



Jämförelse av URM, URM med areatillägg och ARM för att begränsa sammanhängande hyggesstorlek

Anton Granström, Axel Manngård

Självständigt kandidatarbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skoglig resurshushållning
Skogsvetarprogrammet
Kandidatarbeten i Skogsvetenskap • 2024:08
Umeå 2024



Jämförelse av URM, URM med areatillägg och ARM för att begränsa sammanhängande hyggesstorlek

Anton Granström, Axel Manngård

Handledare:	Karin Öhman, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning
Examinator:	Therese Löfroth, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för vilt, fisk och miljö.
Omfattning:	15 hp
Nivå och fördjupning:	Grundnivå, G2E
Kurstitel:	Självständigt arbete i Skogsbruksvetenskap
Kurskod:	EX1015
Program/utbildning:	Skogsvetarprogrammet
Kursansvarig inst.:	Institutionen för skogens ekologi och skötsel
Utgivningsort:	Umeå
Utgivningsår:	2024
Upphovsrätt:	Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Serietitel:	Kandidatarbeten i Skogsvetenskap
Delnummer i serien:	2024:08
Nyckelord:	URM, ARM, naturnära skogsbruk, Heureka

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakultet för skogsvetenskap

Institutionen för skoglig resurshushållning

Sammanfattning

I det här arbetet har olika optimeringsmodeller för begränsning av storleken på hyggesareal undersökts och jämförts mot varandra med hjälp av beslutsstödsystemet Heureka Planwise. De modeller som har använts vid jämförelsen är URM (Unit Restriction Model), URM-A som är URM med ett areatillägg vilket begränsar två intilliggande hygges sammanlagda area, samt Heurekas inbyggda modul ARM (Area Restriction Model). Arbetet har gjorts för att undersöka utmaningarna och möjligheterna för de olika modellerna med koppling till Skogsstyrelsens definition för ett naturnära skogsbruk som släpptes 2023. Där definierar Skogsstyrelsen naturnära skogsbruk bland annat genom nyckelåtgärden *Säkerställa skonsam avverkning*. Detta innebär att hyggesstorleken maximalt får var 2 hektar i Götaland och 4 hektar i övriga Sverige (Skogsstyrelsen 2023). Resultatet från arbetet visade att ARM lyckades skapa en bättre fördelning av slutavverkningsbara avdelningar över planeringshorisonten än de övriga modellerna. Det genererades ett högre NPV samtidigt som restriktionerna efterlevdes. Nackdelen med ARM var lösningstiden som var nästan 3 gånger längre än i de övriga modellerna.

Nyckelord: URM, ARM, naturnära skogsbruk, Heureka

Abstract

In this study, various models for limiting the size of clear-cut areas have been examined and compared using the decision support system Heureka Planwise. The models utilized in the comparison include the Unit Restriction Model (URM), URM-A, which is the URM with an additional area restriction limiting the combined area of two adjacent clear-cuts, and Heureka's built-in module, the Area Restriction Model (ARM). The study was conducted to investigate the challenges and opportunities of these different models in relation to the Swedish Forestry Agency's definition of close-to-nature forestry released in 2023. In this definition, the Swedish Forestry Agency defines close-to-nature forestry, among other criteria, by the key measure *Ensuring gentle harvesting*. This means that the maximum clear-cut size is 2 hectares in Götaland and 4 hectares elsewhere in Sweden. The results of the work showed that ARM managed to create a better distribution of final harvestable units over the planning horizon than the other models. A higher NPV was generated while the restrictions were adhered to. The disadvantage of ARM was the solution time, which was almost 3 times longer than in the other models.

Keywords: URM, ARM, close-to-nature forestry, Heureka

Innehållsförteckning

Figurförteckning	5
Förkortningar	6
1. Inledning	7
1.1 Syfte och frågeställning.....	8
1.2 Definition av naturnära skogsbruk.....	9
2. Material och Metod	11
2.1 Material.....	11
2.1.1 Analytiskt ramverk.....	11
2.1.2 Dataunderlag.....	12
2.2 Tillämpning av analytiskt ramverk	13
2.2.1 Domäner och Inställningar.....	13
2.2.2 Optimeringen.....	13
3. Resultat	16
3.1 Fördelning av slutavverkning mellan period 1 – 4.....	16
3.1.1 URM.....	17
3.1.2 URM-A.....	18
3.1.3 ARM.....	19
3.1.4 Utan hyggesbegränsning.....	20
3.2 Nuvärde och lösningstid.....	21
3.3 Total avverkad volym.....	22
4. Diskussion och slutsats	23
4.1 Resultatdiskussion.....	23
4.2 Metoddiskussion.....	28
4.3 Slutsats.....	30
Referenser	31
Tack	32
Bilaga 1	33

Figurförteckning

Figur 1. Från vänster till höger (period 1–4), slutavverkade avdelningar (röda), gallrade avdelningar (ljusgrön), ingen åtgärd (mörkgrön).	17
Figur 2. Från vänster till höger (period 1–4), slutavverkade avdelningar (röda), gallrade avdelningar (ljusgrön), ingen åtgärd (mörkgrön).	18
Figur 3. Från vänster till höger (period 1–4), slutavverkade avdelningar (röda), gallrade avdelningar (ljusgrön), ingen åtgärd (mörkgrön).	19
Figur 4. Från vänster till höger (period 1–4), slutavverkade avdelningar (röda), gallrade avdelningar (ljusgrön), ingen åtgärd (mörkgrön).	20
Figur 5. Total gallrad volym (m ³ sk) över perioderna	22
Figur 6. Total slutavverkad volym (m ³ sk) över perioderna.....	22
Figur 7. Misstänkt ID problematik från period 1 och 2 i URM	26
Figur 8. Exempel på problemet som hade kunnat uppstå mellan intilliggande avdelningar där parvisa avverkningar utförs enligt modellen URM-A	27
Figur 9. Variabeln "SA" som definierar slutavverkningsbara avdelningar.....	33
Figur 10. Variabeln "volumeCutTotal" som summerar den totala volymen på fastigheten över perioderna.....	33
Figur 11. Restriktionen VolumeCutTotalIncrease	33
Figur 12. Restriktionen VolumeCutTotalDecrease.....	33
Figur 13. Rumsliga restriktionen som begränsar slutavverkning av två intilliggande avdelningar i samma period.....	33
Figur 14. Rumsliga restriktionen som förhindrar att två intilliggande avdelningar som tillsammans överstiger 10 hektar från att slutavverkas.....	34

Förkortningar

ARM	Area Restriction Model
BAU	Business As Usual
LP	Linjär programmering
MIP	Blandad heltalsprogrammering
M ³ sk	Skogskubikmeter
NPV	Nuvärde
TPG	Treatment Program Generator
URM	Unit Restriction Model
URM-A	Unit Restriction Model med areatillägg

1. Inledning

Efter industrialiseringen på 1800-talet blev trakthyggesbruket den vanligast förekommande metoden för skogsbruket inom Europa. I början på 1900-talet kom även trakthyggesbruket till Sverige som dessförinnan främst hade dominerats av en tradition av plockhuggning, där endast de mest värdefulla träden avverkades. Omställning till trakthyggesbruk i Sverige tog fart runt 1950-talet och började användas i stor skala inom de svenska skogarna (Lundmark et al. 2013).

På senare tid har skogens brukande återigen hamnat på agendan hos politiker i Sverige men även i EU. Påtryckningar på det svenska skogsbruket från EU kom 2021 i form av en ny skogsstrategi. Skogsstrategin belyser behovet av att främja ett hållbart skogsbruk till 2030 och har gjort att frågan om alternativa skötselmetoder blivit än mer aktuell bland skogsägare, skogsbolag och myndigheter i Sverige (Europeiska kommissionen 2021). Skogsstrategin fokuserar på att öka den biologiska mångfalden och skapa mer klimatanpassade skogar, genom att bruka skogen med alternativa skötselmetoder.

