Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 858–2015

VägRust – Projektrapport

VägRust – Project Report

Mikael Frisk, Skogforsk;
Mikael Rönnqvist, Université Laval i Québec;
Patrik Flisberg, Skogforsk

SKOGFORSK

Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 858–2015

I serien Arbetsrapport finns bakgrundsmaterial, metodbeskrivningar, resultat, analyser och slutsatser från både pågående och avslutad forskning.

Titel:

VägRust – Projektrapport.

VägRust – Project Report.

Bildtext:

Flaskhals i vägnätet som under våren riskerar att sätta stopp för virkestransporter. Fotograf: Mikael Frisk.

Ämnesord:

Väginvesteringar, skogsbilvägar, optimering, transportplanering, vägunderhåll, avverkningsplanering, beslutsstöd.

Road investment, forest roads, optimisation, transportation planning, forest road upgrade, tactical harvest planning, decision support system.

Redigering och formgivning:

Ingegerd Hallberg

© Skogforsk 2015

ISSN 1404-305X

SKOGFORSK

Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala

Tel: 018-18 85 00 Fax: 018-18 86 00

skogforsk@skogforsk.se

skogforsk.se

Mikael Frisk, är jägmästare och arbetar sedan 2003 med utveckling av planeringsstöd för skogsbrukets försörjningskedja.

Mikael Rönnqvist, är professor vid Université Laval i Québec, Kanada och arbetar bl.a. med optimering i skogsbrukets försörjningskedja.

Patrik Flisberg, har disputerat i optimeringslära vid Linköpings universitet och arbetar med utveckling av planeringsstöd för skogsbrukets försörjningskedja.

Abstract

Forestry depends on a well-functioning road network to ensure an adequate wood supply. Lack of bearing capacity and poor availability of the network increase costs of transport and storage and result in quality loss. Smart investments in the road network are important to increase access to requested timber volumes.

The aim of the VägRust project was to develop a prototype decision-support tool for planning road upgrade investments. An optimisation model was developed and tested in three case studies, which provided important experience and generated a platform for further improvement.

The model developed is based on a tactical harvesting plan, with information about volume outcomes by stand and assortment, a plan for industrial demand per assortment and season (spring, summer, autumn and winter), a road network with information about the bearing capacity and availability and information about the cost of upgrading forest roads.

The aim of the model is to minimise the cost of upgrading and transportation, while meeting industrial demand in accordance with the given plan. The model suggests the season in which each stand is to be harvested and the possible upgrades needed to minimise costs and meet industrial demands.

With the case studies, the project has demonstrated that the optimisation model can calculate upgrades and provide a good basis for planning cost-efficient road investment.

Innehåll

Summary 3
Sammanfattning 4
1. Inledning 5
1.1 Bakgrund 5
1.2 Syfte 6
1.3 Avgränsningar 7
1.4 Resurser 7
1.5 Projekthistorik 8
1.6 Disposition 9
2. Funktionalitet 9
2.1 Förenklad användarbeskrivning för VägRust med SkogBase 12
3. Databeskrivning 13
3.1 Vägnät 13
3.2 Bestånd och tillgångar 13
3.3 Mottagare och efterfrågan 13
3.4 Kostnader 14
3.5 Övrigt 14
4. SkogBase VägRust 14
5. Optimeringsmodell 17
5.1 Formulering 17
5.2 Lösningsmetodik 18
6. Fallstudier 18
6.1 Fallstudie Hagge 18
6.1.1 Allmänt 18
6.1.2 Stora Enso distrikt Hagge 19
6.1.3 Fallstudiebeskrivning 20
6.1.4 Resultat 22
6.1.5 Slutsatser 25
6.2 Fallstudie Bredbyn 25
6.2.1 Allmänt 25
6.2.2 Holmen Skog distrikt Bredbyn 26
6.2.3 Fallstudiebeskrivning 26
6.2.4 Resultat 28
6.2.5 Slutsatser 29

6.3 Fallstudie Lycksele 30
6.3.1 Allmänt 30
6.3.2 Sveaskog område Lycksele 31
6.3.3 Fallstudiebeskrivning 32
6.3.4 Resultat 37
6.3.5 Slutsatser 41
7. Diskussion 42
7.1 Optimeringsmodell 42
7.2 Data 42
7.3 Användning av SkogBase 43
7.4 Fallstudier 43
8. Slutsatser 43
9. Förslag till fortsatt utveckling 44
9.1 Vidareutveckling av SkogBase/SkogBase VägRust 44
9.2 Alternativ till utveckling av SkogBase/SkogBase VägRust 44
9.3 Utveckling av optimeringsmodell 45
9.4 Övrigt 45
10. Publikationer och presentationer 46
10.1 Vetenskapliga artiklar 46
10.2 Övriga publikationer 46
10.3 Presentationer vid konferenser och seminarier 46
10.3.1 Mikael Frisk 46
10.3.2 Mikael Rönnqvist 47
10.3.2 Patrik Flisberg 47
11. Referenser 48
12. Bilagor 48

Summary

Forestry depends on a well-functioning road network to ensure an adequate wood supply. Lack of bearing capacity and poor availability of the network increase costs of transport and storage and result in quality loss. Smart investments in the road network are important to increase access to requested timber volumes.

Upgrading of existing roads to increase accessibility is an important part of the work. However, planning road network upgrades is very difficult because of the many choices available, the size of planning areas and very long time horizons.

The aim of the VägRust project was to develop a prototype decision-support tool for planning road upgrade investments. The project was initiated by Skogforsk and conducted in close collaboration with Linköping University and several major forestry companies. An optimisation model was developed and tested in three different case studies, which provided important experience and generated a platform for further improvement.

The model developed is based on a tactical harvesting plan, with information about volume outcomes by stand and assortment, a plan for industrial demand per assortment and season (spring, summer, autumn and winter), a road network with information about the bearing capacity and availability and information about the cost of upgrading forest roads.

The aim of the model is to minimise the cost of upgrading and transportation, while meeting industrial demand in accordance with the given plan. The model suggests the season in which each stand is to be harvested and the possible upgrades needed to minimise costs and meet industrial demands.

The model is comprehensive and considers a variety of parameters, such as stand bearing capacity, distance to the gravel pits, use of CTI vehicles, budget constraints, storage options and requirement for buffer volumes secured from thawing problems.

With the case studies, the project has demonstrated that the optimisation model can calculate upgrades and provide a good basis for planning cost efficient road investment. Although planning problems are very complex and must consider many parameters, the model can generate realistic and credible results. The project has also provided valuable experience regarding requirements for data quality and performance of optimisation models, optimisation solvers and hardware.

Suggestions for further work include integrating in the model decisions on stands that are to be harvested, on the basis of a list of possible harvesting stands. This could generate a tactical harvesting plan that not only takes into account forest conditions when selecting stands, but also integrates logistical costs in the form of harvesting, transport and upgrading of roads. Another possible area of study is proposals for improved management of road data from SNVDB to streamline the analysis process.

Sammanfattning

Skogsbruket är beroende av ett väl fungerande vägnät för en tillfredsställande virkesförsörjning. Bristande bärighet och tillgänglighet i vägnätet orsakar ökade kostnader för transport, lagring och kvalitetsnedsättningar. Därför är det viktigt med smarta investeringar i vägnätet som kostnadseffektivt ökar tillgängligheten till efterfrågade virkesvolymer. Upprustning av befintliga vägar för att öka tillgängligheten är en viktig del i arbetet. Planeringen av vilka vägavsnitt som ska rustas upp är emellertid mycket svår eftersom mängden alternativ är många beroende på stora planeringsområden och långa tidshorisonter.

Projektet VägRust har syftat till att utveckla en prototyp till beslutsstöd för planering av vägupprustningar. Projektet initierades av Skogforsk och genomfördes i nära samarbete med Linköpings Universitet och flera större skogsföretag. En optimeringsmodell har utvecklats och testats i tre olika fallstudier. Fallstudierna har gett viktig erfarenhet och genererat underlag till fortsatt utveckling.

Modellen som utvecklats utgår från en taktisk avverkningsplan med information om volymsutfall per bestånd och sortiment, en plan för industriefterfrågan per sortiment och säsong (vår, sommar, höst och vinter), ett vägnät med information om bärighet och tillgänglighet samt uppgifter om kostnader för upprustning av skogsbilvägar. Modellens uppgift är att minimera kostnader för upprustning och transport samtidigt som industriefterfrågan uppfylls i enlighet med given plan. Modellen föreslår vilken säsong respektive bestånd ska avverkas samt vilka eventuella upprustningar som måste göras för att till en så låg kostnad som möjligt tillgodose efterfrågekraven. Modellen är omfattande och tar hänsyn till en mängd olika parametrar såsom traktbärighet, avstånd till grustäkter, användning av CTI-fordon, budgetbegränsningar, lagringsmöjligheter, krav på tjälsäkrade buffertvolymer etc.

Projektet har med fallstudierna visat att optimeringsmodellen kan göra upprustningsberäkningar och skapa bra underlag till planering av kostnadseffektiva väginvesteringar. Trots att planeringsproblemen är mycket svåra och innehåller en stor mängd parametrar att ta hänsyn till, klarar modellen att skapa ett realistiskt och trovärdigt resultat. Projektet har även gett viktiga erfarenheter om krav på datakvalitet och prestanda hos både optimeringsmodeller, optimeringslösare och hårdvara.

Förslag till fortsatt arbete innefattar bl.a. att i modellen integrera beslut om vilka bestånd som ska avverkas givet en bruttolista med möjliga avverkningsbestånd och därmed kunna skapa en taktisk avverkningsplan som inte bara tar hänsyn till skogliga förutsättningar för val av bestånd utan även integrerar logistikkostnader i form av avverkning, transport och upprustning. Det innefattar även förslag till förbättrad hantering av vägdata från SNVDB för att effektivisera analysprocessen.

1. Inledning

1.1 BAKGRUND

Ett bra skogsbilvägnät är en förutsättning för en väl fungerande virkesförsörjning. Eftersom skogsindustrins råvarubehov är någorlunda konstant över hela året och det finns en stor variation i tillgänglighet p.g.a. klimatet måste vägnätet hålla en hög standard avseende bärighet och tillgänglighet. Alternativet är att inför perioder med exempelvis tjällossning lagra virkesråvara på platser med säkerställd tillgänglighet, något som är kostsamt eftersom det innebär ytterligare moment (lastning/lossning) och ofta ett ojämnt utnyttjande av avverkningsresurser. Flera studier visar att bristande bärighet i vägnätet årligen orsakar problem i leveranserna av skogsråvara, vilket leder till ökade kostnader och sämre leveransprecision (Arvidsson & Jönsson, 2000).

Enligt SMHIs framtidsprognoser kommer klimatet att förändras i Sverige med mer nederbörd under vissa perioder samt fler övergångar mellan kallare och varmare väder med fler tjällossningar som följd. Detta innebär att kraven på vägnätet kommer att öka.

De senaste åren har bilar utrustade med CTI[1] blivit allt vanligare, något som har betydelse dels för användningen av det allmänna vägnätet, dels för nivån av investeringar i nybyggnation och upprustning av skogsbilvägar.

För ett företag med egen skog och egna vägar, finns ofta möjlighet att själv bestämma vilka vägar som ska rustas upp och vilka nya vägar som ska byggas. I beslutet om nybyggnation ingår även beslut om vilken tillgänglighet den nya vägen ska ha, något som beror på när företaget förväntar sig att köra på vägen, tillgången till CTI-fordon samt tillgänglighet och bärighet på anslutande vägar. Dessutom måste hänsyn tas till markens bärighet.

Kostnaden för att rusta upp vägar är hög och beror bl.a. på till vilken tillgänglighetsklass vägen ska rustas och avstånd till grustäkt.

Planeringshorisonten för vägupprustningar är oftast fem eller tio år och görs i samband med upprättande av den taktiska avverkningsplanen. Hänsyn tas till en mängd olika saker, bl.a. beståndsbärighet, avverkningsprioritet, leveransplan, tillgång till grustäkter och möjlighet till klustring av bestånd i samband med avverkning.

[1] CTI, Central tire inflation. Ett system för att under färd variera däckens lufttryck så att rätt tryck beroende på last och vägstandard alltid används. CTI ökar framkomligheten och förbättrar förarkomforten.

Eftersom företag ofta har begränsad budget för väginvesteringar är det viktigt att de investeringar som görs har största möjliga effekt. Det är emellertid mycket svårt att manuellt identifiera vilka investeringsalternativ som ger den största effekten. Det beror på att planeringshorisonten är mycket lång och hänsyn måste tas till framför allt avverkningsaktiviteter under fem till tio års tid, samt att planeringsområdena ofta är mycket stora med många alternativa avverkningsmöjligheter och med många vägavsnitt som ger många olika upprustningsalternativ. Ett planeringsområde kan omfatta flera hundra mil skogsbilväg. Sammantaget gör det att den information som måste hanteras i beräkningarna är så omfattande att en optimeringsmodell är nödvändig för att kunna identifiera optimala lösningar på problemet.

En förutsättning för att kunna göra avancerade beräkningar med avseende på vägar och dess användning, är att ett komplett digitalt vägnät finns tillgängligt. Vägnätet måste bestå dels av geometrier, dels tillhörande attributinformation, exempelvis bärighet och tillgänglighet, vägklass och väghållare. I samband med utvecklingen och introduktionen av NVDB påbörjades diskussioner om att använda informationen till att göra beräkningar av effekten av bristande bärighet på såväl enskilda som allmänna vägar. I det s.k. BIT-projektet (1999) utvecklades ett beslutsstöd med en optimeringsmodell som identifierade vägsträckor i såväl det allmänna som i det enskilda vägnätet som var i behov av bärighetshöjande åtgärder (Arvidsson m.fl. 2000). En fallstudie över ett mindre område genomfördes och resultaten visade att beslutsstödet gav bra resultat. I projektet identifierades flera delar som krävde fortsatt utvecklingsarbete, bl.a. modellutformning och lösningsmetoder, metoder för datahantering samt koppling till och användning av NVDB.

Efter BIT-projektet och i samband med utvecklingen av nya användningsområden för NVDB, skapades 2003 ett projekt på Skogforsk för utveckling av en modell för identifiering av de mest kostnadseffektiva *vägupprustningarna*, senare kallat VägRust. Till projektet knöts en referensgrupp med representanter från Stora Enso, Holmen Skog, Sveaskog och SCA samt en doktorand från Linköpings Universitet. Referensgruppen skrev en behovsspecifikation som blev underlaget till den fortsatta utvecklingen av ett beslutsstöd för vägupprustningar.

1.2 SYFTE

Projektet syftar till att utveckla en prototyp till beslutstöd för identifiering av de mest kostnadseffektiva upprustningarna av enskilda vägar i en given geografi. Prototypen består av en optimeringsmodell samt ett användargränssnitt som ska kunna användas i forskningssyfte och demonstration för utveckling av kommersiella produkter för upprustningsplanering.

Syftet är också att genomföra fallstudier för att demonstrera metod och modell. Fallstudierna är dessutom nödvändiga för själva modellutvecklingen.

1.3 AVGRÄNSNINGAR

Projektet begränsades till att utveckla en prototyp till beslutsstöd, d.v.s. inte ett färdigt beslutsstöd i form av en hyllprodukt. Den problemställning som modellen hanterar omfattar endast upprustningar i områden där användaren har beslutsrätt över vägupprustningar och har kontroll över avverkningar. Beslutsstödet hanterar alltså inte problematiken med bristande tillgänglighet i det enskilda vägnätet hos privata skogsägare. Modellen skulle visserligen kunna hantera det om information om planerade avverkningar fanns tillgänglig men det är inte realistiskt. Dessutom är det inte möjligt att tvinga en privat skogsägare att investera i en vägupprustning.

Modellen ska hantera upprustningsprioriteringar inom ett stort geografiskt område, dock inte på nivån ”helt företag” utan snarare på distriktsnivå och med en tidsperiod som sträcker sig upp till 10 år.

Modellen hanterar olika tidsperioder (år) och fyra säsonger per år; vinter, vår, sommar och höst.

1.4 RESURSER

Under projekttiden har flera personer varit engagerade i utvecklingen på olika sätt. Inledningsvis skapades en referensgrupp bestående av Jonas Eriksson (Holmen Skog), Karl-Åke Kjellberg (Sveaskog), Tomas Johansson (SCA), Daniel Forsberg (Stora Enso), Göran Andersson (Korsnäs) och Leif Olsson (Mitthögskolan).

Genom hela projektet har Mikael Frisk, Mikael Rönnqvist och Gert Andersson varit medverkande. Patrik Flisberg (konsult) har sedan 2006 arbetat med utveckling och implementering av optimeringsmodellen. I projektets början arbetade Jenny Karlsson (Linköpings universitet) och Mathias Henningsson (Linköpings universitet) med utvecklingen av optimeringsmodellen. Jenny Karlsson var finansierad via FORMAS inom ett projekt för taktisk och operativ avverkningsplanering under 2003–2004. En del av Jennys avhandling var direkt kopplad till VägRust.

I fallstudien Stora Enso distrikt Hagge hade projektet kontakt med Håkan Stoor.

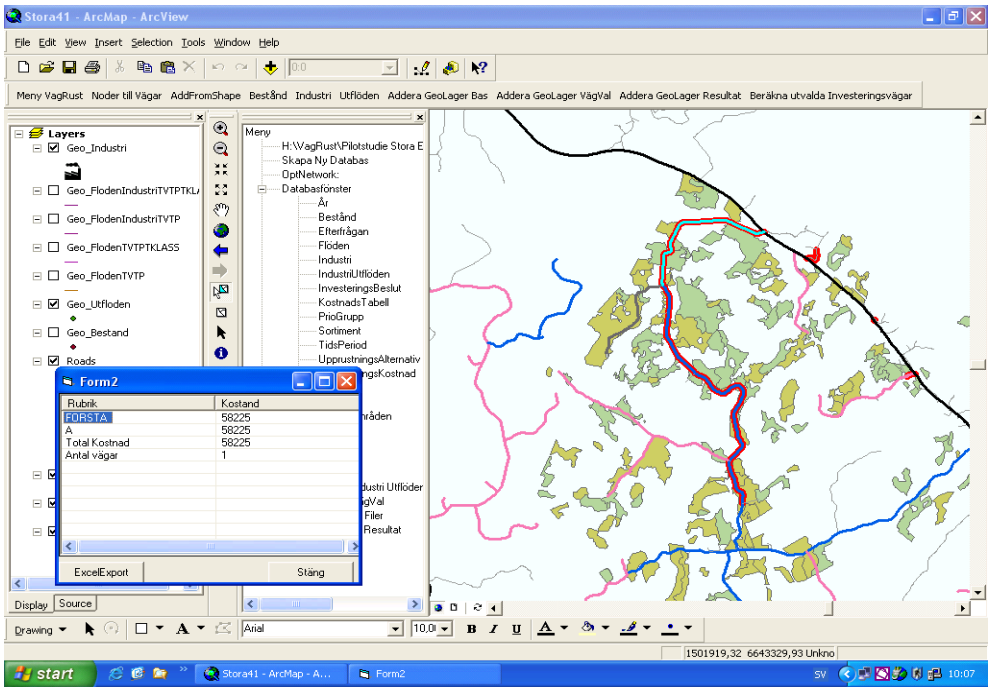
I fallstudien Holmen Skog distrikt Bredbyn, gjordes datainsamlingen av Joakim Myhrman (student) i samband med ett examensarbete på Jägmästarprogrammet vid SLU.

I fallstudien Sveaskog, Lycksele hade projektet kontakt med Stefan Ahlenius, Lars Fridh, Tommy Karlsson, Niklas Larsson och Fredrik Gunnarsson (Sveaskog) samt Peder Wikström (SLU).

1.5 PROJEKTHISTORIK

Utvecklingen av VägRust har skett i flera steg och är nu inne i sin tredje version av optimeringsmodellen.

I första versionen utvecklades modellen tillsammans med Linköpings Universitet och en applikation för att hantera in- och utdata som tillägg till ArcMap (Figur 1) utvecklades av Optimal Solutions i Linköping. En fallstudie gjordes tillsammans med StoraEnso på distrikt Hagge. Modellen fungerade som det var tänkt men det var svårt och tidskrävande att hantera den storlek på analysområde som var intressant.



Figur 1.
Användargränssnitt i form av tillägg till ArcMap.

I modellen användes utflödespunkter för att definiera efterfrågenoder. Utflödespunkter var fiktiva punkter i vägnätet som användes för att samla efterfrågan för alla de industrier som låg ”bakom” utflödespunkten. Anledningen till att introducera utflödespunkter var att förenkla problemstorleken, genom att modellen bara behövde räkna på flöden från bestånd till utflödespunkter och inte från bestånd till industri. Modellen hanterade dessutom bara en förenklad upprustningskostnad som bestämde kostnaden för att rusta upp från en klass till nästa. Samma kostnad gällde överallt.

