

BIT

*Per-Åke Arvidsson, Mattias Forsberg, Anders Jönsson samt
Patrik Flisberg & Mikael Rönquist, Linköpings universitet*



Omslag: Beslutsvariationen vid väginvesteringar. **Teckning:** Anna Marconi
Ämnesord: Vägar, väginvesteringar, beslutsstöd, optimering, tjällossning

SkogForsk – Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut

SkogForsk arbetar för ett långsiktigt, lönsamt skogsbruk på ekologisk grund. Bakom SkogForsk står skogsbolag, skogsägareföreningar, stift, gods, allmänningar, plantskolor, SkogsMaskinFöretagarna 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.

SkogForsk arbetar med forskning och utveckling med fokus på fyra centrala frågeställningar: Produktvärde och produktionseffektivitet, Miljöanpassat skogsbruk, Nya organisationsstrukturer samt Skogsodlingsmaterial. På de områden där SkogForsk har särskild kompetens utförs även i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter.

Serien **Arbetsrapport** dokumenterar långliggande försök samt inventeringar, studier m.m. och distribueras enbart efter särskild beställning.

Forsknings- och försöksresultat från SkogForsk publiceras i följande serier:

SkogForsk-Nytt. Nyheter, sammanfattningar, översikter.

Resultat. Slutsatser och rekommendationer i lättillgänglig form.

Redogörelse. Utförlig redovisning av genomfört forskningsarbete.

Report. Vetenskapligt inriktad serie (på engelska).

Handledningar. Anvisningar för hur olika arbeten lämpligen utförs.

Förord

Projektet *Beslutstöd för investeringar i bärighetsbärande åtgärder* – BIT (KFB Dnr 1999-0619), har initierats av Skogsindustrierna, LRF Skogsägarna och Sågverkens Riksförbund med Kommunikationsforskningsberedningen (KFB) som huvudfinansiär.

Vi vill rikta ett stort tack till initiativtagare och finansiärer.

Under projektet har SkogForsks projektgrupp haft stor hjälp av nedanstående styrgrupp:

| | |
|-------------------|------------------------|
| Dick Carlsson | Södra Skogsägarna |
| Jan Gustafsson | Stora Enso Skog |
| Sven Hogfors | LRF Skogsägarna |
| Arne Johansson | Vägverket |
| Anders P Järlesjö | AssiDomän |
| Bernt Nordin | SCA Forest and Timber |
| Roland Palm | Sågverkens riksförbund |
| Staffan Thonfors | Skogsindustrierna |

Vi vill härmed tacka alla medlemmar i styrgruppen för konstruktiva styrgruppsmöten och nyttiga synpunkter på arbetets genomförande.

Ett speciellt tack riktas till de personer på Vägverket som har hjälpt oss med att ta fram uppgifter om det statliga vägnätet och delar av det privata, vilket har varit en förutsättning för projektets genomförande.

Vidare har Olle Ankarling och övrig personal på Stora Enso Skog centralt i Falun och ute på Storfors bevakning levererat uppgifter om skogstillstånd, kostnadsfunktioner och det privata vägnätets status.

Nicklas von Below, skogsingenjörstudent, har på ett bra sätt genomfört sitt examensarbete inom BIT-projektet och bidragit till att lösa delar av de GIS-problem som vi stött på under arbetets gång.

Uppsala i januari 2001

Per-Åke Arvidsson
Patrik Flisberg
Mattias Forsberg
Anders Jönsson
Mikael Rönnqvist

Innehåll

| | |
|---|----|
| Abstract..... | 5 |
| Sammanfattning..... | 6 |
| Inledning..... | 7 |
| Bakgrund..... | 7 |
| Syfte..... | 7 |
| Avgränsning..... | 7 |
| Disposition..... | 8 |
| Problembeskrivning..... | 8 |
| Utbud av skogsråvara..... | 8 |
| Efterfrågan av skogsråvara..... | 9 |
| Vägnät med bärighetshinder och tjälavstängningar..... | 9 |
| Kvalitets- och lagringskostnader..... | 10 |
| Upprustning av vägar..... | 10 |
| Statliga respektive privata vägar..... | 10 |
| Matematisk modell..... | 11 |
| Övergripande..... | 11 |
| Problemtyp..... | 11 |
| Begrepp för nätverket..... | 12 |
| Variabeldefinition..... | 13 |
| Modellparametrar..... | 13 |
| Modell..... | 14 |
| Målfunktion..... | 14 |
| Bivillkor..... | 15 |
| Lösningsmetod..... | 15 |
| Heltalsproblem och trädsökning..... | 15 |
| Modellstorlek..... | 16 |
| Modelleringspråk och metoder..... | 16 |
| Exempel..... | 17 |
| Fallstudie, Stora Enso Skog, Storfors bevakning..... | 20 |
| Allmänt..... | 20 |
| Stora Enso Skog, Storfors bevakning..... | 21 |
| Datafångst och bearbetning av skoglig data..... | 22 |
| Datafångst och bearbetning av vägdata..... | 23 |
| Insamling av data och beräkning av upplagringsbehov..... | 30 |
| Datafångst och beräkning av kvalitets- och lagringskostnader..... | 31 |
| Datafångst och bearbetning av investeringskostnader..... | 31 |
| Insamling av industri- och transportkostnadsdata..... | 33 |
| Tillåtna väginvesteringar..... | 33 |
| Analyserade scenarier..... | 34 |

| | |
|--|----|
| Resultat | 38 |
| Metod..... | 38 |
| Fallstudie, Stora Enso Skog, Storfors bevakning..... | 38 |
| Diskussion..... | 43 |
| Matematisk modell..... | 43 |
| Lösningmetod..... | 44 |
| Metod, datafångst..... | 44 |
| Fallstudie | 44 |
| Resultat Fallstudie..... | 45 |
| Problem och möjligheter | 46 |
| Slutsatser..... | 50 |
| Matematisk modell..... | 50 |
| Metod..... | 50 |
| Fallstudie | 50 |
| Framtida utvecklingsbehov..... | 51 |
| Referenser..... | 52 |
| Litteratur..... | 52 |
| Muntliga referenser..... | 52 |
| Bilaga 1 Beskrivning av matchning av vägnät..... | 53 |

Abstract

Public and private roads, with an insufficient carrying capacity or blocking due to frost heaving or heavy rainfall annually contribute to a considerable profit loss in the Swedish forestry sector (Arvidsson & Holmgren, 1999). The forestry is forced to build large stocks of raw material in order to secure a continuous supply to the industries during periods of uncertain accessibility to parts of the road network. This will require higher harvest and transport capacity than necessary resulting in higher costs. Storing of raw material also affects the quality and freshness of the timber and pulpwood, which decreases the efficiency in the industrial processes and contribute to further costs.

A method to reduce costs related to frost heaving or rain problems, is to restore the road network to a standard that will guarantee accessibility even during severe weather conditions. Connected to this is the problem of determining where a road upgrading or restoration is the most profitable and which combination of objects that should be chosen within the limits of the budget.

The major purpose of the BIT project was to develop a decision support tool for optimal investments in road restoration. The project was financed by the Swedish Transport and Communications Research Board (KFB) and was accomplished in close co-operation with the hosting company Stora Enso Forest Sweden, the Swedish National Road Agency and the Division of Optimization at MAI, Linköping Institute of Technology.

A decision support tool was developed that track and prioritize road links that require upgrading of carrying capacity or restoration in the public as well as in the private road network. This is achieved by a strategic optimization model describing the relations between road investments and benefits for the forestry and the forest industries. The costs for a road investment are compared with the benefits due to lower transport costs, lower stock levels and higher raw material quality.

Road data and information on present and future forest holdings are sampled from geographical information systems. An objective within the development of the decision support tool was to use a general and flexible database structure that will simplify future development and use of the tool.

Results from the development of the optimization tool and the case study at Stora Enso Forest prove that it is possible to simulate the supply of raw material flowing through a road network from the forest to the demand points at industry. The model is selecting and prioritizing investment object subject to a number of constraints in multiple periods. The roads database, which was developed in conformity with the structure of the Swedish National Roads Database, offers the possibility to describe flows of wood in great detail.

Research and development is needed in model design and solution methods in order to decrease the time used for calculating a solution and increase the size of the problem. Furthermore methods for reduction and aggregation of data is needed as well as a model for sampling of forestry data in areas dominated by family forestry and a methodology for improved connection of forestry data to nodes in the road network.

Sammanfattning

Allmänna och enskilda vägar med bristande bärighet eller avstängningar p.g.a. tjällossning eller höstregn kostar årligen den svenska skogsnäringen stora summor (Arvidsson & Holmgren, 1999). För att garantera industrin en kontinuerlig leverans av råvara under svåra perioder, tvingas skogsbruket bygga upp ett råvarulager. Detta leder till ett behov av överkapacitet i avverknings- och transportorganisationerna. Vidare leder lagringen till kostnader, utöver den direkta fysiska hanteringen, p.g.a. att råvaran åldras, varvid effektiviteten i de industriella processerna försämras och därmed bidrar till ytterligare kostnader.

Ett sätt att undvika kostnader relaterade till tjällossnings- eller höstregnsproblem är att rusta upp vägnätet till en standard som garanterar framkomlighet även under svåra väderleksförhållanden. Detta är dock förknippat med problemet att avgöra var en vägupprustning gör störst nytta och var insatser inom en begränsad budgetram ska sättas in.

Syftet med BIT-projektet var att skapa ett beslutsstöd för investeringar i bärighetshöjande åtgärder. Projektet finansierades av Kommunikationsforskningsberedningen (KFB) och genomfördes i nära samarbete med markvärden Stora Enso Skog AB, Vägverkets projekt för Nationell vägdatabas (NVDB) samt avdelningen för optimeringslära vid Matematiska institutionen, Linköpings universitet.

Med hjälp av ett utvecklat beslutsstöd kan vägsträckor i det statliga respektive enskilda vägnätet, som är i behov av bärighetshöjande åtgärder samt tjälsäkring, identifieras och prioriteras. Detta sker med hjälp av en strategisk optimeringsmodell som beskriver sambanden mellan väginvesteringar och de effekter dessa får för skogsbruket, skogsindustrin och råvaruflödet mellan skog och industri. Kostnader för en väginvestering vägs mot intäkter i form av minskade upplagringsbehov och lagringskostnader, färskare råvara som belastas med lägre kvalitetskostnader samt lägre transportkostnader.

Genom att använda geografiska informationssystem och skogliga planeringsmodeller erhålles data om nuvarande och framtida skogstillstånd, liksom det aktuella vägnätets status. Uppgifter om tjälavstängningar i det allmänna vägnätet har legat till grund för flödet i en nätverksmodell vars struktur liknar den kommande nationella vägdatabasens. Vid utvecklingen av modellen har det strävats mot att använda en generell datastruktur som medger flexibilitet vid framtida utveckling och användning av beslutsstödet.

Resultaten från utvecklingsarbetet och den genomförda fallstudien visar att det går att simulera utbudet av råvara från skogen samt flödet mot industrierna. Selektion av väginvesteringsobjekt sker under det antal tidsperioder som specificeras. Vidare erbjuder NVDBs struktur goda möjligheter att beskriva virkesflöden med hög detaljeringsgrad.

