



Planering av vägupprustning med hjälp av GIS och optimering - en fallstudie på Holmen Skog

*Planning of road upgrading with the help of GIS and optimization
- a case study at Holmen Skog*

Johan Westberg

**Arbetsrapport 206 2007
Examensarbete 30hp D**

**Handledare:
Peder Wikström**

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skoglig resurshushållning
S-901 83 UMEÅ
www.srh.slu.se
Tfn: 018-671000



ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR-206-SE

Planering av vägupprustning med hjälp av GIS och optimering - en fallstudie på Holmen Skog

*Planning of road upgrading with the help of GIS and optimization
- a case study at Holmen Skog*

Johan Westberg

Förord

Detta examensarbete har genomförts vid Institutionen för skoglig resurshushållning vid SLU i Umeå på uppdrag av Holmen Skog AB. Arbetet är ett 20-poängs arbete som utförts inom ramen för min jägmästarutbildning.

Alla vägdata, kostnadskalkyler, GIS material mm. har tillhandahållits av Holmen Skog där min kontaktperson var Jonas Eriksson. Analysdelen med optimering är det min handledare på SLU, Peder Wikström som tog initiativet till och hjälpte mig att utveckla optimeringsproblemen. Ett stort tack till båda. Sammanställning av indata och vidareutveckling till användbart GIS material samt tillämpningen av optimeringsmodellerna har jag gjort själv.

Jag vill naturligtvis tacka alla som på något sätt bidragit till detta examensarbete och i synnerhet till min handledare Peder Wikström som tog sig tiden i efterhand att få detta examensarbete klart. Sen vill jag rikta ett särskilt tack till en nära vän Anders Gahnhed, som såg till att jag kom igång och slutligen gjorde klart detta.

Sammanfattning

Målet med detta examensarbete var att skapa en vägplan för ett av Holmen Skogs distrikt. Det vill säga en traktbank av vägar som är lämpliga att upprusta till tjälsäker standard. Meningen med detta var att finna en arbetsmetodik för att skapa en vägplan som var tillämpbar inom hela företaget. Vägplanen skall sedan användas som ett beslutsstöd vid vägupprustning.

Arbetet kan delas upp i två delar, bearbetning av geografisk data och optimering av geografisk data. Bearbetning skedde till största delen i ett GIS (Geografiskt informationssystem) program där syftet var att sammanställa en digital vägdatabas. Informationen i vägdatabasen användes sedan i optimeringen. Vid optimeringen användes linjär programmering i två steg, där lägsta möjliga kostnad brukades som mål.

Resultatet visar att det kostnadsmässigt enbart är meningsfullt att optimera vid större avverkningsvolym, minst 100 000 m³fub. Vid mindre avverkningsvolym är en manuellt selekterad vägplan fullt jämförbar med motsvarande optimerad. Ytterligare fördelar med att använda en optimering är att vägarna hamnar mer samlat inom ett vägsystem oberoende av avverkningsvolym. Den sänkta kostnaden detta skapar med mindre maskinflyttar vid vägprojektering och avverkning är inte inkluderade i kalkylerna för detta arbete. Dock borde detta göra optimeringen meningsfull även vid lägre avverkningsvolym. Vidare är det tydligt att den enskilt viktigaste kostnadsreglerande faktor är väglängd. Detta gör att en optimering eller manuell selektering av vägplan skulle kunna göras på basis av väglängd istället för kostnad. Fördelen med detta är att flertalet tidsödande steg i processen skulle kunna undvikas, liksom osäkerheter i kostnadsberäkningarna.

Utvecklingspotentialen vid beredningen av framtida vägplaner är stora, både vad gäller kvalitet och effektivitet. Kvaliteten skulle till exempel kunna förbättras genom att kopplingen mellan bestånd och vägar utvecklades, i detta arbete användes enbart närmaste skotningsavstånd. Effektiviteten skulle bland annat kunna höjas genom att färdiga vägdatabaser finns att tillgå på distrikten.

Summary

The objective of this thesis was to develop a method for the planning of road upgrading at Holmen Skog, a Swedish forest company. A critical issue for creating such plans is to identify roads that are suitable to upgrade to a standard that can handle heavy traffic during spring thaw, since spring thaw is a bottle neck for transporting timber. The method was tested in a case study at a district.

The work consisted of two parts. The first was to retrieve and prepare geographical data for the roads. This work was mainly done in a GIS (Geographical Information System) program. The second part consisted of using this data in an optimization problem where the objective was to minimize total upgrading costs for a road upgrading plan. The optimization problem was divided into a hierarchy of two problem levels. For each level, a linear programming problem was formulated. The top level included the entire area, and the lower level was applied for each of a number of subareas. A number of different problems were solved, with different demand constraints, or harvest levels.

The result show that it was only profitable to use optimization when harvesting volumes were large, at least 100 000 m³fub. For smaller harvesting volumes, manually created road plans were fully comparable with the optimized road plans. An advantage of using optimization was that the road projects were less scattered within a road system, independently of harvesting volumes. The cost savings of this, considering less moving of construction machinery and harvesting machines, were not included in this work, but if they were it would probably have been shown that the optimization is more profitable also for lower harvest volumes. Furthermore it is obvious that the single most cost reducing factor is road length. The road could therefore be based on road length instead of cost. The benefit of this is that several time consuming steps in the data preparation process could be avoided and also several uncertain calculations.

The potential in preparing future road plans are great, both concerning quality and efficiency. Quality could for example be improved by the development of the connection between roads and harvesting areas, in this paper only the forwarding distance has been used. The efficiency could be improved by having road databases ready to use out in the districts.

Innehållsförteckning

Förord	2
Sammanfattning	3
1. Inledning	6
2. Data	9
2.1 Studieområde	9
2.2 Nationella vägdatan (NVDB 2001)	9
2.3 Lokala vägdata	10
2.4 Blå kartan (2001)	10
2.5 Övriga datakällor	11
2.6 Kostnadsfunktion	11
3. Metod	12
3.1 Bearbetning av geografisk data	12
3.2 Optimering	13
3.2.1 Förutsättningar	13
3.2.2 Optimering 1 - delområden	14
3.2.3 Optimering 2 – hela distriktet	15
4. Resultat	16
4.1 Allmänt	16
4.2 Vägplan 150000 m ³ fub	17
4.3 Vägplan 300000 m ³ fub	19
4.4 Vägplan 450000 m ³ fub	22
5. Diskussion	26
5.1 Geografisk data	26
5.1.1 Grundmaterial	26
5.1.2 Koppling bestånd till vägar	26
5.2 Vägplan	26
6. Slutsatser	28
6.1 Veglängd	28
6.2 Optimering	28
Litteraturlista	29
Muntliga källor	29
Övriga källor	29
Bilagor	30
Bilaga A.1 Områdesindelning optimering	30
Bilaga A.2 Resultat från optimering	31
Bilaga A.2.1 Vägplaner 150000 m ³ fub	32
Bilaga A.2.2 Vägplaner 300000 m ³ fub	33
Bilaga A.2.3 Vägplaner 450000 m ³ fub	34
Bilaga A.3	36
Vägfördelning optimerat	36
Vägfördelning icke optimerat	37

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Sverige är ett land med stora avstånd och en relativt liten befolkning. För att ett decentraliserat land skall fungera socialt och ekonomiskt är transportinfrastrukturen mycket viktig. Vägar, järnvägar och sjöfart är viktiga komponenter i ett lands transportinfrastruktur. Sveriges vägar kan delas in i två huvudgrupper; belagda och obelagda vägar. Belagda vägar är vägar som antingen är asfalterade eller preparerade med oljegrus. I mindre omfattning förekommer även vägar av betong. Obelagda vägar är grusvägar det vill säga vägar där man inte har stabiliserat ytskiktet i vägen.

En vägkropp består av en vägbank, ovanpå det ett bärlager, och överst ett ytskikt. Proportionerna mellan dessa tre beståndsdelar varierar beroende på grundförutsättningarna för vägen och vad den skall användas till. Generellt sett använder man det grövsta vägbyggnadsmaterialet längst ner i vägbanken för att sedan använda allt finare material i bärlagret och ytskiktet. Proportionerna mellan vägbank, bärlager och ytskikt, vägbyggnadsmaterialet och grundförutsättningarna bestämmer vägens bärighet. Ur ett ekonomiskt rationellt perspektiv bör vägens bärighet vara sådan att konstruktionskostnaden är mindre än den ekonomiska nyttan som vägen ger upphov till.

Bärighetsproblem på svenska vägar är känt sedan länge. Redan i början av 1930-talet då den motordrivna trafiken blev mer omfattande var problemet uppmärksammat (Beskow 1931). Vid denna tidpunkt bestod det allmänna vägnätet till största delen av grusvägar. Den dåvarande situationen liknade mycket den som råder i dagens skogsbilvägnät. När flottningen av virke upphörde och virket istället började transporteras till industri med lastbil ökade trycket på vägnätet ytterligare. En av anledningarna till att flottningen upphörde var att skogsbruket gick från att vara en säsongsbunden verksamhet där arbetet tidigare var koncentrerat till en tid på året då marken i huvudsak var frusen till att bli en året-runt verksamhet. Förutom virketransporter behövde vägnätet vara tillgängligt året om för att klara transporter av arbetskraft till skogsavverkningarna. Problemen var då som nu säsongsbundna och framförallt koncentrerade till tjällossning, men liknande situationer kan även uppstå under särskilt regniga perioder. Problemen uppstår när vatten ackumuleras i vägens ytskikt och avrinningen blockeras av antingen tjäle eller att marken under och vid sidan av vägen är vattenmättad. Vatten som ackumuleras i vägens ytskikt leder till att ytskiktet mjukas upp och brister. Bristningar leder exempelvis till djupa permanenta hjulspår och erosion, vilket gör vägen obrukbar. För att förebygga och dessa problem krävs att vägbanan byggs av material som medger en god dränering i form av grus eller bergskross. Mängden vägbyggnadsmaterial som behöver tillföras beror på hur väl vägen är uppbyggd sedan tidigare och vilken marktyp vägen är belägen på, såsom torvmark eller sandig mark.

Åtgärder för att undvika bärighetsproblem på grusvägar är kostsamma och måste alltid vägas mot nyttan av transporter på vägen. Alternativet är att stänga av vägen för trafik under den tidbärighetsproblemen varar.