I andra versionen av optimeringsmodellen gjordes ändringar med avseende på hur flödesvariablerna användes. I stället för att använda flödesvariabler på varje länk i vägnätet, användes flödesvariablerna på varje kombination av utbud och utflödespunkt, vilket gjorde att mängden flödesvariabler och bivillkor för flödesbalans kunde reduceras kraftigt. Utvecklingen gjordes tillsammans med Mathias Henningsson på Linköpings universitet. Samma applikation som i första modellversionen användes för att hantera in- och utdata till/från

optimeringsmodellen. Denna modellversion användes i en fallstudie tillsammans med Holmen Skog på Bredbyns distrikt. Modellen gav intressanta och trovärdiga resultat, men återigen upplevdes att problematiken kring planering av vägupprustningar var komplex och att fler parametrar behövde integreras i modellen.

I den tredje versionen har stora delar av optimeringsmodellen gjorts om bl.a. med fokus på att klara av att hantera stora analysområden. Den hanterar fler aspekter än tidigare, bl.a. olika fordonstyper, lagerbalans mellan säsonger, grustäkters placering, kompletta rutter mellan bestånd och industrier till flera, samt ett antal olika transportkapaciteter. Modellen har även testats med data från Heurekas modell PlanVis. En ny användarapplikation har utvecklats, denna gång som en klient-serverlösning med program med öppen källkod. En fallstudie har genomförts tillsammans med Sveaskog på deras skogsinnehav i Lycksele kommun. Kopplingen till PlanVis har gjorts genom ett samarbete med SLU och Peder Wikström.

1.6 DISPOSITION

Denna rapport är disponerad enligt följande. Först beskrivs VägRusts funktionalitet med avseende på vilket problem som beslutsstödet hänvisar tlll. Här ingår även ett kortare avsnitt om hur en analys med SkogBase och optimeringsmodellen går till. Därefter följer ett avsnitt som beskriver den data som VägRust använder. Sedan följer avsnitt som beskriver SkogBase, VägRust och optimeringsmodellen. Därefter kommer ett avsnitt om de fallstudier som är gjorda. Mest fokus ligger på den senaste fallstudien som gjorts tillsammans med Sveaskog i Lycksele. Därefter kommer avsnitt om diskussion och slutsatser samt en sammanställning av förslag till fortsatt utveckling.

Till rapporten biläggs en detaljerad beskrivning av tredje generationens optimeringsmodell.

2. Funktionalitet

Den grundläggande funktionen i VägRust är att identifiera de eventuella upprustningar som behöver göras för att till lägsta kostnad kunna uppfylla dels en taktisk avverkningsplan, dels en leveransplan med uppdelning på industri, sortiment, år och säsong.

Modellen tittar på vilka avverkningsvolymer som finns tillgängliga olika år vid olika tillgängligheter (terräng och väg) och matchar ihop dessa med efterfrågan vid industri genom att avverka och leverera vid tillåten säsong. Vid behov föreslås upprustningar av en eller flera länkar i vägnätet.

I beslutet om eventuella upprustningar tar modellen hänsyn till:

- Avverkningsvolymer per bestånd, åtgärd (slutavverkning eller gallring), sortiment och år.
- Industriefterfrågan per sortimentsgrupp, år och säsong.
- Tillgång till CTI-utrustade lastbilar (eller andra fordonstyper med varierade möjligheter att köra på vissa vägar under vissa perioder).
- Möjlighet att lagra rundvirke vid avlägg eller på terminal.
- Beståndens bärighet.
- Vägarnas tillgänglighet och bärighet.
- Placering av grustäkter.
- Upprustningskostnad.
- Transportkostnad, olika kostnader för olika sortiment och fordonstyper.
- Begränsningar i transportkapacitet.
- Avverkningskostnad.
- Krav på kvot mellan gallrings- och slutavverkningsvolymer.
- Lastningskostnad vid avlägg eller terminal.
- Lossningskostnad vid terminal eller industri.
- Begränsningar i investeringsutrymme i olika geografier.
- Tillåten avvikelse från definierad efterfrågan.
- Värde på eventuella överskottsvolymer.
- Avskrivningstid på investerade vägar.
- Krav på tjälsäkrad volym som ska vara tillgänglig vid planeringsperiodens slut.
- Krav på tjälsäkrad buffertvolym vid specifik tidsperiod och/eller säsong.
- Min- och maxkrav på avverkad volym i förhållande till total efterfrågan per säsong.

VägRust har inte någon funktion för att inkludera beslut om nybyggnation utan fokuserar på upprustning av befintliga vägar. Dock är det möjligt i modellen att definiera möjliga nya vägar med en egen vägklass och därigenom ”upprusta” vägen för nybyggnation. Problemet är dock att enkelt få tillgång till t.ex. geometridata.

Alla bestånd snappas till närmsta väg oavsett avstånd till vägen. Ingen hänsyn tas till eventuella hinder i terrängen (branter, vattendrag, myrmark etc.) men det går att manuellt snappa om ett bestånd som har snappats till fel vägnod. Snappningen görs till närmsta nod[2] i vägnätet.

De fyra säsongerna vinter, vår, sommar och höst ska motsvara tillgänglighets-indelningen på det enskilda vägnätet där fyra klasser beskriver när en väg är körbar med lastbil:

A eller 1 – Lastbilstrafik möjlig hela året.

B eller 2 – Lastbilstrafik möjlig hela året utom under tjällossning.

C eller 3 – Lastbilstrafik möjlig hela året utom under tjällossning och längre regnperioder.

D eller 4 – Lastbilstrafik möjlig endast vintertid.

Statliga vägar klassas till skillnad från enskilda vägar i bärighetsklasser (Bk) beroende på fordonets maximala tillåtna bruttovikt:

Bk 1 – Maximal bruttovikt 60 ton.

Bk 2 – Maximal bruttovikt 51,4 ton.

Bk 3 – Maximal bruttovikt 37 ton.

VägRust använder information om både tillgänglighet och bärighet för att definiera när en viss väg tillåts användas för virkestransport.

Endast enskilda vägar (väghållare = 3) är investeringsbara. Det innebär att allmänna vägar inte kan upprustas av optimeringsmodellen. Definitionen av vilka vägar som tillåts investeras i styrs i SkogBase men kan inte ändras av användaren.

Som resultat från optimeringen erhålls följande:

- Upprustningsförslag per år.
- Avverkningstidpunkt (år och säsong) för samtliga bestånd.
- Leveranstidpunkt (det går att låta modellen lagra avverkad volym för transport i nästkommande säsong).
- Flöden från skog till industri fördelat på sortiment, år och säsong.
- Kostnader för avverkning, transport, upprustning och lagring.

[2] Vägnätet består av noder och länkar. Varje länk är kopplad till två noder och en nod sammankopplar generellt två eller flera länkar i t.ex. korsningar.

2.1 FÖRENKLAD ANVÄNDARBESKRIVNING FÖR VÄGRUST MED SKOGBASE

För att göra en optimering med VägRust bör arbetsgången vara följande. Flera olika delmoment omfattas.

Inledningsvis måste problemställningen definieras och problemet avgränsas så att underlag för datafiler kan genereras. Det finns ingen definierad gräns för hur stort område modellen kan hantera men generellt kan sägas att ju fler bestånd och industrier desto svårare och mer tidskrävande blir problemet att lösa. Den geografiska avgränsningen används för att bestämma vilka bestånd, industrier, terminaler, grustäkter och vägar som ska ingå i analysen.

Därefter skapas ett vägnät som shapefil med definierade egenskaper. Till vägnätet skapas en opn-fil med separat program. Shapefilen läses sedan in i SkogBase databas för att användas för bl.a. avståndsberäkning.

Därefter skapas de indatafiler som ska läsas in i SkogBase VägRust databas. Det handlar om bestånd, industrier, grustäkter och terminaler med koordinater, utbud i form av volym per sortiment, efterfrågan i form av volym per sortimentsgrupp, år och säsong samt underlag för beräkning av upprustningskostnader. En databasmall (MS Access) med samtliga datafiler kan användas för att underlätta skapandet av datafiler. Från databasen genereras indatafiler till SkogBase.

Därefter skapas en VägRust-studie i SkogBase och all indata läses in i databasen. Vid inläsningen anges vilket vägnät som ska användas. Snappning av bestånd, industrier, terminaler och grustäkter till vägnätet görs automatiskt vid inläsningen.

Efter inläsningen utförs några moment i SkogBase VägRust. Det handlar om att skapa vägval, beräkna upprustningskostnader och exportera filer till optimering. Vid exporten skapas de filer som ska användas i optimeringen.

Optimeringen görs separat och är inte inbyggd i SkogBase. Efter optimeringen används SkogBase för att läsa in optimeringsresultat i databasen.

SkogBase VägRust används sedan för att visualisera resultat och skapa shapefiler med flöden. Övrig resultattolkning såsom summering av kostnader m.m. görs med fördel i MS Access eller MS Excel.

3. Databeskrivning

Nedan följer en kort beskrivning av den information som används av VägRust. Samtliga filer som används är semikolonseparerade textfiler med teckenkodningen Unicode (UTF-8).

3.1 VÄGNÄT

Vägnätet i VägRust används för att beräkna avstånd, för att skapa rutter och definiera vilka länkar som ingår i respektive rutt och för att veta vilka väglänkar som är investeringsbara. Dessutom används information om tillgänglighet för beräkningen av upprustningskostnad för respektive länk.

Avstånd beräknas mellan bestånd och grustäkter samt mellan bestånd, terminaler och industrier. Rutter skapas mellan bestånd och terminaler, bestånd och industrier samt terminaler och industrier. Varje rutt har ett id och beskrivs med vilka länkar som ingår. Varje rutt beskrivs även med sämsta bärighets- och tillgänglighetsklass. Det är möjligt att definiera flera rutter mellan varje par av start och slutnod. Varje rutt kan t.ex. ha olika lägsta kvalitet för vägklasser.

Vägnätet måste omfatta både allmänna och enskilda vägar, geografiskt sträcka sig över ett område som täcker alla bestånd, grustäkter, terminaler och industrier samt alla rutter däremellan. Attributdata som är nödvändig omfattar bl.a. väghållare, motståndsvärde från Krönt vägval samt bärighet och tillgänglighet.

Vägnätet ska vara i shape-format och hämtas direkt från SNVDB.

3.2 BESTÅND OCH TILLGÅNGAR

De bestånd som är tillgängliga för avverkning utgörs lämpligen av en taktisk avverkningsplan över fem eller tio år. För beståndena måste förutom koordinater (RT90) även markbärighet och avverkningsåtgärd (slutavverkning eller gallring) finnas registrerad. Markbärigheten behövs för att modellen ska kunna avverka beståndet under en tillåten säsong. För varje bestånd registreras vilken volym per sortiment och år som faller ut vid avverkning.

Om den taktiska avverkningsplanen är definierad med ett prioriterat avverkningsår för respektive bestånd så används detta av modellen så att avverkning görs detta år.

3.3 MOTTAGARE OCH EFTERFRÅGAN

Alla mottagningsplatser (sågverk, massabruk eller värmeverk) beskrivs med koordinater (RT90) och en efterfrågad volym per sortimentsgrupp, år och säsong. Fördelningen beräknas vanligtvis genom att en årsvolym fördelas efter det antal veckor som antas gälla för respektive säsong (vinter, vår, sommar och höst).

3.4 KOSTNADER

Optimeringsmodellen minimerar kostnader för avverkning, transport, lagring och upprustning, vilket innebär att dessa kostnader måste registreras. Avverkningskostnaden anges per bestånd medan transportkostnaden anges med specifika kostnader per volymsenhet vid olika avstånd (10 km, 25 km, 50 km, 100 km, 150 km och 200 km) och kan vara olika för olika sortiment och olika fordonstyper. Lagringskostnaden anges per volymsenhet och månad. Upprustningskostnaden beräknas automatiskt för varje länk genom en funktion av grusåtgång, gruskostnad, avstånd till täkt samt länklängd.

Användaren anger hur mycket grus som går åt per meter vid upprustning från en klass till en annan. För respektive grustäkt anges kostnaden per ton grus och transportkostnad per km. Därefter beräknas kostnaden enligt följande:

Upprustningskostnad (kr) = (länklängd (m) × grusåtgång (ton/m)) × (transportavstånd grus (km) × transportkostnad grus (kr/tonkm)+ gruskostnad (kr/ton))

3.5 ÖVRIGT

Övriga indataparametrar är bl.a. terminalers och grustäkters placering (RT90), gallrings-/slutavverkningskvot, krav på buffertvolymer, kapacitetsbegränsningar på respektive fordonstyp etc.

4. SkogBase VägRust

SkogBase har utvecklats av Optimal Solutions på uppdrag av Skogforsk i syfte att utgöra en gemensam plattform för beslutsstöden FlowOpt, RuttOpt och VägRust. Syftet med plattformen är att underlätta framför allt hantering av data till optimering samt att via definierade funktioner generera indatafiler till optimering, bl.a. avståndstabeller och ruttbeskrivningar. SkogBase ska även underlätta tolkning av resultat från optimeringar.

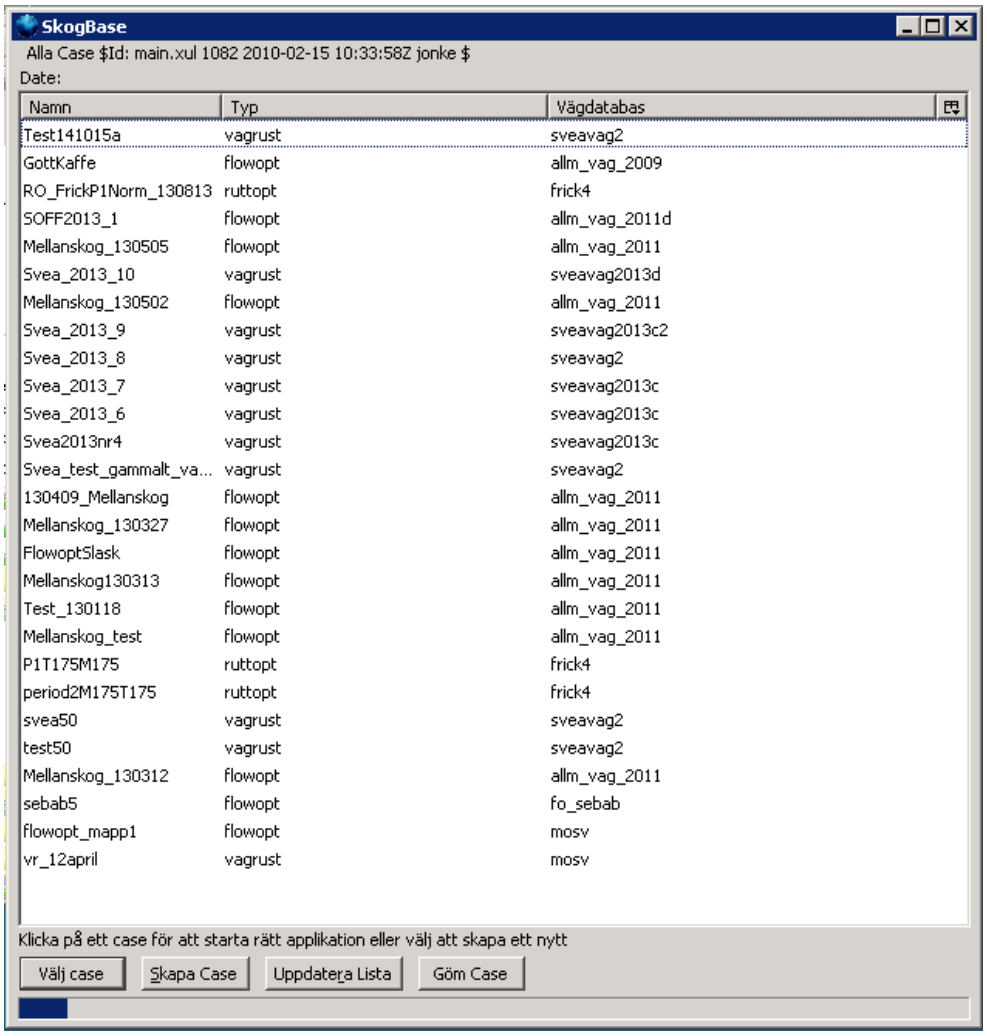
SkogBase VägRust har specifik funktionalitet för att generera flera av de indatafiler som används av VägRust optimeringsmodell. I SkogBase VägRust sker:

- Snappning av bestånd, grustäkter, industrier och terminaler till vägnod.
- Skapande av vägval mellan bestånd och industri, bestånd och terminal samt terminal och industri.
- Beräkning av avstånd för ovanstående vägval.
- Beräkning av avstånd mellan grustäkter och länkar.
- Beräkning av upprustningskostnader för respektive länk (för de länkar som är upprustningsbara), från en klass till en annan.
- Generering av rutter från bestånd till industri, bestånd till terminal samt terminal till industri med sammanställning av alla länkar som ingår i respektive rutt samt identifiering av sämsta tillgänglighetsklass och sämsta bärighetsklass i respektive rutt för de länkar som inte är upprustningsbara.

- Generering av optimeringsfiler.
- Inläsning av optimeringsresultat.
- Visualisering av resultat.

Beräkningen av avstånd sker med en ”billigaste-väg-funktion” som använder motståndsvärdet på varje länk. Motståndsvärdet kan exempelvis komma från Krönt vägval. Ingen hänsyn tas dock till TP-leder.

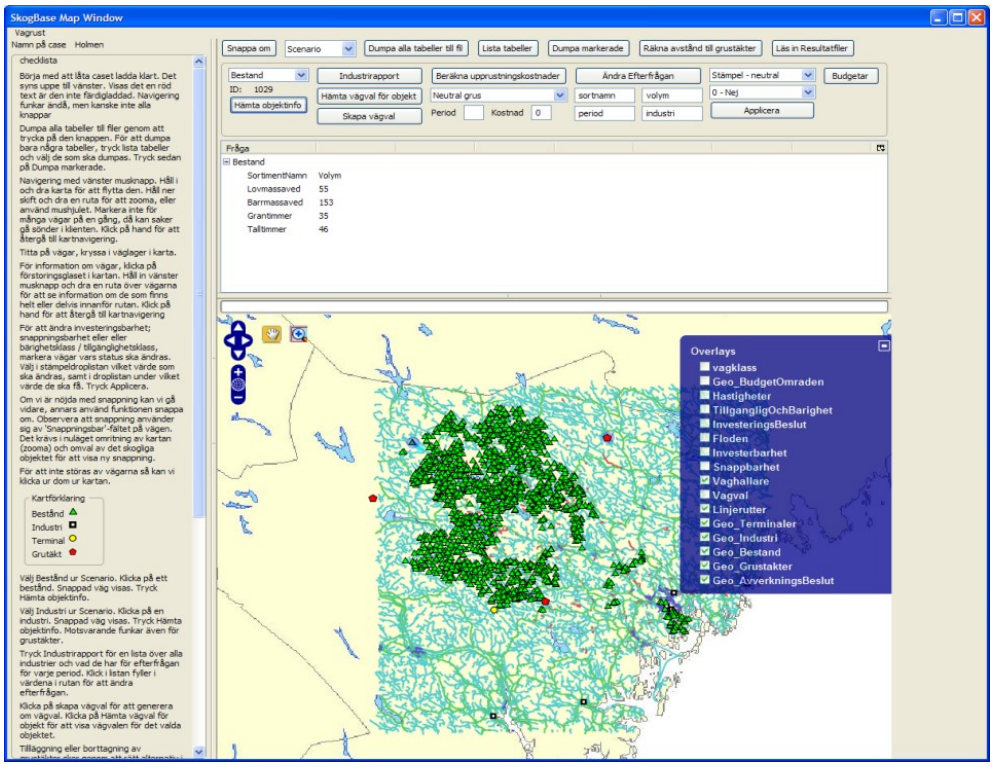
SkogBase är en s.k. klientserverlösning som bygger på delprodukter med öppen källkod. Figur 2 illustrerar startsidan för SkogBase som är en gemensam startpunkt för VägRust, RuttOpt och FlowOpt. Via startsidan väljer användaren att antingen öppna en befintlig studie eller att skapa en ny.



Figur 2.
SkogBase startsida som är gemensam för VägRust, RuttOpt och FlowOpt.

Valet av klientserverlösning i stället för ”standalone” gjordes för att vissa beräkningar, bl.a. vägvalsberäkningen, kräver hög datorkapacitet och för att den optimeringslösare som Skogforsk använder (för närvarande CPLEX) även ska kunna användas av andra optimeringsmodeller. Program med öppen källkod valdes för att applikationen skulle vara fri att överlåta till Skogforsks intressentföretag. Applikationen bygger på programvarorna PostgreSQL och GeoServer. Utvecklingen har gjorts av Optimal Solutions i Linköping.

Figur 3 illustrerar SkogBase VägRust med en specifik studie. Applikationen används för att skapa underlag till optimeringen samt att visualisera resultat från optimeringen.



Figur 3.
Applikationen SkogBase VägRust.

SkogBase har utvecklats med syfte att vara ett forskningsverktyg och stor vikt har lagts vid utveckling av bakomliggande databaser och beräkningsfunktioner. Mindre vikt har lagts vid utveckling av användargränssnitt.