Fortsatt utvecklingsarbete återstår vad gäller modellutformning samt lösningsmetoder för att medge kortare lösningstider samt möjlighet att studera större områden än delar av ett län. Metoder behöver utvecklas för att reducera och filtrera datamängder. Därutöver krävs utveckling av metoder för att skatta utbudet av skogsråvara i områden dominerade av familjeskogsbruk samt en förbättrad metodik för koppling av skoglig data till vägnoder.

Inledning

Bakgrund

Ökade marknadskrav på högkvalitativa, miljövänliga skogsindustriprodukter, t.ex. LWC-papper, förbättrat tryckpapper och K-fasad, samt skärpt priskonkurrens från andra material och marknader, ställer allt högre krav på bl.a. färsk råvara, differentiering av råvaran till olika ändamål, kontinuerliga leveranser, kapitalrationalisering och minskade buffertlager. En förutsättning för att nå uppställda kravnivåer är ett effektivt virkesflöde, vilket till stor del är beroende av ett väl fungerande vägnät.

Sedan tidigare vet vi att bristande bärighet och tjälavstängningar i det statliga vägnätet medför omfattande kostnader för skogsnäringen i Sverige (KFB Dnr 1999-0095; Arvidsson & Holmgren, 1999). För att begränsa dessa kostnader krävs det omfattande investeringar både i det statliga och i det enskilda vägnätet. En stöttesten i sammanhanget är att bestämma till vilka investeringsobjekt de begränsade budgetmedel som finns att tillgå ska fördelas.

Den tidigare utvecklade modellen (KFB Dnr 1999-0095; Arvidsson & Holmgren, 1999) har nu vidareutvecklats med hjälp av GIS-stöd och en optimeringsmodell till ett beslutsstöd för kostnadseffektiva investeringar i bärighetshöjande åtgärder på ett lokalt plan.

Syfte

Projektet *Beslutsstöd för investeringar i bärighetshöjande åtgärder*, BIT, syftar till att:

1. Utveckla en strategisk optimeringsmodell för att beskriva sambanden mellan bärighetshöjande investeringar i det statliga respektive enskilda vägnätet och nyttan för industrin. Modellen ska vara tillämpbar vid prioriteringar av investeringar på ett lokalt plan inom en eller flera industriernas fångstområden under en eller flera tidsperioder på 5–10 år.
2. Utredda möjligheterna att i denna modell utnyttja GIS-information om vägnätet (exv. från NVDB och olika andra vägdata-baser) och skogstillståndet (exv. från digitaliserad skogbruksplaninformation) som datakällor för ett beslutsstöd.
3. Visa resultaten från optimeringsmodellen beräknat på väginvesteringar inom ett pilotområde.

Avgränsning

Modellen syftar till att beskriva väginvesteringars effekter på en strategisk nivå, vilket medför att de prioriteringar som görs baseras på årliga avverkningsvolymer. Detta får till följd att de lösningar som genereras inte ger ledning om när under året de olika trakterna ska avverkas för att erhålla den gynnsammaste kostnadsbilden. På samma sätt begränsas optimeringsmodellen till att utnyttja data om industriernas årliga förbrukning och inte data som beskriver den variation i efterfrågan av olika sortiment över ett år, som förekommer i praktiken.

Vägavstängningarnas längd, tidpunkt och spridning över vägnätet modelleras inte utan baseras på historiska data och erfarenheter. Vidare antas att den lageruppbyggnad som görs ska klara perioder med bärighetsbegränsningar. Denna bygger på kalkyler som tar hänsyn till de lagernivåer som krävdes för att klara historiskt sett svåra tjällossningsår.

Projektet avser att med den utvecklade modellen beskriva nyttan av väginvesteringar i huvudsak för skogsnäringen, med hänsyn taget till övriga kategorier vägnyttjare på en övergripande nivå. Detta innebär att såväl företags-ekonomiska som samhällsekonomiska överväganden kan göras vid prioriteringen av väginvesteringar.

Pilotstudien beskriver ett företags virkesflöde från ett begränsat område till ett begränsat antal industrier för ett fåtal virkessortiment. Detta gör att pilotstudien ger en generaliserad bild av verkligheten med huvudsyftet att testa optimeringsmodellen. Ingen hänsyn tas till eventuella förändringar i industrins efterfrågan över tiden eller andra faktorer som kan tänkas förändras över en 20-årsperiod.

Disposition

Arbetsrapporten är disponerad så att det följande avsnittet, *Problembeskrivning*, beskriver problemet som avses lösas. Därefter beskrivs den matematiska modellen och det ges en presentation av den lösningsmetod som användes samt ett exempel. I avsnittet *Fallstudie, Stora Enso Skog, Storfors bevakning* redogörs för datafångst, bearbetning av data samt vilka scenarier som avses analyseras. I resultatavsnittet presenteras resultaten av dels modellutvecklingen, dels fallstudien. Detta följs av avsnittet *Diskussion*, där den matematiska modellen diskuteras liksom resultaten av fallstudien samt de problem och möjligheter som är förknippade med den utvecklade modellen. Framtida utvecklingsbehov identifieras och belyses innan slutsatser avslutningsvis dras.

Problembeskrivning

Utbud av skogsråvara

Utbudet av skogsråvara inom ett större område (exempelvis ett län) är relativt jämnt över tiden om det bedrivs ett uthålligt skogsbruk inom lagstiftningens ramar. Utbudsbalansen kan rubbas av förändrade ekonomiska förutsättningar eller ändrade nivåer av naturhänsyn. Inom ett mindre område kan råvaruutbudet fluktuera i större utsträckning beroende på skogens sammansättning respektive åldersstruktur. För att skapa förutsättningar för en effektiv skogsskötsel och en rimlig planeringssituation delas skogen in i avdelningar efter ålder och trädslags-sammansättning. En ytterligare differentiering av råvaruutbudet åstadkoms genom att det delas upp i olika sortiment såsom t.ex. grantimmer, talltimmer, granmassaved, barrmassaved och lövmassaved, beroende på kvalitet och användningsområde. Följden blir att ett större skogsinnehav kan beskrivas i form av avdelningar med en specifik trädslagsfördelning, ålder och tillväxttakt. Detta tillsammans med en rad andra faktorer, gör att det vid en avverkning faller ut olika stora volymer av olika sortiment. För en enskild avdelning varierar således utbudet av olika sortiment starkt över tiden, medan det för ett större område är relativt konstant.

Efterfrågan av skogsråvara

Skogsindustrins efterfrågan av skogsråvara styrs övergripande av olika kunders efterfrågan av skogsindustriella produkter. Om kundernas efterfrågan är stor har den enskilda industrins produktionskapacitet och råvaruutnyttjande betydelse för vilka råvarusortiment som efterfrågas. Denna efterfrågan kan balanseras dels av ett råvaruutbud inom industrins lokala fångstområde, dels av importerad råvara från områden fjärran närområdet.

Industrins efterfrågan är på årsbasis relativt jämn om industrin antas utnyttja sin produktionskapacitet till fullo. Med ett tidsperspektiv om en till ett par veckor, kan däremot efterfrågan av enskilda sortiment variera beroende på enskilda kundorder, driftsstörningar och oplanerade produktionsstopp. Till sammans med brister i precision vad gäller lageruppgifter och produktion i skogsledet ger detta behov av kontinuerlig anpassning av råvarulerveranserna. I ett längre tidsperspektiv är det svårt att sia om en industris efterfrågeutveckling.

Vägnät med bärighetshinder och tjälavstängningar

Huvuddelen av den svenska skogsråvaran transporteras med lastbil åtminstone någon del av vägen från skogen till industrin¹. För att dessa transporter ska kunna genomföras, krävs ett fungerande vägnät. Vägnätet utgörs av vägar som ägs och förvaltas av staten, kommuner, vägsamfällighetsföreningar, företag eller enskilda personer.

Vägnätet har en varierande status beroende på de ingående vägarnas varierande storlek, ägare, underhållsintensitet och belägenhet. Två nyckelfaktorer för skogsbrukets råvarutransporter utöver att den utnyttjade vägen ska vara stor nog för att framföra en lastbil, är vilken bärighetsklass² vägen tillhör samt om den är belagd med framkomlighetsrestriktioner under delar av året. Dessa restriktioner kan bero på tjällossning eller regnkänslighet och innebär oftast att vägen är avstängd för tung trafik för att undvika skador på vägen under känsliga perioder. Detta begränsar skogsbrukets transporter från vissa områden under delar av året, vilket påverkar virkesflödet och i sin tur råvaruutbudet från skogen.

Vägavstängningar i det statliga vägnätet kan uppträda med regelbundenhet på vissa vägsträckor, och mer sporadiskt på andra. Det är endast det allmänna och i viss mån det samfälliga vägnätet som stängs av för tung trafik i förebyggande syfte för att undvika skador. I det privata vägnätet är oftast möjligheterna större att nyttja en väg även under känsliga perioder och sedan reparera den om skador uppstår.

Ett enskilt års väderlek har stor inverkan på vilka vägsträckor som drabbas av avstängningar. Normalt är det en viss ledtid mellan det att skogen i en avdelning avverkas till dess att timret kan hämtas vid ett avlägg. Detta gör att det är

¹ Rundvirkestransporter i Sverige: järnväg 1,1 Mdr tonkm, lastbil 3,5 Mdr tonkm (Skogsstyrelsen, 2000)

² Klassning av vägar i det allmänna vägnätet efter vilken maximal bruttovikt som tillåts på de fordon som framförs på en väg. Detta påverkar hur mycket som kan lastas på en lastbil och därmed transportkostnaden.

svårt att veta om det virke som planeras att hämtas kommer att vara tillgängligt, när beslut fattas om att avverka skogen i en avdelning. Ett visst mått av förtseende gör att avverkningsobjekt längs icke tjälsäkra vägar undviks under svåra delar av året, men virkets tillgänglighet är endast en av flera parametrar som styr planeringen för val av avverkningsstrakter³.

Kvalitets- och lagringskostnader

För att hantera den osäkerhet som råder om var och när utbudet av virkesråvara begränsas på grund av vägvästängningar, tvingas skogsbruket under delar av året lagra virke som en buffert för att kunna möta industrins efterfrågan. Lagring av virke är förknippat med kostnader för den extra hantering det innebär i form av lastningar och lossningar samt den extra produktions- och transportkapacitet som krävs för att bygga upp resp. avveckla ett lager. Vidare drabbas virkesråvaran ofta av kvalitetsförsämringar vid lagring. Vissa råvarusortiment är mer känsliga för lagring än andra, då de används till högkvalitativa produkter som kräver färskt virke. Kvalitets- och lagringskostnader utgör en betydande kostnadspost för skogsnäringen, som effektivt kan sänkas genom en ökad tillgänglighet av skogsråvara.

Upprustning av vägar

Väginvesteringar kan göras dels i form av nybyggnation av vägar, dels i form av upprustning av befintliga vägar. Den genomförda studien fokuserar på upprustning av befintliga vägar. Nyttan som erhålles vid upprustningen, är antingen en ökad tillgänglighet av skogsråvara och därmed ett lagringsbehov eller att en vägs bärighet höjs, vilket sänker transportkostnaden. En tredje variant är att en väg både tjälsäkras för att höja tillgängligheten och bärighetshöjs för att minska transportkostnaderna.

Kostnaden för upprustning av befintliga vägar varierar beroende på vägens utgångsstatus, målstatus, vägbredd och hinder i form av exempelvis broar. Eventuella hinder med lägre bärighet längs en vägsträcka medför andra kostnader för att åtgärdas. Väginvesteringar kan därför vara av fundamentalt olika natur beroende på utgångsläge och mål med investeringen.