Ett led i utvecklingen inom skogsnäringen är skogsindustriernas krav på färskt virke samt skogsbrukets vilja att ha låga väglager. Detta ökar kraven på skogsbilvägnätets tillgänglighet. Skogsnäringens mål att ha låga lager av rundvirke beror på ökade krav från skogsindustrierna att virket skall vara färskt vid leverans. Emellertid utgör stora väglager en betydande kostnad och likviditetsbelastning för skogsbolagen. Samtidigt påverkas drivningsekonomin positivt om mindre hänsyn behöver tas till vägnätet och bestånden som skall avverkas kan väljas efter faktorer som avverkningsvolym och sortiment.

Med skogsindustrierna menas i detta fall sågverk, massa- och pappersindustrin. Problemen för massa- och pappersindustrin med virke som inte är färskt är flera men främst är svårigheten att barka virke som har lagrats så länge att det har hunnit torka. Barkbitar som följer med in i produktionen på ett massabruk leder till missfärgningar på slutprodukten. Alternativet är att barka om virket flera gånger men detta blir kostsamt. Sågverksflisen riskerar också att förorenas av bark om virket tillåts torka. Dessutom kan kvaliteten på pappersmassan påverkas negativt av alltför torrt virke. Problemen med virkeskvaliteten är således för sågverken bland annat missfärgningar av veden samt torksprickor vid lång lagringstid. De kvalitetspåverkande faktorerna har betydande ekonomiska implikationer för industri och skogsbolag. En faktor som kan förbättra situationen är ett bättre fungerande skogsbilvägsnät.

Bristande bärighet på grusvägar är ett säsongsbundet problem som är begränsat till kortare perioder under året. Detta leder ändå till att virkesförsörjningen till industrier störs. Att åtgärda samtliga skogsbilvägar är kostsamt och måste vägas mot nyttan. Några faktorer som kan vara värda att peka på är förväntad avverkning, väglagens storlek och förbättrad kvalitet i såväl leveranser som virke.

Förutom krav på på färskt virke vill man av kostnadsskäl minimera virkeslagren vid industrin och isället hålla lagres så tidigt i produktionskedjan som möjligt. För varje investering eller kostnad, såsom avverkning och vägtransport, ökar slutproduktens värde. Detta betyder att att virke som ligger på en timmer- eller vedplan har ett högre värde än rotstående skog där inget annat än skogsvårdande åtgärder har gjorts. Det högre värdet leder till att räntekostnaden för att lagra en förädlad produkt blir högre än för motsvarande oförädlad produkt, varför skogsbolagen helst vill ha råvarulagret som rotstående skog. Alternativt kan man betrakta detta som att man inte vill ligga ute med mer kostnader för anskaffning än nödvändigt. För att detta skall fungera krävs en flexibel produktions- och transportapparat där en mycket viktig del är vägar som är tillgängliga året runt oavsett väderlek.

Beräkningar har gjorts för att försöka bestämma hur stor del av svenska skogsnäringens enskilda vägnät som skulle vara optimalt att tjälsäkra (Tjällossningsprojektet 1980). Faktorer som beaktades var geografisk fördelning av vägarna, skogsmarksinnehav och skogstillstånd, befintligt vägstatus och skogsmarkens tillgänglighet. Resultatet av beräkningarna var att ur ekonomisk synvinkel skulle det vara optimalt att ca 20 % av den årliga avverkningsmängden skulle finnas tillgänglig vid tjälsäkrade vägar. Hur stor andel av vägnätet som bör vara tjälsäkert är dock en fråga som det enskilda skogsbolaget måste ta ställning till utifrån det enskilda fallet.

På 1990-talet började geografiska informationssystem (GIS) och digitala kartor att användas vid transportplanering och transportpristräkning. Precisionen i det tidiga materialet var dock dålig. Vid transportplanering var vissa vägsträckningar felaktiga i kartmaterialet, andra vägar saknades helt, vändplaner var inte utmärkta och det fanns ingen enhetlig gradering av vägar. Bristerna i materialet medförde att det inte gick att skilja på om en väg var farbar med timmerbil eller inte. Allt detta förhindrade en effektiv transportplanering med hjälp av digitala kartor. Vid transportpristräkning var det avstånden i de digitala kartorna som var felaktiga. Trots dessa svårigheter ansåg skogsbruket att det fanns en framtida potential i att använda digitala kartor och geografiska informationssystem om precisionen i materialet förbättrades. Detta ledde till en utveckling av kartmaterial och att kartmaterialet till viss del anpassades till programvaran (Fenger-Krog 1995). Det var denna utveckling som lade grunden för det material som används idag, där det största konkreta resultatet var att utveckla en nationell vägdatabas, NVDB (Nationella VägDataBasen, 2001), som presenteras mer grundligt senare i detta arbete.

Den frågeställning som uppställs i detta arbete baseras på GIS och NVDB.

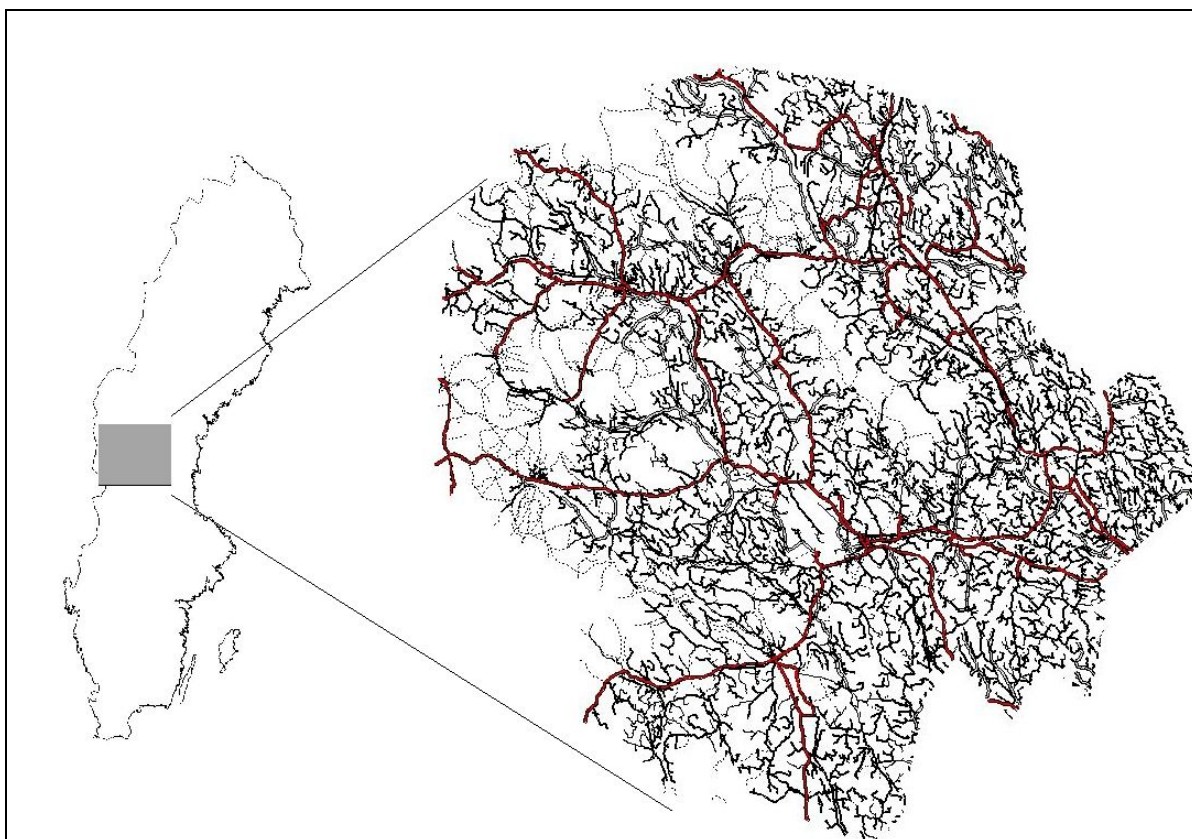
1.2 Syfte

Syftet med detta arbete är att med hjälp av GIS och en optimeringsmodell skapa en vägplan för ett av Holmen skogs distrikt. I vägplanen ingår vilka vägar som är mest lämpliga att upprusta.

2. Data

2.1 Studieområde

Studien gjordes på Holmen Skogs AB, region Iggesund, distrikt Sveg. Området är cirka 130 kilometer i nord-sydlig riktning och cirka 100 kilometer i öst-västlig riktning med Sveg relativt centralt beläget. Distriktet förvaltar cirka 80 000 hektar. Totalt finns inom distriktet 184 skogsbilvägar av varierande längd med en total sträckning på 112 mil . som både är egna och gemensamma med andra skogsägare. Ledningen för regionen valde ut Svegs distrikt för denna studie och skälet var att de ansåg det förelåg ett behov av att upprusta distriktets vägnät då området har varit hårt drabbat av höstregn och tjällossning.



Figur 1. Svegs distrikts lokalisering i Sverige och vägstrukturen i området.