5. Optimeringsmodell

5.1 FORMULERING

För att beskriva vårt problem matematiskt behöver vi formulera en optimeringsmodell. En optimeringsmodell består generellt av beslutsvariabler, målfunktion och bivillkor. I vårt fall består beslutsvariablerna av:

- Logiska 0/1 variabler för upprustningsbeslut för respektive länk.
- Logiska 0/1 variabler för avverkningsbeslut för respektive trakt.
- Kontinuerliga flödesvariabler definierade via rutter.
- Kontinuerliga lagernivåer.
- Kontinuerliga variabler för att hantera tillåtenhet.
- Kontinuerliga variabler för att mäta transportarbete.

Eftersom variabler kan definieras för flera kombinationer tidsperioder, länkar, säsonger, fordonstyper, avverkningsmöjligheter, sortiment, sortimentsgrupper, vägklasser finns det potentiellt väldigt många variabler. Målfunktionen används för att minimera kostnaden för avverkning, upprustning, lagring och transport. Bivillkor används för att antingen beskriva egenskaper eller uttrycka olika typer av begränsningar. I modellen finns bivillkor för:

- Tillgång och efterfrågan av sortiment respektive sortimentsgrupper.
- Lagerbalanser vid trakt, industri och terminaler.
- Logiska villkor på avverkningskrav (säsong, tillgänglighet m.m.).
- Logiska krav på investeringsmöjligheter.
- Lagerkapaciteter (min och max).
- Transportkapaciteter (för både avverkade och ej avverkade trakter).
- Logiska villkor som beskriver när flöden kan finnas beroende på vägklasser.
- Budgetbegränsningar.
- Balansering av transportkapacitet över planeringsperiod (avverkade trakter) och ej avverkade trakter (förväntat transportarbete).

Samtliga villkor gäller typiskt för en kombination av tidsperioder, länkar, säsonger, vägklasser, avverkningsalternativ och fordonstyper. På samma sätt som för variabler kan det finnas väldigt många bivillkor i modellen.

En detaljerad beskrivning av modellen återfinns i Bilaga 1. Optimeringsmodell.

5.2 LÖSNINGSMETODIK

Syftet med optimeringsmodellen är i första hand att få fram investeringsbesluten. För att få en bra beskrivning av effekterna av olika investeringsbeslut behöver vi även ta med en beskrivning av avverkning, lagring och flöden. Dessa beslut används primärt för att få en komplett beskrivning av hela systemet. Sekundärt kan de givetvis användas för mer detaljerad analys för t.ex. transporter eller avverkning.

Modellen kan beskrivas med en så kallad blandad heltalsformulering.
I modellen finns det logiska beslut för om en väginvestering ska genomföras eller ej under en viss tidsperiod. Vi har även variabler för att bestämma om en avverkning ska ske eller ej under en viss tidsperiod och under en viss säsong. Dessa är de så kallade heltalsvariablerna. Flöden i de definierade rutterna och lagernivåer för alla kombinationer av sortiment, gruppsortiment, tidsperioder och säsonger ger de kontinuerliga variablerna. Dessa modeller kan vara mycket svåra att lösa även för de bästa kommersiella optimeringslösarna. Detta gäller speciellt om de omfattar många variabler och bivillkor. I dessa fall måste ofta någon typ av kompletterande lösningsmetodik användas.

Det finns flera olika alternativ för hur sådana så kallade heuristiska metoder kan användas för att lösa väldigt svåra och stora problem. I vår föreslagna metodik löser vi en sekvens av problem som är begränsade i jämförelse med det ursprungliga. Principen är att aggregera samtliga perioder utom den första och dessutom kräva att de logiska variablerna ska vara heltal för den första perioden. När en lösning erhållits går vi ett steg framåt i tiden och löser på nytt ett motsvarande problem men en period (eller ett år) senare. Efter att ha gjort detta för samtliga år i planeringsperioden har vi erhållit en första lösning till problemet. Denna lösning kan nu användas för att initiera CPLEX för att hitta en förbättrad lösning. De kommersiella lösarna har vanligen problem att erhålla en första tillåten lösning men när en sådan erhållits kan de ofta snabbt hitta bättre lösningar. I våra tester har det visat sig att vårt förslag på lösningsmetodik har varit helt avgörande för att kunna lösa det fullständiga problemet.

6. Fallstudier

Under projekttiden har tre separata fallstudier genomförts.

6.1 FALLSTUDIE HAGGE

6.1.1 Allmänt

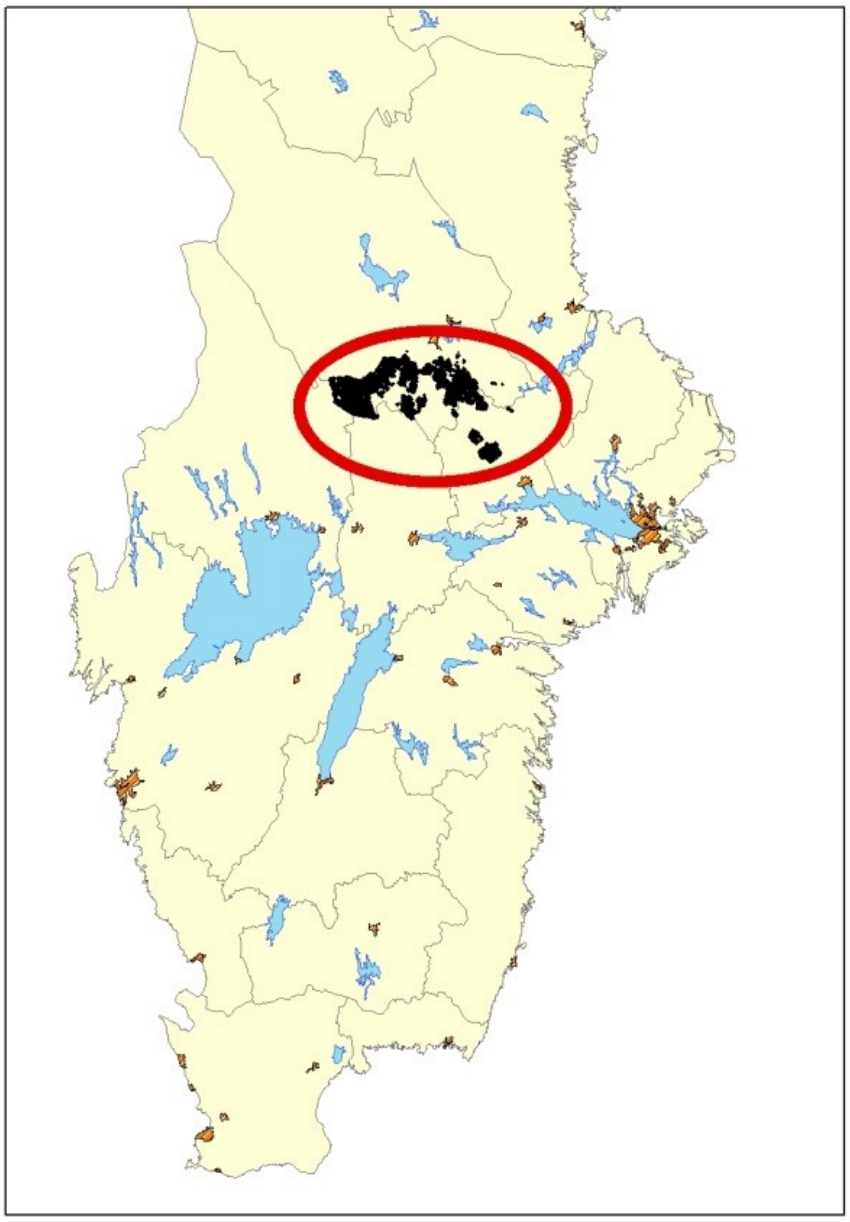
Projektets första fallstudie gjordes tillsammans med Stora Enso Skog på distrikt Hagge. Studien omfattade 10 års avverkningar fördelat på två tidsperioder; 2003–2007 samt 2008–2012. Det totala antalet bestånd som var planerat för avverkning summerade till drygt 8 000, en summa som var för stor för modellen att hantera. Studien koncentrerades därför till ett mindre område i sydost, i stort sett helt avskilt från övriga bestånd. Området kallades Norbergsblocket och omfattade ca 30 000 ha.

Syftet med studien var dels att i samband med utvecklingsarbetet testa optimeringsmodellen, dels skapa beslutsunderlag för Stora Enso i planeringen av vägupprustningar i aktuellt område. Studien pågick under 2003 och 2004.

En utförlig beskrivning av fallstudien med tillhörande modellutveckling och resultat redovisas i Frisk m.fl. (2006).

6.1.2 Stora Enso distrikt Hagge

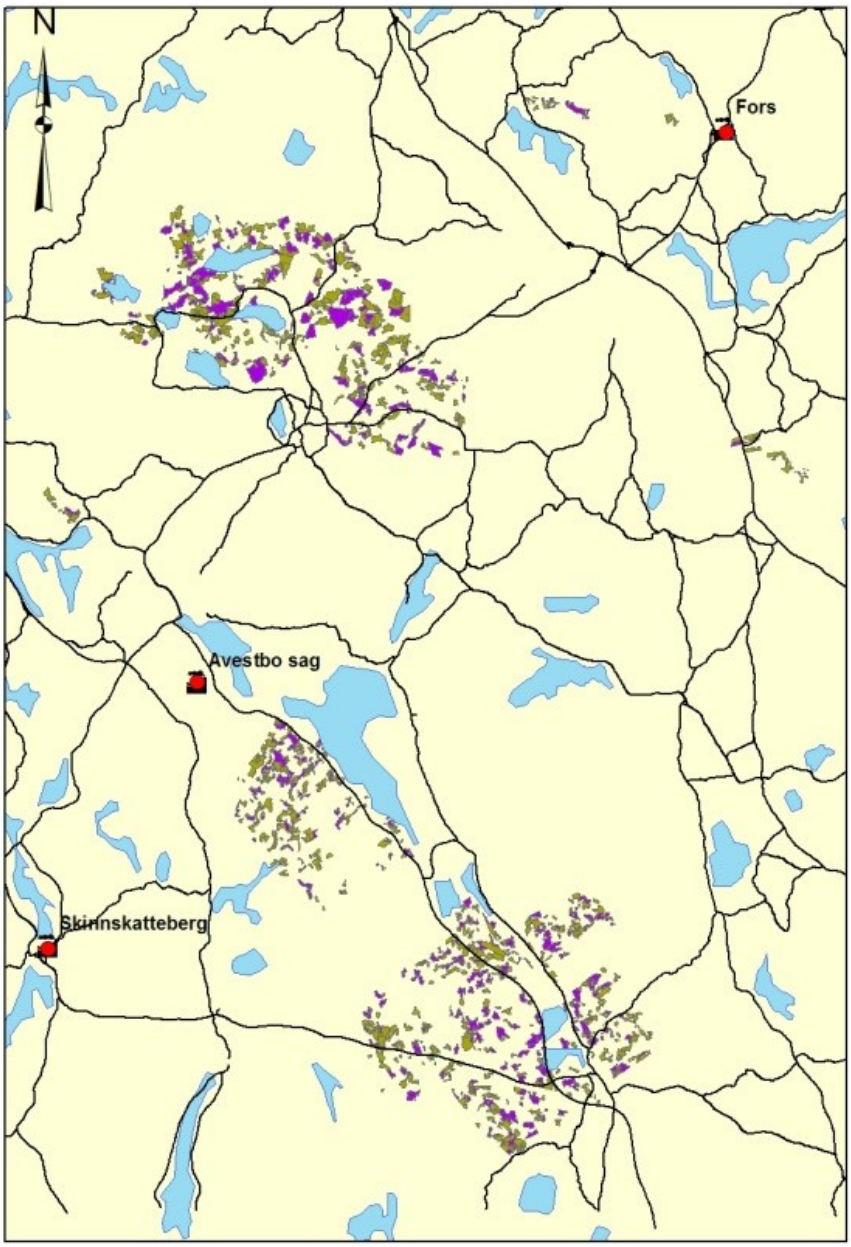
Stora Enso distrikt Hagge ligger i Mellansverige i närheten av Ludvika och omfattar drygt 200 000 ha (Figur 4).



Figur 4.
Utbredning av Stora Enso distrikt Hagge.

6.1.3 Fallstudiebeskrivning

Eftersom Hagge-distriktet täcker ett stort område med många potentiella avverkningsbestånd, avgränsades studien till att omfatta det s.k. Norbergs-blocket. Norbergsblocket består av tre sammanhängande skogsområden med Stora Enso som majoritetsägare (Figur 5).



Figur 5.
Utbredning av avverkningsbestånden i fallstudien (det s.k. Norbergsblocket).

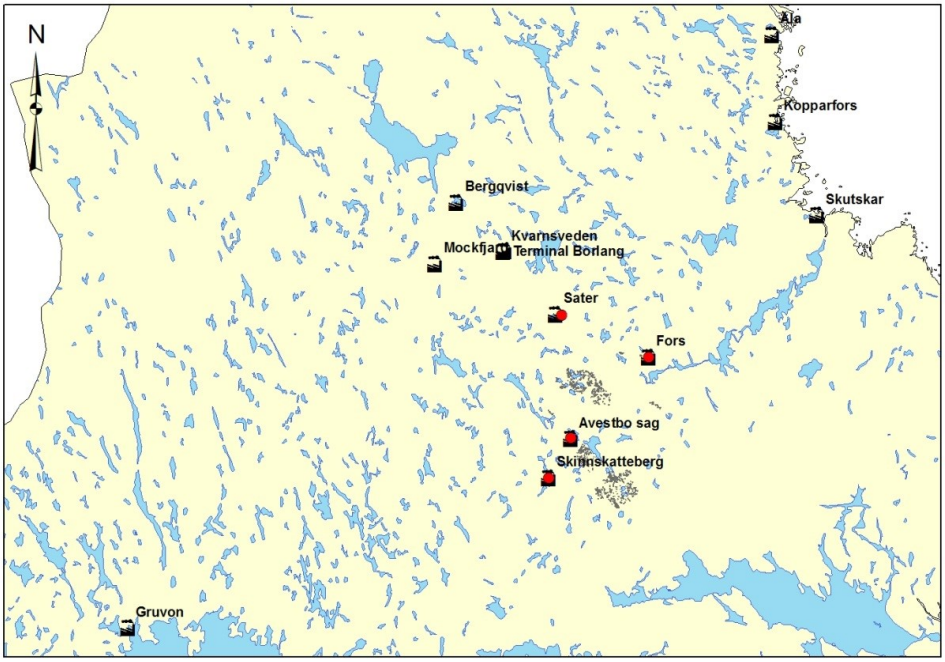
Dataunderlaget samlades in tillsammans med personal från Stora Enso. De planerade avverkningarna i området uppgick till 1 095 bestånd med en sammanlagd avverkningsvolym om 890 000 m³sk fördelat på fem sortiment (talltimmer, tallmassaved, grantimmer, granmassaved och lövmassaved). Utbudet av avverkningsvolymer illustreras i Figur 5 med polygoner i olika färg beroende

på planerad avverkningsperiod (2003–2007 eller 2008–2012). Avverkningsvolymerna hämtades från Stora Ensos avverkningsberäkningar och var fördelade på slutavverkning och gallring samt de två femårsperioderna. I materialet fanns volym per trädslag och med en schablon för timmerandel beräknades fördelningen mellan timmer och massaved för gran respektive tall. Tillgångarna beskrivs i Tabell 1.

Tabell 1.
Summering av volym (m^3sk) per sortiment och tidsperiod.

	2003–2007		2008–2013	
Sortiment	Volym	Andel (%)	Volym	Andel (%)
GM	105 547	23	70 084	17
GT	93 797	20	83 802	20
LM	15 449	3	10 207	2
TM	142 112	31	125 739	30
TT	107 982	23	132 869	31

Studien omfattade 12 mottagningsplatser utspridda i geografin enligt Figur 6. Figuren illustrerar även de fyra utflödesplatserna som användes för att samla volymer från avverkningsområdena till punkter som sammanförde flera mottagande industrier.



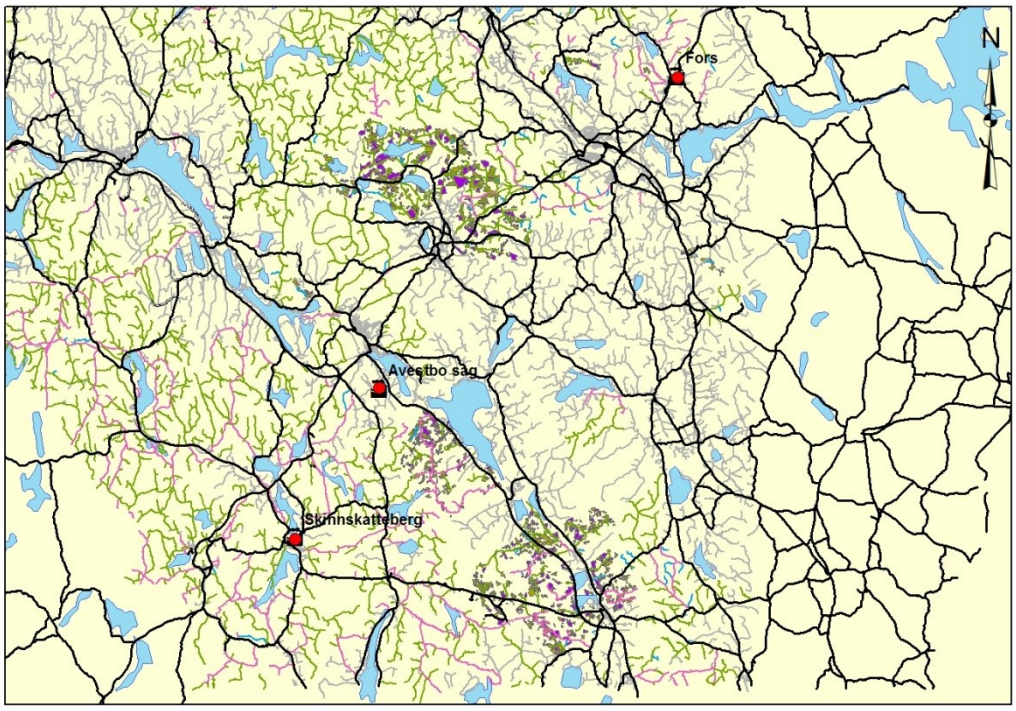
Figur 6.
Mottagningsplatser och utflödespunkter i Hagge-studien.

Industribehov delades upp i fyra säsonger (tjällossning, sommar, höst, vinter) som motsvarade tillgänglighetsklassningen av det enskilda vägnätet och motsvarade tillgängliga volymer i respektive tidsperiod. Tabell 2 exemplifierar detta med efterfrågan per tillgänglighetsklass (summerat för alla sortiment) för den första femårsperioden.

Tabell 2.
Summering av efterfrågan per tillgänglighetsklass för första tidsperioden.

Tillgänglighetsklass	Volym (m^3sk)	Procent	Antal veckor
A	143 042	31	16
B	35 900	8	4
C	168 349	36	19
D	117 596	25	13
Summa	**464 887**	**100**	**52**

Vägnätet (Figur 7) bestod av data från NVDB som hämtades från Vägverket. Formatet var nvd-filer och funktioner för homogenisering och generalisering utvecklade av bl.a. Dianthus användes för att konvertera vägnätet till användbar shapefil.



Figur 7.
Vägnät och avverkningsbestånd i Hagge-studien.

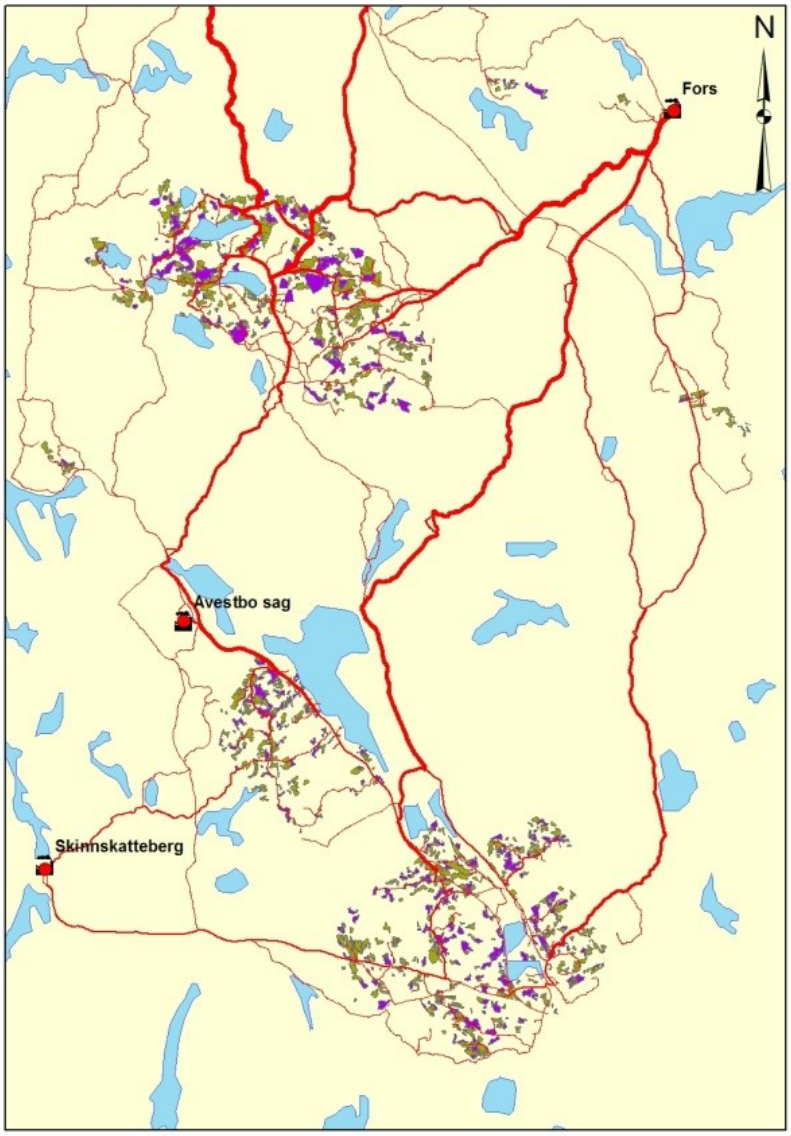
Modellen hanterade bara en typ av upprustningskostnad som definierades till 25 kr per löpmeter och tillgänglighetsklass överallt.

