



Prioritering av bestånd beaktande spatial aggregering till avverkningstrakter

Stand prioritization by spatial aggregation to forest management tracts

Björn Färnstrand

Arbetsrapport 394 2013
Examensarbete 30hp A1E
Jägmästarprogrammet

Handledare:
Ljusk Ola Eriksson



Prioritering av bestånd beaktande spatial aggregering till avverkningstrakter

Stand prioritization by spatial aggregation to forest management tracts

Björn Färnstrand

Examensarbete i Skogshushållning vid institutionen för skoglig resurshushållning, 30 hp
Jägmästarprogrammet
EX0707

Handledare: Ljusk Ola Eriksson, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, planering

Extern handledare: Jonas Eriksson, Holmen Skog

Examinator: Tomas Lämås, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, planering

Sammanfattning

För att garantera att skogen avverkas på ett uthålligt sätt tar Holmen med hjälp av Heureka PlanWise ca vart tionde år fram en strategisk plan (avverkningsberäkning) för att se hur stora volymer som går att avverka uthålligt. Till grund för avverkningsberäkningen ligger en inventering av skogsinnehavet. Inventeringen syftar till att säkerställa skogens aktuella status. Den avverkningsnivå som tas fram ligger fast fram till dess att nästa inventering genomförs.

Varje år upprättas med hjälp av PlanWise en taktisk plan som tar fram vilka bestånd som ska slutavverkas de kommande 15 åren samt vilka bestånd som ska gallras under de kommande 10 åren. Den taktiska planen är uppdelad i femårsperioder. När det på distrikten ska beslutas om vilka bestånd som ska planeras i fält varje år för att komma upp till avverkningsnivån, plockas bestånd från den första och andra femårsperioden ut med hänseende att klustra samman bestånd till trakter.

I detta arbete har alternativa taktiska planer tagits fram med hjälp av PlanWise med syfte att undersöka hur nuvärdet förändras om det ställs krav på klustring samt jämnhet i sortiments- och bärighetsklassfördelning.

Detta för att se om möjligheten att, redan när den taktiska planen skapas, klustra bestånd till trakter. GIS har använts för att koppla bestånd till två vägsegment via två olika skotningsalternativ. När bestånd kopplades till vägsegment använde PlanWise en restriktion som skapar en vägöppningskostnad för varje vägsegment som använts. I optimeringsmodellen har bestånd kunnat dela på vägöppningskostnad om de skotas till samma vägsegment, under samma säsong, i samma period och har samma åtgärd. Är vinningen att dela på vägöppningskostnaden större än förlusten i skogligt nuvärde kommer bestånd att väljas att åtgärdas samtidigt.

Resultatet visar att det är möjligt att klustra bestånd till trakter med hjälp av en vägöppningskostnad och att metoden att låta PlanWise välja mellan två skotningsalternativ fungerar. Att ställa krav på jämnhet i trädslagsutfall och bärigheter kostar relativt lite i förlust av skogligt nuvärde.

I dagsläget kan optimeringsmodellen fungera som ett beslutsstöd för de på distrikten som arbetar med att välja vilka bestånd som ska planeras i fält varje år. För att kunna använda de i detta examensarbete framtagna taktiska planerna på ett realistiskt sätt utan stora omstruktureringar, krävs förbättring av optimeringsmodellen som gör att vägsegmenten kan sammankopplas till vägar. Detta för att bestånd som ligger efter samma väg men är kopplade till två olika vägsegment ska kunna dra fördel av att avverkas samtidigt.

Nyckelord: Klustring, taktisk planering, PlanWise, skotningsalternativ, optimering

Abstract

To ensure that the forest is harvested in a sustainable manner Holmen is using Heureka PlanWise every ten years to create a strategic plan to see how large volume that can be harvested in a sustainable way. The base for the harvest calculation is an inventory of the total forest holdings describing the current state of the forest. The logging level remains unchanged until the next inventory is completed.

On the district level, a tactical plan is created each year with the help of PlanWise. The stands for final felling the coming 15 years and the stands that should be thinned during the next 10 years are allocated on 5 year periods in the plan. The plan is implemented by selecting stands from the next two five year periods to reach the preset harvest level and to aggregate stands into tracts. .

In this study alternative tactical plans were developed with PlanWise. The purpose was to investigate how the net present value changed with different levels of aggregation and different levels of evenness in the assortment and the stands soil bearing capacity. This would indicate to what extent stands can be aggregated into tracts in tactical planning.

GIS was used to connect the stands with two major roads with two different forwarding options. When stands were connected to a road a road opening cost for each connected road was activated. In the optimization the stands could use the same road opening cost if they were harvested during the same season during the same period with the same management action (thinning or final harvest). If the gain of sharing the road opening cost is greater than the loss in forest net present value the stands will be harvested in the same year and in the same season (also accounting of all other constraints).

The result show that it is possible to aggregate the stands into tracts with a road opening coast and let PlanWise chose between two alternative roads. The effect on net present revenue of incorporating evenness in tree species composition of harvested volumes and soil bearing capacity is small

The model developed in the thesis can function as a decision support system on the district in its present form. However, to be of value in a real planning situation some further developments are required. One is the need to connect the isolated road segments to each other to form a route to a major road. This would let stands close to a route to be harvested during the same period with the same cost for road opening.

Keywords: Clustering, tactical planning, PlanWise, forwarding alternatives

Innehållsförteckning

1 Inledning	7
1.1 Bakgrund	7
1.2 Heureka.....	9
1.3 Problem.....	9
1.4 Syfte.....	10
2 Material och metod	11
2.1 Analysområde	11
2.2 PlanWise	12
2.3 Skotningskostnad.....	13
2.4 Taktisk plan med tre femårsperioder	13
2.5 Beräkning av skotningsalternativ till väg	13
2.6 Planeringsproblem	14
2.6.1 Matematisk modell	15
2.6.2 <i>Plan maxnuvärde</i>	18
2.6.3 <i>Plan klustring 4500</i>	18
2.6.4 <i>Plan sortiment</i>	18
2.6.5 <i>Plan bärigheter</i>	18
3 Resultat	20
3.1 Skotningsalternativ	20
3.2 Alternativa Taktiska planer	23
3.3 Plan klustring 4500.....	25
3.4 Plan sortiment	28
3.5 Plan bärighet	29
4 Diskussion	30
4.1 Klustring	30
4.2 Sortiment	30
4.3 Bärighet	31
4.4 Utvecklingsmöjligheter	31
4.5 Slutsatser.....	33
5 Tillkännagivanden	34
6 Referenser	35
6.1 Tryckta referenser.....	35
6.2 Elektroniska referenser	36
6.3 Personlig Kommunikation.....	36

Inledning

1.1 Bakgrund

”1 § Skogen är en nationell tillgång och en förnybar resurs som ska skötas så att den uthålligt ger en god avkastning samtidigt som den biologiska mångfalden behålls”(SFS 1979:429). Så lyder den första paragrafen i skogsvårdslagen. För att ett skogsbolag som Holmen med ett skogsinnehav på 1 265 100 ha, varav 1 032 800 ha är produktiv skogsmark, ska kunna följa denna lag krävs att avverkningsnivåerna ligger på en uthållig nivå och att hänsyn tas till biologisk mångfald (Anon, 2013a). För att Holmen ska kunna veta vad som går att avverka uthålligt i sina egna skogar krävs en aktuell bild av tillståndet i skogarna. Därför genomförs en inventering av skogsinnehavet ca var tionde år för att säkerställa att skogen sköts enligt Holmens riktlinjer för uthålligt skogsbruk (Anon, 2013b). För att upprätthålla en uthållig avverkningsnivå krävs en hållbar planering av hela skogsinnehavet och över en långtidshorisont. Planeringshierarkin delas upp i tre nivåer: strategisk, taktisk och operativ där varje nivå har olika tidshorisonter. I detta arbete kommer de strategiska och taktiska nivåerna beröras.

Strategisk nivå är den högsta nivån i planeringshierarkin och syftar till att skogen som naturtillgång ska användas på ett hållbart sätt både med avseende på virkesproduktion, biologisk mångfald och sociala värden (Anon, 2013b). Den senaste inventeringen av Holmens skogar med syfte att ta fram underlag för den strategiska planen genomfördes mellan 2008-2010. Vid inventeringen användes metodik från det så kallade Indelningspaketet (Eriksson pers. komm.; Jonsson m.fl., 1993). Indelningspaketet utvecklades under 1970-talet av Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) och användes tidigare av alla stora skogsbolag för att ta fram strategiska planer (Eriksson, 2008). Indelningspaketet har idag ersatts med beslutstödssystemet Heureka's applikation PlanWise vid beräkning av framtida avverkningsnivåer (Anon, 2013b; Eriksson pers. komm.). Med PlanWise och data från inventeringen skapades en strategisk plan där skötsel av den egna skogen simulerades för de kommande 100 åren och en avverkningsberäkning (AVB) togs fram för varje beräkningsområde, se tabell 1. Ett beräkningsområde består av flera distrikt sammanslagna med hänseende till skogens karaktär och olika industriernas lokalisering. Varje beräkningsområde ges en skarp avverkningsnivå för de kommande tio åren som bryts isär till avverkningsnivåer per distrikt (Eriksson pers. komm.).

Den taktiska nivån är mellannivån där den strategiska planen bryts isär till taktiska planer och fördelas ut på bestånden. På Holmen tar den centrala staben med hjälp av PlanWise fram den taktiska planen med hjälp av ett heltäckande beståndsregister för distriktet. Vid framtagandet av den taktiska planen tas hänsyn till parametrar så som ekonomisk optimering av avverkningstidpunkt, bedömt virkesutfall, ränta och virkesvärde. Detta resulterar i den taktiska planen som styr i vilken ordning bestånd ska avverkas och redovisas i form av tre stycken femårsperioder med bestånd som ska slutavverkas samt två femårsperioder med bestånd som ska gallras. Målet är att avverkningsnivån ska öka över tiden (Eriksson pers. komm.; Anon, 2013b). Enligt David Rönnblom, produktionsledare på Umeå distrikt, används de taktiska planerna på av varje distrikt för att välja bestånd som ska planeras i fält för att uppnå distriktets avverkningsnivå (Rönnblom pers. komm.).

Tabell 1. Uppdelning av skeden i planeringsarbetet i strategiska och taktiska nivåer samt på vilken nivå inom Holmen planeringsarbetet sker

Table 1. Division of stages in the planning process of the strategic and tactical levels, and at what level within Holmen the planning process is done

	Strategisk nivå	Taktisk nivå
Stabsnivå	AVB tas fram för varje beräkningsområde	Bestånd för slutavverkningsplanering och gallring tas fram i form av tre femårsperioder respektive två femårsperioder för varje distrikt
Distriktsnivå		Urval ur femårsperioderna för att få ut en årsmängd av bestånd för planering i fält

I dagsläget krävs stor handpåläggning för att välja ut de bestånd som ska planeras för avverkning varje enskilt år. Bestånd från både den första och andra femårsperioden kan väljas ut för att skapa mer sammanhängande avverkningsområde och därmed kunna dela maskinflyttkostnader och vägunderhållskostnader. Detta gäller framförallt slutavverkning eftersom den inte är lika tidskritisk som vad gallring är (Rönblom pers. komm.). Anledningen till att slutavverkning är mindre känslig beror på att nuvärdet förändras väldigt lite från år till år när ett bestånd ska slutavverkas. Att avverka ett år tidigare eller ett år senare ger endast en marginell sänkning av nuvärdet, så kallad flackt optimum (Valsta, 1990). Gallringsskog har en mer ”toppig” nuvärdesutveckling och är mer känslig för om gallringen sker ett år tidigare eller ett år senare (Gustavsson, 2008). En del av bestånden i den andra femårsperioden kan vara låsta för avverkning på grund av att de antingen inte uppnått lägsta slutavverkningsålder (LSÅ) eller på grund av att de har gödslats för mindre än tio år sedan. I dagsläget tas ingen hänsyn till sortimentsutfall samt beståndens bärighet vid urval av bestånd för fält planering. Detta medför att det kan bli stor variation i sortimentsutfall över tid samt att bärigheterna på trakterna inte blir bra fördelat över tid (Rönblom pers. komm.). Jämnhet i sortimentsutfall är viktigt då går att knyta längre avtal med olika industrier. För att kunna avverka bestånd under hela året och samtidigt garantera att det går att fortsätta uthålligt, är jämnhet inom varje bärighet över tid viktigt (Anon, 2013b).

