

Konsekvensanpassad råvarustyrning

Hantering av stora störningar i virkesflödet orsakade av granbarkborre

Lovisa Engberg Sundström, Anders Eriksson, Oskar Gustavsson,
Mia Iwarsson Wide



Skog angripen av granbarkborre. Foto: Bitzer Productions

Innehåll

Konsekvensanpassad råvarustyrning	1
Förord	3
Summary	4
Sammanfattning	5
Bakgrund	6
Mål och syfte	7
Metod och genomförande	8
Nuläget för strategier vid stora flödesstörningar	9
Spridningsscenarioer för beskrivning av barkborrarnas framfart	11
Riskklasser för beskrivning av skogens känslighet mot angrepp	12
Strategier och deras översättning i åtgärder och prioriteringar	13
Sortimentsvandring på grund av förändrade virkesegenskaper	14
Simuleringsverktyg för beräkning av strategivalens konsekvenser	16
Nyckeltal för utvärdering av strategivalens konsekvenser	19
Resultat från simulering	20
Skadehantering och begränsningseffekt	20
Kvalitets- och värdeförändring	22
Produktions- och inventeringskostnad	23
Förmåga att möta industrins krav	25
Diskussion och vidareutveckling	27
Slutsats	29
Referenser	30



skogforsk

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

Kvalitetsgranskning (intern peer review) har genomförts den 1 december 2022 av Lars Eliasson.
Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, granskat och godkänt publikationen för publicering den 23 maj.
Redaktör: Charlotte Hessulf, charlotte.hessulf@skogforsk.se

©Skogforsk 2023 ISSN 1404-305X

Förord

Denna rapport beskriver arbetet med att utforma och utveckla ett simuleringsverktyg för simulering av stora flödesstörningar med fokus på angrepp av granbarkborre. Verktöget används för konsekvensberäkning av olika strategier för skadehantering i avverkningsledet. Arbetet har utförts av medarbetare inom programmet Värdekedjor på Skogforsk och inom ramen för projektet ”Konsekvensanpassad råvarustyrning”. Projektet har genomförts med stöd från Södras Forskningsstiftelse under perioden oktober 2020 till november 2022.

Kommunikationen av modellen och dess resultat tas nu vidare genom ett visualiseringsverktyg med syfte att förankra och tydliggöra strategiernas konsekvenser inom olika delar av flödeskedjan. Arbetet är påbörjat med stöd från Stiftelsen Seydlitz MP bolagen.

Vi vill rikta ett stort tack till Kim Gunnarsson, Henrik Holmberg och Anders Jakobsson som representerat olika delar av Södra Skogsägarnas verksamhet i projektet. Tack för gott samarbete och stort engagemang och stöd i att skapa förståelse för verksamheten och formuleringar av förutsättningar och konsekvenser.

Ett varmt tack även till övriga medarbetare på Södra Skogsägarna och Skogforsk som på olika sätt bidragit med kompetens och synpunkter.

Uppsala, november 2022

Projektgruppen genom projektledarna Lovisa Engberg Sundström och Mia Iwarsson Wide

Summary

Climate change is expected to bring new challenges for the Swedish forestry industry. Increasing variations in wood flows and qualities will be seen as extreme weather becomes more frequent. This report concerns massive insect infestations of spruce bark beetle enabled by the warming climate, which are already causing severe problems for the forestry industry. Research on bark beetle infestations has mainly focused on biological dispersal and minimising the spread. The forestry industry is now calling for research to examine aspects impacted by the large-scale fluctuations in wood flow and quality caused by the bark beetle infestations, such as harvest and logistics planning.

The aim of this project was to collect and structure ideas on effective harvest and logistics planning before and during a massive bark beetle infestation. The work is based on the forest companies' experience of using current and previous strategies, as well as data on bark beetle damage. Another aim was to develop a simulation tool to quantify the effects of using certain strategies on the wood flow and quality. However, deciding which strategy to use in a specific situation is beyond the scope of this project; instead, the aim is to provide a basis for future studies on how such decisions could be made. This is done by developing the simulation tool.

This report gives a stepwise description of the work that resulted in the implementation of a simulation tool. The various steps include a brief description of current strategies employed in the Swedish forestry industry, and ways of technically describing (for simulation purposes) the spread of the bark beetle, the varying sensitivity of different forests to infestations, and the decreasing value of timber and pulpwood as the wood becomes more damaged. A conceptual definition of strategies for handling large-scale fluctuations in the wood flow is suggested, and four illustrative examples of strategies are designed with the aim of clarifying possible conflicts between different strategic goals.

The four strategy examples are simulated for two-year periods with varying degrees of bark beetle infestation. The resulting wood flows are then evaluated using different perspectives, including wood value loss, production and inventory costs, ability to meet industry demand, and ability to minimise the spread. Conclusions are that no strategy can be optimal in all evaluation criteria simultaneously, and that all perspectives should be considered when defining the strategy in order to achieve a satisfactory overall solution.

Sammanfattning

Klimatförändringarna väntas medföra ökande utmaningar för den svenska skogsnäringen. Allt större variationer i virkesflöden och kvaliteter måste hanteras när väderorsakade störningar ökar i frekvens och magnitud. I denna rapport sätts granbarkborreangrepp i fokus. Forskningen om barkborreangrepp har hittills fokuserat på spridningsbiologi och begränsningsåtgärder. Näringsen efterfrågar nu forskningsinsatser som fokuserar på de delar som påverkas av flödes- och kvalitetsvariationerna orsakade av barkborreangrepp, för att skapa fler möjligheter att rädda virkesvärden. Specifikt efterfrågas insatser med fokus på avverknings-, transport- och lagerplanering.

Målet med detta projekt var att samla och formalisera idéer kring effektiv hantering av barkborreskadad skog. Arbetet baseras på skogsföretagens egna erfarenheter av olika hanteringssätt och statistik om barkborreskador. Målet var också att utveckla ett simuleringsverktyg som kan användas för att kvantifiera effekter i virkesflödet givet en viss hanteringsstrategi och vid varierande grad av barkborreangrepp. Att dra slutsatser om vilken strategi som bör användas i en viss situation ligger dock utanför ramen för detta projekt. Ett viktigt syfte med projektet var däremot att, genom utveckling av simuleringsverktyget, ge underlag för vidare studier av hur sådana beslut kan fattas.

I denna rapport beskrivs de delresultat som möjliggjort utvecklandet av simuleringsverktyget. Delresultaten består av en nulägesbeskrivning av skogsföretagens strategier, samt sätt för att (i en simuleringsmodell) beskriva barkborreangreppens spridning, skogens varierande känslighet mot angrepp och virkets nedklassning på grund av förändrade virkesegenskaper. Dessutom görs en konceptuell beskrivning av strategier för hantering av stora flödesstörningar, och fyra exempelstrategier utformas med syftet att tydliggöra skillnader mellan olika hanteringssätt och strategiska mål.

I rapportens resultatdel återges resultaten från simulering av exempelstrategierna för tvåårsperioder med varierande omfattning av barkborreangrepp. Konsekvenserna av respektive strategi utvärderas utifrån perspektiven kvalitets- och värdeförluster, produktions- och inventeringskostnader, förmåga att möta industrins behov samt skadehantering och begränsningseffekt.

En viktig slutsats av arbetet är att inget agerande är framgångsrikt ur alla perspektiv samtidigt. Samtliga perspektiv behöver vägas in i strategiutformandet för att uppnå den bästa möjliga helhetslösningen.

Bakgrund

Klimatförändringarna väntas medföra ökande utmaningar för hela den svenska skogsnäringen, industri, virkeshandlande företag och skogsägande aktörer. Allt större variationer i virkesflöden och kvaliteter måste hanteras när väderorsakade störningar ökar i frekvens och magnitud. Bland dessa oförutsedda störningar finns stormar, bränder och – vad som satts i fokus i denna rapport – granbarkborreangrepp. Dessa har drabbat många skogsägare de senaste åren och lett till kännbara produktions- och flödesstörningar. Barkborreskadorna på virket leder till förändrade råvaruegenskaper med nedklassning som följd: från timmer till massaved, och inte sällan hela vägen till energived. Nedklassningarna leder till överskott av vissa sortiment, vilket orsakar lagringsproblem och ytterligare minskat virkesvärde, men också till underskott av andra sortiment. Dessutom finns hela tiden risken för fortsatt spridning när skadad skog inte hittas i tid och när upptäckta skador inte hinner hanteras i tillräckligt snabb takt.

Forskningen om barkborreangrepp har hittills fokuserat på spridningsbiologi och begränsningsåtgärder (Kärvemo m.fl., 2014 och 2015). Det har hittills visat sig nästintill omöjligt att förutse spridningsvägar och nya angrepp. Skadorna är svåra att bedöma och skapa överblick av trots tidvis intensiva prognos- och inventeringsinsatser, och säsongens väderlek – som har stor inverkan på spridningsintensiteten – är svår att förutspå i sig. Den vanligaste och mest effektiva metoden för att begränsa spridning är "sök-och-plock-avverkning", det vill säga att söka upp och avverka enskilda trädgrupper med skadade träd (Schroeder & Kärvemo, 2015). Effekten av sök-och-plock har diskuterats både i praktiken och i forskningen (Weslien m.fl., 2022). Nya studier visar att risken är överhängande att för få träd avverkas, och att den eftersträvade begränsningseffekten därmed kan utebli (Schroeder & Weslien, 2020). Antagandet har varit att effekten av "sök-och-plock-avverkning" är som störst under vår och försommar innan svärmning, då fler skalbaggar och larver finns kvar under barken. Under denna tid är dock skadorna som svårast att identifiera, de flesta skador upptäcks först framåt slutet av sommaren när träden skiftar färg, vilket kan leda till att angripna träd blir kvar i den sök-och-plock-avverkade skogen. Givet att skadorna hittas tidigt är ändå uppfattningen att sök-och-plock under vår och försommar är en framkomlig metod för att uppnå en begränsningseffekt. I det praktiska skogsbruket är uppfattningen att även sök-och-plock utförd på hösten har en god effekt. Motiveringen är bland annat att en mindre mängd skadade träd som inte skiftat färg lämnas i skogen. En ytterligare aspekt av sök-och-plock-avverkning är att den minskar effektiviteten i både avverkning och transport till följd av att många små objekt hanteras. Detta leder till ökat resursbehov och ökade kostnader.

Branschen efterfrågar forskningsinsatser som fokuserar på fler delar i värdekedjan för att skapa fler möjligheter att rädda virkesvärden och säkra den framtida tillväxten. Specifikt efterfrågas insatser med fokus på avverknings-, transport- och lagerplanering, eftersom angreppen, utöver virkesskador, medför ökande hanteringskostnader på grund av upprepad omplanering, omstyrning av resurser och upprepade åtgärder på samma trakter om den skadade delen avverkas separat. Ständiga omplaneringar är tidsödande och kostsamt, men nödvändigt för att begränsa störningar i senare delar av värdekedjan. Stora förändringar i de prognostiserade sortimentsutfallen riskerar att skapa problem för industrierna, inte minst för massabruken som förväntar sig särskilda massavedskvaliteter. Ett jämnt och känt inflöde av barkborreskadat virke är ofta mer hanterbart.