Naturnära skogsbruk har därför blivit ett hett ämne inom den svenska skogsdebatten, som en alternativ metod inom det svenska skogsbruket. Naturnära skogsbruk syftar till att diversifiera skogsbruket genom användning av skonsamma avverkningsmetoder, med fokus på att minska de arealer som traditionellt brukats med trakthyggesbruk. År 2023 presenterade Skogsstyrelsen tillsammans med Naturvårdsverket en rapport där naturnära skogsbruk definierades. Definitionen inriktade sig bland annat på att begränsa den sammanhängande hyggesstorleken (Appelqvist & Mogren 2023).

I detta arbete har därför olika hyggesbegränsande modeller utvärderats och jämförts med hjälp av beslutsstödsystemet Heureka Planwise (Lämås et al 2023). Heureka är ett verktyg som används för att kunna planera långsiktigt och ta beslut gällande skogens skötsel på strategisk nivå. Programmet består av de fyra delprogrammen Planwise, Standwise, Regwise och PlanEval. För genomförandet av detta arbete användes endast Planwise (Lämås et al 2023).

1.1 Syfte och frågeställning

Syftet med detta kandidatarbetet är att jämföra olika modeller för att begränsa sammanhängande hyggesstorlekar utifrån dagens skogsbruk, med fokus på naturnära skogsbruk. Jämförelsen syftar till att förstå de olika modellernas styrkor och svagheter samt att undersöka hur applicerbara hyggesbegränsande modeller i Heureka är, utifrån skogsstyrelsens definition för naturnära skogsbruk.

För att avgränsa arbetet kommer enbart målet om minskade sammanhängande hyggesarealer i skogsstyrelsens definition för naturnära skogsbruk undersökas. Arealbegränsningen i definitionen är att hyggen ej får överskrida 2 hektar i Götaland och 4 hektar i övriga Sverige. För att avgränsa arbetet valdes att hyggesarealen inte får överskrida 10 hektar, för att stämma överens med avdelningsstorlekarna i ingångsdatat.

1.2 Definition av naturnära skogsbruk

Skogsstyrelsen och Naturvårdsverket fick år 2022 i uppdrag från regeringen att utforma en svensk definition för naturnära skogsbruk utifrån Europeiska kommissionens presenterade meddelande *Ny EU-skogsstrategi för 2030*. I den nya skogsstrategin framgår att det ska ske en diversifiering av skogsbruket. Där större arealer ska brukas hyggesfritt och naturnära, med syftet att skapa mer biologisk mångfald och öka resiliensen på skogen för att klara av klimatförändringarna (Europeiska kommissionen 2021).

Skogsstyrelsen och Naturvårdsverket tog år 2023 fram ett förslag på en definition för naturnära skogsbruk utifrån den vägledning som framgår i skogsstrategin. Definitionen ska kopplas till den svenska skogen och hur strukturen på skogen varit, historiskt och idag (Appelqvist & Mogren 2023). Förslaget på definition som Skogsstyrelsen och naturvårdsverket lagt fram lyder som följande:

Ett naturnära skogsbruk efterliknar naturliga störningsprocesser, skapar variationsrika skogar och stärker miljövärden i skogslandskapet. Brukandet sker utifrån ett landskapsperspektiv och inkluderar anpassat trakthyggesbruk, hyggesfritt skogsbruk och vissa historiska brukningsformer (Appelqvist & Mogren 2023, S. 108).

I citatet från Skogsstyrelsen och Naturvårdsverket framgår att ett naturnära skogsbruk ska efterlikna naturliga störningsprocesser, som brand och storm för att skapa mer variationsrika skogar. Brukandet ska även ske med en ökad variation där historiska-, nuvarande- och nya brukningsformer ska användas, men med nya anpassningar.

Definitionen är uppdelad i 10 nyckelåtgärder, med varierande fokusområden. Nyckelåtgärd 8.1.2 *Säkerställa skonsam avverkning* syftar till att minska hyggesstorlekar, att hänsynen vid anpassat trakthyggesbruk följer Skogsstyrelsens målbild för god miljöhänsyn, samt att minst 20% av arealen lämnas som miljöhänsyn. Specifika riktlinjer finns även kopplat till skogar med kontinuitetsvärden, skogsområden med ett rikt biologiskt kulturarv, samt för kantzoner och brynmiljöer mellan skog- och jordbruksmark (Appelqvist & Mogren 2023). I detta arbete är det nyckelåtgärd 8.1.2, *Säkerställa skonsam avverkning* som undersöks.

Nyckelåtgärden *Säkerställa skonsam avverkning* innebär för det traditionella trakthyggesbruket att hyggesarealerna måste minska. Detta genom en hyggesbegränsning på 2 hektar i Götaland och 4 hektar i övriga Sverige, med undantag kopplat till större naturhändelser (Appelqvist & Mogren 2023).

Den åtgärd som undersöks i nyckelåtgärd 8.1.2 är endast minskade hyggesarealer.
Övriga åtgärder kopplat till miljöhänsyn kommer inte tas med i arbetet.

2. Material och Metod

2.1 Material

2.1.1 Analytiskt ramverk

Heureka Planwise version 2.22.0.0

Heureka är ett beslutsstödsystem som utvecklades genom ett samarbete mellan SLU och Skogforsk. Syftet med systemet är att förenkla beslut som tas vid skoglig planering på strategisk nivå samt vid forskning. Programmet består av fyra delprogram som tillsammans skapar Heurekasystemet. De fyra delprogrammen är Planwise, Standwise, Regwise och PlanEval (Lämås et al. 2023).

Planwise som användes för att genomföra detta arbete fungerar genom att projicera den framtida utvecklingen för skogen över en planeringshorisont som består av ett bestämt antal perioder (Lämås et al. 2023). Första steget för användandet av Planwise är att importera data över det skogsområde som önskas projiceras. När skogsdatat är importerat i Planwise kan domäner skapas där avdelningarna sedan sorteras in utefter deras egenskaper t.ex. ålder, SI, lövandelar etc. (Lämås et al. 2023).

När avdelningarna sorterats in i domänerna kan därefter skötselprogram genereras. Ett skötselprogram består av en mängd sammanlänkade åtgärder över den förutbestämda planeringshorisonten. Optimeringsmodulen som är kopplad till TPG:n kan sedan användas för att tilldela ett eller flera skötselprogram till varje avdelning genom att maximera (eller minimera) en användardefinierad målfunktion med hänsyn till olika användardefinierade restriktioner. För att lösa problemet med optimeringsmodulen kan man antingen använda sig av linjär programmering (LP) eller av blandad heltals programmering (MIP). Beslutet om typ av lösningsmetod görs av programmet beroende på om beslutsvariabeln X_{ij} , dvs andel av avdelning i som tilldelas skötselprogram j, definierats av användaren som kontinuerlig eller binär. En solver kan därefter användas för att få ut en lösning på

optimeringsproblemet, exempelvis solvern Gurobi v.11.0. Resultaten på skogens tillstånd över planeringshorisonten kan sedan analyseras och användas för att ta beslut utifrån de ekosystemtjänster som önskas gynnas (Lämås et al. 2023).

URM, URM-A, ARM

Unit Restriction Model (URM) är en modell som används för att ta rumslig hänsyn vid skogliga åtgärder. Modellen fungerar på så vis att två intilliggande avdelningar aldrig slutavverkas i samma period (Murray 1999). För att URM ska fungera behöver beslutsvariabeln X_{ij} vara binär, detta för att varje avdelning ska kunna skötas enligt endast ett skötselprogram och som en separat enhet (Murray 1999).

Unit Restriction Model med ett areatillägg (URM-A) fungerar på liknande sätt som den vanliga URM modellen. Skillnaden mellan de två modellerna är att här får två intilliggande avdelningar avverkas så länge som de två avdelningarnas sammanlagda area inte överstiger en förbestämd areal. Denna areal bestäms med hjälp av ett tillägg i restriktionen i optimeringsmodulen.