I studien gjordes flera optimeringar där efterfrågevolymer under tjällossning varierades för att illustrera behovet av upprustningsåtgärder.

6.1.4 Resultat

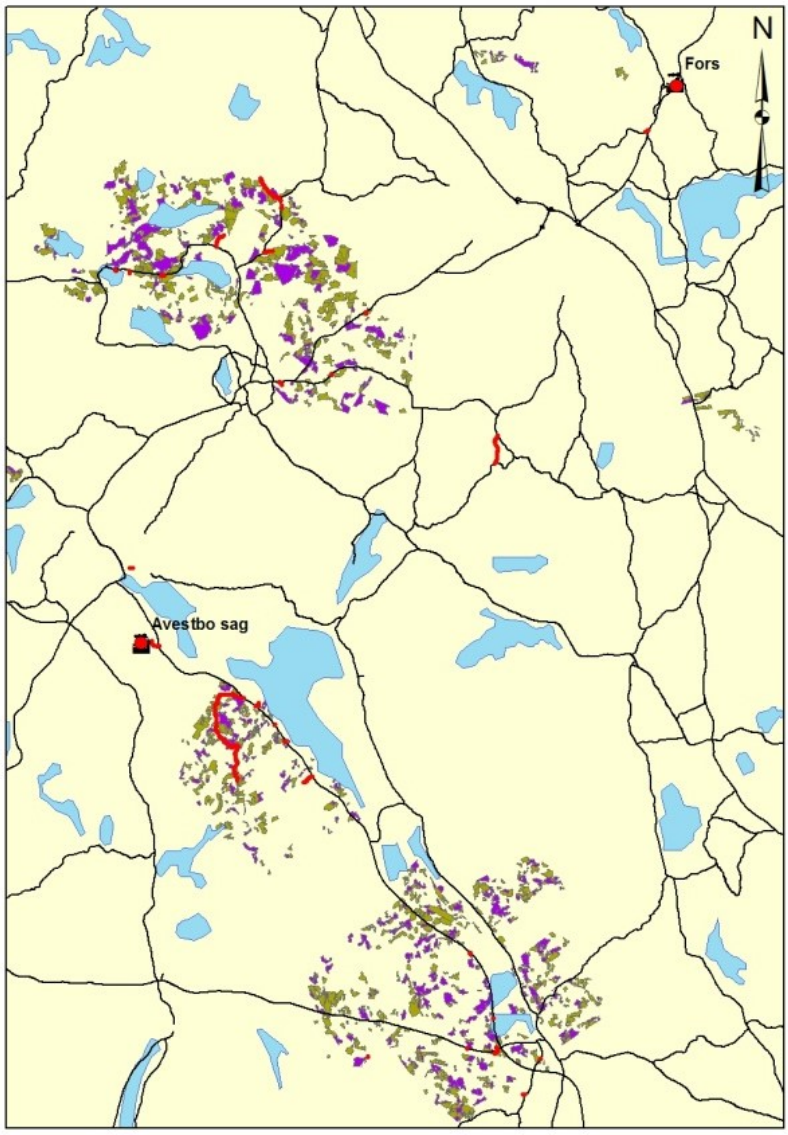
Optimeringsresultaten visade att optimeringsmodellen fungerade och kunde skapa beslutsunderlag om behov av upprustningsåtgärder i vägnätet. De upprustningar som modellen föreslog ansågs av personal på Stora Enso vara rimliga och bedömdes som trovärdiga. Resultaten visade också att det förelåg behov av att vidareutveckla optimeringsmodellen för att kunna hantera större planeringsområden.

En viktig del av resultaten från optimeringen var flödesfiler som kunde användas för kartvisualisering. Flödesfilerna summerade för varje väglänk den volym som under en viss tidsperiod och/eller säsong passerade länken. På så sätt kunde kartor med flöden per väg skapas och ge bilder över vilka vägar som är viktigast för skogstransporterna. Figur 8 illustrerar exempelvis flöden per väg under en viss säsong och en viss tidsperiod. Vägar som är representerade med tjockare streck har större flöden än vägar med tunnare streck.



Figur 8.
Flöden av rundvirke på vägnätet en specifik säsong och år. Ju tjockare streck desto större flöde.

Optimeringsmodellens förslag till upprustningar för ett av optimeringsalternativen illustreras i Figur 9. Modellen valde att göra upprustningar motsvarande ca 480 000 kr varav den absoluta merparten i den första tidsperioden (2003–2007).



Figur 9.
Optimeringsmodellens förslag till upprustningar av vägnätet (rödmarkerade vägar).

Tabell 3.
Upprustningsförslag från optimeringsmodellen fördelat på tidsperiod och från/till klass.

Tidsperiod	Från klass	Till klass	Kostnad (kr)
Första	B	A	309 375
Första	C	A	152 300
Första	D	A	11 625
Summa första			**473 300**
Andra	B	A	8 025
Summa andra			**8 025**

Vissa felaktiga investeringsförslag kunde identifieras. Exempelvis rustade modellen upp en väg intill en av industrierna. Anledningen var att industrin snappats till en enskild väg som inte var tjälsäkrad och för att kunna leverera något till aktuell industri andra säsonger än vinter tvingades modellen att rusta upp vägen. Antalet upprustningsförslag blev få eftersom vägnätet redan från grunden höll en hög standard i området.

Efter reducering av upprustningskostnaden motsvarande felaktiga upprustningar blev kostnaden 390 000 kr. Kostnaden per kubikmeter blev 0,84 kr i första femårsperioden och nära noll i andra perioden.

6.1.5 Slutsatser

Fallstudien visade att modellen hade potential att bli ett bra beslutstöd i planeringen av upprustningsåtgärder. Fortsatt utveckling av modellen var dock önskvärd, bl.a. för att kunna analysera större geografier.

Nästan alla investeringar gjordes i första tidsperioden, vilket tolkades som att det dels fanns ett behov av upprustningsåtgärder i första perioden, dels att de investeringarna kunde utnyttjas även i andra perioden.

Alla investeringar gjordes för att nå högsta tillgänglighetsklass, vilket innebar att området har tillräckligt stor andel vägar i de lägre tillgänglighetsklasserna.

Korrekt vägnätsdata var viktigt för att nå trovärdiga och tillförlitliga resultat. Framför allt klassningen i tillgänglighet hade stor betydelse för optimeringsresultatet.

Snappning till närmsta väg var viktig eftersom en felaktig snappning dels kan ge fel flödesmönster, dels tvinga modellen till felaktiga upprustningar.

6.2 FALLSTUDIE BREDBYN

6.2.1 Allmänt

Den andra fallstudien gjordes tillsammans med Holmen Skog på distrikt Bredbyn. Fallstudien ingick i ett examensarbete om vägupprustning som en jägmästarstudent på SLU gjorde åt Holmen Skog. Vid tidpunkten för studien var Holmen Skog på väg att utveckla ett nytt vägförvaltningssystem för hantering av väginformation i samband med planering och ajourhållning av åtgärder i vägnätet. Dessutom arbetade man sedan en tid med ett verktyg för vägbåtnadsberäkningar. Examensarbetets syfte var att testa och utvärdera VägRust på ett av Holmen Skogs distrikt och diskutera hur VägRust och vägbåtnadsprogrammet skulle kunna användas tillsammans.

En utförlig beskrivning av fallstudien med tillhörande resultat redovisas i Myhrman (2007).

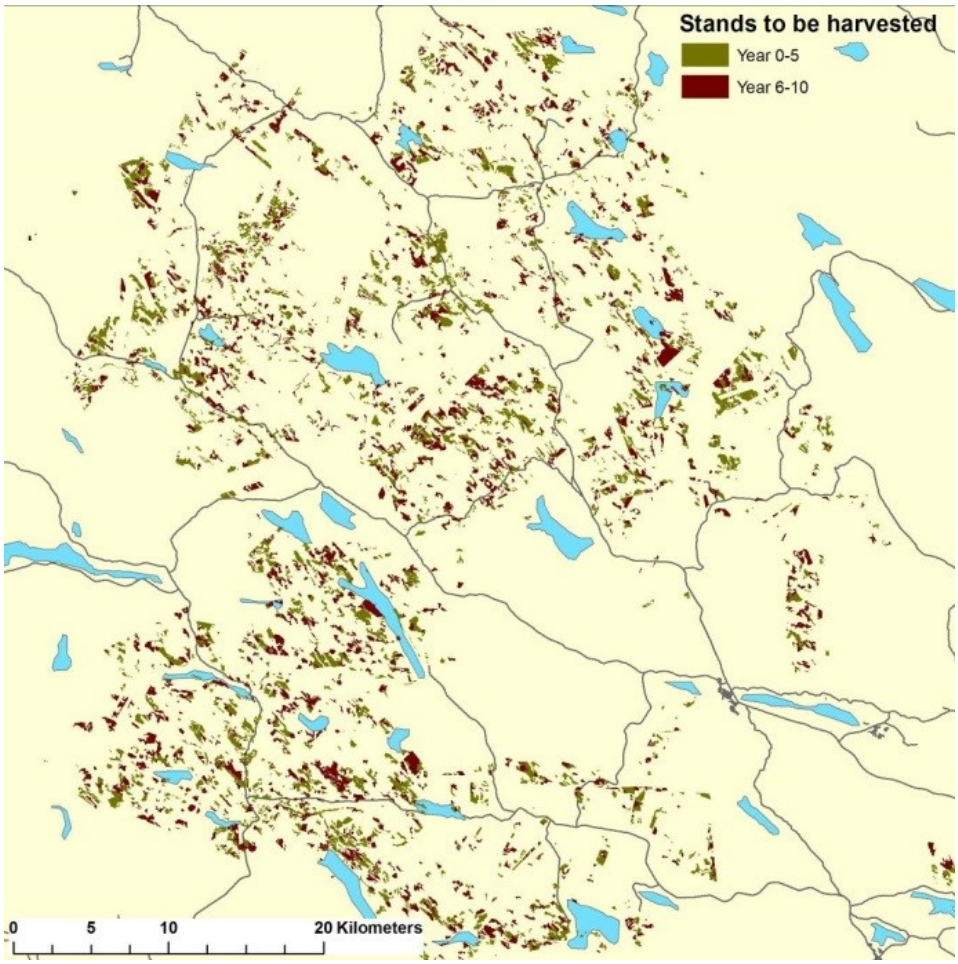
6.2.2 Holmen Skog distrikt Bredbyn

Holmen Skog distrikt Bredbyn ligger strax nordväst om Örnsköldsvik (Figur 10). Studieområdet omfattade en yta om ca 200 000 ha och avverkningsförslag under en tioårsperiod.

Figur 10.
Holmen Skog distrikt Bredbyn.

6.2.3 Fallstudiebeskrivning

Indata om avverkningar, bestånd, industrier, efterfrågan, kostnader m.m. inhämtades från Holmen Skog. Beståndsinformationen hämtades från Holmen Skogs avverkningsberäkning och var fördelat på två femårsperioder och gallring respektive slutavverkning. Bearbetning av avverkningsvolymer gjordes i Excel och omfattade 4 853 bestånd (Figur 11). I Excel gjordes utbytesberäkningar för att generera avverkningsvolymer som summerades till totalt ca 2,5 miljoner m^3fub fördelat på sortimenten talltimmer, grantimmer, barrmassaved och lövmassaved.



Figur 11.
Utbredning av avverkningsbestånd i Bredbyn-studien. Avverkningar i två femårsperioder.

Vägdata hämtades från NVDB och bearbetades för att passa formatet till VägRust. Innan optimering gjordes även en kontroll och justering av vägnätet så att de vägar som i NVDB var felaktigt registrerade med exempelvis tillgänglighetsklass korrigerades. Kvalitetssäkringen gjordes tillsammans med personal från Holmen Skog.

Upprustningskostnaderna uppskattades till mellan 25 och 40 kr per meter upprustning och tillgänglighetsklass (Tabell 4).

Tabell 4.
Upprustningskostnader som användes i studien.

Från klass	Till klass	Kostnad (kr/m)
B	A	40
C	A	55
D	A	75
C	B	35
D	B	50
D	C	25

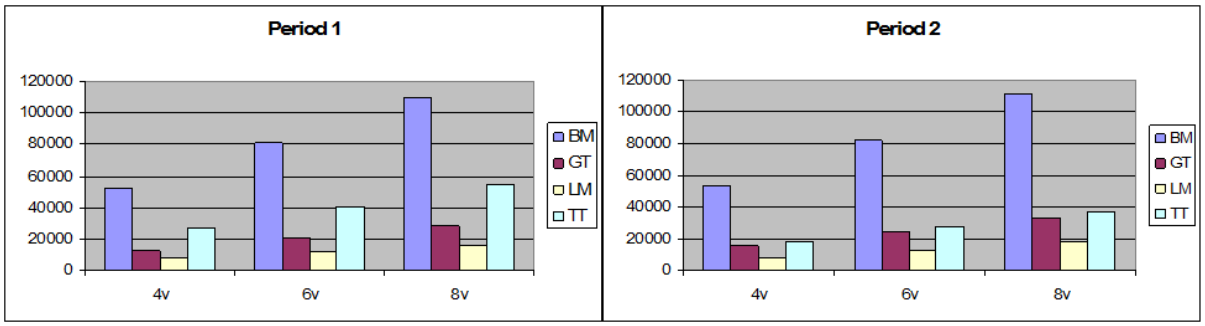
I studien ingick sex mottagningsplatser som var och en definierades med efterfrågan per säsong och tidsperiod.

Tre optimeringar gjordes för att jämföra vilken effekt olika längd på tjällossningsperioden hade på behovet av upprustningar. Förfallsperiodernas längd sattes till 4, 6 respektive 8 veckor.

I samband med studien utvecklades en ny optimeringsmodell för att kunna hantera storleken på studien. Den nya modellen hanterade färre variabler och arbetade därför snabbare och kunde hantera större dataunderlag.

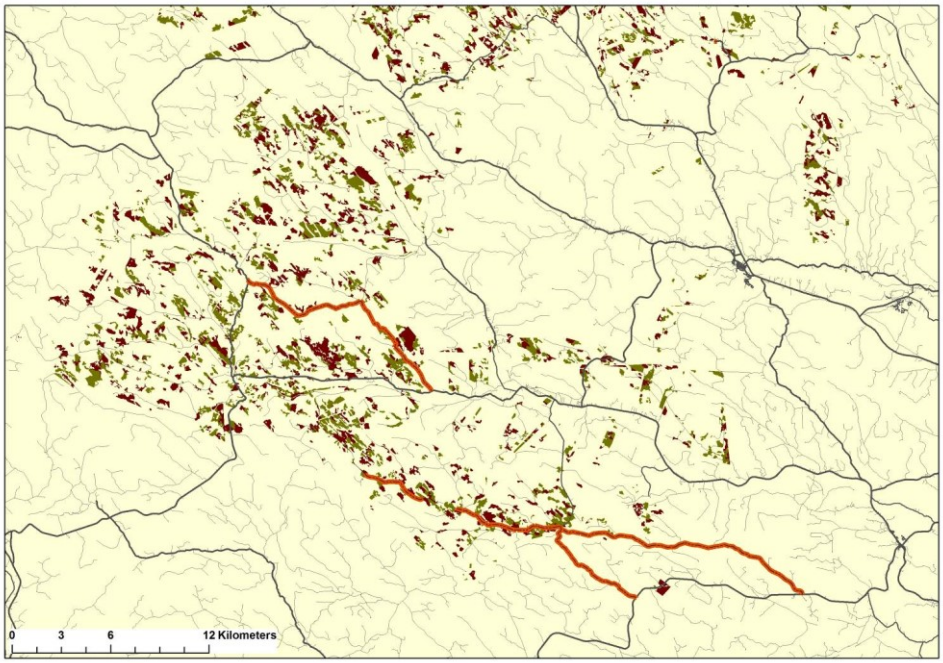
6.2.4 Resultat

Resultaten visade att det i ett utgångsläge rådde en tydlig brist på efterfrågad volym under båda tidsperioderna. Ju längre förfallsperiod som undersöktes desto större var bristen (Figur 12). Det visade att upprustningar av vägnätet var nödvändiga för att klara leveranskraven till industrierna.



Figur 12.
Fördelning av brist på tillgänglig volym per tidsperiod och sortiment för olika längd på förfallsperioden.

Optimeringsmodellen förslog upprustningar motsvarande 45 km för 4 veckors förfallsperiod, 55 km för 6 veckors förfallsperiod och 55 km för 8 veckors förfallsperiod. Figur 13 illustrerar optimeringens förslag till upprustning av tre olika vägavsnitt i området.



Figur 13.
Optimeringens förslag till upprustning av vägar.

Kostnaderna för upprustningsförslagen uppgick till mellan 1,9 och 2,3 miljoner kr beroende på förfallsperiodens längd (Tabell 5). Alternativkostnaden som beskrivs i tabellen avser vad lagring av motsvarande volymer skulle ha kostat och kan ses som ett alternativ till upprustning av vägnätet.

Tabell 5.
Upprustningskostnader för olika längd på förfallsperioden.

Från klass/till klass	4 veckor (kr)	6 veckor (kr)	8 veckor (kr)
B – A	1 892 119	2 279 679	2 279 679
C – A	1 877	1 877	11 477
Totalt	**1 893 996**	**2 281 556**	**2 291 112**
Alternativkostnad	**6 838 055**	**10 548 055**	**14 258 160**

Fördelat per frigjord kubikmeter blev upprustningskostnaderna från 9,7 kr (4 veckors förfallsperiod) till 5,6 kr (8 veckors förfallsperiod).

6.2.5 Slutsatser

Resultaten från optimeringen stämde väl överens med distriktspersonalens idéer om upprustningsbehov. Skillnaden i kostnad mellan sex och åtta veckors förfallsperiod är mycket liten och uppmuntrar således till att planera och utföra upprustningar med god marginal för förändringar i förfallsperiodens längd. Resultaten ger en fingervisning om hur upprustningskostnader och lagringskostnader kan reduceras jämfört med dagens nivåer.

Med den nya modellen var det möjligt att genomföra en optimering på hela arealen, något som inte varit möjligt med den första versionen av optimeringsmodell som användes i Haggestudien.

VägRust som beslutsstöd skulle för Holmen Skog vara till stor nytta i planeringen av investeringar i vägnätet. En implementering av ett beslutsstöd skulle dock kräva en vidareutveckling av framför allt användargränssnitt.

Det är av stor vikt att vägnätsinformationen är uppdaterad, framför allt tillgänglighetsklassningen på enskilda vägar samt eventuella avstängningar av allmänna vägar under förfallsperioden.

I examensarbetet diskuterades konkreta förslag till hur VägRust skulle kunna integreras i arbetet på distriktet samt hur VägRust skulle kunna användas tillsammans med vägbåtnadsprogrammet.

En brist i VägRust är att begränsningar i beståndens bärighet inte hanteras, något som bör finnas med i en vidareutveckling av optimeringsmodellen. Även detaljeringsgraden på upprustningskostnaderna skulle behöva förbättras, framför allt med avseende på avstånd till grustäkter.

6.3 FALLSTUDIE LYCKSELE

6.3.1 Allmänt

Inför och i samband med fallstudien på Sveaskog i Lycksele utvecklades en helt ny optimeringsmodell. Dels eftersom det i samband med tidigare fallstudier framkommit behov av ytterligare parametrar, dels eftersom lösningsmetoden behövde utvecklas ytterligare. Dessutom påbörjades utvecklingen av ett nytt användargränssnitt (SkogBase VägRust) som byggde på program med öppen källkod i stället för ESRI-produkter.

En koppling till Heureka och PlanVis gjordes genom att låta PlanVis generera bestånds- och avverkningsinformation som en del av indata till VägRust och sedan använda det i optimeringsmodellen.