För att rädda virkesvärden gäller det att utnyttja den levererade råvaran på bästa sätt. Förenklat gäller att virket anses friskt så länge tillverkningsprocesser eller slutprodukter inte påverkas negativt. Flera svenska massabruk har utarbetat sätt att ta vara på råvara i olika stadier av uttorkning tack vare erfarenheter av flödesstörningar vid kraftiga stormar. Men de senaste årens omfattande barkborreangrepp har lett till virkesegenskapsförändringar som visat sig svårare att hantera, såsom kraftigt förändrade fiberegenskaper i den levererade massaveden till följd av en ökad andel grövre virke (nedklassat sågtimmer). Här behövs kunskap om råvaruegenskapernas påverkan på processer och produkter, men också digitala verktyg som kan kvantifiera de förväntade egenskapsförändringarna i virkesflödet baserat på specifika omständigheter. Om virkesegenskaperna är kända och beskrivna ökar handlingsutrymmet för kontrollerad – och därmed maximalt värdebevarande – hantering.

En central fråga är hur kännedomen kan ökas gällande en strategis förmåga att hitta och hantera uppkomna skador i tid, möta industrins efterfrågan på jämna flöden, samt att begränsa andelen skadade träd som blir kvar i bestånden. En framgångsrik strategi behöver både hålla nere andelen angripen skog, i syfte att minska risk för vidare spridning, och hantera den angripna skog som ska avverkas effektivt innan alltför omfattande nedklassning sker på grund av uttorkning och lagringsröta. Dagens system för flödesplanering och -prognoser är inte anpassade för storskaliga flödesstörningar. Genom löpande uppdateringar kan viss hänsyn tas till det ögonblickliga skadetillståndet i traktbanken, men en skadeutveckling över tid är desto svårare att fånga. Dagens system ger därmed en begränsad överblick av olika åtgärders påverkan på värdekedjan från stående skog till industri.

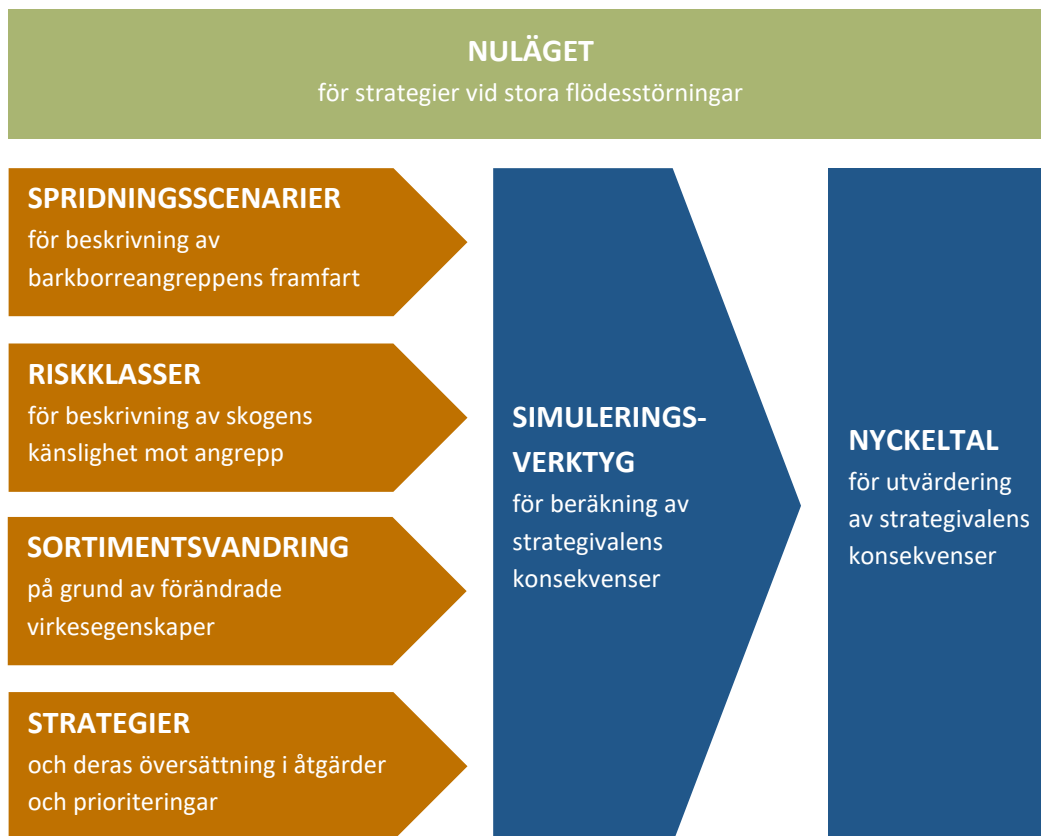
Mål och syfte

Målet med detta projekt var att samla, beskriva och formalisera erfarenheter och idéer kring effektiv hantering av barkborreskadad skog. Arbetet har baserats på skogsnäringsens egna erfarenheter av olika hanteringsätt och i statistik om barkborreskador. Målet är också att utveckla ett simuleringsverktyg som kan användas för att kvantifiera effekter i virkesflödet givet en viss hanteringsstrategi och vid varierande grad av barkborreangrepp. Effekter ur flera perspektiv beaktas samtidigt: kvalitets- och värdeförluster, produktions- och inventeringskostnader, förmåga att möta industrins behov samt skadehantering och begränsningseffekt av barkborreangrepp.

Att dra slutsatser om vilken strategi som bör användas i en viss situation ligger utanför ramen för detta projekt och bör göras av de beslutsfattare som berörs. Ett viktigt syfte med projektet var däremot att, genom utvecklandet av simuleringsverktyget, i framtiden kunna ge underlag för sådana beslut.

Metod och genomförande

Ett brett spektrum av aktiviteter utgör metoden för detta projekt. Aktiviteterna har resulterat i nödvändig information till simuleringsverktyget som projektet haft som mål att ta fram och som kan användas för att beräkna konsekvenser av strategival vid olika grader av barkborreangrepp. Figur 1 ger en överblick av projektets (och rapportens) delar, och korta sammanfattningar ges i följande stycken.



Figur 1. Överblick av projektets (och rapportens) delar. Projektet inleddes med en nulägesbeskrivning av ett flertal av skogsbolagens strategier vid stora flödesstörningar. Ett brett spektrum av påföljande aktiviteter (vänster) har sedan slutligen lett till utvecklandet av det verktyg för simulering som projektet haft som mål att ta fram. I en avslutande del förklaras vilka nyckeltal från simuleringen som är möjliga och rimliga att studera i utvärderingen av en strategi.

Beskrivning av nuläget för strategiska ageranden vid stora flödesstörningar genom samtal med barkborredrabbade skogsföretag inledde projektet. Detta gjordes i syfte att skapa konceptuell förståelse för hur en strategi bör utformas, bland annat i termer av vilka beslut som fattas och med vilka frihetsgrader.

Hur storskaliga barkborreangrepp påverkar skogar av olika typ och vilken andel av träden som dör, är hittills inte helt fastställt och finns därför inte beskrivet i en vedertagen modell. I detta projekt formuleras i stället tre så kallade spridningsscenarioer avsedda att representera perioder med låga, medelhöga eller höga nivåer av nyangripen skog, det vill säga olika spridningsintensitet. Scenarierna formuleras baserat på erfarenheter från både forskare och skogsföretag.

Skogens mottaglighet för angrepp är mer känd, och illustreras bland annat i Skogsstyrelsens riskindexkarta (Skogsstyrelsen, 2022). Ett annat sätt är att utgå från statistik över tidigare års avverkning av barkborreskadat virke. I det här projektet kombineras dessa två sätt, och leder till att skogen delas in i så kallade riskklasser.

Vad som utgör delar av strategier vid stora flödesstörningar och hur en strategi kan varieras har i projektet arbetats fram utifrån den konceptuella förståelsen som de inledande samtalen med skogsföretag resulterade i. Strategibeskrivningarna har sedan successivt förbättrats genom tät dialog med projektets referensgrupp. Centrala aspekter av en strategi kommer här att utgöras av vilka typer av avverkningsåtgärder som används, hur avverkningsobjekt prioriteras och vilka inventerings- eller avverkningsresurser som görs tillgängliga.

Vid stora flödesstörningar anses virkesvärdesförluster kunna bli betydande på grund av längre och mindre kontrollerad lagring. I fråga om barkborreangrepp kan själva angreppet dessutom påskynda de skador som orsakar värdeförluster. I det här projektet användes erfarenheter och resultat från tidigare studier för att beskriva hur virkeskvaliteten försämras av barkborreskador och ofördelaktig lagring. Skadat virke kan bli föremål för sortimentsvandring där exempelvis timmer kan klassas ned till massaved eller energived på grund av uttorkning och lagringsröta.

I ett simuleringsverktyg knyts slutligen projektets samtliga delresultat ihop. Verktöget kan simulera barkborreangrepp, kvalitetsförändring, avverkning och transport till industrin under flera år. Simuleringsresultaten innehåller dock mycket data och behöver efterbehandlas och aggregeras för att vara möjliga att tolka. I detta projekt utses ett antal nyckeltal som dels är möjliga att extrahera från simuleringsresultatet, dels relaterar i de fyra perspektiv som projektet haft som mål att beakta: kvalitets- och värdeförluster, produktions- och inventeringskostnader, förmåga att möta industrins krav samt skadehantering och begränsningseffekt av barkborreangrepp.

Nuläget för strategier vid stora flödesstörningar

Inom ramen för projektet har samtal förts med personal inom fältorganisation, stab och industri gällande arbetet med hantering av stora flödesstörningar till följd av omfattande barkborreangrepp. De intervjuade representerar företag som varit mest drabbade eller aktiva med bekämpningsarbete. Samtalen har bidragit till en nulägesbeskrivning av skogsföretagens erfarenheter och strategier.

Erfarenheter från tidigare års barkborreangrepp

Under de omfattande barkborreangreppen åren 2018 och 2019 hade skogsföretagen svårt att anpassa strategier för att hantera de efterkommande stora flödesstörningarna. Organisationerna utgick i huvudsak från bedömningar som kontinuerligt uppdaterades utifrån spridningsprognoser och kända skadevolymerna i det rotstående kontrakterade lagret.

De företag vars verksamhet sträcker sig genom hela värdekedjan från skog till industri upplever att de kunde dra nytta av den flexibilitet detta medför, ofta tack vare möjlighet till snabb kommunikation. I mångt och mycket var uppfattningen att det ändå är den sista länken, industrin, som fick anpassa sin verksamhet genom att styra om processer och tillverkning utifrån de sortiment och kvaliteter som levererades. Där fanns viss nytta att dra av erfarenheter från tidigare års stora stormar. Exempelvis kunde flera massabruk

snabbare och mer framgångsrikt ställa om sina industriprocesser, kanske tack vare tidigare erfarenhet av att hantera stormskadad – alltså uttorkad – råvara.

Från industrins sida finns ett önskemål att få in det skadade virket i en jämn takt. Detta underlättar både industriprocessen i sig, och planeringen av den. Ett alternativ till jämnt flöde av skadat virke är ett flöde som tillåts variera enligt en träffsäker prognos. Många skogsföretag önskar därför kunna göra en bättre prognos, vilket hittills har visat sig komplext på grund av avsaknad av anpassade beräkningsverktyg. Dessutom saknas i vissa fall möjlighet att tillräckligt noga specificera det skadade virkets kvalitet. Under samtalen har exempelvis nyttan av att kunna ange om en barkborreskada är färsk eller gammal redan under avverkning diskuterats, det vill säga, som en parameter i skördardata. Skadans ålder skulle vara en värdefull egenskap att sortera utifrån, men i de flesta fall svår att bedöma med exakthet.

Företagens strategier

Företagens strategier är utformade med olika fokusområden under året (se Figur 2). Detta följer naturligt av årstidsberoende lagkrav (skogsskydd) och inte minst barkborrarnas säsongsberoende svärmning.



Figur 2. Gemensamma huvuddrag i företagens strategier för hantering av stora flödesstörningar till följd av omfattande barkborreangrepp.