Area Restriction Model (ARM) är en modell som finns tillgänglig att använda i Heureka Planwise. I ARM tillåts flera angränsande avdelningar så länge som den totala sammanhängande arean inte överstiger en förbestämd areal (Murray 1999). Modellen gör detta genom att klustra ihop avdelningar för att få ut en optimal lösning.

2.1.2 Dataunderlag

Området som användes för arbetet är Björntorp som är beläget i Skåne. Den totala produktiva skogsarealen på fastigheten är ca 1 200 hektar uppdelat på 681 avdelningar. Skogens medelålder är runt 39 år och har en medelbonitet på 8,1 m³sk/ha/år. Avdelningar större än 10 hektar på fastigheten inkluderades inte i arbetet. Detta gjordes för att modellerna skulle kunna kopplas till ett brukande där hyggen inte får överstiga 2 hektar i Götaland och 4 hektar i övriga Sverige. Beslutet togs eftersom endast metoden med de applicerade modellerna ska undersökas, inte resultatet vid ett brukande i linje med definitionen för naturnära skogsbruk.

2.2 Tillämpning av analytiskt ramverk

2.2.1 Domäner och Inställningar

I beslutsstödsystemet Heureka Planwise skapades två olika domäner. Den första domänen *BAU* har sin grund i standarddomänen som Heureka själv skapar vid nya projekt. Domänen sköter skogen enligt dagens modell för svenskt trakthyggesbruk och det som lades till i domänen var en förändring i kontrollkategorin, där det valdes att hänsynsytor, evighetsträd och högstubbar skulle lämnas efter avverkning. Antalet som valdes var 3 högstubbar per hektar och 10 hänsynsträd per hektar. Detta för att upprätthålla kravet om en allmän hänsyn efter slutavverkning (Svenska PEFC 2024). Det skapades även ett villkor för arean som ställer ett krav att avdelningarna måste vara 10 hektar eller mindre.

Den andra domänen som skapades var *Unmanaged*, vars syfte var att samla upp de avdelningar som överskrider areabegränsningen på 10 hektar. Avdelningar som hamnar i domänen *Unmanaged* togs undan från brukande, vilket uppnåddes genom att ändra i kontrollkategorins inställning (*treatment program generator*) från *Even-aged* till *Unmanaged*.

Simuleringen kördes över 21 perioder vilket motsvarar 105 år och maxgränsen för skötselprogram som genererades per avdelning begränsades till 20. *Random seed* gavs värdet 0 och diskonteringsräntan tilldelades värdet 3%. De angivna parametrarna användes sedan som grund för att generera skötselprogram.

2.2.2 Optimeringen

Målvariabeln bestämdes till att maximera NPV över arealen genom att summera avdelningarna och skötselalternativ över fastigheten med alternativ inkluderade. Beslutsvariabeln X_{ij} definierades som binär för att säkerställa att varje avdelning endast sköts enligt ett skötselprogram. Samtliga modeller kördes i separata försök där resultat erhöles för varje individuell körning.

Det skapades en parameter (*Commonborderlength*) som definierar de gemensamma gränserna mellan intilliggande avdelningar. Därefter skapades variabeln *SA* för att definiera slutavverkningsbara avdelningar. Variabeln lades till och användes vid alla körningar av URM och URM-A i optimeringsmodulen. Även en variabel *volumeCutTotal* för all avverkad volym över perioderna lades till. *Se bilaga 1 figur 9*

Ett krav för jämnhet i avverkningsnivå över perioderna lades sedan in för alla modeller. Kravet för jämn avverkningsnivå definierades i optimeringsmodulen med hjälp av variabeln *volumeCutTotal*. Informationen om den totala avverkade volymen hämtades från parametern *volumeCut*. Därefter skapades två olika restriktioner *VolumeCutTotalIncrease* och *VolumeCutTotalDecrease*. Se bilaga 1 figur 10, 11, 12

Inställningen för *Relative MIP-gap* ändrades i optimization settings från 0,01% till 1%. Anledning var att underlätta för solvern att hitta en så optimal lösning som möjligt utan att nå en timeout. När de modellspecifika restriktionerna blivit tillagda i modellerna kördes de på TPG:n och löstes med hjälp av solvern Gurobi. Resultatet från modellerna URM, URM-A och ARM erhöles efter separata körningar och kunde därefter jämföras.

Restriktionerna tillsammans bestämmer att den totala avverkningsnivån varken får öka eller minska med mer än 10% från föregående period. Detta säkerställer en uthållig avverkningsnivå över planeringshorisonten i samverkan med målvariabeln som vill maximera NPV och de rumsliga restriktionerna för respektive modell. De modellspecifika restriktionerna för URM samt URM-A lades därefter till.

Rumsliga restriktionen för URM

Restriktionen säkerställer att två slutavverkningsbara avdelningar SA som delar en gemensam gräns med varandra aldrig avverkas i samma period. Restriktionen gör detta genom att se ifall det sammanlagda värdet från båda avdelningarna överstiger 1. Om värdet överstiger 1 nekas alternativet för slutavverkning av båda avdelningarna i samma period. Se bilaga 1 figur 13

Rumsliga restriktionen för URM-A

Restriktionen säkerställer att två slutavverkningsbara avdelningar SA som delar en gemensam gräns mot varandra och där den totala arean överstiger 10 hektar aldrig avverkas i samma period. Se bilaga 1 figur 14

ARM

Modellen används för att skapa kluster av de avdelningar som kan slutavverkas utifrån en arearestriktion. Detta kan genomföras eftersom avdelningarna som lagts in i Heureka innehåller information om storlek, ålder och volym. Denna information används sedan för att välja vilka bestånd som kan avverkas under vilken period.

För att modellen ska få information om vilka avdelningar som angränsar varandra skapas parametern *commonborderlength*, som beräknar alla avdelningar som delar gräns. Parametern ger därmed information över vilka avdelningar som kan klustras samman. Ovanstående information möjliggör sedan för beräkningen av *Cliques and harvest clusters*, som genererar de parametrar, variabler och restriktioner som krävs för att skapa avverkningsklustren (Goycoolea et al. 2009). Beräkningen innebär att en uppsättning av avdelningar som angränsar varandra beräknas som en Clique, och varje medlem i en Clique angränsar till alla andra medlemmar (Murray 1999).

Areabegränsningen för avverkningsklustren sattes på 10 hektar för att följa syftet om minskade hyggesarealer.

ARM skapar även en parameter för återväxt (*Green up delay*), vilket möjliggör att räkna slutavverkade bestånd som hyggen längre än en period. Parametern tilldelades ändå värdet 1, vilket motsvarar en period. Detta gjordes för att räkna med samma återväxt som i URM-modellerna.

Referens utan hyggesbegränsning

Det skapades en modell utan hyggesbegränsning som agerade referens för de modeller som undersöktes. Modellen innehöll inga begränsningar kopplat till vilka avdelningar som får avverkas. Den restriktion som lades till var jämnhetskravet och eftersom modellen kördes på samma TPG inställningar som de andra modellerna så uteslöts avdelningarna med en area större än 10 hektar.

