggjorde olika resultat i respektive simulering. $\varepsilon = 1$ och $\varepsilon_{\max}$ resulterade alltså i olika medelvärden av barkborreindex för varje alternativ.

$$Nuvärde = \sum_{t=0}^S \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} + \frac{LEV}{(1+r)^S}$$

Figur 3. Beräkning av nuvärde.

S är omloppstid i år, t är tidpunkt för åtgärd i år, B_t är intäkt för åtgärd vid år t i kronor, C_t är kostnad för åtgärd vid år t i kronor, r är kalkylränta och LEV är markvärde i kronor.

2.2.3 Bedömning av mottaglighet och känslighet

Utbrott av granbarkborre och förekomst av stormar är slumpmässiga företeelser och kan inte rättvist simuleras i PlanWise. Då risk kan definieras som produkt av sannolikhet och konsekvens av skada bedömdes i denna studie endast faktorn konsekvens som del av risk-begreppet (Bredemeier et al. 2001).

Bedömning av mottaglighet vid granbarkborreangrepp gjordes med ett barkborreindex (Nordkvist et al. 2023). Det bedömde enskilda bestånds mottaglighet för angrepp av granbarkborre. Mottaglighet är ett relativt mått på den skada som beståndet drabbas av vid angrepp och jämförelse kan göras mellan olika bestånd och olika skötsel i samma bestånd. Detta index baserades på sju parametrar, som berodde på klimat-, ståndorts-, skogliga och skötselfaktorer beskrivna i tabell 3 och mer utförligt i Bilaga 2. Beräkningsgången skedde i steg där först tre kriterier behövde uppfyllas; virkesförrådet för gran vara över 0, temperatursumman i området över 745 dygnsgrader, och grundtyevägd medeldiameter för gran över 20 cm. Sedan summerades produkten av vikt och poängtal av parametrar till ett tal mellan 0 och 3,66.

Tabell 3. Parametrar i barkborreindex.

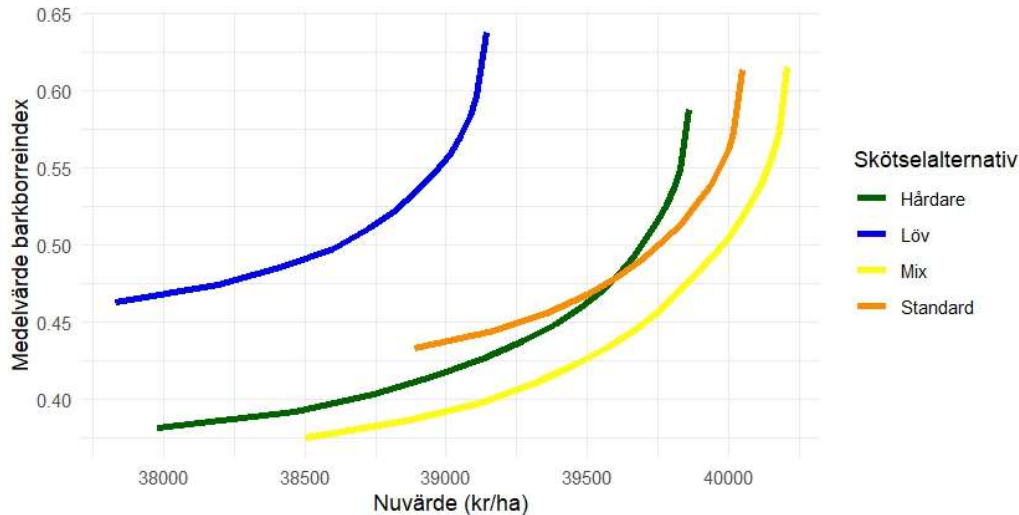
Beskrivning av dess relativa vikt och påverkan vid ökade värden.

Parameter	Vikt	Påverkan
Temperatursumma	1	+
Markfuktighet (torrhet)	0,7	+
Volym gran	1	+
Volym björk	0,2	-
Slutenhet	0,4	+/-
Likåldrighet	0,5	+
Medeldiameter gran	-	Ja/nej > 20 cm

Bedömning av skogens känslighet vid storm gjordes med ett stormindex som anpassats för PlanWise (Lagergren et al. 2012). Indexet baseras på parametrar som berodde på skogliga faktorer och skötselfaktorer. Högre medelhöjd och lägre medeldiameter innebar ökad känslighet. Likaså ökade den med större andel barrträd kontra lövträd och mer för gran än för tall. Känsligheten ökade även med gallringsstyrka och minskade med tid från senaste gallring.