Under kvartal 2 och 3 är det generellt fokus på att avverka i förebyggande syfte och att hitta nya angrepp. Genom att så tidigt som möjligt avverka angripen skog hindras ytterligare spridning och skadorna, som förvärras med tid, begränsas. Vid massiva angrepp delar många företag upp trakter i en angripen och en frisk del i syfte att snabbare avverka den angripna skogen, då både tillgängliga avverkningsresurser och skogsskyddet – att väglager regelbundet behöver tömmas – sätter en gräns för avverkningstakten. En strategisk nedre och övre skadevolymgräns för att dela en angripen trakt sätts ofta, som anger när delning är kostnadseffektivt ur bland annat avverkningsresurssynpunkt. Inför kvartal 2 och 3 fattas beslut vanligen utifrån svärmningsanalyser, inventering på utvalda referensområden och fällfångst i övervakningsfällor. Att hitta nya angrepp tidigt skapar viktigt handlingsutrymme och förmodligen viss begränsningseffekt, men vägs i företagens strategier mot inventeringsresurser och inventeringskostnader. Först mot slutet av svärmningssäsongen, det vill säga i slutet av kvartal 3, blir skadorna på träden synliga och de nya angreppen alltmer lätta att hitta.

Under kvartal 1 och 4 är det i stället generellt fokus på att inventera det rotstående lagret efter skadad skog och att avverka och transportera för att rädda virkesvärden. Detta innebär i praktiken att de äldsta skadorna prioriteras för att undvika alltför omfattande sortimentsvandring.

Utöver att uppfylla skogsskyddsbestämmelser och parera barkborreangreppens framfart, strävar företagen efter att ta hänsyn till industrins och marknadens förutsättningar och svängningar. Att exempelvis enbart avverka angripna trakter och producera stora volymer skadade eller nedklassade sortiment under sommar- och de tidiga höstmånaderna är inte förenligt med industrins behov och möjlighet till Anpassningar, även om detta antagligen skulle ge störst begränsande effekt. Den ordinarie avverkningen behöver pågå parallellt med skadehanteringen.

Att balansera skogens, skogsägarens, kollektivets och industrins perspektiv är komplext. På grund av avsaknad av digitala verktyg för simulering av stora flödesstörningar är företagets möjlighet mycket begränsad att i förväg bedöma strategiska besluts inverkan på helhetsresultatet. Strategiernas utformning och utveckling är i stället erfarenhetsbaserad vilket sannolikt har resulterat i ageranden som är accepterade och välförankrade i organisationen, men samtidigt kommer med risken att innovativa hanteringssätt sällan utforskas.

Fördjupning i Södra Skogsägarnas beslutsprocess

För att närmare förstå på vilka underlag som beslut fattas gällande prioritering av avverkningsobjekt och val av avverkningsåtgärder, har fördjupade samtal om beslutsprocessen förts med Södra Skogsägarna (Södra) – en av Sveriges skogliga aktörer som drabbats allra hårdast av barkborreangrepp till följd av sitt geografiska verksamhetsområde. Hos Södra Skogsägarna styrs prioriteringen i hög grad av den bedömda skadeandelen i det rotstående och kontrakterade lagret, både inom de ytmässigt mindre verksamhetsområdena och på regionnivå. Under våren ges en trakt hög prioritet om den har en hög skadeandel och en än högre prioritet om det dessutom finns vindfällan inom trakten. Trakter som tidigare delats (det vill säga, där en angripen andel redan avverkats) ges medelhög prioritet. Övriga trakter som bedöms ha god vitalitet, såsom trakter med hög andel tall och löv, ges låg prioritet ur ett skadeperspektiv, men kan ändå komma att prioriteras för att balansera flödet av olika virkessortiment. Valet av avverkningsåtgärd, exempelvis att dela objekt eller använda sök-och-plock-avverkning, baseras på hur spridda angreppen är i respektive område och om skadeandelen bedöms vara ökande eller avtagande, men även lagersituationen och försörjningsåtagandet till industrin kan påverka besluten.

De fördjupade samtalen med Södra har resulterat i att en konceptuell beskrivning av strategier för hantering av stora flödesstörningar har tagits fram. Den konceptuella beskrivningen inkluderar en struktur för vilka beslut som ingår och vilka frihetsgrader som ges. Detta förklaras närmare i avsnittet ”Strategier och deras översättning i åtgärder och prioriteringar” genom beskrivningen av projektets exempelstrategier.

Spridningsscenarioer för beskrivning av barkborrarnas framfart

Barkborreangreppens spridningsmönster beror av flera klimatparametrar och andra omständigheter, såsom insekternas förmåga till övervintring, skogens granandel och markens fuktighet. Det exakta förhållandet är dock inte helt fastställt, och finns därför inte beskrivet i en vedertagen modell. Att utveckla tänkbara spridningsmodeller baserat på barkborreforskningens nuläge vore möjligt, men har inte rymts inom ramarna för

detta projekt. I stället används ett angreppssätt där osäkerheter om spridningsmönster speglas i så kallade spridningsscenarier med en fixerad intensitet av spridning per månad både inom och mellan trakter (se Tabell 1). Spridningsscenarierna ska representera låg-, medel- och högintensiva angreppsnivåer i förhållande till de senaste årens utbrott och har tagits fram utifrån befintliga kunskaper om barkborreangrepp i samverkan med forskare och skogsföretag.

Tabell 1. Spridningsscenarier som använts i detta projekt. Scenarierna anger en spridningstakt per månad dels inom angripna trakter, dels från angripna till ej ännu angripna trakter.

SPRIDNINGS- SCENARIO	SPRIDNING INOM TRAKTER Procentuell ökning av skadad volym per månad, april-september	SPRIDNING MELLAN TRAKTER Procentuell ökning av skadade trakter per månad, april-september
Svår	100 %	50 %
Medel	50 %	25 %
Lätt	25 %	12 %

Utöver spridningsintensiteten är förstas det initiala skadeläget avgörande för skadornas utveckling under säsongen. Till skillnad från säsongens varierande spridningsintensitet kan dock det initiala skadeläget anses kunna vara känt eller åtminstone noga prognostiserat för den starttidpunkt som väljs i en simulering, och utgör därför inte en del av ett spridningsscenario. I nästa avsnitt framgår hur och vilken hänsyn som tagits inom projektet till ett ofta geografiskt varierande initialt skadeläge.

För att skapa en än mer verklighetsnära dynamik i simuleringsverktyget adderas en slumpmässig stormskadekomponent som innebär att en viss andel av trakterna blir föremål för vinter- och vårstormar. Vindfällerna är alltid högprioriterade, vilket innebär att handlingsutrymmet för hantering av barkborreskadad skog minskar. Risken för stormar är lika stor i alla scenarier.

Riskklasser för beskrivning av skogens känslighet mot angrepp

Vissa geografiska områden, på både regional och lokal nivå, har större barkborrerelaterade problem än andra. Detta bekräftas av såväl skogsföretagens erfarenhet och av Skogsstyrelsens riskindexkarta (Skogsstyrelsen, 2022), som visar var kända riskfaktorer för barkborreangrepp sammanfaller och därmed var sannolikheten för nya angrepp borde vara hög. Riskfaktorerna utgörs bland annat av trädhöjd, markfuktighet och trädslagsblandning och anges med hög upplösning (10×10 meters pixelstorlek).

I simuleringsverktyget som utvecklas inom projektet behöver skogens känslighet mot angrepp beskrivas på traktnivå. När riskindex inom en trakt summeras visar sig dock variationen mellan trakterna bli liten, vilket står i viss motsats till skogsföretagens uppfattning att hela trakter kan uppvisa olika känslighet. I praktiken syns exempelvis en tydlig öst-västlig gradient, antagligen beroende av det lokala vädret med mindre nederbörd och vanligt förekommande torka i de östliga delarna. En beskrivning av skogen som ger högre acceptans i projektets referensgrupp uppnås genom att kombinera informationen från riskindexkartan med data från de senaste årens redovisade transporter av barkborreskadat virke. Den kombinerade metoden resulterar dels i en indelning av regioner i regionala riskklasser, dels en indelning av trakter i lokala

riskklasser. Det huvudsakliga syftet med den tvådelade riskklassindelningen är att vara pedagogiskt – till exempel förekommer trakter med hög känslighet i hela geografien, men i större utsträckning i regioner med hög regional riskklass. Indelningen finjusterades i dialog med det hårt drabbade Södra och genom deras egna uppföljningar av skadade volymer. Därmed utnyttjas såväl systematiserad kunskap (riskindexkartan), statistik (transportdata) och skogsbrukets praktiska erfarenheter i beskrivningen av skogens känslighet.

I Tabell 2 illustreras de regionala riskklassernas fördelning i trakter med låg, medelhög och hög lokal riskklass. Till grund för respektive sammansättning ligger statistik från Södras verksamhetsområden – ytterligare regionala riskklasser kan behövas för att representera regioner i andra geografier och andra ytterligare lokala riskklasser kan krävas för att beskriva skog med annan sammansättning. Utöver varierande sammansättning karaktäriseras de regionala riskklasserna av olika initiala skadelägen, det vill säga olika andelar – här 1, 3 respektive 5 procent – av trakterna som antas vara angripna vid simuleringsperiodens start. Därmed kommer en region som historiskt sett inte haft stora barkborrerelaterade problem inte heller kunna ha ett svårt utgångsläge. Nivåerna för de initiala skadelägena är erfarenhetsbaserade.

Tabell 2. De regionala riskklassernas sammansättning av trakter med låg, medelhög och hög lokal riskklass.

REGIONAL RISKKLASS	LOKAL RISKKLASS
Låg	Låg Medel Hög
Medel	
Hög	

De lokala riskklasserna karaktäriseras av olika sannolikheter för barkborreangrepp. Vid ett nytt skadeangrepp kommer det i 83 procent av fallen vara en trakt med hög lokal riskklass som angrips, i 15 procent av fallen en trakt med medelhög lokal riskklass och i 2 procent en trakt med låg lokal riskklass. Andelarna är en spegling av hur tidigare utfall av skadade volymer (extraherade ur transportdata) fördelar sig i Skogsstyrelsens riskindexkarta.

Strategier och deras översättning i åtgärder och prioriteringar

Den konceptuella beskrivningen av en strategi för hantering av stora flödesstörningar har arbetats fram i projektets inledande nulägesbeskrivning genom samtal med skogsföretag utifrån deras erfarenheter av tidigare och nuvarande strategier. De centrala aspekterna utgörs av vilka typer av avverkningsåtgärder som används, hur prioritering görs mellan friska, skadade och högriskklassade trakter och vilka inventerings- eller avverkningsresurser som görs tillgängliga.

Utifrån den konceptuella beskrivningen har fyra specifika exempelstrategier utformats för att beskriva skilda sätt att agera i en situation med omfattande barkborreangrepp. Samtliga strategier syftar till att minimera förlorade virkesvärden, begränsa produktions- och inventeringskostnader, begränsa vidare spridning och säkra industrins råvarubehov. Strategiernas syften relaterar därmed direkt till de fyra perspektiv som projektet föreslår för utvärdering av strategivalens konsekvenser. Den viktiga skillnaden mellan

strategierna ligger i avvägningen mellan dessa mål, som delvis står i konflikt med varandra. I Tabell 3 ges en översiktlig beskrivning av strategiernas utformande.

Tabell 3. Projektets exempelstrategier och deras översättning i åtgärder, tillgängliga resurser och prioritering mellan friska, skadade och riskklassade trakter.