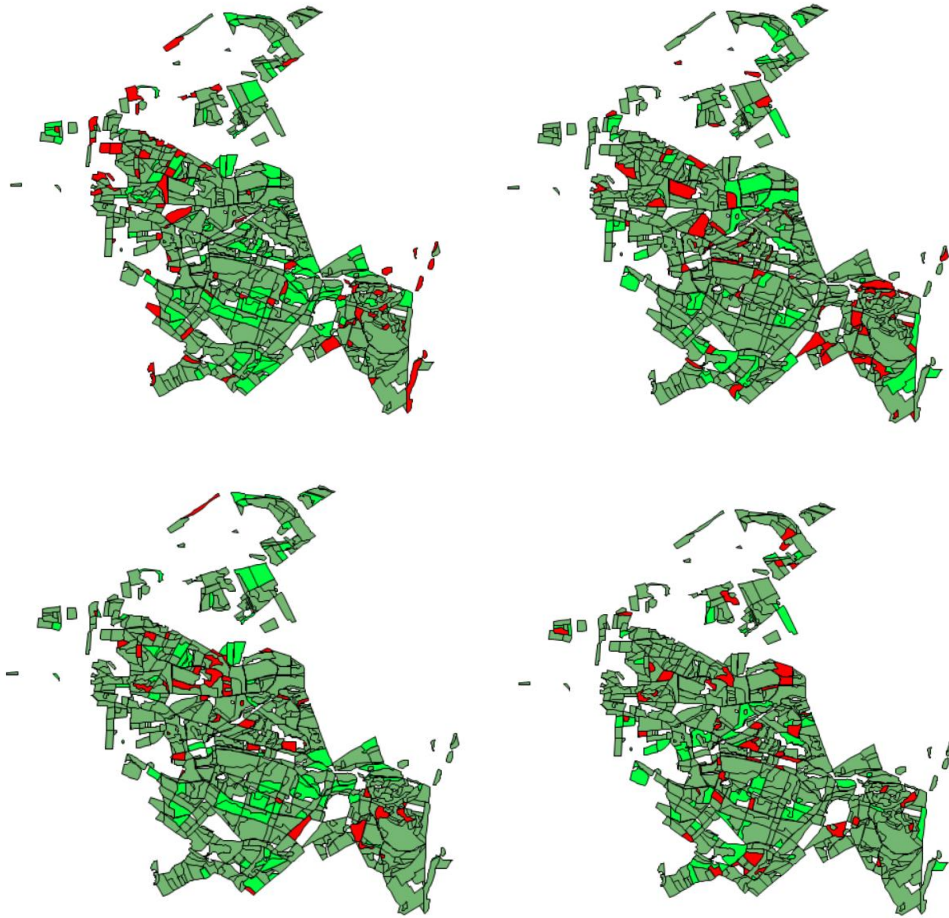
3. Resultat

De optimeringsmodeller som användes var URM, URM-A, ARM samt en modell utan hyggesbegränsning. Samtliga modeller utgick från samma TPG inställningar. Det som kontrolleras under och efter optimeringen är fördelningen av slutavverkningar över tid, nuvärdet (NPV), lösningstiden, den totala slutavverkade volymen och den totala gallringsvolymen. Resultaten erhöles från separata körningar av var och en av modellerna i Heureka Planwise.

3.1 Fördelning av slutavverkning mellan period 1 – 4

Kartor över period 1 – 4 skapades för samtliga modeller, där skötselåtgärden i varje avdelning redovisas. Avdelningarna tilldelas en färg utifrån tre olika skötselåtgärder. Där röd innebär slutavverkning, ljusgrön är de avdelningar som gallras och mörkgrön innebär att det inte utförs någon åtgärd.

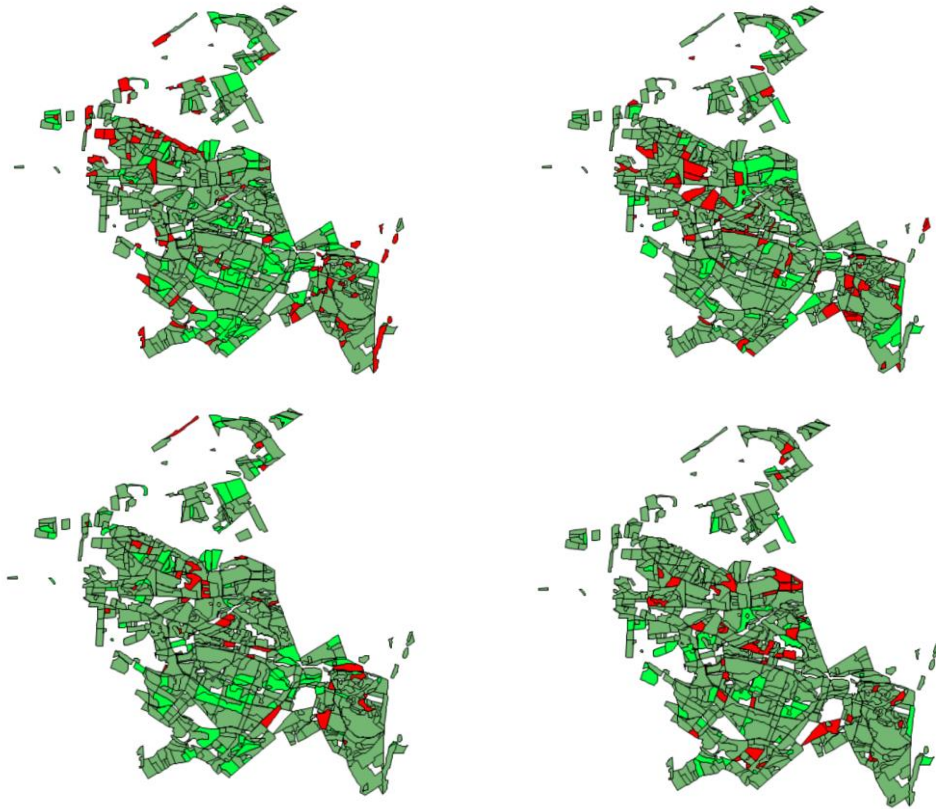
3.1.1 URM



Figur 1. Från vänster till höger (period 1–4), slutavverkade avdelningar (röda), gallrade avdelningar (ljusgrön), ingen åtgärd (mörkgrön).

Figuren ovan visar hur slutavverkningar i rött fördelas över perioderna 1–4 så att slutavverkningar ej genomförs för intilliggande avdelningar i samma period.

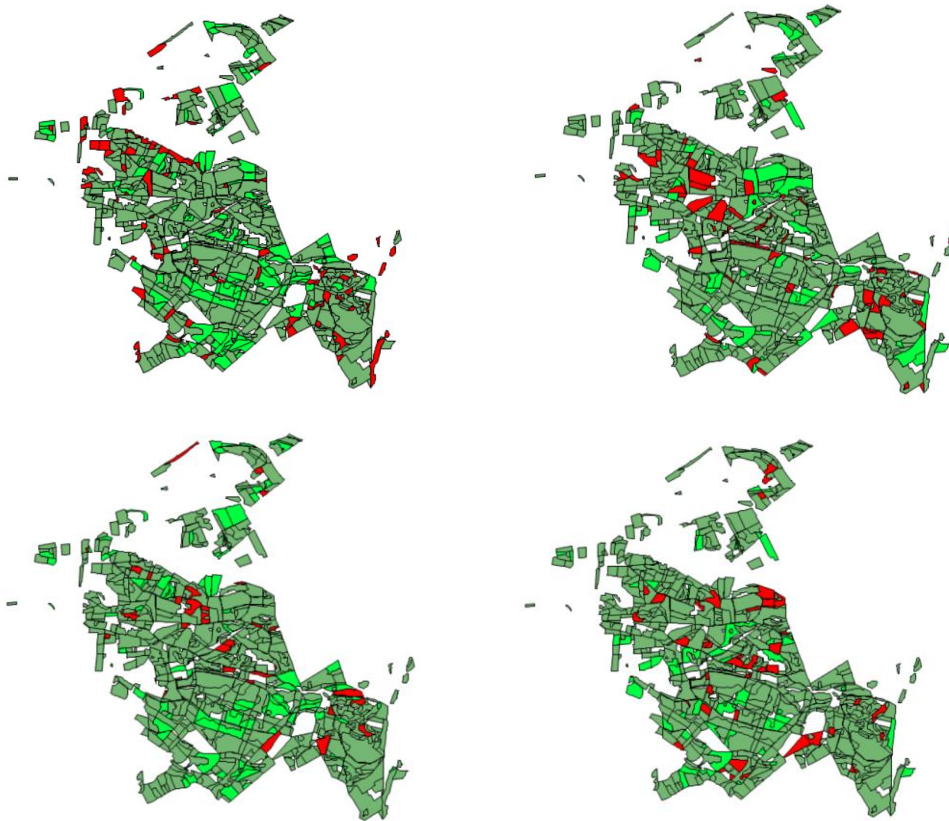
3.1.2 URM-A



Figur 2. Från vänster till höger (period 1–4), slutavverkade avdelningar (röda), gallrade avdelningar (ljusgrön), ingen åtgärd (mörkgrön).