3. Resultat

Trade off - nuvärde och barkborreindex



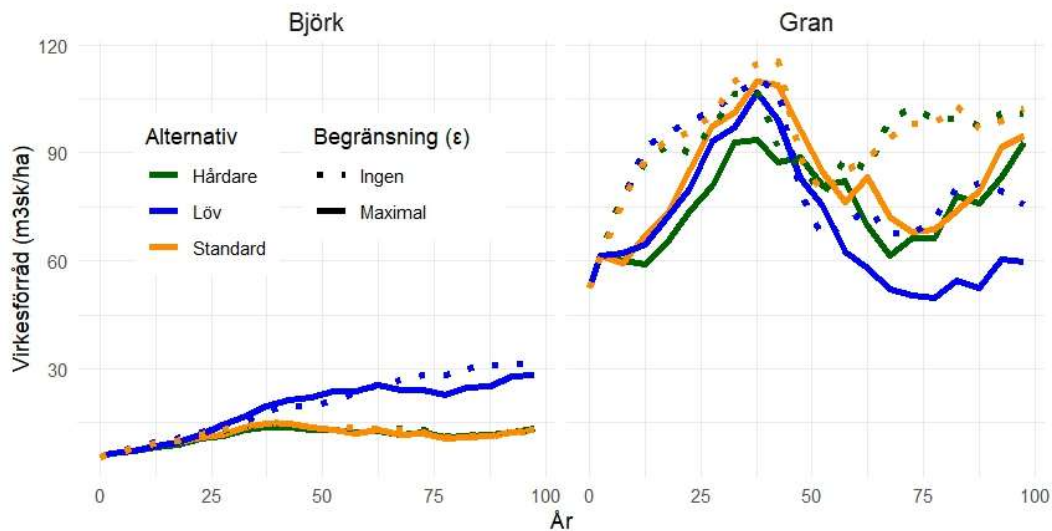
Figur 4. Trade off mellan nuvärde och barkborreindex.

Y-axeln visar planeringshorisontens medelvärde av barkborreindex och x-axeln visar nuvärdet i kronor per hektar. Notera att y-axel och x-axel inte börjar på noll.

Nuvärdet minskade när ytterligare krav på minskat medelvärde av barkborreindex lades till optimeringen. Detta gällde för alla skötselalternativ och beskrivs i figur 4.

Alternativet standard visade utan begränsning ($\varepsilon = 1$) ett nuvärde på 40 049 kr/hektar och med maximal begränsning för barkborreindex ($\varepsilon = 0,74$) ett nuvärde på 38 888 kr/hektar. Denna begränsning i optimering innebar en minskning av barkborreindex från 0,61 till 0,43. Alternativet hårdare visade utan begränsning ett nuvärde på 39 861 kr/hektar och med maximal begränsning ($\varepsilon = 0,68$) 37 978 kr/hektar och innebar en minskning av barkborreindex från 0,59 till 0,38. Alternativet löv visade utan begränsning ett nuvärde på 39 143 kr/hektar och med maximal begränsning ($\varepsilon = 0,76$) 37 832 kr/hektar och innebar en minskning av barkborreindex från 0,64 till 0,46. I mix när de tre alternativen kombinerades optimerades ett nuvärde på 40 205 kr/hektar utan begränsning och 38 503 kr/hektar vid maximal begränsning ($\varepsilon = 0,64$), minskningen av barkborreindex utvecklades från 0,62 till 0,38.

Virkesförråd - björk och gran



Figur 5. Virkesförråd för trädslagen björk och gran.

Y-axeln visar hela områdets genomsnittliga virkesförråd i $\text{m}^3\text{sk/ha}$ för gran och björk beroende på skötselalternativ och begränsning av barkborreindex i optimering. X-axlarna visar planeringshorisontens 100 år.

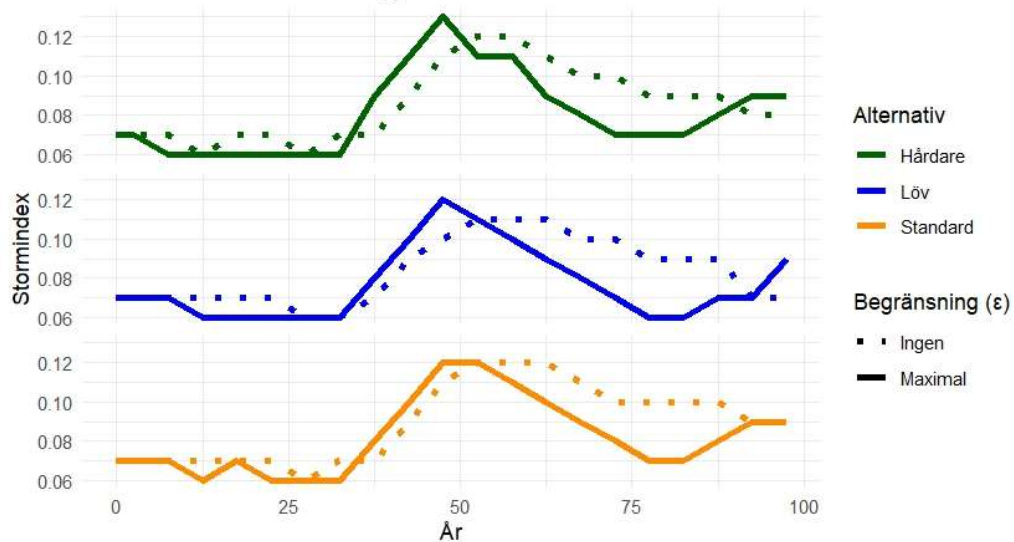
Virkesförrådet för trädslagen varierar både mellan skötselalternativ och begränsning för barkborreindex. Vid maximal begränsning av barkborreindex sjönk virkesförråd för alla tre trädslag. I figur 5 visas virkesförrådets utveckling över tid för björk och gran över analysens hela område, beroende på alternativ och begränsning vid optimering.