Urval av bestånd från enbart den första femårsperioden kan leda till att det blir för mycket små bestånd utspridda över hela distriktet som ska planeras. Att därmed avverka ett närliggande bestånd från nästa femårsperiod ger inte bara lägre kostnad för maskinflytt och underhåll av vägen, utan även planeringen och efterföljande skogsskötselåtgärder blir mer

effektiva. Tidigare studier har visat att närliggande bestånd med samma åtgärd men med olika optimala åtgärdsår kan klustras för att dela på kostnader så som flyttkostnader för maskiner samt underhålls- och upprustningskostnader på vägarna med en liten inverkan på nuvärdet (Öhman och Lämås, 2003; Gustafsson, 2008; Johansson 2012).

1.2 Heureka

Datorbaserade skogliga beslutsstödssystem har funnits under en längre tid. Utvecklingen har gått från att på 1960-talet haft i förväg väl definierade problem som mest varit fokuserade på virkesproduktion till att i dag vara mer flexibla med möjlighet att ta in flera aspekter. Beslutsstödssystemet Heureka lanserades 2009 efter att ha utvecklats av SLU. Dagens version av Heureka kan hantera problem som handlar om bland annat skogsskötselåtgärder, virkesproduktion, biobränslen, rekreation, biodiversitet och kolinlagring.

Heureka är uppdelat i tre applikationer för att kunna hantera olika nivåer på analyser som skogliga beslutsstödssystem kan behövas för. BeståndsVis används för analyser på beståndsnivå. PlanWise används för analyser över ett helt skogsinnehav och kan användas av allt från markägare med små skogsinnehav till skogsbolag med stora skogsinnehav. RegVis används för analyser på regional nivå (Anon, 2012d; Johansson, 2012; Wikström m.fl., 2011).

1.3 Problem

Dagens taktiska planering på stabsnivå tar inte hänsyn till drivningskostnad, krav på sortiment, klustring, beståndens bärighet eller till jämnhet i ovanstående egenskaper över tid. Detta leder till mycket arbete för att välja ut vilka bestånd som ska planeras för avverkning varje år på distrikten, se tabell 1.

Bestånd som söks ut i den nuvarande metoden för utsökning av en taktisk plan är valda utifrån när de enskilda bestånden ger högst nuvärde samt när de ska avverkas för att komma upp i de volymer som den strategiska planen tagit fram. Det betyder att den taktiska planen ger förslag på bestånd som ska avverkas under en femårsperiod men den tar inte hänsyn till vilka volymer som tas ut från olika typer av bestånd. Den nuvarande taktiska planen tar inte heller hänsyn till att det behövs trakter som ska gå att avverka under perioder med dålig bärighet. Nuvarande taktiska plan tar inte hänsyn till den fördel som kan finnas med att geografiskt klustra avverkningarna, vilket leder till att produktionsledaren på distrikten behöver lägga tid på att välja bestånd från flera femårsperioder för att få ihop distriktets avverkningsnivå.

Med trakter menas i det här examensarbetet bestånd som har samma avverkningsform, slutavverkning eller gallring, och vars volymer skotas till samma vägsegment under samma period och säsong.

1.4 Syfte

Syftet är att för ett distrikt på Holmen undersöka hur nuvärdet i den taktiska planen förändras om det ställs krav på klustring samt jämnhet i sortiments- och bärighetsklassfördelning. Med hjälp av alternativa taktiska planer ska skillnader i nuvärden, inoptimalförluster, sortiments- och bärighetsklassfördelning belysas.

De fyra alternativa taktiska planerna är:

- *Plan maxnuvärde* är referensplan med enbart krav på målvolymer.
- *Plan klustring 4500* använder en vägöppningskostnad för att klustra bestånd till trakter.
- *Plan sortiment* använder en vägöppningskostnad för att klustra bestånd samt krav på jämnhet i sortimentsutfall över tiden.
- *Plan bärighet* använder en vägöppningskostnad för att klustra bestånd samt ställs krav på jämnhet i sortimentsutfall. Dessutom ställs krav på jämnhet av bärigheter över tiden.

Resultaten från de alternativa taktiska planerna kommer att redovisas i form av ettårsperioder för att illustrera skillnader mellan de olika planerna. Ettårsperioderna kommer vara uppdelade i tre säsonger; sommar, vinter och vår-höst för att bärighetsaspekten i trakterna ska kunna tas med.

2 Material och metod

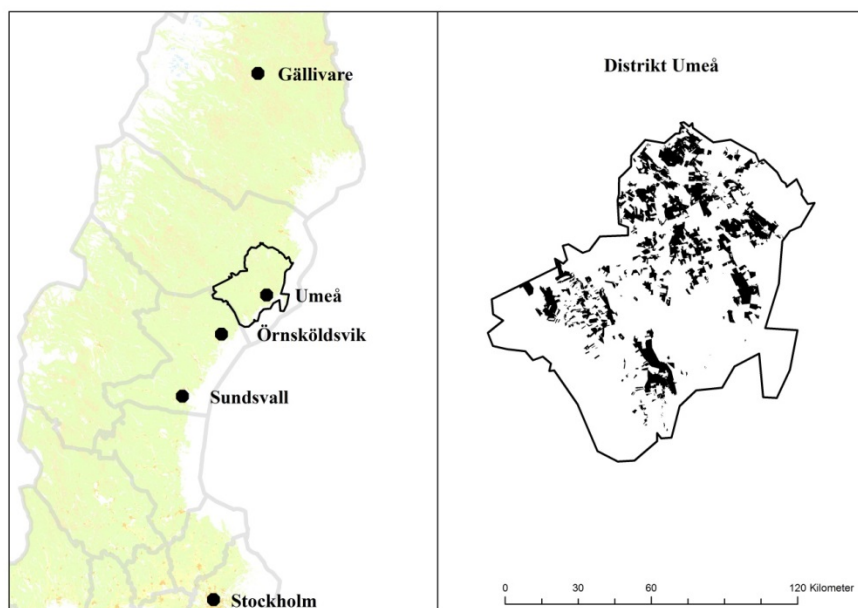
Arbetet genomfördes som en fallstudie hos Holmen på region Örnsköldsvik och distrikt Umeå. För genomförandet användes analyser med GIS för att studera bästa skotningsalternativ till väg samt Heureka för att beräkna kostnader och intäkter för skogliga skötselalternativ. Heltals- och linjärprogrammering användes för att lösa planeringsproblemen.

Arbetsgången är följande:

- I Heureka ta fram en taktisk plan likvärdig den som togs fram för Umeå distrikt 2012 av Holmen, vilken fortsättningsvis kommer benämnas *Taktisk plan med tre femårsperioder*.
- Med hjälp av GIS ta fram ett beståndsregister där varje bestånd tilldelas två vägsegment med motvarande två terrängtransportavstånd.
- I Heureka ta fram alternativa taktiska planer med ingångsdata från den taktiska planen med tre femårsperioder.
- Jämföra taktiska planerna mot varandra med hänseende på nuvärde, antal öppnade vägar, jämnheter i trädslagsutfall och bärighetsfördelning

2.1 Analysområde

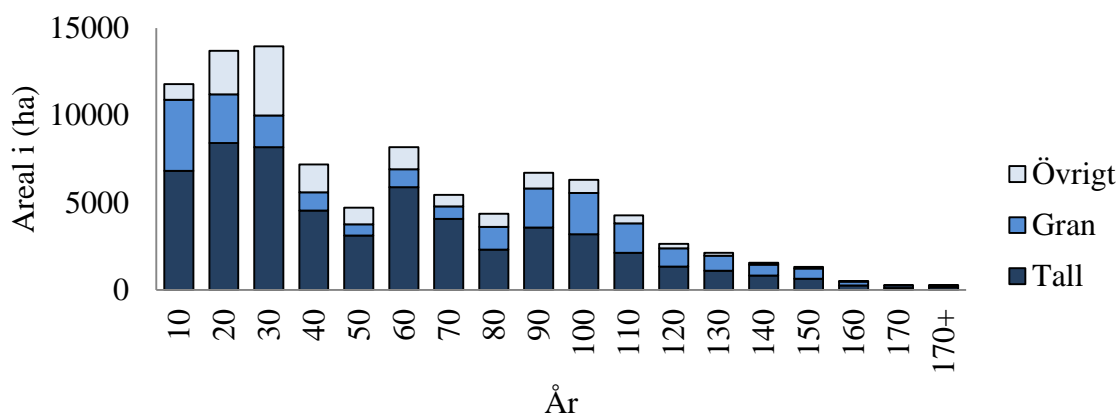
Distrikt Umeå tillhör region Örnsköldsvik och förvaltar ca 120 000 ha skogsmark varav ca 95 000 ha produktiv skogsmark, se figur 1. Den långsiktigt uthålliga avverkningsnivån för distriktet ligger på 278 000 m³fub. Figur 1 visar lokaliseringen av distriktet i Sverige och arronderingen av den egna skogen på distriktet. På distriktet är medelarealen för ett bestånd 5,4 ha.



Figur 1. Distrikt Umeå lokalisering i Sverige.

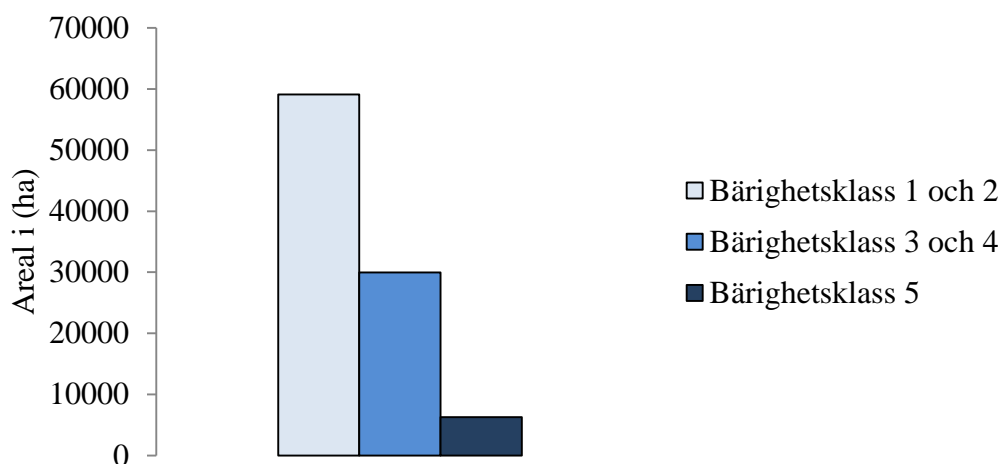
Figure 1. The location of Umeå district in Sweden.

Åldersklassfördelningen för tall, gran och övriga trädslag för Umeå distrikt illustreras i figur 2. I areal övrigt ingår både arealer med contorta och lövträd. Åldersklasserna 20 till 40 år består en betydande del av arealen i kategorin övrigt av contorta.



Figur 2. Åldersklassfördelning i areal fördelat på tall, gran och övrigt.
Figure 2. Age Distribution in area spread over pine, spruce and other.

Bestånden på Umeå distrikt har en fördelning på olika bärigheter som visas i figur 3. Uppdelningen av bärigheterna är samma som använts genom hela arbetet och ytterligare förklaring kommer i tabell 3.



Figur 3. Areal fördelning för de olika beståndens bärighet från bästa bärighet 1 till sämsta bärighet 5.
Figure 3. Areal distribution for the various stands bearing capacity from 1 that is the best and 5 that is the worst.