Statliga respektive privata vägar

Då det finns olika förvaltare av det svenska vägnätet, finns det också olika mål och prioriteringar avseende väginvesteringar. Varje vägförvaltare verkar under en budgetrestriktion, vilken begränsar möjligheten att genomföra väginvesteringar som till fullo löser bärighets- och tjällossningsproblematiken. För att ge varje vägförvaltare möjlighet att investera de medel som finns att tillgå på ett optimalt sätt, krävs det att investeringsobjekt väljs med hänsyn tagen inte bara till en enskild vägsträcka, utan också till var andra investeringsobjekt är belägna. För skogsnäringens del måste det också beaktas var det kan förväntas falla ut skoglig råvara från avverkningsstrakter under de kommande årtiondena beroende på en väginvesteringens långa avskrivningstid.

³ En eller flera avdelningar som avverkas vid ett enskilt tillfälle.

Matematisk modell

I detta avsnitt beskrivs den matematiska modell som ligger till grund för det utvecklade beslutsstödet.

Övergripande

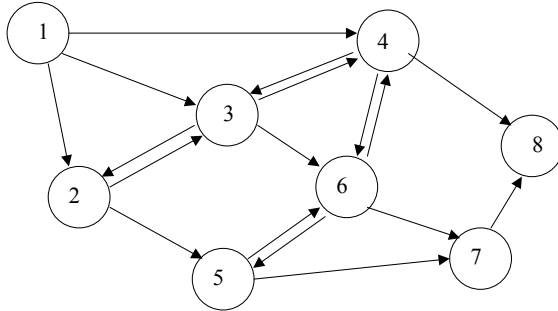
Problemet som avses lösas tar sin utgångspunkt från problembeskrivningen i föregående avsnitt. Med kunskap om utbudet och efterfrågan av skogsråvara i ett område under ett antal perioder, kan virkesflödena i ett nätverk av vägar skattas för respektive period. Vägarnas status och flödenas storlek avgör transportkostnaden samt om råvara måste lagras för att möta begränsningen av vägnätets tillgänglighet som uppkommer under tjällossningsperioder. Andelen av virkesflödet som lagras hanteras i form av terminalflöden med specifika egenskaper. Kvalitets- och lagringskostnaderna, förknippade med terminalflödena, kan reduceras genom att väginvesteringar genomförs. Detta ökar vägarnas tillgänglighet och minskar därmed lagringsbehovet. Beroende på virkesflödet i enskilda vägsträckor kan väginvesteringar vara mer eller mindre lönsamma. Det gäller således att välja rätt investeringsobjekt givet en begränsad väginvesteringarbudget. I modellen tas inte bara hänsyn till det aktuella flödet vid en investering, utan även reduktionen av transportkostnaden längs en väg under kommande perioder. Vägarnas inbördes förhållande har också en avgörande betydelse för lönsamheten i en investering. Det är inte lönsamt att investera bort tjälavstängningen av en väglänk om länken nedströms i flödets riktning också är avstängd. Då förblir det totala upplagringsbehovet oförändrat. Om däremot investeringar sker mot flödet i en rad av länkar, frigörs successivt volymer från terminalflödena, som kan nå efterfrågenoderna i vägnätverket. Modellen premierar av denna anledning främst investeringar i vägar som låser stora volymer. I dessa fall blir relationen mellan kostnader och intäkter också mest gynnsam.

Problemtyp

Den matematiska modellen är ett s.k. heltalsproblem, eftersom den innehåller diskreta beslut kopplade till investeringsmöjligheter. Diskreta (eller binära) variabler får värdet 1 om en investering utförs och 0 annars. Heltalsproblem är generellt avsevärt mycket svårare att lösa än linjärprogrammeringsproblem, vilka ofta förekommer i flödes- och transportmodeller. Anledningen till detta är att lösningsmetoderna är betydligt mer avancerade och ofta bygger på s.k. träd-sökningsmetoder. Samtidigt som modellen innehåller diskreta variabler, så finns en underliggande nätverksstruktur, eftersom flöden i ett transportnätverk ska bestämmas. Problem som har en underliggande nätverksstruktur sammankopplad med diskreta variabler kallas *network design*. Det finns mycket litteratur och utveckling av modeller och metoder för denna klass av problem. Det kan dock konstateras att problematiken med att ett visst flöde ska terminallagras om en investering inte utförs, inte direkt har behandlats. Svårigheten som medför att en ny modell måste utvecklas, ligger i det faktum att ett terminalflöde enbart får genereras en gång. I andra modeller kan terminalflöden genereras som är proportionella mot det fysiska flödet i varje båge. Däremot kan hänsyn inte tas till att bågar är kopplade, i den meningen att tidigare genererat flöde kan kompensera eller reducera genereringen i andra bågar.

Begrepp för nätverket

För att formulera den matematiska modellen introduceras några grundläggande begrepp för nätverk. De olika vägarna representeras av *bågar* och knutpunkter, d.v.s. väggorsningar, avverkningstrakter och industrier som representeras av *noder*. Figur 1 illustrerar ett enkelt nätverk med 8 noder och 17 riktade bågar. Bågar kan vara både oriktade och riktade. I vår modellformulering måste riktningen på flödet kontrolleras och av den anledningen används riktade bågar.



Figur 1.
Illustration av ett enkelt nätverk med riktade bågar.

Vi kommer att använda olika typer av bågar och noder beroende på deras fysiska egenskaper, och olika mängder definieras därför för att enkelt hålla reda på de olika typerna. Vi låter mängden N med index i representera samtliga noder i nätverket. Eftersom noder har olika egenskaper så låter vi mängden N_S representera källnoder med skogsråvara, N_D sänknoder med industribehov, N_M mellannoder, vilka motsvarar väggorsningar och N_T terminalnoder. På motsvarande sätt låter vi mängden B representera samtliga bågar (vägar/länkar). Bågar definieras som ett par av noder (i, j) där i är startnod och j slutnod. Statliga/allmänna vägar representeras av B_S och privata/enskilda av B_P . Vi låter mängden A representera samtliga vägar som kan uppgraderas. Modellen kommer att hantera det flöde som måste terminallagras på ett speciellt sätt, och för att kunna göra detta används ett antal virtuella bågar som återfinns i mängden B_V .

Variabeldefinition

Vi definierar nedan de beslutsvariabler som modellen använder, tabell 1.

Tabell 1.
Modellens beslutsvariabler.

| | |
|-------------|---|
| z_{ijt} | 1, om väg mellan nod i och nod j investeras under tidsperiod t , 0 annars. |
| $x0_{ijpt}$ | Fysiskt flöde (oinvesterat) på väg mellan nod i och nod j av sortiment p under tidsperiod t . |
| $x1_{ijpt}$ | Fysiskt flöde (investerat) på väg mellan nod i och nod j av sortiment p under tidsperiod t . |
| y_{ijpt} | Terminalflöde på väg mellan nod i och nod j av sortiment p under tidsperiod t . |
| w_{ijpt} | Terminalflöde genererat på väg mellan nod i och nod j av sortiment p under tidsperiod t . |

Variablerna z_{ijt} är våra diskreta (eller binära) variabler som kommer att vara styrande. Flödena motsvarar de bästa möjliga flödena givet de investeringar som utförs. Variablerna $x0_{ijpt}$ och $x1_{ijpt}$ representerar det faktiska fysiska flödet som sker på de olika vägarna. Variablerna w_{ijpt} och y_{ijpt} hanterar generering respektive flöden i samband med terminalflöden.

Modellparametrar

Kopplat till nätverket har vi ett antal parametrar som behövs för modellformuleringen. Dessa är givna i nedanstående tabell 2.

Tabell 2.
Modellparametrar.

| | |
|-----------------|---|
| c_{ijt} | Investeringskostnad för väg mellan nod i och nod j under tidsperiod t . |
| $d0_{ijpt}$ | Enhetskostnad för flöde (oinvesterat) på väg mellan nod i och nod j av sortiment p under tidsperiod t . |
| $d1_{ijpt}$ | Enhetskostnad för flöde (investerat) på väg mellan nod i och nod j av sortiment p under tidsperiod t . |
| s_{ipt} | Tillgång av sortiment p i nod i under tidsperiod t . |
| d_{ipt} | Efterfrågan av sortiment p i nod i under tidsperiod t . |
| b_{ot} | Budget för vägar med ägare o (stat eller privat) under tidsperiod t . |
| f_{ijpt} | Lagerkostnad för väg mellan nod i och j av sortiment p under tidsperiod t . |
| α_{ijpt} | Andel av årsflödet som måste lagras på väg mellan nod i och j av sortiment p under tidsperiod t om investering ej har gjorts i vägen. |

Vi noterar med vår modellformulering att lagerkostnaden för vägar kommer att vara 0 utom för den sista avstängda vägsträckan i flödets riktning som går in till

respektive industri. Detta för att lagringskostnaden enbart ska räknas en gång. Vidare leder förfarandet till att den vägsträcka som låser in volymer i ett vägsystem belastas med kostnader beroende på den totala volymen som passerar vägsträckan och inte bara de volymer som avverkas i direkt anslutning till vägsträckan.

Modell

Den matematiska modellen kan nu formuleras enligt följande.

$$\min \sum_{(i,j) \in A} \sum_t c_{ijt} z_{ijt} + \sum_{(i,j) \in B} \sum_p \sum_t d0_{ijpt} x0_{ijpt} + \sum_{(i,j) \in A} \sum_p \sum_t d1_{ijpt} x1_{ijpt} + \sum_{(i,j) \in B} \sum_p \sum_t f_{ijpt} y_{ijpt}$$

då

$$\sum_{j:(j,i) \in B} x0_{ijpt} + \sum_{j:(j,i) \in A} x1_{ijpt} - \sum_{j:(i,j) \in B} x0_{ijpt} - \sum_{j:(i,j) \in A} x1_{ijpt} = \begin{cases} -S_{ipt} & \text{if } i \in N_S \\ D_{ipt} & \text{if } i \in N_D \\ 0 & \text{if } i \in N_M, N_T \end{cases} \quad \forall i, p, t \quad (\text{A})$$

$$\sum_{j:(j,i) \in B} y_{ijpt} - \sum_{j:(i,j) \in B} y_{ijpt} = \begin{cases} -\sum_{j:(j,i) \in A} w_{ijpt} & \text{if } i \in N \setminus N_T \\ \sum_{j:(i,j) \in A} w_{ijpt} & \text{if } i \in N_T \end{cases} \quad \forall i, p, t \quad (\text{B})$$

$$w_{ijpt} \geq \alpha_{ijpt} x0_{ijpt} - y_{ijpt} - Mz_{ijt} \quad \forall (i, j) \in A, p, t \quad (\text{C})$$

$$y_{ijpt} \leq x0_{ijpt} + x1_{ijpt} \quad \forall (i, j) \in A, p, t \quad (\text{D1})$$

$$y_{ijpt} \leq x0_{ijpt} \quad \forall (i, j) \in B \setminus (A \cup B_V), p, t \quad (\text{D2})$$

$$\sum_p x1_{ijpt} \leq M \left(\sum_{q=1}^t z_{ijq} \right) \quad \forall (i, j) \in A, t \quad (\text{E})$$

$$\sum_t z_{ijt} \leq 1 \quad \forall (i, j) \in A \quad (\text{F})$$

$$\sum_{(i,j) \in A} \sum_t c_{ijt} z_{ijt} \leq b_{ot} \quad \forall o, t \quad (\text{G})$$

$$z_{ijt} \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in A, t \quad (\text{H})$$

$$y_{ijpt}, x0_{ijpt} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in B, p, t \quad (\text{I1})$$

$$x1_{ijpt}, w_{ijpt} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in A, p, t \quad (\text{I2})$$

Målfunktion

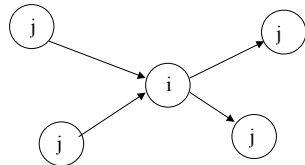
Målfunktionen består av fyra termer. Den första beskriver de fasta kostnaderna för att investera i vägarna. Den andra och tredje står för de fysiska transportkostnaderna för flödet där vägarna antingen är oinvesterade eller investerade. Den fjärde termen är den kostnad som uppkommer i samband med terminal-lagring.