STRATEGI	AVVERKNINGS-ÅTGÄRD	INVENTERING NYA SKADOR	AVVERKNINGS-RESURSER	PRIORITERING SKADADE TRAKTER
Proaktiv	Sök-och-plock <i>maj till oktober</i>	Medelhög aktivitet <i>april till augusti</i> Hög aktivitet <i>september till december</i>	Inga extra resurser	Lokal riskklass Hög och tidigare delade trakter <i>januari till april</i> Kända skador <i>april till december</i>
Reaktiv	Delning av trakter <i>juli till december</i>	Låg aktivitet <i>april till juni</i> Hög aktivitet <i>augusti till december</i>	Extra resurser <i>juli till december</i>	Kända skador <i>juli till december</i>
Defensiv	Ingen förändring	Låg aktivitet <i>januari till december</i>	Inga extra resurser	Lokal riskklass Hög <i>januari till december</i>
Aggressiv	Delning av trakter <i>maj till september</i>	Hög aktivitet <i>april till december</i>	Extra resurser <i>maj till september</i>	Kända skador <i>april till december</i>

De fyra exempelstrategierna har medvetet formulerats för att vara extrema på så vis att ett av de fyra utvärderingsmålen givits störst vikt vid utformandet. Förhoppningen är att därigenom tydliggöra enskilda strategivals konsekvenser för helheten. Exempelvis domineras strategin ”Defensiv” av målet att begränsa produktions- och inventeringskostnader genom att vare sig tillsätta extra avverkningsresurser eller resurser för att hitta angrepp. Strategin ”Aggressiv” domineras i stället av målet att maximera begränsningseffekten genom både intensifierad inventering och hög avverkningsstakt av angripen skog. I praktiken är det dock sannolikt att en strategi behöver innehålla element från samtliga exempelstrategier, och dessutom varierar under året vartefter skadeläget eller informationen om skadeläget ändras. Det tycks till exempel vara vanligt förekommande bland skogsföretagen att strategin beror av den för stunden rådande andelen skadade trakter i det rotstående lagret.

Sortimentsvandring på grund av förändrade virkesegenskaper

När en trakt blir angripen av barkborre börjar de utsatta träden dö och torka, därmed börjar deras egenskaper förändras. De nya vedegenskaperna påverkar både industriprocesser och förändrar kvaliteten på slutprodukterna. Virke som initialt var tänkt att bli ett visst sortiment med en viss kvalitet kan, beroende på skadans omfattning, komma att klassas som ett annat sortiment (så kallad sortimentsvandring). Exempelvis kan massaved som på grund av angrepp torkat ut klassas ned till nedklassad massaved (granbarkborresortiment/nedklassad massaved). Under sämre lagringsförhållanden finns dessutom risk för angrepp av lagringsröta, som i tillräckligt stor omfattning kräver nedklassning hela vägen till lågvärdessortimentet energived.

Virke torkar med olika hastighet beroende på väder, hantering och lagringsförhållanden. En olycklig omständighet när det gäller hanteringen av omfattande barkborreangrepp är

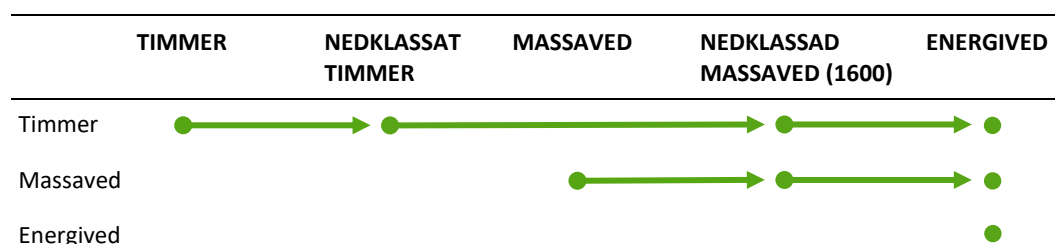
att spridningssäsongen sammanfaller med den tid på året, sommarmånaderna, då virkets uttorkningsförlopp är som snabbast. Den kritiska hanteringstiden, det vill säga det maximala antalet dagar som kan passera mellan avverkning och transport för att förhindra mer än femprocentig uttorkning, kan vara kortare än tio dagar i de geografier där angreppen ofta är som mest omfattande. Uttorkningsförloppet i friskt, avverkat virke finns modellerat för både hygges- och väglagring i verktyget TorkCalc (Wilhelmsson m.fl., 2005). Fukthalten i barkborreskadat virke följer dock delvis en annan utveckling, bland annat eftersom uttorkningen startar i det stående trädet redan innan avverkning. I praktiken finns dessutom normalt sett en ovisshet kring tidpunkten för angreppet, och därmed för uttorkningsförloppets start. Den tumregel som använts i detta projekt är att det barkborreskadade stående trädet torkar 25 procent snabbare än friskt hyggeslagrat virke, vilket kan jämföras med vindfällan utan rotkontakt vars fukthalt kan minska flera gånger snabbare (Wilhelmsson m.fl., 2005).



Figur 3. Fukthaltsberoende kvalitetsförändringar i virke. Bild från Wilhelmsson m.fl. (2005).

I simuleringsverktyget som utvecklas inom projektet används regler för nedklassning på grund av uttorkning och lagringsröta. Dessa regler speglar kända fukthaltsberoende kvalitetsförändringar i virke (se Figur 3): att blånads- och rötsvampar kan börja uppträda när fukthalten understiger 50 procent och att virket blir svårbarkat vid fukthalter under 40 procent. Reglerna innebär att timmer och massaved med en fukthalt som understiger 40 procent omgående klassas ned till sämre timmer eller massaved, medan virke med en fukthalt i intervallet 40–50 procent månatligen utsätts för en 50-procentig sannolikhet att klassas ned. Därtill kommer risken att virket drabbas av lagringsröta. Vedertagna modeller för prognostisering av lagringsröta saknas dock, men har i simuleringsverktyget hanterats genom att månatligen utsätta virket för en ökande risk att drabbas. När lagringsröta har uppstått i tillräcklig omfattning klassas virket ned till sortimentet energived eller, i fråga om timmer med liten andel lagringsröta, till nedklassad massaved. I Tabell 4 sammanfattas de möjliga nedklassningsvägarna.

Tabell 4. Illustration av sortimentsvandring – de ordinarie sortimentens möjliga nedklassningsvägar till följd av uttorkning och lagringsröta.



Simuleringsverktyg för beräkning av strategivalens konsekvenser

Beskrivningen av det simuleringsverktyg som projektet haft som mål att utveckla delas här upp i två delar. I den första delen beskrivs den generiska grundmodellen som ger en struktur för simulering av stora flödesstörningar. I den andra delen beskrivs hur den generiska modellen anpassats för barkborreangrepp.

Den generiska grundmodellen

Den generiska grundmodellen i simuleringsverktyget är avsedd att möjliggöra simulering av stora flödesstörningar, och därigenom utvärdering av olika sätt att hantera störningarna. Modellen representerar virkesförsörjning från stående skog till levererat virke och kombinerar information om bland annat den stående skogen, avverknings- och skottningsresurser, väglager och transport med viktig kunskap om kvalitetsförändringar i virket. Genom att variera parametrar kan stora flödesstörningar provoceras fram. Simuleringsresultatet kan sedan användas för att studera konsekvenser av den hanteringsstrategi som används.

Tack vare sin generiska logik förväntas grundmodellen kunna användas i framtida projekt där olika typer av flödesstörningar studeras. Exempel på störningar utöver barkborreangrepp är omfattande bränder och stormar. Modellen är dessutom adaptiv så att ny kunskap om skador och nya hanteringsstrategier lätt ska kunna integreras.

In- och utdata till modellen skrivs i Excel. Modellen själv är byggd i programmet ExtendSim som möjliggör händelsestyrd simulering med både stokastiska (slumbaserade) och dynamiska (tidsvariabla) modellparametrar och modelltillstånd. Med andra ord tillåts varje händelse, exempelvis barkborreangrepp eller lagringsröta, inträffa med viss sannolikhet och vid upprepade tillfällen. Denna typ av metod har i tidigare forskning visat sig framgångsrik vid studier av komplexa verkliga system som har stokastiska inslag. Det finns exempelvis många studier av biomassaflöden som baseras på liknande stokastiska och dynamiska simuleringar (Opacic & Sowlati, 2017). Genom välavvägda antaganden om sannolikhetsfördelningar kan det simulerade förloppet därmed bli mer verklighetsnära än motsvarande deterministiska – ofta medelvärdesbaserade – beräkningar.

Den barkborreanpassade modellen

I Figur 4 ges en schematisk och teknisk skiss över den barkborreanpassade simuleringsmodellen. I följande stycken ges en stegvis beskrivning över hur information och processer flödar från start till slut. Syftet med beskrivningen är att ge förståelse för hur projektets delresultat knyts samman och att ge viss inblick i simuleringsmodellens tekniska uppbyggnad. I korthet kan simuleringsmodellen beskrivas som ett flöde där avverkningsobjekt genomgår processer som förändrar råvaruegenskaper på både månads- och dagsbasis. Genom modellerade avverknings- och transportresurser hanteras avverkningsobjekten löpande under simuleringstiden och flyttas därigenom vidare mot industrin, som utgör simuleringsmodellens slutdestination.

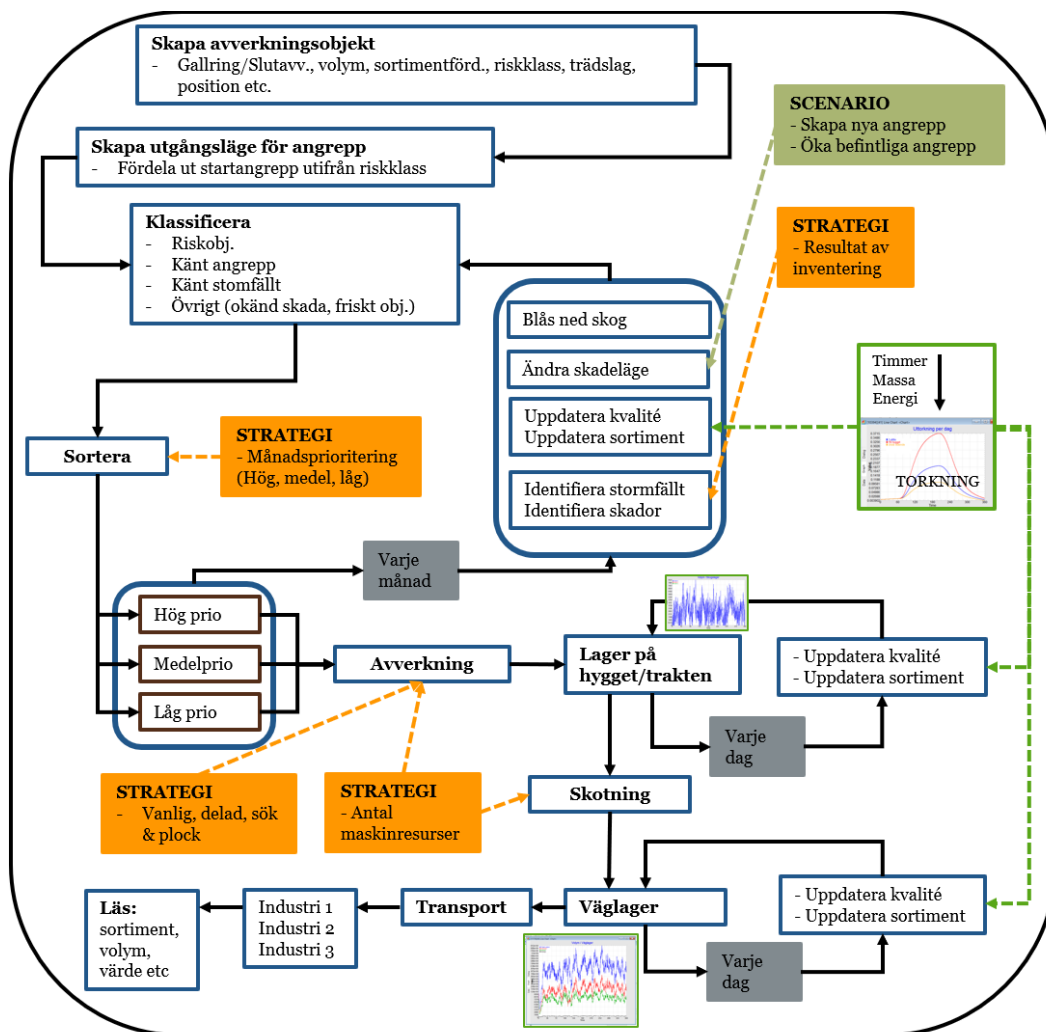
INLEDANDE MODUL

I en inledande modul i simuleringen skapas fiktiva avverkningsobjekt motsvarande en flerårig (i det här fallet tio år) traktbank för varje simulerat område. Avverkningsobjekten klassas i de regionala riskklasserna enligt vad som gäller för området, och varje