Virkesförrådet för gran skiljde sig mellan skötselalternativ och begränsningar av barkborreindex. När de enskilda alternativens interna påverkan av maximal begränsning jämfördes med ingen begränsning så visade alternativet standard en minskning från 92,4 till 81,2 $\text{m}^3\text{sk/hektar}$, (12,1 procent), alternativet hårdare en minskning från 90,6 till 74,9 $\text{m}^3\text{sk/hektar}$ (17,3 procent) och alternativet löv en minskning från 81,7 till 68,9 $\text{m}^3\text{sk/hektar}$ (15,7 procent).

Virkesförrådet för björk var högst i alternativet löv, där det utan begränsning utgjorde 19,9 $\text{m}^3\text{sk/ha}$ och med maximal begränsning minskade till 18,8 $\text{m}^3\text{sk/hektar}$ (5,7 procent). För de två andra alternativen var virkesförrådet utan begränsning för båda 11,7 $\text{m}^3\text{sk/hektar}$. För alternativet standard minskade medelvärdet vid maximal begränsning till 11,3 $\text{m}^3\text{sk/hektar}$ (3,3 procent). För alternativet hårdare minskade medelvärdet vid maximal begränsning till 11,2 $\text{m}^3\text{sk/hektar}$ (4,9 procent).

Virkesförrådet för tall skiljde sig mindre än skillnader inom gran och björk. Vid jämförelse av medelvärdet för optimering utan begränsning låg för alla tre skötselalternativ värdet mellan 66,9 och 67,9 $\text{m}^3\text{sk/hektar}$. Maximal begränsning visade värden mellan 62,6 och 63,8 $\text{m}^3\text{sk/hektar}$. Övriga trädslag utgjorde aldrig mer än ett medelvärde på 2,2 $\text{m}^3\text{sk/hektar}$.

Stormindex - utveckling över tid

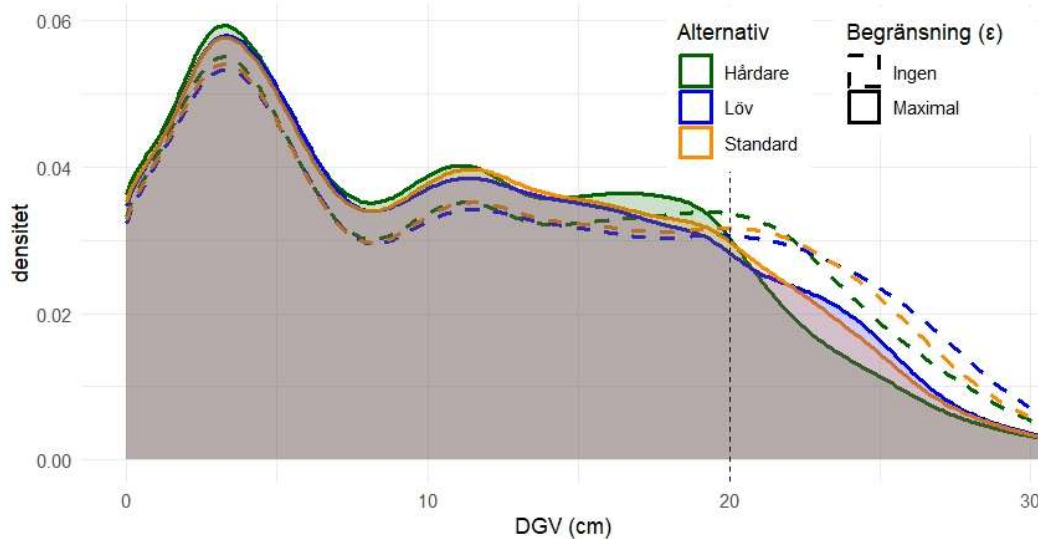


Figur 6. Stormindexets utveckling över tid.

Y-axlarna visar hela områdets stormindex beroende på skötselalternativ och begränsning av barkborreindex i optimering. X-axeln visar planeringshorisontens 100 år. Notera att det tre y-axlarna inte börjar på noll.