Bivillkor

Det finns en rad olika typer av bivillkor i modellen. Nedan i tabell 3 ges kortfattad beskrivning av respektive bivillkorsgrupp.

Tabell 3.
Bivillkorsgrupper.

- A Bivillkor (A) anger flödesjämvikt för samtliga noder. Jämvikten ska gälla för samtliga kombinationer av väg – sortiment – tidsperiod. Beroende på vilken typ av nod, d.v.s. källnod, sänknod eller mellannod, gäller olika krav på jämvikt. Flödesjämvikten anges som:
inflöde till nod i – utflöde från nod i = nodjämvikt för nod i .
Summeringen i modellen kan enklast illustreras med hjälp av nedanstående illustration.



- B Bivillkor (B) anger flödesjämvikt för lagerflöden. Det finns ingen egentlig tillgång av lager utan dessa genereras istället via variablerna w_{ijpt} . Flödesjämvikt gäller för varje kombination nod – sortiment – tidsperiod.
- C Bivillkor (C) beskriver ett viktigt samband som ser till så att lagerflödet enbart adderas en gång. Från villkoret framgår vilken andel av flödet som ska adderas, men detta kompenseras via y_{ijpt} variablerna om ett visst terminalflöde redan genererats. Då kommer enbart det eventuella tillskottet att adderas. Om en investering genomförs kommer inget ytterligare terminalflöde att adderas.
- D Bivillkor (D1) och (D2) begränsar terminalflödet till att aldrig överstiga det faktiska fysiska flödet.
- E Bivillkor (E) ser till så att det billigare flödet på ett vägavsnitt enbart är möjligt om vägavsnittet verkligen är uppgraderat (i samma eller tidigare tidsperiod). I bivillkoret modelleras detta genom att man begränsar flödet till (M *beslut om investering) där M är ett stort tal. M kan t.ex. vara summan av alla tillgångar. Genom detta så kommer flödet med det billigare flödet att vara tvingat till 0 om ingen motsvarande investering utförts. Om investeringen är gjord så är det fritt fram med att ha flödet enligt denna väglass.
- F Bivillkor (F) ser till så att varje väg kan investeras högst en gång.
- G Bivillkor (G) anger begränsningar på budget som gäller för de totala väginvesteringarna under varje tidsperiod. Vi skiljer på statliga och privata vägar.
- H Bivillkor (H) anger kraven på att beslutsvariablerna kopplade till investeringar ska vara 0/1 variabler.
- I Bivillkor (I1) och (I2) anger kraven på att flödena ska vara kontinuerliga variabler med icke-negativa värden.

Lösningssmetod

Heltalsproblem och trädsökning

Eftersom vi har ett heltalsproblem, så kommer metoder att användas som bygger på trädsökning. I denna teknik löses först LP-relaxationen, vilket innebär att bivillkor (H) ersätts med $0 \leq x_{ijpt} \leq 1$. Därefter väljs en variabel som har ett fraktionellt värde. Denna variabel, förgreningsvariabel, ger upphov till två nya LP-problem, ett där variabeln har värde 0 och ett där variabeln har värde 1. Därefter väljs en ny förgreningsvariabel ut och proceduren upprepas. Den potentiella storleken på ett träd är mycket stort, men då man kan utnyttja mål-

funktionsvärden i olika noder för att skära bort grenar som inte kan innehålla bättre lösningar, så kan storleken drastiskt hållas nere. Det finns ett stort antal möjliga kombinationer av förgreningsstrategi och nodavsökningsstrategi att välja bland. För att läsa mer om trädsökningsmetoder och heltalsmodeller i allmänhet hänvisar vi t.ex. till läroboken *Integer and Combinatorial Optimization* av Nemhauser & Wolsey (1988).

Modellstorlek

Den ovan beskrivna modellen för väginvesteringar tar hänsyn till både en tids- och en sortimentsdimension vid kalkyleringen av kvalitets- och lagringskostnaden för varje båge/länk i vägnätverket. Detta får till följd att antalet bivillkor i modellen snabbt blir väldigt stort, vilket gör att lösningstiden tenderar att bli ohanterligt lång. För att bibehålla en rimlig lösningstid av den matematiska modellen har därför ett tak satts till 100 000 bivillkor. Detta medför att modellen kan hanteras ca 1 000 noder om exempelvis fyra tidsperioder samt fem sortiment används i beräkningarna. Vi noterar att generella heltalsmodeller av den storleken betraktas som mycket svåra att lösa. I de flesta fallen kan man inte garanterat hitta den optimala lösningen utan får acceptera näroptimala lösningar.

Modelleringspråk och metoder

För att formulera modellen så använder vi modelleringspråket AMPL⁴, vilket är en kommersiell programvara från ILOG⁵. Kopplat till AMPL finns en effektiv kommersiell lösare för heltalsproblem, nämligen CPLEX. För problem av den storleken som vi vill lösa kommer det dock att vara mycket svårt (om inte omöjligt) att använda CPLEX direkt. Vi har i stället utvecklat en enklare lösningsmetod som fortfarande bygger på trädsökning men i stället för att söka av hela trädet, så genomsöks endast en begränsad del av trädet. Nackdelen med denna lösningsmetod är att vi ej kan garantera att en optimal lösning erhålls.

Budgetrestriktionen för allmänna respektive enskilda vägar modelleras olika. I modellen strävas det efter att använda hela den allmänna budgeten. Lösningsmetoden är därför uppbyggd så att investeringar görs i allmänna vägar så länge budgeten inte överskrids samtidigt som antingen transportkostnaden eller lagerflödet på det investerade vägavsnittet minskar (även om det skulle leda till att den totala kostnaden ökar). För de enskilda vägarna gäller det att investeringar endast genomförs om totalkostnaden för råvaruflödet (inkl. investeringskostnaden) minskar vid investeringen.

En komplikation vid användandet av vår lösningsmetod är att det i vissa fall kan skapas virtuella cykliska flöden. Detta beror på storleken av olika kostnader. För att undvika cykliska flöden kräver vi dynamiskt i lösningsprocessen att vi ej kan ha flöden som går åt olika håll på samma vägsträcka.

⁴ Hemsida: www.ampl.com.

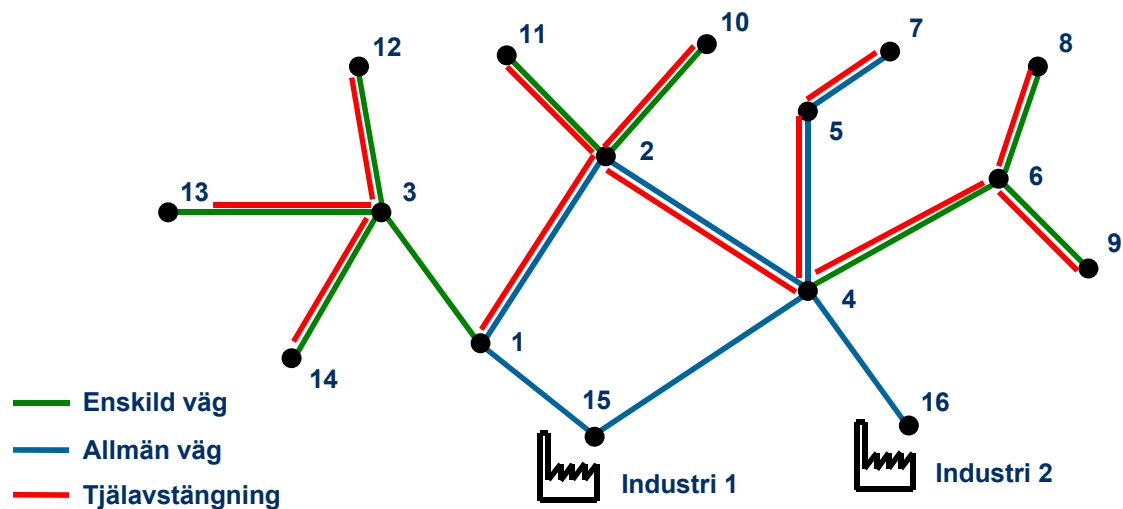
⁵ Hemsida: www.ilog.com.

För att implementera lösningsmetoderna har vi använt oss av speciella rutiner som finns tillgängliga i AMPL. Här är det möjligt att i ett högnivåspråk skriva program som i sin tur kallar på CPLEX i olika steg för att lösa LP-problemen som uppkommer.

Exempel

Följande exempel visar hur ett enkelt nätverksproblem kan lösas, samt vilka resultat som erhålles.

Figur 4 visar ett vägnät med enskilda och allmänna vägar. Till nätverket är två industrier knutna, vilka efterfrågar de volymer som är kopplade till noderna. Sortiment 1 efterfrågas av Industri 1 (nod 15) och Sortiment 2 av Industri 2 (nod 16). Bågar knyter samman noderna i nätverket och medger ett flöde av de bägge sortimenten under två tidsperioder, se tabell 4.



Figur 4.
Exempelnätverk.

Det kostar olika mycket att färdas på olika bågar/väglänkar i nätverket. Denna kostnad anges i kr/volymerhet och beror på bågarernas status (längd och vägstandard). Delar av vägnätet drabbas av avstängningar en viss andel av året. Avstängningar ger upphov till lagervolymer, vilka transporteras på ett skuggnätverk till ett virtuellt lager. Lagervolymer belastas med en extra kostnad om 100 kr/enhet för Sortiment 1 och 170 kr/enhet för Sortiment 2. Vid en eventuell investering sänks transportkostnaden längs en båge samtidigt som generering av lagerflöde, om det finns, upphör (bågen bidrar inte till det totala upplagringsbehovet p.g.a. att den inte är avstängd). Investeringar sker inom ramen för en investeringsbudget för enskilda respektive allmänna vägar. Enskild budget uppgår till 600 kr och allmän till 900 kr.

Tabell 4.
Indata till flödesexempel.