2.2 PlanWise

PlanWise består av en skötselplansgenererare, Treatment Program Generator (TPG), en optimeringsdel samt en resultatdel. I TPG grupperas bestånden in i skötselklasser och för varje skötselklass definieras hur bestånden kan skötas, exempelvis hur de kan gallras, vad

som ska planteras och hur de ska röjas. För varje bestånd skapas sedan flera alternativa åtgärdskedjor utifrån hur utrymmet för möjlig skötsel är definierat. Optimeringsmodellen väljer sedan ut de åtgärdskedjor som passar bäst in på målet skogsägaren har med sin skog. Målet för hur skogen ska skötas bestäms genom parametrar, variabler och index, som sedan styrs genom att skapa restriktioner för parametrarna och variablerna. I resultatdelen visualiseras resultaten i form av tabeller, grafer och diagram (Anon, 2013c, Wikström m.fl. 2011).

2.3 Skotningskostnad

En skotningskostnad som baseras på terrängtransportavståndet framtaget i GIS användes i stället för schablonskotningsavståndet som finns i PlanWise. Skotningskostnaden bygger på medelskotningshastighet med fullt respektive tomt lass, vilket är 50 m per minut (Nurminen, 2006). Skotningskostnad per G15 timme är enligt Noro-Larsson (2012) 780 kr vilket är en kostnad på 13 kr/ min. Skotningsvolymen är beroende på sortimentet som skotas och storleken på skotaren. Medelskotaren på Umeå distrikt har en lastvikt på ca 15 ton vilket innebär en lastvolym på ca 16-17 m³fub. För att räkna om från m³fub till m³sk användes omräkningsfaktorn 0,8, för beräkning se ekvation nedan (Noro-Larsson pers. komm. 2012). Skotningskostnaden per meter och m³sk (SC) kan då beskrivas som

$$SC = \frac{\left(\frac{1}{50}\right) * 13}{16} * 0,8$$

När SC multipliceras med skotningsavstånd och avverkningsvolym som ska skotas resulterar det i en skotningskostnad som är beroende av skotningsavstånd och volym (se ekvation (3) nedan).

2.4 Taktisk plan med tre femårsperioder

Inledningsvis användes PlanWise för att ta fram en taktisk plan för Umeå distrikt med Holmens domänindelning, kontrollkategorier och krav i optimeringsmodellen. Den taktiska planen består av tre stycken femårsperioder med slutavverkning och gallring. Totalt valdes 8728 stycken bestånd som ska slutavverkas eller gallras fördelat på tre stycken femårsperioder.

2.5 Beräkning av skotningsalternativ till väg

I detta arbete användes GIS programmet ArcMap 10 (Esri, 2012). De bestånd från den taktiska planen som antingen kommer att slutavverkas eller gallras i någon av de tre första femårsperioderna användes som indata i GIS-modellen. I tidigare studier har bestånd kopplats till närmaste vägsegment via fågelvägen (Gustafsson, 2008; Johansson, 2012). Ett vägsegment är vägsträckan mellan två korsningar eller den vägsträcka som representeras av en bärighetsklass. I detta arbete användes GIS för att koppla varje bestånd till två vägsegment. De enda vägarna som inte skotning tilläts mot var riksvägar då skotning mot t.ex. E4 inte är aktuellt. Modellen letar ”billigaste” terrängtransportavståndet från ett vägsegment till ett bestånd genom ett kostnadsraster, se tabell 2 (Tiger, 2012). Det billigaste terrängtransportavståndet omnämns vidare i arbetet som *Skotningsalternativ 1*. Kostnadsrastret är uppbyggt så att det kostar olika mycket att passera olika pixlar beroende

på vad respektive pixel representerar. Det innebär exempelvis att det är dyrt att passera vatten medan det är billigt att passera skogsmark (Mohtashami, 2011). När det billigaste vägsegmentet hittats togs det bort och modellen fick söka efter den skotningsväg som var näst billigast, hädanefter omnämnt som *Skotningsalternativ 2*. På så sätt togs de två billigaste skotningsvägarna fram, se figur 2. Fågelvägen jämfördes med *Skotningsalternativ 1 och 2*. Information om id-nummer för de två vägsegmenten till vilka modellen föreslog skotning samt terrängtransportavståndet till respektive vägsegment fördes över till respektive bestånd i beståndsregistret (Johansson, 2012).

Tabell 2. Visar kostnaden för olika pixlar i kostnadsrastret
Table 2. Displays the cost for different pixels in the cost raster

Elevation 50 m gridinteger.lyr	Pixelstorlek	Kostnad*
Lutningsraster i grader	50*50m	
0-6		1
6-11		2
11-18		3
18-27		25
27-50		50
Väggkartan vektor.lyr från 2012		
Markslag raster	10*10m	
NoData		1
Skog		1
Öppen mark		5
Sankmark, normal eller svårframkomlig		5
Sankmark, normal Skogsklädd		10
Sankmark, normal öppen		15
Sankmark Svårframkomlig		20
Bebyggelseområde		200
Vattenyta		500
Järnvägar raster	10*10m	
Samtliga		500
Hydrografi raster	10*10m	
Samtliga		50

* Kostnad i form av relativ kostnadsförändring att passera en pixel.

2.6 Planeringsproblem

Utifrån den taktiska planen med tre femårsperioder samt med förutsättningarna framtagna i GIS togs alternativa taktiska planer fram i PlanWise. Planerna bestod av tio stycken ettårsperioder av gallrings- och slutavverkningsbestånd fördelat på tre säsonger.

Ekvation 1 kommer i resultatet benämnas som totalt nuvärde och ekvation 2 kommer benämnas som skogligt nuvärde.

2.6.1 Matematisk modell

Sammanställning av ekvationerna som användes för de olika planerna illustreras i ekvation 1-26.

Index för alla alternativa taktiska planer är:

$I =$	mängden av alla avdelningar
$J(i) =$	mängden av alla skötselprogram för avdelning i
$M(i, p) =$	avverkningsform för avdelning i period p
$N(i) =$	mängden av alla skotningsalternativ för avdelning i
$V(i, n) =$	väg som avdelning i ansluter till vid skotningsalternativ n
$S =$	mängden av säsonger
$Q(i) =$	säsong som avdelning i för avverkas

Målfunktion:

$$\text{Max sumNuvarde} - \text{SkotKostnad} - \text{VagKostnad} \quad (1)$$

$$\text{SumNuvarde} = \sum_{i \in I, j \in J(i)} nv_{ij} * x_{ij} \quad (2)$$

$$\text{SkotKostnad} = \sum_{i \in I, p \in P, n \in N} \delta_p * \text{SkotAvstand}_{in} * \text{avvMskPeriod}_{ip} * SC * \text{SkotningsAlternativ}_{ipn} \quad (3)$$

$$\text{VagKostnad} = \sum_{p \in P, s \in S, v \in V, m \in M} \delta_p * VC * \text{AnvandaVagar}_{psvm} \quad (4)$$

$$(1 - c) * \text{TargetTOT} \leq \text{SumAvvVol}_p \leq (1 + c) * \text{TargetTOT}, \quad p \in P \quad (5)$$

$$\text{SumAvvVol}_p = \text{SumSaVol}_p + \text{SumGaVol}_p, \quad p \in P \quad (6)$$

$$\text{SumSaVol}_p = \sum_{i \in I, j \in J(i)} a_i * (\text{SAMav}_{ijp} + \text{SATim}_{ijp}) * x_{ij}, \quad p \in P \quad (7)$$

$$\text{SumGaVol}_p = \sum_{i \in I, j \in J(i)} a_i * (\text{GAMav}_{ijp} + \text{GATim}_{ijp}) * x_{ij}, \quad p \in P \quad (8)$$

$$(1 - c) * \text{SaTarget} \leq \text{SumSaVol}_p \leq (1 + c) * \text{SaTarget}, \quad p \in P \quad (9)$$

$$\text{SumGaVol}_p \leq (1 + c) * \text{GaTarget}, \quad p \in P \quad (10)$$

$$\sum_{j \in J_i} \text{atg}_{ijp} * x_{ij} \leq \sum_{n \in N(i)} \text{SkotningsAlternativ}_{ipn}, \quad p \in P, i \in I \quad (11)$$

$$\text{SkotningsAlternativ}_{ipn} \leq \text{AnvandaVagar}_{psvm}, \quad i \in I, p \in P, s \in S(i), m \in M(i, p), n \in N(i), v \in V(i, n) \quad (12)$$

$$\sum_{i \in I, j \in J(i)} x_{ij} = 1, \quad i \in I \quad (13)$$

$$1 \geq x_{ij} \geq 0, \quad i \in I, j \in J(i) \quad (14)$$

$$avvMskPeriod_{ip} \geq 0 \quad (15)$$

$$SkotningsAlternativ_{ipn} \geq 0 \quad (16)$$

$$AnvandaVagar_{psvm} = \{0,1\} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} 0.95 * TradslagNivaTall &\leq VolPeriodTall_p \leq \\ 1.05 * TradslagNivaTall & \quad p \in P \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} 0.95 * TradslagNivaGran &\leq VolPeriodGran_p \leq \\ 1.05 * TradslagNivaGran & \quad p \in P \end{aligned} \quad (19)$$

$$VolPeriodTall_p = \sum_{i \in I, j \in J(i)} HarvTall_{ijp} * a_i * x_{ij}, \quad p \in P \quad (20)$$

$$VolPeriodGran_p = \sum_{i \in I, j \in J(i)} HarvGran_{ijp} * a_i * x_{ij}, \quad p \in P \quad (21)$$

$$\begin{aligned} 0.95 * TradslagNivaTall * SasongLangd_s &\leq VolSasongTall_{ps} \leq 1.05 * \\ TradslagNivaTall * SasongLangd_s & \quad p \in P, s \in S \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} 0.95 * TradslagNivaGran * SasongLangd_s &\leq VolSasongGran_{ps} \leq 1.05 * \\ TradslagNivaGran * SasongLangd_s & \quad p \in P, s \in S \end{aligned} \quad (23)$$

$$VolSasongTall_{ps} = \sum_{i \in I \cap i \in Q(i), j \in J(i)} HarvTall_{ijp} * a_i * x_{ij}, \quad p \in P, s \in S \quad (24)$$

$$VolSasongGran_{ps} = \sum_{i \in I \cap i \in Q(i), j \in J(i)} HarvGran_{ijp} * a_i * x_{ij}, \quad p \in P, s \in S \quad (25)$$

där konstanter är

nv_{ij} = diskonterat nuvärde för bestånd i och skötselprogram j

$SkotAvstand_{in}$ = skotningsavstånd för bestånd i och skotningsalternativ n

SC = skotningskostnad enligt avsnitt 2.3

VC = Vägöppningskostnad 5 kr, 4500 kr eller 9000 kr beroende på plan

c = tillåten variation från målvolymer, värde 0,02

atg_{ijp} = parameter som är 1 om avdelning i har avverkning i period p med skötselprogram j

δ_p = diskonteringsfaktor period p

a_i = areal för bestånd i

$SaTarget$ = målvolymer slutavverkning

$GaTarget =$	målvoly m gallring
$TargetTOT =$	totalt avverkningsmål
$HarvTall_{ijp} =$	avverkad volym tall i bestånd i med skötselprogram j och period p
$HarvGran_{ijp} =$	avverkad volym gran i bestånd i med skötselprogram j och period p
$SasongLangd_s =$	relativ längd av säsong s som andel av år

och där variabler är

$x_{ij} =$	andel av bestånd i som sköts med skötselprogram j
$avvMskPeriod_{ip} =$	avverkad volym för bestånd i och period p
$SkotningsAlternativ_{ipn} =$	andel av bestånd i som använder skotningsalternativ n i period p
$AnvandaVagar_{psvm} =$	1 om väg v öppnas period p, säsong s, för system m, annars 0.
$SAmav_{ijp} =$	volym massaved slutavverkat i bestånd i med skötselprogram j och period p
$SAtim_{ijp} =$	volym timmer slutavverkat i bestånd i med skötselprogram j och period p
$GAamav_{ijp} =$	volym massaved ut gallrat i bestånd i med skötselprogram j och period p
$GAtim_{ijp} =$	volym timmer ut gallrat i bestånd i med skötselprogram j och period p
$VolPeriodTall_p =$	avverkad volym tall period p
$VolPeriodGran_p =$	avverkad volym gran period p
$VolSasongTall_{ps} =$	avverkad volym tall period p och säsong s
$VolSasongGran_{ps} =$	avverkad volym gran period p och säsong s
$TradslagNivaTall =$	variabel som avverkad volym tall kan avvika från upp och ned respektive period och säsong (volym på periodbasis)
$TradslagNivaGran =$	variabel som avverkad volym gran kan avvika från upp och ned respektive period och säsong (volym på periodbasis)

2.6.2 Plan maxnuvärde

I *Plan maxnuvärde* användes ekvation 1- 17 och $VC = 5$ kr. Detta för att kunna se vilka vägar som faktiskt öppnades. De krav som ställdes var enbart krav på jämnhet i gallrings- och slutavverkningsvolym.