2.2 Nationella vägdatan (NVDB 2001)

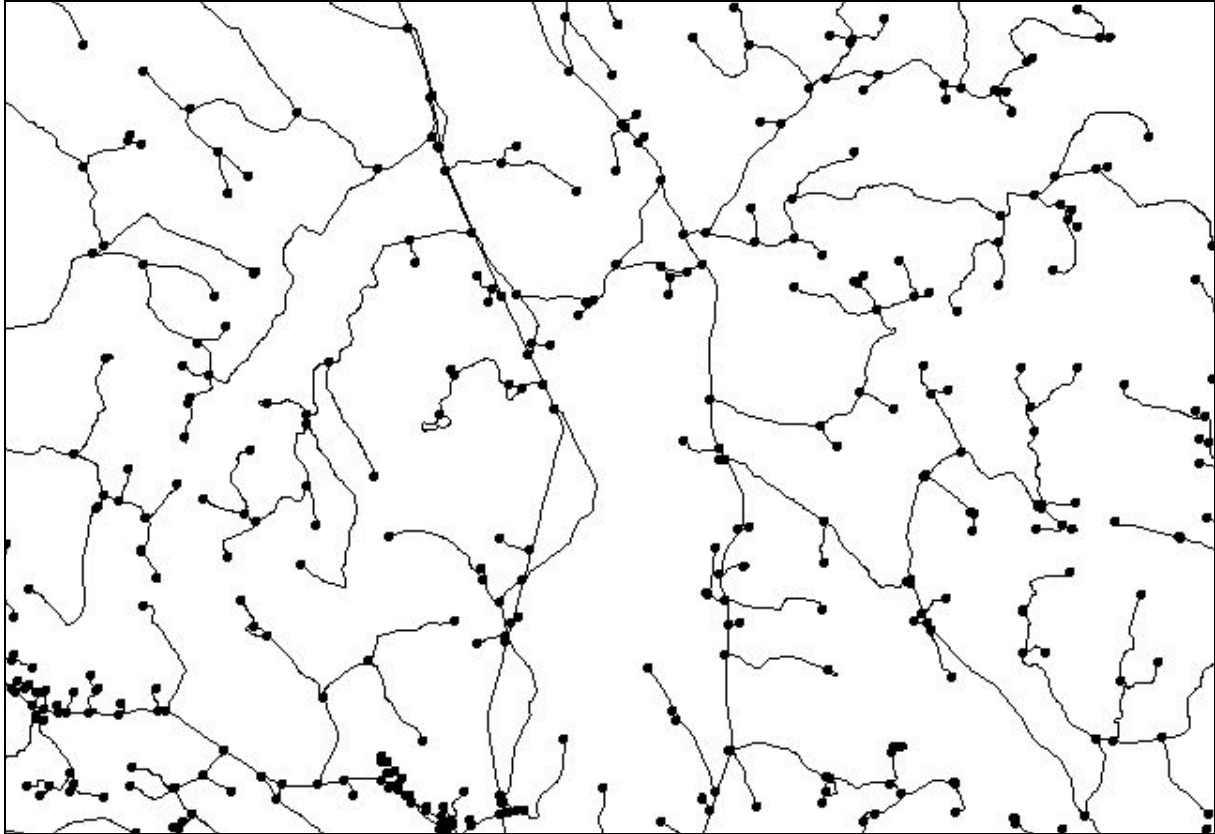
Grundmaterialet för de geografiska analyserna i detta arbete kommer från Nationella vägdatan. NVDB startades som ett projekt 1995 (Andersson *m fl* 1996) med syftet att skapa en heltäckande standardiserad digital databas med Sveriges samtliga vägar, både allmänna och enskilda.

NVDB används för tillämpningar inom väghållning, transportprisberäkning och navigering. Det utdrag från NVDB som används i denna studie är att betrakta som en prototyp då databasen som helhet inte är färdigställd ännu (2002).

NVDB-materialet som har använts i studien levererades i en nodlänkstruktur, vilket är en vägmappa där vägnätets sträckning är markerad med linjer. Linjerna har brytpunkter vid vägskal, vägslut och förändringar i vägens karaktär till exempel bärighet. Linjerna mellan brytpunkterna kallas länkar. I de flesta fall ingår flera länkar i en väg. Brytpunkterna i linjerna kallas noder och markeras som punkter. Information om vägen, attributdata, är kopplad till

länkarna. Attributdatat levererades i en separat tabell och det attributdata som används är informationen om vägarnas längd.

Den information som framkom av materialet användes i nästa steg för att i kartform koppla till data som finns tillgängligt distriktets egen vägdata (lokala vägdata).



Figur 2. Exempel på nodlänk struktur.

2.3 Lokala vägdata

För att komplettera NVDB-kartan användes lokala data speciellt framtagna för denna studie, i form av Holmen Skogs AB vägdata, Skogens Väg och AnLäggnings register (SVAL, muntlig referens Anders Hedberg). Databasen innehåller förutom namn och nummer på varje väg också längd, bärighet, bredd, samfällhetsstatus med mera. Med samfällhetsstatus menas om Holmen är ensam ägare till vägen eller om det finns flera ägare i en vägsamfällighet. Bärighetsklasserna indelas i klasserna A till D, där A är den klass med bäst bärighet och betraktas som farbar året runt utan restriktioner och en väg som är klassificerad med D i bärighet är enbart farbar i torr eller kall väderlek. De attributdata från SVAL som använts till denna studie är vägnummer och bärighetsklass.

2.4 Blå kartan (2001)

Då Holmen saknade en digital vägkarta över sina vägar och NVDB-kartan levererades i en nodlänkstruktur utan geografiska referenspunkter (såsom ortsnamn, höjdkurvor, vattendrag, myrar med mera) behövdes ett orteringshjälpmedel. Till detta användes Blå kartan och dess vägsikt. Attributdatan från Holmen levererades i två former; papperskartor med vägnas sträckning och vägnummer markerade och en tabell med bärigheten angiven för varje vägnummer.

Blå kartan användes i ett GIS-program tillsammans med NVDB-kartan så att geografiska referenspunkter kunde lokaliseras. Med utgångspunkt i de papperskartor som tillhandahållits kunde därefter de länkarna i NVDB-kartan som omfattar Holmens vägar markeras och föras

med sitt individuella nummer ur SVAL registret. Efter att samtliga distriktets vägar numrerats i NVDB-kartan kunde bärighetsklasser för samtliga vägnummer kompletteras till NVDB-kartans attributtabell.

Då det material ur NVDB som användes var en prototyp och inte i sin helhet färdigställd vid tidpunkten för studien saknades vissa vägpartier. För att komplettera sträckningen för dessa vägar i kartan gjordes kompletterande digitaliseringar manuellt baserat på Blå kartans vägnät.

2.5 Övriga datakällor

För att geografiskt kunna lokalisera avverkningar användes Holmen Skogs AB digitala beståndskarta. Till den digitala beståndskartan fanns en attributtabell som innehöll information om bestånden såsom trädslagsblandning, virkesvolym, marktyp med mera. De attributdata från beståndskartan som användes i denna studie var förväntad avverkningsvolym. Som komplement till den digitala beståndskartan följde en tabell med bestånd som Holmen hade för avsikt att avverka och gallra inom en tioårsperiod. Tio år är den period som Holmen valde att inrikta studien på, då det ansågs vara en rimlig tidsperiod att fördela kostnaderna för att upprusta vägarna. Tabellen med bestånd kopplades till den digitala beståndskartan. Bestånd som inte var relevanta för studien, dvs. inte skulle avverkas eller gallras inom den närmaste tioårsperioden, sorterades bort. Kvar blev en reviderad digital beståndskarta med enbart de bestånd som var relevanta för studien.

2.6 Kostnadsfunktion

För att kunna möjliggöra en kostnadsberäkning av upprustning av vägar till bärighetsklass A utvecklades en kostnadsfunktion i samarbete med uppdragsgivaren.

På motsvarande sätt fastställdes det dominerande grundläggningmaterialet, det vill säga den mark som vägen anläggs på, till sandig-moig morän för befintliga skogsbilvägar (muntlig referens Anders Hedberg) i samarbete med personal på distriktet.

I grundtabellen (Sveriges Skogsvårdsförbund, 1986) skiljer man inte på tjocklek i bärighetslagret på vägar av klass A och B på sandig-moig morän. Detta resulterar i att den mängd fyllnadsmaterial som tillförs markskiktet vid en vägbyggnad antas vara det samma för vägar av klasserna A och B. Holmens personals praktiska erfarenheter (muntlig referens Anders Hedberg) från Svegs distrikt menar dock att det finns en skillnad i bärighet mellan klass A och B. Med hänsyn till detta antogs att klass A-vägar kräver en tjocklek på 30 cm i bärighetslager och klass B-vägar en tjocklek på 25 cm. För vägar med bärighetsklass C och D användes värdena från Skogsstyrelsen.

$$K = P + L \cdot (F + B \cdot T \cdot k \cdot M)$$

K = kostnad för att uppgradera vägen till A klass.

P = projekteringskostnad för väg. Till exempel maskinflyttar, visuell kontroll.

L = vägens längd i meter.

F = fast meterkostnad för vägprojektering. Till exempel kulvertar, maskinkostnad.

B = vägens bredd.

T = bärlagrets tjocklek i meter.

k = komprimeringsfaktor i vägbyggnadsmaterialet.

M = materialkostnad för vägbyggnadsmaterialet, inklusive transportkostnad.

3. Metod

3.1 Bearbetning av geografisk data

Bearbetning, analys och presentation av den insamlade geografiska informationen utfördes i GIS-programmet ArcView (ESRI, 2001).

Holmens tidigare nämnda vägdatabas SVAL hanterar märkningen av företagets vägar. Denna märkning innebär att ett vägnummer innefattar allt från ett par hundra meter stickväg till flera kilometer väg i ett helt vägsystem. Med stickväg menas en väg som bryter av från en annan väg utan att ansluta till annan väg eller vidare förgrena sig. Systematiken i detta system korresponderar inte med den tidigare nämnda nodlänkstrukturen i NVDB. Vägnumren har tillkommit allt eftersom vägnätet har byggts ut och kan som tidigare nämnts omfatta flera kilometer väg. NVDB är väsentligt mer högupplöst där en länk normalt sett är mindre än en kilometer lång. Som en följd av detta omfattas ett av Holmens vägnummer av två eller fler länkar i NVDB. De för studien relevanta länkarna i NVDB, det vill säga de länkar som innefattades av ett av Holmens vägnummer, sorterades ut och vägnumret fördes in i NVDB:s attributtabell.

Studien omfattade ca 180 vägnummer från SVAL, vilka motsvarade totalt ca 1000 länkar i NVDB. Eftersom det till varje länk i NVDB är kopplat attributdata komprimerade attributtabellen från NVDB från 1000 till 180 rader så att varje rad motsvarade ett vägnummer i SVAL. Vid komprimeringen summerades länkarnas enskilda längd inom varje vägnummer så att vägnumrets totala längd erhöles. Efter komprimeringen av attributtabellen tilldelades varje vägnummer bärighetsklass enligt SVAL.

För att avgöra vilket bestånd som vid avverkning eller gallring skall skotas ut till vilken vägs togs det i studien enbart hänsyn till kortaste avstånd mellan väg och bestånd. Detta på grund av att personalen på Svegs distrikt (muntlig referens Anders Hedberg) ansåg att det uteslutande är avståndet som avgör till vilken vägs virket skotas. I vissa fall kan det föreligga geografiska hinder i form av till exempel vattendrag men det ansågs för studien vara försumbart få.

För att beräkna avståndet från bestånd till närmaste väg transformerades bestånden till punkter. Bestånden är i GIS-programmet definierade som polygoner (ytor). Vid transformering till punkter beräknas beståndets geografisk mittpunkt, vilket motvarar det genomsnittliga skotningsavståndet från beståndet. För varje bestånd beräknades sedan med i GIS-programmet närmast liggande väg. En väg kan ha (och fick) flera bestånd kopplade till sig.

