

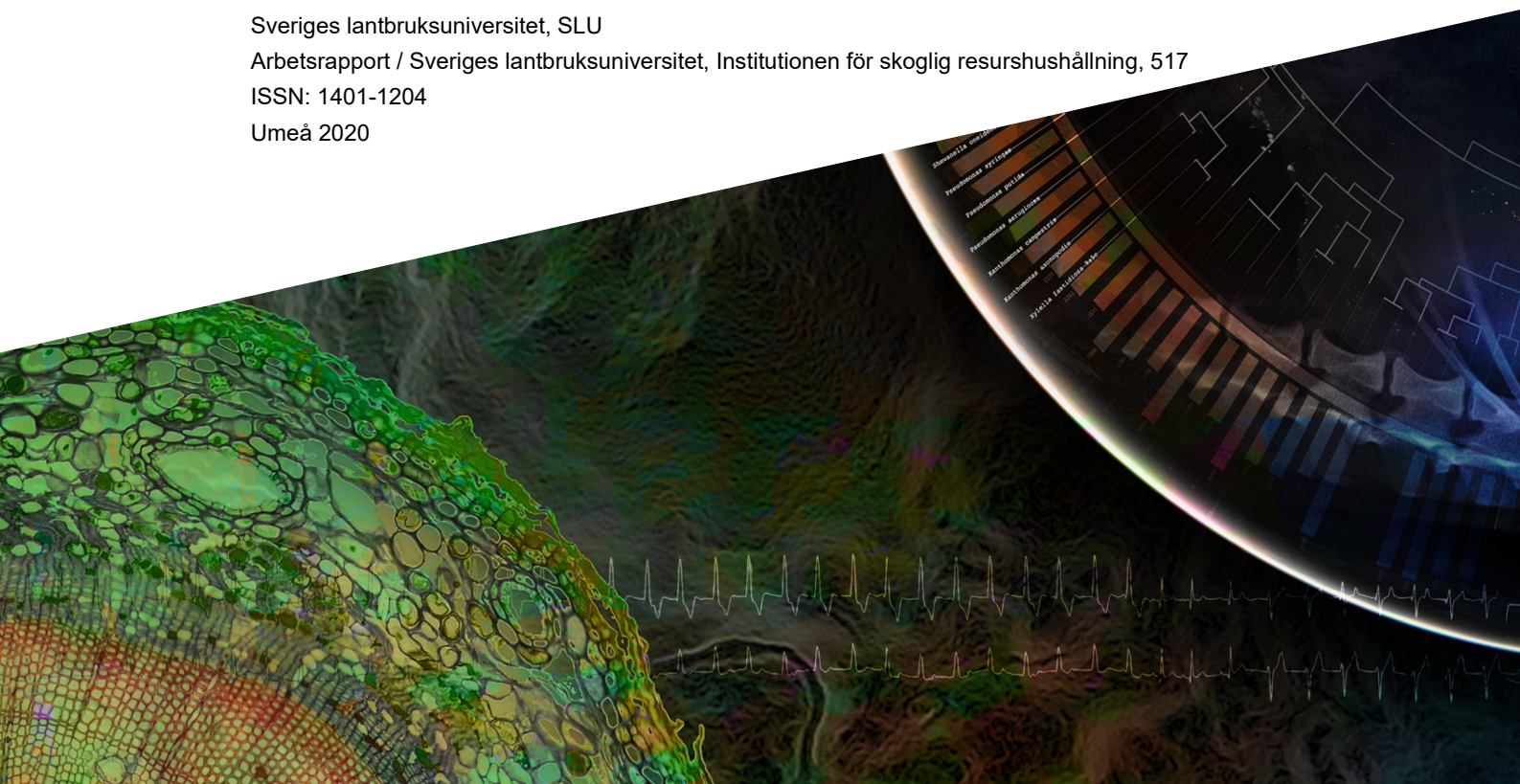


Strategisk skoglig planering

– jämförelse mellan stratabaserade och areabaserade ansatser

Karin Öhman, Jeannette Eggert, Ola Eriksson, Patrik Ulvdal,
Pär Wilhelmsson och Tomas Lämås

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Arbetsrapport / Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning, 517
ISSN: 1401-1204
Umeå 2020



Strategisk skoglig planering

– jämförelse mellan stratabaserade och areabaserade ansatser

Karin Öhman Sveriges lantbruksuniversitet, skoglig resurshushållning

Jeannette Eggers Sveriges lantbruksuniversitet, skoglig resurshushållning

Ola Eriksson Sveriges lantbruksuniversitet, skoglig resurshushållning

Patrik Ulvdal Sveriges lantbruksuniversitet, skoglig resurshushållning

Pär Wilhelmsson 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: 2020

Utgivningsort: Umeå

Illustration:

Serietitel: Arbetsrapport / Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning,

Delnummer i serien: 517

ISSN: 1401-1204

ISBN:

Nyckelord: Beslutsstöd, data, hållbarhet, långsiktig planering, optimering

Sammanfattning

I den strategiska skogliga planeringen utarbetas långsiktiga strategier för nyttjandet av skogsresursen, vilket kan inkludera hur avverkningspotentialen ska nyttjas över tid, val av föryngringsträdslag, samt inriktningen för miljö- och naturvård. Med andra ord så lägger strategisk planering grunden till ett hållbart brukande av skogen. Vid många av de större skogsbolagen i Sverige tillämpas sedan årtionden en stickprovsviss, stratabaserad ansats för den strategiska planeringen. Ett alternativ till den stratabaserade ansatsen är den areabaserade ansatsen, dvs. att i planeringsmodellen använda sig av information från alla avdelningar. Den areabaserade ansatsen har många fördelar, t.ex. att planeringen blir rumsligt explicit vilket möjliggör beaktande av en mängd aspekter kopplade till långsiktig hållbarhet. Trots detta används i dagsläget den areabaserade ansatsen endast i begränsad omfattning. I denna rapport beskriver vi strategisk planering med en strata- respektive areabaserad ansats. Vi går också igenom respektive ansats fördelar och utmaningar. Utgångspunkten i rapporten är skoglig planering för större skogsinnehav (tiotusentals ha till miljontals ha) med stöd av beslutsstödssystem som inkluderar optimeringsmetoder för att formulera och lösa det strategiska planeringsproblemet.

Nyckelord: Beslutsstöd, data, hållbarhet, långsiktig planering, optimering

Förord

Arbetet med denna rapport har utförts inom Mistra Digital Forest, Task 1.4. och utgör leverabel 1.4.2.

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 eller

Tomas Lämås, epost: tomas.lamas@slu.se, telefon: 090-786 84 05

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



Innehållsförteckning

Förkortningar	6
1. Skoglig planering	7
2. Strategisk planering	12
2.1. Stratabaserad planering	13
2.1.1. Strategisk, stratabaserad planering i Sverige	13
2.1.2. Fördelar med en stratabaserad ansats	14
2.1.3. Utmaningar vid en stratabaserad ansats	15
2.2. Areabaserad planering	17
2.2.1. Fördelar med en areabaserad ansats	17
2.2.2. Utmaningar vid en areabaserad ansats	19
3. Nya ansatser för strategisk planering	22
4. Sammanfattning och slutsats	25
Referenser.....	28

Förkortningar

AVB	Avverkningsberäkning
DSS	Beslutsstödsystem
HM	Heuristisk metod
IP	Indelningspaketet
LP	Linjär programmering
MIP	Heltalsprogrammering
Ha	Hektar

1. Skoglig planering

Planering av en skoglig verksamhet skiljer sig i grunden inte från planering av andra verksamheter. Som annan planering ska den skogliga planeringen ge beslutsfattaren information så att denne kan bestämma bästa möjliga handlingsplan utifrån målet med verksamheten samt alla givna möjligheter och förutsättningar. Det är dock några saker som utmärker skoglig planering. *För det första* är det inte ovanligt att det finns många mål med skogsbruket som dessutom ofta står i konflikt med varandra. En markägare kan t.ex. vara intresserad av att öka produktionen av råvara för industrin samtidigt som både den biologiska mångfalden bevaras och att fastigheten ger stora möjligheter till jakt. *För det andra* så kompliceras den skogliga planering av den komplexitet som finns i det skogliga ekosystemet p.g.a. många interagerande processer, stora områden, otillräckliga data o.s.v. För den skogliga planeringen är det därför ofta en hög grad av osäkerhet i skattningar av framtida ekonomiska och ekologiska värden. *För det tredje* så kan skogen skötas på en mängd olika sätt, vilket ger upphov till en enorm mängd handlingsalternativ även för en enskild fastighet. *Slutligen*; skoglig planering kräver i många fall en mycket lång planeringshorisont för att beskriva det aktuella problemet. Man kan här jämföra med jordbruket som sår och skördar inom ett enskilt år. I skogsbruket kan det ta upp till 100 år mellan sådd och skörd, beroende på skogsmarkens produktionsförmåga. Detta leder till att planeringen blir än mer komplex och att händelser kommer att inträffa som inte är förutsägbara.