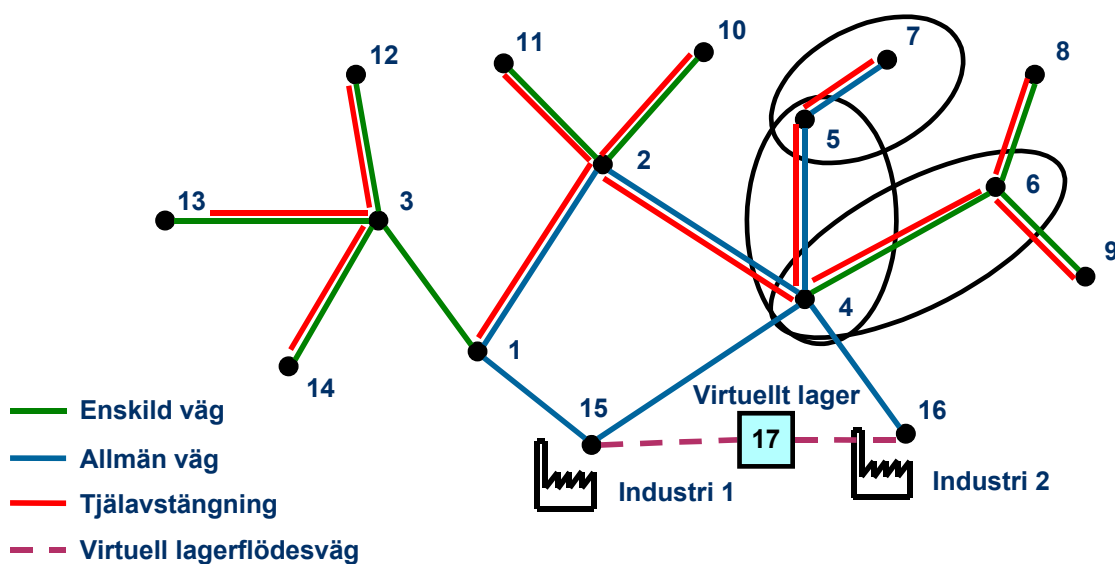
| Nod Från | Till | Period 1 Sortiment | | Period 2 Sortiment | | Väghållare | | Andel avstängd | Investering | | Trp-kostnad Före Efter investering | |
|-------------|------|-----------------------|-----|-----------------------|-----|------------|------|-------------------|-------------|------|--|---|
| | | 1 | 2 | 1 | 2 | Ensk | Allm | | OK | Kost | | |
| 11 | 2 | 50 | 50 | 50 | 50 | 1 | | 0,05 | ja | 500 | 10 | 8 |
| 10 | 2 | 50 | 100 | 50 | 100 | 1 | | 0,07 | ja | 250 | 10 | 8 |
| 12 | 3 | 100 | 50 | 100 | 50 | 1 | | 0,05 | ja | 350 | 12 | 8 |
| 13 | 3 | | 100 | | 100 | 1 | | 0,05 | ja | 500 | 10 | 8 |
| 14 | 3 | 100 | 50 | 100 | 50 | 1 | | 0,06 | ja | 500 | 10 | 8 |
| 3 | 1 | 50 | | 50 | | 1 | | 0,05 | ja | 450 | 8 | 6 |
| 2 | 1 | 25 | 75 | 25 | 75 | | 1 | 0,05 | ja | 500 | 7 | 5 |
| 1 | 15 | 25 | 25 | 25 | 25 | | 1 | | nej | 300 | 5 | 5 |
| 7 | 5 | 100 | 50 | 100 | 50 | | 1 | 0,10 | ja | 500 | 7 | 5 |
| 8 | 6 | 100 | 50 | 100 | 50 | 1 | | 0,08 | ja | 600 | 10 | 8 |
| 5 | 4 | 25 | 25 | 25 | 25 | | 1 | 0,05 | ja | 400 | 5 | 5 |
| 9 | 6 | 500 | 50 | | 50 | 1 | | 0,07 | ja | 550 | 12 | 8 |
| 6 | 4 | 500 | 50 | 500 | 50 | 1 | | 0,06 | ja | 500 | 8 | 8 |
| 4 | 15 | 50 | | 50 | | | 1 | | ja | 300 | 5 | 5 |
| 2 | 4 | | | | | | 1 | 0,01 | ja | 800 | 6 | 5 |
| 4 | 16 | | | | | | 1 | | ja | 700 | 6 | 5 |

Vid optimeringen, erhålles resultat enligt tabell 5. I exemplet fördelas väginvesteringar under två tidsperioder. Bågar i vilka investeringar genomförts i period 1 är gulmarkerade samt inringade i figur 5 och bågar med investeringar i period 2 är blåmarkerade och på motsvarande sätt inringade i figur 6. De bågar/väglänkar som stängs av p.g.a. tjällossning under en andel av året genererar ett lagerflöde som beror på kombination av bågens avstängda andel, flöden på bågen samt hur mycket som bågen låser uppströms i flödets riktning. Det genererade lagerflödet adderas till det totala lagerflödet och transporteras i ett skuggnätverk till ett virtuellt lager i nod 17, se figur 5.

Tabell 5.
Resultat flödesexempel.

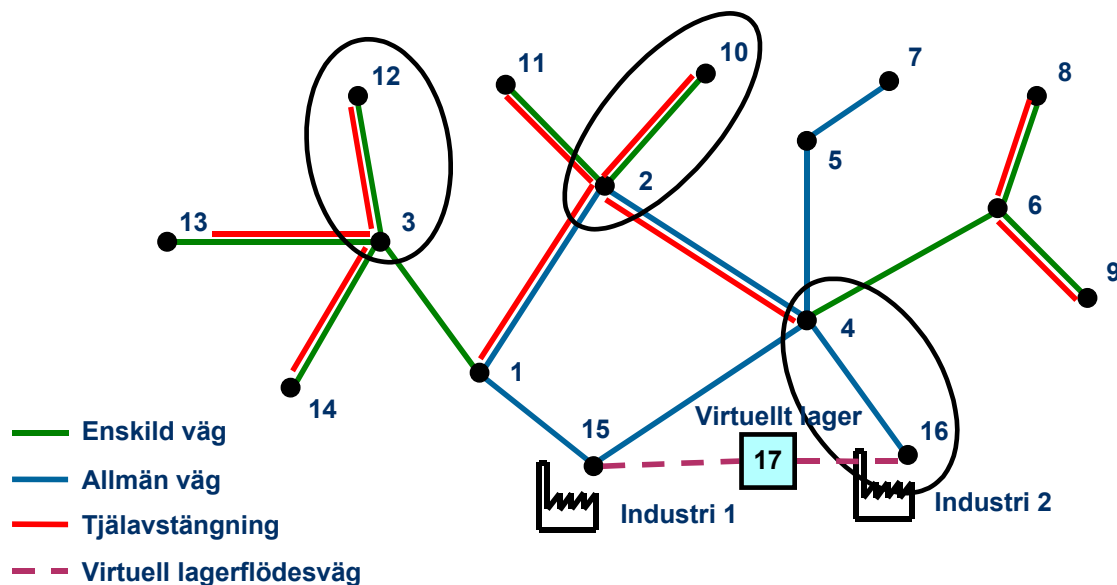
| Nod | | Period 1 Flöde sortiment | | Bildar lagerflöde | | Totalt lagerflöde | | Period 2 Flöde sortiment | | Bildar lagerflöde | | Totalt lagerflöde | |
|------|------|--------------------------------|-----|----------------------|-----|----------------------|------|--------------------------------|-----|----------------------|-----|----------------------|-----|
| Från | Till | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 11 | 2 | 50 | 50 | 2,5 | 2,5 | | | 50 | 50 | 2,5 | 2,5 | | |
| 10 | 2 | 50 | 100 | 3,5 | 7 | | | 50 | 100 | | | | |
| 12 | 3 | 100 | 50 | 5 | 2,5 | | | 100 | 50 | | | | |
| 13 | 3 | | 100 | | 5 | | | | 100 | | 5 | | |
| 14 | 3 | 100 | 50 | 6 | 3 | | | 100 | 50 | 6 | 3 | | |
| 3 | 1 | 250 | 200 | 1,5 | | 11 | 10,5 | 250 | 200 | 6,5 | 2 | 6 | 8 |
| 2 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 15 | 275 | 225 | | | 12,5 | 10,5 | 275 | 225 | | | 12,5 | 10 |
| 7 | 5 | 100 | 50 | | | | | 100 | 50 | | | | |
| 8 | 6 | 100 | 50 | 8 | 4 | | | 100 | 50 | 8 | 4 | | |
| 5 | 4 | 125 | 75 | | | | | 125 | 75 | | | | |
| 9 | 6 | 500 | 50 | 35 | 3,5 | | | | 50 | | 3,5 | | |
| 6 | 4 | 110 | 150 | | | 43 | 7,5 | 600 | 150 | | | 8 | 7,5 |
| 4 | 15 | 140 | 225 | | | 49 | | 900 | 225 | | | 10,5 | |
| 2 | 4 | 125 | 225 | | | 6 | 9,5 | 125 | 225 | | | 2,5 | 2,5 |
| 4 | 16 | | 675 | | | | 17 | | 675 | | | | 10 |
| 15 | 17 | | | | | 61,5 | 10,5 | | | | | 23 | 10 |
| 16 | 17 | | | | | | 17 | | | | | | 10 |

I period 1 genomförs investeringar i bågarna (7,5), (5,4) och (6,4), se figur 5.



Figur 5.
Investeringar i period 1.

I period 2 genomförs investeringar i bågarna (10,2), (12,3) och (4,16), se figur 6. Notera att investering sker i bågen (4,16) som inte är drabbad av tjälavstängningar, men däremot har ett stort flöde och därmed påverkar totalkostnaden i relativt stor omfattning eftersom transportkostnaden minskar vid en investering.



Figur 6.
Investeringar i period 2.

Målfunktionsvärdet i flödesexemplet blir 101 900 kr. Under period 1 lagras 61,5 volymenheter av Sortiment 1 och 27,5 volymenheter av Sortiment 2. Under period 2 lagras på samma vis 23 volymenheter av Sortiment 1 och 20 volymenheter av Sortiment 2. Som synes minskar lagringsbehovet vid investeringarna.

Fallstudie, Stora Enso Skog, Storfors bevakning

Allmänt

För att testa den utvecklade optimeringsalgoritmen företogs i samarbete med Stora Enso Skog och Vägverket en fallstudie. Denna genomfördes med data från ett pilotområde i form av Stora Enso Skog, Storfors bevakning i östra Värmland.

Studien innehöll ett antal avverkningstrakter kopplade till noder i ett vägnät. Noderna bands samman med bågar/länkar, i form av statligt⁶ respektive privat⁷ förvaltade vägsnitt, som hade ett antal attribut. Till nätverket kopplades två industrier. Vid optimeringen vägdes kostnaderna för att investera i vägnätet mot intäkterna i form av reducerade kostnader för kvalitetsnedsättning och lagring, under tre tidsperioder givet en statlig

⁶ I studien benämnda allmänna vägar.

