



Integrerad planering av virkesproduktion och naturvård

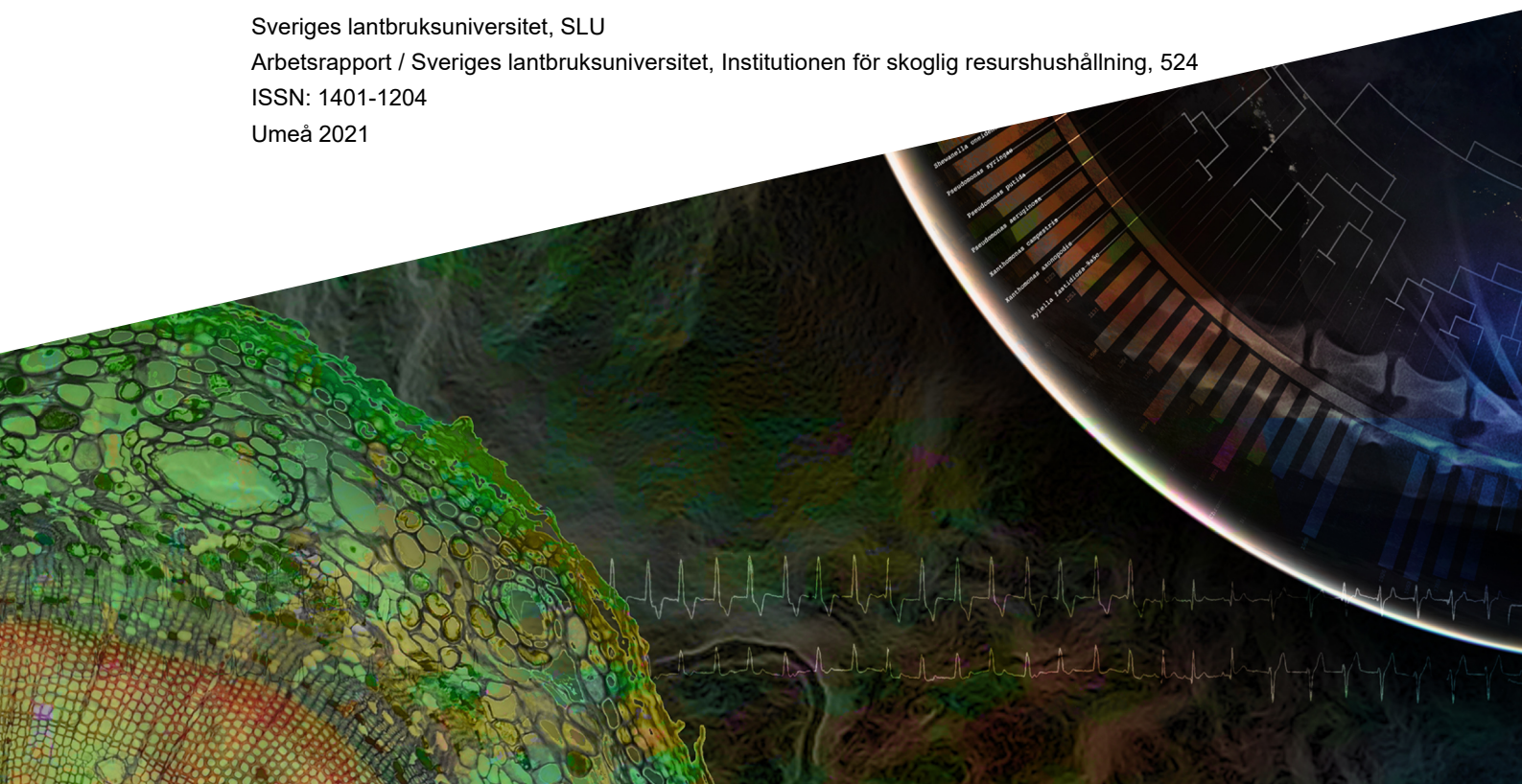
Karin Öhman, Jeannette Eggert, Ola Eriksson
och Tomas Lämås

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Arbetsrapport / Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning, 524

ISSN: 1401-1204

Umeå 2021



Integrerad planering av virkesproduktion och naturvård

Karin Öhman	Sveriges lantbruksuniversitet, skoglig resurshushållning
Jeannette Eggers	Sveriges lantbruksuniversitet, skoglig resurshushållning
Ola Eriksson	Sveriges lantbruksuniversitet, skoglig resurshushållning
Tomas Lämås	Sveriges lantbruksuniversitet, skoglig resurshushållning

Redaktör:	Karin Öhman, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skoglig resurshushållning
Utgivare:	Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skoglig resurshushållning
Utgivningsår:	2021
Utgivningsort:	Umeå
Serietitel:	Arbetsrapport / Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för Skoglig resurshushållning
Delnummer i serien:	524
ISSN:	1401-1204
Nyckelord:	areabaserad planering, beslutsstödsystem, heltäckande data, skoglig planering

Sammanfattning

Det finns i dag ett behov av modeller för långsiktig planering som möjliggör integrerade analyser av virkesproduktion och naturvård. Genom att inkludera de båda målen i samma planeringsmodell ökar möjligheterna att hitta optimala skötselstrategier som ger en högre måluppfyllelse. I denna rapport presenterar vi en areabaserad modell där planering av virkesproduktion och lokalisering av frivilliga avsättningar integreras i en och samma planeringsmodell. Genom att inkludera val av områden för frivillig avsättning i en traditionell modell för långsiktig planering så kan konflikten mellan skogsbruk för virkesproduktion och naturvård utvärderas och därmed kan kostnadseffektiva lösningar för naturvård identifieras. Modellen har utvärderats i en fallstudie utförd på ett delområde av Mistra Digital Forests försöksområde utanför Sundsvall. I studien är den rastercellsbaseade informationen gällande initialt skogstillstånd segmenterade till "avdelningar" med två olika fall av geografisk upplösning. I fall ett är medelarealen 1 ha och i fall två är medelarealen 10 ha.

Resultaten från fallstudien visar att de finns en konflikt mellan grad av fragmentering av frivilliga avsättningar och nuvärde från framtida skogsskötsel. Men genom att acceptera en begränsad minskning av nuvärde kan stora förbättringar göras i termer av avsättningarnas geografiska läge. Analyserna visar även att möjligheterna ökar ytterligare att minska fragmenteringen om man använder sig av en mindre storlek på segmenten i planeringen. Detta förutsätter dock att man inkluderar den typen av hänsyn i den planeringsmodell man använder. Resultatet från studien visar även att det är extra viktigt att ta rumslig hänsyn när medelstorleken på avdelningarna är mindre. Om ingen rumslig hänsyn införs i planeringsmodellen utan man endast inkluderar ett krav på en viss mängd avsättning kommer modellen föreslå avdelningar för frivillig avsättning som leder till en hög grad av fragmentering. Vidare påvisar fallstudien att segmentering och tilldelning av data till segmenten kan ha inverkan på företeelser som skattning av arealer av habitat för arter i de fall då samma rastervisa data ligger bakom bildande av segmenten.

Nyckelord: areabaserad planering, beslutsstödsystem, heltäckande data, skoglig planering,

Förord

Arbetet med denna rapport har utförts inom Mistra Digital Forest, Task 1.4. och utgör leverabel 1.4.6.

Mistra Digital Forest finansieras av Mistra och deltagande parter. Forskningsprogrammets vision är att skapa digitala lösningar för en hållbar och effektiv skoglig bioekonomi. Programmet leds av Skogsindustrierna och programparter är BillerudKorsnäs, Holmen, SCA, Stora Enso, Sveaskog, Södra, SLU, IVL, Skogforsk, Umeå universitet samt KTH. Syftet med Task 1.4 är att utveckla metoder för långsiktig planering av skogsskötseln baserat på heltäckande data så att en hållbar och multifunktionell användning av skogsresursen säkerställs.

För mer information om Mistra Digital Forest, se www.mistradigitalforest.se.

För mer information gällande rapportens innehåll kontakta:

Karin Öhman, epost: karin.ohman@slu.se, telefon: 090-786 85 88,

Avdelningen för skoglig planering
Institutionen för skoglig resurshushållning
Sveriges lantbruksuniversitet (SLU)
901 83 UMEÅ
Besöksadress: Skogsmarksgränd

Innehållsförteckning

1. Introduktion.....	7
1.1. Syfte.....	9
2. Planeringsmodell.....	10
3. Fallstudie	14
3.1. Allmänt om försöksområdet.....	14
3.2. Segmentering	15
3.3. Beräkning av skogliga data för segmenten	16
3.4. Lösning av planeringsproblemet	17
3.4.1. Steg 1, generering av skötsel program.....	18
3.4.2. Steg 2, val av skötselprogram genom optimering	18
3.4.3. Utvärdering	20
4. Resultat.....	22
5. Diskussion.....	28
Referenser	30
Appendix	32

1. Introduktion

Det svenska skogslandskapet är en arena där många målsättningar ska uppfyllas. Skogen ska både producera massaved och timmer för att användas i industrin samtidigt som värden kopplade till t.ex. biologisk mångfald ska bevaras och utvecklas. Eftersom både målen kopplade till virkesproduktion och till naturvård påverkas av hur skogen brukas finns ett behov av modeller för långsiktig planering som möjliggör integrerade analyser. Genom att inkludera de båda målen i samma planeringsmodell ökar möjligheterna att hitta optimala skötselstrategier som ger en högre måluppfyllelse för biologisk mångfald till en än lägre kostnad för virkesproduktionen (Eyvindson et al. 2021). Ett exempel på ett viktigt instrument för att bl.a. nå etappmålen i miljömålssystemet är de frivilliga avsättningarna. Syftet med avsättningarna är att skydda arealer med produktiv skogsmark från vanligt skogsbruk för att långsiktigt bevara den biologiska mångfalden och andra miljövärden. Som namnet säger bygger frivilliga avsättningar på frivillighet hos skogsägaren att själv besluta om vilka områden som ska omfattas. Tanken är att undanta områden, helst sammanhängande, med produktiv skogsmark från åtgärder som kan skada naturvärden, kulturmiljövärden och/eller sociala värden. Eftersom markägaren själv kan välja vilka områden som ska avsättas och att val av områden påverkar såväl biologisk mångfald som virkesproduktion är de frivilliga avsättningarna ett bra exempel på en aspekt som bör analyseras i en integrerad planeringsmodell.