Fallstudien kan delas in i tre delar där varje del har haft olika syften. I första delen (2010) var syftet att utveckla och testa en ny optimeringsmodell med bestånds-och avverkningsinformation från PlanVis. Utgångspunkt för nyutvecklingen av optimeringsmodellen var de erfarenheter som drogs i samband med de två tidigare fallstudierna samt sådant som framkommit i diskussioner med bl.a. Sveaskog. Första delen blev också testomgång för den nya klient-serverlösningen. De viktigaste nyheterna i modellen var hänsyn till grustäkters placering och därmed bättre precision i upprustningskostnader, möjlighet att använda CTI-utrustade fordon för virkestransport, bättre indata i form av utfallsberäkningar från PlanVis och bättre förmåga att hantera stora datamängder, vilket innebar att större studier än tidigare kunde göras.

Erfarenheter från arbetet med första delen utgjorde grunden till en fortsatt utveckling av optimeringsmodellen. Under 2012 och 2013 genomfördes projektets andra del med nya data och en ytterligare utvecklad optimeringsmodell. Främsta syftet var att integrera beslut om avverkningstidpunkt (år och säsong) för respektive bestånd samt att hantera detaljer såsom avverkningskvot (gallring och slutavverkning), hänsyn till beståndsbärighet och buffertvolymer. I del två gjordes endast mindre ändringar av klientserverlösningen, framför allt sådant som förbättrade prestandan. Att integrera beslut om avverkningstidpunkt gav upphov till ett mycket svårlöst problem som projektet endast delvis utvecklade lösningar för. För att utveckla en komplett metodik behövs mer forskning och mer utveckling, något som inte rymdes inom ramen för projektet.

I tredje delen av projektet (2014) var syftet att testa modellen som utvecklats i del två på en taktisk avverkningsplan där bestånd och avverkningsår var definierat. Modellen hade då givna förutsättningar om vilket år respektive bestånd skulle avverkas och löste problemet att dels välja vilken säsong beståndden skulle avverkas, dels definiera vilka upprustningar som krävdes för att till lägsta kostnad uppfylla industriefterfrågan. En viktig del i delstudie tre var att visa att modellen för upprustningsberäkningar fungerar.

I fortsatta beskrivningen av Lyckselestudien fokuseras i första hand på projektets tredje delstudie.

En utförlig beskrivning av modell och resultat från delstudie två finns i Flisberg m.fl. (2014).

6.3.2 Sveaskog område Lycksele

Genomgående för de tre delarna i fallstudien är studieområdet som omfattar Sveaskogs skogsinnehav i Lycksele kommun. Lycksele kommun ligger i Västerbottens inland och hela området omfattar nära 600 000 ha (Figur 14).

Figur 14.
Geografisk utbredning av Lyckselestudien.

I Lycksele kommun äger Sveaskog drygt 250 mil skogsbilväg och området kan utnyttja 32 olika grustäkter, både egna husbehovstäkter och kommersiella större täkter. Vägnätet är av normalstandard för norra Sverige med en stor andel B och C-klassade vägar. I området är merparten av de allmänna vägarna av högsta bärighetsklass men det finns vägar med både Bk2- och Bk3-klassning. Dessutom klassas vissa vägavsnitt ned under tjällossningsperioder, vilket medför att vanliga virkesbilar inte kan köra med fullt lass på dessa avsnitt under delar av året.

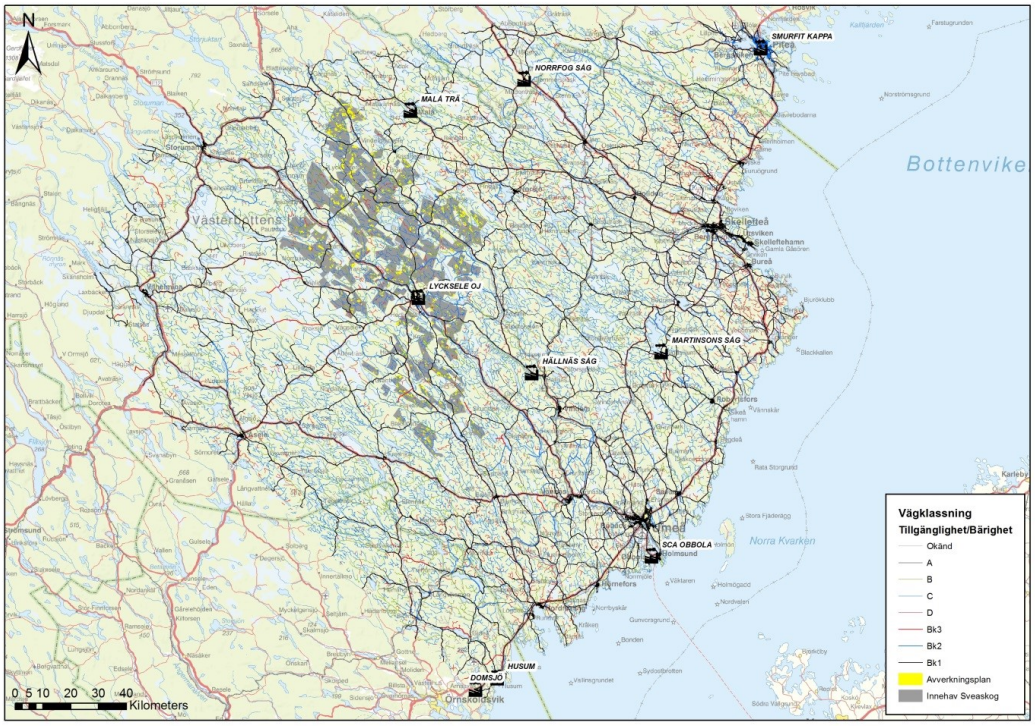
Av de industrier som Sveaskog levererar till från Lyckseleområdet ligger merparten utanför området, framför allt öster om området.

6.3.3 Fallstudiebeskrivning

Underlaget till fallstudien utgjordes av hela Sveaskogs skogsinnehav i Lycksele kommun, ca 200 000 ha, fördelat på drygt 15 000 bestånd. Data till studien inhämtades dels direkt från Sveaskog, dels från SDC (SNVDB).

Planeringshorisonten begränsades till en femårsperiod eftersom det var den normala period för vilken Sveaskog upprättade en taktisk avverkningsplan med tillhörande åtgärdsprioriteringar i vägnätet.

Vägnätet som använts är ett utsnitt av en shapefil från SNVDB 2010. I projektets inledning gjordes en kvalitetskontroll av vägnätet och några av länkarna uppdaterades med avseende på tillgänglighetsklassningen. Vägnätets utbredning i fallstudien illustreras i Figur 15.



Figur 15.
Utbredning för Lycksele studien med vägar, Sveaskogs skogsinnehav och avverkningsplan.

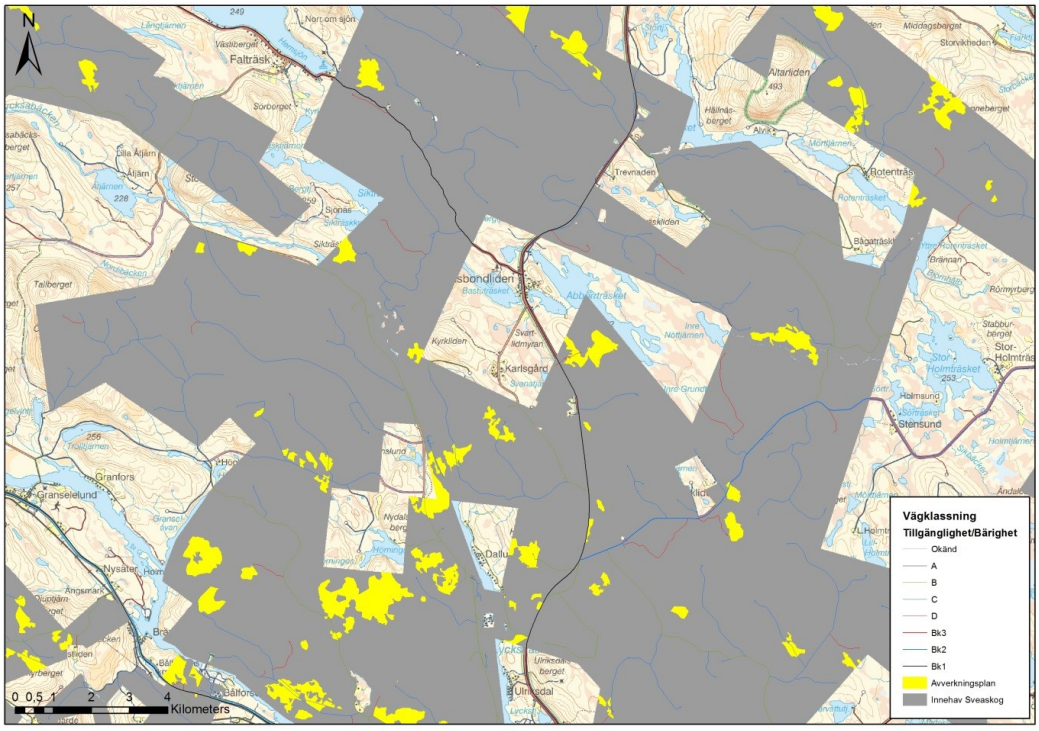
Beståndsinformationen hämtades från Sveaskogs beståndsregister och innehöll bl.a. geografisk referens, beståndsbärighet, ålder, trädslagsblandning, volymer, etc. I samtliga delstudier har avverkningsvolymer per sortiment, år och bestånd beräknats med Heurekas PlanVis. För användning i delstudie ett och två beräknades även nuvärden på varje bestånd. Informationen har sedan använts direkt i VägRust för att representera utbud och nuvärden. Till den första delstudien användes generella skötselmetoder som styrparametrar i PlanVis. Till *Delstudie 2 och 3* användes i stället parametrar som var anpassade till Sveaskogs skötselmål. PlanVis-materialet som användes i *Delstudie 2* användes även i *Delstudie 3*.

I de två första delstudierna användes en bruttomängd av bestånd som genererats från PlanVis genom att beräkna vilka bestånd som kunde vara aktuella för avverkning, antingen slutavverkning eller gallring i den kommande femårsperioden. Antalet bestånd som genererades var ca 6 600 och omfattade ca 73 000 ha med en medelålder på 95 år. Tabell 6 redovisar fördelningen av antal bestånd och tillgänglig volym per tillgänglighets- och bärighetsklass. Sammanställningen grundar sig på vilken klass den väglänk har som ligger närmast respektive bestånd. Ingen hänsyn har alltså tagits till att det kan finnas sämre tillgänglighet och/eller bärighet i andra delar av sträckan fram till industri. Mängden bestånd och tillgänglig volym översteg med god marginal den industriefterfrågan som specificerats.

Tabell 6.
Summering av antal bestånd och volym per tillgänglighets- och bärighetsklass med avseende på närmsta väg från respektive bestånd.

Tillgänglighetsklass	Antal bestånd	Bärighetsklass	Antal bestånd	Volym (m^3fub)
Okänd	1 099			154 008
		Okänd	631	87 601
		1	395	55 781
		2	56	7 730
		3	17	2 896
1	86			11 404
2	1 253			165 852
3	3 879			512 179
4	326			42 823

Optimeringsmodellens uppgift var att ur bruttolistan med bestånd (6 600 stycken) välja de som var mest lämpade att avverka för att uppfylla industriefterfrågan, samt att föreslå de upprustningar av vägnätet som eventuellt var nödvändiga. I den tredje delstudien användes bara de bestånd som ingick i den verkliga taktiska avverkningsplanen för Sveaskog åren 2014–2018. Figur 16 illustrerar ett mindre område inom studieområdet med dels Sveaskogs totala innehav, dels de bestånd som ingick i avverkningsplanen.



Figur 16.
Utsnitt från studieområdet med Sveaskogs skogsinnehav, avverkningsplan och vägnät.

Information om industrier och efterfrågan hämtades från logistikansvariga på Sveaskog, likaså de transportkostnader som användes i optimeringen. Från Sveaskogs vägexperter hämtades information om gruståtgång vid upprustning från en klass till nästa (Tabell 7), om gruskostnader och placering av grustäkter. I området fanns 32 olika grustäkter där merparten var Sveaskogs egna och endast några få var kommersiella större täkter. De egna täkterna hade en betydligt lägre gruskostnad än de kommersiella. Gruskostnaderna sattes till mellan 55 och 100 kr/ton. Transportkostnaden för grus sattes till 3,40 kr/tonkm. Ingen begränsning i upprustningsbudget användes. Förutsättningarna för upprustning var samma i alla tre delstudier.

Tabell 7.
Materialåtgång för upprustning från en klass till en annan.

Från tillgänglighetsklass	Till tillgänglighetsklass	Materialåtgång (ton/m)
4	3	0,1
4	2	0,15
4	1	0,4
3	2	0,1
3	1	0,3
2	1	0,25

I optimeringarna användes inga terminaler och inga CTI-utrustade lastbilar, förutom vid tester i den första delstudien.

Definitionen av vilka trakter som tillåts avverkas under olika säsonger med avseende på deras bärighet redovisas i Tabell 8.

Tabell 8.
Definition av tillåten avverkningstidpunkt för respektive traktbärighet.

Tillåten säsong	Bärighet
Vår	1
Sommar	1
Höst	1
Vinter	1
Höst	2
Sommar	2
Vinter	2
Höst	3
Sommar	3
Vinter	3
Sommar	4
Vinter	4
Vinter	5

I fallstudien testades två olika fordonstyper dels standardlastbil, dels lastbil med CTI-utrustning. De olika fordonstyperna tilläts trafikera olika tillgänglighets- och bärighetsklasser vid olika tidpunkter på året (säsonger), se Tabell 9. CTI-utrustade lastbilar hade möjlighet att använda sämre klassade vägar än standardlastbilar vid samma säsong. Ingen begränsning i transportkapacitet gjordes förutom i *Delstudie 1* där antalet CTI-fordon begränsades till ett.

Tabell 9.
Sammanställning av när (vilken säsong) olika fordonstyper tillåts användas på olika tillgänglighets- och bärighetsklasser.

Fordonstyp	Säsong	Sämsta tillåtna tillgänglighetsklass	Sämsta tillåtna bärighetsklass
Standard	Vinter	4 (D)	3
Standard	Vår	1 (A)	1
Standard	Sommar	3 (C)	2
Standard	Höst	3 (C)	1
CTI	Vinter	4 (D)	3
CTI	Vår	3 (C)	2
CTI	Sommar	4 (D)	2
CTI	Höst	3 (C)	2

Industribehovet till sammanlagt nio industrier i *Delstudie 1 och 2* uppgick till 1 160 000 m^3fub fördelat på talltimmer, grantimmer, barrmassaved och lövmassaved. I *Delstudie 3* ökades industribehovet till ca 1,6 miljoner m^3fub för att matcha den taktiska avverkningsplanen.

I *Delstudie 3* fanns krav på att mängden gallringar skulle vara minst ca 10 % och mängden slutavverkning minst ca 20 % (värdena fick anpassas något för att matcha den taktiska avverkningsplanen).

I *Delstudie 3* testades både att tillåta lagring av volym på avlägg från en säsong till en annan, exempelvis att avverkning skedde på vintern och transport på våren, och att inte tillåta lagring mellan säsonger.

I *Delstudie 3* fanns krav på tjälsäkrade buffertvolymer under vårsäsongerna som skulle fungera som en extra marginal för antingen förlängd förfallsperiod eller ökad industriefterfrågan. En marginal om 20 % av efterfrågan användes som schablon. Dessutom fanns önskemål om att ha krav på tjälsäker volym vid planeringsperiodens slut. Detta implementerades men eftersom alla bestånd som finns med i *Delstudie 3* ska avverkas så tillämpades inte detta krav i den delstudien.

I samband med de olika delstudierna har en mängd olika optimeringar gjorts, främst med fokus på att testa olika funktioner i optimeringsmodellen. I första delstudien gjordes bl.a. optimeringar med och utan CTI-utrustade lastbilar samt en varierande efterfrågan under tjällossningsperioden. I andra delstudien gavs större vikt vid beståndens nuvärden och optimeringar gjordes för olika scenarier där betydelsen av nuvärden kontra transport- och avverkningskostnad varierades för att studera vilken effekt en helintegrerad optimering (hänsyn togs både till beståndens nuvärden och logistikkostnaderna) har på valet av avverkningsbestånd under femårsperioden. Tre huvudscenarier testades:

A. **Ej integrerad planering.** Modellen optimerar beståndsval med mål att maximera nuvärdet. Därefter optimeras virkesflöden och vägupprustningar.

B. **Integrerad planering.** Modellen optimerar beståndsval, virkesflöden och vägupprustningar med mål att minimera logistikkostnader.

C. **Integrerad planering.** Modellen optimerar beståndsval, virkesflöden och vägupprustningar med mål att minimera logistikkostnader och maximera nuvärdet på den kvarstående skogen.

Den tredje delstudien fokuserade på effekten av att tillåta lagring mellan tidsperioder eller inte. Tre scenarier med skillnad i lagringskostnad analyserades. I det första scenariot fanns ingen extra kostnad för att lagra från en säsong till nästa. Det innebar att exempelvis att avverkning kunde ske på vintern och transport på våren. I det andra scenariot tilläts lagring men till en kostnad om 10 kr/m^3fub och månad. I det tredje scenariot tilläts visserligen lagring men till en kostnad om 1000 kr/m^3fub och månad, vilket i praktiken innebar att lagring inte utnyttjades om det inte var absolut nödvändigt för att uppfylla efterfrågan.

I den tredje delstudien användes samma vägnät som till del ett och två. Några bestånd ur den verkliga taktiska planen ströks eftersom det saknades data från PlanVis. Orsaken var att det gjorts förändringar i den taktiska planen efter uttaget från PlanVis. Sammantaget innebar strykningarna att 1 162 bestånd från den taktiska avverkningsplanen ingick i studien. Samtliga bestånd hade ett föreslaget avverkningsår, vilket användes i optimeringen. Den ursprungliga efterfrågan var lägre än tillgångarna varför efterfrågan ökades proportionerligt på samtliga mottagningsplatser så att den motsvarade 95 % av utbudet. Orsaken till detta var att tvinga modellen att avverka alla bestånd och generera realistiska flödesmönster utifrån de planerade avverkningarna.

Eftersom del tre genomförts med delvis inaktuella data och med som främsta syfte att testa optimeringsmodellen har resultaten inte diskuterats med

Sveaskog utan endast rimlighetsbedömts av författarna i samband med delstudien.

6.3.4 Resultat

Delstudie 1

Resultaten från optimeringarna i den första delstudien visade att väldigt få vägar behövde rustas upp till en högre tillgänglighetsklass för att klara leveransplanen (Tabell 10). Orsaken var att tillgången på bestånd nära tjälsäker väg redan i utgångsläget var väldigt stor. Att använda CTI-utrustade lastbilar minskade ytterligare behovet av upprustningar.

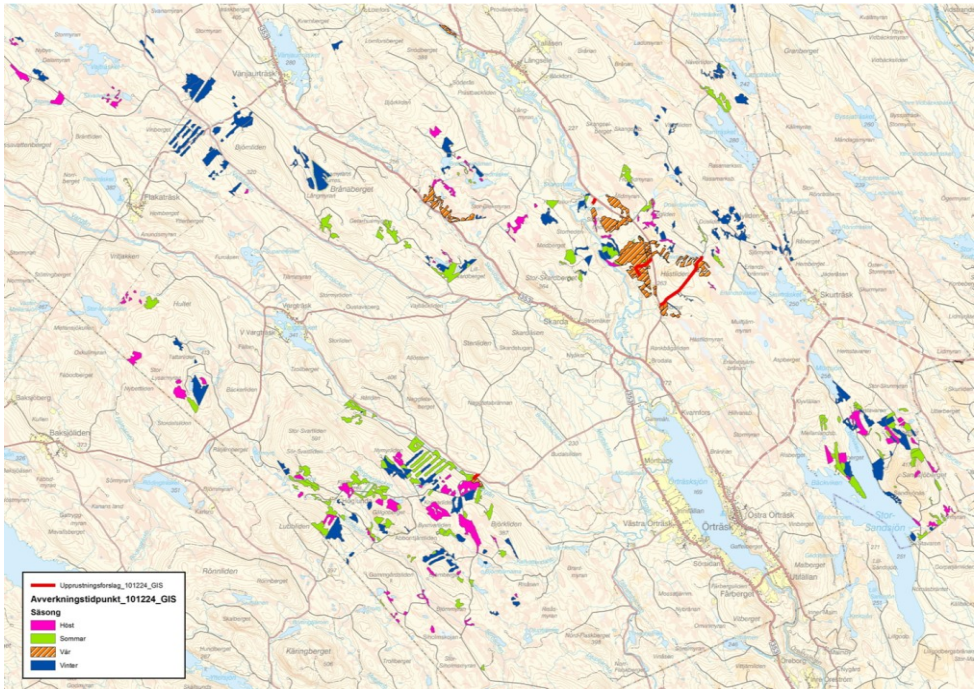
Tabell 10.
Upprustningsbehov för att klara leveranser enligt en av optimeringarna i *Delstudie 1*.