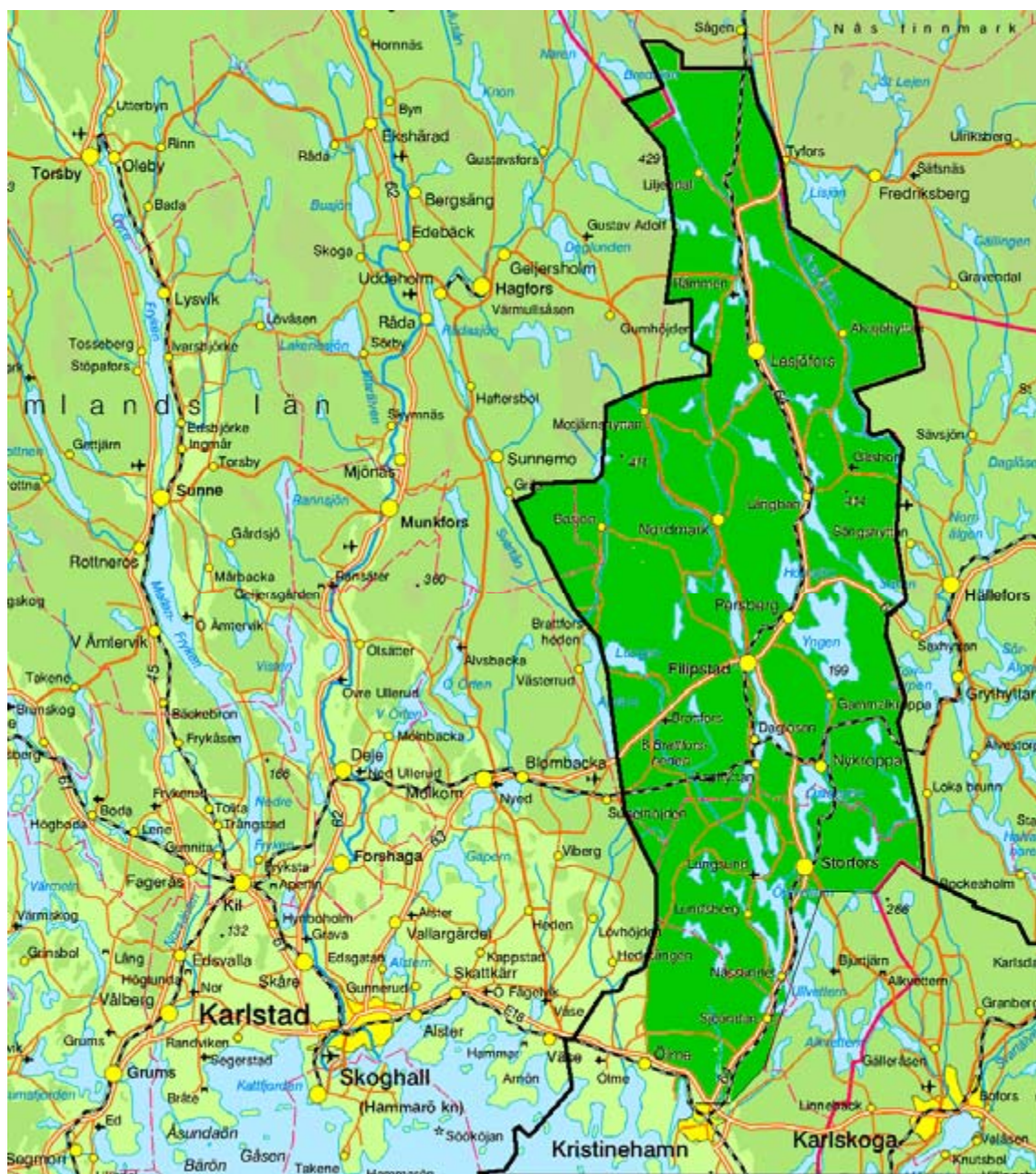
⁷ Dito enskilda vägar förvaldade av Stora Enso Skog.

respektive privat budgetrestriktion. De två första perioderna omfattade 5 år och den tredje 10 år.

I det följande avsnittet presenteras hur data insamlades och bearbetades samt vilka olika scenarier som studerades i fallstudien.

Stora Enso Skog, Storfors bevakning

Stora Enso Skogs Storfors bevakning är en del av Ludvika skogsförvaltning. Bevakningen sträcker sig i nord-sydlig riktning från trakterna av Lesjöfors i norr till området söder om Degerfors, se figur 7. De södra delarna av bevakningen är utelämnade på kartbilden.



Figur 7.
Storfors bevakning, gränser och området inom vilket skogsinnehavet är fördelat

Storfors bevakning täcker en total areal om ca 460 000 ha varav det egna skogsinnehavet uppgår till ca 115 000 ha. Skogsinnehavet är utspritt inom det mörkare gröna området på kartan i figur 7.

Datafångst och bearbetning av skoglig data

Datafångst

Det skogliga datamaterialet som användes i fallstudien hämtades från Stora Enso Skogs beståndsdatabas/traktbank⁸ för Storfors bevakning. Bestånden var uppdelade i slutavverknings- respektive gallringstrakter. Åtgärdsbehovet för varje enskild avverkningstrakt angavs för slutavverkningstrakterna med prioritetstal⁹ och för gallringstrakterna med grundyttekvot. Prioritetstalet, eller prioritet, fungerar på så vis att ju högre talet är, desto större är avverkningsbehovet. Grundyttekvoten är en kvot mellan beståndets grundyta¹⁰ och dess grundyttemaximum. Grundyttemaximum baseras på beståndets höjd, ålder samt ståndortens bonitet¹¹ och är den maximala grundyta beståndet får ha innan det passerar den senaste tidpunkten¹² för gallring.

Bearbetning

Genom kontakter med skogliga planerare centralt vid Stora Enso Skog i Falun samt med ledningen för Storfors bevakning erhöles uppgifter om hur avverkningstrakterna skulle behandlas för att få en rättvisande bild av verkligheten. Datamaterialet bearbetades i en databasmiljö där sorteringar och summeringar genomfördes.

Vid Stora Enso Skogs bearbetning av data från traktbanken hade slutavverkningstrakterna tilldelats en avverkningsperiod beroende på prioritetstal och en strävan att erhålla en jämn avverkningsareal per femårsperiod. Den fördelning av volymer per tidsperiod som blev resultatet av arealfördelningen användes i studien. Den genomsnittliga slutavverkningsvolymen per femårsperiod var ca 76 % av den totala avverkningsvolymen. Resterande avverkningsvolym fylldes ut med volymer från gallringstrakter.

För att beskriva virkesflödet i nätverket behövdes en koppling mellan vägnoder och volymer från avverkningar. Då varje enskild vägnods position var känd, liksom varje enskild avverkningstrakts centrumposition, gjordes en koppling av avverkningstrakter till noder i vägnätet. Varje avverkningstrakt kopplades till den närmsta noden i vägnätverket som täckte Storfors bevakning. Ingen hänsyn togs till terränghinder eller annat som kunde tänkas förhindra en koppling. Kopplingen genomfördes med hjälp av ett GIS-verktyg.

Vid användningen av beräkningsmodellen enligt de nedan beskrivna scenarierna (avsnitt *Analyserade scenarier*), gjordes nya kopplingar av avverkningstrakter till noder i det vägnät som var aktuellt för respektive scenario.

⁸ Databas vari avverkningsmogna bestånd och avverkningstrakter samlas efter genomförd avverkningsplanering som anger när i tiden ett bestånd eller en trakt ska avverkas.

⁹ Kvot mellan ett bestånds volym och en funktion av dess ålder. Funktionens utseende beror på träds slag och ståndortsindex. Målvärde för prioritetstalet är 1.

¹⁰ Summan av tvärsnittsarean i brösthöjd för alla träd i ett bestånd, m²/ha.

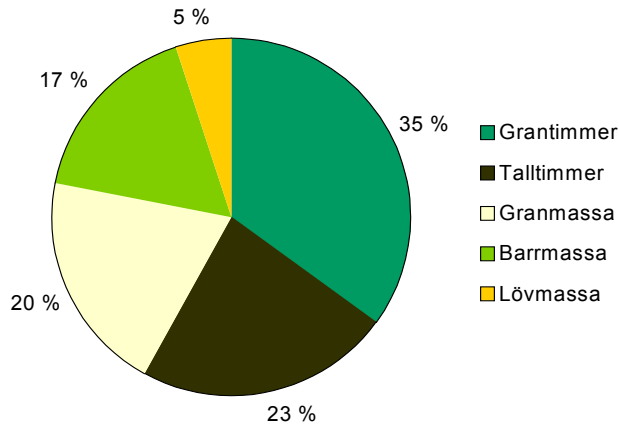
¹¹ En växtplats (ståndorts) naturgivna virkesproducerande förmåga mätt som m³sk/ha och år.

¹² Tidpunkten grundar sig på biologiska och ekonomiska överväganden.

Resultat av bearbetning av skogliga data

Bevakningens avverkning i den egna skogen uppgick till 345 000 m³fub per år. I slutavverkning föll 75 % ut som timmer och i gallring 10–25 %. Trädslagsfördelningen var 41 % tall, 54 % gran och 5 % löv.

Den totala avverkningsvolymen var fördelad på olika sortiment enligt nedanstående figur 8.



Figur 8.
Total avverkningsvolym fördelad per sortiment.

Efter databehandling fanns således uppgifter om varje avverkningstrakt i form av: identitet, position, nodtillhörighet, avverkad volym per sortiment i varje femårsperiod och avverkningsmetod. Dessa uppgifter användes vid optimeringen.

Datafångst och bearbetning av vägdata

Datafångst

Vägdata, som beskrev det statliga vägnätet samt delvis det enskilda, erhöles från Vägverket. Data om det allmänna vägnätets geografiska utbredning, topologi¹³ samt attribut hämtades från Vägverkets vägdatabank, VDB. Det totala vägnätets (allmänna och enskilda vägar) geografiska utbredning erhöles från den förberedande produktionen (FP) av Nationell vägdatabas (NVDB). Vidare insamlades avstängningsstatistik för det allmänna vägnätet från Vägverkets register för tillfälliga framkomlighetsrestriktioner (TFR). Materialet erhöles dels som shape-filer för GIS-applikationer, dels som databaser.

Från Stora Enso Skog erhöles attributdata om Stora Enso Skogs vägar dels i databaser, dels via papperskartor.

Bearbetning av vägdata

Då vägnätet från VDB endast innehöll de allmänna vägarna inklusive attribut och vägnätet från NVDBs förberedande produktion innehöll alla vägar, men endast dess utbredning, krävdes någon form av matchning av dessa vägnät. Ett vägnät med tillhörande databas, BIT-vdb¹⁴, skapades med vägnätet från NVDBs förberedande produktion som grund. Därefter matchades attributdata från VDBs vägnät till de motsvarande attributlösa väglänkarna i BIT-vdb. Alla

¹³ De inbördes förhållandena (lägena) mellan olika punkter (noder) i terrängen.

¹⁴ BIT-vägdatabas

väglänkar i BIT-vdb som sammanföll med väglänkar i VDB, erhöll därmed VDB-länkarnas attributdata uppdelat efter var i VDB-länken som den enskilda BIT-vdb-länken befann sig (BIT-vdb-länkarna var alltid kortare än VDB-länkarna). För att erhålla attributdata till de av Stora Enso Skog förvaltade enskilda vägarna i BIT-vdb, sammanställdes papperskartor med det enskilda vägnätet markerat med olika färger för olika klasser avseende vägars tillgänglighet för tung trafik. Informationen från papperskartorna överfördes till GIS-miljön och därefter till BIT-vdb. Det övriga enskilda vägnätet utöver Stora Enso Skogs andel, bibehölls i BIT-vdb, men saknade attribut. Genom att inte utesluta övriga enskilda vägar undveks risken att vägnätverket inte skulle vara komplett, och därför innehålla enskilda länkar som inte kopplade till någon annan länk.