Till varje bestånd i den reviderade digitala beståndskartans attributtabell fanns en planerad avverkningsvolym som förväntades utfalla vid avverkning. Den planerade avverkningsvolymen för varje bestånd adderades till varje berört vägnummer, och på så sätt erhöles en total planerad avverkningsvolym för varje väg.

Med kostnadsfunktionen för vägupprustning beräknades upprustningskostnaden som en totalkostnad för varje väg.

För analyserna var det nödvändigt att definiera vägnätets placering i förhållande till varandra som logiska relationer. Som tidigare nämnts om systematiken i SVAL har vägnumren tillkommit allteftersom vägsystemet byggts ut. Detta leder i flera fall till att en eller flera vägar måste trafikeras för att komma till önskad väg. En väg med låg upprustningskostnad och stor avverkningsvolym kan framstå som ett attraktivt upprustningsalternativ, men kan

vara beroende av en eller flera andra vägar med högre kostnader för att användas. Först identifierades de vägar som var beroende av andra vägar för att kunna trafikeras, därefter kontrollerades vilka vägar de närmast anslöt till. En ny kolumn skapades i attributtabeln i NVDB där närmast anslutande vägnummer för den berörda vägen infördes, dvs. den väg som behöver upprustas för att den berörda vägen skall kunna trafikeras.

3.2 Optimering

3.2.1 Förutsättningar

En vägplan kan utgöra grunden till ett vägsystem som året runt och oberoende av väderlek kan svara för säkra transporter av förbestämda avverkningsvolym. Svegs distrikt producerar totalt ca 5000 m³fub timmer och massaved per vecka (muntlig referens Anders Hedberg). I samarbete med personalen på distriktet utarbetades tre olika scenarier för olika nivåer av störningar i vägnätet. En normal tjällossningsperiod i området varar ungefär tre veckor, och då bör således ca 15 000 m³fub avverkas. En normal tjällossning tillsammans med kraftiga höstregn beräknades ha en varaktighet på sex veckor, vilket följaktligen bör påverka avverkningen av 30 000 m³fub. Ett värsta-fall scenario med en förlängd tjällossningsperiod samt med extra kraftiga höstregn beräknades vara 9 veckor, påverkande avverkningen av 45000 m³fub. Holmen valde att inrikta studien på tio år, då tio år ansågs som en rimlig tid att fördela vägupprustningskostnader på. Kostnaderna för att upprusta vägar under de olika scenarierna skall alltså fördelas på tio år. Således skall volymerna (150 000, 300 000 resp. 450 000 m³fub) anpassas till att gälla i tio år,

Uppdragsgivaren önskade få redovisat i en tabell en rangdordning av samtliga vägar efter kostnaden för vägupprustningen per tillgänglig avverkad kubikmeter (kr/m³fub). Utöver detta önskade de få information om den totala kostnaden och den totala avverkningsvolymen för varje tillgängligt vägavsnitt. Detta för att värdera den totala kostnaden mot kr/m³fub och total avverkningsvolym. Detta tillvägagångssätt medförde att flertalet intressanta vägar med en låg upprustningskostnad per m³fub var beroende av tillgängligheten av en annan väg, eller i vissa fall till och med av upp till tre andra vägar för att kunna användas. Uppdragsgivaren begärde då att samtliga vägar som krävde att en annan väg trafikeras för att kunna nå skulle undantas ur tabellen och istället redovisas separat. Detta för att användas i konsultärt syfte om behovet att upprusta ett helt vägsystem uppstod. Tabellen med icke beroende vägar redovisas nedan och benämnes som alternativ ”icke opt”.

För att granska om några kostnadssänkningar i vägupprustningen kunde göras om samtliga vägar i distriktet kunde användas togs ett alternativ fram med hjälp av optimering. Med 184 vägar där flertalet är beroende av en eller flera andra vägar för att kunna användas blir antalet möjliga handlingsalternativ snabbt svåröverskådligt. Av dessa skäl användes en optimeringsmodell. Alternativet benämnes nedan ”opt”.

Av beräkningsstekiska skäl begränsades optimeringsproblemet storlek genom att formulera ett inte alltför detaljerat optimeringsproblem. Optimeringsproblemet delades in i två delproblem, där ”optimering 1” bestod i att ta fram alternativa planer för vart och ett av ett antal delområden, och ”optimering 2” av att för området i sin helhet hitta den bästa kombinationen av alternativ för delområdena. Det program som användes vid optimeringen var Lindo (Hearne scientific software, 2001).

3.2.2 Optimering 1 - delområden

Först delades hela distriktet in i åtta delområden (se bilaga A.1). Områdena delades så att den geografiska inblandningen mellan dem hölls låg. Det avgörande kriteriet var att vägar som var beroende av varandra inte fick bli uppdelade i olika delområden. Modellen används för varje område separat, där ett antal alternativ togs fram för varje område. Målfunktionen ser ut som följer.

$$\text{Minimera } \sum_{i \in I} c_i y_i$$

Under bivillkor:

$$(1) \sum_{j \in J} v_j x_j = A_l$$

$$(2) \quad x_j \leq y_i \quad \begin{array}{l} \forall j, \\ \forall i \in I_A(j) \end{array}$$

$$(3) \quad y_k \leq y_i \quad \begin{array}{l} \forall k, \\ \forall i \in I_B(k) \end{array}$$

$$(4) \quad y_i = \{0,1\}$$

$$(5) \quad x_j = \{0,1\}$$

Där:

- I = mängden av alla vägar. Indexeras med bokstäverna i eller k
- J = mängden av alla bestånd i delområdet. Indexeras med bokstaven j
- $I_A(j)$ = delmängd av alla vägar I som är kopplade till bestånd j . Varje $I(j)$ innehåller i detta fall bara ett element, dvs. ett bestånd har bara en väg kopplad till sig
- $I_B(k)$ = Delmängd av alla vägar I som är länkade till väg k och som är beroende av att väg k finns. Varje $S(k)$ innehåller i detta fall högst ett element, dvs. en väg är bara beroende av högst en annan väg,
- A_l = Krav på avverkad volym givet alternativ avverkningsnivå nr l för delområdet. 10 olika alternativ ($k = 1..10$) togs fram för varje delområde
- c_i = Kostnad för upprustning av väg i .
- y_i = 1 om upprustning av väg i sker, 0 om upprustning av väg i inte sker.
- v_j = volym i bestånd j .
- x_j = 1 om bestånd j avverkas, 0 om bestånd j inte avverkas.

Som beskrivs i bivillkor 1 delades den totala volymen i varje delområde med tio så att en volymstegring i tio steg upp till maxvolym erhöles för varje delområde (se bilaga A.2).

Optimeringsproblemet löstes således 10 gånger för varje delområde, med olika värden på A_i . Som resultat erhöles olika kostnader för varje alternativ och delområde. Som framgår av tabellerna 9 och 10 i bilaga A.2 så är kostnaden konstant i vissa områden i flera volymssteg. Detta innebär att marginalkostnaden för att uppnå nästa volymssteg är 0.

Optimeringsmodellen har med andra ord hittat en lösning som gör att ytterligare volymssteg kan uppnås utan att några vägupprustningar behöver göras. Resultatet av optimering 1 var således dessa två tabeller som utgör grunden för optimering 2.

3.2.3 Optimering 2 – hela distriktet

Denna optimering syftar till att hitta det bästa alternativet från varje delområde så att vägplanen för distriktet i sin helhet optimeras. Målfunktionen ser ut som följer.

$$\text{Minimera } \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} C_{ij} X_{ij}$$

Under bivillkor:

$$(1) \sum_{j=1}^{J_i} X_{ij} \leq 1$$

$$(2) \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} V_{ij} X_{ij} = 150\,000, 300\,000, 450\,000$$

$$(3) X_{ij} = \{0,1\}$$

Där:

C_{ij} Kostnad för alternativ j i delområde i .

X_{ij} 1 om delområde i avverkas enligt alternativ j .

V_{ij} Avverkad volym enligt alternativ j i delområde i .

I Antal delområden.

J_i Antal alternativ för delområde i (=10).

Resultatet från denna optimering var tre olika varianter beroende på avverkningsnivå från tabell 10. Dessa varianter fick sedan härledas tillbaka till sitt respektive delområde och därifrån ner till enskilda vägnummer. Dessa vägnummer blev därefter till de tre optimerade vägplanerna, en för vardera nivå.

4. Resultat

4.1 Allmänt

Vägplanerna redovisas som två olika alternativ, två alternativ för vart och ett av de volymvillkor som ställdes (se kapitel 3.2). För varje volymvillkor redovisas dels den plan som erhålls med optimering, dels den där vägar har valts manuellt. Då volymvillkoret för de olika nivåerna är ett minimum för vad som ska uppfyllas och volymen som är kopplad till varje väg är låst, det vill säga det går inte att upprusta en halv väg för att uppnå det exakta volymvillkoret. Detta medför att det för varje nivå blev mer volym än det uppsatta volymvillkoret. Då totalvolymerna mellan de olika alternativen skiljde sig med upp till 15 000 m³fub uppstod problemet med att jämföra alternativen. Kostnadsutvecklingen skiljde sig också åt mellan alternativen vilket framgår av resultatdiagrammen. Detta sammantaget gjorde det svårt att jämföra alternativen, alternativen anpassades därför till de exakta volymvillkoren i steg om 15 000 m³fub. För att se vägplanerna i sin helhet hänvisas till bilaga 6.3. Vid redovisningen av de tre nivåerna kommer endast anpassade tabeller att visas för att underlätta analys och jämförelse.

Tabell 1. Sammanställning av resultatet för de tre nivåerna med två alternativa vägplaner.

Alternativ	Kostnad	Kr/m ³ fub
150' m ³ fub opt	998000	7
150' m ³ fub icke opt	1054000	7
300' m ³ fub opt	3789000	13
300' m ³ fub icke opt	4752000	16
450' m ³ fub opt	8641000	19
450' m ³ fub icke opt	11559000	26

Resultatet från både optimeringen och den manuella selekteringen av vägar visar att kostnaden för upprustning av vägnätet står i relation till avverkningsvolymen. Ett mindre volymmål kan uppnås genom att en förhållandevis kort vägsträcka upprustas. I ett sådant fall gäller förslag med korta vägpartier och med mycket volym. I takt med att dessa partier används måste andra vägar med längre vägsträcka och proportionellt sett mindre volym användas.

Förhållandet till volymvillkoren skiljer sig något åt mellan alternativen.