Från klass	Till klass	Meter
D	A	1 100
C	A	15 700
B	A	9 000
Summa		**25 800**

De viktigaste resultaten för fortsatt utveckling av modellen var att:

- Inkludera traktens bärighet.
- Sämsta, och kanske även bästa, bärighet ska vara tvingande.
- Mellanbärigheter tillåts avverkas under flera säsonger.
- Inkludera nuvärde om ingen åtgärd utförs.
- Inkludera försäljningsvärde/intäkter (från PlanVis).
- Värdera upprustade vägar vid periodens slut.
- Andelen volym nära tjälsäker väg ska vara lika stor under analysperioden som efter.
- Inkludera klustring av trakter.
- Inkludera andel gallring/slutavverkning.
- Inkludera buffertvolym nära tjälsäker väg.

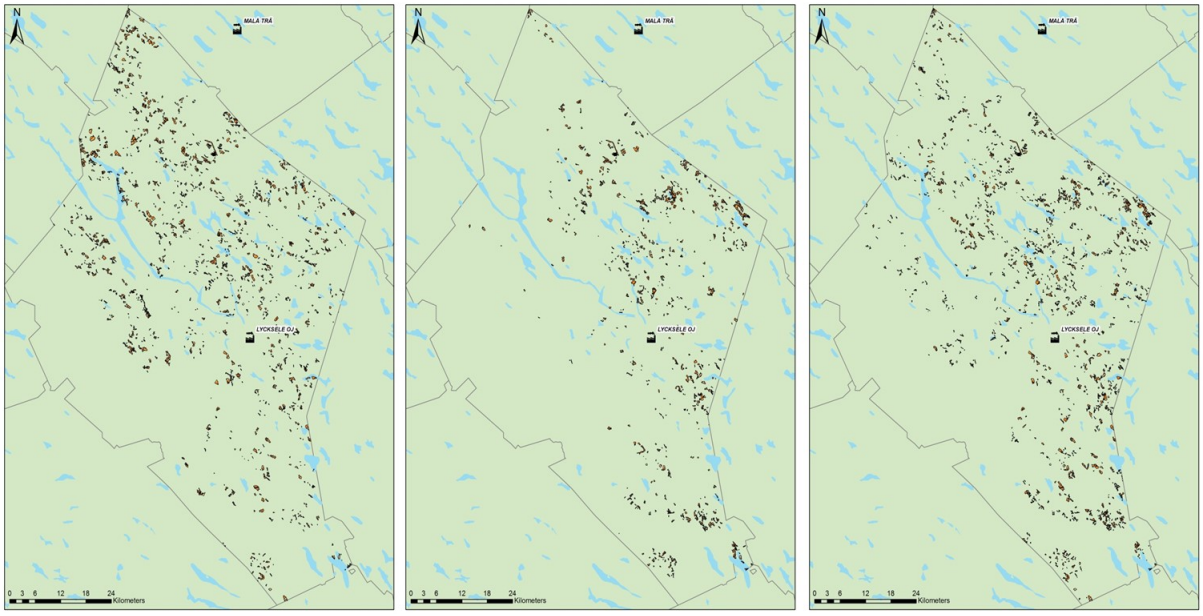
De upprustningar som modellen valde att göra upplevdes av Sveaskog som rimliga med hänsyn till de avverkningar som var planerade. I något fall hade en väg som av optimeringen föreslagits upprustning redan uppgraderats innan vägdatabasen hunnit uppdateras. Figur 17 illustrerar resultat från en av optimeringarna. Vägavsnitt föreslagna för upprustning markeras med röda streck och beståndens avverkningstidpunkt med polygoner av olika färger.



Figur 17.
Resultat från en av optimeringarna i första delstudien. Upprustningsförslag som tjocka röda streck och avverkningsförslag per säsong där orangea bestånd är föreslagna våravverkningar.

Delstudie två

Resultaten från optimeringarna i fallstudiens Del 2 var snarlik Del 1 vad gäller upprustningsförslag. Optimeringen föreslår förhållandevis få upprustningar för att klara leveranserna. Orsaken är som tidigare att det redan finns många bestånd som är möjliga att avverka under vårförfallet, men det beror i sin tur på att den totala mängden avverkningsbara bestånd är hög. I denna optimering var ett av syftena att bestämma vilka bestånd som skulle avverkas (av en bruttomängd) beroende på bl.a. beståndens nuvärden. Det visade sig att helintegrerad optimering (där inte bara beståndens nuvärden utan även avverknings- transport- och upprustningskostnader ingår) hade stor betydelse för vilka bestånd som valdes för avverkning. Figur 18 illustrerar resultat från tre scenarier med olika integreringsvillkor enligt A–C ovan.



Figur 18.
Illustration av skillnad i beståndsval för avverkning mellan tre scenarier (A till vänster och C till höger).

Effekten på val av bestånd att avverka för att täcka industribehovet av vilken hänsyn optimeringen tar till logistikkostnaderna är stor. I scenario B (bilden i mitten) optimeras beståndsval, virkesflöden och vägupprustningar med mål att minimera logistikkostnaderna. Skillnaden i beståndsval är stor mot exempelvis scenario A (vänstra bilden) där modellen optimerar beståndsval med mål att maximera nuvärdet på den kvarstående skogen. En summering av kostnader och medeltransportavstånd för de olika scenarierna redovisas i Tabell 11.

Tabell 11.
Resultat per scenario från *Delstudie 3.*

	Scenario A	Scenario B	Scenario C
	Ej integrerad planering, maximera nuvärdet på kvarstående skog.	Integrerad planering, minimera logistik-kostnad.	Integrerad planering, minimera logistikkostnad och maximera nuvärdet på kvarstående skog.
Logistik (MSEK)	267,3	220,3	240,1
Transport (MSEK)	115,1	107,6	106,6
Upprustning (MSEK)	3,8	0,6	0,6
Upprustning (km)	145,4	17,6	18,8
Transportavstånd (km)	132,0	120,9	119,9

De viktigaste resultaten från *Delstudie 2* var att visa att beroende på hur modellen utformas och vilken hänsyn som tas till olika kostnader och värden blir resultaten väldigt olika (både vilka bestånd som föreslås avverkas och vilka vägar som föreslås rustas upp). Detta är en viktig synpunkt för fortsatt utveckling av en integrerad modell för både beståndsval (från en bruttolista) och vägupprustningar.

Delstudie tre

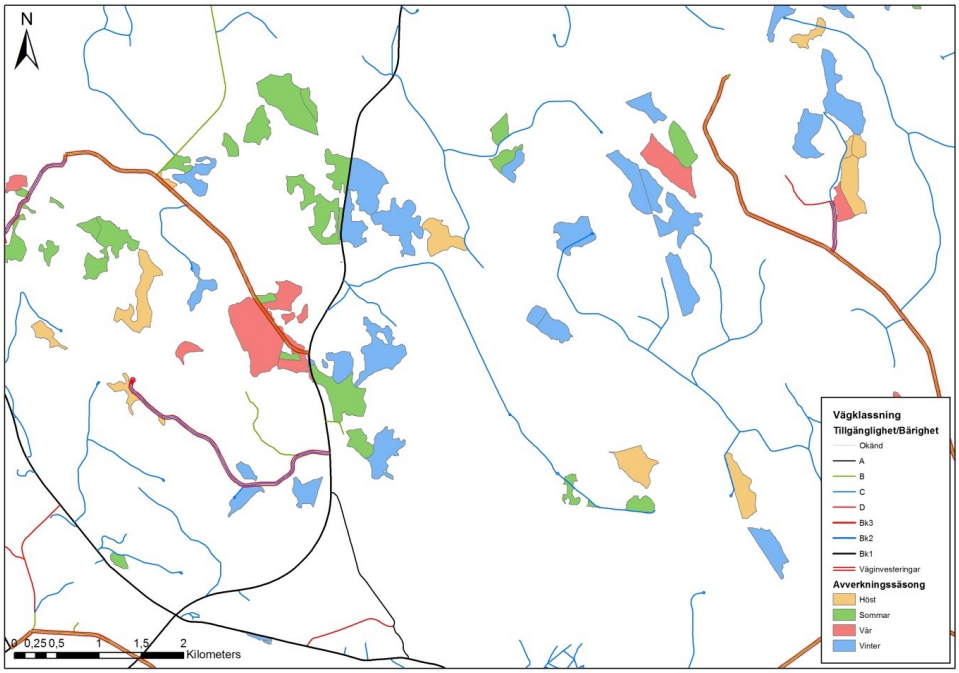
I fallstudiens tredje del utgick optimeringsmodellen från en femårig avverkningsplan med krav på att alla bestånd skulle avverkas och att alla bestånd dessutom hade ett definierat avverkningsår. De testade scenarierna omfattade framför allt skillnader i om lagring mellan säsonger är tillåten eller inte. I första scenariot tilläts lagring från en säsong till en annan, vilket innebar att avverkning exempelvis kunde ske på vintern och transport först på våren. I andra scenariot tilläts lagring mellan säsonger men till en lagringskostnad om 10 kr/m^3fub. I tredje scenariot tilläts visserligen lagring men lagringskostnaden var mycket hög, vilket gjorde att avverkning och leverans sker (om möjligt) samma säsong.

Optimeringarna visade att det var en stor skillnad i mängden upprustningar mellan att tillåta lagring från en säsong till en annan jämfört med att inte göra det (Tabell 12).

Tabell 12.
Summering av kostnader och längd för upprustningsförslagen i respektive scenario.

Scenario	Upprustningslängd (km)	Upprustningskostnad (kr)
A – Ingen lagringskostnad	26,4	870 548
B – Låg lagringskostnad	47,6	1 505 447
C – Mycket hög lagringskostnad	170,2	5 600 063

Figur 19 illustrerar ett mindre område med optimeringens förslag till tidpunkt för avverkning av respektive bestånd (vår, sommar, höst eller vinter) samt förslag till upprustningar av vägnätet för att klara transporterna. Upprustningar (röda dubbelstreck) görs för att nå både våravverkningar (röda) och höstavverkningar (gula).



Figur 19.
En detaljbild för en del av studieområdet där optimeringens förslag till avverkningstidpunkt samt upprustningar illustreras.

Upprustningarna fördelades mellan åren enligt Tabell 13.

Tabell 13.
Summering av upprustningar (meter väg) per år och scenario.

År	A – ingen lagringskostnad (m)	B – låg lagringskostnad (m)	C – mycket hög lagringskostnad (m)
2014	6 711	8 510	41 844
2015	2 663	5 285	25 436
2016	3 648	6 649	47 241
2017	6 920	16 165	39 951
2018	6 436	11 028	15 775

De viktigaste resultaten från *Delstudie 3* var att visa modellens funktionalitet som verktyg för planering av upprustningsåtgärder i vägnätet. Modellen ger bra resultat och klarar att hantera stora områden med många bestånd planerade för avverkning. Modellen klarar att hantera de krav som lyfts i tidigare fallstudier. Resultaten påvisar även vikten av att begränsa lagringsmöjligheterna mellan säsonger för att lagring inte ska ske i stället för upprustningar av vägnätet (om det inte är önskvärt att så sker).

6.3.5 Slutsatser

I projektet har ett stort antal optimeringar med olika optimeringsmodeller och varierande scenarier genomförts. Resultaten har visat på goda möjligheter att med optimeringsmodellerna identifiera kostnadseffektiva upprustningsåtgärder givet avverknings- och leveransplaner samt information om befintlig vägstandardvägstandard. Varje studie har genererat underlag till fortsatt utveckling och förbättring av modellerna.

Gemensamt för samtliga studier är att kvaliteten på indata spelar en mycket viktig roll för resultaten. Tillförlitlig avverkningsinformation tillsammans med korrekt vägnätsinformation är mycket viktigt för trovärdiga resultat.

Storleken på planeringsområden gör det svårt att på ett enkelt sätt få överblick på resultaten i form av framför allt avverkningsbestånd. Bättre användargränssnitt med genomtänkt tydlighet bör eftersträvas.

Modellen ger bra resultat om en taktisk avverkningsplan med definierade avverkningsår finns tillgänglig. Alternativet att modellen ska bestämma dels avverkningsår, dels upprustningsåtgärder givet en bruttolista med tillgängliga bestånd behöver mer tester och mer modellutveckling (resultat från *Delstudie 2* i Lycksele-studien). Den typen av optimering är mycket komplex och svårlöst. Slutsatsen från den delstudien var att valet av upprustningsobjekt inte bör göras efter att man bestämt vilka avverkningar man planerar att göra (den taktiska avverkningsplanen). Anledningen är att en sådan planeringsordning riskerar att ge en inoptimal logistiklösning med avseende på vilka bestånd som avverkas när i förhållande till industriefterfrågan.

De två momenten ”val av bestånd” samt ”val av upprustningsobjekt” bör därför planeras samtidigt i samma modell. Om man exempelvis först gör en taktisk avverkningsplan och sedan optimerar väguppprustningar på den får man ett helt annat resultat än om man gör planeringen integrerat d.v.s. att modellen ur en bruttolista med möjliga avverkningsobjekt väljer vilka bestånd som ska avverkas samt vilka upprustningar som måste göras då.

7. Diskussion

7.1 OPTIMERINGSMODELL

Det finns ett antal olika aspekter som kan inkluderas i den befintliga optimeringsmodellen.

I den nuvarande modellen används logiska 0/1 variabler för att bestämma om en avverkning ska ske eller inte för varje trakt. Eftersom varje beslutsvariabel är oberoende, så går det inte att hitta lösningar som naturligt får närliggande trakter att avverkas samtidigt (under samma år eller säsong). En sådan lösning är att föredra eftersom det är möjligt att sänka flyttkostnaderna. Genom att definiera ett antal olika potentiella alternativ för avverkning under samma tidsperiod kan vi inkludera flera avverkningsbeslut i samma modell. Fördelen med sådana alternativ är att det går att förberäkna flyttkostnader för hela alternativet.

I den nuvarande modellen används sortimentsgrupp för efterfrågan. Om det finns speciella krav på fördelningar av olika sortiment t.ex. mer detaljerad beskrivning av sågtimmer krävs ytterligare villkor som beskriver inom vilka intervall olika sortiment kan användas för att tillgodose efterfrågan av sortimentsgrupp.

Tidsåtgång för en optimering beror på många faktorer bl.a. antalet bestånd, rutter och investeringsalternativ. Den senaste optimeringen i *Delstudie 3* tog ca 60 minuter på en dator med följande konfiguration: i7-4770 processor (fjärde generationen i7-processor), 3,40 GHz, 32GB minne (DDR3, 1 600 MHz), 4 kärnor med 8 logiska processorer. AMPL plus Gurobi (version 5.6.2).

7.2 DATA

Genereringen av rutter för flödesvariabler skulle kunna definieras mer detaljerat för att säkerställa att flera olika ruttval kan användas mellan varje par av trakt och industri (eller terminal).

Vikten av kvalitetssäkrade indata har påpekats tidigare och är väldigt viktig för trovärdiga resultat från optimeringen. Därför bör stor vikt läggas vid att kontrollera och vid behov redigera framför allt vägdata och planerade avverkningsvolymer. Även om mängden data att kontrollera är mycket stor bör det vara rimligt att om resurser finns, lägga 1–2 arbetsdagar på att gå igenom materialet och eliminera eventuella felkällor.

Hanteringen av indata (datafångst och förberedelse för optimering) är krävande och utgör definitivt den del i en analys som tar mest tid. Det är viktigt med en tydlig specifikation av de filer som ingår i analysen, såväl indata som utdata.

Eftersom utvecklingen av optimeringsmodellen har kommit längre än utvecklingen av SkogBase VägRust, stämmer inte alla filer som genereras av SkogBase VägRust till optimeringen. En manuell process måste därför göras för att anpassa vissa av filerna till optimeringsmodellen.

7.3 ANVÄNDNING AV SKOGBASE

SkogBase är ett verktyg utvecklat med i dag gammal teknik och dessutom med syfte att utgöra forskarhjälpmedel. Ingen vikt har lagts vid layout utan allt fokus har legat på att utveckla funktioner som underlättar vissa delar av indatagenereringen, exempelvis skapandet av vägval och rutter. SkogBase VägRust är i dag den enda applikation med färdiga funktioner för att skapa detta underlag.

Eftersom mycket utveckling skett sedan applikationen utvecklades, framför allt med avseende på hantering av väginformation och vägvalsgenerering, är det viktigt att se över möjligheten att utveckla nya funktioner som kan skapa det indataunderlag som optimeringsmodellen kräver. En applikation eller en samling funktioner som på ett enkelt sätt skapar rätt data utifrån senaste versionen av SNVDB och Krönt vägval skulle innebära mycket stora tidsbesparingar i kommande VägRust-analyser.

7.4 FALLSTUDIER

Fallstudierna har varit mycket viktiga i utvecklingen av de olika optimeringsmodellerna. De har, förutom att vara testbäddar för själva modellerna, gett resultat i form av underlag till fortsatt utveckling. Dessutom har man genom fallstudierna kunnat visa att modellerna fungerar.

8. Slutsatser

VägRustprojektet har visat att det är möjligt att med en optimeringsmodell göra upprustningsberäkningar och skapa bra underlag till planering av kostnadseffektiva väginvesteringar. Förutom upprustningsförslag ger modellen även förslag till vilken säsong bestånden ska avverkas i. Trots att planeringsproblemen är mycket svåra och innehåller en stor mängd parametrar att ta hänsyn till klarar modellen att skapa ett realistiskt och trovärdigt resultat.

Projektet har gett viktiga erfarenheter om krav på datakvalitet och prestanda hos både optimeringsmodeller, optimeringslösare och hårdvara.

För att kunna integrera beslut om avverkning utifrån en bruttolista med möjliga avverkningsbestånd och därmed skapa en taktisk avverkningsplan med väginvesteringar krävs fortsatt arbete i form av utveckling, test och utvärdering.

För en bred, praktisk tillämpning av modellen för vägupprustningar givet en specifik avverkningsplan krävs utveckling av dels en funktion för att använda data från SNVDB och Krönt vägval på ett rationellt sätt, dels funktionella applikationer som kan skapa data till modellen samt visualisera resultat.

9. Förslag till fortsatt utveckling

9.1 VIDAREUTVECKLING AV SKOGBASE/SKOGBASE VÄGRUST

Användargränssnittet har en gemensam plattform med FlowOpt och RuttOpt och bygger på en klientserverlösning. Gränssnittet behöver utvecklas med avseende på funktion och layout för att matcha behovet av ett snabbt och enkelt användargränssnitt.

Sedan datamodellen i SkogBase VägRust skapades har optimeringsmodellen utvecklats väsentligt, vilket inneburit att optimeringsfiler skapade med SkogBase inte till fullo matchar specifikationen för indata till optimeringen. Därför bör datamodellen i SkogBase VägRust uppdateras så att korrekta indatafiler till optimeringen skapas samt att SkogBase VägRust kan läsa resultatfilerna från optimeringen.

Ytterligare förslag till utveckling är:

- Funktioner för att hindra snappning av bestånd till väg där naturliga hinder finns, såsom vattendrag, sankmark, branter etc.
- Funktioner som skapar gruskostnad för de två billigaste grustäkterna (nu räknar modellen bara med den som ligger närmast).
- Funktioner för att hantera fler än ett vägval per kombination av bestånd och industri eller bestånd och terminal.
- Funktioner för summering och visualisering av indata före optimering.

Om SkogBase VägRust ska erbjudas intressentföretag måste systemet förberedas för implementering genom att ordna så att modell och databas enkelt kan installeras på server hos intressentföretag.

9.2 ALTERNATIV TILL UTVECKLING AV SKOGBASE/SKOGBASE VÄGRUST

Eftersom klientserverlösningen bygger på förhållandevis gammal teknik kan det vara idé att fundera på en ny typ av lösning för fortsatt utveckling av VägRust, exempelvis genom att utveckla nya rutiner för att skapa indatafiler till optimeringen utan att behöva använda SkogBase. Det innefattar bl.a. rutiner för att skapa vägval och spara alla länkar i respektive rutt, beräkna upprustningskostnader för varje upprustningsbar väg (länk) och generera filen ruttlankar.csv (beskriver alla investeringsbara länkarna i respektive rutt). Dessutom alla övriga funktioner som finns i SkogBase VägRust samt de som föreslås utvecklas enligt punkt 9.1.

Eftersom det är många anpassningar av SkogBase VägRust som måste göras kan det vara mer kostnadseffektivt att utveckla nya funktioner från början.

9.3 UTVECKLING AV OPTIMERINGSMODELL

I samband med fallstudien med Sveaskog har flera idéer om utveckling av optimeringsmodellen lyfts fram. För det första bör modellen uppdateras med avseende på namnsättning på filer och fältnamn efter exempelvis FlowOpt (exempelvis att gruppsortiment blir sortimentsgrupp) så att nomenklaturen blir samma för Skogforsks olika optimeringsmodeller.

För det andra bör modellen utvecklas för att kunna ta beslut om vilka bestånd som ska avverkas och när (år och säsong) så att modellen inte bara är ett stöd för upprustningar utan även skapar en taktisk avverkningsplan. För att åstadkomma detta måste modellen bl.a. inkludera information om nuvärden och bör då med fördel kopplas till data från Heurekas PlanVis. Mycket av detta har redan testats i samband med andra delen i fallstudien på Sveaskog. Det krävs dock mer arbete för att utveckla, testa och utvärdera dessa delar.