avverkningsobjekt tilldelas en lokal riskklass. Den lokala riskklassens sannolikhet för barkborreangrepp används sedan för att slumpvis fördela initiala skador på avverkningsobjekten. Omfattningen av det initiala skadeläget bestäms av den regionala riskklassen. Utöver riskklass och initiala skador tilldelas varje avverkningsobjekt ett antal attribut via sannolikhetsfördelningar, såsom geografisk placering, objektstyp (gallring eller slutavverkning), volymutfall, initialt sortimentsutfall, medelstam och trädslagsblandning.

MÅNADSVIS MODUL

I en andra modul skadeutsätts, inventeras, klassificeras och sorteras avverkningsobjekt på månadsbasis. I en första skadeprovokation simuleras stormar vilket resulterar i en slumpmässig andel nedblåst virke i ett slumpmässigt antal avverkningsobjekt. I en andra skadeprovokation simuleras spridning av barkborreangrepp genom nya angrepp på tidigare ej angripna slutavverkningsobjekt och ökad skadevolym i redan angripna avverkningsobjekt. Spridningsintensiteten bestäms av det aktuella spridningsscenariot och den lokala riskklassen avgör sannolikheten för varje avverkningsobjekt att drabbas. I en sista skadeprovokation utsätts det döda virket – det vill säga, det storm- eller barkborreskadade virket – för uttorkning, lagringsröta och fukthaltsberoende nedklassning vilket resulterar i ett uppdaterat sortimentsutfall på samtliga avverkningsobjekt. Verktøget TorkCalc är integrerat i modellen och beräknar virkets fukthalt, som beror av skadetyp (storm- eller barkborreskador), avverkningsobjektets koordinater och innevarande månad.



Figur 4. Schematisk skiss över den barkborreanpassade simuleringsmodellen. Modellen upprepas för varje delområde som ska simuleras.

En viktig funktionalitet i simuleringsmodellen är att skador som uppstår under skadeprovokationerna registreras som okända, men via simulering av skadeinventering kan bli omregistrerade som kända. Sannolikheten att "hitta skador", det vill säga att registrera en skada som känd, bestäms av den aktuella strategins inventeringsaktivitet och förväntade förmåga att upptäcka nya angrepp.

Utifrån den kända informationen klassificeras avverkningsobjekten som 1) känt stormfält, 2) känt angrepp, 3) lokal riskklass Hög, 4) tidigare delat objekt eller 5) övrigt. Klassificeringen görs i angiven ordning, så att exempelvis ett avverkningsobjekt som har ett känt barkborreangrepp och tillhör lokal riskklass Hög klassificeras som känt angrepp. Därefter sorteras avverkningsobjekten utifrån sin klassificering och den aktuella strategins prioriteringar för den aktuella månaden. Sorteringen resulterar i att avverkningsobjekten läggs i en kö där de högst prioriterade objekten hamnar först. Kön med avverkningsobjekt tas därefter över av den dagsvisa modulen, som bearbetar avverkningsobjekten under en månad. Vid månadens slut upprepas den månadsvisa modulen med nya skadeprovokationer, ny klassificering och ny sortering av de avverkningsobjekt som ännu inte avverkats.

DAGSVIS MODUL

I en tredje modul simuleras avverkning, hyggeslagring, skotning och lagring vid väg. Avverkning sker efter den kördning som bestämts för den aktuella månaden vid sortering av avverkningsobjekten i föregående modul. Ett förutbestämt antal skördare och skotare finns tillgängliga i modellen. Därutöver avgör den aktuella strategin om extra avverkningsresurser kan utnyttjas under delar av simuleringsperioden. Skördarnas kapacitet (volym per tidsenhet) anges på standardvis, det vill säga beror på åtgärdstyp (sök-och-plock, delning eller ordinarie), objektstyp (gallring eller slutavverkning) och medelstam.

Avverkning av det avverkningsobjekt som står först i kördningen startar så snart en skördarresurs finns tillgänglig och har flyttats, vilket tar en viss tid i anspråk. Det är den aktuella strategin och avverkningsobjektets skadestatus som avgör vilken åtgärdstyp som väljs. Om strategin medger en icke-ordinarie åtgärd krävs att den eventuella skadan utgör minst 30 kubikmeter för att den alternativa åtgärden ska väljas. Vid sök-och-plock avverkas endast den skadade volymen, medan minst hälften av avverkningsobjektet alltid avverkas vid delning.

Efter avverkning övergår de avverkade objekten i hyggeslagring. Under hyggeslagring utsätts de avverkade volymerna för uttorkning, lagringsröta och fuktshaltsberoende nedklassning på samma sätt som i den månadsvisa modulen, men omräknat till dagliga förändringar och skaderisker. Detta görs eftersom de avverkade volymerna rent tekniskt inte återkommer till den månadsvisa modulen igen. Hyggeslagrade volymer skotas i den ordning de avverkats klart och vartefter skotarresurser finns tillgängliga. Även skotarnas kapacitet anges på standardvis.

Efter skotning övergår de skotade volymerna till lagring vid väg och utsätts fortsatt för daglig uttorkning samt sannolikhet för lagringsröta och fuktshaltsberoende nedklassning. Vägslager räknas om till antal lass baserat på egenskaper (densitet) hos respektive sortiment, och transporteras därefter i den ordning de skotats klart och vartefter transportresurser finns tillgängliga. För massaved beräknas en ungefärlig transporttid till närmaste massabruk baserat på avverkningsobjektets koordinater. För timmer och energived görs ingen destinerings, utan en ungefärlig transporttid sätts med viss slumpfaktor.

Simuleringsmodellen har möjlighet att leverera en stor mängd utdata i form av status vid en specifik tidpunkt eller sammanställningar över en längre simulerad tidsperiod. Vid månadsslut (och simuleringslut) skrivs flera typer av utdata ut till en läsbar fil. I nästa avsnitt beskrivs vilka utdata som är mest relevanta att analysera vid utvärdering av simuleringsresultatet.

Nyckeltal för utvärdering av strategivalens konsekvenser

Återkommande i detta projekt är de fyra utvärderingsperspektiven skadehantering och begränsningseffekt, kvalitets- och värdeförändring, produktions- och inventeringskostnad, samt förmåga att möta industrins krav. Dessa mål ligger till grund för såväl utformandet av strategier som utvärderingen av deras konsekvenser vid stora flödesstörningar. Valet av nyckeltal som används för att kvantifiera målen har gjorts i tät dialog med projektets referensgrupp.

En förklaring av dessa nyckeltal och hur de extraheras från simuleringsresultatets utdata följer nedan.

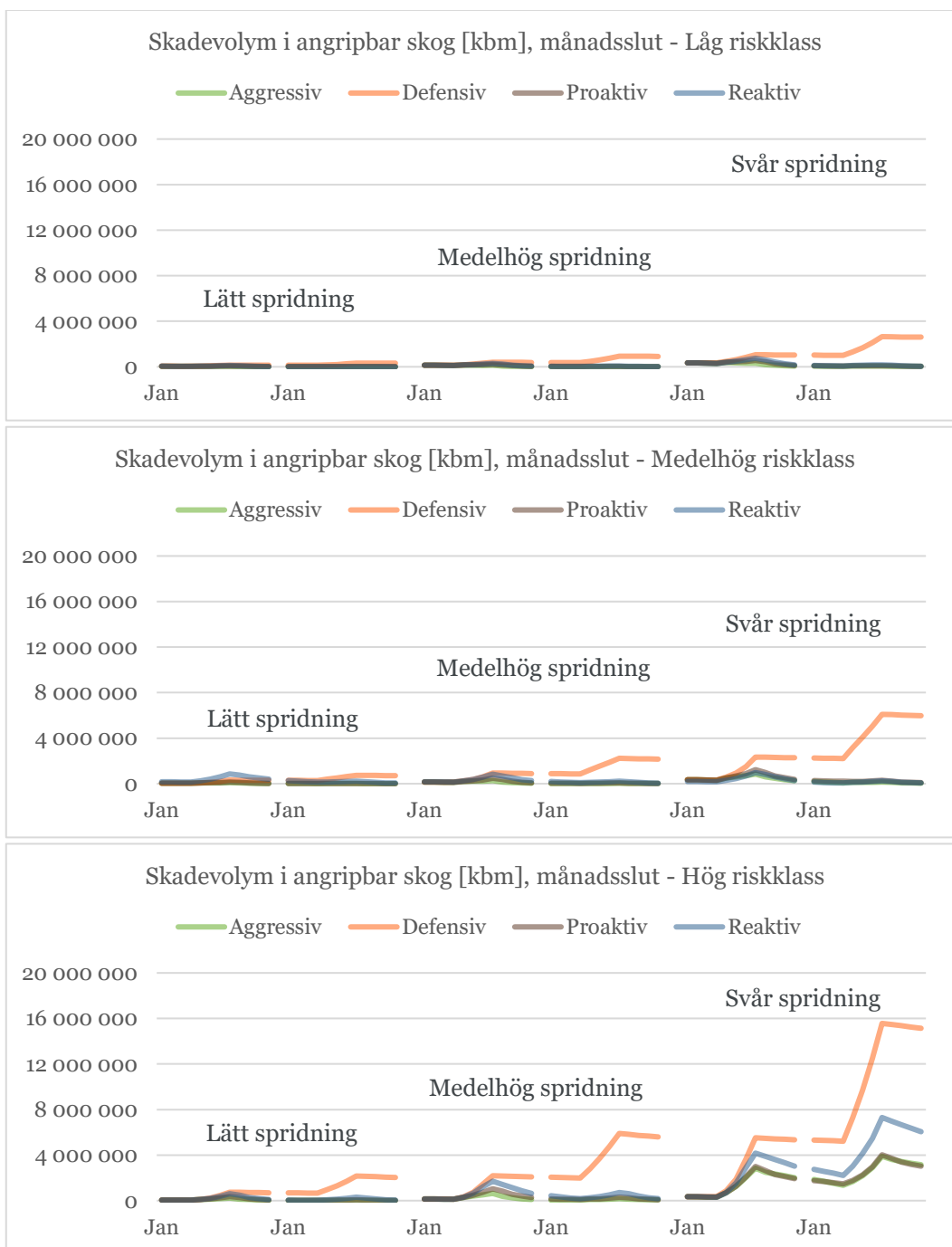
- **Skadehantering och begränsningseffekt** åskådliggörs genom andelen skadad volym i den stående skogen. Här påverkar både barkborreangreppens spridningshastighet och takten med vilken angripna trakter avverkas, vilket gör att andelen skadad volym både kan öka och minska. Genom månadsvis framställning fångas eventuella svängningar under året.
- **Kvalitets- och värdedeförändring** åskådliggörs genom andelen nedklassad volym i den stående skogen och en omräkning av dessa volymer till en virkesvärdeförlust. Dessa nyckeltal ger endast en ögonblicksbild för kvalitets- och värdedeförändringen i skogen. Den slutliga bilden kan ges först vid leverans till industri, när virket avverkats och lagrats och eventuellt klassats ned ytterligare.
- **Produktions- och inventeringskostnad** åskådliggörs dels genom produktionskostnad per kubikmeter, dels genom månadsvis sammanställning av hittad skadevolym. Vid uppskattningen av den årliga inventeringskostnaden är det avgörande under vilken tid på spridningssäsongen som skadorna hittas. Vilka inventeringsresurser, och därmed inventeringskostnader, som krävs för att i praktiken uppnå den hittade skadevolymen har inte studerats inom projektet.
- **Förmåga att möta industrins krav** åskådliggörs dels genom månadsvis framställning av andelen skadad volym i det som månatligen har avverkats, dels genom den nedklassade andelen av den årligen levererade volymen. För levererad volym gäller det sortimentsutfall som rådde vid transporttidpunkten. Månadsvis framställning är särskilt intressant ur detta perspektiv, eftersom industrin ofta efterfrågar jämna flöden av virkessortiment under året: att under perioder avverka eller leverera alltför stora volymer skadat eller nedklassat virke är sällan förenligt med industrins krav.