Traditionellt har sedan årtionden den långsiktiga planeringen vid de större skogsbolagen i Sverige utförts m.h.a. en stickprovsvis, stratabaserad ansats (Jacobsson 1986; Jacobsson & Jonsson 1991). I stratabaserad planering grupperas avdelningarna i ett antal strata baserat på t.ex. bestockning (virkesvolym per arealenhet) och ålder. Varje stratum representeras sedan i sin tur av ett antal avdelningar som väljs slumpmässigt (stickprovsvindelningar) inom stratomet. Men även om en stratabaserad ansats har fördelar har den dock flera nackdelar varav en av de främsta är att planeringen inte kan utföras geografiskt explicit (Daust & Nelson 1993). Eftersom många aspekter knutna till bevarande av biologisk mångfald förutsätter att även rumsliga aspekter beaktas i planeringsprocessen försvårar detta en integrerad planering av virkesproduktion och naturvård.

Ett alternativ till att använda sig av en stratabaserad ansats är att använda sig av en areabaserad ansats¹ i den långsiktiga planeringen. I en areabaserad ansats baseras planeringen på information från alla avdelningar som ingår i analysområdet. Planeringen baseras då på rumsligt heltäckande information där alla avdelningar har en unik geografisk plats och därmed blir avdelningen den enhet som optimeringsmodellerna och de kvantitativa analyserna baseras på (Nelson et al. 1991). Den stora fördelen med en areabaserad ansats är att planeringen kan utföras geografiskt explicit och därmed kan hänsyn tas till rumsliga samband i landskapet (Öhman et al. 2020). En areabaserad ansats gör det därför möjligt att ta ett tydligt landskapsperspektiv i planeringen. Bl.a. ger ansatsen förutsättningar för att förstärka t.ex. den gröna infrastrukturen i skogslandskapet genom att anpassa insatser för naturvården utifrån läge i landskapet.

En utmaning vid en areabaserad ansats är dock att det måste finnas tillgång till data som beskriver varje avdelning av tillräckligt hög kvalitet. Olika metoder för fjärranalys gör det möjligt att inhämta geografiskt heltäckande information om skogen och att även beskriva skogen i form av rasterceller, dvs. i betydligt mindre områden än de gängse avdelningarna i traditionella skogskartor. Det finns uppenbara fördelar med att nyttja rasterceller som underlag i den skogliga planeringen men det återstår forskning och metodutveckling för att göra det möjligt i praktiken. En anledning är att beskrivningsenheterna i form av rasterceller är för små för att i sig själva vara självständiga behandlingseinheter. Storleken på en traditionell avdelning är i dag mellan 1-10 hektar medan storleken på en rastercell kan vara så liten som ca. 0.01 hektar. För att hantera drivningskostnader för vägar, flytt av maskinlag, samt virkestransport behöver därför cellerna aggregeras till större åtgärdsenheter. Detta kan göras på åtminstone två sätt. I det första alternativet baseras planeringsmodellerna direkt på rastercellsbasead information utan föregående aggregering av rasterceller till segment. I denna ansats beaktas inte avdelningarna/åtgärdsenheterna som permanenta enheter för beskrivning, planering och skötsel. Åtgärdsenheterna skapas istället genom att kombinera rastercellerna till dynamiska åtgärdsenheter för genomförande av olika skötselåtgärder i en viss tidsperiod varefter de inte existerar (Wilhelmsson et al 2020). Ett annat alternativ är att före själva planeringsprocessen aggregera den rastercellsbaseade informationen till segment som kan fungera som åtgärdsenheter eller avdelningar med hjälp av automatiska segmenteringsalgoritmer (Pascual et al. 2019). En utmaning med detta alternativ är dock att antalet kombinationer för att aggregera rasterceller till avdelningar är närmast astronomiskt. Dessutom saknas kunskap huruvida storleken på åtgärdsenheterna påverkar resultatet när man löser det efterföljande planeringsproblemet.

¹ En areabaserad ansats i det här sammanhanget ska inte förväxlas med det som benämns areabaserad ansats för skattning av skogliga variabler baserat på t.ex. flygburen laserskanning.

1.1. Syfte

I denna rapport presenteras en areabaserad modell där planering av virkesproduktion och lokalisering av frivilliga avsättningar integreras i en och samma planeringsmodell. Genom att inkludera val av områden för frivillig avsättning i en traditionell modell för långsiktig planering så kan konflikten mellan skogsbruk för virkesproduktion och naturvård utvärderas och därmed kan kostnadseffektiva lösningar för naturvård identifieras.

Modellen har utvärderats i en fallstudie utförd på ett delområde av Mistra Digital Forests försöksområde utanför Sundsvall. I studien är den rastercellsbaseade informationen gällande initialt skogstillstånd segmenterade till ”avdelningar” med två olika fall av geografisk upplösning. I fall ett är medelarealen 1 ha och i fall två är medelarealen 10 ha. Syftet med detta är att undersöka om resultatet från att applicera den presenterade planeringsmodellen påverkas av medelstorleken på avdelningarna.

2. Planeringsmodell

Den planeringsmodell som ofta används i den långsiktiga planeringen bygger på att man för varje planeringsenhet i analysområdet, tex. avdelning eller provyta, först simulerar en mängd alternativa skötselprogram² med en beståndssimulator. Nästa steg är att med hjälp av en optimeringsteknik välja ett eller en kombination av skötselprogram för varje avdelning så att det mål som formulerats på innehavsnivå blir optimalt (maximerat eller minimerat) med hänsyn till de begränsningar som angetts (Pukkala 2019; Öhman et al. 2020).

Den planeringsmodell som presenteras och utvärderas i denna rapport bygger på den generella ansatsen och är dessutom anpassad för att kunna implementeras i Heureka-systemet och den metodik som i dag finns tillgänglig i systemet (Wikström et al. 2011)³. Planeringsmodellen har två syften. Det första syftet är att identifiera lämpliga områden för fri avsättning. Enligt Skogsstyrelsen är frivilliga avsättningar sammanhängande områden med höga naturvärden, kulturmiljövärden eller områden med betydelse för friluftsliv som markägaren avsätter frivilligt och utan ekonomisk ersättning. Detta har i vår modell tolkats som att fragmenteringen av avsatta områden ska minimeras givet att en viss areal ska avsättas samt att avsatta områden ska innehålla vissa kvaliteter. Fragmenteringen minimeras i modellen genom att den sammanlagda omkretsen på frivilliga avsättningar och redan befintliga reservat minimeras. Detta åstadkoms genom summan av omkretsen över alla avsatta avdelningar och reservat beräknas. Om två avdelningar som delar gräns avsätts minskas summan av avdelningarnas ursprungliga gränser med den dubbla längden på den gemensamma gränsen för att få omkretsen för de sammanslagna avdelningarna (Öhman & Wikström 2008). Det andra syftet med modellen är att bestämma en långsiktigt uthållig avverkningsnivå. Detta åstadkoms genom att identifiera vilka skötselprogram som ska kopplas till varje avdelning med målet att nuvärdet från framtida skötsel maximeras givet att avverkningsvolymen är jämn

² Ett skötselprogram definieras här som sekvens av skötselåtgärder för en planeringsenhet från period 1 till slutet av slutet av planeringshorisonten. Dessa åtgärder inkluderar t.ex. föryngring, gallring och slutavverkning. med en beståndssimulator (Jonsson et al. 1993; Bettinger et al. 2008).

³ Heureka-systemet är utvecklat vid SLU och möjliggör analyser och planeringsansatser för skogsbruk inriktat mot flera mål. Kort- och långsiktiga framskrivningar kan göras av t.ex. virkesproduktion, ekonomi, naturvård, rekreation och kolinlagring. Heureka-systemet består av fyra applikationer varav tre stycken hanterar skogens dynamik; BeståndsVis, PlanVis, och RegVis. Heureka-systemet består dessutom av ytterligare en applikation – PlanEval – vilken är avsedd för flermålsanalys där alternativa planer kan jämföras med avseende på olika nyttigheter, även om de inte mäts med samma måttstock, som t.ex. virkesproduktion, biodiversitet och rekreation.

över tid samt att det finns en viss areal avverkningsbar skog (kallas i det följande arealreserv, dvs. skog med ålder över lägsta tillåtna slutavverkningsålder enligt Skogsvårdslagen) utanför reservat och frivilliga avsättningar utöver vad modellen föreslår till avverkning i varje period.

Den matematiska formuleringen av modellen är enligt följande:

$$(1) \quad \text{Min } Z_1 = \sum_{i \in I} \sum_{j \in M_i} b_i x_{ij} - \sum_{il \in Y} 2s_{il} z_{il}$$

$$(2) \quad \text{Max } Z_2 = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} d_{ij} a_i x_{ij}$$

med hänsyn till att:

$$(3) \quad \sum_{j \in M_i} x_{ij} \geq z_{il} \quad \forall il \in Y$$

$$(4) \quad \sum_{j \in M_i} x_{ij} \geq z_{il} \quad \forall il \in Y$$

$$(5) \quad z_{il} \leq 1 \quad \forall il \in Y$$

$$(6) \quad \sum_{i \in I} \sum_{j \in O_i} a_i x_{ij} \geq \bar{G}$$

$$(7) \quad \sum_{i \in I} \sum_{j \in O_i} c_{ij} a_i x_{ij} \geq r \bar{G}$$

$$(8) \quad \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} k_{ijp} a_i x_{ij} \geq q \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} f_{ijp} a_i x_{ij} \quad \forall p \in P$$

$$(9) \quad \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} v_{ijp} a_i x_{ij} \geq 1 - h \frac{(\sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} v_{ijp} a_i x_{ij})}{P} \quad \forall p \in P$$

$$(10) \quad \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} v_{ijp} a_i x_{ij} \leq 1 + h \frac{(\sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} v_{ijp} a_i x_{ij})}{P} \quad \forall p \in P$$

$$(11) \quad x_{ij} = \{0,1\} \qquad \forall i \in I, \forall j \in J_i$$

Variabler

- x_{ij} = binär beslutsvariabel som tar värdet 1 om avdelning i kopplas till skötselprogram j
- z_{il} = indikatorvariabel som tar värdet 1 om både bestånd i och l kopplas till ett skötselprogram som innebär att avdelningen utgör en frivillig avsättning eller reservat p