För att kunna jämföra det totala nuvärdet för *Plan maxnuvärde* med övriga planer räknades vägöppningskostnaden upp. Varje vägsegment som öppnades räknades upp till 4 500 kr och diskonterades tillbaka till ett nuvärde.

2.6.3 Plan klustring 4500

I *Plan klustring 4500* användes ekvation 1- 17 och $VC = 4 500$ kr. För att bestånd skulle kunna dela på VC och på så sätt klustras till trakter med hjälp av ekvation 4, måste bestånden vara kopplade till samma vägsegment, samma skötselåtgärd, samma period och samma säsong.

Vägöppningskostnaden för ett vägsegment avser kostnaden att ta maskinerna till platsen vilket enligt Noro-Larsson (2012) är 2 500 kr för skördaren och 2 000 kr för skotaren. Övriga kostnader som underhåll har inte tagits med då vägsegmenten kan vara både enskild och allmän väg med helt olika kostnader för underhåll.

För att se hur olika vägöppningskostnader påverkar nuvärdet samt för att kunna göra en känslighetsanalys användes även en VC på 9 000 kr. Denna taktiska plan kommer benämnas *Plan klustring 9000*. Som en del av känslighetsanalysen testades även hur nuvärdet påverkas av att använda ett respektive två skotningsalternativ. Detta genom att via restriktioner i modellen enbart tillåta skotning med *Skotningsalternativ 1*. Denna taktiska plan kommer benämnas *Plan klustring ett skotningsalternativ*.

2.6.4 Plan sortiment

I *Plan sortiment* användes ekvation 1- 21 och $VC = 4 500$ kr. För att hålla en jämn nivå på uttaget av tall- och granvolym för varje period (år) användes variabeln *TradslagsnivaTall* samt *TradslagsnivaGran* i ekvation 18 och 19. Dessa fick PlanWise definiera för att bibehålla en jämn avverkningsnivå över perioderna. Utifrån denna nivå tilläts uttaget av tall och gran variera med 5 % mellan perioderna.

2.6.5 Plan bärigheter

I *Plan bärighet* användes ekvation 1- 17, 22-25 och $VC = 4 500$ kr. På samma sätt som för *Plan sortiment* utnyttjas variabeln *TradslagsnivaTall* samt *TradslagsnivaGran* för att mäta avvikelser upp och ner från en nivå, men här med differentiering inte bara på period utan också säsong (används i ekvation 22 och 23). Bärighetsklasser hämtades från soil bearing capacity i Heureka och motsvarar grundförhållanden enligt GYL-klassificeringen. Dessa har indexerats enligt tabell 3 för att göra modellen lättare att lösa. Indelningen är gjord så att bärighetsklasserna ligger i den säsong som de under bästa förhållanden kan tas ut. Säsongslängden för respektive bärighetsklass togs fram tillsammans med produktionsledare planering på Umeå distrikt (Königsson pers. komm.).

Tabell 3. Illustrerar vad bärighetsklasser anses tillhöra för säsong samt längden på respektive säsong och hur de indexerats i Heureka

Table 3. *Illustrates what bearing capacity classes considered as belonging to each season and the length of each season and how they are indexed in Eureka*

Bärighetsklass	Säsong	Säsongslängd i månader	Index
1 och 2	Vår Höst	3,5	1
3 och 4	Sommar	4,5	2
5	Vinter	4	3

3 Resultat

3.1 Skotningsalternativ

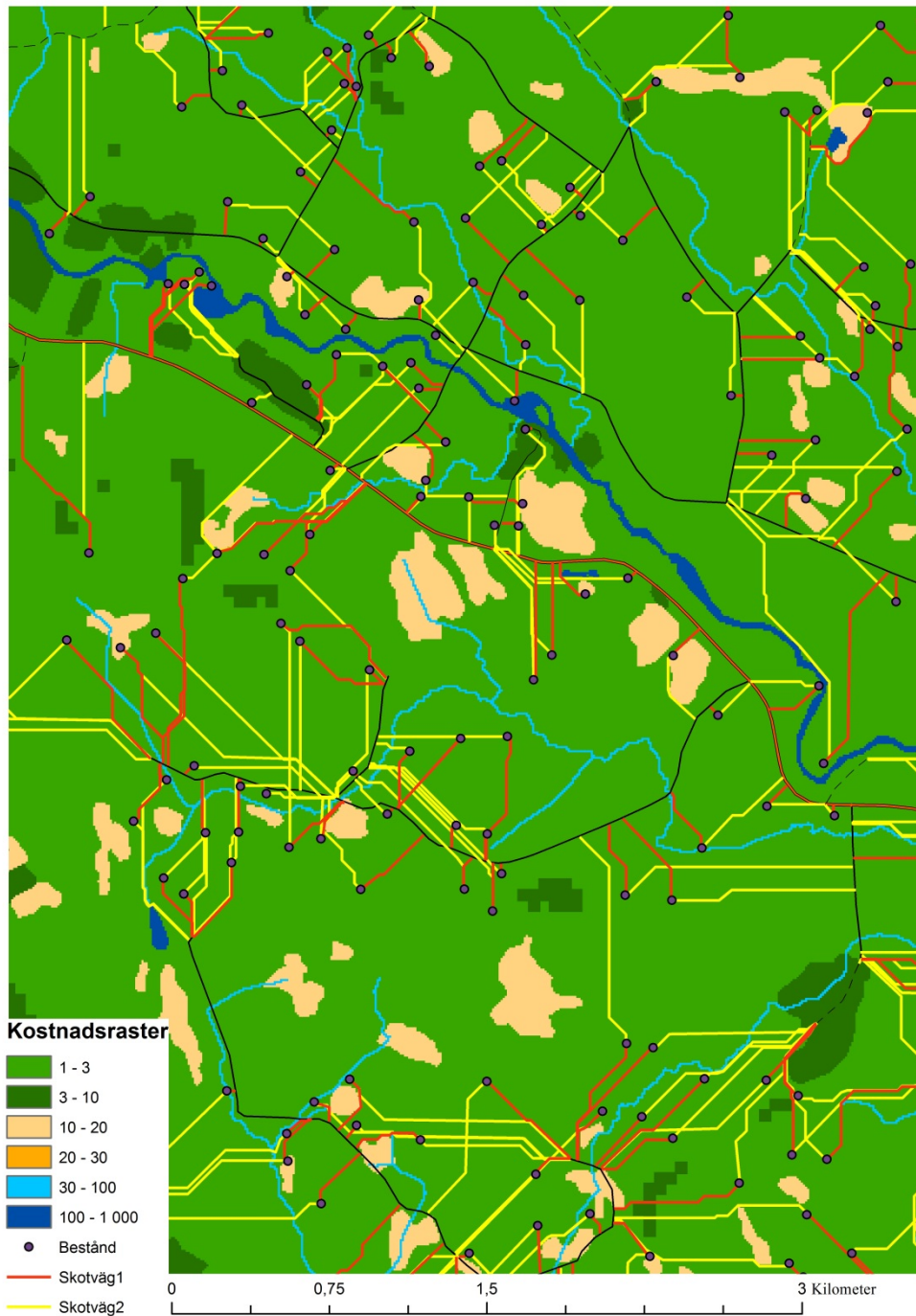
Antalet vägsegment som finns på Umeå distrikt plus en buffert runt distriktet uppgår till ca 20700 stycken segment och varierar i längderna från 2 m till 9 000 m med en medellängd på 700 m.

I GIS modellen togs ca 17 500 stycken skotningsalternativ fram, varav två stycken kopplades till varje bestånd. I figur 4 visualiseras *Skotningsalternativ 1* från bestånd till billigaste kostnad över kostnadsrastret till ett vägsegment. Lika så visualiseras i figur 4 *Skotningsalternativ 2* från bestånd till näst billigaste kostnad över kostnadsrastret till ett vägsegment. Antalet vägsegment som kopplas till ett bestånd med *Skotningsalternativ 1* uppgår till ca 2 000 vilket ger att vägsegmenten i snitt har ca 4 bestånd kopplade till sig. Ett vägsegment kan vara kopplat till ett bestånd via *Skotningsalternativ 1* men även vara kopplat till ett annat bestånd via *Skotningsalternativ 2*. Vägsegment har kopplats till flera bestånd, i snitt hade varje ca 8 bestånd kopplade till sig via *Skotningsalternativ 1* och *Skotningsalternativ 2*. Hur medelavståndet från bestånd till vägsegment varierar mellan fågelvägen till närmsta vägsegment och de terrängtransportavstånd som togs fram i *Skotningsalternativ 1* och *Skotningsalternativ 2* visas i tabell 4.

Tabell 4. Tabellen visar skillnad i medelavstånd från bestånden till väg

Table 4. The table shows the difference in the average distance from stands to road

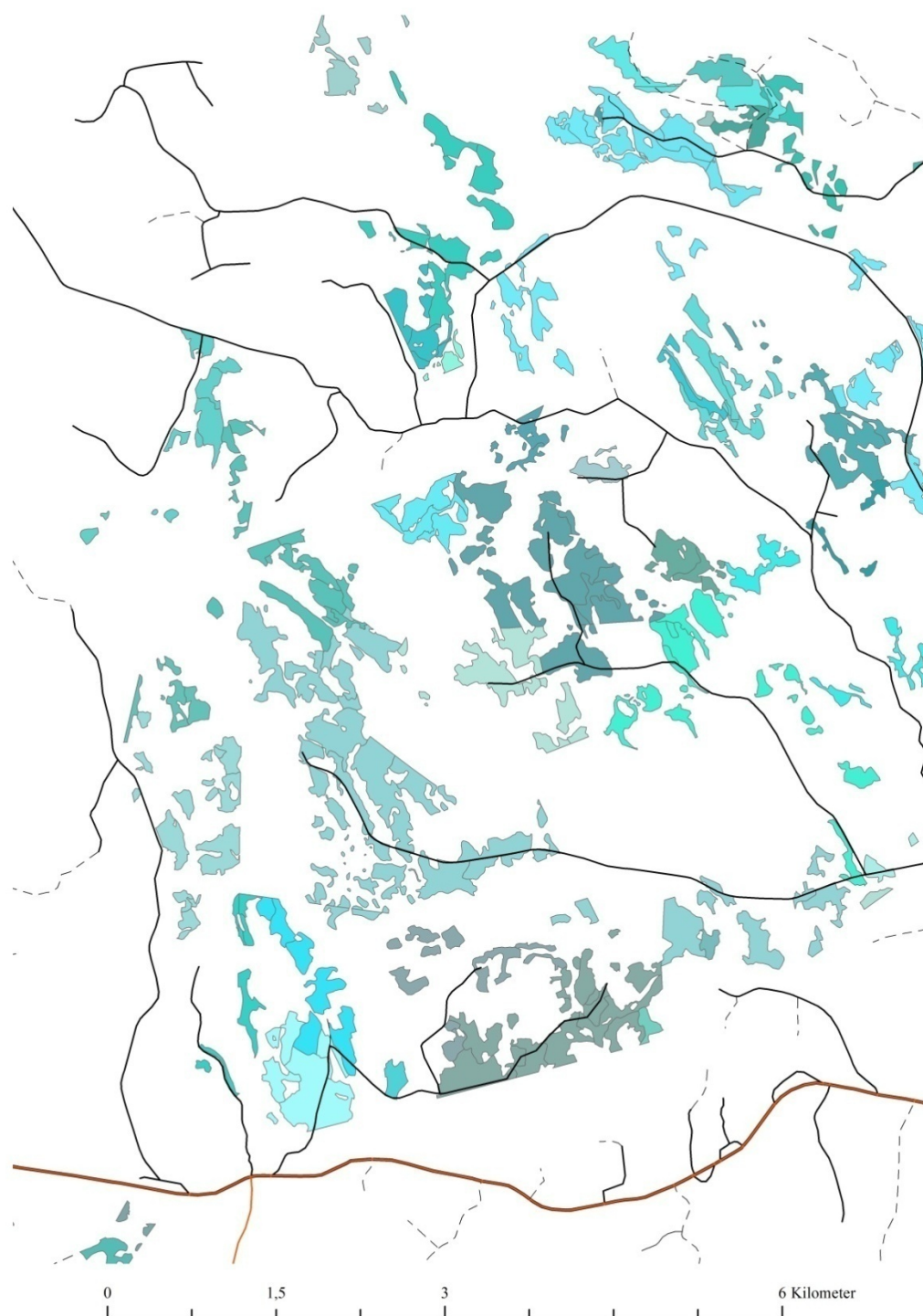
	Fågelvägen	Skotningsalternativ 1	Skotningsalternativ 2
Medel terrängtransportavstånd i (m)	312	368	694



Figur 4. Illustrering av *Skotningsalternativ 1* och *Skotningsalternativ 2* från bestånd till vägsegmenten.