På grund av denna komplexitet samt av organisatoriska orsaker är den skogliga planeringen vanligen uppdelad i en hierarkisk struktur innefattande strategisk¹, taktisk och operativ planering (Davis & Martell 2013, Söderholm 2002; Church 2007; Epstein et al. 2007; Gunn 2007; Eriksson 2008; Bettinger et al. 2008). Den strategiska nivån rör långsiktiga strategier för nyttjandet av skogsresursen, som t.ex. hur avverkningspotentialen ska nyttjas över tid; avverka mer idag och mindre i morgon eller omvänt? Val av trädslag i förnyring och inriktningen för miljö- och naturvård är andra exempel. Tidsmässigt betraktas vanligen en omloppstid, dvs.

¹ I texten används termen strategisk planering. Termen syftar då inte på frågor av t.ex. karaktären vilken typ av organisation man vill vara eller vilken företagskultur som ska råda på företaget utan här avses endast planering av skogsresursen under mycket lång sikt, normalt minst en omloppstid. Denna typ av planering går vid många skogsbolag ofta under namnet långsiktig planering.

storleksordningen 100 år. Utfallet nära i tiden är centralt men samtidigt fås en bild av konsekvenserna på lång sikt. Resultatet från den strategiska planeringen, t.ex. årliga avverkningsnivåer och dess fördelning på t.ex. trädslag och sortiment (timmer och massaved) förs över till den taktiska planeringen, som ofta innefattar en tidshorisont av fem till tio år. I den taktiska planeringen beaktas aspekter som tillgänglighet via vägar, vilken säsong en avdelning kan drivas pga. markförhållande och geografisk koncentration av åtgärder för att minska flyttkostnader och vägöppningskostnader. Potentiella områden för åtgärd besöks i fält då t.ex. avlägg, basvägar och naturvårdshänsyn planeras. Den taktiska planeringen resulterar i avverkningstrakter (en eller flera avdelningar) i en så kallad traktbank. I den operativa planeringen, som har en tidshorisont av ett halvt till ett år schemaläggs trakterna med avseende på bland annat tid för utförande och fördelning på avverkningslag.

Den enhet som traditionellt används i skoglig planering för att beskriva skogen och som används för avgränsning vid genomförande av åtgärder om avverkning och skogsvård utgörs av geografiskt avgränsade avdelningar² i storleksordningen ett till 10 ha (Ståhl 1992). En avdelning kan definieras som ett avsnitt av skog som är någorlunda homogen vad avser trädskiktet (trädslag, ålder, trädhöjd, etc.), ståndortsegenskaper (bördighet, markslag, markfuktighet, etc.) och drivningsförhållanden (grundförhållanden, ytstruktur, lutning, etc.) Frånsett faktorer som rör drivningsförhållanden är avdelningsbegreppet snarlikt begreppet bestånd inom ekologin. I praktiken används dock ofta begreppen bestånd och avdelning synonymt. Vid skogsföretagen är information om avdelningarna vanligen samlade i ett avdelningsregister, som innehåller data om t.ex. det aktuella trädskiktet och ståndorten för varje avdelning. Till avdelningsregistret länkas en skogskarta med polygoner som beskriver avdelningarnas geografiska utbredning.

Om man i planeringen använder information från alla avdelningar i planeringsprocessen, dvs. rumsligt heltäckande information används begreppet areabaserad planering (Nelson *et al.* 1991). Ett alternativ till en areabaserad ansats är att använda en ansats där endast aggregerad information eller stickprovsbaserad information om skogen används. Både aggregeringen och stickprovssurvalet baseras då på stratifiering av informationen och följaktligen talar man då om stratabaserad planering (Jacobsson 1986; Jonsson *et al.* 1993; Davis *et al.* 2001).

Vid de större skogsbolagen i Sverige tillämpas sedan årtionden en stickprovssvis, stratabaserad ansats för den strategiska planeringen (Jacobsson 1986; Jacobsson & Jonsson 1991). Orsaken till detta är bl.a. att när processen för den strategiska planeringen etablerades så var datorkapaciteten mycket begränsad. Det var även

² Se faktaruta "Traditionella skogliga data och avdelningsbegreppet"

dyrt och svårt att erhålla rumsligt heltäckande data av hög kvalitet som kunde användas i den strategiska planeringen för större områden. Därför var dåtidens beslutsstödsystem³ främst utvecklade för en stratabaserad ansats. I dag ser dock situationen annorlunda ut. Beräkningskapaciteten på datorerna ökar för varje dag och nya möjligheter att inhämta information om skogen, t.ex. med hjälp av fjärranalys, har på senare tid revolutionerat skogsbrukets möjligheter att beskriva skogen med geografiskt heltäckande data. I dag finns dessutom tillgång till andra beslutsstödsystem med annan uppbyggnad och funktionalitet. Ett sådant är Heureka-systemet⁴ som hanterar en större palett av frågeställningar jämfört med tidigare system. Dessutom kan systemet tillämpa optimeringsmetoder som även kan hantera en areabaserad ansats (Wikstrom *et al.* 2011; Eggert & Öhman 2020).

I denna rapport beskriver vi strategisk planering med en strata- respektive areabaserad ansats. Vi går också igenom respektive ansats fördelar och utmaningar. Utgångspunkten i redogörelsen är skoglig planering för större skogsinnehav (tiotusentals ha till miljontals ha) med stöd av beslutsstödsystem baserat på optimeringsmetoder för att formulera och lösa det strategiska planeringsproblemet. I rapporten används begreppet areabaserad planering i betydelsen att planeringen baseras på information från alla avdelningar som ingår i analysområdet, dvs planeringen baseras på rumsligt heltäckande information där alla avdelningar har en unik geografisk plats (Nelson *et al.* 1991). Först beskrivs strategisk planering ur ett generellt perspektiv. Därefter beskrivs strategisk planering med en stratabaserad ansats. Speciellt beaktas hur denna ansats har tillämpats i Sverige, dess fördelar och vilka utmaningar som finns. Sedan beskrivs strategisk planering med en areabaserad ansats. De rumsliga aspekter som bör beaktas och vad de medför vid en sådan planering beskrivs särskilt. Därefter beskrivs nya ansatser för skoglig planering baserat på dagens möjligheter att samla in skoglig information. Till sist ges en uppsummering och slutsatser över för- och nackdelar med strata- respektive areabaserad planering.

³ Se faktaruta "Beslutsstödsystem" för mer information kring vad ett beslutsstödsystem är.

⁴ Se faktaruta "Heureka" för mer information kring systemet.

Faktaruta: Traditionell skoglig information och avdelningsbegreppet:

Den skogliga informationen har under lång tid varit kopplad till avdelningsbegreppet; en skogskarta som visar de olika avdelningarnas utbredning och tillhörande avdelningsregister innehållande information om varje avdelning, se figur 2. Inom storskogsbruket förnyades tidigare, med viss tids mellanrum, skogskarta och avdelningsregister, så kallad nyindelning. Denna utfördes typiskt genom att avdelningarna delades in på förhand med hjälp av analog flygbildstolkning. Vissa attribut registrerades även med ledning av flygbilderna, som t.ex. trädhöjd, slutenhet och virkesvolym. Därefter följde en fältinventering då avdelningsgränser fastställdes och flygbildstolkade attribut justerades och ytterligare attribut registrerades. SCA torde vara den sista stora aktör att genomföra en storskalig nyindelning av sitt skogsinnehav. Under 1992-1992 nyindelades all mark med skog äldre än ca. 30 år. Den totala arealen uppgick till 1 Mha. Efter nyindelningen uppgick avdelningarnas medelareal till 7 ha mot tidigare 35 ha⁵. Vid alla större skogsbolag justeras numera informationen i skogskarta och avdelningsregister löpande varför storskaliga nyindelningar torde höra till historien.

Faktaruta: Beslutsstödsystem

Det finns i dag en rad olika definitioner på vad ett beslutsstödsystem (DSS) är. Det kan vara alltifrån mycket enkla definitioner som att *"det ska hjälpa någon att fatta beslut"* till mer omfattande definitioner som t.ex. *"det är datorprogram som besvarar frågor från användaren genom att dra slutsatser baserade på målsättningar, en samling regler och i förväg lagrade fakta"* eller att det är *"programvaror och lösningar som används för att samla in, ge tillgång till, konsolidera, analysera och rapportera en organisations data"*. Gemensamt för många av dessa definitioner är att det är system som (1) är datorbaserade, (2) ska stödja beslutsfattande, (3) baseras på analytiska metoder och som (4) presenterar resultat effektivt och lättillgängligt. Den definition som vi utgår från i denna rapport är att ett skogligt DSS är ett "datorbaserat system som med hjälp av modeller för att beskriva skogens framtida utveckling och dess produktion av ekosystemtjänster samt utifrån antaganden om t.ex. skogsskötsel och prisutveckling kan stödja beslutsfattande genom att svara på olika frågor." Exempel på frågor är: Hur ska skogen skötas för att vi ska säkerställa en långsiktigt hållbar avverkningsnivå? och Kan vi öka hänsynen till biologisk mångfald utan att sänka avverkningsnivån?