Vid maximal begränsning av barkborreindex sjönk stormindex för alla tre alternativ. I figur 6 visas stormindex utveckling över tid beroende på alternativ och begränsning vid optimering. För alternativet standard minskade planeringshorisontens medelvärde för stormindex från 0,089 till 0,082 (5,6 procent) vid maximal begränsning av barkborreindex, alternativet hårdare från 0,085 till 0,081 (7,5 procent) och alternativet löv från 0,083 till 0,077 (8 procent).

DGV för gran - alla perioder och bestånd



Figur 7. Grundytevägd medeldiameter för gran för alla perioder och bestånd. Y-axeln visar den relativa förekomsten (densitet) och x-axeln visar grundytevägd medeldiameter för gran i centimeter, med streckad linje vid 20 cm. Förekomsten är uppdelad i skötselalternativ och begränsning av barkborreindex. Varje enskild yta representerar 37983 hektar, alltså 1808 hektar upprepade i 21 perioder.

Grundytevägd medeldiameter för gran sjönk vid begränsning av barkborreindex. Figur 7 visar summan av den relativa förekomsten av olika medeldiametrar över alla bestånd och alla perioder justerat för beståndens storlek, beroende på skötselalternativ och begränsning av barkborreindex. Vid maximal begränsning av barkborreindex minskar andelen av arean med en medeldiameter över 20 cm för alternativet standard från 22,2 till 15,4 procent, alternativet hårdare från 20,9 till 13 procent och alternativet löv från 23,2 till 15,9 procent.

Avverkningsvolym för gran skiljde sig mellan de olika alternativen. Vid maximal begränsning av barkborreindex sjunker planeringshorisontens medelvärde för avverkad volym för alla tre alternativ. Alternativet standard minskade från 6 507 till 6 174 m³sk/år (5,1 procent), alternativet hårdare från 6 545 till 5 992 m³sk/år (8,5 procent) och alternativet löv från 5 917 till 5 639 m³sk/år (4,7 procent).

Ålder för förnygringsavverkning, mätt i planeringshorisontens medelvärde, sjönk vid maximal begränsning. Alternativet standard minskade från 66,4 till 60,7 år (8,6 procent), alternativet hårdare från 64,4 till 57,3 år (11 procent) och alternativet löv från 67,5 till 61,4 år (9,1 procent).

När alla tre alternativ kombinerades i mix varierade fördelningen av skötselalternativ beroende på begränsning av barkborreindex i optimeringen. Tabell 4 visar hur fördelningen skiljde sig vid fyra olika begränsningar för analysens hela produktiva skogsmark (1808 hektar). 882 hektar av området kunde tilldelas alternativ hårdare eller löv och vid beaktande av endast dessa områden ökade andelen som tilldelades alternativet hårdare från 22 till 50 procent och alternativet löv från 3 till 6 procent vid minskning från $\varepsilon = 1$ till $\varepsilon = 0,7$.

Tabell 4. Fördelning av areal i hektar för skötselalternativ i mix. Värden för fyra olika begränsningar av barkborreindex.

Begränsning (ε)	Standard (ha)	Hårdare (ha)	Löv (ha)
1	1585	193	30
0,9	1540	231	38
0,8	1403	364	42
0,7	1310	443	56

4. Diskussion

Studien använde Heureka PlanWise för att på ett skogligt register över ett område i södra Sverige simulera tre olika skötselalternativs påverkan på nuvärde, mottaglighet för granbarkborreangrepp och känslighet för storm.

Resultatet tyder på skillnader i mottaglighet för granbarkborre vid olika skötselalternativ. Det visades för alla alternativ en tilltagande minskning av nuvärde vid minskat medelvärde av barkborreindex. När optimeringen anpassades för minskad mottaglighet för granbarkborreangrepp minskade även känslighet för storm.

4.1 Resultatdiskussion

Resultatet tyder på en konflikt mellan maximalt nuvärde och minskad mottaglighet för granbarkborreangrepp vid skötsel av granskog.

Alternativet standard resulterade i högst nuvärde. Detta tyder på att skötseln är väl anpassad för god ekonomisk avkastning, men att skötseln även resulterar i relativt hög mottaglighet för granbarkborre. Det finns möjlighet att på bekostnad av nuvärde sänka mottagligheten, men sämre möjlighet att sänka till mycket låga värden. Detta alternativ visade högst virkesförråd för gran både utan och med maximal begränsning av barkborreindex, vilket kan bero på att skötselinställningarna främst var anpassade för detta, med exempelvis svagare gallringar. Likaså utgör skogsvårdslagens lägsta ålder för föryngringsavverkning ett hinder för att hålla tillbaka virkesförråd och medeldiameter till låga nivåer.