Optimeringsmodellen konstruerades så att ett minsta volymvillkor skulle uppfyllas däremot sattes ingen övre begränsning på volymen. Vilket gjorde att optimeringsfunktionen kunde fortsätta seletera vägar efter att volymvillkoret var uppfyllt förutsatt att det ledde till ett billigare alternativ. Den avgörande faktorn var kostnaden. Detta till skillnad från det manuellt selekterade alternativet där volymvillkoret uppfylldes men inte mer det vill säga att när volymen var nådd selekterades inte fler vägar. Detta inte fick dock något genomslag i resultatet. Vilket av alternativen som fick den högsta totalvolymen varierar mellan nivåerna. Optimeringsmodellen använde dock i samtliga fall ett mindre antal vägar för att uppnå önskad avverkningsnivå än det manuellt selekterade alternativet.

4.2 Vägplan 150000 m³fub

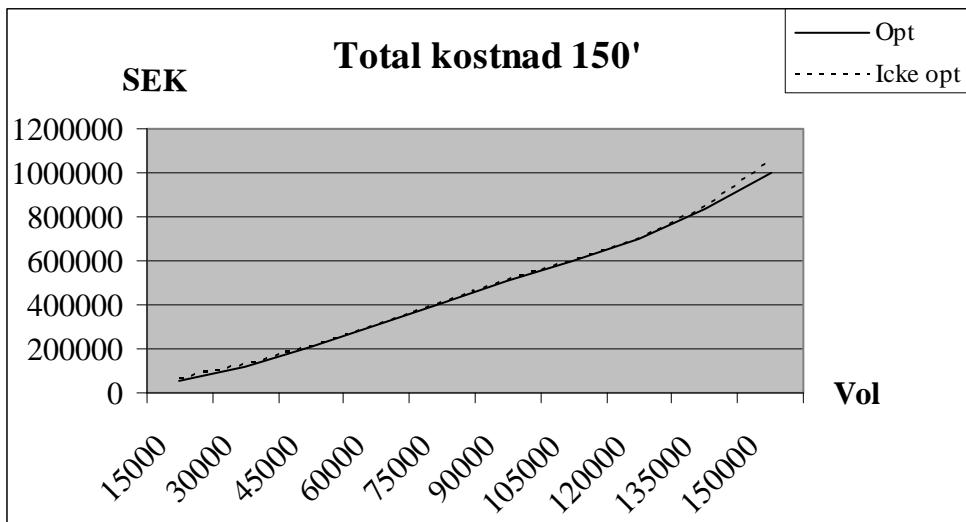
Optimeringsmodellen använde redan vid denna nivå vägar som var beroende av andra vägar för att kunna användas.

Tabell 2. Anpassade volymer för optimerad vägplan.

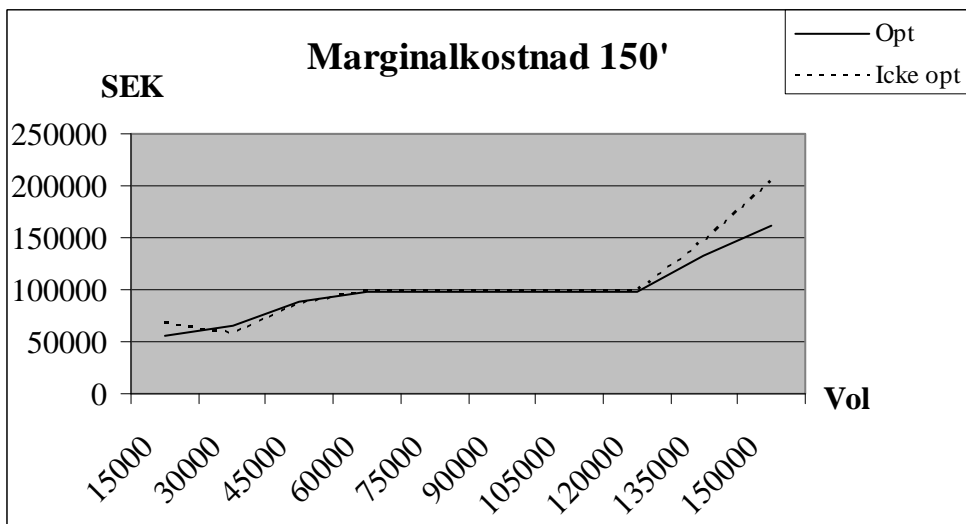
Opt 150'			
Vol	Marg kost	Kost	Kr/m ³ fub
15000	56000	56000	4
30000	65000	121000	4
45000	89000	211000	6
60000	98000	309000	7
75000	98000	408000	7
90000	98000	506000	7
105000	98000	604000	7
120000	98000	703000	7
135000	133000	835000	9
150000	162000	998000	11

Tabell 3. Anpassade volymer för icke optimerad vägplan.

Icke opt 150'			
Vol	Marg kost	Kost	Kr/m ³ fub
15000	67000	67000	4
30000	58000	124000	4
45000	87000	211000	6
60000	98000	309000	7
75000	98000	408000	7
90000	98000	506000	7
105000	98000	604000	7
120000	98000	703000	7
135000	147000	850000	10
150000	204000	1054000	14



Figur 3. Sammanställning totala kostnader vägplaner 150000 m³fub.



Figur 4. Sammanställning marginal kostnad vägplaner 150000 m³fub.

4.3 Vägplan 300000 m³fub

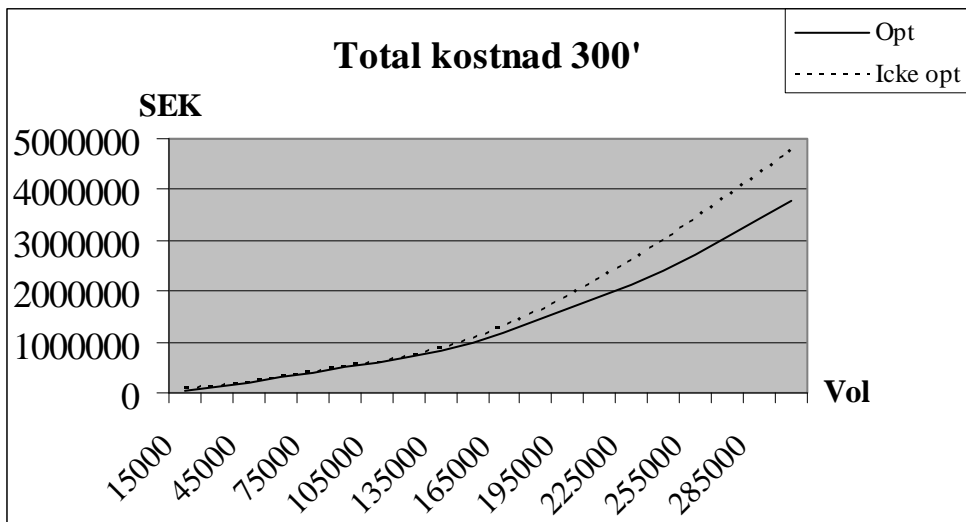
Vid denna nivå börjar optimeringsmodellen använda ett stort antal beroende vägar vilket också tydligt visas i kostnadsutvecklingen.

Tabell 4. Anpassade volymer för optimerad vägplan.

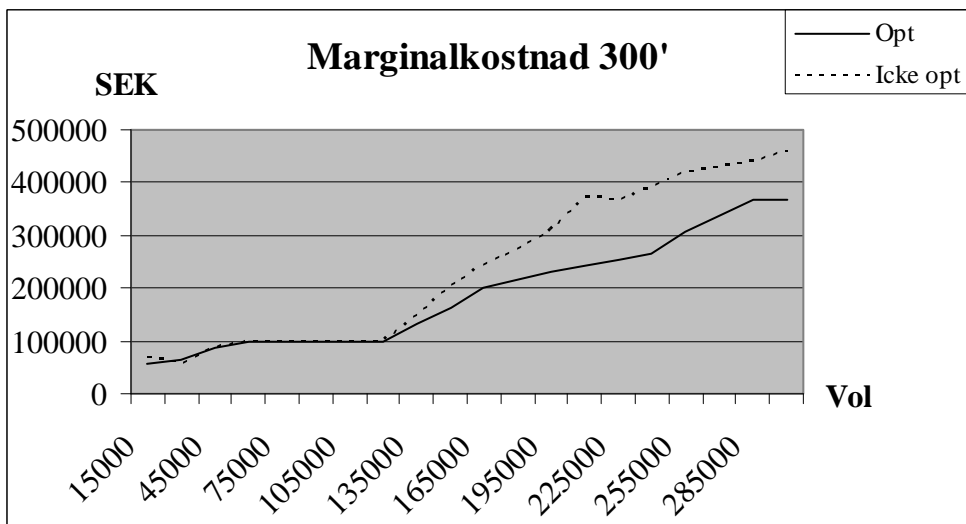
Opt 300'			
Vol	Marg kost	Kost	Kr/m ³ fub
15000	56000	56000	4
30000	65000	121000	4
45000	89000	211000	6
60000	98000	309000	7
75000	98000	408000	7
90000	98000	506000	7
105000	98000	604000	7
120000	98000	703000	7
135000	133000	835000	9
150000	162000	998000	11
165000	202000	1200000	13
180000	217000	1417000	14
195000	231000	1648000	15
210000	241000	1890000	16
225000	252000	2142000	17
240000	267000	2409000	18
255000	306000	2715000	20
270000	339000	3054000	23
285000	367000	3422000	24
300000	367000	3789000	24

Tabell 5. Anpassade volymer för icke optimerad vägplan.

Icke opt 300'			
Vol	Marg kost	Kost	Kr/m ³ fub
15000	67000	67000	4
30000	58000	125000	4
45000	87000	212000	6
60000	98000	310000	7
75000	98000	408000	7
90000	98000	506000	7
105000	98000	604000	7
120000	98000	702000	7
135000	147000	849000	10
150000	204000	1053000	14
165000	241000	1294000	16
180000	272000	1566000	18
195000	309000	1875000	21
210000	371000	2246000	25
225000	369000	2615000	25
240000	390000	3005000	26
255000	421000	3426000	28
270000	429000	3855000	29
285000	439000	4294000	29
300000	458000	4752000	31



Figur 5. Sammanställning totala kostnader vägplaner 300000 m³fub.



Figur 6. Sammanställning marginal kostnader vägplaner 300000 m³fub.