⁵ Magnus Larsson, Magnus Larsson Consulting, tidigare SCA, 2020-05-08

Faktaruta: Heureka

Ett av det mest använda beslutsstödsystem som i dag finns tillgängligt för svenskt skogsbruk är Heurekasystemet (Wikström et al. 2011, se även www.slu.se/heureka). Heurekasystemet 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. Programvarorna kan tillämpas på allt från det enskilda beståndet och fastigheter till hela landskap eller regioner. Heurekasystemet används idag av alla stora skogsbolag, många privata markägare och av myndigheter t.ex. i Skogsstyrelsens skogliga konsekvensanalyser (Claesson et al. 2015) Det har dessutom ingått i över 60 studier som resulterat i vetenskapliga artiklar (se www.slu.se/SHa och Publikationer). Heureka ingår också i flera moment i undervisningen vid SLU.

Heurekasystemet består av fyra programvaror varav tre hanterar skogens dynamik. Dessa tre: BeståndsVis, PlanVis, och RegVis har en gemensam kärna av modeller för framskrivning av skogens tillstånd samt modeller som beskriver skogsvårdsaktiviteter, avverkningar och därtill hörande intäkter och kostnader. BeståndsVis är en interaktiv simulator för analyser av enskilda bestånds utveckling och skötsel. PlanVis är avsedd för analyser av olika handlingsalternativ och för att söka bra lösningar utifrån definierade målsättningar, och baseras därmed på en optimerande ansats. RegVis används för att analysera vad som händer med skogen givet hur skogen brukas. RegVis har en simulerande ansats där användare styr skötseln genom regelverk för t.ex. olika skogstyper och markägare. RegVis kan, liksom PlanVis, användas på olika geografiska skalor, från en enskild fastighet till regional och nationell nivå. Heurekasystemet består dessutom av ytterligare en programvara – 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. Genom en strukturerad process kan användare jämföra utfallet av olika planer och rangordna planerna utefter vilken som ger högst övergripande måluppfyllelse.

Sedan 2011 ansvarar programmet för skogliga hållbarhetsanalyser (SHa) vid institutionen för skoglig resurshushållning vid SLU för Heurekasystemets förvaltning. Sedan 2013 finns en överenskommelse mellan tolv parter: myndigheter, företag och organisationer, att gemensamt svara för finansieringen av förvaltningen. Därmed finns en bas för förvaltningen och för viss vidareutveckling av systemet. Ytterligare funktionalitet läggs löpande in i systemet på uppdrag av olika forskningsprojekt eller andra beställare.

2. Strategisk planering

Den strategiska planeringen kan sägas lägga grunden till ett uthålligt brukande av skogen och utförs vanligen med ca 10 års intervall (Söderholm 2002, Eriksson 2008). Den första typen av analyser som vanligen görs i den strategiska planeringen, men som ibland inte uppfattas som varandes skoglig planering, avser fastställandet av olika skötselpolicyer. En sådan rör t.ex. regler och rekommendationer för skogsvård, ibland sammanfattad i en skogsvårdshandbok. Här anges till exempel lämpliga föryngringsmetoder och prioriteringsregler för gallring och slutavverkning. Den andra typen av analyser i den strategiska planeringen avser en kvantitativ analys av framtida avverkning och skogsvård inklusive effekterna av åtaganden för naturvård. Här är analys av avverkningsvolym över tiden en central del. Med skogstillståndet som utgångspunkt görs framskrivningar av tillståndet där olika skötselstrategier och målsättningar prövas. De aspekter som bedöms är naturligtvis ekonomiska och produktionsmässiga, men också sådana som berör miljötillstånd och – där sådana hänsyn behöver tas – sociala aspekter. Från lösningarna härleder man total avverkningsnivå tillsammans med t.ex. uppgifter om mängden slutavverkning och gallring, fördelningen på olika typer samt omfattningen av skogsvård.

Den grundläggande planeringsmodell som har utvecklats för att göra en kvantitativ analys i den strategiska planeringen bygger på att man för varje planeringsenhet (t.ex. stratum, avdelning eller provyta) i analysområdet först simulerar ett antal skötselprogram⁶ med en beståndssimulator (Jonsson *et al.* 1993; Bettinger *et al.* 2008). Nästa steg är att med hjälp av en optimeringsteknik välja ett skötselprogram för varje enhet så att det mål som formulerats på innehavsnivå blir maximerat (eller minimerat) med hänsyn till de begränsningar som finns. Tre anledningar till att denna ansats har använts för att göra kvantitativa analyser av strategiska planeringsproblem är: 1) Den tidsödande simuleringen behöver inte upprepas för varje möjlig kombination av skötselprogram. 2) Den kan kombineras med praktiskt taget alla typer av modeller som beskriver provytans eller avdelningens utveckling

⁶ Ett skötselprogram beskriver en möjlig sekvens av skogsskötselåtgärder för planeringsenheten över tid och genererar resultat för en mängd värden för varje period, t.ex. ekonomisk avkastning, stående volym, avverkningsvolym, etc. Skillnaden mellan olika skötselprogram kan bl.a. vara tidpunkten när olika åtgärder utförs, vilka dessa åtgärder är och hur de utformas?

under olika skötselantaganden. 3) Ansatsen gör det möjligt att hantera långa tidshorisonter. Den optimeringsmetod som ofta har använts för att hitta en lösning på det skogliga planeringsproblemet, dvs hitta den bästa kombinationen av skötselprogram för varje planeringsenhet givet målsättning och begränsningar, är linjärprogrammering (LP) (Johnson & Scheurman 1977). LP är en matematisk optimeringsmetod som kan användas när målfunktionen och alla restriktioner kan uttryckas som linjära funktioner. I ett LP-problem är dessutom variablerna kontinuerliga. Att variablerna tillåts vara kontinuerliga innebär att en planeringsenhet till en viss andel av dess areal kan åsättas ett visst skötselprogram och resterande arealandel ett annat skötselprogram. Det är därmed inte säkert att en avdelning tilldelas ett och samma skötselprogram för hela dess areal. Tidiga exempel på där LP har använts i skoglig planering är Curtis 1962; Kidd *et al.* 1966; Ware & Clutter 1971 samt Johnson & Scheurman 1977. En av orsakerna till att LP är en av de mest använda optimeringsmetoderna är att det finns effektiva algoritmer, t.ex. simplexalgoritmen som kan lösa linjära optimeringsproblem (Nash 2000).

2.1. Stratabaserad planering

I stratabaserad planering används inte samtliga avdelningar som planeringsenheter i den ovan beskrivna planeringsmodellen. Av olika anledningar – främst beroende på begränsad datorkapacitet, avsaknad av heltäckande data eller tveksam kvalitet på avdelningsregister – grupperas i stället avdelningarna i ett antal strata baserat på t.ex. bestockning (virkesvolym per arealenhet) och ålder. Alla avdelningar av samma karaktär representeras då av ett stratum. Varje stratum representeras i sin tur av ett antal avdelningar som väljs slumpmässigt (stickprovsavdelningar) inom stratomet. För stickprovsavdelningarna används endera redan tillgänglig information i avdelningsregistret eller också görs en fältinventering där ett antal provytor inventeras i varje stickprovsavdelning.

2.1.1. Strategisk, stratabaserad planering i Sverige

Under 1980-talet utvecklades vid SLU ett system för strategisk planering baserat på den stratabaserade ansatsen; Indelningspaketet⁷ (IP) (Jonsson *et al.* 1993). Det utgjorde en integrerad ”paketlösning” för strategisk planering. IP innehöll rutiner och mjukvara för val av stickprov, rutiner och hårdvara (dataklavar, avståndsmätare, m.m.) och mjukvara för fältinventering av stickprovet. Vidare innehöll systemet rutiner och mjukvara för beräkning av initialt skogstillstånd, för framskrivningar av potentiella skötselprogram för varje stickprovsavdelning och

⁷ Indelning är ett äldre begrepp för skoglig planering, se Skogsencyklopedin.

för val av bästa skötselprogram för varje stickprovsavdelning. Den stickprovsbaserade inventeringen kallas vanligen för en företagstaxering i linje med tidigare inventeringsförfaranden av stora skogsinnehav. Den sista komponenten – val av bästa handlingsalternativ – utgjordes till en början av en egenutvecklad och iterativ rutin, som baserades på en avtagande marginalnytta av nettointäkter. I slutet av den tid IP tillämpades implementerades en LP-rutin vid namn JLP (Lappi 1992). Den här ansatsen för strategisk planering tillämpad vid ett skogsföretag benämns ofta som avverkningsberäkning (AVB). IP tillämpades praktiskt vid ett större skogsbolag första gången 1982 (MoDo, Örnsköldsviks Skogsförvaltning, 90 000 ha) och har därefter tillämpats av alla större och många medelstora skogsföretag in på 2000-talet⁸. Det stratabaserade förfarandet har efter att användandet av IP upphört överförts till det vid SLU utvecklade Heureka-systemet (Wikström et al. 2011). I mjukvaran Heureka PlanVis finns rutiner för stratifiering och lottning av stickprov, se figur 1. Efter en likartad fältinventering som vid tillämpning av IP utför PlanVis beräkningar av initialt skogstillstånd, genererar prognoser och väljer bästa handlingsalternativ (optimering) baserat på materialet från stickprovet. PlanVis har övertagit IPs roll och sentida exempel på tillämpningar är vid Sveaskog (3.2 Mha, företagstaxering 2018, AVB 2019), SCA Skog (2.6 Mha, företagstaxering 2019, AVB 2020) och Holmen skog (1 Mha, företagstaxering 2019, AVB 2020).