Alternativet hårdare resulterade i ett nuvärde som utan begränsning är en halv procent lägre än det för standard. Dock resulterade denna skötsel även i lägre barkborreindex. Nuvärdet är lägre för alternativet hårdare än standard för samma barkborreindex till en brytpunkt vid 0,48 där hårdare visade högre nuvärde än standard. Detta kan tyda på två saker: det är ett mer tillåtande alternativ för mycket låga index och resulterar i högre nuvärde vid dessa mycket låga värden. Val av skötselalternativ kan alltså variera beroende på riskbenägenhet. Alternativet hårdare är till skillnad från standard inte specifikt anpassad för volymproduktion. Virkesförrådet för gran är i detta alternativ lägre, gallringsstyrkan hög och lägsta ålder för föryngringsavverkning sänkt. Det bör således vara ett mer tillåtande alternativ för att nå indexets lägsta värden. Trots det lägre virkesförrådet är dock den avverkade volymen gran lika hög som alternativet standard vid optimering utan begränsning, dock mätt i total volym och inte gagnvirke. Granens medeldiameter visade de lägsta värdena i detta alternativ, med en tydlig koncentration under 20 cm, vilket i stor utsträckning påverkar barkborreindex.

Alternativet löv resulterade i lägst nuvärde och högst barkborreindex. Det var även det minst tillåtande alternativet för minimering av index. Det är förvånande att barkborreindex ökade, då inblandning av björk är en parameter i indexet som ska minska värdet och alternativet resulterade även i lågt virkesförråd av gran. Dock har liknande resultat visats i tidigare forskning med samma metod, där barkborreindex har jämförts mot avverkningsnivåer vid ökad lövinblandning (López-Andújar Fustel et al. 2024). Förklaringarna till detta resultat kan vara flera och härrör troligen ur indexets konstruktion. Vikten av parametern björk är låg: 0,2. Motsvarande parameter för gran är betydligt högre: 1, och poängtalet ökar (liksom för björk) beroende på virkesförrådet i intervallsteg. Dessa intervaller är stora där påverkan förblir oförändrad, likaså förblir poängtalet oförändrat över 200 m³sk/ha för gran. Alltså kan en relativt stor minskning på virkesförrådet gran undgå att påverka den bedömda mottagligheten för granbarkborre, om det ursprungliga virkesförrådet för jämförelsen är högt. Då alternativet löv gynnade inblandning av björk krävde detta gallringsåtgärder som minskade andelen gran i beståndet vilket höjde granens grundytavägda medeldiameter. Denna ökning av bedömd mottaglighet ska dock inte avfärdas helt, då forskningsläget inte visar resultat som tydligt visar på mindre skador i bestånd med lövinblandning, och ibland även ökad förekomst av skador upp till 25 m³ björk (Kärvemo et al. 2014).

Mix, vilket kombinerade alla tre alternativ visade högst nuvärde, lägst barkborreindex och var mest tillåtande för lägre index-värden. Likt andra studier som använt samma programvara visades en blandning av skötselalternativ prestera bäst vid analys av trade off mellan olika indikatorer (Eggers et al. 2022; López-Andújar Fustel et al. 2024). Vid ökade krav på minskat barkborreindex premierades alternativet hårdare, vilket stärker resonemanget om att det är mer tillåtande och resulterar i högre nuvärde vid kraftig begränsning.

Stormindex minskade när skötseln anpassades för att minska skogens mottaglighet för granbarkborreangrepp. Detta gällde för alla tre alternativ, men i varierande grad. Alternativet standard visade högst stormindex. Alternativet hårdare resulterade i lägre stormindex, vilket kan härledas ur den minskade förekomsten av gallringar, en åtgärd som ökar stormkänslighet. En tidigare ålder för föryngringsavverkning påverkar även beståndets högsta medelhöjd, vilket är en parameter som med ökad höjd ökar känslighet för storm. Lägst stormindex visade alternativet löv, vilket förväntades då en minskad förekomst av gran till fördel för lövträd ska minska stormkänsligheten. Det fanns alltså synergier mellan att minska mottagligheten för granbarkborreangrepp och stormkänslighet. Vid önskan om att minska mängden skogsskador av granbarkborre tyder detta på vikten att även väga skogens stormkänslighet vid skötsel. Detta för att de strävar i samma riktning och undviker skapande av yngelmaterial efter stormfällning.

4.2 Metoddiskussion

Skogens ingående tillstånd och optimeringens anpassning till barkborreindex påverkade studiens resultat. Variationen i virkesförråd och stormindex över tid förklaras i hög grad av skogens åldersfördelning. Skogens medelålder var låg: 31 år och majoriteten av arealen bestod av skog yngre än 31 år. Detta innebar att stora områden hade hög medelhöjd samtidigt och växte in i lägsta ålder för föryngringsavverkning samtidigt. Det kan vara missvisande att visa medelvärde över en hundraårsperiod, när det fanns stora variationer över tid. Metoden jämförde dock samma område över samma period, vilket borde göra att denna effekt inte påverkar jämförelse mellan alternativen.