URM-A bygger på samma restriktion som för URM. Skillnaden är att URM-A begränsas av arean och därmed får avverka intilliggande avdelningar om den summerade arean för avdelningarna inte överskrider areabegränsningen. Resultatet för period 1–4 redovisas i figuren ovan.

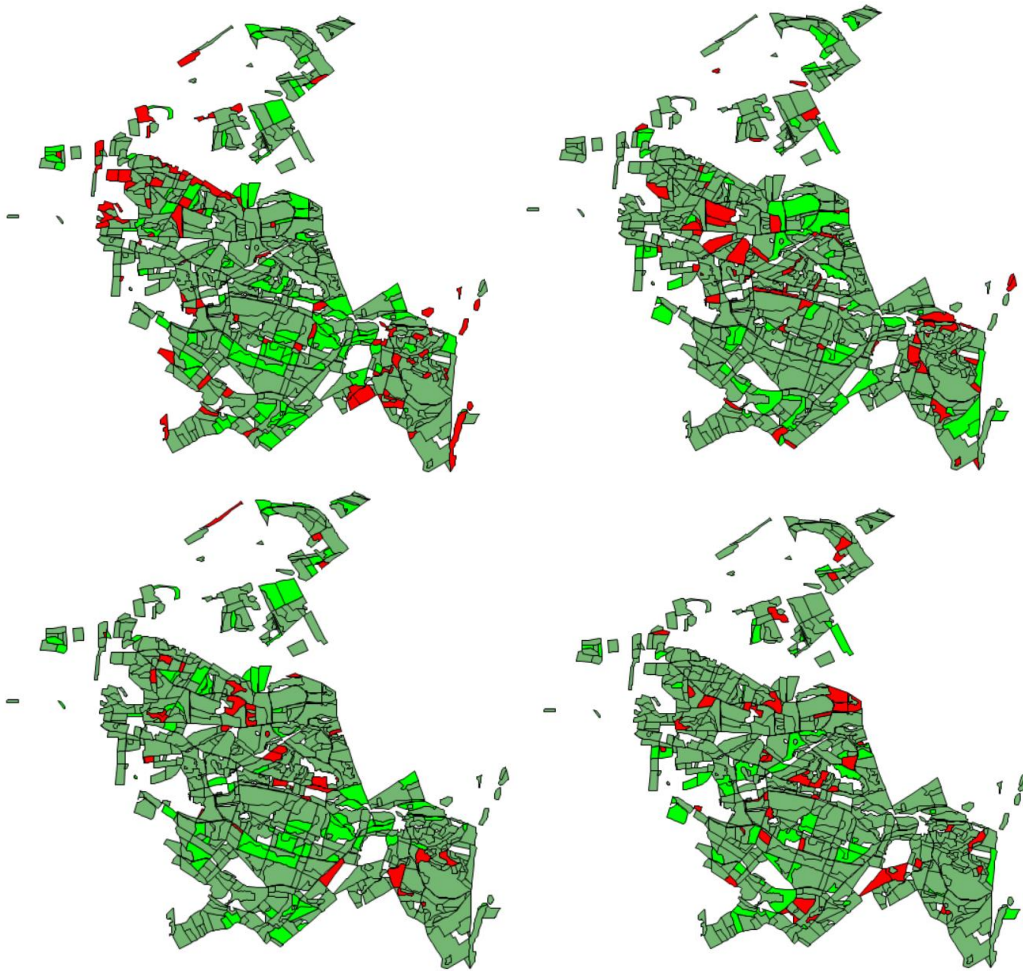
3.1.3 ARM



Figur 3. Från vänster till höger (period 1–4), slutavverkade avdelningar (röda), gallrade avdelningar (ljusgrön), ingen åtgärd (mörkgrön).

ARM skapar kluster av de avdelningar som angränsar varandra och som kan slutavverkas under samma period. I figur 11 redovisas de kluster som slutavverkas i period 1 - 4 enligt ARM.

3.1.4 Utan hyggesbegränsning



Figur 4. Från vänster till höger (period 1–4), slutavverkade avdelningar (röda), gallrade avdelningar (ljusgrön), ingen åtgärd (mörkgrön).

I figuren ovan visas fördelningen av gallringar och slutavverkningar mellan period 1-4. Resultatet erhöles från modellen utan hyggesbegränsning.

3.2 Nuvärde och lösningstid

Vid samtliga körningar valdes *NPV* som målfunktion, vilket resulterar i en maximering av nuvärdet utifrån rådande begränsningar i optimeringsmodulen. Under alla körningar var diskonteringsräntan 3%.

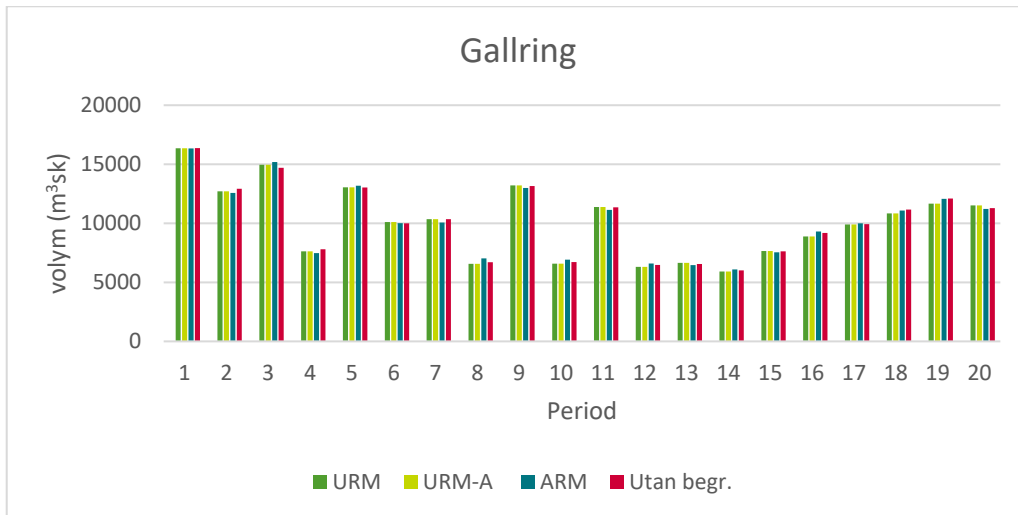
URM genererade det lägsta nuvärdet på 43 452 Kr/ha, URM-A genererade ett nuvärde på 43 603 Kr/ha och ARM ett nuvärde på 43 652 Kr/ha. Skillnaden mellan URM med det lägsta nuvärdet och ARM med det högsta nuvärdet var exakt 200 Kr/ha. Modellen utan hyggesbegränsningar genererade det näst högsta nuvärdet som motsvarade 43 645 Kr/ha.

Det högsta möjliga nuvärdet, baserat på TPG-inställningarna och utan några restriktioner var 43 936 Kr/ha.