2.1.2. Fördelar med en stratabaserad ansats

En rad orsaker talade för tillämpning av den stratabaserade ansatsen vid utveckling och tidig användning av IP och Heureka-systemet.

För det första har avdelningsregister vanligen data av okänd och varierande noggrannhet, varför resultatet från en planering baserad på detta kan antas ha okänd och varierad grad av kvalitet. Ett sätt att förbättra kvaliteten och beräkna noggrannheten (medelfelet) för skattningen av det ingående tillståndet, och därmed förbättra planeringsresultatet, är att genomföra en stickprovsviss, objektiv inventering för ett urval av avdelningar. Dessa stickprovsavdelningar får sedan representera hela innehavet.

För det andra utgör resultatet av den objektiva inventeringen – med känd noggrannhet – också ett bättre underlag för redovisning av skogsinnehavet som en ekonomisk tillgång än information från avdelningsregistret⁹

För det tredje kan noggrannheten i avdelningsregistret kontrolleras genom jämförelser mellan inventeringsdata och befintlig registerinformation. Med hjälp av

⁸ Se Faktaruta: Tillämpning av Indelningspaketets rutin för företagstaxering på Bergvik.

⁹ Ola Lindgren, O L Skogsinventering, 2020-08-13

framtagna samband kan variabler i avdelningsregistret dessutom kalibreras. Detta har gjorts historiskt men torde inte vara vanligt i nuläget (Li 1988).

För det fjärde kan stickprovsinventering ge information om enskilda träd, varmed modeller för tillväxtberäkning, aptering, m.m., som baseras på just data för enskilda träd kan användas. Detta till skillnad från information i avdelningsregistren, som innehåller avdelningsvisa arealmedeltal (trädstorlek, ålder, etc.)

För det femte blir beräkningar, t.ex. framskrivningar av skötselprogram och val av skötselprogram, dvs optimeringen mindre kapacitetskrävande då förfarandet ger avsevärt färre beräkningseenheter i jämförelse med en areabaserad ansats. Detta var särskilt viktigt i tidiga applikationer när datorkraften var mycket begränsad. På samma sätt innebär det förhållandevisa lilla stickprovet en relativt låg kostnad för datainsamling jämfört med totalinventering eller nyindelning.

För det sjätte kan information och informationsflöde strömlinjeformas. I t.ex. IPs fall fanns specifikt anpassade inventeringsrutiner, programvara och utrustning för planeringssystemet. På så sätt säkerställs enhetligt insamlad information av tillbörlig kvalitet.

Slutligen innebär inventeringsförfarandet att alla i analysen ingående skogliga data samlas in vid ett och samma tillfälle vilket ger en förutsägbar felstruktur. Detta torde leda till bättre planeringsresultat.

Faktaruta: Tillämpning av Indelningspaketets rutin för företagstaxering på Bergvik skog 2006¹⁰

Areal:

- Totalt 1.8 miljoner ha
- 17 områden med areal från 12 300 till 285 000 ha

Antal stickprovsavdelningar:

- Totalt 1820
- Per område ca 80-150 stickprovsavdelningar

Förväntat medelfel för skattning virkesvolym

- Totalt 0.8%
- För enskilda områden 2.7-3.3%

¹⁰ Lars Sängstuvall, Kopparfors Skogar, tidigare Bergvik Skog, 2020-08-13

2.1.3. Utmaningar vid en stratabaserad ansats

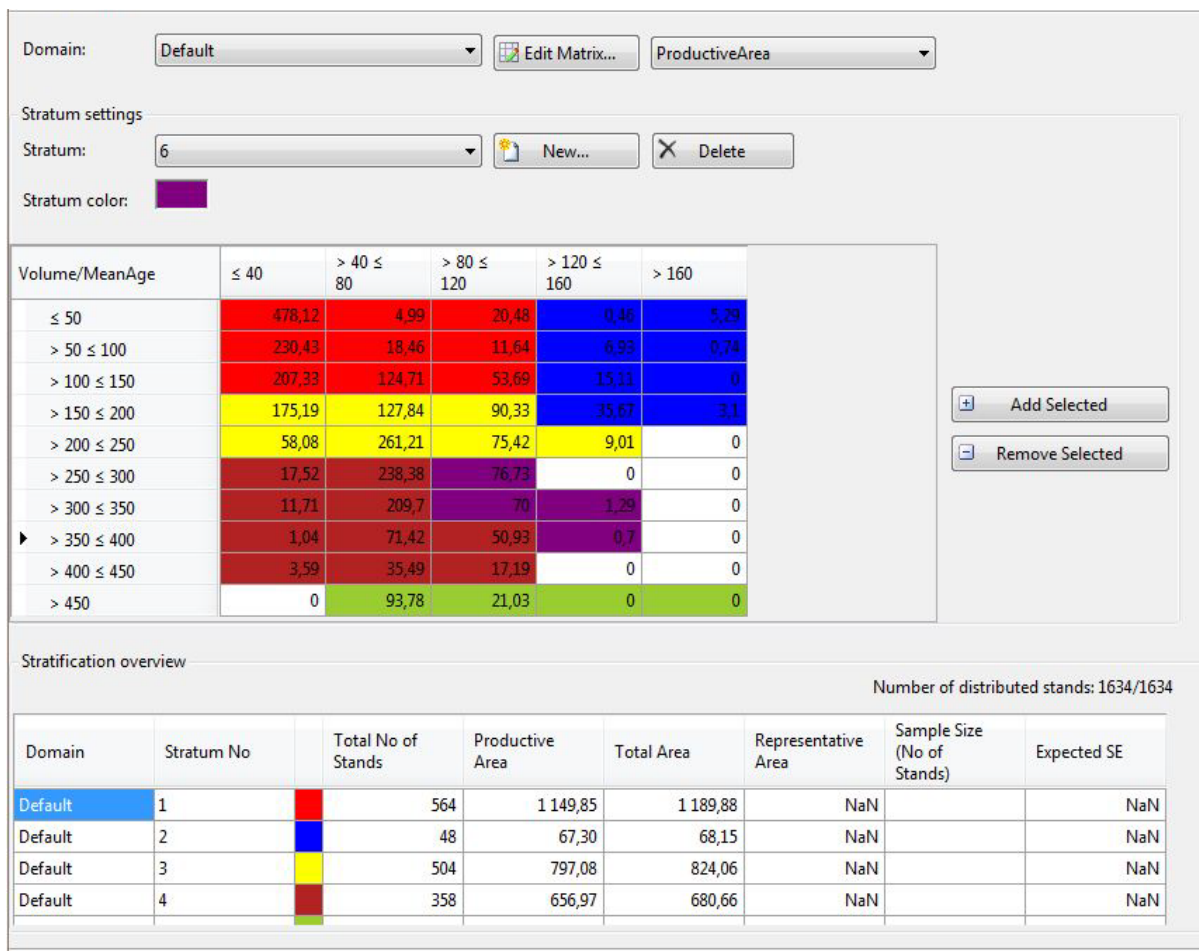
En stratabaserad ansats har dock även flera nackdelar varav de främsta är att inga rumsliga aspekter¹¹ kan beaktas (Daust & Nelson 1993). Det finns även en risk för att utfallet av stickprovet kan vara skevt, särskilt i relation till attribut som inte utgjort en grund för stratifieringen, som t.ex. trädslagssammansättning. Ytterligare en nackdel är att länken till den taktiska planeringen är svag.