Resultat från simulering

Projektets fyra exempelstrategier har simulerats för en tvåårsperiod i vart och ett av de tre spridningsscenarierna och i alla typer av regionala riskklasser. Konsekvenserna av respektive strategi utvärderas genom att extrahera de månads- och årsvisa nyckeltalen för de fyra utvärderingsperspektiven ur simuleringsresultatet.

Skadehantering och begränsningseffekt

I Figur 5 illustreras månadsutvecklingen för skadad volym i angripbar skog (slutavverkningsobjekt). Detta ger en indikation på vilken möjlighet strategierna har att stävja en okontrollerad spridning. Extrainsatta avverkningsresurser och prioritering av angripna trakter är avgörande, men även ambitionsnivån för skadeinventering eftersom kännedom om skadade träd krävs för att målinriktat kunna avverka dem.



Figur 5. Skadad volym i angripbar skog (slutavverkningsobjekt) vid månadsslut under den simulerade tvåårsperioden och i trakter tillhörande regional riskklass Låg (överst), Medel (mitten) och Hög (nederst). Den skadade volymen påverkas av både barkborreangreppens spridningshastighet och avverkningsstakten av angripna trakter i respektive strategi, och kan därmed både öka och minska.

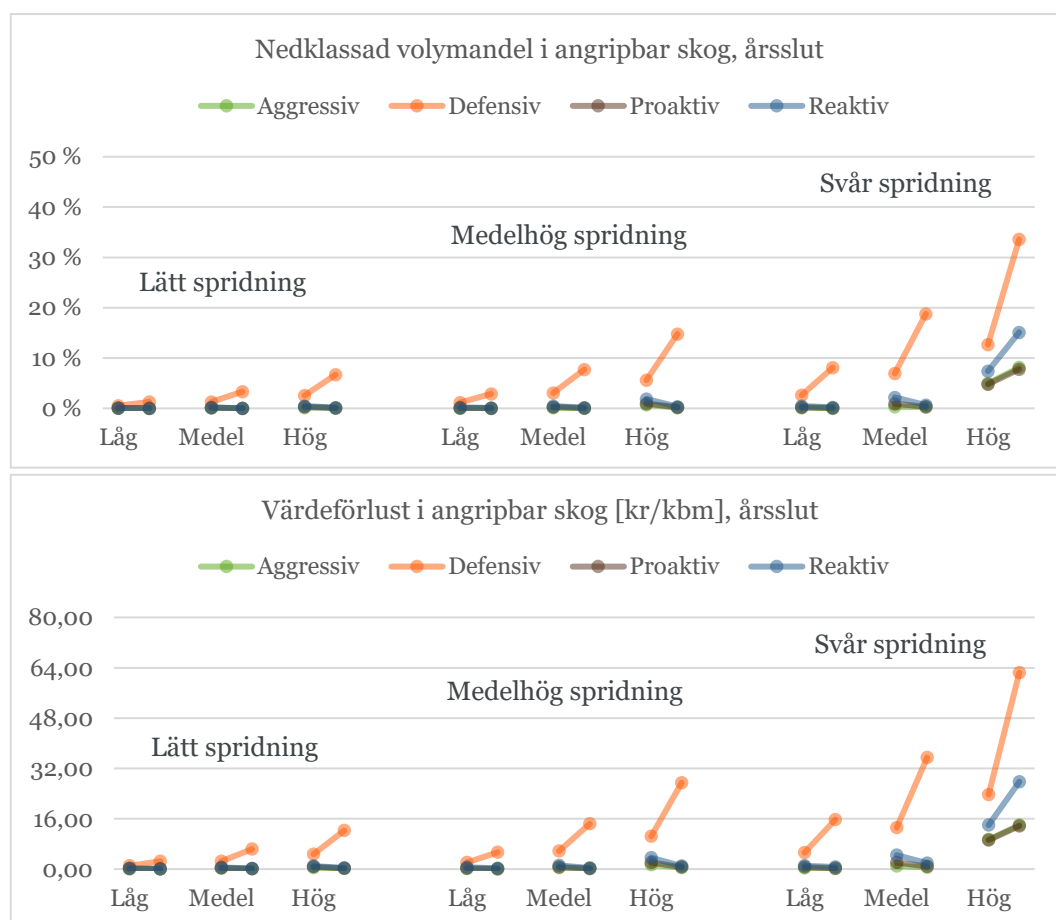
Strategi Defensiv utmärker sig relativt övriga strategier ur skadehanterings- och begränsningshänseende. Redan vid lätt spridning av barkborreangrepp hanteras inte tillräckligt många skadade trakter för att bromsa skadeutvecklingen över tid i den höga regionala riskklassen. De övriga strategierna resulterar i att skadevolymen i den stående skogen minimeras inom den simulerade tvåårsperioden. Detta leder till en god

begränsande effekt, eftersom det initiala skadeläget vid nästkommande spridningssäsons start nära nollställs.

Vid svår spridning av barkborreangrepp förvärras skadesituationen kraftigt bland trakter med hög regional riskklass oavsett strategi. När ett skadeförlopp utvecklas snabbt utifrån ett redan svårt initialt skadeläge hinner inte de tillsatta avverkningsresurserna hantera tillräckligt mycket skadad volym ens vid den mycket höga prioriteringen av skadade trakter som strategierna Proaktiv och Aggressiv gör.

Kvalitets- och värdeförändring

I Figur 6 illustreras den nedklassade andelen av angripbar skog vid de två simulerade årens slut, samt en omräkning av de nedklassade volymerna till virkesvärdeförluster. Aktuella priser för ordinarie och nedklassade sortiment ligger till grund för omräkningen.



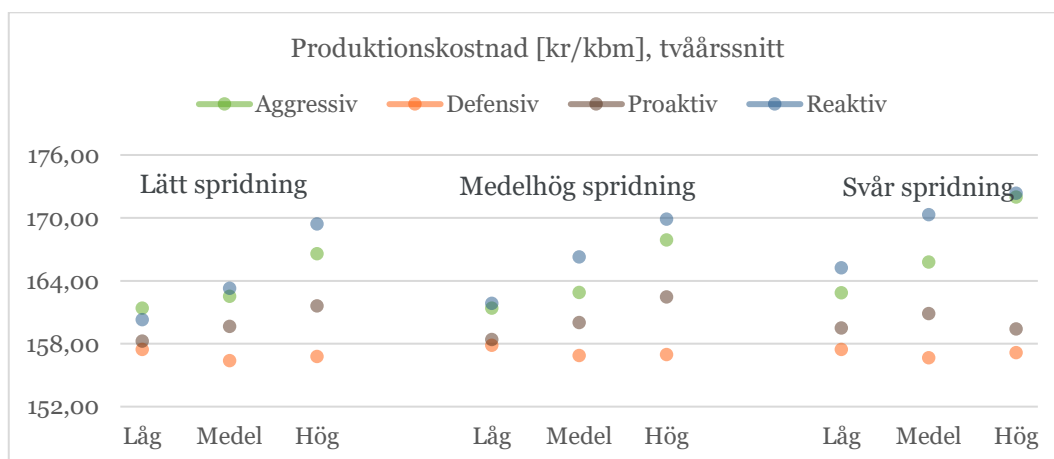
Figur 6. Nedklassad volymandel i angripbar skog (överst) och omräkning till virkesvärdeförlust (nederst) vid de två simulerade årens slut samt för varje spridningsintensitet och regional riskklass (Låg, Medel, Hög).

När den stående skogen angrips av barkborre kan påföljande uttorkning leda till nedklassning, och i allmänhet ökar risken för fukthaltsrelaterad nedklassning med tiden. Därför påverkas kvalitets- och värdeförändringen inte bara av skadeomfattningen, utan även av om det är färsk eller gamla skador som prioriteras för avverkning. I exempelstrategierna görs dock ingen aktiv prioritering mellan hur gamla skadorna är, eftersom tidpunkten för angrepp i praktiken ofta är svår att avgöra.

Resultatet i Figur 6 blir en tydlig spegling av resultatet i Figur 5. Omräkningen av skadad volym i den stående skogen till en årlig kvalitets- och värdoförändring gör det lättare att dra slutsatser om skadeomfattningen kan anses hanterbar. Strategi Defensiv utmärker sig återigen och leder till relativt stora virkesvärdeförluster redan vid medelhög spridning av barkborre. Övriga strategier resulterar i begränsade och med tiden sjunkande förluster, med undantag för svår spridning i trakter med hög regional riskklass.