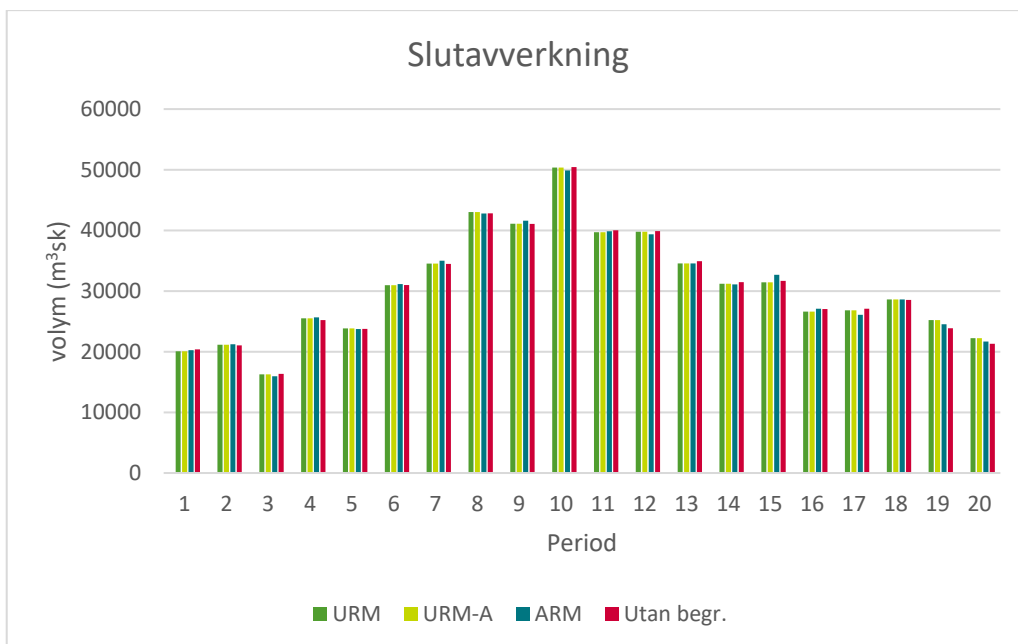
Lösningstiden mellan URM och URM-A visade ingen skillnad, då båda modellerna hade en lösningstid på 36 sekunder. ARM hade en längre lösningstid på 106 sekunder, vilket motsvarar en lösningstid som är 2,94 gånger längre än i URM och URM-A. Modellen utan hyggesbegränsningar redovisade det snabbaste resultatet på 13 sekunder.

3.3 Total avverkad volym

Total slutavverkad volym (m^3sk) och total gallrad volym (m^3sk) för modellerna över alla 21 perioder redovisas i diagrammen nedan.



Figur 5. Total gallrad volym (m^3sk) över perioderna



Figur 6. Total slutavverkad volym (m^3sk) över perioderna

4. Diskussion och slutsats

4.1 Resultatdiskussion

Syftet med arbetet var att jämföra modellerna URM, URM-A och ARM i Heureka Planwise kopplat till Skogsstyrelsens och Naturvårdsverkets definition för naturnära skogsbruk. Resultaten från arbetet visade att modellerna var väldigt likvärdiga i förhållande till nuvärde. Ingen betydande skillnad i avkastning kunde observeras beroende på vilken modell som användes. ARM var den modell som genererade det högsta nuvärdet, men lösningen var endast 49 kr/ha högre än modellen URM-A som hade det näst högsta nuvärdet. Den tredje modellen URM hade ett nuvärde som var exakt 200 kr/ha lägre än ARM. Som referens inkluderades även en modell utan någon hyggesbegränsning, denna modell genererade ett nuvärde som var 7 kr/ha lägre än ARM.

Resultaten visade att ARM genererade ett högre NPV än referensmodellen. Anledningen till detta antas vara det höga MIP-gapet som valdes för arbetet. Vid ett högt värde för MIP-gapet tillåts fler lösningar, där ett MIP-gap med värdet 1% accepterar lösningar som är inom 1% av den optimala lösningen (Ásgeirsson & Sigurðardóttir 2016). Vid ett lägre MIP-gap antas att modellen utan hyggesbegränsning genererar ett högre NPV, då modellen har färre begränsningar för vilka avdelningar som får avverkas. Anledningen till att ett högre MIP-gap användes var för att resultaten som genererades var jämna mellan samtliga modeller. Att sänka MIP-gapet hade inte genererat stora skillnader i NPV eller i fördelningen av slutavverkningar. Det som skulle påverkats markant av en sänkning hade varit lösningstiden som då hade ökat, men inte tillfört något nytt till resultatet.

Lösningstider

Lösningstiderna för de olika modellerna med Gurobi solver var lika för URM och URM-A, båda med en lösningstid på 36 sekunder. För ARM tog det 106 sekunder att få ut en lösning. Modellen utan hyggesbegränsning hade den kortaste lösningstiden på endast 13 sekunder.

Skillnaden i lösningstiderna kan bero på många olika faktorer. Enligt (Kašpar et al. 2016) kan dessa inkludera antal perioder i planeringshorisonten, längden på perioderna och mängden restriktioner. Även datorns hårdvara, mjukvara samt inställningar framhävs som faktorer som kan påverka lösningstiderna. Vidare konstaterar (Kašpar et al. 2016) att antalet avdelningar har stor påverkan på lösningstiderna, men att antalet avdelningar som delar gemensamma gränser har en ännu större påverkan på lösningstiderna.

Den längre lösningstiden för ARM skulle därmed kunna kopplas till att modellen innehåller flest restriktioner. Dessutom skapar ARM optimala kluster av angränsande avdelningar för varje period, vilket ökar beräkningskomplexiteten jämfört med de andra modellerna. Sammantaget kan detta ses som bidragande orsaker till den negativa påverkan på lösningstiden.

Fördelning av slutavverkningar

I resultatet presenterades exempel för de olika modellerna på hur avverkningarna fördelades över period 1–4 med hänsyn till gällande restriktioner. Resultatet visade att modellerna kunde fördela ut avverkningar över hela planeringshorisonten enligt restriktionerna. Avverkningarna för URM som sköttes med restriktionen för parvisa avdelningar såg till att intilliggande avdelningar ej avverkades i samma period. För URM-A blev resultatet liknande, då intilliggande avdelningar som hade en sammanlagd area under 10 hektar avverkades i samma period. Samtidigt undveks avverkningar av intilliggande avdelningar som översteg gränsvärdet på 10 hektar.

Den totala slutavverkade volymen och andelen gallring skiljde sig inte markant mellan modellerna över de 21 perioderna.

Problematik med vägnätverket

Ett problem som uppstod för resultaten hos alla modellerna var att ingen hänsyn togs till vägnätverket vid optimeringen i Heureka. Två avdelningar eller kluster som delades av en väg kunde avverkas på båda sidor, eftersom en väg inte räknades som en gemensam gräns mellan två avdelningar. Detta ledde till att modellerna fann lösningar där avverkningar på båda sidor av en väg kunde ske samtidigt, vilket inte var det förväntade utfallet. Den huggna traktens storlek hade i vissa fall kunnat bli dubbelt så stor som den högsta tillåtna arealen på 10 hektar som ställts in i restriktionerna för URM-A och ARM. För URM kunde detta observeras tydligt, då det i många fall avverkades avdelningar som hade delat en gemensam gräns om det inte hade varit en väg mellan dem.

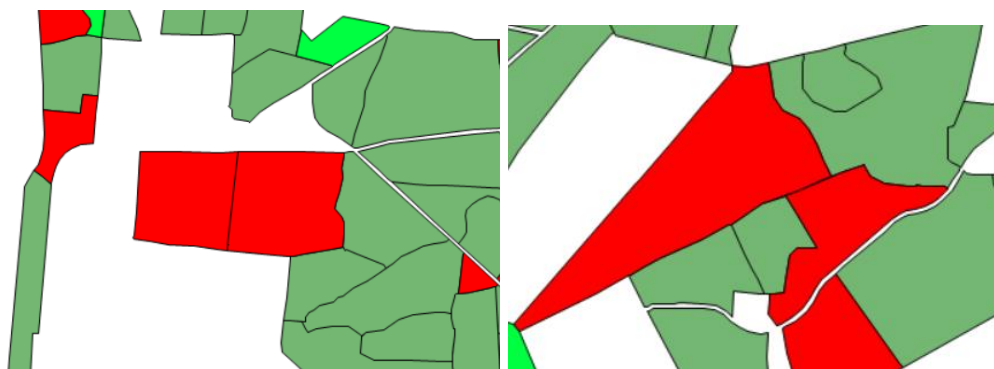
För ARM visade resultatet klustrade avdelningar mindre än 10 hektar över hela planeringshorisonten. Enligt modellen som användes hade två kluster på olika sidor av en väg kunnat avverkas enligt modellen, men det utfallet kunde ej observeras för datasetet över fastigheten Björntorp. Varför scenariot inte uppstod för denna modell antas vara på grund av att datasetet inte har tillräckligt mycket avverkningsbar skog i samma perioder över planeringshorisonten. För ett annat dataset där mängden avverkningsbar skog varit högre, hade detta problem eventuellt uppdagats för ARM.