Länken till den taktiska planeringen utgjordes i IPs fall av prioriteringsfunktioner i form av inoptimalförluster som härrör från att en avdelning åtgärdas med fel åtgärd eller vid fel tidpunkt (Jonsson *et al.* 1993). Inoptimalförlusten beräknades som nuvärdet av bästa handlingsalternativ minus nuvärdet av det aktuella alternativet. Om t.ex. bästa alternativ för en stickprovsavdelning är att inte utföra någon åtgärd inom de närmsta fem åren vilket ger ett nuvärde på 60 000 kr/ha och alternativet att slutavverka ger ett nuvärde av 50 000 kr/ha är inoptimalförlusten för slutavverkning $60\,000 - 50\,000 = 10\,000$ kr/ha. Baserat på beräknade inoptimalförluster för stickprovsavdelningarna framställdes regressionsfunktioner för slutavverkning, gallring och gödsling. I funktionerna ingick inoptimalförlust för en åtgärd som beroende och information från avdelningsregistret för stickprovsavdelningarna (ålder, volym etc.) som oberoende variabler. Funktionerna tillämpades därefter på alla avdelningar i avdelningsregistret och avdelningar med låg beräknad inoptimalförlust hade därmed hög prioritet för åtgärden i fråga. Erfarenheten är att funktionerna gällande inoptimalförlust för slutavverkning hade godtagbar förklaringsgrad, för gallring mindre bra och för gödsling var i många fall förklaringsgraden mycket låg.

Vid användning av PlanVis kan länken till den taktiska planeringen göras genom att sätta avverkningsnivåer för de första 10 - 15 åren från den strategiska planen som målnivåer i en taktisk plan. Den taktiska planen utförs som en areabaserad plan och resulterar i åtgärdsförslag för samtliga avdelningar de första 10 - 15 åren. Den taktiska planen kan då innefatta mer än 50 000 avdelningar i en och samma PlanVis-körning¹².

¹¹ Problematiken kring rumslig planering behandlas i nästa kapitel.

¹² Fredrik Gunnarsson, Sveaskog 2018-10-09



Figur 1 Verkytet i Heureka PlanVis för att göra ett stratifierat urval av stickprovsavdelningar. Avdelningsregistret utgör ramen för urvalet och stratifieringen sker i utifrån ålder (år) och bestockning (m³sk/ha). Färgerna representerar olika strata.

2.2. Areabaserad planering

Ett alternativ till att basera den strategiska planeringen på en stratabaserad ansats är att i stället använda en areabaserad ansats. I denna ansats baseras planeringen på information från alla avdelningar. Det vill säga, i en areabaserad ansats utgör samtliga avdelningar beräkningsenheterna i den grundläggande planeringsmodellen och därmed blir avdelningen den enhet som optimeringen och de kvantitativa analyserna baseras på (Nelson *et al.* 1991).

2.2.1. Fördelar med en areabaserad ansats

Den stora fördelen med en areabaserad ansats är att planeringen kan utföras geografiskt explicit. Detta innebär t.ex. att det är möjligt att visualisera resultatet av olika framtida skötselriktningar i en karta. Om resultatet av en analys behöver

presenteras i kartform räcker det inte att veta hur skogen sköts i genomsnitt utan då måste olika skötselåtgärder kopplas till avdelningar och därmed måste en areabaserad ansats användas. Vidare innebär en geografiskt explicit ansats att man kan dela in bestånden och anpassa skötseln i olika typer av bestånd på en mycket högre detaljnivå än i den stratabaserade ansatsen. Till exempel så kan man knyta naturvårdsinriktade skötselstrategier till bestånd klassade som NS (naturvård med viss skötsel) och PF (produktion med förstärkt hänsyn), och anpassa skötseln i lövrika bestånd¹³. En areabaserad ansats gör det även möjligt att ta ett tydligt landskapsperspektiv i planeringen och är därmed en förutsättning för att förstärka den gröna infrastrukturen i skogslandskapet genom att anpassa möjliga skötselriktningar utifrån var i landskapet olika bestånd befinner sig. Man kan t.ex. inkludera buffertzoner runt vattendrag och störningskänsliga biotoper och välja hyggesfria skogsbruksmetoder inom rennäringens nyckelområden, i områden med risk för ras och skred eller i områden med höga sociala värden.

Den areabaserade ansatsen innebär även att aspekter som påverkas av rumsliga samband¹⁴ kan inkluderas i planeringsmodellen. De rumsliga sambanden innebär att det inte är tillräckligt att veta t.ex. den totala mängden avverkningar utan det måste även finnas kännedom om avverkningarnas geografiska placering i landskapet och hur de påverkar och påverkas av omgivande områden (Öhman 2001).

Det finns en rad orsaker, kopplade till såväl ekonomiska, ekologiska som sociala värden, till att beaktande av rumsliga samband mellan avdelningar är viktigt (Bettinger och Session 2003). Ett exempel är om det finns krav på att begränsa den sammanhängande arealen kalmark eller ungskog. Orsaken till detta kan vara hänsyn till både ekologiska och sociala värden. T.ex. kan stora hyggen inom rennäringens vinterbetesområden leda till försämrade möjligheter för renarna att skaffa föda eller att förflyttningar av renhjorden försvåras. Vidare måste den sammanhängande hyggesarealen begränsas i den fjällnära skogen, eftersom det där enligt lag inte är tillåtet med hyggen större än 20 hektar.

Ett annat exempel på när rumsliga samband måste beaktas och som kan tyckas stå i motsats till en begränsning av hyggesstorleken är om man vill planera för att avverkningar ska ligga nära varandra geografiskt eller koncentrera dem i tiden. Motivet till detta kan vara en önskan att minska flytt- och vägkostnader genom att avverkningarna samordnas i tid och rum. Det vill säga för att bestämma om en avdelning är lämplig för avverkning måste även omgivande avdelningars möjlighet

¹³ I teorin möjligt även med stratabaserad ansats men kräver förhållandevis stort stickprov i berörda typer av bestånd samt att landskapsperspektivet är svårhanterligt.

¹⁴ Se faktaruta: Rumsliga samband för mer information.

till avverkning analyseras. En annan orsak till att koncentrera avverkningarna kan vara att större områden av orörd skog i andra delar av landskapet önskas.

Ytterligare exempel på en aspekt som påverkar den biologiska mångfalden och där hänsyn måste tas till avverkningarnas geografiska placering i landskapet och hur de påverkar omgivande områden är fragmentering av äldre skog, d.v.s. att den äldre skogen splittras upp och ersätts med ungskog. Fragmenteringen leder till att områdena av äldre skog blir mindre sammanhängande, att graden av isolering ökar och att varje fragments storlek minskar (se t.ex. Harris och Silva-Lopez 1992, Andrén 1994). Arter som är i behov av större områden av sammanhängande äldre skog, t.ex. tjädern, kan därför påverkas negativt. Exemplet med gammal skog kan vidareutvecklas till ett mer generellt problem där tillgång på habitat för olika arter måste säkerställas. För många arter räcker det inte med att ett specifikt område har ett visst skogstillstånd i form av t.ex. ålder, trädslag, stamantal. För att området ska kunna klassas som habitat så måste det även ha en viss storlek eller att även omgivningen har en viss kvalitet.

Ett sista exempel på en aspekt som inkluderar rumsliga samband är ambitionen att minska skador av stormfällning. Risken för stormfällning för en viss avdelning beror då inte enbart på egenskaper för avdelningen i sig (trädslag, trädhöjd, m.m.) utan även på egenskaper i omgivande avdelningar. Detta innebär i sin tur att skötselåtgärderna måste planeras med avseende på deras geografiska läge och hur de påverkar omgivande områden.

2.2.2. Utmaningar vid en areabaserad ansats

Den främsta nackdelen med en areabaserad ansats är att planeringsproblemets storlek och ofta även komplexitet ökar jämfört med en stratabaserad ansats. Följaktligen blir optimeringsmodeller för lösning av planeringsproblemen större, mer komplexa och kräver större beräkningskapacitet. Ett enkelt fall kan dock vara att endast på en karta kunna visa var olika skötselåtgärder utförs. I ett sådant fall räcker det med en optimeringsmodell likartad den för stratabaserad planering men med tillägget att bara lösningar accepteras som innebär att en avdelning bara tilldelas ett och endast ett skötselprogram. Många skogliga planeringsproblem har traditionellt formulerats med kontinuerliga variabler i optimeringsmodellen, d.v.s. beslutsvariabeln x_{ij} (hur stor andel av avdelning i som ska skötas med skötselprogram j) kan anta vilket värde som helst mellan 0 och 1. Detta har varit möjligt eftersom fokus varit hur stora virkesvolymen och arealer totalt som avverkas per period i den långsiktiga planeringen. Användning av kontinuerliga variabler kan medföra att vissa delar av bestånd tilldelas ett visst skötselprogram medan andra delar tilldelas ett annat program. Detta medför att man inte vet var åtgärder utförs och det är inte heller möjligt att hantera den rumsliga hänsynen. För att säkerställa

att en avdelning enbart tilldelas ett skötselprogram används istället binära beslutsvariabler, d.v.s. beslutsvariabeln x_{ij} kan bara anta värdena 0 eller 1. Nackdelen med binära beslutsvariabler är att optimeringsproblemet inte längre kan lösas med LP utan måste hanteras som ett heltalsproblem vilka oftast är mycket svårare att lösa (Lundgren *et al.* 2010).