Sets

- P = Set av perioder
- I = Set av avdelningar
- J_i = Set av skötselprogram för avdelning i
- Y = Set av grannpar (i,l) som delar en kantgräns
- M_i = Det set av skötselprogram som innebär frivilligavsättning eller reservat för avdelning i
- O_i = Det set av skötselprogram som innebär frivillig avsättning för avdelning i

Parametrar

- d_{ij} = nuvärde per hektar för avdelning i och skötselprogram j
- a_i = area för avdelning i
- V_{ijp} = avverkad volym per hektar för avdelning i , skötselprogram j och period p
- m_i = omkrets för avdelning i
- s_{il} = gemensam kantlängd mellan avdelning i och l
- c_{ij} = parameter som tar värdet 1 om avdelning i tilldelas ett skötselprogram j som innebär att avdelning i har vissa kvaliteter vid analysperiodens början
- k_{ijp} = parameter som tar värdet 1 om avdelning i tilldelas ett skötselprogram j som innebär att avdelningen i i period p leder till skog med ålder över lägsta tillåtna slutavverkningsålder
- f_{ijp} = parameter som tar värdet 1 om avdelning i tilldelas ett skötselprogram j som innebär att avdelningen i i period p slutavverkas
- \bar{G} = antal hektar frivilliga avsättningar som krävs
- q = kravet på arealreserv
- h = max variation i avverkningsvolym mellan en period och medelavverkningsvolymen över alla perioder.
- r = andel av frivilliga avsättningar som ska innehålla vissa kvaliteter.

Ekvation 1 uttrycker målet att minimera omkretsen på de frivilliga avsättningarna och reservaten. Ekvation 2 uttrycker målet att maximera nuvärdet från framtida skötsel. Ekvation 3-5 leder till att variabeln z_{il} tar värdet 1 om bägge avdelningarna i och l kopplas till ett skötselprogram som innebär reservat eller frivillig avsättning. Ekvation 6 uttrycker kravet på en viss mängd frivillig avsättning förutom redan befintliga reservat. Ekvation 7 uttrycker kravet att en viss andel av de frivilliga avsättningarna ska ha vissa kvaliteter. Ekvation 8 uttrycker arealreserven. Ekvation 9 och 10 uttrycker kravet att avverkningsvolymen inte får skilja från medelavverkningsvolymen över alla perioder mer än en viss andel. Slutligen, ekvation 11 uttrycker att en avdelning bara kan kopplas till ett skötselprogram.

3. Fallstudie

3.1. Allmänt om försöksområdet

För studien användes en del av Mistra Digital Forestry's försöksområde nordväst om Sundsvall som analysområde. Med hjälp av olika datorkällor – skogliga grunddata, SLU skogskarta, Riksskogstaxeringens ytor, markfuktighetskartan samt kartor över naturreservat och nyckelbiotop – sammanställdes information på rastercellnivå, med en upplösning av 12.5 x 12.5 m², se tabell 1.

Tabell 1. Datakällor för försöksområdet

Datakälla	Variabler
Skogliga grunddata	Grundtytevägd medeldiameter Grundyta Grundtytevägd medelhöjd Volym
SLU skogskarta (kNN) 2015	Trädslagsblandning Närmast motsvarande yta från Riksskogstaxeringen
Riksskogstaxeringen	Vegetationstyp, Ålder, SI
Annat	Markfuktighetskartan (SLU) Naturreservat, Nyckelbiotop, Avgränsning produktiv skog (NMD 2018)

I dagsläget är inte all information som behövs för att simulera skogsbruk i Heureka tillgänglig från heltäckande fjärranalysdata. Variabler som ofta saknas är vegetationstyp (markvegetation), ålder och SI. För att komma runt det har vi använt oss av Riksskogstaxeringens (RT) data. Information användes från den RT-yta som ligger närmast rastercellen i spektrala rummet vid framställning av SLU skogskarta (kNN-metoden).

3.2. Segmentering

Ett sätt att åstadkomma åtgärdsenheter som kan användas i den skogliga planeringen är att utnyttja automatiska segmenteringsalgoritmer för att aggregera rasterceller till att motsvara traditionella avdelningar. Utöver att dataunderlaget måste hålla rimlig kvalitet, måste två problem hanteras för att kunna använda en sådan. Det ena problemet består i att definiera vad som utgör grunden för beståndsindelning på basis av tillgängliga variabler som beskriver rasterelementen. Om man utgår från att målsättningen är att skapa bestånd som har så liten spridning inom respektive bestånd som möjligt har den definitionen naturligtvis stor betydelse. Det andra problemet är att ha tillgång till en stabil algoritm som medger att man kan styra beståndsegenskaperna vad gäller storlek och form samtidigt som den indelningsgrundande variabeln får en minimal spridning inom bestånden.

Det som här använts som mått på likhet inom ett bestånd är en kombination av grundyta, ålder, och andel av tall, gran, respektive löv. Kombinationen har tagits fram genom att beräkna s.k. principalkomponenter, dvs. nya variabler som en kombination av de ursprungliga som successivt ”absorberar” så mycket som möjligt av spridningen bland dem. Den första principalkomponenten användes, dvs. den som tar med sig mest spridning.

Aggregeringen bygger här på kombinationen av två aggregeringsmetoder. En första aggregering görs med en s.k. expansionsmetod, varefter en ytterligare finfördelning görs med en metod baserad på heltalsprogrammering, nedan kallad heltalsmetoden. Expansionsmetoden (Region growing i litteraturen) har i tillämpning visat sig fungera bra för landskap med grov textur, t.ex. i form av kvarlämnade trädgrupper. Den variant som använts här bygger på att man successivt slår ihop de två segment som är grannar och där skillnaden med avseende på beskrivande variabel (i det här fallet den första principalkomponenten) är minst. Efter sammanslagningen beräknas ett nytt medelvärde för det nya segmentet. Processen upprepas tills skillnaden mellan de två segment som mest liknar varandra överstiger en av användaren satt nivå. I starten utgör varje rastercell ett segment.

Ett problem med expansionsmetoden är att man inte har någon kontroll på den övre storleken på beståndet; det kan i princip bli lika stort som den sammanhängande skogen. För att hantera det problemet har det som här kallas heltalsmetoden använts. Den bygger på att, för ett sammanhängande område, generera en stor mängd potentiella bestånd. De potentiella bestånden kombineras

sedan med heltalsprogrammering (en optimeringsmetod) så att spridningen inom bestånd minimeras samtidigt som en rastecell hör till ett och endast ett bestånd.

För var och en av de två segmentsstorlekarna användes således först expansionsmetoden för att sedan utnyttja heltalsmetoden på de segment som var för stora enligt en av användaren satt gräns. Parametrarna för expansionsmetoden (implementeringen i QGIS) och för heltalsmetoden (implementerad i AIMMS med Gurobi som lösare) anpassades för att ge önskad medelstorlek.

Analysområdet areal uppgår till ca. 9500 ha varav ca. 350 ha reservat (tabell 3). Den del av området som utgör skog brukad för virkesproduktion samt potentiella frivilliga avsättningar delades upp i segment med syftet att skapa två olika dataset med olika medelstorlekar på de bildade avdelningarna, hädanefter även kallat segment: 1, respektive 10 ha. Inga segment fick understiga 0,5 ha, oberoende av medelsegmentstorlek. Delar av skogsmarken understigande 0,5 ha, och som inte kunde föras samman med större segment, avsattes för fri utveckling, dvs. oberoende av vad som senare med optimeringsmodellen avsattes till fri utveckling. Den del av området som i dag utgörs av reservat delades bara upp med en medelstorlek på 0.3 ha.

3.3. Beräkning av skogliga data för segmenten

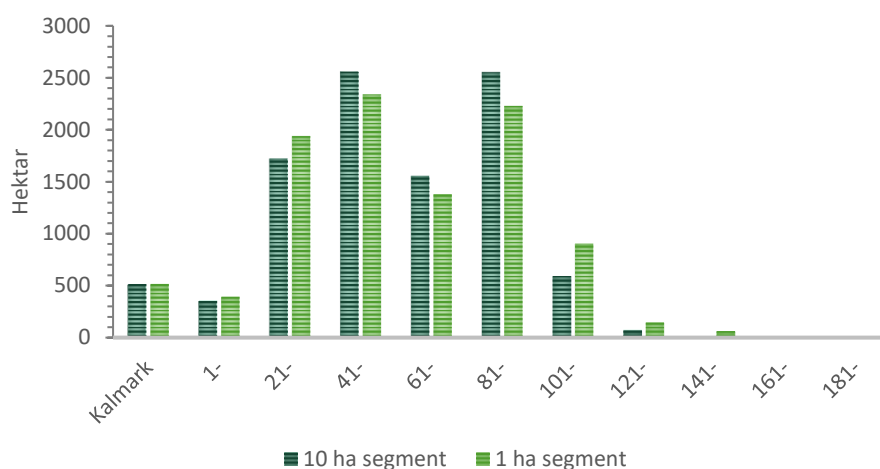
Efter skapandet av segmenten fyllde vi dessa med information från rastercellerna för att skapa ett initialt tillstånd för respektive dataset, se tabell 3 och figur 1. Detta gjordes genom att med olika metoder aggregera informationen från rastercellerna, så att det återstår bara ett värde per variabel per segment (se tabell 2).

Tabell 2: Metod för att aggregera skoglig data från rastercellnivå till segment. För datakällor se Tabell 1

Variabel	Aggregeringsmetod
ProdArea	sum
Volym	median
Höjd	median
Grundyta	median
Grundytevägd medeldiameter	median
Andel tall/gran/löv	mean
Altitud	mean
Östkordinat	first
Nordkordinat	first
Markfuktighetskod	majority
Medelålder	median
Vegetationstyp	majority
Ståndortsindex	majority
Bonitetsvisande trädslag	majority

Tabell 3: Beskrivning av initialtillstånd för respektive dataset

	10 ha segment	1 ha segment
Total areal	9955	9938
Areal befintliga reservat	357	342
Areal över lägsta slutavverkningsålder	3652	3743
Medel bonitet	4.72	4.63
Procent tallvolym	38	36
Procent granvolym	48	49
Procent lövvolym	15	15



Figur 1. Initial åldersklassfördelning för de båda segmentstorlekarna. 1 ha segmenten har mindre medelålders skog och istället mer ung och gammal skog jämfört med 10 ha segmenten.