4.4 Vägplan 450000 m³fub

Vid denna nivå använder det optimerade alternativet vägar som är beroende av andra vägar i upp till tre led vilket tydligt visas i kostnadsutvecklingen. Jag har vid denna nivå lagt till väglängd för att jämföra mot kostnaden.

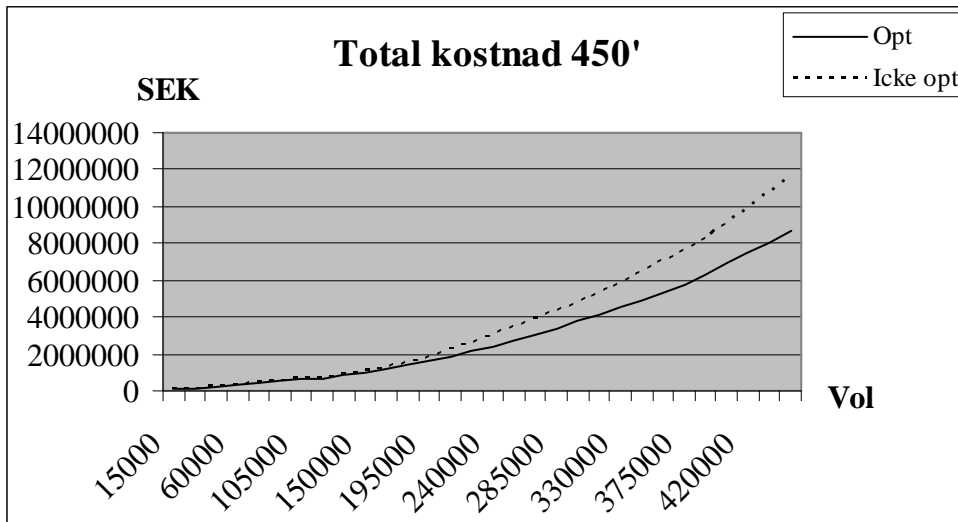
Vid analys vid denna nivå framgår fördelarna med optimeringsmodellens förmåga att hantera beroende vägar i flera led och på detta sätt få tillgänglighet till kostnadseffektiva vägar som är beroende av andra mindre kostnadseffektiva vägar för användande.

Tabell 6. Anpassade volymer för optimerad vägplan.

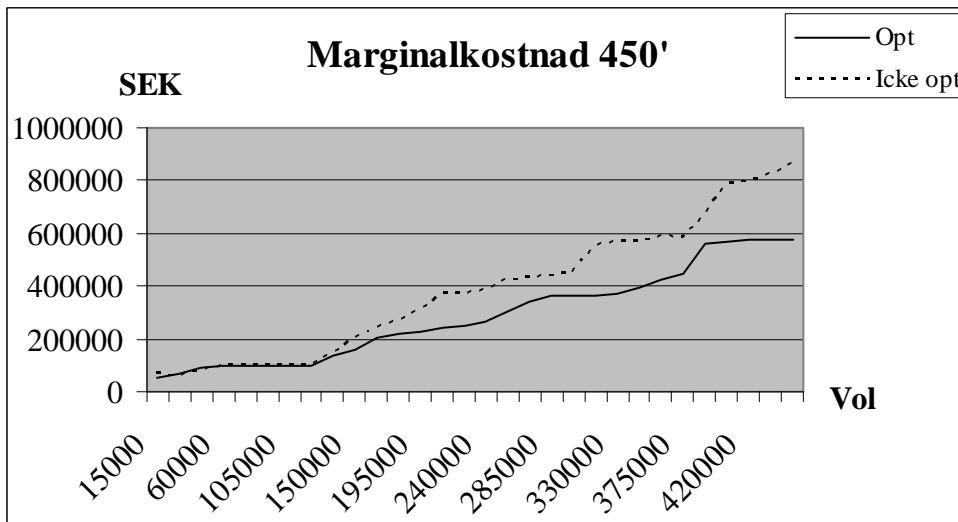
Opt 450'			
Vol	Marg kost	Kost	Kr/m ³ fub
15000	56000	56000	4
30000	65000	121000	4
45000	89000	210000	6
60000	98000	308000	7
75000	98000	406000	7
90000	98000	504000	7
105000	98000	602000	7
120000	98000	700000	7
135000	133000	833000	9
150000	162000	995000	11
165000	202000	1197000	13
180000	217000	1414000	14
195000	231000	1645000	15
210000	241000	1886000	16
225000	252000	2138000	17
240000	267000	2405000	18
255000	306000	2711000	20
270000	339000	3050000	23
285000	367000	3417000	24
300000	367000	3784000	24
315000	367000	4151000	24
330000	368000	4519000	25
345000	391000	4910000	26
360000	424000	5334000	28
375000	450000	5784000	30
390000	563000	6347000	38
405000	569000	6916000	38
420000	572000	7488000	38
435000	575000	8063000	38
450000	575000	8638000	38

Tabell 7. Anpassade volymer för icke optimerad vägplan.

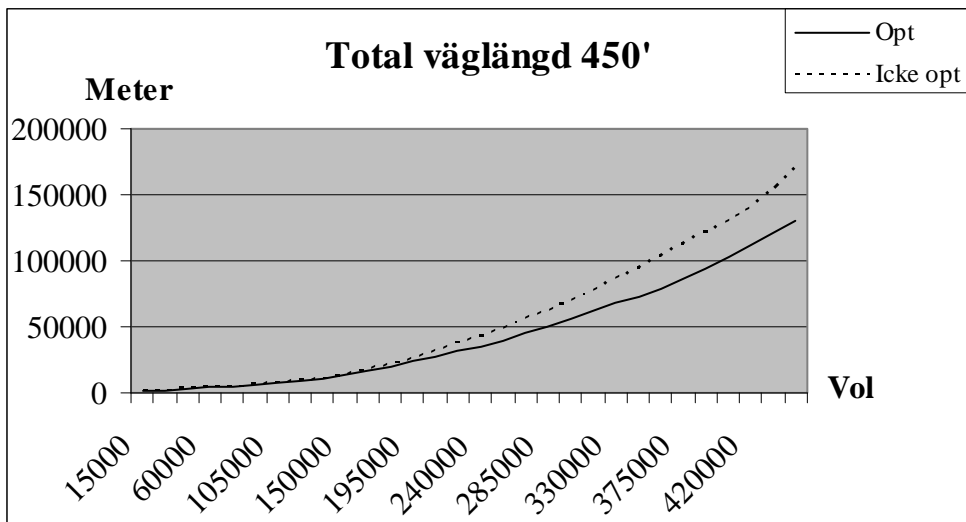
Icke opt 450'			
Vol	Marg kost	Kost	Kr/m ³ fub
15000	67000	67000	4
30000	58000	125000	4
45000	87000	212000	6
60000	98000	310000	7
75000	98000	408000	7
90000	98000	506000	7
105000	98000	604000	7
120000	98000	702000	7
135000	147000	849000	10
150000	204000	1053000	14
165000	241000	1294000	16
180000	272000	1566000	18
195000	309000	1875000	21
210000	371000	2246000	25
225000	369000	2615000	25
240000	390000	3005000	26
255000	421000	3426000	28
270000	429000	3855000	29
285000	439000	4294000	29
300000	458000	4752000	31
315000	550000	5302000	37
330000	568000	5870000	38
345000	569000	6439000	38
360000	591000	7030000	39
375000	586000	7616000	39
390000	677000	8293000	45
405000	788000	9081000	53
420000	794000	9875000	53
435000	823000	10698000	55
450000	861000	11559000	57



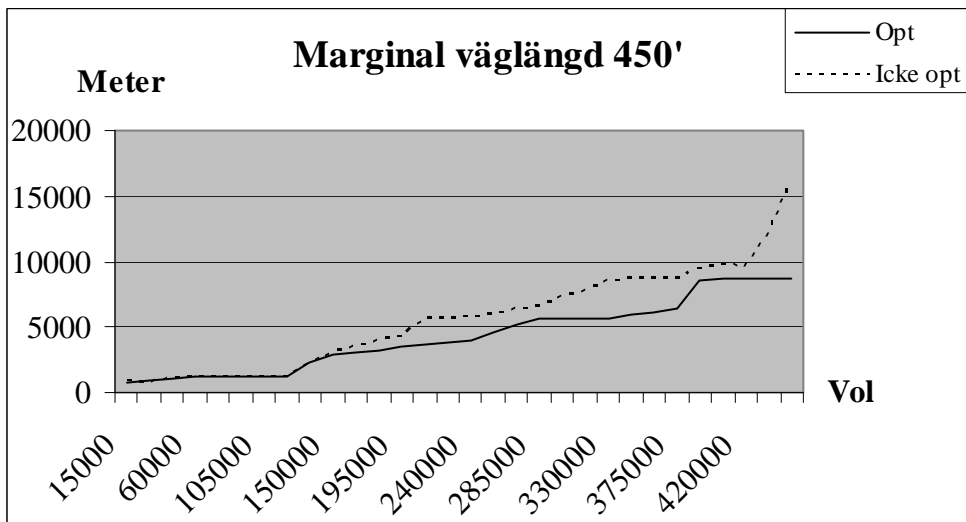
Figur 7. Sammanställning totala kostnader vägplaner 450000 m³fub.



Figur 8. Sammanställning marginalkostnader vägplaner 450000 m³fub.



Figur 9. Sammanställning total väglängd vägplaner 450000 m³fub.



Figur 10. Sammanställning marginal väglängd vägplaner 450000 m³fub.

5. Diskussion

5.1 Geografisk data

5.1.1 Grundmaterial

Ett av problemen vid denna studie var bristen på komplett och bra grundmaterial att använda. Som tidigare nämnts var det utdrag ur NVDB som användes en prototyp och långt ifrån färdigställd. NVDB är i denna studie att betrakta som stommen på vilket i princip allt arbete byggdes. När någonting så viktigt behöver justeras och kompletteras leder det till problem och är mycket tidskrävande. Från den prototyp som levererades skapades i princip en lokal variant av NVDB för distriktets vägar. Flera vägsträckningar fick kompletteras, vissa vägar saknades helt och information fick tillföras attributtabeln. Detta ledde till att vägnätet fick kontrolleras visuellt mycket noggrant innan analyserna kunde påbörjas. Detta problem försvinner antagligen när NVDB är helt färdigställd.

I materialavsnittet nämns begreppet bakgrundskartor, i detta exempel Blå kartan. Betydelsen av tillgång till dessa kartor vid genomförandet av liknande arbete kan inte poängteras tillräckligt.