Optimeringen för att begränsa barkborreindex anpassade lösningen efter indexets olika parametrar. Exempelvis påverkade räknefaktorn medeldiameter på gran resultatet. Vid restriktivare begränsning försköts medeldiametern lägre till en tydlig koncentration under 20 cm. I vilken grad denna påverkan ska tolkas som en verkligt minskad mottaglighet för granbarkborre är mindre tydlig. Gränsen på 20 centimeter sattes av skaparna till indexet inte som en följd av forskningsresultat utan som en arbiträr gräns och är en följd av forskning som inte tyder på angrepp på träd i små storlekar (Nordkvist et al. 2023). Det bör särskiljas mellan beståndsvis medeldiameter och enskilda träds diameter och dess effekt på tillgängliga träd för angrepp.

Det är osäkert om en minskad medeldiameter faktiskt innebar smalare träd i bestånden, eller om det var en ökad förekomst av fler mindre träd. Gallringsformen som simulerades var låggallring, vilket innebar att ju lägre grundyta som eftersträvades efter gallring desto högre blev grundytavägd medeldiameter. Efter gallring ökar beståndets medeldiameter dels genom att små träd avlägsnas och medeldiametern på kvarvarande träd omedelbart stiger, dels genom en ökad diametertillväxt för både små och större träd som följd av lägre förband i beståndsutvecklingen (Nilsson et al. 2010; Mäkinen & Isomäki 2004a, 2004c). Det förstnämnda kan ha påverkat antalet bestånd i optimeringen som ansågs vara lämpliga för granbarkborre att angripa och inkluderats efter diameterns parameter i beräkningsgången. Denna förekomst av mindre träd kanske försköt medeldiametern åt lägre värden, utan att det egentligen påverkade de exempelvis 300 största träden per hektar. Att det skulle finnas så många färre lämpliga värd-träd för granbarkborre för att optimeringen har visat det är således inte troligt.

Barkborreindexet är utvecklat för att bedöma enskilda bestånds mottaglighet för granbarkborreangrepp. Denna studie använde barkborreindex som ett medelvärde av många bestånd över en mycket lång tid vilket skiljer sig från skaparnas uttalade syfte med indexet. Resultatet bör därför tolkas med försiktighet.

Framtida studier som använder barkborreindex för att skapa liknande jämförelser bör överväga att i stället för att använda medelvärde över mycket lång period (100 år), i stället korta ner planeringshorisonten för att dels minska den inbyggda osäkerheten i simulering, dels tillåta bättre jämförelse mellan nuvärde och barkborreindex. Detta för att den relativa påverkan av barkborreindex i jämförelse med intäkter i slutet av planeringshorisonten inte ska väga tyngre än barkborreindex och intäkter i den nära framtiden. För att undvika en felaktig påverkan av binära parametern medeldiameter kanske maxvärden av barkborreindex för varje period eller bestånd ska jämföras med nuvärde, och inte indexets medelvärde. För en mer allomfattande analys av den ekonomiska avkastningen bör även ytterligare indikatorer användas, exempelvis en känslighetsanalys med andra kalkylräntor och kassaflöden som inte diskonteras.

4.3 Slutsats

Syftet med arbetet var att med ett beslutsstödsystem göra en ekonomisk analys av olika skötselalternativ ämnade att minska skogens mottaglighet för granbarkborre.

Studien visar att det finns en konflikt mellan nuvärdesmaximering och minskad mottaglighet för granbarkborreangrepp vid skötsel av granskog. Utifrån studiens frågeställningar kan sammanfattas att: (1) Jämfört med standardförfarandet i svenskt skogsbruk var skötsel med kortare omloppstider och endast en gallring mer tillåtande för att undvika högre mottaglighet och resulterade vid lägre mottaglighet i högre nuvärde. (2) Skötsel med ökad lövinblandning visade med denna metod en ökad mottaglighet, vilket kan bero på studiens metod. Mer forskning behövs i området för att avgöra lövinblandningens påverkan på mottaglighet. (3) Vid skötsel som minskar skogens mottaglighet för granbarkborre minskar även dess känslighet för stormskador.