3.4. Lösning av planeringsproblemet

För att lösa föreslagen planeringsmodell har Heureka-systemets⁴ PlanVis-applikation använts för respektive dataset. I PlanVis utförs analyser i två steg. I steg 1 genereras för varje avdelning ett antal potentiella skötselprogram med den inbyggda beståndssimulatorens. För varje skötselprogram simuleras trädskiktets utveckling, avverkningsvolym, intäkter och kostnader m.m. för varje period inom

⁴ Heureka-systemet är utvecklat vid SLU och möjliggör analyser och planeringsansatser för skogsbruk inriktat mot flera mål. Kort- och långsiktiga framskrivningar kan göras av t.ex. virkesproduktion, ekonomi, naturvård, rekreation och kolinlagring. Heureka-systemet består av fyra applikationer varav tre stycken hanterar skogens dynamik; BeståndsVis, PlanVis, och RegVis. Heureka-systemet består dessutom av ytterligare en applikation – PlanEval – vilken är avsedd för flermålsanalys där alternativa planer kan jämföras med avseende på olika nyttigheter, även om de inte mäts med samma måttstock, som t.ex. virkesproduktion, biodiversitet och rekreation.

planeringshorisonten. I studien sattes planeringshorisonten till 100 år uppdelad i 20 femårsperioder. Genom att definiera olika kontrollkategorier och koppla dessa kategorier till avdelningarna kan användaren styra vilka skötselprogram som ska genereras för vilka avdelningar och vilken typ av skötselstrategi dessa ska efterlikna. Nästa steg är att med hjälp av linjärprogrammering (LP) eller heltalsprogrammering (MIP, från engelskans mixed integer programming) välja vilka skötselprogram som ska appliceras för varje avdelning så att det mål som formulerats på analysområdesnivå optimeras (maximerat eller minimerat) med hänsyn till de begränsningar som angetts. Vilken metod som används beror på om modellen använder sig binära eller kontinuerliga beslutsvariabler. Oavsett metod måste dock mål och restriktioner formuleras med linjära funktioner. I PlanVis formuleras optimeringsproblemen m.h.a. av den optimeringsmodul som baseras på modelleringspråket ZIMPL (Koch 2005). Därefter används en extern lösare (tredje parts programvara, flera valbara i PlanVis) för att bestämma optimal lösning på optimeringsproblemet.

3.4.1. Steg 1, generering av skötsel program

Varje dataset delades in två olika kategorier (domäner i Heureka-termen). Den första kategorin utgjordes av befintliga reservat. För avdelningar i denna kategori genererades endast ett skötselprogram motsvarande att avdelningen lämnas till fri utveckling för all framtid, dvs. inga framtida åtgärder. Den andra kategorin utgjordes av övriga avdelningar. För dessa simulerades både ett skötselprogram för fri utveckling, samt en uppsättning skötselprogram motsvarande trakthyggesbruk med 0-3 gallringar samt slutavverkning upp till 30 år efter lägsta slutavverkningsålder enligt SVL. I genomsnitt genererades 5.65 skötselprogram för varje avdelning i datasetet med 10 ha segment och för datasetet med 1 ha segment i genomsnitt 7.07 skötselprogram. Dessa potentiella skötselprogram utgjorde de som optimeringsrutinen därefter kunde välja bland.

3.4.2. Steg 2, val av skötselprogram genom optimering

I steg 2 bestämdes optimalt skötselprogram för studieområdet för respektive dataset genom att använda optimeringsmodulen i Heureka PlanVis. I den föreslagna modellen finns två olika mål: minimera summa omkrets på de områden som föreslås till fri avsättning inklusive befintliga reservat samt att maximera nuvärdet av den framtida skötseln av övrig skog. För att hantera dessa två mål i optimeringen konverterades den föreslagna modellen till ett en-målsproblem – minimera summa omkrets av frivilliga avsättningar samt reservat – samtidigt som målet att maximera nuvärdet av virkesproduktion omfördes till en restriktion som kräver att nuvärdet ska vara en viss andel av ett potentiellt maximalt nuvärde.

$$(12) \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} d_{ij} a_i x_{ij} \geq e * Q$$

e = andel av potentiellt nuvärde som krävs

Q = Det potentiella nuvärde som erhålls om man maximerar nuvärdet med krav på en viss areal avsatt skog av en viss kvalitet men utan hänsyn till avsättningarnas geografiska läge samt krav på jämnhet och arealreserv.

Dvs. den optimeringsmodell som formulerades med Heureka's inbyggda optimeringsverktyg och löstes med Gurobi 9.1 omfattade ekvation 1 samt ekvation 3-12. För att analysera avvägningen mellan nuvärde och omkrets löstes optimeringsproblemet fem gånger för varje dataset med ökande krav på nuvärde (ekvation 12). I analyserna krävdes att minst 5 % ska utgöras av frivilliga avsättningar och att minst 80 % av dessa avsättningar ska vara över 80 år i början av analysperioden. Accepterad variation i avverkningsnivå sattes till högst 20 % och kravet på en arealreserv sattes till 2.5 i alla perioder⁵, se tabell 1.

För att analysera i vilken grad kvalitetskravet på de områden som väljs som frivilliga avsättningar påverkar resultatet upprepades analyserna utan kravet att en viss andel av de frivilliga avsättningarna ska vara över 80 år, i övrigt allt annat lika.

Tabell 4: Utförda analyser. I samtliga analyser sattes kravet på andel frivilliga avsättningar utanför befintliga resultat till 5 %, accepterad variation i avverkningsnivå mellan en period och medelavverkningsvolymen över alla perioder sattes till 20%, samt att en arealreserv på 2.5 krävdes i alla perioder⁵

Case	Medelsegmentstorlek i hektar	Krav på nuvärde	Krav på andel avsättningar med høgt biodiversitetsvärde
1a	1	90 %	80 %
1b	1	95 %	80 %
1c	1	98 %	80 %
1d	1	99 %	80 %
1e	1	99.9 %	80 %
10a	10	90 %	80 %
10b	10	95 %	80 %
10c	10	98 %	80 %
10d	10	99 %	80 %
10e	10	99.9 %	80 %
1a - Ref	1	90 %	0 %

⁵ Innebär att i varje period ska det finnas 2.5 gånger större areal över lägsta slutavverkningsålder än den areal som slutavverkas i perioden i fråga.

1b - Ref	1	95 %	0 %
1c - Ref	1	98 %	0 %
1d - Ref	1	99 %	0 %
1e - Ref	1	99.9 %	0 %
10a - Ref	10	90 %	0 %
10b - Ref	10	95 %	0 %
10c - Ref	10	98 %	0 %
10d - Ref	10	99 %	0 %
10e - Ref	10	99.9 %	0 %

3.4.3. Utvärdering

För att undersöka i vilken grad hänsyn till de frivilliga avsättningarnas geografiska placering påverkar mängden habitat för olika arter analyserades utfallen med Heurekas inbyggda verktyg för habitatmodellering⁶. En habitatmodell utgår från en viss arts behov av resurser för överlevnad och reproduktion och beräknar areal habitat med hänsyn till tillståndet i skogslandskapet och skogslandskapets struktur. En habitatmodell ger anger därför inte var olika arter finns utan identifierar i stället områden där det finns förutsättningar för aktuell art att överleva och reproduceras. Förutom möjligheten att definiera egna habitatmodeller finns habitatmodeller för följande arter fördefinierade i Heurekas habitatverktyg:

- lavskrika (*Perisorues infaustus*),
- järpe (*Bonasa bonasia*),
- mindre hackspett (*Dendrocopus minor*),
- violettbandad knäppare (*Harminius undulatus*),
- garnlav (*Alectoria sarmentosa*), och
- ekorre (*Sciuris vulgaris*).

Dessa habitatmodeller omfattar både arter som endast kräver ett visst tillstånd i ett bestånd för att det ska klassas som habitat men även arter som dessutom har krav på landskapsnivå. För varje art är de viktigaste begränsande skogliga variablerna identifierade och värderade avseende mängd med stöd av litteraturen och genom bedömningar av artexperter. För att möjliggöra att bestånd som inte uppfyller habitatkraven fullt ut fortfarande bidrar till arealen habitat kan bestånd få värdet 1, 0.5 eller 0. Total areal habitat är summan av antal hektar med habitatvärde 1 och antal hektar med habitatvärde 0.5 delat med 2 (effektiv yta). I denna studie har två olika arter använts. Den första arten är lavskrika, dvs en av de fördefinierade arterna

⁶ Se rasterbaserad modell (till skillnad från polygonbaserad) i Heurekas hjälpdokumentation: <https://www.heurekaslu.se/help/index.html?habitatmodels.htm>