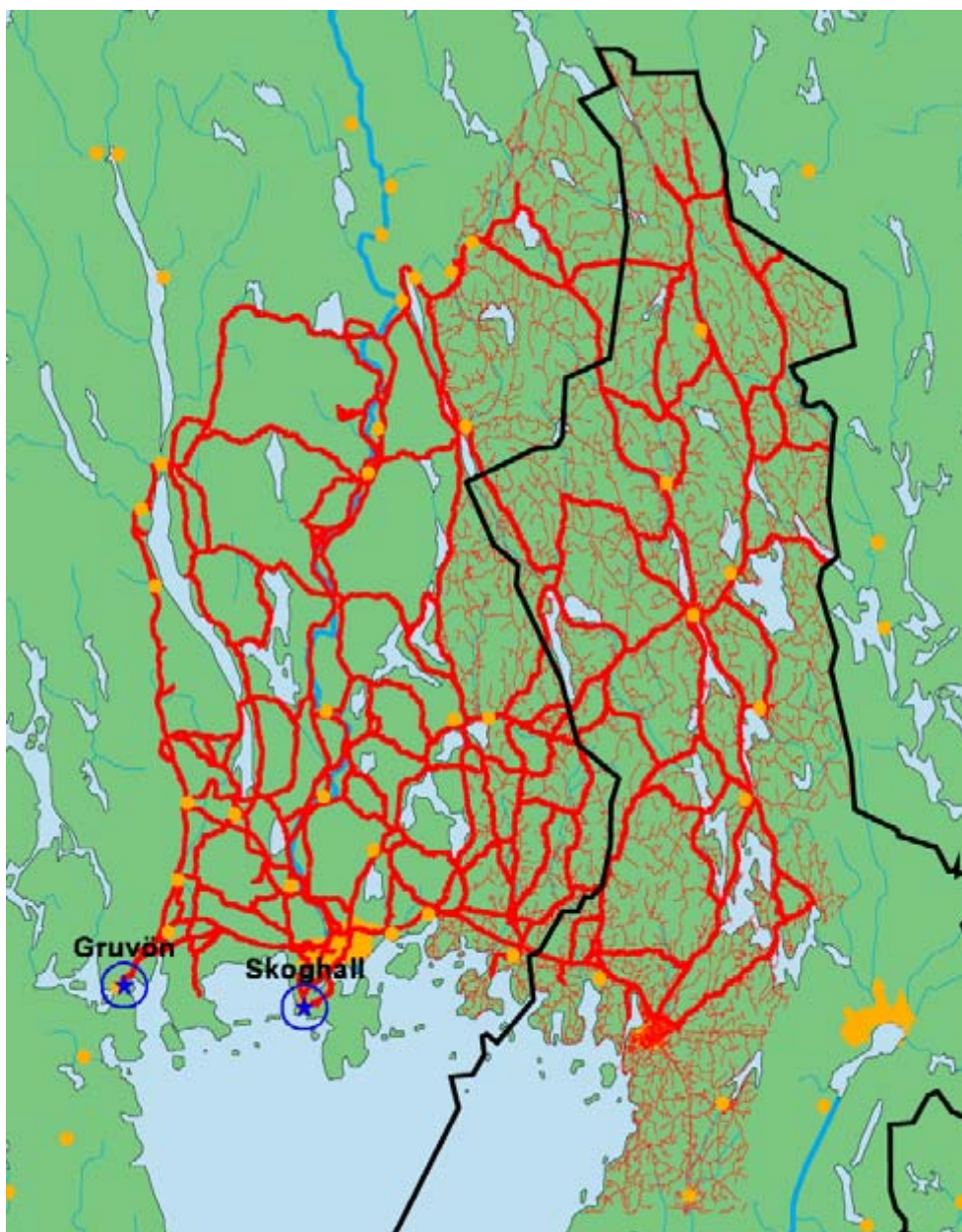
För att minska datamängderna, gjordes en generalisering så att vägnätet öster om väg 240, något väster om den västra gränsen för Storfors bevakning, innehöll både allmänna och enskilda vägar. Vägnätet väster om väg 240 innehöll endast allmänna vägar se figur 9.

Då möjligheterna att använda optimeringsmodellen i praktiken begränsades av hårdvarans prestanda och minneskapacitet, uppstod ett behov av att skapa än mer generaliserade vägnätverk än det ovan beskrivna grundnätverket. Dessa nätverk presenteras mer ingående vid beskrivningen av respektive beräknings-scenario.

För ytterligare beskrivning av matchningsproceduren, se bilaga 1.

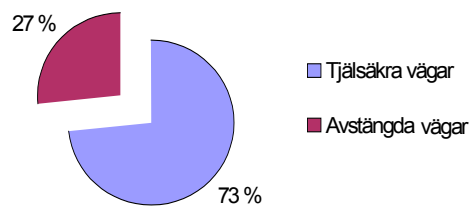
Resultat av bearbetning av vägdata

Vägnätet i BIT-vdb täckte hela Storfors bevakning samt området ner till industrierna i sydvästlig riktning från centrum av bevakningen, se figur 9. Vägnätet utgjordes dels av statliga allmänna vägar, dels av privata enskilda vägar. De privata vägarna kunde dessutom delas upp i vägar som förvaltades av Stora Enso Skog respektive övriga vägförvaltare. BIT-vdb innehöll en total väglängd om 7 767 km, varav 1 825 km, eller 24 %, allmän väg. Vägnätet inom Storfors bevakning var 4 581 km varav 578 km, eller 14 %, allmän väg. Stora Enso Skogs andel av det enskilda vägnätet inom Storfors bevakning var 40 % eller 1 600 km.

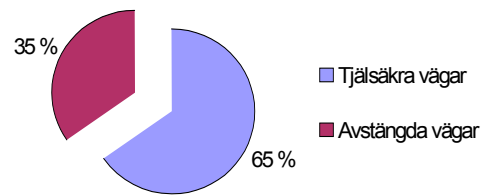


Figur 9.
Vägnätet i grundversionen av BIT-vdb.

De allmänna vägarna i vägnätet var uppdelat i bärighetsklasser där 98,86 % tillhörde den högsta klassen BK1, 1,05 % BK2 och 0,09 % BK3. Delar av det allmänna vägnätet stängdes årligen av p.g.a. tillfälliga bärighetsrestriktioner. För hela det allmänna vägnätet var den genomsnittliga (1994–2000) årsavstängningen 486 km eller 27 % av vägnätet. Motsvarande siffror för det allmänna vägnätet inom Storfors bevakning var 200 km eller 35 %, figurerna 10 och 11.

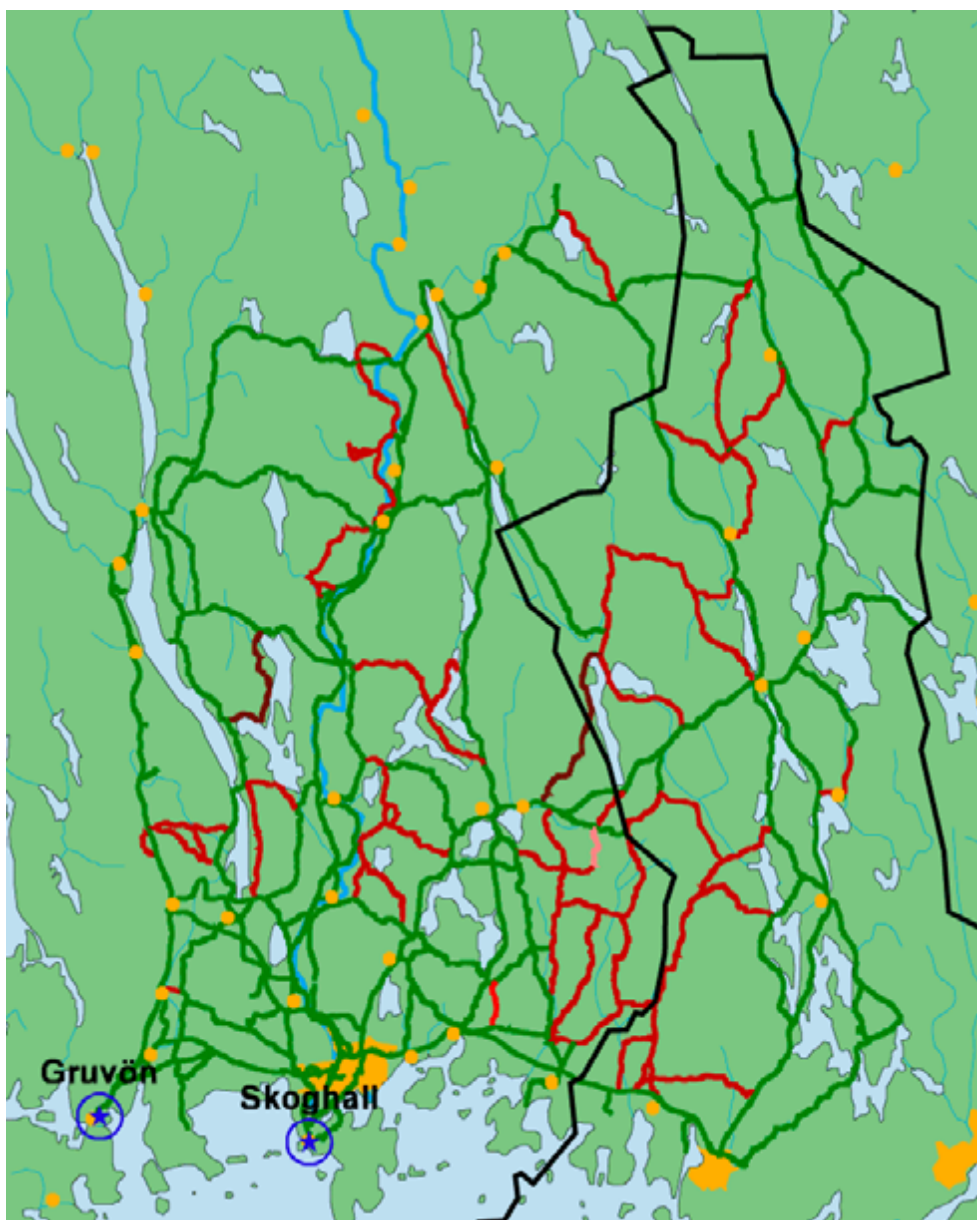


Figur 10.
Andel av hela det allmänna vägnätet som drabbades av bärighetsbegränsningar.



Figur 11.
Andel av det allmänna vägnätet inom Storfors bevakning som drabbades av bärighetsbegränsningar.

I figur 12, illustreras vägvästängningarna i det allmänna vägnätet mellan 1994–2000. Gröna vägar är tjalsäkra, ljus röda vägar har varit avstängda en kortare tid, medan mörkare röda vägar har varit avstängda längre. Vägavstängningarnas omfattning varierar, vilket gör att alla vägar i figur 12 inte är avstängda under ett enskilt år.



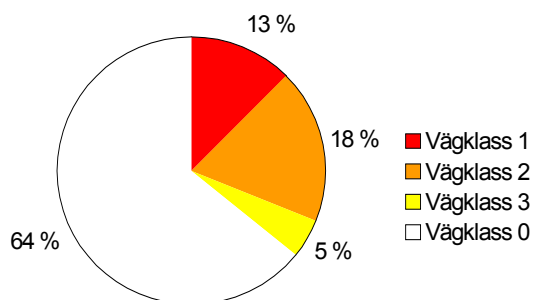
Figur 12.
Vägavstängningar i det allmänna vägnätet 1994–2000.