Produktions- och inventeringskostnad

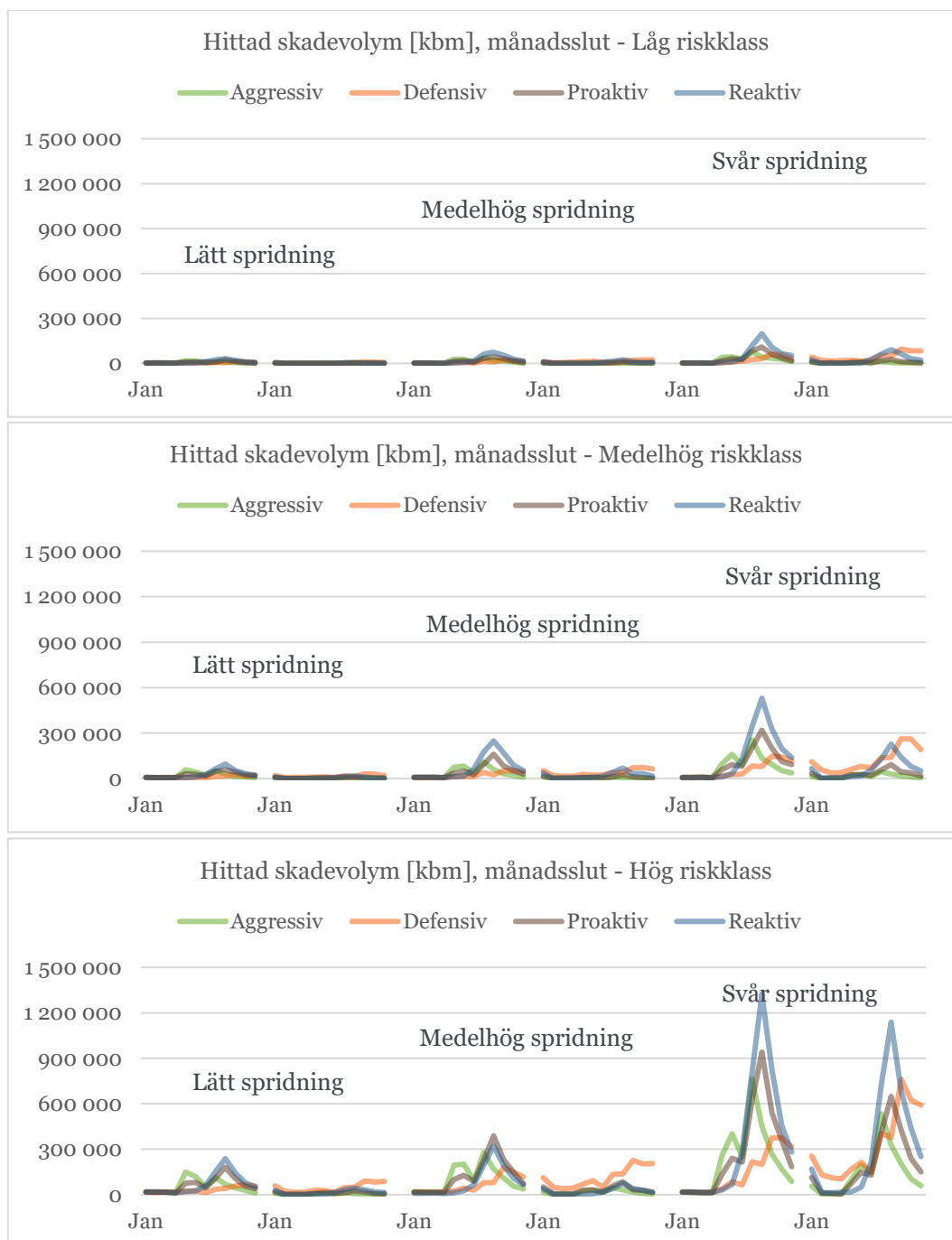
I Figur 7 illustreras den genomsnittliga produktionskostnaden, det vill säga kostnaden för avverkning, skotning och maskinflytt, under den simulerade tvåårsperioden. I kostnaden för avverkning tas hänsyn till om extra avverkningsresurser eller alternativa avverkningsmetoder (sök-och-plock eller delning av trakter) utnyttjas. I kostnadsjämförelsen relateras kostnader för alla maskintimmar till alla kubikmeter som levererats. Jämförelsen blir inte helt rättvis eftersom de olika strategierna har olika fördelning på gallring och slutavverkning samt dessutom levererar olika kvaliteter. De strategier som på olika sätt mer aktivt prioriterar skadade objekt kommer också ha högre andel slutavverkning, på bekostnad av mindre utförd gallring.



Figur 7. Genomsnittlig produktionskostnad (kostnad för avverkning, skotning och maskinflytt) under den simulerade tvåårsperioden.

Strategierna Aggressiv och Reaktiv resulterar i högre produktionskostnader än strategierna Defensiv och Proaktiv. Dessa strategier tillåter delning av avverkningsobjekt under stora delar av året, och i kombination med hög prioritering av skadade trakter utnyttjas också den möjligheten i hög grad. Dessutom används extra avverkningsresurser vilket leder till ytterligare ökad produktionskostnad.

För en mer heltäckande kostnadsbild bör inventeringskostnaden läggas till produktionskostnaden. Vid en skattning av den årliga inventeringskostnaden är det avgörande under vilken tid på spridningssäsongen som skadorna hittas; i Figur 8 illustreras månadsutvecklingen för hittad skadevolym under den simulerade tvåårsperioden.



Figur 8. Hittad skadevolym vid månadsslut under den simulerade tvåårsperioden och i trakter tillhörande regional riskklass Låg (överst), Medel (mitten) och Hög (nederst).

En strategis inventeringsambitioner uttrycks inte i termer av inventeringsresurser, utan snarare i en förväntan om att hitta en viss andel av den totala skadevolymen i skogen. Hur stor den absoluta hittade skadevolymen sedan blir beror bland annat på den totala skadevolymen i skogen. Vilka inventeringsresurser och därmed inventeringskostnader som krävs för att i praktiken uppnå den hittade skadevolymen vid respektive tidpunkt har inte studerats inom projektet. I allmänhet gäller att ju tidigare man vill hitta skadorna desto mer inventeringsresurser krävs, eftersom skadorna är svårupptäckta i sitt initiala

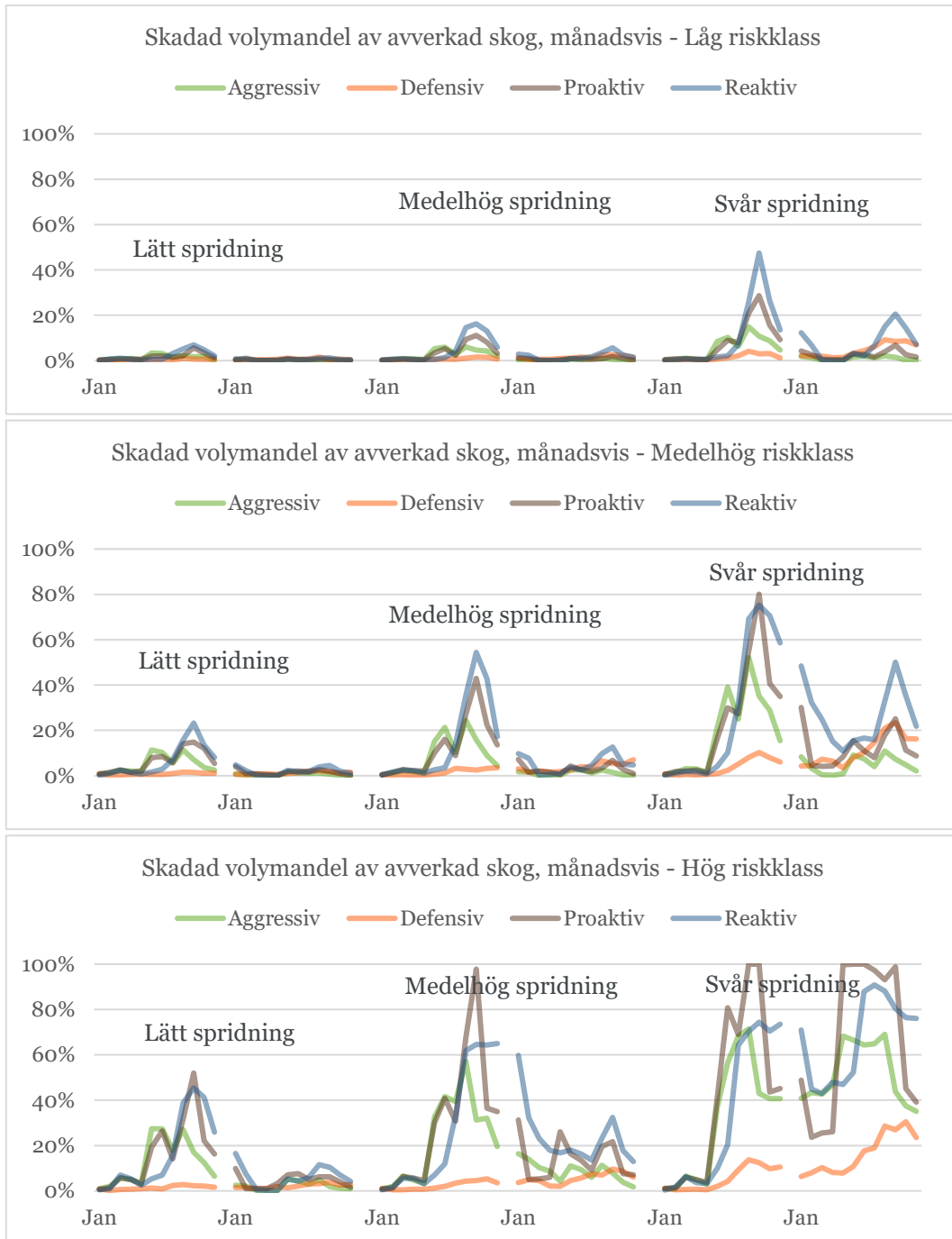
skede. Därför utmärker sig troligen strategi Aggressiv, och till viss del Proaktiv i inventeringskostnadshänseende, eftersom relativt stora (jämfört med övriga strategier) skadevolymerna behöver hittas redan under det första halvåret.

Resultatet i Figur 8 är en klar spegling av exempelstrategiernas inventeringsaktivitet som anges i sammanställningen i Tabell 3. Där framgår att strategi Aggressiv förväntar sig hög inventeringsaktivitet redan tidigt på spridningssäsongen, medan strategi Reaktiv har högre inventeringsambitioner under den senare delen av året då nya angrepp är enkla och resurseffektiva att upptäcka.

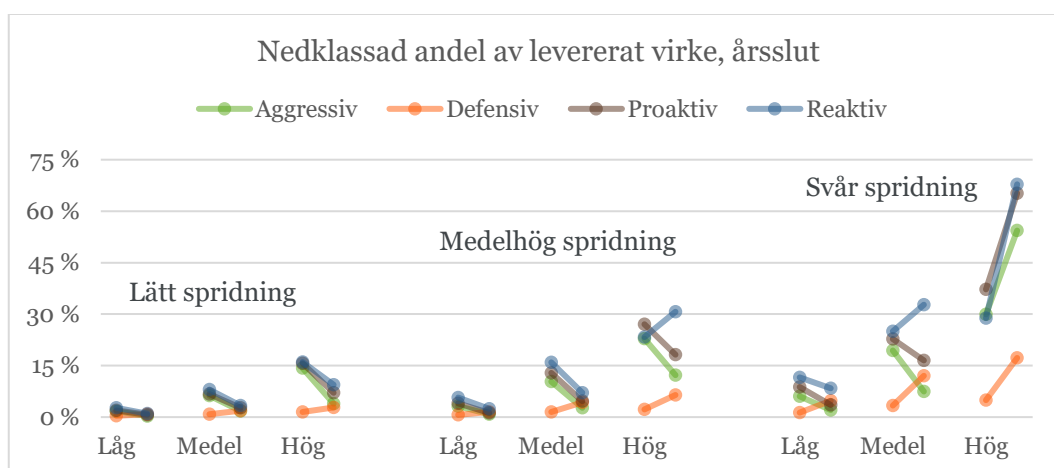
Förmåga att möta industrins krav

I Figur 9 illustreras månadsutvecklingen för skadad volymandel av avverkad skog under den simulerade tvåårsperioden. Att virket är skadat innebär inte att det har klassats ned. Virkets skadetillstånd vid avverkning ger en fingervisning om den samlade risken för nedklassning vid leverans: stora skadade volymer avverkad skog ger sannolikt stora andelar nedklassade volymer vid leverans. I Figur 10 illustreras den nedklassade andelen av levererat virke vid årsslut.

Balansen mellan att hitta och prioritera avverkning av skadade trakter (se Figur 5) och förmågan att möta industrins krav om ett jämt flöde av både ordinarie och nedklassade sortiment är tydlig. De strategier som mest framgångsrikt kan begränsa skadevolymerna i den stående skogen gör det delvis på bekostnad av minskad ordinarie avverkning under året. Detta blir som tydligast i strategi Proaktiv, som vid svår spridning av barkborreangrepp i kombination med sök-och-plock-avverkning nästan enbart avverkar skadade volymer under vissa månader, och vid årsslut ofta har levererat störst andelar nedklassat virke. Strategi Defensiv utmärker sig i stället åt det andra hållet med en generellt låg skadeandel i avverkad skog och en låg andel levererat virke med skador. Detta är en följd av att strategin prioriterar trakter med hög lokal riskklass framför trakter med kända barkborreangrepp, och delvis i kombination med den låga inventeringsaktiviteten och därmed den låga kännedomen om skador.