I de fall där även rumsliga samband ska beaktas räcker det inte att veta var olika åtgärder sker utan optimeringsmodellen måste även hantera interaktioner mellan avdelningarna. För det första måste det säkerställas att varje avdelning bara kan tilldelas ett och endast ett skötselprogram för hela dess areal eftersom det behövs exakt kännedom om var olika åtgärder utförs. Detta görs genom att endast ha binära beslutsvariabler i optimeringsmodellen på samma vis som i exemplet ovan. För det andra så måste den traditionella planeringsmodellen även kompletteras med restriktioner eller indikatorvariabler som på något vis uttrycker de rumsliga sambanden (se t.ex. Nelson och Brodie 1990, Bettinger och Sessions 2003, Weintraub och Murray 2006). Detta tillsammans med de binära variablerna medför dock i många fall att optimeringsproblemet blir mycket mer komplext och förvandlas från ett snällt, kontinuerligt optimeringsproblem till ett betydligt svårare kombinatoriskt problem. I vissa fall kan t.o.m. inte ens de vanliga exakta optimeringsmetoderna för att lösa heltalsproblem användas. t.ex. heltalsprogrammering (MIP), utan heuristiska metoder (HM) måste användas. Strikt definierat är en HM egentligen ingen optimeringsmetod, även den ofta slarvigt benämns så, utan kan mer liknas vid en strukturerad sökprocess eller en tumregel för att hitta en acceptabel lösning på ett definierat optimeringsproblem (Reeves 1993). Anledningen till att det inte kan definieras som en optimeringsmetod är att en HM inte kan garantera att den optimala lösningen hittas. Däremot så finns det i de flesta HM någon form av metod inbyggt som gör att chanserna till att hitta en bra lösning är relativt höga.

Ytterligare en utmaning vid en areabaserad ansats är att det måste finnas tillgång till data som beskriver varje avdelning av tillräckligt hög kvalitet. Avdelningsregistret har vanligen data av okänd noggrannhet och oklar felstruktur. Olika variabler är insamlade eller uppskattade vid olika tillfällen och med olika metoder och källor. Dessutom sker ofta framskrivningar av gamla värden med hjälp av t. ex. tillväxtfunktioner med avdrag för utförda åtgärder, vilket gör att fel i avdelningsregister tenderar att växa över tiden på ett okänt sätt.

Faktaruta: Rumsliga samband

Om det finns rumsliga samband mellan avdelningar innebär det att resultatvariabeln (det man är intresserad av t.ex. virkesvolym eller mängd lämpligt habitat) beror på tillstånd eller val av skötselprogram i omkringliggande avdelningar. Detta kan jämföras med när det inte finns rumsliga samband mellan avdelningar. Då är resultatvariabeln oberoende av tillstånd och val av skötsel i omkringliggande områden. Ett exempel på en resultatvariabel som bara kan hanteras om hänsyn tas till rumsliga samband är kärnområde av gammal skog. Ett kärnområde bestående av gammal skog kan definieras som den del av ett område (avdelning) som uppfyller kriterierna för gammal skog och som inte är påverkad av effekter från omgivande områden (t.ex. uttorkning pga. sol och vind i en kantzon). Mängd kärnområde bestående av gammal skog är en funktion av avdelningens storlek, form samt skogstillståndet i avdelningen och skogstillstånd i omkringliggande avdelningar. Mängden kärnområde bestående av gammal skog i en avdelning vid en viss tidpunkt är därför beroende av vald skötsel i avdelningen och vald skötsel i angränsande avdelningar. Andelen kärnområde i en avdelning kan därför inte beräknas med endast information om avdelningen i sig utan information krävs även om dess grannar. Arealen kärnområde är därför till sin natur helt skilt från tex. avverkningsvolym. Avverkningsvolymen i en avdelning är i teorin oberoende av skötsel i omkringliggande avdelningar och för att beskriva hur mycket volym som kan avverkas i en avdelning behöver man därför endast ha information om hur den aktuella avdelningen sköts. Det är inte nödvändigt att veta tillståndet eller hur mycket volym som avverkas i omkringliggande avdelningar. Avverkad volym är därför ett exempel på en variabel som inte påverkas av rumsliga samband mellan avdelningar.

3. Nya ansatser för strategisk planering

Förfarandet att beskriva skogen med hjälp av avdelningsbegreppet är utarbetat för förhållanden när detaljerade skogliga data var svåra att producera och lagra. I dag kan dock skogen beskrivas mycket mer detaljerat, t.ex. med hjälp av automatisk bildtolkning av flygbilder, satellitbilder och flygburen laserskanning (ALS). Dessa metoder har på senare tid revolutionerat skogsbrukets möjligheter att inhämta geografiskt heltäckande information om skogen (Nilsson *et al.* 2017), dels genom dess möjligheter att skatta attribut för trädskiktet, dels genom en detaljerad beskrivning av topografin. För skattning av skogliga attribut kombineras information från rumsligt heltäckande ALS med fältdata från noggrant positionerade provytor. Med hjälp av data från provytorna skapas sedan regressionsfunktioner mellan variabler beräknade från laserdata och de skogliga variabler som ska skattas, t.ex. virkesvolym. Dessa samband kan sedan användas för att beskriva skogen i betydligt mindre områden än de gängse avdelningarna motsvarande elementen i en rasterkarta (Næsset 2002; Holmgren 2004). Till exempel innehåller Skogsstyrelsens landstäckande karta, [Skogliga grunddata](#)¹⁵ attributen volym, grundytavägd medelhöjd, grundyta, grundytavägd medeldiameter, trädhöjd och biomassa i rasterelement om 12.5x12.5 m². Baserat på den detaljerade beskrivningen av topografin från samma skanningstillfälle har också en [landstäckande markfuktighetskarta](#)¹⁶ framställts, som bland annat används operativt vid avverkning. Sammantaget ger den laserbaserade informationen möjlighet till ett paradigmskifte för skogliga data; från den traditionella ansatsen till den ansats som är under implementering enligt figur 2.

Tyvärr finns i dag inga planeringsmodeller som kan användas praktiskt i skogsbruket som till fullo utnyttjar dessa nya möjligheter att beskriva skogen. En anledning till detta är att det i dagsläget inte är möjligt att via dessa metoder beskriva alla de attribut som behövs för att kunna använda de modeller som idag finns i Heureka, t.ex. beräkna framtida tillväxt. Dessutom är beskrivningsenheterna, i form av rasterceller, för små för att i sig själva vara självständiga åtgärdsenheter. För att kunna hantera drivningskostnader för vägar, flytt av maskinlag, samt

¹⁵ [Skogliga grunddata](#)

¹⁶ [Markfuktighetskarta](#)

virkestransport behöver rastercellerna aggregeras till större åtgärdsenheter. Med hjälp av automatiska segmenteringsalgoritmer brukar därför rasterelementen aggregeras till att motsvara traditionella avdelningar. De skogliga variablerna utgörs då av ett medelvärde (eller medianvärde) av de ingående cellerna. Den nya situationen med information från olika källor – framskrivningar av gammal information, ny information från fältinventeringar och från fjärranalys – påverkar inte bara noggrannheten för de enskilda variablerna utan även felens korrelation mellan olika variabler. Det medför att frekvensen av orimliga kombinationer av variabelvärden kan komma att öka, som kombination av ålder och virkesvolym, vilket kraftigt kan påverka t.ex. skattningar av tillväxt och därmed resultatet av planeringen.

Ett alternativ till den statiska indelningen i avdelningar för planering av skogsbruksåtgärder är att använda sig av dynamiska åtgärdsenheter. I denna ansats används inte avdelningar i planeringsprocessen för lagring av data och modellering av åtgärder och tillväxt och olika ekosystemtjänster. Istället används mycket små beskrivningsenheter (<0,5 ha) för dessa ändamål. Åtgärdsenheterna skapas sedan dynamiskt genom att åtgärder klustras i tid och rum över ett större antal beskrivningsenheter. Detta innebär att en åtgärdsenhet bara existerar för den åtgärden, och inför nästa åtgärd så kan klustringen se annorlunda ut. Planeringsansatsen med dynamiska åtgärdsenheter introducerades på 90-talet i den akademiska världen, se t.ex. Holmgren & Thuresson 1997. Författare till sedan dess utförda studier har hypotetiserat att denna planeringsansats bör ge högre måluppfyllnad än en avdelningsbaserad ansats, eftersom den rumsliga upplösningen tillåter modellen att i högre grad formera åtgärdsenheter som en funktion av målformuleringen, snarare än som ett resultat av en statisk avdelningsindelning. T.ex. har en finsk studie visat att dynamiska åtgärdsenheter gav högre tillväxt samtidigt som en viss mängd gammal skog upprätthölls, jämfört med en traditionell avdelningsansats (Heinonen *et al.* 2007). En av de viktigare nackdelarna är dock att optimeringsproblemen blir kombinatoriska och mycket komplexa pga. att krav på klustring införs. Detta medför att traditionell LP inte är applicerbar på denna typ av planeringsproblem utan i stället måste heltalsprogrammering eller HM användas för att lösa optimeringsproblemen¹⁷.