En implementering av en buffertzona mellan olika kluster som förhindrar att de slutavverkas inom en viss distans från varandra, hade varit intressant att utforska på dataset där problemet uppstår. Att definiera kluster med hjälp av en buffert diskuteras av (Goycoolea et al. 2009), där presenteras *distance adjacency* som ett sätt att sprida ut kluster och behålla avstånden mellan. Bufferten skulle med fördel vara större än 4 meter och utgå från klustrets yttre gränser, då 4 meter är den normala bredden på en skogsbilvägs körbana i Sverige (Skogsstyrelsen 2011). Bufferten som är större än 4 meter hade därmed kunnat förhindra att två kluster som ligger inom en vägbredd av varandra från att avverkas, vilket eventuellt hade löst vägproblematiken för ARM.

Miss tänkt ID problematik

Ytterligare problem som observerades var att delade gränser mellan avdelningar i vissa fall inte räknades som angränsande för URM. Detta ställde till problem då modellen inte efterföljdes i praktiken. En anledning till att modellen inte efterföljs kan vara att avdelningarna som delar gräns också delar ett gemensamt ID i datasetet. Detta skulle resultera i att det som observerats i kartan som två olika avdelningar från början har registrerats i datasetet som endast en avdelning. Varför detta har gjorts är inte säkert. En teori är att den som utfärdat skogsbruksplanen beslutat sig för att avdelningarna var tillräckligt lika, vilket resulterade i ett subjektivt beslut för en sammanslagning.

Detta är endast ett problem som har kunnat observeras för URM, där intilliggande avdelningar avverkas under planeringshorisonten. Kluster av avdelningar som avverkats inom ramarna för modellerna ARM och URM-A hade inte blivit påverkade, eftersom en avdelning som ser ut att vara delad fortfarande har en gemensam area som räknas med i modellernas restriktioner.



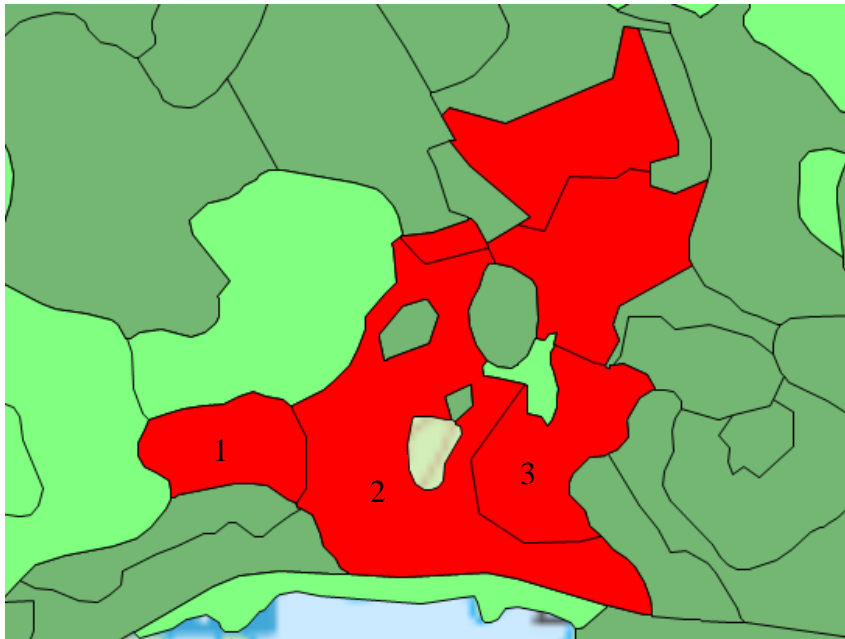
Figur 7. Miss tänkt ID problematik från period 1 och 2 i URM

Restriktionen för URM-A

För URM-A finns det ytterligare problem med restriktionen som avverkar parvisa avdelningar under 10 hektar. Eftersom restriktionen enbart avverkar avdelningar parvist innebär det att en helt acceptabel lösning i Heureka kan vara som i följande exempel:

Exempel. Avdelning 1 och 2 angränsar varandra och understiger 10 hektar i samma period, men även avdelning 2 och 3 delar en gemensam gräns och uppfyller samma krav enligt restriktionen. Avdelningarna 1, 2 och 3 kan därför alla avverkas i samma period. *Se figur 8*

Denna lösning på problemet bryter mot syftet med arbetet. För datasetet Björntorp kunde detta fenomen ej observeras, men vid applicering av modellen på andra dataset skulle detta vara en möjlig lösning för modellen utifrån areatilläggets formulering.



Figur 8. Exempel på problemet som hade kunnat uppstå mellan intilliggande avdelningar där parvisa avverkningar utförs enligt modellen URM-A

4.2 Metoddiskussion

Datasetet som användes i arbetet omfattade området Björntorp, som är beläget i Skåne. Valet av område baserades på avdelningarnas storlek, eftersom 7 av de totalt 681 avdelningarna i Björntorp underskrider 10 hektar. Därför användes Björntorpdatat oförändrat, och de fyra största avdelningarna inkluderades inte i analysen.

Att just 10 hektar valdes som gräns i arbetet var för att det saknades ingångsdata för avdelningar över en fastighet där majoriteten understeg 2 eller 4 hektar. Ett tidigare försök gjordes att dela upp fastigheten i storleksklassen mindre än 4 hektar och gick att använda med modellerna URM och URM-A. För ARM uppstod dessvärre problem relaterat till ingångsdatat, där vi själva delat in avdelningar i önskade storlekar. Detta ledde till att körningar ej kunde genomföras och ett ingångsdata med avdelningar i storleksklassen mindre än 10 hektar valdes för att underlätta jämförelsen av modellerna.

Andelen ädellövträd i datasetet, som var relativt hög (ca. 20%), togs inte i beaktning vid implementeringen av modellerna. Detta beslut fattades eftersom fokusområdet för arbetet enbart syftade till att undersöka begränsningar av hyggesarealerna. Vid praktisk tillämpning av metoden på fastigheten bör hänsyn tas till gällande lagar och regler, med särskilt avseende till ädellövskogslagen.

Arbetet använde två domäner: *BAU* och *Unmanaged*. *BAU* representerar dagens form av trakthyggesbruk, medan *Unmanaged* innebär att skogen inte brukas. *BAU* kopplades till 677 av de totalt 681 avdelningarna, medan *Unmanaged* kopplades till de fyra största avdelningarna. Domäntilldelningen baserades enbart på avdelningarnas storlek, inte på deras skötselpotential eller bevarandevärde. För mer platsspecifik skötsel kan fler domäner med specifika villkor användas för att bättre fånga upp avdelningar utifrån deras nuvarande struktur. Enligt definitionen för naturnära skogsbruk är det avdelningar med en hög andel äldre träd, lövdominans eller en flerskiktad struktur som är av intresse att bevara eller bruka med alternativa skötselmetoder (Appelqvist & Mogren 2023).

Domänen *BAU* kopplades till Heurekas standard kontrollkategori som har trakthyggesbruk som vald skötselmetod, medan domänen *Unmanaged* kopplades till en kontrollkategori med skötselmetoden fri utveckling. Det skapades inga kontrollkategorier för alternativa skötselmetoder som blädning eller schackrutehuggning. Detta berodde på att arbetet baserades på dagens skogsbruk, där majoriteten av den svenska skogen brukas med trakthyggesbruk. Det finns alternativ för att simulera ett anpassat trakthyggesbruk med fröträdsställning eller skärmställning, men dessa användes inte. Anledningen var att alternativen inte

påverkar jämförelsen av resultaten, då modellerna skulle påverkas likvärdigt av kontrollkategorin. Vid en vidareutveckling av arbetet kan skillnader i nuvärde och lösningstider mellan de olika trakthyggesbruksmetoderna vara av intresse att analysera.