Figur 9. Skadad volymandel av avverkad skog vid månads slut under den simulerade tvåårsperioden och i trakter tillhörande regional riskklass Låg (överst), Medel (mitten) och Hög (nederst).



Figur 10. Nedklassad andel av levererat virke vid de två simulerade årens slut.

Diskussion och vidareutveckling

I detta projekt knyts ett flertal delresultat samman och utmynnar i utvecklandet av ett simuleringsverktyg och en avslutande beräkningsstudie. För att ta till sig resultatet av beräkningsstudien, är förståelse för vilka antaganden som gjorts i arbetet som lett fram till respektive delresultat mycket viktigt. Av detta skäl görs i denna rapport väl avgränsade metodbeskrivningar, trots att arbetet med delresultaten i många fall varit tätt kopplat.

De antaganden som görs gällande spridningsscenarioer och sortimentsvandring kommenteras i respektive metodavsnitt. I båda fall görs antaganden på grund av brist på vedertagna modeller för barkborreangrepp och exempelvis utveckling av lagringsröta, men baseras också i båda fall på erfarenhet och kunskap från forskning och praktisk verklighet. En rimlighetsbedömning av konsekvenserna av dessa antaganden har dessutom gjorts via analys av resultat från beräkningsstudien tillsammans med projektets referensgrupp.

De antaganden som görs i simuleringsverktygets grundlogik har validerats via systematiska genomgångar med projektets referensgrupp och andra experter från flera delar i värdekedjan från skogsproduktion till industri, men även med experter på barkborreangrepp. Grundlogiken är implementerad för att vara enkel att uppdatera i takt med att ny kunskap förvärvas och kan uttryckas i nya delresultat. Simuleringsverktyget är inte ett färdigt beslutsstöd och vare sig kan eller bör integreras i skogsföretagens befintliga system. Det ska snarast ses som ett forskningsverktyg med vilket beräkningsstudier kan genomföras. Den underliggande generiska modellen över virkesförsörjningskedjan bör ha ett stort användningsområde och kunna addera ny kunskap i fler störnings- eller skadesituationer där komplexa relationer och samband med stokastiska inslag finns. Modellen ger möjlighet att skapa stora flödesstörningar och på ett strukturerat sätt analysera hantering av en förändrad virkeskvalitet.

De antaganden som görs gällande strategiernas utformning är å andra sidan närmast att betrakta som ett resultat i sig. Samtal med skogsföretag och särskilt tät dialog med Södra Skogsägarna har lett fram till den konceptuella utformningen av strategier för hantering av stora flödesstörningar som används i detta projekt. Den konceptuella utformningen

inkluderar beslut om när på året det är möjligt att utnyttja alternativa avverkningsåtgärder, hur inventeringsambitionerna varierar under året, när på året eventuella extra avverkningsresurser finns tillgängliga, och hur prioritering ska göras mellan friska, skadade och högriskklassade trakter. Dynamiska komponenter saknas i den konceptuella utformningen av strategier, såsom exempelvis ett beroende mellan agerande och skadeandel i traktbanken vilket varit en vanligt förekommande styrparameter bland skogsföretagen. Även komponenter som berör marknadsläget och konjunkturen saknas. I en högkonjunktur finns betydligt större möjligheter att öka avsetningen på skogliga produkter och därmed ett större handlingsutrymme för hantering av stora mängder skadat virke. I en lågkonjunktur minskar avsetningstakten och så även avverkningstakten av skadad skog. En effekt kan bli ökad risk för både spridning och nedklassning i den stående skogen. Sammanfattningsvis finns här plats för fortsatt utveckling för att närma sig alla de frihetsgrader som faktiskt behövs vid utformning av en realistisk strategi.

Till beräkningsstudien formuleras fyra exempelstrategier. Dessa bör ses som ytterligheter och inte rekommenderade ageranden. Syftet är att via beräkningsstudien påvisa konsekvenser av och relationer mellan ageranden, och simuleringresultaten illustrerar att vilket agerande som är lämpligast beror av skogens känslighet i den aktuella geografien (regional riskklass) och barkborreangreppets spridningsintensitet. Dessutom påverkar vilken avvägning som föredras mellan olika utvärderingsperspektiv, vilket sannolikt beror på den strategiägande organisationens drivkrafter och rådande marknadsläge.

De många dimensionerna i både utvärderingsperspektiv och grundförutsättningar för spridningsintensitet och skogens känslighet gör det svårt att göra en samtidigt överskådlig och tillräckligt noggrann visualisering av simuleringresultaten. Medan graferna i Figur 5-Figur 10 utgör ett exempel på en mycket detaljrik beskrivning, kan Tabell 5 sägas vara ett exempel på en mycket överskådlig visualisering. I den senare figuren har exempelstrategiernas prestation ur de fyra utvärderingsperspektiven värderats till god, medelgod eller dålig och visualiseras med färger.

Tabell 5. Exempel på överskådlig visualisering av simuleringresultatet från beräkningsstudien. Exempelstrategiernas prestation ur de fyra utvärderingsperspektiven har värderats och visualiseras genom grön (god prestation), gul (medelgod prestation) eller röd (dålig prestation) markering. Det är endast resultatet för hög regional riskklass som demonstreras här.

HÖG RISKKLASS	AGGRESSIV			PROAKTIV			REAKTIV			DEFENSIV		
	Lätt	Medel	Svår	Lätt	Medel	Svår	Lätt	Medel	Svår	Lätt	Medel	Svår
Spridningsscenario												
Skadehantering och begränsningseffekt	Grön	Grön	Gul	Grön	Grön	Grön	Grön	Grön	Grön	Grön	Gul	Röd
Kvalitets- och värdeförändring	Grön	Grön	Grön	Grön	Grön	Grön	Grön	Gul	Gul	Gul	Röd	Röd
Produktionskostnad	Röd	Röd	Röd	Gul	Gul	Grön	Röd	Röd	Röd	Grön	Grön	Grön
Inventeringsaktivitet	Röd	Röd	Röd	Gul	Gul	Gul	Grön	Grön	Grön	Grön	Grön	Grön
Förmåga att möta industrins krav	Grön	Röd	Röd	Gul	Röd	Röd	Gul	Röd	Röd	Grön	Grön	Gul

Ett möjligt fokus för ett fortsättningsarbete är en studie av hur visualiseringen bör anpassas efter användare. I samtal med projektets referensgrupp har det även framkommit att det finns ett stort värde i att med god visualisering av konsekvenser kunna underlätta den interna förankringen av en strategi inom organisationen. En god visualisering bör därför vara interaktiv, så att flera användarroller med varierande bedömningskriterier kan utforska ett simuleringsresultat utifrån sitt perspektiv.

Slutsats

Ett centralt behov för många skogsföretag är att begränsa konsekvenserna av storskaliga flödesstörningar – i den här rapporten i huvudsak orsakade av barkborreangrepp. Genom samtal med företagsrepresentanter med god inblick i strategiarbete och flödesplanering framkommer många tankar och idéer om hur man bäst förhåller sig till ett storskaligt barkborreangrepp, även om det i dagsläget saknas kunskap om de faktiska effekterna av olika ageranden. Att kunskapen saknas beror till stor del på en brist på strukturerad analys och uppföljning av hur olika ageranden påverkar olika perspektiv och aktörer i virkesförsörjningskedjan.

Inom detta projekt har en testmiljö utvecklats för simulering av storskaliga flödesstörningar orsakade av exempelvis barkborreangrepp. Verktöget gör det möjligt att systematiskt analysera hur ageranden och strategier påverkar ett helhetsperspektiv, där kvalitets- och värdeförluster, produktions- och inventeringskostnader, förmåga att möta industrins behov samt skadehantering och begränsningseffekt ingår. Att dra slutsatser om vilken strategi som bör användas i en viss situation ligger utanför ramen för detta projekt och bör göras av de beslutsfattare som berörs. Ett viktigt syfte med projektet är däremot att, genom utvecklandet av simuleringsverktöget, i framtiden kunna ge underlag för sådana beslut.

Genom simulering illustreras att vilket agerande som är lämpligast beror av skogens känslighet i den aktuella geografin och barkborreangreppets spridningsintensitet. Dessutom påverkar vilken avvägning som föredras mellan olika utvärderingsperspektiv, vilket sannolikt beror på organisationens drivkrafter. En slutsats är att inget agerande är framgångsrikt ur alla perspektiv samtidigt, och att samtliga perspektiv behöver vägas in för att uppnå den bästa möjliga helhetslösningen.

Referenser

D'Amours, S. Rönnqvist, M. & Weintraub, A. 2008. Using operational research for supply chain planning in the forest products industry. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 46(4), 265-281.

Kärvemo, S. 2015. Outbreak dynamics of spruce bark beetle in time and space. Doctoral Thesis No. 2015:27, Faculty of Forest Science, SLU.

Kärvemo, S., Rogell, B. & Schroeder, M. 2014. Dynamics of spruce bark beetle infestation spots; Importance of local population size and landscape characteristics after a storm disturbance. *Forest Ecology and Management* 334:232-240.

Lidestam, H. 2007. Supply chain optimization in the forest industry, Linköpings universitet, Matematiska institutionen, Optimeringslära. Linköpings universitet, Tekniska högskolan

Lambert DM. & Cooper MC. 2000. Issues in Supply Chain Management. *Industrial Marketing Management*. Volume 29, Issue 1.

Opacic, L., & Sowlati, T. 2017. Applications of discrete-event simulation in the forest products sector: a review. *Forest Products Journal*, 67(3-4), 219-229.

Rönnqvist, M, D'Amours, S, Weintraud, A., Jofre, A., Gunn, E., Haight, R.G. & Romero, C. 2015. Operations Research challenges in forestry: 33 open problems. *Annals of Operations Research*. doi:10.1007/s10479-015-1907-4

Schroeder, M. & Kärvemo, S. 2015. Var är risken störst för att granbarkborre ska döda träd? *Fakta Skog* 7, 2015.

Schroeder, M. & Weslien, J. 2020. Skyddade områden och risk för angrepp av granbarkborre. *Fakta Skog* 3, 2020.

Skogsstyrelsen. 2022. [ftps://ftpsks.skogsstyrelsen.se](https://ftpsks.skogsstyrelsen.se); Användarnamn: Skadorpaskog; Lösenord: \$tS.?ggqJ7

Weslien, J, Schroeder, M. & Öhrn, P. 2022. Effekt på granbarkborren och dess fiender vid vinteravverkning av dödade granar. Arbetsrapport 1110-2022, Skogforsk.

Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Spångberg, K., Lundqvist, S.-O., Hedenberg, Ö., Olsson, L. & Grahn, T. 2002. Models for predicting wood properties in stems of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Sweden. *Scand. J. For. Res.* 17. pp 330-350.

Wilhelmsson, L. Persson, E. & Persson, T. 2005. Prognoser för virkets uttorkning efter avverkning. Resultat 11. Skogforsk, Uppsala.

Wilhelmsson L., Arlinger J., Hannrup B., Nordström M., Øvrum, A. & Gjerdrum P. 2011. D3.5 Methods and models for relating wood properties and storage conditions to process efficiency and product quality. Arbetsrapport nr 750. Skogforsk, Uppsala.