Figure 4. Illustrating *Skotningsalternativ 1* and *Skotningsalternativ 2* from stand to road segments.

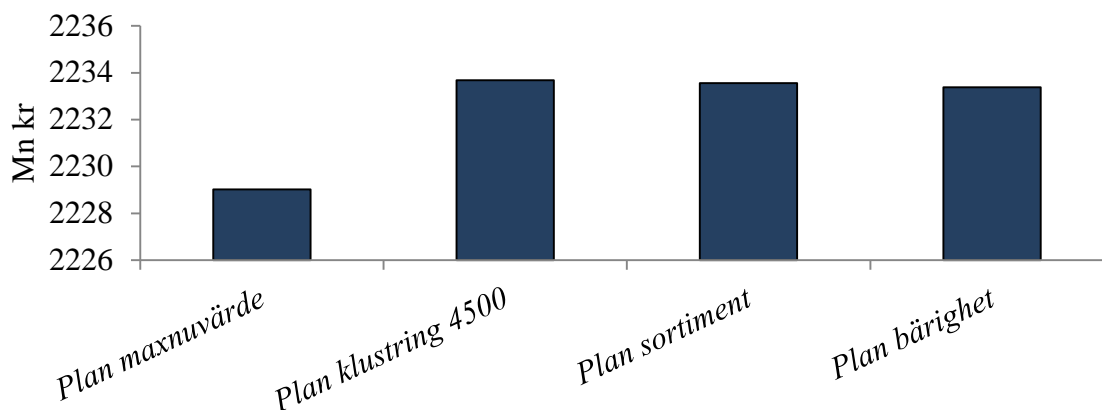
Bestånd som kopplas till vägsegment i *Skotningsalternativ 1* illustreras i figur 5. Varje bestånd är också kopplat till vägsegment via *Skotningsalternativ 2*, så varje bestånd har två kopplingar till vägsegment.



Figur 5. Klustringar av bestånd som är kopplade till ett vägsegment via *Skotningsalternativ 1*.
Figure 5. Clustering of stands that are connected to a road segment with *Skotningsalternativ 1*.

3.2 Alternativa Taktiska planer

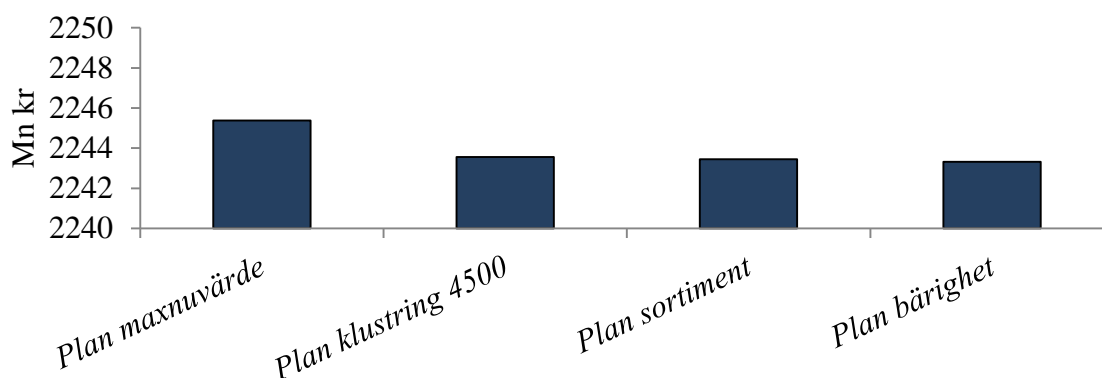
En period motsvarar 1 år om inte annat skrivs ut. Skillnader i totalt nuvärde illustreras i figur 6. *Plan maxnuvärde* har en vägöppningskostnad på 4 500 kr för att vara jämförbart med övriga planer.



Figur 6. Totalt nuvärde för de olika alternativa taktiska planerna framräknat genom skogigt nuvärde – skotningskostnad – vägöppningskostnad på 4 500 kr.

Figure 6. Total net present value of the various alternative tactical plans produced calculated by discounting the net present value from Heureka - forwarding costs - road opening cost of 4500 SEK.

Kostnaden i förlust av skogligt nuvärde mellan *Plan maxnuvärde* och *Plan klustring 4500* är ca 1,8 mnkr vilket visas i figur 7. En del bestånd valdes att avverkas en annan period än när de ger högst skogligt nuvärde för att i stället maximera nuvärdet tillsammans med en vägöppningskostnad. Förlusten i skogligt nuvärde är mindre än kostnaden för en extra väg att öppna.



Figur 7. Skogligt nuvärde för de olika alternativa taktiska planerna.

Figure 7. Forest net present value for each alternative tactical plans.

I *Plan maxnuvärde* jämfört med den taktiska planen med tre femårsperioder har åtgärdstidpunkten för ca 1 500 bestånd flyttats från en femårsmängd till antingen nästa eller föregående och ca 100 bestånd har flyttats över två femårsmängder. Hur många år varje bestånd flyttats kan enbart för de som flyttas över två femårsperioder sägas vara mer än 5 år.

Hur *Plan klustring 4500*, *sortiment* och *bärighet* påverkar vilka bestånd och när de åtgärdas i jämförelse med *Plan maxnuvärde* visas i tabell 5. Med nya bestånd menas bestånd som inte åtgärdats i *Plan maxnuvärde*. Lämnade bestånd är bestånd som åtgärdades under någon av perioderna i *Plan maxnuvärde* men inte åtgärdats i något av de övriga alternativa taktiska planerna. En effekt av klustringen till trakter är att drygt 500 färre bestånd kommer åtgärdas.

Tabell 5. Hur de olika planerna väljer att ändra åtgärdstidpunkt jämförelse med *Plan maxnuvärde*
Table 5. How the different plans decide to change treatment time compared with *Plan maxnuvärde*

Plan	Nya bestånd	Lämnade bestånd	Bestånd flyttade en eller två perioder	Bestånd flyttade tre eller fyra perioder	Bestånd flyttade mer än fyra perioder
<i>Klustring 4500</i>	238	793	655	228	131
<i>Sortiment</i>	240	775	685	204	149
<i>Bärighet</i>	249	765	729	209	154

Antalet vägsegment som öppnas och kostnaden för respektive plan visas i tabell 6. En tydlig skillnad syns mellan *Plan maxnuvärde* och de övriga planerna, i vilka en vägöppningskostnad använts för att begränsa antalet segment som öppnas. Användningen av *Skotningsalternativ 2* ger ett högre totalt nuvärde trots att det innebär en dyrare skotningskostnad. Den högre skotningskostnaden tjänas in genom att bestånden kan dela på vägöppningskostnaden i högre utsträckning. Vägöppningskostnaden i *Plan klustring 4500* medför att det för en tredjedel av bestånden blir ett högre totalt nuvärde att skota virket längre sträcka för att kunna dela på vägöppningskostnaden.

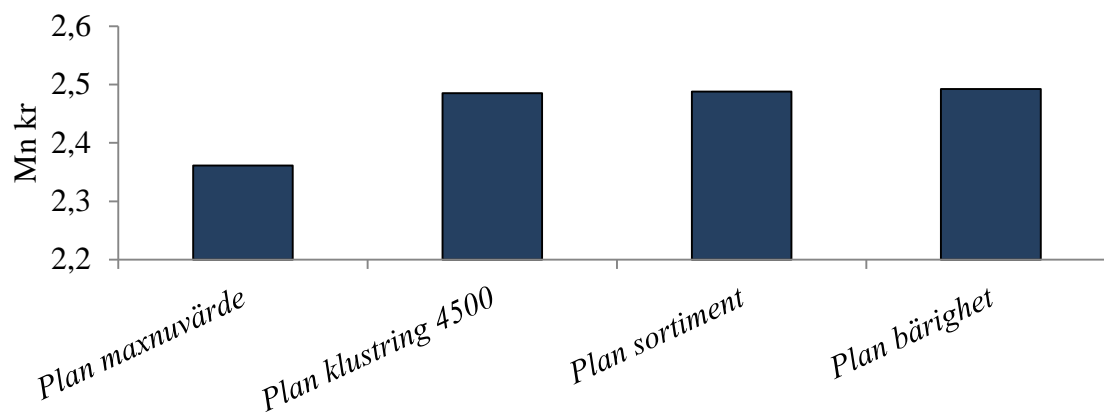
Tabell 6. Antal vägar som används för de olika planerna, vägöppningskostnad och antalet gånger det ger ett högre totalt nuvärde att använda sig av ett längre skotningsalternativ för att skota till en annan väg (Användande av *Skotningsalternativ 2*)

Table 6. Number of roads used for the various plans, road opening cost and the number of times it gives a higher total net present value to use the longer forwarding alternatives to a different road segments (Using *Skotningsalternativ 2*)

	<i>Plan maxnuvärde</i>	<i>Plan klustring 4500</i>	<i>Plan sortiment</i>	<i>Plan bärighet</i>
Antal öppnade vägsegment	3 522	1 849	1 850	1 850
Vägöppningskostan kr *	13 982 784	7 409 801	7 410 179	7 450 474
Användande av <i>Skotningsalternativ 2</i>	4	634	624	620

*en vägöppningskostnad på 4500 kr för varje vägsegment diskonterat till nuvärdes vägöppningskostnad.

Skillnader mellan de olika planernas skotningskostnad visas i figur 8. Skillnaden beror på att *Skotningsalternativ 2*, som är dyrare än *Skotningsalternativ 1*, används i större utsträckning. I *Plan klustring 4500* har drygt 500 färre bestånd valts ut för åtgärd än i *Plan maxnuvärde*. Trots detta är skotningskostnaderna högre i *Plan klustring*.