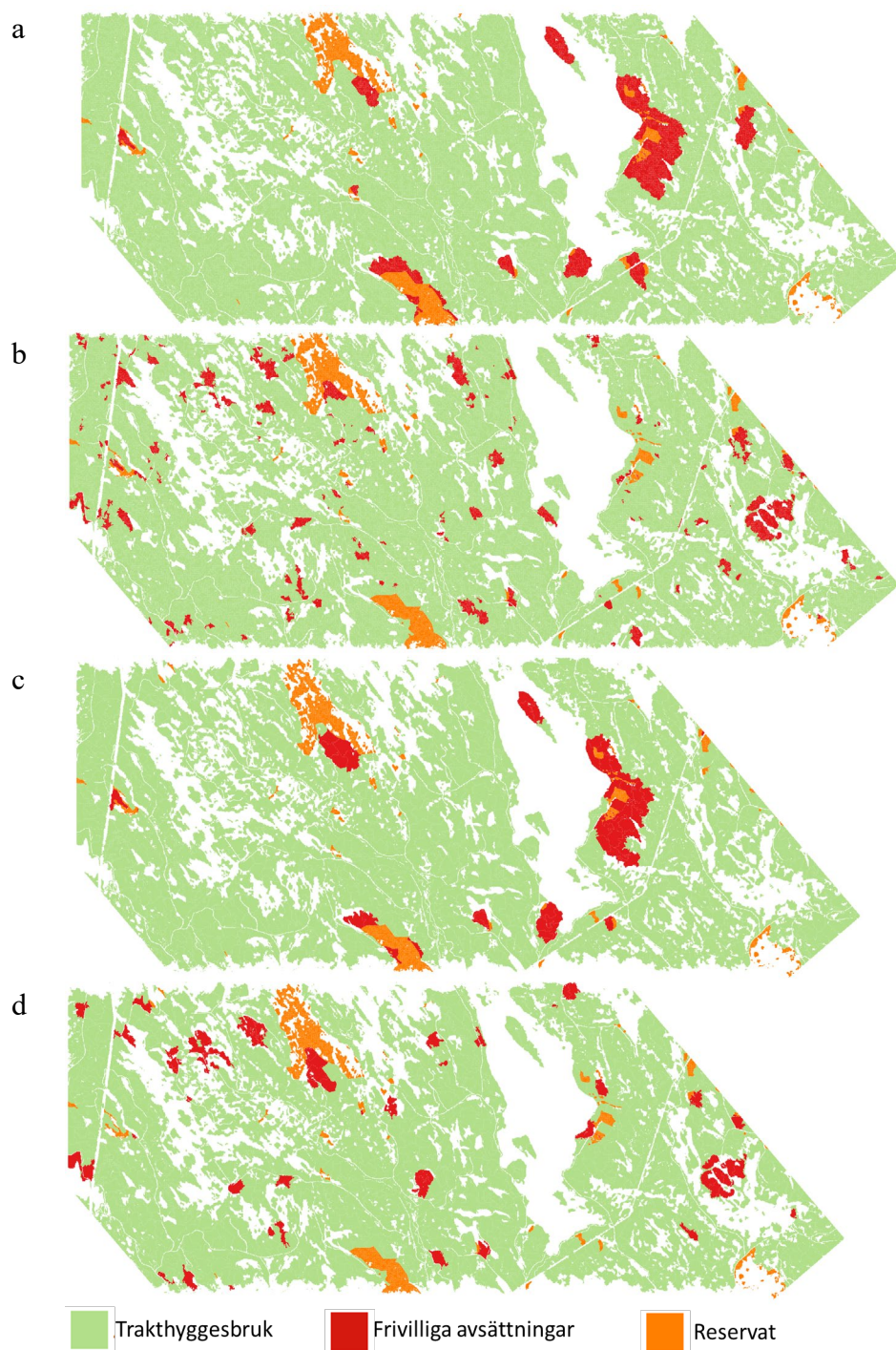
i Heurekas habitatverktyg. Dessutom har en fiktiv art definierats som representerar en art som kräver äldre skog och som har mycket höga landsskapskrav. Se tabell 5 för de båda arternas habitatkrav.

Tabell 5. De beståndsvisa kraven respektive de krav som definierats på landskapets struktur för lavskrika och den fiktiva arten

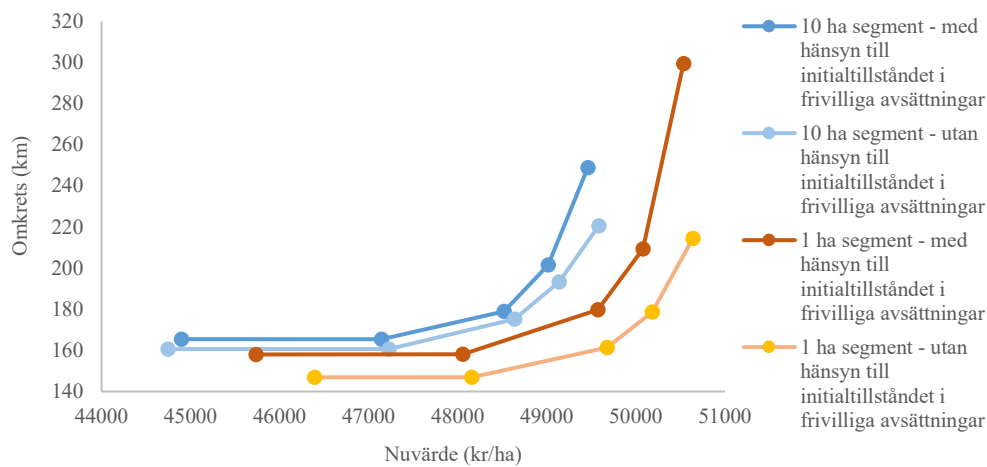
	Habitatvärde 1	Habitatvärde 0.5	Krav på landskapets struktur (för både habitatvärde 1 och 0.5)
<i>Lavskrika</i>	Beståndsålder ≥ 60 år Barrträdsvolym ≥ 70 % Granvolym ≥ 25 %	Beståndsålder $\geq 30-60$ år Barrträdsvolym ≥ 70 %	Minst 50 ha lämpligt habitat inom en 200 ha stor yta (dvs ett område motsvarande en cirkel med 798 meters radie)
<i>Fiktiv art</i>	Beståndsålder ≥ 80 år	Beståndsålder ≥ 60 år	Minst 60 ha lämpligt habitat inom en 100 ha stor yta (dvs ett område motsvarande en cirkel med 565 meters radie)

4. Resultat

Resultatet från analyserna visar att det är möjligt att använda föreslagen modell för att identifiera områden för frivillig avsättning där avsättningarna är aggregerade och identifiera en uthållig avverkningsnivå över tid, se figur 2. Genom att minimera den sammanlagda omkretsen för de områden som avsätts till frivilliga avsättningar och befintliga reservat strävar modellen efter att aggregera avsatta områden. Avsatta områden tenderar också att läggas i anslutning till befintliga reservat. Ökas kravet på ett visst nuvärde leder detta till att avsatta områden blir mer fragmenterade. Det finns alltså en konflikt mellan nuvärde och grad av fragmentering av de områden som väljs ut till frivilliga avsättningar, se figur 3. Genom att acceptera en marginell minskning av nuvärdet kan fragmenteringen av de områden som väljs till fri avsättning minskas markant. Minskas nuvärdet ytterligare så är effekten på aggregering av de frivilliga avsättningarna kraftigt avtagande. Resultatet från analyserna visar att det endast verkar vara marginella skillnader mellan hur liten grad av fragmentering som kan uppnås mellan de två olika segmentstorlekarna. Däremot med den mindre segmentstorleken blir de frivilliga avsättningarna än mer fragmenterade när man har ett mycket högt nuvärdeskrav och därmed inte tar med rumslig hänsyn i planeringsmodellen.

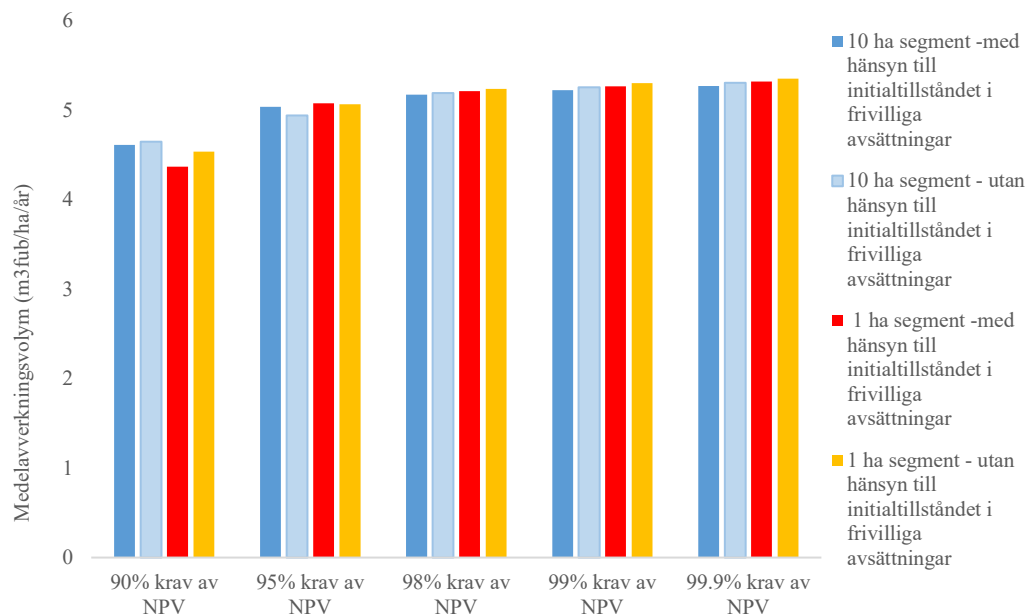


Figur 2. Reservatens och den frivilliga avsättningens placering med hänsyn till initialtillståndet i avsättningarna. Figur a = Case 1a (dvs segmentstorlek 1 ha och krav på nuvärde = 90 %), figur b = Case 1 e (dvs segmentstorlek 1 ha och krav på nuvärde = 99.9 %), figur c = Case 10 a (dvs segmentstorlek 10 ha och krav på nuvärde = 90 %) och figur d = Case 10 e (dvs segmentstorlek 10 ha och krav på nuvärde = 99.9 %). För de frivilliga avsättningarnas placering utan hänsyn till initialtillståndet för avsättningarna se appendix

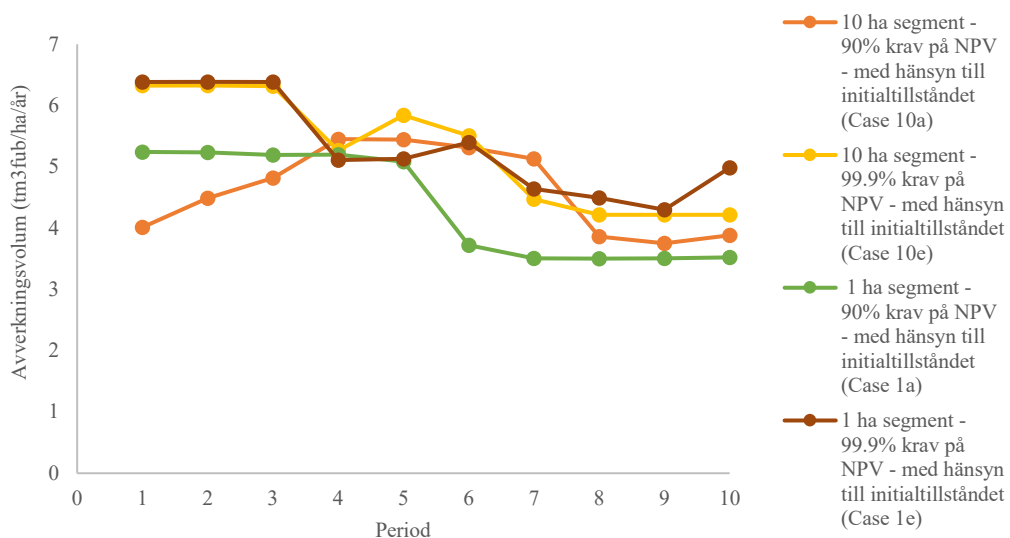


Figur 3. Trade off-kurvor som beskriver konflikten mellan den sammanlagda omkränsen på frivilliga avsättningar och nuvärde från framtida skogsskötsel. Punkterna från höger till vänster på varje linje representerar ett ökande krav på nuvärde, dvs punkterna längst till vänster på varje kurva är den analys som inkluderar ett krav på 99,9% av det maximala nuvärdet. Övriga punkter från höger till vänster på motsvarande sätt 99%, 98%, 95% och 90%. Observera att skalorna på x-axlarna inte börjar på noll.