5.1.2 Koppling bestånd till vägar

I studien har enbart en variabel använts för att sammanlänka volymer med vägar. Anledningen till detta är att de anställda på Svegs distrikt ansåg att den väsentliga faktorn var avståndet vid utforsling av virke, från bestånd till väg. Det visade sig dock finnas svagheter med metoden.

En svaghet är att när volymer knyts till de egna vägarna så räknas även den volym som i normala fall skall till de allmänna vägarna också med. Detta innebär att till vägar som normalt inte används kopplas volymer som gör att vägen ger sken av att vara ett lönsamt upprustningsobjekt vilket inte är fallet i verkligheten. Denna svaghet går dock att eliminera genom att även inkludera alla allmänna vägar med bärighetsklass A i studien. På samma sätt skulle även andra privata vägar med bärighets klass A kunna ingå i studien för att ge en så god bild som möjligt av vilka vägar som är relevanta.

Ytterligare en svaghet med metoden att enbart använda avstånd för att knyta bestånd till väg är geografiska hinder. Problem med att urskilja geografiska hinder såsom att det närmaste avståndet till en väg i vissa fall kan blockeras av en å, myr eller rasbrant kan till viss del göras visuellt eller med lokal kunskap. Detta är dock tidskrävande. Potential att lösa problemet finns inom dagens GIS-program där faktorer som hydrologi och topografi kan hanteras. Åtminstone skulle man med dessa hjälpmedel kunna få en uppfattning om hur stort problemet är.

5.2 Vägplan

Som tidigare nämnts är det centralt att minimera mängden väg att upprusta för att hålla ner kostnaderna vid skapandet av en vägplan. Som framgår av kapitel 4 är väglängden den enskilt största faktorn på den totala kostnaden. Som också framgår av kapitel 4 är det för att minimera väglängden centralt att kunna använda samtliga vägar i studien. För att kunna göra detta krävs att beroende vägar används på ett eller annat sätt. En möjlighet att göra detta vore att förutsätta att ett visst antal vägar upprustas varje år. Tabellen skulle sedan uppdateras så att vägar som upprustas år 1 justeras i tabellen till klass A vägar år 2 och så vidare. På detta sätt skulle åtskilliga vägar som är beroende av andra vägar kunna användas.

Ytterligare ett sätt att utveckla studien är att göra om optimeringsmodellen så att istället för att minimera kostnaden skulle väglängden minimeras. Som framgår av diagrammen i kapitel 4.4 är kurvorna mellan kostnad och väglängd mycket lika i vissa fall till och med identiska. Om väglängden minimerades istället för kostnaden skulle flera arbetsmoment i processen kunna strykas och mycket tid vinnas. Vidare skulle man kunna undvika schablonmässiga kostnadskalkyler och istället få ett mycket konkret svar i till exempel meter väg att upprusta.

En intressant utveckling är också att anpassa avverkningen efter vägarna. I studiens nuvarande form är de bestånd som skall avverkas givna på förhand vilket leder till att vägupprustningen anpassas efter planerad avverkning. En tänkbar förbättring vore om samtliga av distriktets bestånd användes för att på detta sätt se om viss omplanering av avverkning skulle vara lönsam till förmån för vägupprustning. Vidare ingår i studien enbart Holmens egna bestånd. Möjligheten att koppla externa köp till modellen skulle vara intressant.

Slutligen ett positivt biresultat av optimeringsmodellen och i förlängningen att använda beroende vägar var att vägupprustningarna hamnade mer geografiskt samlad och ofta flera vägar inom ett och samma vägsystem (se bilagor A.3). Detta borde leda till sänkta kostnader vid transport av maskiner och vägbyggnadsmaterial vid en eventuell vägupprustning. Avverkningskostnaden borde också påverkas i positiv riktning då det blir mindre maskinflyttar och mer effektivt utnyttjande av maskiner.

6. Slutsatser

6.1 Väglängd

Vid en sammanfattande analys kan konstateras att den enskilt viktigaste faktorn vid skapandet av en kostnadseffektiv vägplan är väglängd. Att minimera väglängden blir den största kostnadsreducerande faktorn. Trots skillnader i upprustningskostnader mellan olika väglklasser förblir det väglängden som avgör hur kostnadseffektivt ett alternativ blir. Kurvorna i diagram 5 och 7 är i princip identiska på samma sätt är kurvorna i diagram 6 och 8 om inte identisk så fullt ut jämförbara. Kostnad och väglängd följs åt. Tydligt är också att på samtliga nivåer är det alternativ med högst totalkostnad också det med längst total längd. På samma ger alternativen med lägst total väglängd lägst totalkostnad.

6.2 Optimering

Konstateras kan också att det enbart är givande att optimera vid stora volymer. Definitionen på stora volymer är tvetydig men i detta fall över 300000 m³fub se tabell 8. Skillnaden under 150000 m³sk är under en krona per m³fub vilket är att betrakta som försumbart. Mellan 150000 m³fub och 300000 m³fub inträffar något vilket kan noteras både i diagrammen med marginalkostnad och total kostnad. Så länge det finns kostnadseffektiva alternativ utan beroende är optimering överflödig. När dessa alternativ förbrukas blir det förmånligt att analysera helheten, även de alternativ som är beroende av andra alternativ för att kunna användas.

Tabell 8. Skillnad mellan alternativ.

Alternativ	Kost	Kr/m ³ fub	Procent
150' m ³ fub	56000	0,4	5%
300' m ³ fub	963000	3	20%
450' m ³ fub	2918000	6	25%

Litteraturlista

- Andersson, J., Carlsson, D., Fenger-Krog, P., 1996. Vägdatabas på väg. Resultat nr 2, Skogforsk, Uppsala.
- Beskow, Gunnar, 1931. Om vägnas allmänna ytuppmjukning i tjällossningen. Särtryck ur Svenska Vägföreningens Tidskrift 1931
- ESRI, 2001. Instruktionsbok för ArcView 3.2b. Redlands, Carlifonia, USA
- Fenger-Krog, P., 1995. GIS för transportplanering. Resultat nr 7, Skogforsk, Uppsala.
- Hearne scientific software, 2001. Instruktionsbok för LINDO API. Melbourne, Australia.
- Nationella Vägdatabasen, 2001. Vägverket, Borlänge.
- Skogsstyrelsen, 1980. Tjällossningsprojektet – hur stor andel tjälsäkra vägar kan skogsnäringen motivera? Kalkylmodell tillämpad på arbetsområde W 25 Nås., Jönköping
- Sveriges Skogsvårdsförbund, 1986. Praktiskt skogshandbok. 12:e upplagan. Djursholm

Muntliga källor

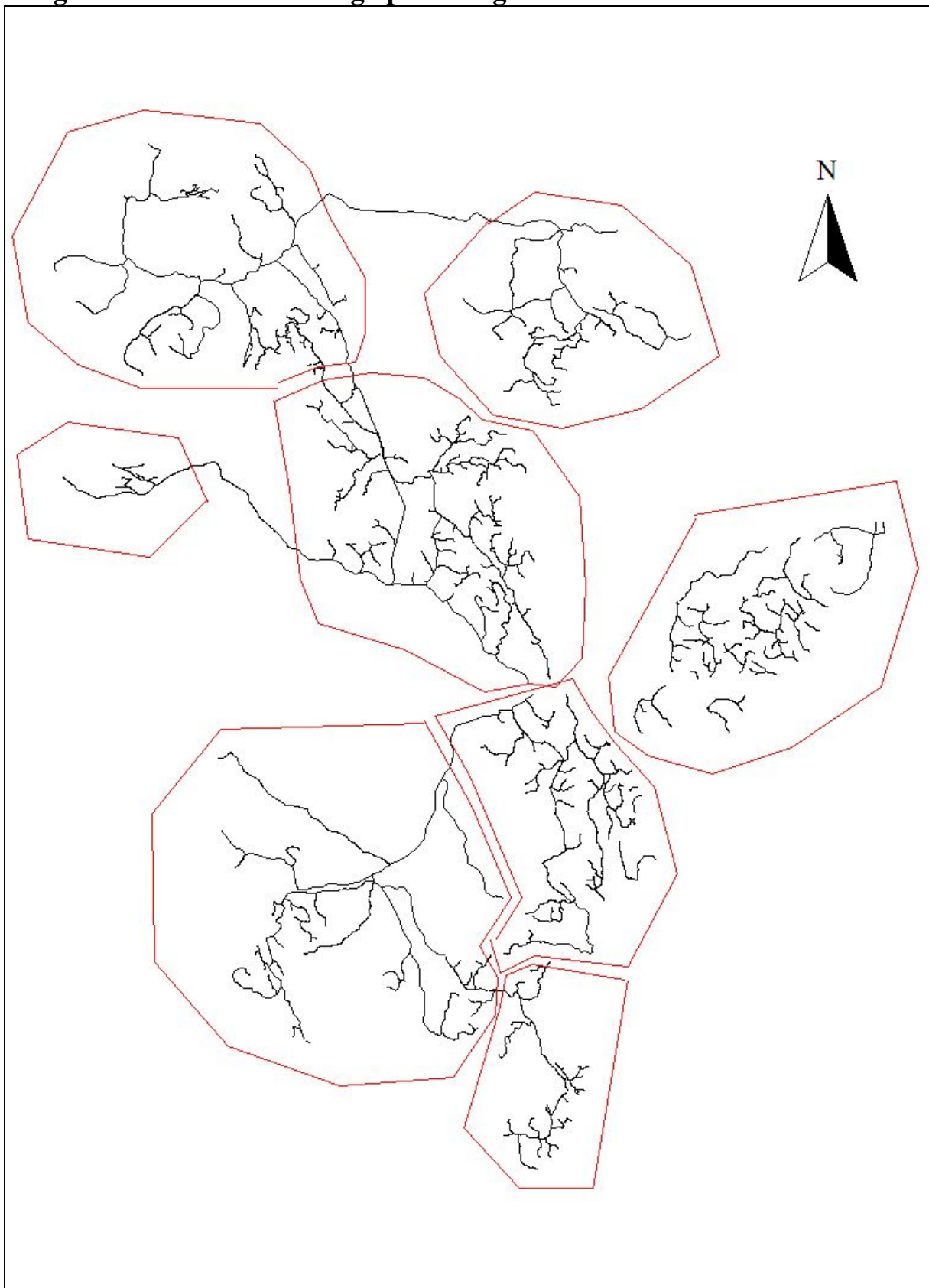
- Anders Hedberg, 2001. Vägansvarig Holmen Skogs distrikt Sveg.