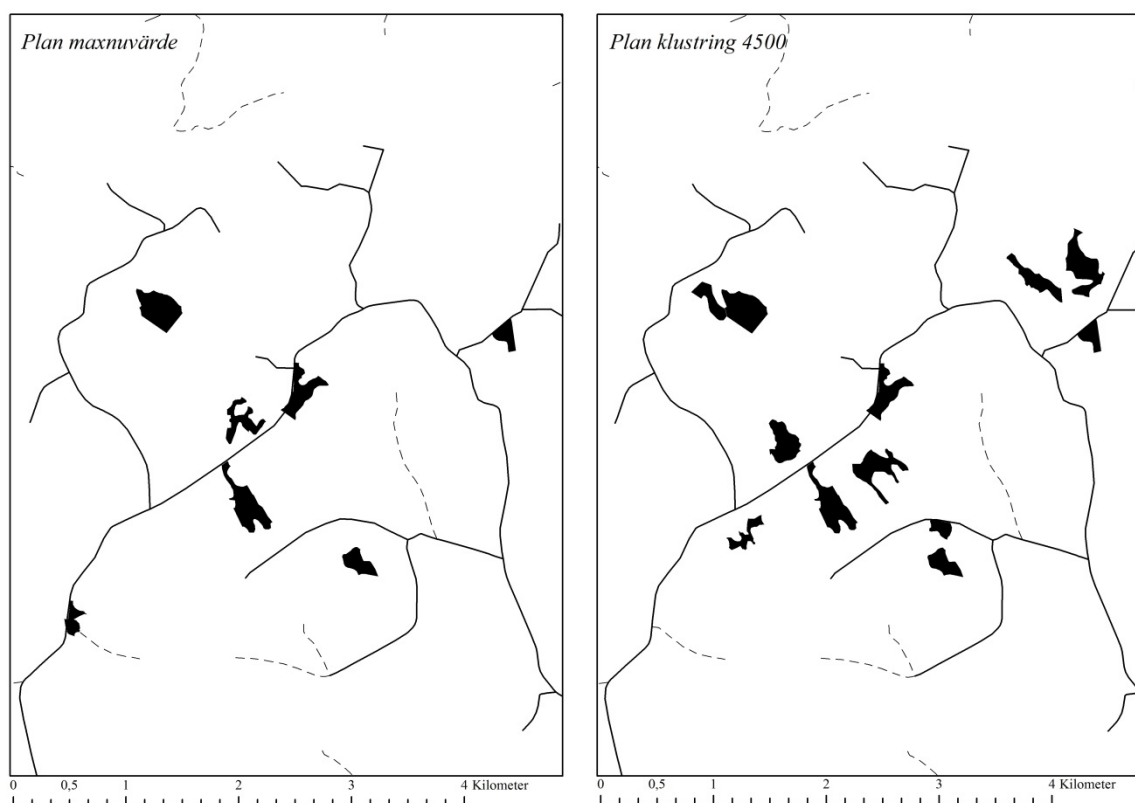


Figur 8. Skotningskostnad för de olika planerna.
Figure 8. Forwarding cost for the various plans.

3.3 Plan klustring 4500

För *Plan klustring 4500* togs tre resultat fram. Varav två alternativa öppningskostnader, 4 500 kr och 9 000 kr användes samt ett resultat där enbart *Skotningsalternativ 1* fick användas.

Figur 9 illustrerar hur vägöppningskostnaden påverkar klustringen. Modellen väljer att avverka bestånd med samma åtgärd, samma säsong och under samma period för att kunna dela på vägöppningskostnaden och på så sätt bidra till ett högre totalt nuvärde.



Figur 9. Jämförelse mellan *Plan maxnuvärde* och *klustring 4500* för att illustrera klustringseffekten av slutavverkningar i period 10.

Figure 9. Comparison of *Plan maxnuvärde* and *klustring 4500* to illustrate the Clustering effect of final felling in period 10.

Två alternativa vägöppningskostnader användes för att avgöra hur en ökad vägöppningskostnad påverkar det skogliga nuvärdet. Hur de olika vägöppningskostnaderna påverkar traktstorleken och förluster i skogligt nuvärde visas i tabell 7-9. I *Plan maxnuvärde* är medeltraktens storlek ca 5 ha. En fördubbling av vägöppningskostnaden ger nästan en fördubbling av förlusten i skogligt nuvärde. Däremot blir inte trakterna dubbelt så stora, visas i tabell 7 och 8.

Tabell 7. Förändring av traktornas storlek beroende av olika vägöppningskostnader

Table 7. Changes in the stand size dependence of various road opening costs

Arealförändring av trakterna mellan olika planer	Areal
<i>Plan maxnuvärde</i> och <i>plan klustring 4500</i>	4,3 ha
<i>Plan klustring 4500</i> och <i>plan klustring 9000</i>	2,2 ha
<i>Plan maxnuvärde</i> och <i>plan klustring 9000</i>	6,5 ha

Tabell 8. Förändring av det skogliga nuvärdet beroende av vägöppningskostnaden

Table 8. Changes in the forest net present value depends on the road the opening cost

Förändring av skogligt nuvärde mellan olika alternativa taktiska planerna	
<i>Plan maxnuvärde</i> och <i>plan klustring 4500</i>	-1 803 622 kr
<i>Plan klustring 4500</i> och <i>plan klustring 9000</i>	-1 623 776 kr
<i>Plan maxnuvärde</i> och <i>plan klustring 9000</i>	-3 427 399 kr

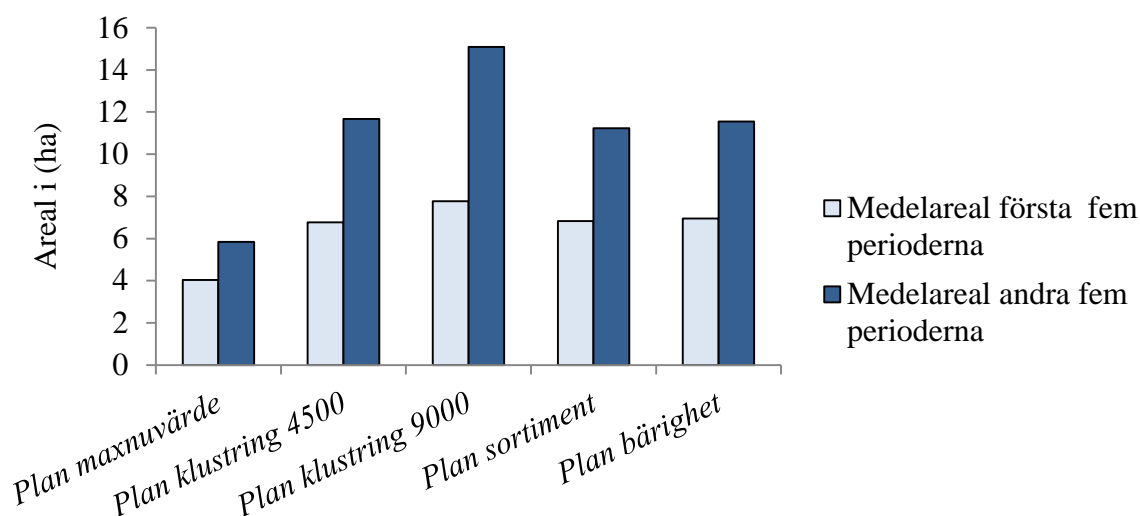
Hur vägöppningskostnaden påverkar traktstorleken och förlusten i skogligt nuvärde visas i tabell 8. Varje ökad ha i klustring ger större förlust av skogligt nuvärde.

Tabell 9. Klustringens kostnad i form av skogligt nuvärde

Table 9. Clustering cost in terms of forest net present value

Vad varje ökad ha i klustring kostar i förlust av skogligt nuvärde	
Plan maxnuvärde och klustring 4500	-421226 kr
Plan klustring 4500 och klustring 9000	-736786 kr
Plan maxnuvärde och klustring 9000	-528454 kr

Figur 10 visar hur möjligheten att klustra bestånd till trakter var olika för de fem första perioderna jämfört med de fem senare perioderna.



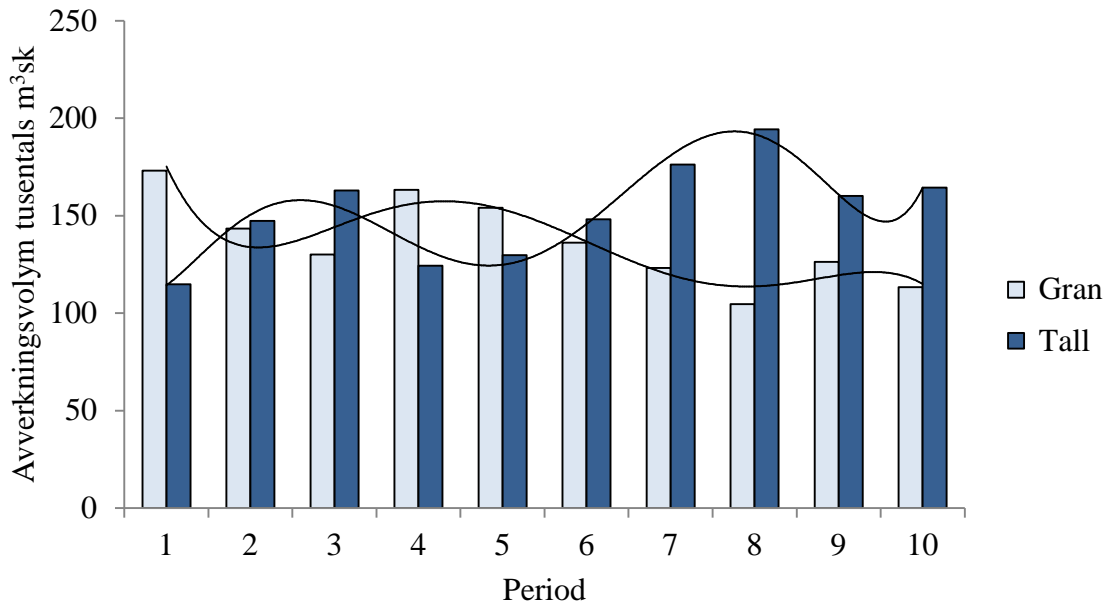
Figur 10. Trakternas medelstorlek i de fem första och fem andra perioderna för de olika alternativa taktiska planerna.

Figure 10. The stand average size in the first five and five other periods of the various alternative tactical plans.

Att endast tillåta skotningsalternativ 1 som i *Plan klustring en skotningsväg*, ger lägre totalt nuvärde på 900 000 kr och skogligt nuvärde på ca 75 000 kr. I *Plan klustring en skotningsväg* har varje vägsegment i snitt ca 3,5 färre bestånd kopplade till sig än i *Plan klustring 4500*. Antalet öppnade vägssegment i *Plan klustring en skotningsväg* uppgår till ca 2 100.

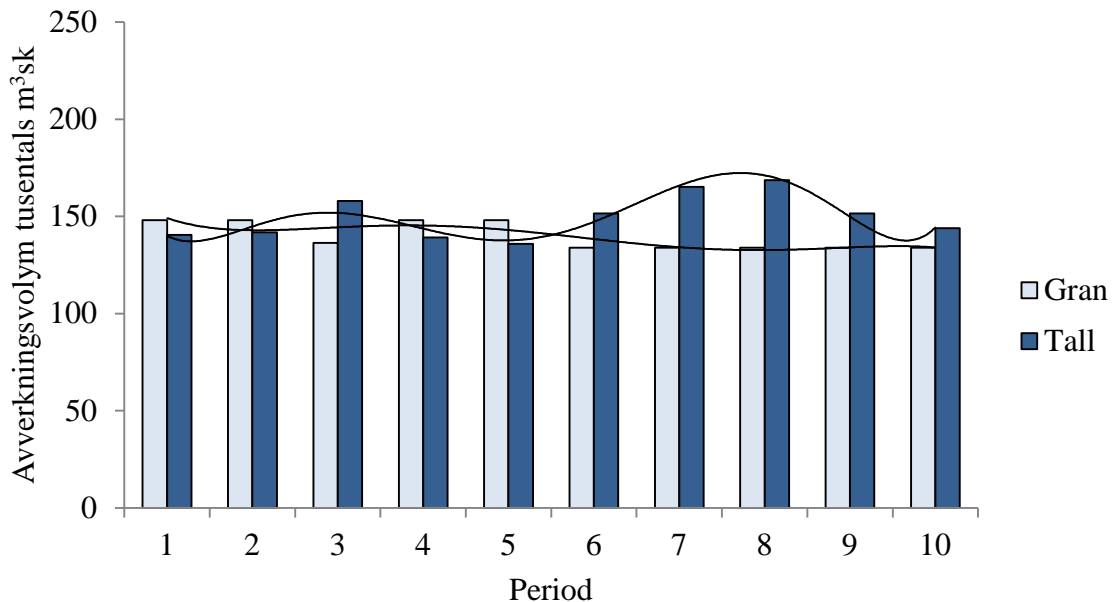
3.4 Plan sortiment

Kostnaden för att hålla en jämnhet i sortimentsutfall över tio perioder uppgår till ca 114 000 kr i minskat skogligt nuvärde jämfört med *Plan klustring*. Skillnad i sortimentsutfall illustreras med *Plan klustring 4500* i figur 13 och *Plan sortiment* i figur 14.