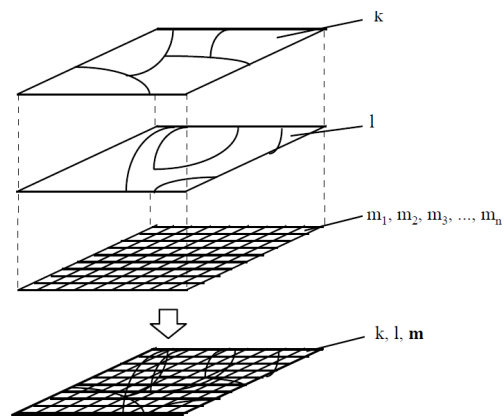
¹⁷ Se även kapitlet om utmaningar vid en arealbaserad ansats och rumsliga samband

Representation av skogliga data

Tidigare ansats



Ansats under implementering



Figur 2. Representation av skogliga data via avdelningar samt via rasterceller. Till vänster visas en traditionell skogskarta med avdelningar på en till tio ha med tillhörande attribut där k och l kan vara attribut för ståndorten (t.ex. jordart respektive markfuktighet) och vektorn m innehåller attribut för trädskiktet. I en alternativ ansats som visas till höger och som tycks vara under implementering i dagens skogsbruk, lagras attribut för ståndorten och för trädskiktet i separata kartskikt.

4. Sammanfattning och slutsats

Strategisk planering har under en lång tid varit ett viktigt verktyg för att analysera vilken avverkningsnivå som är uthållig över tid samt hur denna nivå påverkas av t.ex. olika skötselstrategier för avverkning och föryngring. Den ansats som främst använts inom svenskt storskogsbruk är den stratabaserade. En av orsakerna till ansatsens framgång har varit att när formerna för den strategiska planeringen etablerades så var det dyrt och svårt att erhålla och lagra heltäckande data av hög kvalitet för varje enskild avdelning. Ytterligare en orsak till ansatsens popularitet är dess förmåga att analysera framtida avverkningspotentialer över stora arealer då den är mindre kapacitetskrävande än arealbaserad planering. Främsta anledningen till det är att när avdelningar aggregeras till strata reduceras antalet beräkningsenheter i planeringsmodellen. Dessutom kan LP användas för att lösa optimeringsproblemet, dvs hitta den kombination av skötselprogram som ger högst måluppfyllelse med hänsyn till de begränsningar som definierats. Orsaken till detta är att i en stratabaserad ansats accepteras att varje beräkningsenhet (stickprovsavdelning) kan delas och delarna behandlas med olika skötselprogram. En stor fördel med att kunna formulera optimeringsproblem så att de kan lösas med hjälp av LP är att det vanligen går betydligt snabbare att hitta en lösning till ett LP-problem jämfört med ett heltalsproblem. Dessutom finns det tillgängliga programvaror som inte kräver specialistkompetens inom optimeringslära för att kunna formulera och lösa LP-problem.

Den stora nackdelen med en stratabaserad ansats för strategisk planering är dock att den saknar en geografisk explicit koppling. Detta har lett till att den rumsliga allokeringen av skötselåtgärder traditionellt inte har hanterats i den strategiska planeringen. Den har istället ingått i den taktiska planeringen. Men genom att inte använda geografiskt explicita modeller och inte heller beakta rumsliga samband mellan avdelningarna på den strategiska nivån finns en risk att resultatet från de strategiska analyserna resulterar i så höga avverkningsnivåer att de blir omöjliga att uppfylla i den taktiska planeringen (Nelson *et al.* 1991; Daust & Nelson 1993). Som ett alternativ till att beakta rumsliga aspekter, t.ex. fragmentering av gammal skog eller att för stora sammanhängande avverkningsområden ska undvikas, brukar krav på en viss arealreserv i varje tidsperiod i stället inkluderas i planeringsmodellen. Krav om arealreserven innebär att det ska finnas en viss areal avverkningsbar skog

(ålder > lägsta tillåtna slutavverkningsålder enligt skogsvårdslagen) utöver vad planen föreslår till avverkning (jfr. Daust och Nelson 1993).

För att bl.a. undvika problemen med att avverkningsvolymen överskattas och för att förbättra kopplingen till den taktiska planeringen har areabaserade modeller utvecklats. De första areabaserade modellerna kom redan på 1970 talet i Nordamerika, t.ex. Thompson *et al.* 1973 samt Weintraub & Navon 1976. Därefter har utvecklingen fortsatt och det finns i dag en stor mängd modeller publicerade för en areabaserad ansats, både i Sverige och i övriga världen, se t.ex. Hof *et al.* 1994; Ohman & Eriksson 1998; Bettinger *et al.* 2003 samt Ohman *et al.* 2011.

Men trots ett fortfarande stigande akademiskt intresse och aktivitet för att utveckla areabaserade planeringsmodeller som möjliggör att den strategiska planeringen blir geografiskt explicit har denna trend inte påverkat genomförandet av den långsiktiga planeringen vid de stora skogsbolagen i Sverige i större omfattning. Förutom avsaknad av data med tillräckligt hög kvalitet kan en orsak till detta vara att komplexiteten i optimeringsproblemet ökar vid en areabaserad ansats. Hur svårt det blir att lösa optimeringsproblemet beror på antalet heltalsvariabler och problemets struktur. Ytterligare en orsak till att den areabaserade ansatsen inte vunnit framgång är att det före Heureka-systemets utveckling inte fanns något skogligt beslutsstödsystem i Sverige som kunde hantera rumsligt heltäckande information och användandet av binära variabler. Heureka kan i dag användas för strategisk planering med både stratabaserad och areabaserad ansatser. Tack vare att systemet kan användas för att hantera binära variabler i optimeringen är det möjligt att formulera och lösa optimeringsproblem där varje avdelning endast tilldelas ett och endast ett skötselprogram. Planeringsmodellen blir då rumsligt explicit och det är möjligt att hantera rumsliga samband även i den strategiska planeringen. T.ex. kan systemet användas för att inkludera krav på att två intilliggande avdelningar inte får avverkas i samma period; att den sammanhängande hyggesarealen inte får överstiga en viss areal i varje planeringsperiod eller att minimera fragmenteringen av t.ex. äldre skog genom att minimera den sammanhängande omkretsen på avdelningar som består av äldre skog (Ohman & Wikstrom 2008)). Även om Heureka kan hantera binära variabler kan systemet i dag bara hantera optimeringsproblem som kan formuleras som linjära funktioner av beslutsvariablerna¹⁸.

Sammanfattningsvis finns det för- och nackdelar med både stratabaserad och areabaserad ansats, (se tabell 1). Vilken ansats som används bör därför anpassas till tillgången till data, beslutsstödsystemet som ska användas och till den frågeställning som ska analyseras. Vi noterar dock att idag finns nya möjligheter att samla in data som gör att den strategiska planeringen kan bli mer detaljerad; det

¹⁸ I Heureka definieras beslutsvariabeln som x_{ij} d.v.s. hur stor andel av avdelning i som ska skötas med skötselprogram j .

finns beslutsstödsystem som kan hantera rumsligt heltäckande data på avdelningsnivå samt att ett uthålligt skogsbruk utifrån alla tre hållbarhetsperspektiv (ekonomi, ekologi och socialt) kräver att planeringen är rumsligt explicit. Mycket talar därför för att även den strategiska planeringen bör ske med en areabaserad ansats i framtiden.