Nuvärden beror av bland annat på avverkade volymer. Införandet av hänsyn till avsättningarnas geografiska placering påverkar därmed även avverkningsvolymer, både i termer av medelnivå över alla perioder och fördelning över tid, se figur 4 och 5.



Figur 4 Avverkningsvolym per hektar och år uttryckt i m³fub för respektive analys

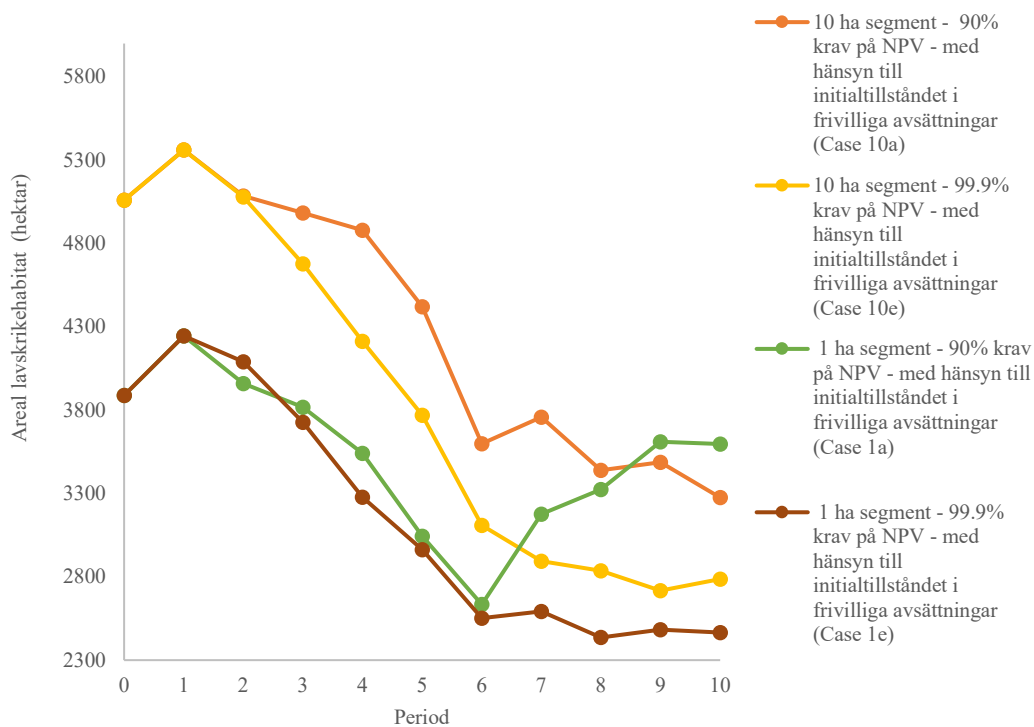


Figur 5 Avverkningsvolym per hektar och år av massaved och timmer för alla perioder för analyser med hänsyn till frivilliga avsättnings initialtillstånd. Case 1b-1d samt Case 10b-10d uppvisade liknande mönster som redovisade fall. Se appendix för analyser utan hänsyn till initialtillståndet.

Arealen lavskrikehabitat uppgick i utgångsläget i fallet 10 ha segment till ca 5100 ha, dvs över 50% av den totala arealen och till ca 3900 ha i fallet med 1 ha segment (se figur 6)⁷. Då samma rastervisa värden ligger bakom båda segmentstorlekarna är skillnad i initial habitatmängd en effekt av hur skogen beskrivs genom segmenteringen, bildande av medelvärden för segmenten och hur segment med lämpligt skogstillstånd därefter fördelas geografiskt i respektive fall. Mängden habitat påverkas inledningsvis inte alls av frivilliga avsättningar utan endast av skogstillståndet i utgångsläget. Lavskrikehabitat har inte högt krav på gammal skog utan baseras på medelålders och äldre barrskog varför 10 ha segmenten ofta fyller kraven (tabell 3). Habitatet ökar från utgångsläget till period 1 men minskar därefter i stora drag i samtliga fall utom för fallet 1 ha segment och 90 % NPV-krav. Efter att ha varit lika t.o.m. period 2 är arealen för 10 ha segmenten alltid större för fallet 90 % NPV-krav än för 99.9% NPV-krav. För 1 ha segmenten följs grovt sett samma utveckling för 90% och 99.9% NPV-krav fram till period 6. Därefter ökar arealen i fallet 90% NPV-krav medan arealen är i stort sett konstant för fallet 99.9% NPV-krav för perioderna 6 - 10.

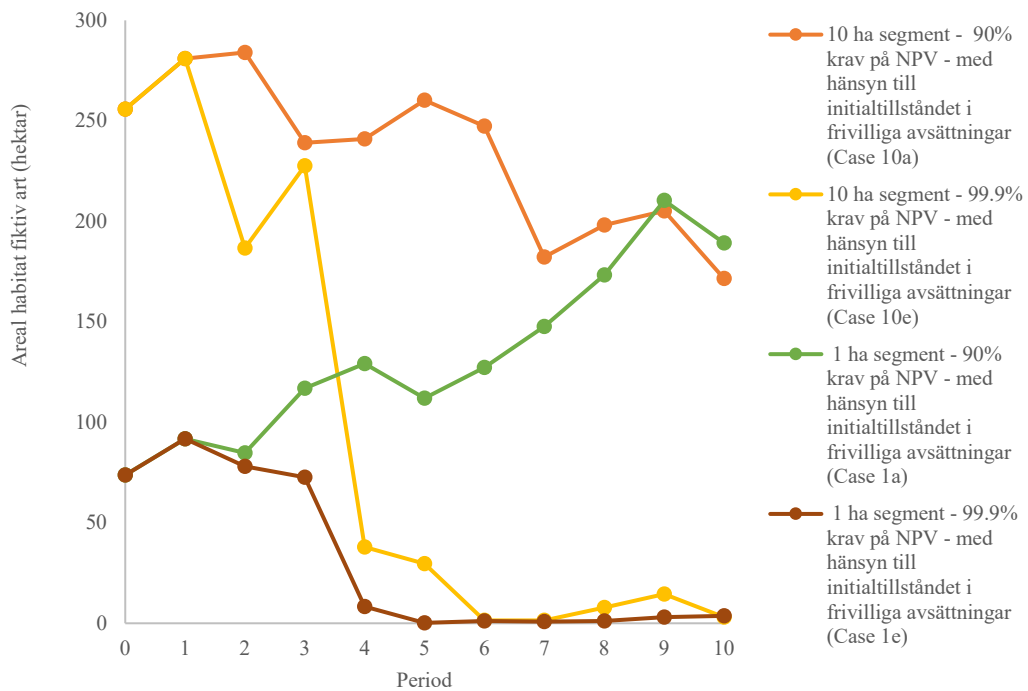
⁷ Areal lavskrikehabitat, i första perioden om man bortser från de landskapsvisa kraven dvs bara tar hänsyn till ålder och trädslag är 5700 ha för fallet med 10 segment och 5000 för fallet med 1 segment. Detta motsvarar en minskning med 10.5% respektive 22% när de landskapsvisa kraven inkluderas jämfört med när de inte inkluderas.

Den fiktiva arten har högre krav på äldre skog och betydligt högre krav på rumslig fördelning än lavskrikan (tabell 3). Tillgängligt habitat är därmed betydligt mindre för den fiktiva arten. Arealen habitat uppgick i utgångsläget i fallet 10 ha segment till ca 256 ha, dvs och till ca 74 ha i fallet med 1 ha segment se (figur 7)⁸. I både fallen med 10 ha och 1 ha segment är arealen habitat alltid större i fallen 90% NPV-krav än i fallet 99,9% NPV-krav för den fiktiva arten. För 99.9 % NPV-krav är arealen habitat noll eller nära noll för både 10 och 1 ha segmenten under senare halvan av planeringshorisonten. Den rumsliga allokeringen av frivilliga avsättningar är alltså avgörande om det finns habitat eller inte. Det innebär också att reservaten i fallen 99.9% NPV-krav inte lyckas bibehålla något habitat utan behöver förstärkning av intilliggande frivilliga avsättningar, som i fallet 90% NPV-krav. I fallet 1 ha segment och 90% NPV-krav ökar alltid – med några få undantag – arealen habitat från en period till nästa.



Figur 6 Areal lavskrikehabitat för alla perioder för analyser med hänsyn till initialtillståndet. Case 1b-1d samt Case 10b-10d uppvisade liknande mönster som redovisade fall. Se appendix för analyser utan hänsyn till initialtillståndet. Observera att skalan på Y axeln inte börjar på noll

⁸ Areal habitat för fiktiva arten i första perioden om man bortser från de landskapsvisa kraven, dvs. bara tar hänsyn till ålder och trädslag, är 4157 ha för fallet med 10 segment och 4132 ha för fallet med 1 ha segment. Detta motsvarar en minskning med hela 94% respektive 98% när de landskapsvisa kraven inkluderas jämfört med när de inte inkluderas.