Modellerna som jämfördes i Heureka's optimeringsmodul var URM, URM-A och ARM, där ARM har en parameter vid namn *Green up delay*. Parametern klassar slutavverkade avdelningar som hyggen under en given tidsperiod. Om parametern tilldelas värdet 3, kommer avdelningar som slutavverkas att klassas som hyggen under tre perioder, vilket motsvarar 15 år. Detta begränsar avverkningen av angränsande avdelningar under dessa perioder, vilket möjliggör för avverkade avdelningar att bli ungskog innan angränsande avdelningar slutavverkas. Försök att återskapa parametern i de två URM-modellerna misslyckades. Därför valdes parametern bort genom att tilldelas värdet 1 i ARM, vilket innebär att slutavverkade avdelningar klassas som hyggen lika länge som i URM-modellerna. Exkluderingen gjordes för att skapa en rättvis jämförelse av modellerna, eftersom parametern annars skulle begränsa avverkningen och påverka nuvärdet (NPV) negativt samt förlänga lösningstiden på grund av det mer komplicerade optimeringsproblemet. Parametern kan också skapa en missvisande bild på de kartor som genereras, då andelen hyggen skulle upplevas öka när avdelningar som slutavverkas klassas som hyggen under en längre tid.

4.3 Slutsats

Utifrån analysen av de resultat som genererats av modellerna kan några slutsatser dras. URM utan areatillägg är en bra modell för att sprida ut hyggen över fastigheten. Modellens styrka är också dess svaghet, då det i praktiken blir svårt att utföra en slutavverkning när de slutavverkningsbara bestånden är så utspridda. URM med areatillägg löser detta problem genom att tillåta avverkning av angränsande avdelningar, förutsatt att deras sammanlagda area underskrider den fastställda arearestriktionen. Problemet med modellen är att den enbart tar hänsyn till två avdelningar, vilket kan leda till att hyggen som överskrider areabegränsningen bildas när fler än två avverkningsbara avdelningar angränsar varandra.

Detta problem löses i ARM, som skapar kluster av avverkningsbara avdelningar utifrån en areabegränsning. Klustren kan innehålla ett obegränsat antal där samtliga avdelningar tar hänsyn till varandra, vilket förhindrar att hyggen överskrider den förutsatta areabegränsningen. Resultatet visar att ARM generellt sett skapar en bättre fördelning av skötseln än de övriga modellerna. Detta eftersom ARM genererar ett högre nuvärde (NPV) samtidigt som restriktionen följs.

Problemet med ARM är att lösningstiden är nästan tre gånger längre än för de övriga modellerna, vilket kan skapa problem vid tillägg av fler restriktioner.

Referenser

- Appelqvist, C. & Mogren, E. (2023). *Förutsättningar för hyggesfritt skogsbruk och definition av naturnära skogsbruk i Sverige*. <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/om-oss/rapporter/rapporter-2023/rapport-2023-16-forutsattningar-for-hyggesfritt-skogsbruk-och-definition-av-naturnara-skogsbruk-i-sverige-.pdf> [2024-04-17]
- Ásgeirsson, E.I. & Sigurðardóttir, G.L. (2016). Near-optimal MIP solutions for preference based self-scheduling. *Annals of Operations Research*, 239 (1), 273–293. <https://doi.org/10.1007/s10479-014-1597-3> [2024-05-16]
- Europeiska kommissionen (2021). *Ny EU-skogsstrategi för 2030*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX:52021DC0572&qid=1713269639352> [2024-04-16]
- Goycoolea, M., Murray, A., Vielma, J.P. & Weintraub, A. (2009). Evaluating Approaches for Solving the Area Restriction Model in Harvest Scheduling. *Forest Science*, 55 (2), 156–157. <https://doi.org/10.1093/forestscience/55.2.149> [2024-05-13]
- Kašpar, J., Marušák, R. & Bettinger, P. (2016). Time Efficiency of Selected Types of Adjacency Constraints in Solving Unit Restriction Models. *Forests*, 7 (12), 11–12. <https://doi.org/10.3390/f7050102> [2024-05-07]
- Lundmark, H., Josefsson, T. & Östlund, L. (2013). The history of clear-cutting in northern Sweden – Driving forces and myths in boreal silviculture. *Forest Ecology and Management*, 307, 112–120. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.003> [2024-05-06]
- Lämås, T., Sängstuvall, L., Öhman, K., Lundström, J., Årevall, J., Holmström, H., Nilsson, L., Nordström, E.-M., Wikberg, P.-E., Wikström, P. & Eggers, J. (2023). The multi-faceted Swedish Heureka forest decision support system: context, functionality, design, and 10 years experiences of its use. *Frontiers in Forests and Global Change*, 6, 1–16. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1163105> [2024-04-16]
- Murray, A.T. (1999). Spatial Restrictions in Harvest Scheduling. *Forest Science*, 45 (1), 45–52. <https://doi.org/10.1093/forestscience/45.1.45> [2024-04-17]
- Skogsstyrelsen (2011). *Anvisningar för projektering och byggande av skogsbilvägar klass 3 och 4*. <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/bruka-skog/vagar/projektera-och-bygga-skogsbilvag.pdf> [2024-05-09]
- Svenska PEFC (2024). Skogsbruksstandard. <https://cdn.pefc.org/pefc.se/media/2023-12/4c5087ab-e989-4b92-96fe-dce1ea72ccec/9d49806f-8b69-5bba-a536-1f68ef7a7842.pdf> [2024-04-30]

Tack

Vi vill rikta ett tack till vår handledare Karin Öhman, som varit tillgänglig och bistått oss med vägledning under arbetets gång.

Bilaga 1

```
forall <p,i> in Periods * TreatmentUnits with p>=1 do
sum <j> in Alternatives
with altIncluded[i,j] == 1
and treatment[i,j,p,0] == 8
:
x[i,j] == SA[p,i] ;
```

Figur 9. Variabeln "SA" som definierar slutavverkningsbara avdelningar

```
FORALL <p> IN periods DO
SUM <i,j,k> IN treatmentUnits * alternatives * treatments WITH altIncluded[i,j] >= 1 :
volumeCut[i,j,p,k] * area[i] * x[i,j] == volumeCutTotal[p] ;
```

Figur 10. Variabeln "volumeCutTotal" som summerar den totala volymen på fastigheten över perioderna.

```
FORALL <p> IN periods WITH p > p1 :
volumeCutTotal[p] - volumeCutTotal[p - 1] <= 0.1 * volumeCutTotal[p - 1] ;
```

Figur 11. Restriktionen VolumeCutTotalIncrease

```
FORALL <p> IN periods WITH p > p1 :
volumeCutTotal[p - 1] - volumeCutTotal[p] <= 0.1 * volumeCutTotal[p - 1] ;
```

Figur 12. Restriktionen VolumeCutTotalDecrease

```
forall <p,i,m> in Periods * TreatmentUnits * TreatmentUnits
with p>=1 and
( commonBorderLength[i,m] > 0 or commonBorderLength[m,i] > 0 )
:
SA[i,p] + SA[m,p] <= 1 ;
```

Figur 13. Rumsliga restriktionen som begränsar slutavverkning av två intilliggande avdelningar i samma period

```
forall <p,i,m> in Periods * TreatmentUnits * TreatmentUnits
with p>=1 and
( commonBorderLength[i,m] > 0 or commonBorderLength[m,i] > 0 )
:

SA[p,i] * area[i] + SA[p,m] * area[m] <= 10 ;
```

Figur 14. Rumsliga restriktionen som förhindrar att två intilliggande avdelningar som tillsammans överstiger 10 hektar från att slutavverkas.

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Läs om SLU:s publiceringsavtal här:

- <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.