Figur 13. Variation i utfall av tall- och granvolym över tio perioder för *Plan klustring 4500*.

Figure 13. Variation in outcome of pine and spruce volume over ten periods for *Plan klustring 4500*.

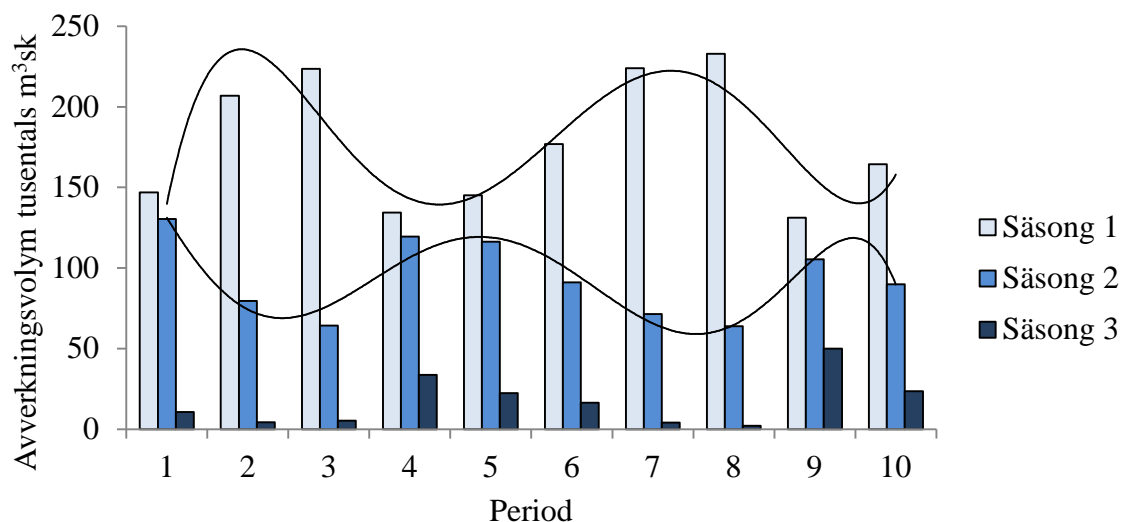


Figur 14. Variation i utfall av tall- och granvolym över tio perioder för *Plan Sortiment*.

Figure 14. Variation in outcome of pine and spruce volume over ten periods for *Plan Sortiment*.

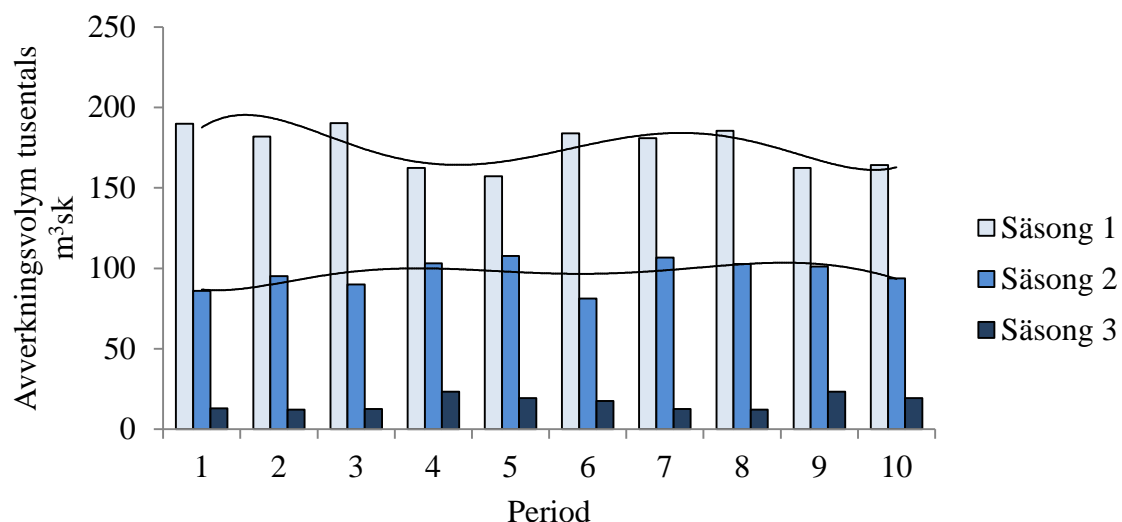
3.5 Plan bärighet

Den totala avverkade volymen för respektive bärighet illustreras med *Plan klustring 4500* i figur 15 och *Plan bärighet* i figur 16. I *Plan klustring 4500* ställdes inte krav på jämnhet i avverkade volymer för respektive säsong, vilket det däremot gjordes i *Plan bärighet*. I *Plan klustring 4500* varierade avverkade volymer för respektive bärighet mer än i *Plan bärighet*. Kostnaden för den ökade jämnheten i *Plan bärighet* från *Plan sortiment* uppgår till ca 125 000 kr i minskat skogligt nuvärde.



8Figur 15. Variation av avverkningsvolymer för respektive bärighet sett över tio perioder för *Plan klustring 4500*.

Figure 15. Variation of harvesting volumes for each bearing capacity seen over ten periods for *Plan klustring 4500*.



Figur 16. Variation av avverkningsvolymer sett över tio perioder för *Plan bärighet*.

Figure 16. Variation of harvesting volumes seen over ten periods for *Plan bärighet*.

4 Diskussion

Detta arbete har syftat till att göra det lättare för produktionsledaren på distriktet att välja bestånd för planering i fält under kommande säsong. Det huvudsakliga syftet har varit att ta reda på vad klustring av bestånd till trakter kostar i form av förluster i det skogliga nuvärdet samt hur stora omfördelningar i den taktiska planen det innebär.

4.1 Klustring

Klustring av bestånd till trakter har i detta arbete skapats med samma metod som använts tidigare av bland annat Johansson (2012) och Gustafsson (1998). Dessa studier har slagit ihop vägsegment för att skapa vägområden. I detta arbete har vägsegmenten behållits men varje bestånd har kopplats till två vägsegment för att öka antalet bestånd som är kopplade till samma vägsegment. På så sätt ökar möjligheten för bestånd att klustras till trakter.

Två vägöppningskostnader testades i *Plan klustring 4500* för att visa hur en högre vägöppningskostnad påverkar klustringen och det skogliga nuvärdet. En dubbelt så hög vägöppningskostnad ger nästan dubbelt så stor förlust i skogligt nuvärde men trakterna blir bara 50 % större. Det går att erhålla en högre grad av klustring till trakter med högre vägöppningskostnad men förlusterna i skogligt nuvärde ökar förhållandevis mer än storleken på trakterna. En avvägning över hur stor förlust i skogligt nuvärde som kan accepteras för att öka klustringen är en bedömning som måste göras.

För att se vinsten av att använda sig av två skotningsalternativ testades även att enbart låta optimeringsmodellen välja *Skotningsalternativ 1*. Varje vägsegment fick färre bestånd kopplade till sig och på så sätt blev det svårare att klustra bestånd till trakter vilket visar sig i att ca 2 100 vägsegment öppnades vilket är ca 300 fler än vid *Plan klustring 4500*. När fler vägar användes sjönk det totala nuvärdet.

Vägöppningskostnaden är inte enbart ett redskap för att klustra bestånd till trakter utan även en faktisk kostnad som uppkommer vid maskinflytt, underhåll och upprustning av vägar. Om den exakta kostnaden för vägöppningen är känd och den går att dela på ett realistiskt sätt mellan olika bestånd blir den föreslagna taktiska planen den mest ekonomiska med avseende på maximering av det totala nuvärdet.

4.2 Sortiment

Istället för att använda en målvolymer för att styra avverkningsvolymerna av tall och gran, skapades en variabel vilken avsåg en uthållig avverkningsnivå över alla tio perioder. Variationen i avverkningsvolym fick avvika från avverkningsnivån med $\pm 5\%$. Anledningen till att inte någon specifik målvolymer användes är att det kan vara svårt att hitta en lösning om man i optimeringsmodellen använder en högre nivå än vad som går att avverka uthålligt.

Förlusten i skogligt nuvärde för att hålla en jämnhet i uttag av sortiment låg på ca 144 000 kr. Detta är i förhållande till förlusten i skogligt nuvärde att klustra bestånd i *Plan klustring 4500* en relativt liten förlust då den förlusten i skogligt nuvärde uppgår till ca 1,8 miljoner kr. Förlusten i skogligt nuvärde för *Plan sortiment* kan sättas i proportion till vad det skulle

kosta att inte kunna hålla jämn leverans av olika sortiment till industrierna. En faktor att beakta i detta är hur långa leveransavtal som sluts med de olika industrierna. Om det vore möjligt att förhandla om leveransavtal varje år skulle en jämnhet i sortimentsutfallet över alla tio perioderna vara onödigt då en förlust i skogligt nuvärde uppstår vid krav på jämnhet. Det skulle i stället vara möjligt att ha en fast nivå över exempelvis de första fem perioderna för att sedan låta jämnheten hitta en annan nivå under de andra fem perioderna, alternativt låta sortimentsnivån gradvis förändras mellan varje period med en viss procentsats.

4.3 Bärighet

För att möjliggöra avverkning under hela året krävs att det finns bestånd med rätt bärighet för avverkning under alla årstider. Att bestämma en nivå för hur stor volym som minst måste komma från bestånd med bra bärighet för att garantera att det går att avverka under perioder med dålig bärighet fungerar om det finns ett överskott på bestånd med bra bärighet. Om det inte är ett överskott på bestånd finns det en risk att optimeringsmodellen inte hittar någon lösning.

I *Plan bärighet* användes en liknande restriktion som i *Plan sortiment*, vilket betyder att PlanWise själv fick välja en volymnivå som gick att hålla under alla tio perioder. En variation i avverkningsvolymerna från de olika bärigheterna fick variera med $\pm 5\%$ för varje period. En fördel med restriktionen är att det minskar risken för uttag av för många bestånd med bra bärighet de första perioderna. Därmed undviks att bestånd avverkas på ett icke uthålligt sätt. Problemet kan uppstå om nivån med bestånd med bra bärighet är för liten, vilket leder till att ett uttag av bäriga trakter minskar med tiden. För att undvika att antalet bestånd med bäriga trakter stadigt minskar krävs att en uthållig volymnivå av bäriga bestånd tas ut varje år. Volymnivåerna för respektive bärighet i figur 16 ser ut att spegla arealfördelningen av bärigheter som finns i figur 3 i material och metod vilket tyder på att de volymer som kommer ut från respektive bärighet kan avverkas uthålligt.

Jämnheten i bärigheter har också en relativt låg kostnad i form av förlust av skogligt nuvärde, ca 140 000 kr. Detta beror på att PlanWise själv får välja den nivån som ger högst totalt nuvärde.

4.4 Utvecklingsmöjligheter

Vid framtagandet av skotningsvägar från varje bestånd till två vägsegment uppstod en del brister. Höjdrastret som fanns heltäckande över hela distriktet hade en upplösning på 50 * 50 m vilket var en sämre upplösning än vad som användes i markslagsrastret. Hade heltäckande laserdata funnits över Umeå distrikt hade en mycket mer detaljerad och mer trolig skotningsväg kunnat tas fram så som Mohtashami (2011) tog fram i sitt arbete. Om ett bättre underlag än markslagskartan funnits tillgänglig hade upplösningen i kostnadsrastret kunnat vara högre och på så sätt hade mer realistiska skotningsvägar kunnat tas fram. Trots att upplösningen för kostnadsrastret som användes i detta arbete hade kunnat vara mer detaljerad blev beräkningen av skotningsvägar i GIS omfattande. Effektiv körtid i GIS var fem dygn och en verklig körtid på ca två veckor.