Figur 7 Areal habitat för fiktiv art för alla perioder för analyser med hänsyn till initialtillståndet. Case 1b-1d samt Case 10b-10d uppvisade liknande mönster som redovisade fall. Se appendix för analyser utan hänsyn till initialtillståndet

5. Diskussion

I denna rapport presenterar vi en areabaserad modell som kan användas för att identifiera både vilka områden som ska utgöras av frivilliga avsättningar utifrån att man vill minska på fragmenteringen och lämplig skötselriktning för alla övriga avdelningar. På så vis kan en uthållig avverkningsnivå bestämmas samtidigt som man hittar vilka områden som är bäst att avsätta både ur naturvårdsperspektiv och ekonomiskt perspektiv. En av fördelarna med den presenterade modellen är att den kan lösas med en exakt optimeringsmetod. Detta är en stor fördel jämfört med att använda sig av en heuristisk metod för att lösa optimeringsproblemet. Genom att använda sig av en exakt metod slipper man från den i många fall problematiska parametreringen som är kopplade till i princip alla heuristiker. Dessutom så bygger existerande beslutsstödsystem för skogliga analyser, t.ex. Heureka-systemet i de flesta fall på att man använder sig av exakta metoder.

Resultaten från fallstudien visar att de finns en konflikt mellan grad av fragmentering och nuvärde från framtida skogsskötsel. Men genom att acceptera en begränsad minskning av nuvärde kan stora förbättringar göras i termer av avsättningarnas geografiska läge. Analyserna visar även att möjligheterna ökar ytterligare att minska fragmenteringen om man använder sig av en mindre storlek på segmenten i planeringen. Detta förutsätter dock att man inkluderar den typen av hänsyn i den planeringsmodell man använder. Resultatet från studien visar även att det är extra viktigt att ta rumslig hänsyn när medelstorleken på avdelningarna är mindre. Om ingen rumslig hänsyn införs i planeringsmodellen utan man endast inkluderar ett krav på en viss mängd avsättning kommer modellen föreslå avdelningar för frivillig avsättning som leder till en hög grad av fragmentering. Vidare påvisar fallstudien att segmentering och tilldelning av data till segmenten kan ha inverkan på företeelser som skattning av arealer av habitat för arter i de fall då samma rastervisa data ligger bakom bildande av segmenten. I studien var arealen lavskrikehabitat lägre för 1 ha segmenten än för 10 ha segmenten med några få undantag i alla perioder.

Även om resultaten från fallstudien verkar lovande finns några saker som bör beröras. För det första, i fallstudien var ett krav satt att 80% av arealen frivilliga avsättningar skulle utgöras av avdelningar över 80 år, inget ålderskrav var satt på den övriga arealen frivilliga avsättningar. Åldersgränsen 80 år var tänkt spegla skogar med högt värde ur naturvårdssynpunkt. Andra beståndsegenskaper vore

tänkbara, som t.ex. ett sammansatt index baserat på egenskaper som ålder, träslagblandning och mängden död ved (jfr. Lundström et al. 2016). Som alternativ till ett tröskelvärde – som ålderskravet 80 år i den genomförda studien – skulle en straffvikt kunna användas för skogar yngre än 80 år och där vikten stor i relation till åldern; ju yngre skog desto högre straffvikt, en straffvikt som möjligen i optimeringsmodellen kan läggas på kantlängden.

För det andra, som skogliga data för fallstudieområdet användes de nationella skogskartorna skogliga grunddata och SLU skogskarta. I dessa underlag saknas för ålder, SI och vegetationstyp vilket är variabler som krävs för Heureka-analyser. För dessa variabler användes en enkel ansats att tilldela RT-data. Data hämtades från den RT-yta som var närmast belägen varje rastercell i spektrala rummet vid framställningen av SLU skogskarta. För närvarande pågår försök att bland annat skatta SI på rastercellnivå baserat olika källor som bland annat kombinerar av fjärranalys- och fältinformation, ett arbete som pågår bland annat inom Mistra Digital Forests. Det är därför sannolikt att bättre information på rastercellnivå kommer att finnas än vad som användes i denna studie.

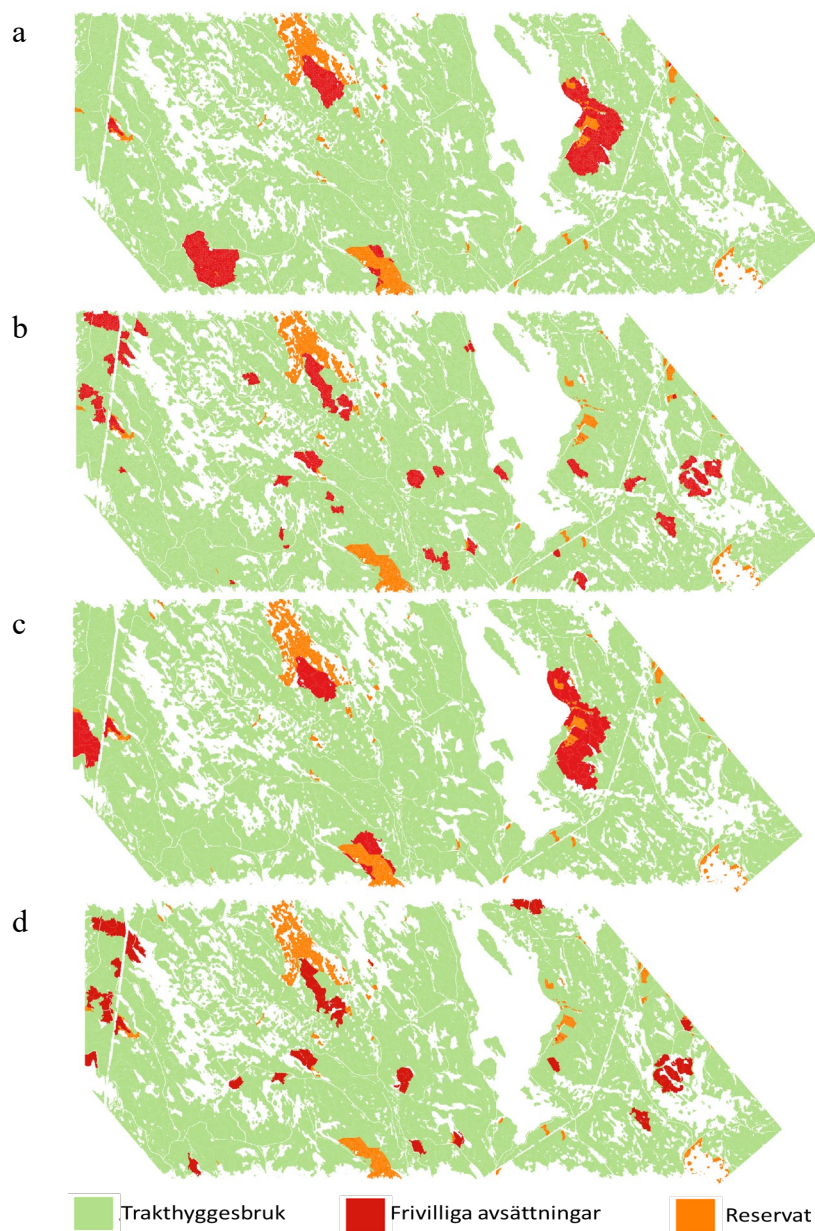
För det tredje, för aggregering av rasterceller till större enheter finns många olika ansatser och flera finns implementerade befintliga GIS. I denna studie användes en relativt ny metod, som i ett steg baserades på en optimerande ansats. Den använda ansatsen bör utvärderas och jämföras med andra ansatser, t.ex. i vilken mån former bildas som är mindre lämpade i skogsbrukssammanhang, som ”amöba-liknande” former (lång omkrets i förhållande till polygonens area).

Till sist, behovet av integrerade analyser av naturvård och virkesproduktion som kan visa på hur skogen ska skötas för att både mål kopplade till ekonomi och ekologi ökar allt mer. Samtidigt får vi tillgång till allt mer data som kan beskriva skogen allt mer detaljerat och avancerade beslutsstödsystem som kan hantera nya typer av frågeställningar jämfört med tidigare system. Före Heureka-systemets utveckling fanns inte något skogligt beslutsstödsystem i Sverige som kunde hantera rumsligt heltäckande information och problem som inkluderade rumsliga samband mellan avdelningar. Heureka kan i dag användas för strategisk planering med både stratabaserad och areabaserad ansatser. Sammantaget finns det i dag därför stora behov av och möjligheter till att använda sig av areabaserade integrerade ansatser i den långsiktiga skogliga planeringen. Den modell vi har presenterat i denna rapport är ett exempel på en sådan ansats och som möjliggör att en beslutsfattare kan göra avvägningar mellan ekonomi och naturvård.