Tabell 1 De olika ansatsernas för och nackdelar

	Stratabaserad planering	Areabaserad planering	Planering med dynamiska åtgärdsenheter
Rumsligt explicit	Nej	Ja	Ja
Dataunderlag	Provytor eller aggregering av avdelningar för respektive stratum	Avdelningar	Rastercellsdata
Fördelar	Beräkningseffektivt och bra kontroll av noggrannheten när stickprovsinventering används som underlag.	Kan beakta rumsliga aspekter, bättre koppling till den taktiska planeringen	Kan nyttja nya sätt att producera heltäckande data. Kan anpassa åtgärdsenheternas utformning till markägarens mål och till ståndorten
Nackdelar	Kan ej beakta rumsliga aspekter, överskattning av avverkningsvolym, svag koppling till den taktiska planeringen	Kapacitetskrävande, kräver data för varje avdelning	Mycket kapacitetskrävande.,
Möjlig lösningsmetod	LP	Heltalsprogrammering eller Heuristik	Heltalsprogrammering eller Heuristik

Referenser

- Andrén, H. (1994). Effects of Habitat Fragmentation on Birds and Mammals in Landscapes with Different Proportions of Suitable Habitat: A Review. *Oikos*, vol. 71 (3), ss. 355–366 [Nordic Society Oikos, Wiley].
- Bettinger, P., Boston, K. & Siry, J. (2008). *Forest Management and Planning*. Academic press. (1st Edition)
- Bettinger, P. & Sessions, J. (2003). Spatial Forest Planning: To Adopt, or Not to Adopt? *Journal of Forestry*, vol. 101 (2), ss. 24–29 Oxford Academic.
- Bettinger, P., Johnson, D.L. & Johnson, K.N. (2003). Spatial forest plan development with ecological and economic goals. *Ecological Modelling*, vol. 169 (2), ss. 215–236
- Church, R. L. (2007). Tactical-level forest management models. In A. Weintraub, C. Romero, T. Bjørndal, & R. Epstein (Eds.) *Handbook of operations research in natural resources*. New York: Springer.
- Claesson, S., Duvemo, K., Lundström, A., Wikberg, P.-E. 2015. Skogliga konsekvensanalyser 2015 – SKA 15. Skogsstyrelsen Rapport 10, 2015.
- Curtis, F.H. (1962). Linear Programming the Management of a Forest Property. *Journal of Forestry*, vol. 60 (9), ss. 611–616 Oxford Academic.
- Daust, D.K. & Nelson, J.D. (1993). Spatial Reduction Factors for Strata-Based Harvest Schedules. *Forest Science*, vol. 39 (1), ss. 152–165 Oxford Academic.
- Davis, R. G. and D. L. Martell. 1993. A decision support system that links short-term silvicultural operating plans with long-term forest level strategic plans. *Canadian Journal of Forest Research* 23: 1078-1095.
- Davis, L.S., Johnson, K.N. & Bettinger, P. (2001). *Forest Management*. Publisher: McGraw-Hill, Inc., New York.
- Eggers, J. & Öhman, K. (2020). *Overview of the PlanWise application and examples of its use*. (514) Tillgänglig: <https://pub.epsilon.slu.se/17122/> [2020-06-30]
- Eriksson, L.O. (2008). The forest planning system of Swedish forest enterprises. A note on the basic elements. SLU.
- Epstein, R., Karlsson, J., Rönqvist, M., & Weintraub, A. (2007). Harvest operational models in forestry. In A. Weintraub, C. Romero, T. Bjørndal, & R. Epstein (Eds.) *Handbook of operations research in natural resources*. New York: Springer.
- Gunn, E. A. (2007). Models for strategic forest management. In A. Weintraub, C. Romero, T. Bjørndal, & R. Epstein (Eds.) *Handbook of operations research in natural resources* (pp. 317–341). New York: Springer.
- Harris, L.D. & Silva-Lopez, G. (1992). Forest Fragmentation and the Conservation of Biological Diversity. I: Fiedler, P.L. & Jain, S.K. (red.)

- Conservation Biology: The Theory and Practice of Nature Conservation Preservation and Management*. Boston, MA: Springer US, ss. 197–237.
- Heinonen, T., Kurttila, M. & Pukkala, T. (2007). Possibilities to aggregate raster cells through spatial optimization in forest planning. *Silva Fennica*, vol. 41 (1). DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.474>
- Hof, J., Bevers, M., Joyce, L. & Kent, B. (1994). An Integer Programming Approach for Spatially and Temporally Optimizing Wildlife Populations. *Forest Science*, vol. 40 (1), ss. 177–191 Oxford Academic.
- Holmgren, J. (2004). Prediction of tree height, basal area and stem volume in forest stands using airborne laser scanning. *Scandinavian Journal of Forest Research*, vol. 19 (6), ss. 543–553 Taylor & Francis.
- Holmgren, P. & Thuresson, T. (1997). Applying Objectively Estimated and Spatially Continuous Forest Parameters in Tactical Planning to Obtain Dynamic, Treatment Units. *Forest Science*, vol. 43 (3), ss. 317–326 Oxford Academic.
- 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.
- Johnson, K.N. & Scheurman, H.L. (1977). Techniques for Prescribing Optimal Timber Harvest and Investment Under Different Objectives—Discussion and Synthesis. *Forest Science*, vol. 23 (suppl_1), ss. a0001-z0001 Oxford Academic.
- Jonsson, B., Jacobsson, J. & Kallur, H. (1993). The Forest Management Planning Package. *Forestalia Suecica*, (189), s. 56
- Kidd, W.E., Thompson, E.F. & Hoepner, P.H. (1966). Forest Regulation By Linear Programming — A Case Study. *Journal of Forestry*, vol. 64 (9), ss. 611–613 Oxford Academic.
- Lappi, J. (1992). JLP: A Linear Programming Package for Management Planning. (414), s. 134 (The Finnish Forest Research Institute. Research Papers)
- Lundgren, J., Värbrand, P., Rönnqvist, M. & Henningsson, M. (2010). *Optimeringslära*. Tillgänglig: <https://www.bokus.com/bok/9789144067605/optimeringslara/> [2020-06-05]
- Nash, J.C. (2000). The (Dantzig) simplex method for linear programming. *Computing in Science Engineering*, vol. 2 (1), ss. 29–31
- Nelson, J. & Brodie, J.D. (1990). Comparison of a random search algorithm and mixed integer programming for solving area-based forest plans. *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 20 (7), ss. 934–942 NRC Research Press.
- Nelson, J., Brodie, J.D. & Sessions, J. (1991). Integrating Short-Term, Area-Based Logging Plans with Long-Term Harvest Schedules. *Forest Science*, vol. 37 (1), ss. 101–122 Oxford Academic.
- Nilsson, M., Nordkvist, K., Jonzén, J., Lindgren, N., Axensten, P., Wallerman, J., Egberth, M., Larsson, S., Nilsson, L., Eriksson, J. & Olsson, H. (2017). A nationwide forest attribute map of Sweden predicted using airborne laser scanning data and field data from the National Forest Inventory. *Remote Sensing of Environment*, vol. 194, ss. 447–454

- Næsset, E. (2002). Predicting forest stand characteristics with airborne scanning laser using a practical two-stage procedure and field data. *Remote Sensing of Environment*, vol. 80 (1), ss. 88–99
- Reeves, C.R. (red.) (1993). *Modern heuristic techniques for combinatorial problems*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Ståhl, G. (1992). A study on the quality of compartmentwise forest data acquired by subjective inventory methods. Swedish University of Agricultural sciences.
- Söderholm, J. (2002). *De svenska skogsbolagens system för skoglig planering*. (98). Institutionen för skogligresurshushållning, SLU.
- Thompson, E.F., Halterman, B.G., Lyon, T.J. & Miller, R.L. (1973). Integrating timber and wildlife management planning. *The Forestry Chronicle*, vol. 49 (6), ss. 247–250 Canadian Institute of Forestry.
- Ware, G.O. & Clutter, J.L. (1971). A Mathematical Programming System for the Management of Industrial Forests. *Forest Science*, vol. 17 (4), ss. 428–445 Oxford Academic.
- Weintraub, A., & Murray, A.T. 2006. Review of combinatorial problems induced by spatial forest harvesting planning. *Discrete Applied Mathematics* 154(5 SPEC. ISS.), pp. 154(5): 867-879.
- Weintraub, A. & Navon, D. (1976). A Forest Management Planning Model Integrating Silvicultural and Transportation Activities. *Management Science*, vol. 22 (12), ss. 1299–1309 INFORMS.
- Wikström, P., Edenius, L., Elfving, B., Eriksson, L.O., Lämas, T., Sonesson, J., Öhman, K., Wallerman, J., Waller, C. & Klintebäck, F. (2011). The Heureka forestry decision support system: an overview. *Mathematical and Computational Forestry and Natural Resources Sciences*, vol. 3 (2), ss. 87–94
- Öhman, K. (2001). *Forest planning with consideration to spatial relationships*. (198). Umeå. Tillgänglig: <https://pub.epsilon.slu.se/31/> [2020-06-30]
- Öhman, K. & Eriksson, L.O. (1998). The core area concept in forming contiguous areas for long-term forest planning. *Canadian Journal of Forest Research- Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, vol. 28 (7), ss. 1032–1039
- Öhman, K. & Wikström, P. (2008). Incorporating aspects of habitat fragmentation into long-term forest planning using mixed integer programming. *Forest Ecology and Management*, vol. 255 (3–4), ss. 440–446
- Öhman, K., Edenius, L. & Mikusinski, G. (2011). Optimizing spatial habitat suitability and timber revenue in long-term forest planning. *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 41 (3), ss. 543–551