Terrängtransportavstånd som fördes in för *Skotningsalternativ 1* och *Skotningsalternativ 2* är enbart ett avstånd och har ingen koppling till den relativa kostnaden att skota över kostnadsrastret. Detta leder till att *Skotningsalternativ 2* kan vara kortare än *Skotningsalternativ 1* fast det är ett dyrare skotningsalternativ. Ett bättre sätt skulle kunna vara att föra över relativ kostnadsskillnad mellan skotningsalternativen för att kunna räkna upp skotningskostnaden för *Skotningsalternativ 2* på ett realistiskt sätt. Detta var inte möjligt då relativ kostnad inte togs fram i GIS i ett inledande skede. För att kompensera detta räknades alla *Skotningsalternativ 2* upp som var kortare än *Skotningsalternativ 1*, så att avståndet blev 5 % längre än *Skotningsalternativ 1*. Detta för att *Skotningsalternativ 2* alltid ska vara dyrare än *Skotningsalternativ 1*. Mer korrekt uppräkningsdata tas fram i GIS.

Riksvägarna E4, 92 och E12 togs bort ur väglagret, vilket gör att skotning mot dessa inte är möjligt. Därmed lades dessa inte in som ett hinder i kostnadsrastret vilket leder till att det i modellen inte går att skota mot dessa vägar, det går dock att skota över dem vilket inte är realistiskt.

I *Plan klustring 4500* användes vägöppningskostnaden 4500 kr, som egentligen kan ses som en flyttkostnad för maskiner. Kostnaden ligger på ungefär samma nivå som vägöppningskostnader som använts av Johansson (2012) och Gustafsson (1998). I vägöppningskostnaden ligger förutom flyttkostnad även kostnad kopplad till vägsegmentlängd som avser underhållskostnader som inte har använts i detta arbete. Kostnad kopplad till vägsegmentlängd varierar inte bara med längden på vägsegmentet utan påverkas också av andra faktorer så som vad det är för typ av väg och när på året vägen ska användas. En kostnad kopplad till vägsegmentlängd är missvisande i detta arbete då ett kort vägsegment kan finnas långt in efter en väg. Den verkliga kostnaden är summan av att underhålla alla vägsegment från allmän väg fram till det korta vägsegmentet. Att ta fram den verkliga rörliga kostnaden blir komplicerat då det inte finns någon relation mellan vägsegmenten så att ett totalt avstånd från varje vägsegment ut till allmän väg går att beräkna. Hade relationer mellan vägsegmenten funnits hade en rörlig kostnad i vägöppningskostnaden kunnat användas och vägsegment olika långt in efter samma väg kunnat dela på både den rörliga kostnaden och till viss del på den fasta kostnaden.

Vägöppningskostnaden för att klustra bestånd till trakter gör att drygt 500 färre bestånd används än när enbart det skogliga nuvärdet maximeras. Detta kan bero på att det är små bestånd som inte kan dela på vägöppningskostnaden med något annat bestånd och därför lönar sig det inte att avverka dessa bestånd. Huruvida detta är ett problem är svårt att avgöra. Kommer dessa bestånd aldrig avverkas eller kommer de avverkas när det finns ett närliggande bestånd som kommer att åtgärdas? Ytterligare studier borde göras med hänseende på detta. I arbetet skapades en *Taktisk plan med tre femårsperioder*, och utifrån denna skapades alternativa taktiska planer med tio ettårsperioder. Detta för att kunna garantera att de alternativa taktiska planerna kommer sköta skogen på ett uthålligt sätt utan att använda sig av längre tidshorisont än tio år. En annan möjlighet hade varit att inte skapa den *Taktiska planen med tre femårsperioder* utan istället skapa de alternativa taktiska planerna med alla bestånd som indata. För att kunna garantera att planerna som skapas är uthålliga måste en längre tidshorisont användas vilket hade medfört att optimeringsproblemet blivit mycket större både på grund utav att fler bestånd är med i optimeringen samt längre tidshorisont.

I dags läget är angreppssättet att först skapa en *Taktiska planen med tre femårsperioder* det mest effektiva sättet att ta fram övriga alternativa taktiska planer med klustring och jämnhetsaspekter. Den skillnad det kanske skulle bli om steget *Taktiska planen med tre femårsperioder* togs bort är enligt detta examensarbete liten och kommer enbart påverka senare delen av tidshorisonten i de tio ettårsperioderna.

Två nya angreppssätt användes i detta examensarbete. Det ena var att med hjälp av GIS ta fram två skotningsalternativ istället för att använda sig av fågelvägen. Det andra var att låta optimeringsmodellen i PlanWise välja mellan dessa två skotningsalternativ för att minimera vägöppningskostnaden och på så sätt skapa trakter.

Klustra bestånd till trakter är nödvändigt för att kunna sköta skogen på ett rationellt sätt. Att klustra bestånd till trakter är någonting som i dag görs manuellt så varför inte klustra bestånd till trakter redan när den taktiska planen skapas? De två nya tillvägagångssätt för att klustra bestånd till trakter som använts i detta arbete är ett steg på vägen för att underlätta valet av bestånd som ska planeras för avverkning varje år. Det går inte i dagsläget att tro att de alternativa taktiska planerna som tagits fram i detta arbete går att implementera rakt av. Det kommer fortfarande behövas handpåläggning för att välja vilka bestånd som ska planeras i fält varje år. Däremot borde det vara lättare att välja när bestånd till en viss del redan är klustrade till trakter. Det som ska komma ihåg är att det redan idag görs en manuell klustring av bestånd för att skapa trakter och att det sker en omstrukturering av bestånden för att få ut rätt sortiment över hela året med olika bärighet i skogen.

4.5 Slutsatser

Examensarbetet har visat att det med hjälp av vägöppningskostnader och andra restriktioner i PlanWise går att klustra bestånd till trakter och att det är möjligt att hålla jämnhet i både sortiments- och bärighetsutfall över tiden. Frågan är hur stora förluster i skogligt nuvärde som kan accepteras för att uppnå detta. Detta är en teoretisk förlust den praktiska förlusten måste vara mycket större.

När bestånd klustras till trakter används ca 1 700 färre vägsegment än när bestånd inte klustras till trakter vilket nästan är en halvering av antalet öppnade vägar och kostnaden i förlust av skogligt nuvärde uppgår till ca 1,8 mnkr under en tioårsperiod vilket är en minskning av det skogliga nuvärdet med ca 0,08 %. Förlusterna i skogligt nuvärde att hålla en jämnhet i sortiment och bärigheter är försumbar (0,005 % respektive 0,006 %).

Metoden att klustra bestånd till trakter som används i detta arbete skulle fungera som ett beslutsstöd vid urvalet av bestånd som ska planeras i fält kommande planeringssäsong. Men det finns fortfarande utvecklingspotential.

5 Tillkännagivanden

Jag vill tacka min handledare på Holmen, Jonas Eriksson för möjligheten att få göra detta examensarbete samt för den hjälp och information som du har bistått med under arbetets gång. Stort tack till min handledare på SLU, Ljusk Ola Eriksson, för ditt engagemang, kunskap och hjälp som du bidragit med under arbetets gång. Jag vill tacka Hampus Holmström för goda råd och uppmuntrande kommentarer. Ett tack till David Rönnblom, Karl Noro-Larsson och John Königsson på Umeå distrikt för den information ni bidragit med. Jag vill även tacka Catrine Nordlund för korrekturläsningen av arbetet.

6 Referenser

6.1 Tryckta referenser

- Andersson, D. (2005). Approaches to integrated strategic/tactical forest planning. Licentiate thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of forest resource management and geomatics. Umeå
- Eriksson, L.O., Hallgren, L., Nordström, E., Ångman, E., Öhman, K. (2010). *Krav på beslutsstöd för deltagande och konflikthantering vid skoglig planering*. Umeå: Institutionen för skoglig resurshushållning. Sveriges lantbruksuniversitet (SLU); Arbetsrapport 288 2010
- Eriksson, M. 2008. Strategisk och taktisk planering samt länken där emellan – Analys av planeringsprocessens genomförande vid SCA Skog. Umeå: Institutionen för skoglig resurshushållning. Sveriges lantbruksuniversitet (SLU); Arbetsrapport 207
- Gustafsson, K. (1998). *Långsiktplanering med geografiska hänsyn*. Umeå: Institutionen för skoglig resurshushållning. Sveriges lantbruksuniversitet (SLU); Arbetsrapport 46 1998
- Johansson, H. (2012). *Taktisk planering med geografisk hänsyn – Fallstudie med Heureka PlanVis på SCA Skogs distrikt Liden*. Umeå: Institutionen för skoglig resurshushållning. Sveriges lantbruksuniversitet (SLU); Arbetsrapport 353
- Mohtashami, S. (2011) "Planning forest routes for silvicultural activities using GIS based techniques: A case study of Selesjö in Östergötland, Sweden "TRITA LWR Degree Project 11:20
- Nurminen, T., Korpunen, H., Uusitalo, J. (2006). *Time Consumption Analysis of the Mechanized Cut-to-length Harvesting System*. *Silva Fennica* 40(2): 359-360.
- Tiger, K. (2012). *Jämförelse av skattat och kört skotningsavstånd*. Umeå: Institutionen för skoglig resurshushållning. Sveriges lantbruksuniversitet (SLU); Arbetsrapport 357
- Valsta, L. (1990). *A comparison of numerical methods for optimizing even aged stand management*. *Can J. For. Res.* 20: 961-969.
- Wikström, P., Edenius, L., Elfving, B., Eriksson, L. O., Lämås, T., Sonesson, J., Öhman, K., Wallerman, J., Waller, C., Klintebäck, F. (2011). The Heureka Forestry decision support system: an overview. *Mathematical and Computational Forestry & Natural-Resource Sciences*, vol. 3, nr 2, sidorna 87-94.
- Wählberg von Knorring, yyM. (2012). *Beslutsstöd för placering av basvägar i terrängen och beräkning av medelterrängtransportavstånd*. Umeå: Institutionen för skoglig resurshushållning. Sveriges lantbruksuniversitet (SLU); Arbetsrapport 358
- Öhman, K. & Lämås, T. (2003). Clustering of harvest activities in multi-objective long-term forest planning. *Forest ecology and management*, volume 176, issues 1-3, sidorna 161-171.

6.2 Elektroniska referenser

Anon, 2013a. Holmens hemsida. Skogsfakta. Tillgänglig:

<http://www.holmen.com/sv/Skog/Om-Holmens-skogar/Skogsfakta/> [2013-02-20]

Anon, 2013b. Holmens hemsida. Riktlinjer för uthålligt skogsbruk. Tillgänglig:

<http://www.holmen.com/Global/Holmen%20documents/Publications/Handledningar/Riktlinjer%20f%c3%b6r%20uth%c3%a5lligt%20skogsbruk%202011.pdf?251664> [2013-02-20]

Anon, 2013c. Heureka Help. Tillgänglig: <http://Heureka.resgeom.slu.se/help/> [2013-02-20]

Anon, 2013d. Heureka Wiki. Tillgänglig:

http://heureka.resgeom.slu.se/wiki/index.php?title=Heureka_Wiki/sv [2013-02-15]

Esri (2012). What is GIS?. Tillgänglig: http://www.esri.com/what-is-gis/overview.html#overview_panel [2013-02-27]

6.3 Personlig Kommunikation

Eriksson pers. komm. Jonas Eriksson telefonintervju 2012-09-04

Königsson pers. komm. John Königsson telefonintervju 2012-12-14

Noro-Larsson pers. komm. Karl Noro-Larsson telefonintervju 2012-12-14

Rönblom pers. komm. David Rönblom 2012-09-13