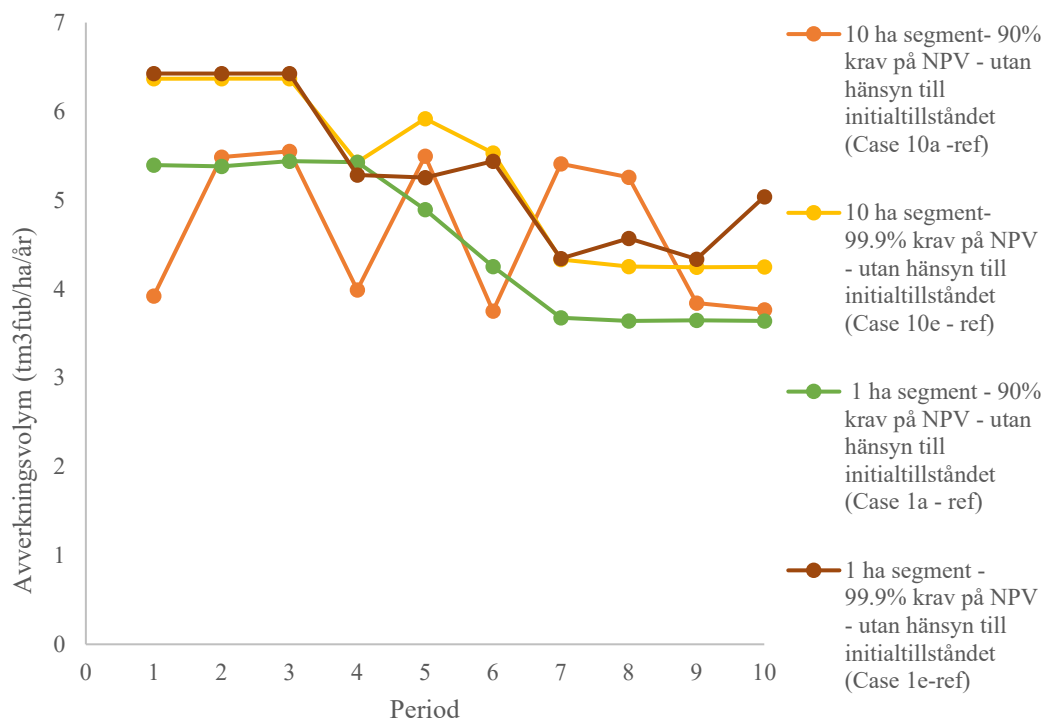
Referenser

- Bettinger, P., Boston, K. & Siry, J. (2008). *Forest Management and Planning*. Academic press. (1st Edition)
- Daust, D.K. & Nelson, J.D. (1993). Spatial Reduction Factors for Strata-Based Harvest Schedules. *Forest Science*, 39 (1), 152–165. <https://doi.org/10.1093/forestsience/39.1.152>
- Eyvindson, K., Duflot, R., Triviño, M., Blattert, C., Potterf, M. & Mönkkönen, M. (2021). High boreal forest multifunctionality requires continuous cover forestry as a dominant management. *Land Use Policy*, 100, 104918. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104918>
- Jacobsson, J. (1986). Optimization and data requirements - A forest management planning problem, Swedish University of Agricultural Sciences. Swedish University of Agricultural Sciences.
- Jacobsson, J. & Jonsson, B. (1991). The forest management planning package. Experience from applications. Umeå, Swedish University of Agricultural Sciences, Dept of Biometry and Forest Management. Swedish University of Agricultural Sciences, Dept of Biometry and Forest Management.
- Jonsson, B., Jacobsson, J. & Kallur, H. (1993). The Forest Management Planning Package. *Forestalia Suecica*, (189), 56
- KochRapid Mathematical Programming (PhD Thesis). Technische Universität Berlin, Berlin.
- Lundström, J., Öhman, K., Rönnqvist, M. & Gustafsson, L. (2016). Considering Future Potential Regarding Structural Diversity in Selection of Forest Reserves. *PloS One*, 11 (2), e0148960. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148960>
- Nelson, J., Brodie, J.D. & Sessions, J. (1991). Integrating Short-Term, Area-Based Logging Plans with Long-Term Harvest Schedules. *Forest Science*, 37 (1), 101–122. <https://doi.org/10.1093/forestsience/37.1.101>
- Pascual, A., Pukkala, T., de Miguel, S., Pesonen, A. & Packalen, P. (2019). Influence of size and shape of forest inventory units on the layout of harvest blocks in numerical forest planning. *European Journal of Forest Research*, 138 (1), 111–123. <https://doi.org/10.1007/s10342-018-1157-5>
- Pukkala, T. (2019). Using ALS raster data in forest planning. *Journal of Forestry Research*, 30 (5), 1581–1593. <https://doi.org/10.1007/s11676-019-00937-6>
- Wikström, P., Edenius, L., Elfving, B., Eriksson, L.O., Lämås, T., Sonesson, J., Öhman, K., Wallerman, J., Waller, C. & Klinteback, F. (2011). The Heureka forestry decision support system: an overview. *Mathematical and Computational Forestry and Natural Resources Sciences*, 3 (2), 87–94
- Wilhelmsson et al Dynamic treatment units in forest planning using cell proximity. 2020
- Öhman, K., Eggers, J., Eriksson, O., Ulvdal, P., Wilhelmsson, P. & Lämås, T. (2020). Strategisk skoglig planering – jämförelse mellan stratabaserade och areabaserade ansatser. (517). Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning,.
- Öhman, K. & Wikström, P. (2008). Incorporating aspects of habitat fragmentation into long-term forest planning using mixed integer programming. *Forest Ecology and Management*, 255 (3), 440–446. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.09.033>

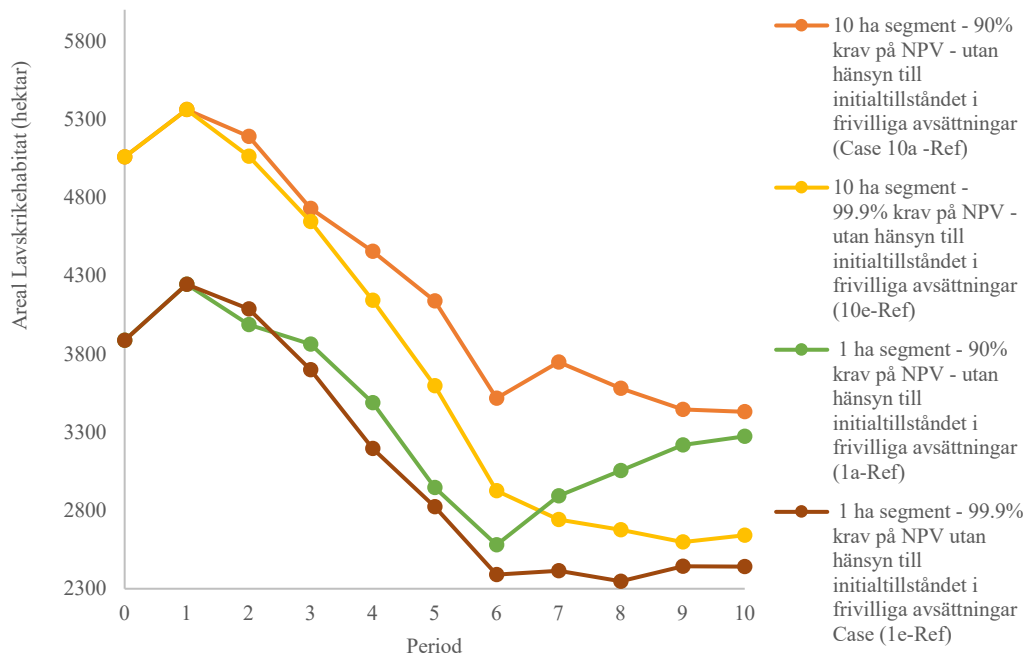
Appendix



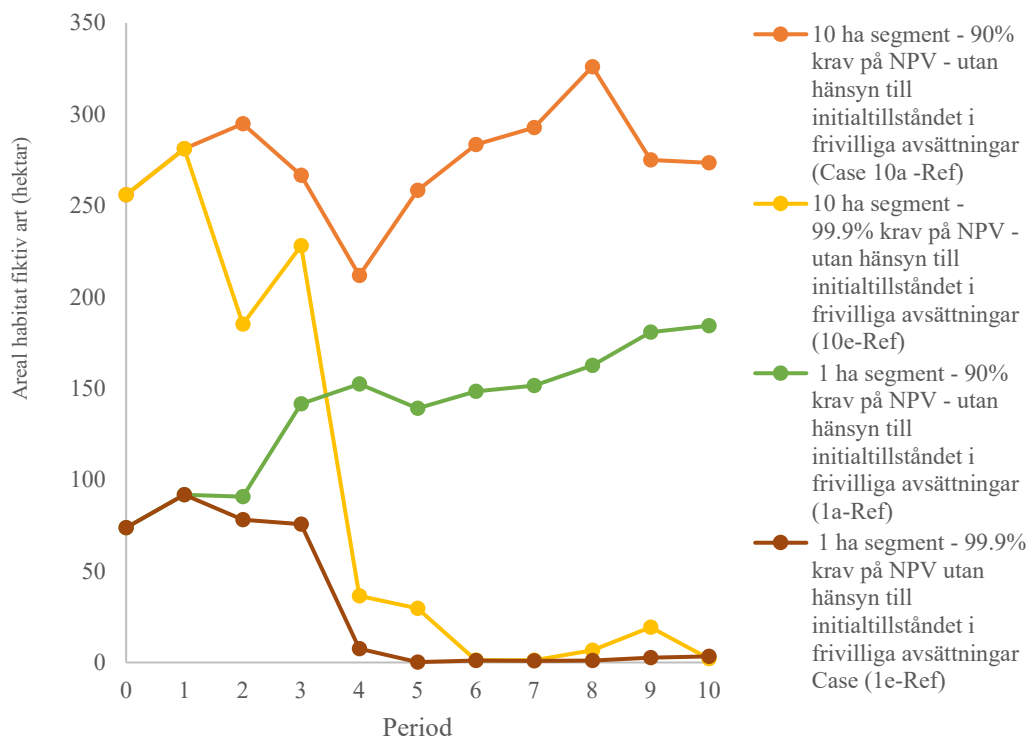
Figur 8 Reservatens och den frivilliga avsättningens placering utan hänsyn till initialtillståndet i avsättningarna. Figur 2a = Case 1a-ref (dvs segmentstorlek 1 ha och krav på nuvärde = 90 %), figur 2b = Case 1 e- ref (dvs segmentstorlek 1 ha och krav på nuvärde = 99.9 %), figur 2c = Case 10 a-ref (dvs segmentstorlek 10 ha och krav på nuvärde = 90 %) och figur 2d = Case 10 e-ref (dvs segmentstorlek 10 ha och krav på nuvärde = 99.9 %).



Figur 9 Avverkningsvolym från massaved och timmer per år och hektar för alla perioder för analyser utan hänsyn till initialtillståndet. Case 1b-ref till case 1d-ref samt Case 10b-ref till 10d-ref uppvisade liknande mönster som redovisade fall.



Figur 10 Areal lavskrikehabitat för alla perioder för analyser utan hänsyn till initialtillståndet. Case 1b-ref till case 1d-ref samt Case 10b-ref till 10d-ref uppvisade liknande mönster som redovisade fall.



Figur 12 Areal habitat för fiktiv art för alla perioder för analyser utan hänsyn till initialtillståndet. Case 1b-ref till case 1d-ref samt Case 10b-ref till 10d-ref uppvisade liknande mönster som redovisade fall.