Referenser

- Ageštam, E. (1979). *Gallringens effekter på arealproduktionen*. (Projekt Hugin: Rapport 12). Sveriges lantbruksuniversitet.
- Blomqvist, M. (2018). Modelling the predisposition of Norway spruce to *Ips typographus* L. infestation by means of environmental factors in southern Finland, *European Journal of Forest Research*, 137, 675–691. <https://doi.org/10.1007/s10342-018-1133-0>
- Bredemeier, M., Lamersdorf, N., Schulte-Bisping, H., von Lüpke, B. (2001). Risk Appraisal for Forest Management with Respect to Site Quality and Environmental Changes. I: von GÜdow, K. (red) *Risk Analysis in Forest Management*, Springer. 21 – 48.
- Cook, S., Khan, Z., Picket, J. (2007). The Use of Push-Pull Strategies in Integrated Pest Management, *Annual Review of Entomology*, 52, 375 – 400. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091407>
- de Groot, M., Ogris, N., Diaci, J. Castagneyrol, B. (2023). When tree diversity does not work: The interacting effects of tree diversity, altitude and amount of spruce on European spruce bark beetle outbreaks, *Forest Ecology and Management*, 537. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120952>
- Eggers, J., Lundström, J., Snäll, T., Öhman, K. (2022). Balancing wood production and biodiversity in intensively managed boreal forest, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 37 (3): 213 – 225. <https://doi.org/10.1080/02827581.2022.2066170>
- Eggers, J., Öhman, K. (2020). *Overview of the PlanWise application and examples of its use*, arbetsrapport 514, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skoglig resurshushållning.
- Jakuš, R., Edwards-Jonášová, M., Cudlín, P., Blaženec, M., Ježík, M., Havlíček, F., Moravec, I. (2011). Characteristics of Norway spruce trees (*Picea abies*) surviving a spruce bark beetle (*Ips typographus* L.) outbreak, *Trees*, 25: 965 – 973. <https://doi.org/10.1007/s00468-011-0571-9>
- Jönsson, A., Appelberg, G., Harding, S., Bärning, L. (2009). Spatio-temporal impact of climate change on the activity and voltinism of the spruce bark beetle, *Ips typographus*, *Global Change Biology*, 15: 486 – 499. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01742.x>
- Kangas, A., Kurttila, M., Hujala, M., Eyvindson, K., Kangas, J. (2015). *Decision Support for Forest Management*. Andra upplagan. Springer
- Kärvemo, S., Johansson, V., Schroeder, M., Ranius, T. (2016). Local colonization-extinction dynamics of a tree-killing bark beetle during a large-scale outbreak, *Ecosphere*, 7 (3) <https://doi.org/10.1002/ecs2.1257>

- Kärvemo, S., van Boeckel, T., Gilbert, M., Grégoire, J., Schroeder, M. (2014). Large-scale risk mapping of an eruptive bark beetle – Importance of forest susceptibility and beetle pressure, *Forest Ecology and Management*, 318: 158 – 166.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2014.01.025>
- Lagergren, F., Jönsson, A., Blennow, K., Smith, B. (2012). Implementing storm damage in a dynamic vegetation model for regional applications in Sweden, *Ecological Modelling*, 247: 71 – 82. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.08.011>
- López-Andújar Fustel, T., Öhman, K., Klapwijk, M., Nordkvist, M., Sängstuvall, L., Lämås, T., Eggers, J. (2024). Impact of management strategies on forest susceptibility to spruce bark beetle damage and potential trade-offs with timber production and biodiversity, *Forest Ecology and Management*, 563.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.121964>
- Marini, L., Økland, B., Jönsson, A., Bentz, B., Carroll, A., Forster, B., Grégoire, J., Hurling, R., Nageleisen, L., Netherer, S., Ravn, H., Weed, A., Schroeder, M. (2017). Climate drivers of bark beetle outbreak dynamics in Norway spruce forests, *Ecography*, 40: 1426 – 1435. <https://doi.org/10.1111/ecog.02769>
- Mäkinen, H. & Isomäki, A. (2004a). Thinning intensity and growth of Norway spruce stands in Finland, *Forestry*, 77 (4): 349 – 364
<https://doi.org/10.1093/forestry/77.4.349>
- Mäkinen, H. & Isomäki, A. (2004b). Thinning intensity and growth of Scots pine stands in Finland, *Forest Ecology and Management*, 201: 311 – 325.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.07.016>
- Mäkinen, H. & Isomäki, A. (2004c). Thinning intensity and long-term changes in increment and stem form of Norway spruce trees, *Forest Ecology and Management*, 201: 295 – 309. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.07.017>
- Nilsson, U., Agestam, E., Ekö, P.-M., Elfving, B., Fahlvik, N., Johansson, U., Karlsson, K., Lundmark, T. and Wallentin, C. (2010). Thinning of Scots pine and Norway spruce monocultures in Sweden – Effects of different thinning programmes on stand level gross- and net stem volume production, *Studia Forestalia Suecia*, 219. <https://res.slu.se/id/publ/29199> [hämtad: 2025-07-01]
- Nordkvist, M., Eggers, J., López-Andújar Fustel, T., Klapwijk, M., (2023). Development and implementation of a spruce bark beetle susceptibility index: A framework to compare bark beetle susceptibility on stand level, *Trees, Forests and People*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100364>
- Pulgarin Diaz, J., Melin, M., Ylioja T., Lyytikäinen-Saarenmaa P., Peltola H., Tikkanen O. (2024). Relationship between stand and landscape attributes and *Ips typographus* salvage loggings in Finland, *Silva Fennica*, 58 (3).
<https://doi.org/10.14214/sf.23069>
- Roberge, C. & Mikaelsson, H., (2024). *Nationell Riktad Skogsskadeinventering*, arbetsrapport 566, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skoglig resurshushållning.