För det tredje bör modellen inkludera en funktion för klustring av bestånd. Klustring av avverkningsbestånd för att bl.a. minimera flyttar och minska snöröjningskostnader är en viktig del i avverkningsplaneringen och hanteras för närvarande inte i VägRust-modellen.

För det fjärde bör modellen även hantera problem med intilliggande bestånd för att inte skapa för stora sammanhängande avverkningsområden (adjacency-problematik).

9.4 ÖVRIGT

Hantering av vägnätsinformation och skapandet av en shapefil anpassad till VägRust är idag en besvärlig och tidsödande process. En utveckling av en rutin för att enkelt skapa ett VägRust-anpassat vägnät (från NVDB/SNVDB) skulle spara tid och underlätta framtida VägRuststudier.

10. Publikationer och presentationer

10.1 VETENSKAPLIGA ARTIKLAR

Flisberg P., Frisk M. & Rönnqvist M. 2014. Integrated harvest and logistic planning including road upgrading, Scandinavian Journal of Forest Research, published online July 7, 2014, DOI:10.1080/02827581.2014.929733.

Frisk M., Karlsson J. & Rönnqvist M. 2006. RoadOpt – A decision support system for road upgrading in forestry. Scandinavian Journal of Forest Research. 21(7):5–15.

Henningsson M., Karlsson J. & Rönnqvist M. 2007. Optimization models for forest road upgrade planning. Journal of Mathematical Modelling and Algorithms. 6(1):3–23.

Epstein R., Karlsson J., Rönnqvist M. & Weintraub A. Chapter 18: 2007. Harvest Operational Models in Forestry, In (Eds Weintraub, Romero, Bjørndal and Epstein) Handbook of Operations Research in Natural Resources, pp. 365–377, Spinger, 2007. (delar i)

10.2 ÖVRIGA PUBLIKATIONER

Frisk M. & Rönnqvist M. 2006. VägRust – planeringsstöd för prioritering av vägförbättringar. Resultat nr 14. Skogforsk.

Frisk M., Karlsson J. & Rönnqvist M. RoadOpt-A decision support system for road upgrading in forestry, LiTH-MAT-R-2005-08, Linköping University, Sweden.

Henningsson M., Karlsson J. & Rönnqvist M. Mixed integer programming models to support tactical forest road upgrade planning, LiTH-MAT-R-2004-20, Linköping University, Sweden.

Karlsson J. Optimization Models and Methods for Harvest Planning and Forest Road Upgrading, PhD thesis, Linköping University, Oral examination June 10, Dissertation No. 956, 2005. (Opponent Professor David Martell, University of Toronto, Canada).

10.3 PRESENTATIONER VID KONFERENSER OCH SEMINARIER

10.3.1 Mikael Frisk

VägRust – nya resultat. RIU 2013. 6–7 november, 2013. Skinnskatteberg, Sverige.

Integrated harvest and road upgrading planning. FORSYS 2013. 24–26 april, 2013. Umeå, Sverige.

Föreläsning: Planering för bättre vägar. SLU, Jägmästarprogrammet. Umeå, Sverige. 2006–2013.

Tactical harvest planning and forest road upgrading. 4th Forest Engineering Conference. 5–7 april, 2011. White River, Sydafrika.

Planning harvest activities and forest road investments. NSR/OSCAR 2010. 20-22 oktober, 2010. Honne, Norge.

Rusta rätt vägar. Utvecklingskonferens 2010. Februari-mars, 2010. 4 platser, Sverige.

Vägupprustning och säsongsplanering. Heureka Roadshow. November, 2009. 3 platser, Sverige.

Forest road upgrade planning using the system VägRust. 3rd Forest Engineering conference. 1–4 oktober, 2007. Mont-Tremblant, Kanada. (poster).

Spara pengar med smarta beslutsstöd. Utvecklingskonferens 2006. Februari-mars, 2006. 4 platser, Sverige.

A decision support system for forest road investments including a mixed integer programming model. IFOR 2005. 11–15 juli, 2005. Honolulu, Hawaii.

VägRust. Vägkonferens 2004. 20 april, 2004. Skinnskatteberg, Sverige.

Development of logistic tools for Swedish forestry. NSR 2004. 30-31 augusti, 2004. Hyytiälä Forest Field Station, Finland.

VägRust underlättar planeringen. Utvecklingskonferens 2004. Februari-mars, 2004. 4 platser, Sverige.

Vägrust – beslutstöd för investeringar vid upprustning av vägar. Nya vägar i skogsbruket – Vägseminarium. 2003. Uppsala. Sverige.

10.3.2 Mikael Rönnqvist

Forest Road Upgrading and Harvest Planning, INFORMS Annual Meeting, October 6–9, Minneapolis, USA, 2013.

Integrated harvest and road upgrading planning, 15th Symposium for Systems Analysis in Forest Resources, Analytics for Sustainable Forest Value Chains, August 19–21, Hôtel Château Laurier, Québec City, Canada, 2013.

Construction of forest road network at harvest areas, 26th EURO meeting/INFORMS, Rome, July 1–4, Italy, 2013.

A decision support system for road upgrading, 55th CORS Annual Conference, Vancouver, British Columbia, Canada, May 27–29, 2013.

Tactical harvest planning and forest road upgrading, 14th Symposium for Systems Analysis in Forest Resources, March 8–11, 2011 Maitencillo, Chile.

Road investment and harvest planning, INFORMS, fall meeting, November 7–10, Austin, Texas, USA, 2010.

Forest road upgrading and long term harvest planning in Sweden, Seminar, Université Laval, Quebec City, Canada, August 17, 2010.

Optimization to support forest road investment strategies in a changing climate, ALIO/Informs Joint International Meeting, Buenos Aires, Argentina, June 6–9, 2010.

Applications in the forest sector, Spring School on Combinatorial Optimization in Logistics, Université de Montréal, May 17–20, 2010.

Forest operations and logistic planning, FOR@C Summer School 2005, Supply chain management in the forest industry: fundamentals and innovations, Quebec City, Quebec, Canada, June 16–17, 2005.

Integrated logistics management in the forestry supply chain, Symposium for Systems Analysis in Forest Resources, Skamania Lodge, Stevenson, Washington, October 7–9, 2003.

Optimization in forestry, 18th International Symposium on mathematical Programming, August 18–22, Copenhagen, Denmark, 2003.

Forestry planning using OR models in Sweden, Workshop Taller Nucleo Milenium: Complex engineering systems, University of Chile, January 14, Santiago, Chile, 2003.

Supply chain optimization in forest industries, EURO Summer Institute XX, Supply Chain Management and Advanced Planning, August 23 – September 3, Grainau, Germany, 2002.

10.3.2 Patrik Flisberg

Integrated harvest and road upgrading planning. Precision Forestry Symposium. March 3–5, Stellenbosch, South Africa, 2014.

11. Referenser

Arvidsson P-Å., Forsberg, M., Jönsson A., Flisberg P. & Rönnqvist M. 2000. BIT. Arbetsrapport 470, 2000. Skogforsk.

Arvidsson, P-Å. & Jönsson, A. 2000. Industrivisa effekter av bristande bärighet. Arbetsrapport 445. 2000. Skogforsk.

Flisberg, P., Frisk, M. & Rönnqvist, M. 2014. Integrated harvest and logistic planning including road upgrading, Scandinavian Journal of Forest Research, published online July 7, 2014, DOI:10.1080/02827581.2014.929733.

Frisk, M., Karlsson, J. & Rönnqvist, M. 2006. RoadOpt – A decision support system for road upgrading in forestry. Scandinavian Journal of Forest Research. 21(7):5-15.

Myhrman, J. 2007. Planering av väginvesteringar. Arbetsrapport 182, 2007. SLU.

12. Bilagor

Bilaga 1. Optimeringsmodell.

Bilaga 1 - Optimeringsmodell för VägRust

Matematisk modell

Indexmängder:

skog

I : Mängd av avverkningstrakter (eller enbart trakter) (tillgång)
A : Mängd av sortiment
E : Mängd av avverkningsmöjligheter (slutavverkning och gallring)

vägar

R : Mängd av rutter
L : Mängd av länkar eller bågar i nätverket
V : Mängd av transportnoder
Q : Mängd av vägklasser
O : Mängd av budgetområden

industri

J : Mängd av mottagare eller industrier (efterfrågan)
G : Mängd av gruppsortiment

logistik

K : Mängd av terminaler
T_B : Mängd av ”Business” tidsperioder
T_A : Mängd av ”Anticipation” tidsperioder
T : Mängd av tidsperioder ($T = T_B \cup T_A$)
P : Mängd av säsonger inom en tidsperiod

Hjälpmängder:

skog

A_i^I : Mängd av sortiment vid trakt i
$\bar{P}_i$: Mängd av årliga perioder inom vilka trakt i INTE kan bli avverkad
E_i^I : Mängd av avverkningsmöjligheter som kan utföras vid trakt i

vägar

R_i^I : Mängd av rutter som startar i tillgångsnod i
R_l^ℓ : Mängd av rutter som använder länk l
R_j^J : Mängd av rutter som slutar vid industri j
R_k^s : Mängd av rutter som startar vid terminal k
R_k^e : Mängd av rutter som slutar vid terminal k
R_q^Q : Mängd av rutter med en minsta icke-investerbar länk av vägklass q
Q_{lq}^1 : länk l med vägklass q som kan investeras till vilken vägklass som helst i denna mängd
Q_{lq}^2 : Mängd av vägklasser som kan investeras till q för länk l
L_o^O : Mängd av länkar som tillhör budgetområde o

industri

G_r^R : Mängd av gruppsortiment som kan transporteras på rutt r
A_g^G : Mängd av sortiment som kan användas för att tillfredsställa gruppsortiment g

logistik

T_t' : Mängd av tidsperioder före och inklusive period t
T_{aitp}^i : Mängd av möjliga start-, slut-tider och säsonger för lager av sortiment a vid trakt i i tidsperiod t och säsong p
T_{aitp}^{i+} : Mängd av möjliga sluttider och säsonger för lager av sortiment a vid trakt i som är adderad under tidsperiod t och säsong p
T_{aitp}^{i-} : Mängd av möjliga start- och slut tider och säsonger för lager av sortiment a vid trakt i som tas ut under tidsperiod t och säsong p
T_{aktp}^k : Mängd av möjliga start-, slut-tider och säsonger för lager av sortiment a vid terminal k under tidsperiod t och säsong p
T_{aktp}^{k+} : Mängd av möjliga sluttider och säsonger för lager av sortiment a vid terminal k som är adderad under tidsperiod t och säsong p
T_{aktp}^{k-} : Mängd av möjkiga start- och slut tider och säsonger för lager av sortiment a vid terminal k som tas ut under tidsperiod t och säsong p

Parametrar:

skog

s_{iate} = tillgång vid trakt i av sortiment a om avverkad under tidsperiod t användande avverkningsmöjlighet e

c_i^{v0} = värde av trakt i om den inte avverkas

c_{ite}^{v1} = NPV värde för trakt i om den avverkas under tidsperiod t användande avverkningsmöjllighet e

c_{ite}^{v2} = skogsvärde av trakt i om den avverkas under tidsperiod t användande avverkningsmöjllighet e

c_{aitp}^{i} = enhetslagerkostnad vid trakt i för sortiment a vid slutet av tidsperiod t och säsong p

l_{iatp}^{I+} = max lagernivå vid trakt i för sortiment a id slutet av tidsperiod t och säsong p

vägar

c_{ragtv}^{x} = enhetsflödeskostnad för rutt r sortiment a gruppsortiment g i tidsperiod t av transportklass v

$c_{ltq'q}^{f}$ = fast kostnad om länk l är investerad i tidsperiod t från status q' till q ($q' \in Q_{lq}^{2}$). Slutvärdet för länken är borttagen

e_{lq} = 1 om länk l har vägklass q, 0 annars

ℓ_r = längd av rutt r (km)

b_{ot} = budget för område o i tidsperiod t

a_{vqp} = 1 om transportklass v kan använda vägklass q i säsong p, 0 annars

industri

d_{jgtp} = efterfrågan vid industri j gruppsortiment g i tidsperiod t och säsong p

d_t^t = total efterfrågan i tidsperiod t

β_p^+,β_p^- = max och min nivå som en säsong p är tillåten att avvika från sin efterfrågan

β_p^{p+},β_p^{p-} = max och min nivå som en säsong p är tillåten att avvika från sin efterfrågan

β_t^{y+},β_t^{y-} = max och min nivå som en tidsperiod t är tillåten att avvika från sin efterfrågan

γ_{jgtp}^{p} = straff för att garantera tilåtenhet vid industri j av gruppsortiment g i tidsperiod t och säsong p

γ_{jgt}^{y} = straff för att garantera tilåtenhet vid industri j av gruppsortiment g i tidsperiod t

logistik

c^k_{aktp} = enhetslagerkostnad vid terminal k av sortiment a i tidsperiod t säsong p

l^{K+}_{katp},l^{K-}_{katp} = max och min lagernivå för sortiment a vid terminal k i slutet av säsong p i tidsperiod t

t^c_{vtp} = transportkapacitet för transportklass v i tidsperiod t och säsong p

α^+, α^- = max och min proportion av totalt transportarbete som kan utföras i en tidsperiod

α^F = max proportion av totalt transportarbete som det prognosticerade transportarbetet av icke avverkade trakter kan ha

$\delta^{p+}_{tpe}, \delta^{p-}_{tpe}$ = max och min tillåten proportion av total avverkningstid använd för avverkningsmöjlighet e i tidsperiod t säsong p

$\delta^{y+}_{tpe}, \delta^{y-}_{te}$ = max och min tillåten proportion av total avverkninstid använd för avverkningsmöjlighet e i tidsperiod t

M_{lv} = stort tal för länk l och transportklass v (max tillåtet flöd på länk l med transportklasse v)

Beslutsvariabler:

z^1_{itpe} = 1 om trakt i är avverkad i tidsperiod t och säsong p med avverkningsmöjlighet e, 0 annars (när $t \in T_A$, är variabeln kontinuerlig mellan 0 och 1)

z^0_i = 1 om trakt i inte är avverkad

$v^i_{iatpt_2p_2}$ = lager vid trakt i av sortiment a från tidsperiod t och säsong p till tidsperiod t_2 och säsong p_2

$v^k_{katpt_2p_2}$ = lager vid terminal k av sortiment a från tidsperiod t och säsong p till tidsperiod t_2 och säsong p_2

$y_{ltq'q}$ = 1 om länk l är investerad i tidsperiod t från status q' till q, 0 annars (när $t \in T_A$, är variabeln kontinuerlig mellan 0 och 1)

x_{ragtpv} = flöde i rutt r av sortiment a för gruppsortiment g i tidsperiod t, annual period p, transportation class v

x^e_{iatp} = exportvolym från trakt i av sortiment a i tidsperiod t, säsong p

$w^{p-}_{jgtp}, w^{p+}_{jgtp}$ = straff för att garantera tillåtenhet vid industri j för gruppsortiment g i tidsperiod t och säsong p

$w^{y-}_{jgt}, w^{y+}_{jgt}$ = straff för att garantera tillåtenhet vid industri j för gruppsortiment g i tidsperiod t

h = totalt transportarbete

Optimeringsmodell

$$
\begin{aligned}
\min \quad z = & \sum_{l\in L}\sum_{t\in T}\sum_{q\in Q}\sum_{q'\in Q^2_{lq}} c^f_{ltq'q} y_{ltq'q} + \sum_{r\in R}\sum_{a\in A}\sum_{g\in G}\sum_{t\in T}\sum_{p\in P}\sum_{v\in V} c^x_{ragtv} x_{ragtpv} \\
& + \sum_{j\in J}\sum_{g\in G}\sum_{t\in T}\sum_{p\in P} \gamma^p_{jgtp}(w^{p-}_{jgtp} + w^{p+}_{jgtp}) + \sum_{j\in J}\sum_{g\in G}\sum_{t\in T} \gamma^y_{jgt}(w^{y-}_{jgt} + w^{y+}_{jgt}) \\
& + \sum_{i\in I}\sum_{a\in A}\sum_{t\in T}\sum_{p\in P}\sum_{(t_1p_1t_2p_2)\in T^i_{aitp}} c^i_{aitp} v^i_{iat_1p_1t_2p_2} + \sum_{k\in K}\sum_{a\in A}\sum_{t\in T}\sum_{p\in P}\sum_{(t_1p_1t_2p_2)\in T^k_{aktp}} c^k_{aktp} v^k_{kat_1p_1t_2p_2} \\
& - \sum_{i\in I} c^{v0}_i z^0_i - \sum_{i\in I}\sum_{t\in T}\sum_{p\in P}\sum_{e\in E} c^{v2}_{ite} z^1_{itpe}
\end{aligned}
$$

då

$$\sum_{e\in E^I_i} s_{iate} z^1_{itpe} - \sum_{(t_1p_1)\in T^{i+}_{iatp}} v^i_{iatpt_1p_1} = 0, \qquad \forall\, i\in I, a\in A, t\in T, p\in P \quad (1)$$

$$\sum_{r\in R^I_i}\sum_{g\in G^R_r}\sum_{v\in V} x_{ragtpv} + x^e_{iatp} - \sum_{(t_1p_1)\in T^{i-}_{iatp}} = 0, \qquad \forall\, i\in I, a\in A, t\in T, p\in P \quad (2)$$

$$\sum_{t\in T}\sum_{p\in P}\sum_{e\in E^I_i} z^1_{itpe} + z^0_i = 1, \qquad \forall\, i\in I \quad (3)$$

$$\sum_{(t_1p_1t_2p_2)\in T^i_{iatp}} v^i_{iat_1p_1t_2p_2} \le l^{I+}_{iatp}, \qquad \forall\, i\in I, a\in A, t\in T, p\in P \quad (4)$$

$$\sum_{i\in I}\sum_{a\in A}\sum_{t\in T}\sum_{p\in \bar{P}_i}\sum_{e\in E^I_i} z^1_{itpe} = 0, \quad (5)$$

$$\beta^{p-}_p d_{jgtp} \le \sum_{r\in R^J_j}\sum_{a\in A^G_g}\sum_{v\in V} x_{ragtpv} - \beta^{p+}_p d_{jgtp} \le 0, \qquad \forall\, j\in J, g\in G, t\in T, p\in P \quad (6)$$

$$\beta^{y-}_t \sum_{p\in P} d_{jgtp} \le \sum_{r\in R^J_j}\sum_{a\in A^G_g}\sum_{p\in P}\sum_{v\in V} x_{ragtpv} - \beta^{y+}_t \sum_{p\in P} d_{jgtp} \le 0, \qquad \forall\, j\in J, g\in G, t\in T \quad (7)$$

$$\sum_{r\in R^e_k}\sum_{g\in G^R_r}\sum_{v\in V} x_{ragtpv} - \sum_{(t_1p_1)\in T^{k+}_{katp}} v^k_{katpt_1p_1} = 0, \qquad \forall\, k\in K, a\in A, t\in T, p\in P \quad (8)$$

$$\sum_{r\in R^s_k}\sum_{g\in G^R_r}\sum_{v\in V} x_{ragtpv} - \sum_{(t_1p_1)\in T^{k-}_{katp}} v^k_{kat_1p_1tp} = 0, \qquad \forall\, k\in K, a\in A, t\in T, p\in P \quad (9)$$

$$l^{K-}_{katp} \le \sum_{(t_1p_1t_2p_2)\in T^k_{katp}} v^k_{kat_1p_1t_2p_2} \le l^{K+}_{katp}, \qquad \forall\, k\in K, a\in A, t\in T, p\in P \quad (10)$$

$$\sum_{r\in R}\sum_{g\in G^R_r}\sum_{a\in A^G_g} \ell_r x_{ragtpv} \le t^c_{vtp}, \qquad \forall\, v\in V, t\in T, p\in P \quad (11)$$

$$\sum_{i\in I}\sum_{r\in R^I_i}\sum_{g\in G^R_r}\sum_{a\in A^G_g}\sum_{t\in T}\sum_{p\in P}\sum_{v\in V} \ell_r/d^t_t x_{ragtpv}, = h, \quad (12)$$

$$\alpha^- h \le \sum_{i\in I}\sum_{r\in R^I_i}\sum_{g\in G^R_r}\sum_{a\in A^G_g}\sum_{p\in P}\sum_{v\in V} \ell_r/d^t_t x_{ragtpv} \le \alpha^+ h, \qquad \forall\, t\in T \quad (13)$$

$$\sum_{i\in I}\sum_{a\in A^I_i} s^0_{ia}\ell^0_{ia} z^0_i/d^F \le \alpha^F h, \qquad \forall\, t\in T \quad (14)$$

$$\sum_{i\in I:e\in E^I_i}(\sum_{a\in A^I_i} s_{iate}) z^1_{itpe} - \delta^p_{tpe}(\sum_{i\in I}\sum_{e_1\in E^I_i}(\sum_{a\in A^I_i} s_{iate_1}) z^1_{itpe_1}) \ge 0, \qquad \forall\, t\in T, p\in P, e\in E \quad (15)$$

$$\sum_{i\in I:e\in E^I_i}\sum_{p\in P}(\sum_{a\in A^I_i} s_{iate}) z^1_{itpe} - \delta^y_{te}(\sum_{i\in I}\sum_{p\in P}\sum_{e_1\in E^I_i}(\sum_{a\in A^I_i} s_{iate_1}) z^1_{itpe_1}) \ge 0, \qquad \forall\, t\in T, e\in E \quad (16)$$

$$\sum_{l\in L^O_o}\sum_{q\in Q}\sum_{q'\in Q^2_{lq}} c^f_{ltq'q} y_{ltq'q} \le b_{ot}, \qquad \forall\, o\in O, t\in T \quad (17)$$

$$\sum_{r\in R_l^\ell}\sum_{g\in G_r^R}\sum_{a\in A_g^G} x_{ragtpv} \leq (\sum_{q\in Q} a_{vqp}(e_{lq} + \sum_{t'\in T'_t}\sum_{q'\in Q^2_{lq}} y_{lt'q'q}))M_{lv} \ , \quad \forall\, t\in T, l\in L, v\in V, p\in P \quad (18)$$

$$\sum_{q\in Q}\sum_{r\in R_q^Q}\sum_{g\in G_r^R}\sum_{a\in A_g^G}\sum_{t\in T}\sum_{p\in P}\sum_{v\in V} x_{ragtpv} = 0, \qquad a_{vqp}=0 \quad (19)$$

$$\sum_{q'\in Q^1_{lq}} y_{ltqq'} - \sum_{t'\in T'_t}\sum_{q'\in Q^2_{lq}} y_{lt'q'q} \leq e_{lq}, \qquad \forall\, l\in L, t\in T, q\in Q \quad (20)$$

$$\begin{aligned}
z^1_{itpe} &\in \{0,1\}, && \forall\, i\in I, t\in T_B, p\in P, e\in E_i^I\\
z^1_{itpe} &\in [0,1], && \forall\, i\in I, t\in T_A, p\in P, e\in E_i^I\\
z^0_i &\in \{0,1\}, && \forall\, i\in I\\
y_{ltq'q} &\in \{0,1\}, && \forall\, l\in L, t\in T_B, q\in Q, q'\in Q^2_{lq}\\
y_{ltq'q} &\in [0,1], && \forall\, l\in L, t\in T_A, q\in Q, q'\in Q^2_{lq}\\
\text{all variables} &\geq 0,
\end{aligned}$$

Följande tabell beskriver respektive bivillkor kortfattat.