Övriga källor

- Blå kartan, 2001. Lantmäteriet, Gävle.

Bilagor

Bilaga A.1 Områdesindelning optimering



Bilaga A.2 Resultat från optimering

Tabell 9. Volymstegring optimering 1

Volym							
1	2	3	4	5	6	7	8
8196	10014	5548	10426	96957	33072	11510	11253
16392	20028	11096	20852	193914	66144	23020	22506
24588	30042	16644	31278	290871	99216	34530	33759
32784	40056	22192	41704	387828	132288	46040	45012
40980	50070	27740	52130	484785	165360	57550	56265
49176	60084	33288	62556	581742	198432	69060	67518
57372	70098	38836	72982	678699	231504	80570	78771
65568	80112	44384	83408	775656	264576	92080	90024
73764	90126	49932	93834	872613	297648	103590	101277
81960	100140	55483	104259	969566	330718	115100	112534

Tabell 10. Kostnadsstegring optimering 1

Kostnad							
1	2	3	4	5	6	7	8
65496	87526	1505226	386354		650222	434203	573644
65496	314296	1873786	1019712		1064940	1194135	573644
341415	574632	1873786	2178300		2174565	1677361	573644
341415	814416	2173070	2696052		3367813	2304208	573644
575256	1041186	2173070	3506342		4028200	3021898	1177306
838500	1814957	2173070	3733957		4746770	3382774	1916859
1533224	2858155	2173070	4165547		5498672	3943439	2345100
1970050	4201314	2173070	5518785	1933166	6789290	4570286	3091851
2780065	5876466	2505630	6231445	5803329	8177315	5221352	3935461
5183005	10263880	2505630	9566447	14072503	10744808	7118955	8565994

Bilaga A.2.1 Vägplaner 150000 m³fub

Tabell 11. Optimerad vägplan 150000 m³fub.

Opt 150'				
Vägnummer	Längd	Kost	Vol	Kr/m ³ fub
53092	927	65496	17389	4
46283	1070	74828	16858	4
46084	7012	573644	87451	7
45310	1580	83084	9315	9
41139	1265	87526	9084	10
45309	2480	127562	11141	11

Tabell 12. Icke optimerad vägplan 150000 m³fub

Icke opt 150'				
Vägnummer	Längd	Kost	Vol	Kr/m ³ fub
46283	1070	74828	16858	4
53092	927	65496	17389	4
46084	7012	573644	87451	7
41139	1265	87526	9084	10
45309	2480	127562	11141	11
53045	4151	275919	17832	15

Bilaga A.2.2 Vägplaner 300000 m³fub

Tabell 13. Optimerad vägplan 300000 m³fub.

Opt 300'				
Vägnummer	Längd	Kost	Vol	Kr/m ³ fub
53092	927	65496	17389	4
46283	1070	74828	16858	4
46084	7012	573644	87451	7
45310	1580	83084	9315	9
41139	1265	87526	9084	10
45309	2480	127562	11141	11
46241	4450	295376	21690	14
53045	4151	275919	17832	15
46078	2581	173423	11356	15
45220	5076	336286	19985	17
45277	2203	148756	8836	17
41043	3598	239784	12979	18
45219	6159	406906	19317	21
45221	17501	1147117	46843	24

Tabell 14. Icke optimerad vägplan 300000 m³fub.

Icke opt 300'				
Vägnummer	Längd	Kost	Vol	Kr/m ³ fub
46283	1070	74828	16858	4
53092	927	65496	17389	4
46084	7012	573644	87451	7
41139	1265	87526	9084	10
45309	2480	127562	11141	11
53045	4151	275919	17832	15
45071	2595	174373	10203	17
45095	5821	384910	20616	19
45070	3287	219486	8693	25
46206	8964	590011	24081	25
53093	2738	140304	5527	25
45280	1677	141027	5449	26
45290	1230	104725	3991	26
48087	2356	158739	5797	27
41041	7387	487106	17214	28
48090	1305	90186	3199	28
41191	3398	226770	7786	29
45111	4634	307425	10588	29
45040	2721	139483	4585	30
46167	4665	309423	10315	30
41198	914	64642	1953	33
48088	2029	137429	3952	35

Bilaga A.2.3 Vägplaner 450000 m³fub

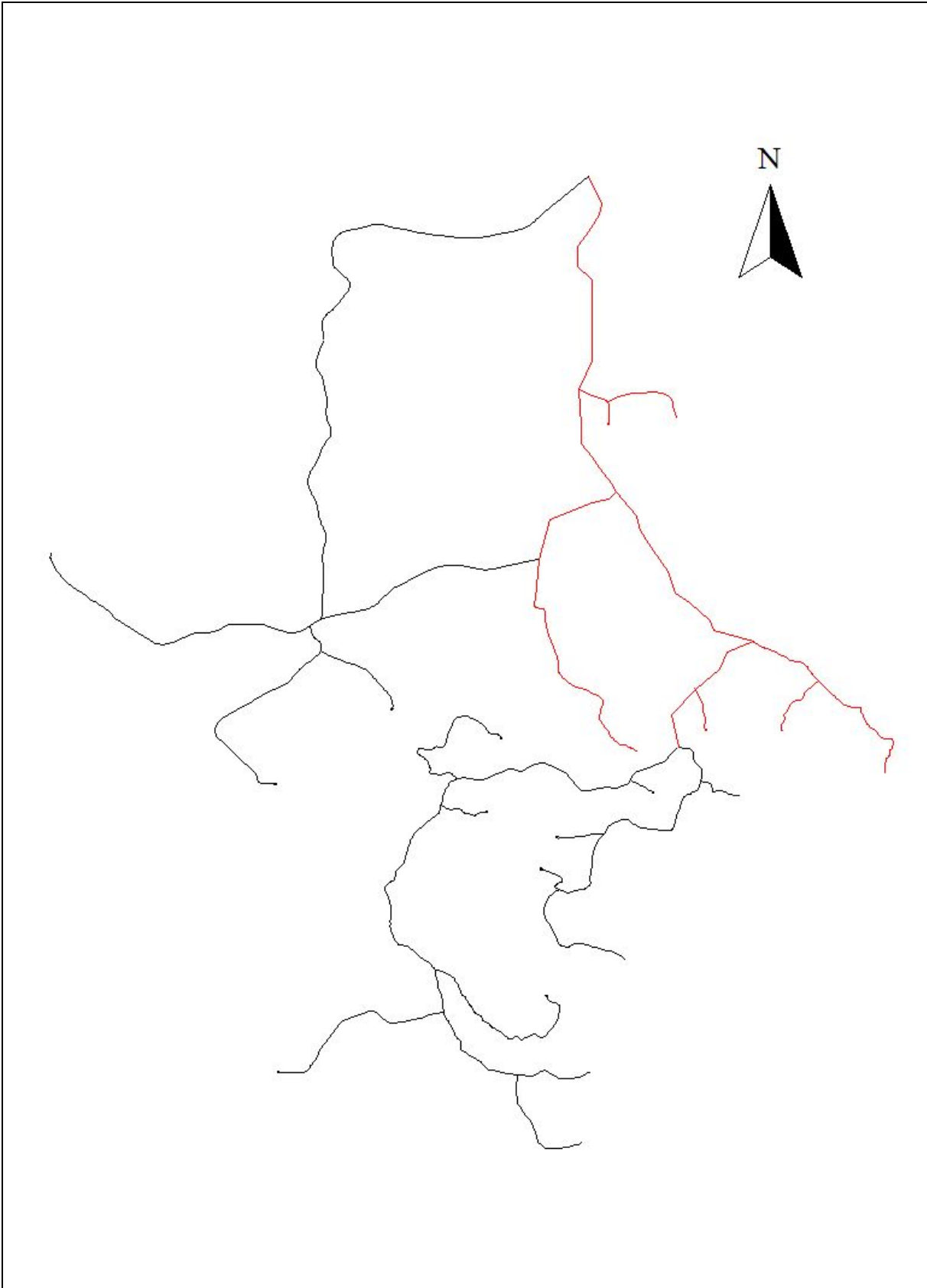
Tabell 15. Optimerad vägplan 450000 m³fub.

Opt 450'				
Vägnummer	Längd	Kost	Vol	Kr/m ³ fub
53092	927	65496	17389	4
46283	1070	74828	16858	4
46084	7012	573644	87451	7
45310	1580	83084	9315	9
41139	1265	87526	9084	10
45309	2480	127562	11141	11
46241	4450	295376	21690	14
53045	4151	275919	17832	15
46078	2581	173423	11356	15
45220	5076	336286	19985	17
45277	2203	148756	8836	17
41043	3598	239784	12979	18
45219	6159	406906	19317	21
45221	17501	1147117	46843	24
46206	8964	590011	24081	25
46243	2141	144749	5736	25
41041	7387	487106	17214	28
45223	1949	163065	5821	28
41191	3398	226770	7786	29
46242	2711	181931	5508	33
46075	20506	1343215	35434	38
45218	24148	1580912	41267	38
45216	5483	362838	1062	342

Tabell 16. Icke optimerad vägplan 450000 m³fub.

Icke opt 450'				
Vägnummer	Längd	Kost	Vol	Kr/m ³ fub
46283	1070	74828	16858	4
53092	927	65496	17389	4
46084	7012	573644	87451	7
41139	1265	87526	9084	10
45309	2480	127562	11141	11
53045	4151	275919	17832	15
45071	2595	174373	10203	17
45095	5821	384910	20616	19
45070	3287	219486	8693	25
46206	8964	590011	24081	25
53093	2738	140304	5527	25
45280	1677	141027	5449	26
45290	1230	104725	3991	26
48087	2356	158739	5797	27
41041	7387	487106	17214	28
48090	1305	90186	3199	28
41191	3398	226770	7786	29
45111	4634	307425	10588	29
45040	2721	139483	4585	30
46167	4665	309423	10315	30
41198	914	64642	1953	33
48088	2029	137429	3952	35
45211	7133	470469	12603	37
46075	20506	1343215	35434	38
46086	9173	603662	16017	38
45072	5568	368353	9072	41
53057	3957	263244	6306	42
45065	1701	116037	2528	46
45279	848	60325	1234	49
45212	18519	1506893	28690	53
45080	10936	718714	13322	54
45062	1605	109724	1954	56
49031	2465	165857	2969	56
46140	17801	884712	15438	57
45247	19949	990877	16801	59

Bilaga A.3 Vägfordelning optimerat



Vägfördelning icke optimerat