- Singh, V., Naseer, A., Mogilicherla, K., Trubin, A., Zabihi, K., Roy, A., Jakuš, R., Erbilgin, N. (2024). Understanding bark beetle outbreaks: exploring the impact of changing temperature regimes, droughts, forest structure, and prospects for future forest pest management, *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 23: 257 – 290. <https://doi.org/10.1007/s11157-024-09692-5>
- Ståhlberg, D. (2020). *Klimatanpassning av skogen och skogsbruket – mål och förslag på åtgärder*, rapport 2019/23, Skogsstyrelsen.
- Wallentin, C. (2007). *Thinning of Norway spruce*, Diss. Sveriges lantbruksuniversitet. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. <https://res.slu.se/id/publ/14225> [hämtad: 2025-07-01]
- Zolubas, P., Negron, J., Munson, S. (2009). Modelling Spruce Bark Beetle Infestation Probability, *Baltic Forestry*, 15 (1): 23 – 27. https://balticforestry.lammc.lt/bf/index.php?option=com_content&view=article&catid=14&id=72&Itemid=110 [hämtad: 2025-06-30]

Bilaga 1

Bilaga 1 beskriver den matematiska formuleringen vid optimering.

Steg ett

$$\text{Maximera } Z = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} n_{ij} x_{ij} a_i$$

$$\text{Under restriktionerna: } \sum_j^{J_i} x_{ij} = 1, \quad \forall i \in I$$

$$0 \leq x_{ij} \leq 1, \quad \forall i \in I, \forall j \in J_i$$

$$\text{Beräkna: } \bar{B} = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} \sum_{p=1}^P b_{ijp} x_{ij} a_i}{P \sum_{i=1}^I a_i}$$

Steg två

$$\text{Maximera } Z = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} n_{ij} x_{ij} a_i$$

$$\text{Under restriktionerna: } \sum_j^{J_i} x_{ij} = 1, \quad \forall i \in I$$

$$0 \leq x_{ij} \leq 1, \quad \forall i \in I, \forall j \in J_i$$

$$\frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} \sum_{p=1}^P b_{ijp} x_{ij} a_i}{P \sum_{i=1}^I a_i} \leq \epsilon \bar{B}$$

I: mängden bestånd.

J_i: mängden skötselprogram för bestånd i.

P: mängden perioder.

x_{ij}: beslutsvariabeln andel av bestånd i med skötselprogram j.

a_i: arean på bestånd i.

n_{ij}: nuvärdet för bestånd i med skötselprogram j.

b_{ijp}: barkborreindex för bestånd i med skötselprogram j för period p.

ε: parameter [0,98; 0,96; 0,94 ... ε_{max}] som begränsar medelvärdet för barkborreindex över hela planeringshorisonten.

Bilaga 2

Bilaga 2 beskriver barkborreindexets olika parametrar (Nordkvist et al. 2023).

Parameter	Vikt	Värde	Poängtal
Temperatursumma	1	745 °D	-
		745 ≤ 870 °D	0,25
		870 ≤ 1370 °D	0,5
		1370 ≤ 1610 °D	0,75
		≥ 1610 °D	1
Markfuktighet	0,7	Torr	1
		Frisk	1
		Frisk-fuktig	0,8
		Fuktig	0,5
		Blöt	0,2
Stormskada	0,3	Ja	1
		Nej	0
Virkesförråd gran	1	> 200 m ³ /ha	1
		150 - 200 m ³ /ha	0,8
		100 – 150 m ³ /ha	0,6
		50 - 100 m ³ /ha	0,4
		25 – 50 m ³ /ha	0,2
		0 – 25 m ³ /ha	0,1
		0	-
Virkesförråd björk	0,2	> 40 m ³ /ha	-1
		30 - 40 m ³ /ha	-0,8
		20 – 30 m ³ /ha	-0,6
		10 – 20 m ³ /ha	-0,4
		0 – 10 m ³ /ha	-0,2
		0	0
		0	0
Slutenhet	0,4	≤ 0,4	0,4
		0,4 ≤ 0,6	0,2
		0,6 ≤ 0,8	0,1
		> 0,8	0,3
		> 0,8	0,3
Medeldiameter (gv) gran	-	≥ 20 cm	-
		≤ 20 cm	-
Skiktning	0,5	Likåldrig	1
		Mestadels likåldrig	0,9
		Olikåldrig	0,5

Publicering och arkivering

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

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

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

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

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