Bivillkor	Beskrivning
	skog
(1,2)	Tillgångsbalans
(3)	En trakt kan avverkas endast en gång (eller inte alls)
(4)	Max lager på trakt
(5)	Avverkning är inte möjlig vissa säsonger
	industri
(6)	Säsongsefterfrågan
(7)	Efterfrågan per tidsperiod d
	terminaler
(8,9)	Flödesbalans vid terminal
(10)	Min och max lager vid terminal
	logistik
(11)	Begränsad transportkapacitet
(12)	Medeltransportarbete per tidsperiod
(13)	Begränsning på transportarbete per tidsperiod
(14)	Begränsning på förväntat transportarbete per tidsperiod för icke avverkade trakter
(15)	Begränsning på proportioner av avverkningsmöjligheter per säsong
(16)	Begränsning på proportioner av avverkningsmöjligheter per tidsperiod
	vägar
(17)	Budgetbegränsning
(18)	Max flöde på en länk (beroende på vägklass)
(19)	Inget flöde är tillåtet på rutter med för låg kvalitet på vägklass
(20)	Begränsning på möjliga uppgraderingar för länkar

Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2013

2013

Nr 786 Grönlund, Ö. & Eliasson. L. 2013. Knivslitage vid flisning av grot. Effects of knife wear on performance and fuel consumption for a small drum chipper. 12 s.

Nr 787 Sonesson, J. & von Hofsten, H. 2013. Effektivare fältarbete med nya datakällor för skogsbruksplanering.

Nr 788 Bhuiyan, N., Arlinger, J. & Möller, J.J. 2013. Kvalitetssäkring av beräkningsresultat från hprCM och konvertering av pri- till hpr-filer. – Quality assurance of calculation results from hprCM and conversion of prifiles to hpr files. 24 s.

Nr 789 Brunberg, t. 2013. Bränsleförbrukningen hos skördare och skotare 2012. – Fuel consumption in forest machines 2012. 12 s.

Nr 790 Eliasson, L. 2013. Skotning av hyggestorkad grot. 11 s.

Nr 791 Andersson, g. & Frisk, M. 2013. Skogsbrukets transporter 2010. – Forestry transports in 2010. 91 s.

Nr 792 Nordström, M. & Möller, J.J. 2013. Kalibrering av skördarens mätsystem. – En kartläggning av nuläge och utvecklingsbehov. A review of current status and development needs. 15 s.

Nr 793 Lombardini, C., Granlund, P. & Eliasson, L. 2013. Bruks 806 STC. 0150 – Prestation och bränsleförbrukning. 9 s.

Nr 794 Fridh, L. 2013. Kvalitetssäkrad partsmätning av bränsleved vid terminal. – Quality-assured measurement of energy wood at terminals.

Nr 795 Hofsten von, H. & Brantholm, M.-Å. 2013. Kostnader och produktivitet i stubbskörd – En fallstudie. 9 s.

Nr 796 Brunberg, T. & Iwarsson Wide, M. 2013. Underlag för prestationshöjning vid flerträds-hantering i gallring. – Productivity increase after multi-tree handling during thinning. 7 s.

Nr 797 Spatial distribution of logging residues after final felling. – Comparison between forest fuel adapted final felling and conventional final felling methods. Trädresternas rumsliga fördelning efter slutavverkning. – Jämförelse mellan bränsleanpassad och konventionell avverkningsmetod. 19 s.

Nr 798 Möller, J.J., Arlinger, J. & Nordström, M. 2013. Test av StanForD 2010 implementation i skördare.

Nr 799 Björheden, R. 2013. Är det lönsamt att täcka groten? Effekten av täckpappens bredd på skogsbränslets kvalitet. – Does it pay to cover forest residue piles? The effect of tarpaulin width on the quality of forest chips. 15 s.

Nr 800 Almqvist, C. 2013. Metoder för tidig blomning hos tall och gran. – Slutrapport av projekt 40:4 finansierat av Föreningen skogsträdsförädling. – Early strobili induction in Scots pine and Norway spruce. – Final report of Project no. 40:4, funded by the Swedish Tree Breeding Association. 26 s.

Nr 801 Brunberg, T. & Mohtashami, S. 2013. Datoriserad beräkning av terrängtransportavståndet. – Computerised calculation of terrain transport distance. 8 s.

Nr 802 Sonesson, J., Eliasson, L., Jacobson, S., Wilhelmsson, L. & Arlinger, J. 2013. Analyses of forest management systems for increased harvest of small trees for energy purposes in Sweden.

Nr 803 Edlund, J., Jonsson, R. & Asmoarp, V. 2013. Fokusveckor 2013 – Bränsleuppföljning för två fordon inom ETTdemo-projektet, ST-kran och ST-grupp. – Monitoring fuel consumption of two rigs in the ETTdemo project, ST-crane and ST-group. 22 s.

Nr 804 Iwarsson-Wide, M., Olofsson, K., Wallerman, J., Sjödin, M., Torstensson, P. O., Aasland, T., Barth, A. & Larsson, M. 2013. Effektiv volymuppskattning av biomassa i vägkanter och ungskogar med laserdata. – Effective estimate of biomass volume on roadsides and in young forests using laser data 40 s.

Nr 805 Iwarsson-Wide, M., L., Bäfver, Renström, C. & SwedPower, P. 2013. Fraktionsfördelning som kvalitetsparameter för skogsbränsle – Kraft- och värmeverkens perspektiv. 38 s.

Nr 806 Englund, M. & Jönsson, P. 2013. LED-lampor i såglådan – En pilot¬studie. – LED lamps in the saw box – A pilot study. 8 s.

Nr 807 Nordlund, A., Ring, E., Högbom, L. & Bergkvist, I. 2013. Beliefs among Formal Actors in the Swedish Forestry Related to Rutting Caused by Logging Operations. – Attityder och åsikter med koppling till körskador inom olika yrkesgrupper i skogsbruket 18 s.

Nr 808 Arlinger, J. & Jönsson, P. 2013. Automatiska tidsstudier i skogsmaskinsimulator. – Driftuppföljning och produktionsdata enligt StanFord 2010. Automatic time-studies in forest machine simulators – Operational monitoring and production data according to StanForD 2010. 10 s.

Nr 809 Englund, M., Mörk, A. & Jönsson, P. 2013. Skotartävling på Elmia – Kran- och motor-inställningars påverkan på bränsleförbrukning och tidsåtgång. Forwarder contest at Elmia. – Effect of crane and engine settings on fuel consumption and speed of work. 9 s.

Nr 810 Eliasson, L., Lombardini, C., Lundstruöm, H. & Granlund, O. 2013. Eschlböck Biber flishugg – Prestation och bränsleförbrukning – Rangering av fliscontainrar med en John Deere 1410 containerskyttel.

Nr 811 Eliasson, L. 2013. En simulering av en integrerad skördare för förpackad flies vid energiut tag i gallring. – Simulation of an integrated harvester for pre-packaged chips during energy harvest in early thinning. 16 s.

Nr 812 Englund, M. 2013. Test av stolar och tillbehör med avseende på helkroppsvibrationer. Test of seats and associated equipment in terms of whole-body vibrations. 32 s.

Nr 813 Enström, J., Athenasiadis, D., Öhman, M. & Grönlund ,Ö. 2013. Framgångsfaktorer för större skogsbränsleterminaler. – Success factors for larger energy wood terminals. 41 s.

Nr 814 Wennström, U. 2013. Holmens fröbehov, produktion och genetisk kvalitet 2012-2060. – Holmen's seed requirements: production and genetic quality 2012-2060. 50 s.

Nr 815 Hannrup, B., Andersson, M., Larsson, J., Sjöberg, J. & Johansson, A. 2013. Slutrapport för projekt "Beröringsfri diametermätning i skördare – Utveckling av skräpreducerande skydd". – Final report of the project 'Remote measurement of stem diameter in harvesters. Develop ment of shields to reduce debris'. 78 s.

Nr 816 Eriksson, E. & Täljeblad, M. 2013. Prekal – Självföryngring före slutavverkning. – Slutrapport Försök 1–6. Prekal. – Natural regeneration before final felling. Final report, Experiments 1–6. 28 s.

2014

Nr 817 John Arlinger, Torbjörn Brunberg, Hagos Lundström och Johan Möller. Jämförelse av JD1170E och JD1470E i slutavverkning hos SCA Skog AB hösten 2013. Comparison of JD1170E and JD1470E in final felling at SCA Skog AB, autumn 2013. 29 s.

Nr 818 Bergkvist, I., Friberg, G., Mohtashami, S. & Sonesson, J. 2014. STIG-projektet 2010–2014. The STIG Project, 2010–2014. 19 s.

Nr 819 Björheden, R. 2014. Studie av Fixteri FX15a klenträdsbuntare. Study of Fixteri FX15a small-tree bundling unit.

Nr 820 Löfroth, C. & Brunberg, T. 2014. Bränsleförbrukningen hos rundvirkesfordon 2008 och 2013. Fuel consumption of roundwood vehicles in 2008 and 2013. 12 s.

Nr 821 Jönsson, P., Hannrup, B., Gelin, O. & Löfgren, B. 2014. Utvärdering av sågenheten R5500 med avseende på kaptid och energiåtgång. Evaluation of the R5500 sawing unit in terms of bucking time and fuel consumption. 24 s.

Nr 822 Eliasson, L. & Johannesson, T. 2014. Effekten av olika bottensåll på prestation, bränsleförbrukning och flisens fraktionsfördelning för flishuggarna Kesla 645 och Eschlböck Biber-92. – Effects of sieve size on chipper productivity, fuel consumption and chip size distribution for the chippers Kesla 845 and Eschlböck Biber-92. 18 s.

Nr 823 Eliasson, L., Lombardini, C., Granlund, P., Magagnotti, N. & Spinelli, R. 2014. Prestation och bränsleförbrukning för en lastbilsmonterad Pezzolato PTH 1200/820 flishugg. – Performance and fuel consumption of a truck-mounted Pezzolato PTH 00/820 chipper. 12 s.

Nr 824 Grönlund, Ö. & Iwarsson Wide, M. 2014. Lastindikatorer och lastbärarvågar. 12 s.

Nr 825 Sikström, U. 2014. Föryngring av gran under högskärm: Försöksverksamhet vid Bergvik Skog – Uppföljning 2013.

Nr 826 Englund, M. 2014. Mätning av mental arbetsbelastning – En metodstudie. 27.

Nr 827 Jönsson, P., Björheden, R. & Eliasson, L. 2014. Destinering och lägesbyten för att effektivisera transporterna av skogsflis.

Nr 828 Barth, A., Holmgren, J., Wilhelmsson, L. & Nordström, M. 2014. Evaluation of single tree based estimates with terrestrial laser scanning in Sweden. – Utvärdering av skattningar för enskilda träd baserade på markbaserad laserskanning i Sverige. 32 s.

Nr 829 Jacobson, S. Asktillförsel och dess påverkan på trädens tillväxt och näringsstatus – Revision av sex fältförsök. 32 s.

Nr 830 Björheden, R. 2014. Proceedings of the Nordic Baltic Conference OSCAR14 Solutions for Sustainable Forestry Operations, June 25-27, NOVA Park Conference, Knivsta, Sweden.

Nr 831 Widinghoff, J. 2014. Kontinuering uppföljning av drivmedelsförbrukning och lastfyllnadsgrad för ETT- och ST-fordon. – Continual monitoring of fuel consumption and load utilisation of ETT- and ST-vehicles. 21 s.

Nr 832 Fridh, L. 2014. Utvärdering av fukthaltsmätare METSO MR Moisture Analyzer. Evaluation of the METSO MR Moisture Analyser. 8 s.

Nr 833 Eliasson, L., Lundström, H. & Granlund, P. 2014. Bruks 806 STC. – En uppföljande studie av prestation och bränsleförbrukning. – A performance and fuel consumption when chipping logging residues of beech 10 s.

Nr 834 Eliasson, L., Lundström, H. & Granlund, P. 2014. Bruks 806 STC. – En uppföljande studie av prestation och bränsleförbrukning. – A performance and fuel consumption when chipping logging residues of beech 10 s.

Nr 835 Eliassson, L. & Johannesson, T. 2014. Flisning av bränsleved och delkvistad energived med en stor trumhugg–CBI6400. – Chipping of stem wood and partly delimbed energy wood using a large drum chipper, CBI 6400, at a terminal. 12 s.

Nr 836 Johansson, F., Grönlund, Ö., Von Hofsten, H. & Eliasson, L. 2014. Huggbilshaverier och dess orsaker. – Chipper truck breakdowns and their causes. 12 s.

Nr 837 Rytter, L. 2014. Rytter, L. & Lundmark, T. 2014. Trädslagsförsök med inriktning på biomassaproduktion. – Etapp 2. – Tree species trial with emphasis on biomass production. 20 s.

Nr 838 Skutin, S.-G., Mörk, A., Jönsson, P. & Jonsson, R. 2014. Simulering av TimberPro drivare med lastanordning i slutavverkning. – Drivare med automatisk lastning och nytt arbetssätt. Simulation of TimberPro harwarder with loading device in final felling. – Harwarder with automatic loading and new method of working. 19 s.

Nr 839 Fridh, L. 2014. Evaluation of the METSO MR Moisture Analyser. – Utvärdering av fukthaltsmätare METSO MR Moisture Analyzer. s. 8.

Nr 840 Andersson, G. & Svenson, G. 2014. Viktsutredningen del 2. Vägning för transportvederlag. – Weight study Part 2. Weighing for transport remuneration.

Nr 841 Mullin, T. J. 2014. OPSEL 1.0: a computer program for optimal selection in forest tree breeding. – Opsel 1.0: Dataprogram för optimalt urval i skogsträdsförädlingen s. 20.

Nr 842 Persson, T. & Ericsson, T. 2014. Projektrapport. Genotyp – Miljösamspel hos tall i norra Sverige. – Projektnummer 133. – Genotype-environment interactions in northern Swedish Scots pine. 12 s.

Nr 843 Westin, J., Helmersson, A. & Stener, L.-G. 2014. Förädling av lärk i Sverige – Kunskap slägeoch material. Genetic improvement of larch in Sweden – knowledge status and seed materials. 55 s.

Nr 844 Hofsten von, H., Nordström, M. & Hannrup, B. 2014. Kvarlämnade stubbar efter stubbskörd. – Stumps left in the ground after stump harvest 15 s.

Nr 845 Pettersson, F. 2014. Röjnings- och gallringsförbandets samt gödslingsregimens (ogödslat/gödslat) effekter i tallskog på skogsproduktion och ekonomi. – Effects of spacing (pre-com mercial thinning and thinning) and fertilisation regime (unfertilised/fertilised) on production and economy in Scots pine forest. 69 s.

Nr 846 Pettersson, F. 2014. Behovet av bortillförsel vid kvävegödsling av barrskog på fastmark. – Boron additive needed in nitrogen fertilisation of coniferous forest on mineral soil. 32 s.

Nr 847 Johannesson, T. 2014. Grövre bränsle en omöjlig uppgift? – Larger fuel chips an impossibility. – Biomass Harvest and Drying Training Seminar Fond du Lac Reservation Cloquet, Minnesota. s. 16.

Nr 848 Johannesson, T. 2014. Simulering av TimberPro drivare med lastanordning i slutavverkning. – Biomass Harvest and Drying Education Fond du Lac Reservation Cloquet, Minnesota. 13 s.

Nr 849 Jönsson, P., Eliasson, L. & Björheden, R. 2014. Location barter may reduce forest fuel transportation cost. – Destinering och lägesbyten för att effektivisera transporterna av skogsflis. s 10.

Nr 850 Englund, M., Häggström, C., Lundin, G. & Adolfsson, N. 2014. Information, struktur och beslut – En studie av arbetet i gallringsskördare och skördetröska. – Information, structure and decisions – a study of the work done by thining harvesters and combine harvesters.

Nr 851 Berlin, M., Ericsson, T. & Andersson-Gull, B. 2014. Plantval – manual med implementeringsteknisk bakgrund. – Plantval – manual and background to technical implementation. 57 s.

Nr 852 Jansson, G. & Berlin, M. 2014. Genetiska korrelationer mellan tillväxt- och kvalitetsegenskaper- – Genetic correlations between growth and quality traits. 26 s.

Nr 853 Hofsten von, H. 2014. Utvärdering av TL-GROT AB's stubbaggregat. – Evaluation of the TL-GROT AB stump harvester 10 s.

Nr 854 Iwarssson Wide, M., Nordström, M. & Backlund, B. Nya produkter från skogsråvara-En översikt av läget 2014. – New products from wood raw material-Status report 2014. 62 s.

Nr 855 Willén, E. & Fridh, L. 2014. Mobilt mätsystem för insamling av träd- och beståndsdata. – Mobile measurement system for collecting tree and stand data. 34 s.

2015

Nr 856 Widinghoff, J. 2015. Logistiklösning för delkvistat sortiment – Lätta skyddsplåtar på virkesbilar för transport av träddelar och delkvistade sortiment. – Lightweight side-shields on timber trucks transporting partly delimbed energy wood. 15 s.

Nr 857 Hannrup B, Bhuiyan N. Möller J.J. 2015. Rikstäckande utvärdering av ett system för automatiserad gallringsuppföljning. – Nationwide evaluation of a system for automated follow-up of thinning.

Nr 858 Frisk, M., Rönnqvist, M. & Flisberg, P. 2015. VägRust – Projektrapport. 2015. VägRust – Project Report. 54 s.

SKOGFORSK

– Stiftelsen skogsbrukets forskningsinstitut

arbetar för ett lönsamt, uthålligt mångbruk av skogen. Bakom Skogforsk står skogsföretagen, skogsägareföreningarna, stiften, gods, skogsmaskinföretagare, allmänningar m.fl. som betalar årliga intressentbidrag. Hela skogsbruket bidrar dessutom till finansieringen genom en avgift på virke som avverkas i Sverige. Verksamheten finansieras vidare av staten enligt särskilt avtal och av fonder som ger projektbundet stöd.

FORSKNING OCH UTVECKLING

Två forskningsområden:

- Skogsproduktion
- Virkesförsörjning

UPPDRAG

Vi utför i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter.
Det kan gälla utredningar eller an¬passning av utarbetade metoder och rutiner.

KUNSKAPSFÖRMEDLING

För en effektiv spridning av resultaten används flera olika kanaler: personliga kontakter, webb och interaktiva verktyg, konferenser, media samt egen förlagsverksamhet med produktion av trycksaker och filmer.

Från Skogforsk nr. 858–2015

SKOGFORSK

www.skogforsk.se

SKOGSBRUKETS FORSKNINGSINSTITUT · THE FORESTRY RESEARCH INSTITUTE OF SWEDEN
Uppsala Science Park, SE-751 83 UPPSALA, Sweden Ph. +46 18 18 85 00 skogforsk@skogforsk.se http//www.skogforsk.se