Det enskilda vägnätet i BIT-vdb var uppdelat i fyra klasser, vilka beskrev ägarförhållanden och till viss del statusen för vägarna.

| | |
|------------|---|
| Vägklass 1 | Egna vägar med statligt eller kommunalt bidrag, >25 ÅDT ¹⁵ |
| Vägklass 2 | Egna vägar utan bidrag, <25 ÅDT |
| Vägklass 3 | Vägsamfällighet med flera ägare samt statligt eller kommunalt bidrag, >25 ÅDT |
| Vägklass 0 | Egna mindre nyttjade vägar eller vägar ägda av andra, osäker status |

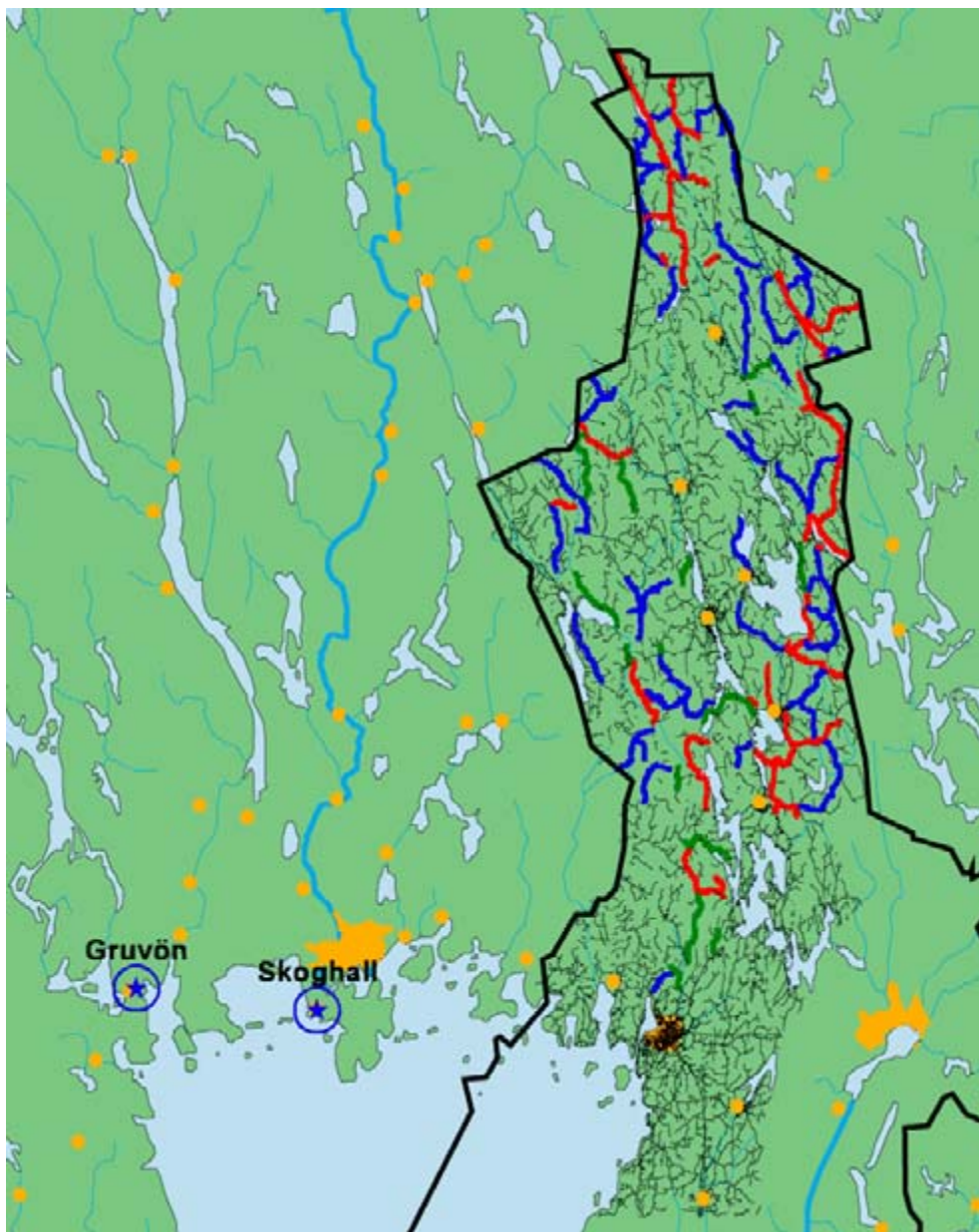
¹⁵ Årsdygnstrafik: bilar per dygn.

Stora Enso Skogs vägnät inom Storfors bevakning kunde fördelas över vägklasser enligt figur 13.



Figur 13.
Stora Enso Skogs vägnät fördelat på vägklasser

Fördelningen av vägnätet på vägklasser kan illustreras med en kartbild, figur 14, som visar det enskilda vägnätet uppdelat per vägglass. Vägarnas färg anger vägglass, där röda vägar representerar vägglass 1, blå vägar vägglass 2, gröna vägar vägglass 3 och svarta vägar vägglass 0.



Figur 14.
 Det enskilda vägnätet i Storfors bevakning, där vägarnas färger anger vägklass

Då det saknades information om huvuddelen av det enskilda vägnätet, klassades vägar utan attribut till vägklass 0.

Bärigheten och tillgängligheten i det enskilda vägnätet bedömdes schablonmässigt till klass C, vilket innebär att lastbilstrafik kan ske under hela året utom under tjällossning eller ihållande regnperioder. Dock antogs en viss skillnad i standard mellan vägarna föreligga, vilket medförde att vägklass 1 och 3 ansågs ha högre status än klass 2, som ansågs vara bättre än klass 0.

Insamling av data och beräkning av upplagringsbehov

Upplagringsbehov

För att kunna försörja industrierna med råvara under perioder med nedsatt bärighet och vägavstängningar, tvingas Stora Enso Skog lagra virke motsvarande ca 62 % av industrins totala efterfrågan från Storfors bevakning under tjällossningsperioden, vilken uppgår till ca 50 500 m³fub. Tjällossningsperiodens längd är inte känd i förväg, utan upplagringen dimensioneras efter den befarade längden och omfattningen av tjällossningsproblematiken. Denna befarade tidslängd, eller omfattning, antas vara det historiskt värsta året under de föregående åren. De beräknade upplagrade virkesvolymerna låg till grund för beräkningarna av kvalitets- och lagringskostnader.

Datafångst

Transportledare vid Stora Enso Skogs försörjningsgrupp i Skoghall bidrog med uppgifter om upplagringsbehovet orsakat av tjälavstängningar och bärighetsrestriktioner inom Storfors bevakning. Vidare användes en av Arvidsson & Holmgren (1999) utvecklade beräkningsmodell för att skatta upplagringsbehovet.

Den viktigaste parametern vid beräkning av upplagringsbehovet är uppgifter om tjälavstängningar och bärighetsrestriktioner. Dessa erhöles från Vägverkets register för trafik- och framkomlighetsrestriktioner, TFR, och innehöll data om vilka vägsträckor som stängts av eller bärighetsbegränsats under de senaste åren, 1994–2000, samt hur länge de enskilda sträckorna var avstängda.

Beräkningar

Arvidsson & Holmgrens (1999) modell anpassades för att kunna användas för att beräkna upplagringsbehovet i Storfors bevakning. Resultaten från modellen jämfördes med de uppgifter som erhöles från Stora Enso Skog.

Resultat upplagringsbehov

Upplagringsbehovet förorsakat av begränsad bärighet och tjälavstängningar uppgick till 31 194 m³fub/år, enligt Arvidsson & Holmgrens (1999) modell. Denna volym fördelade sig på de i studien ingående sortimenten enligt tabell 6.

Tabell 6.
Upplagringsbehov i Storfors bevakning, m³fub/år

| Sortiment | Upplagringsbehov, m³fub/år |
|--------------------------------|--|
| Grantimmer | 10 544 |
| Talltimmer | 5 677 |
| Granmassaved | 7 487 |
| Barrmassaved | 5 989 |
| Lövmassaved | 1 497 |
| Totalt upplagringsbehov | 31 194 |

Det beräknade upplagringsbehovet överensstämde i stort sett med de uppgifter som inhämtades från Stora Enso Skog. De teoretiska siffrorna användes för att medge en tydligare jämförelse av resultat för Storfors bevakning med tidigare beräkningar för Värmland.

Datafångst och beräkning av kvalitets- och lagringskostnader

Kvalitets- och lagringskostnader

Vid lagring av virkesråvara uppstår kostnader beroende på extra transport och hantering, åldrande virke med kvalitetsnedsättning som följd samt räntekostnader. Kostnaderna varierar beroende på vilket sortiment som lagras. Granmassaved belastas med den högsta kvalitets- och lagringskostnaden, medan barrmassaved är mindre känslig för lagring. Detta beror på skilda användningsområden för råvaran i industriprocesserna.

Datafångst och beräkningar

För att beräkna kvalitets- och lagringskostnader användes Arvidsson & Holmgrens (1999) modell samt i huvudsak de kostnadsfunktioner som tagits fram vid utvecklingen av densamma. Med ledning av uppgifter från tjänstemän vid Stora Enso Skog kunde de beräknade kvalitets- och lagringskostnaderna justeras för att passa förhållandena inom Storfors bevakning.

Resultat kvalitets- och lagringskostnader

Vid beräkningarna erhöles uppgifter om kostnader för kvalitetsnedsättningar, kostsammare industriprocesser och lagring för respektive sortiment, se tabell 7.

Tabell 7.
Kvalitets- och lagringskostnader per sortiment.

| Sortiment | Kvalitets- och lagringskostnader, kr/m³fub |
|---|--|
| Grantimmer | 23,72 |
| Talltimmer | 23,72 |
| Granmassaved | 59,43 |
| Barrmassaved | 26,71 |
| Lövmassaved | 25,74 |
| Genomsnittskostnad, kr/m ³ fub | 31,52 |

Som framgår av tabell 7, belastas granmassaved med den högsta kvalitet- och lagringskostnaden och gran- och talltimmer med den lägsta. Dessa kostnader vägs i optimeringsmodellen mot kostnaderna för att upprusta en väg på ett sätt som gör att avstängningar och/eller bärighetsrestriktioner elimineras, vilket leder till att det inte uppstår några kvalitets- och lagringskostnader.

Datafångst och bearbetning av investeringskostnader

Investeringskostnader

Kostnaderna för att rekonstruera en skadad väg, tjälsäkra eller höja bärighetsklassen, beror till stor del på den aktuella vägsträckans specifika status samt till vilken nivå man vill höja denna. Detta gör att det i princip är omöjligt att ange schablonvärden för investeringskostnader som är fullständigt rättvisande för någon väg.

Datafångst

Tjänstemän vid Vägverket i Karlstad och Borlänge bidrog med uppskattningar av kostnader för olika typer av väginvesteringar i det statliga vägnätet. Kostnadsuppskattningar för det privata vägnätet erhöles från SkogForsk och Stora Enso Skog.

Bearbetning

Med ledning av vägnätets status enligt datamaterialet från Vägverket och Stora Enso Skog, gjordes vissa generaliseringar för att skapa ett antal vägstatusklasser. För varje vägstatusklass beräknades investeringskostnader per meter för att uppnå den högsta vägstatusklassen d.v.s. en tjälsäker väg med bärighetsklass BK1 i det allmänna vägnätet och bärighetsklass A¹⁶ i det enskilda.

Investeringskostnaden tillsammans med uppgifter om en väglänks längd, gjorde det möjligt att beräkna totalkostnaden för att uppnå den högsta vägstatusklassen för en enskild länk. Totalkostnaden avser det engångsbelopp som en investering leder till om investeringen direktavskrivs. Kostnaderna för investeringen är således ej periodiserade eller nuvärdesberäknade utan antas rymmas inom den budget som finns för respektive tidsperiod i modellen.

Resultat insamling av investeringskostnader

Nedan presenteras de investeringskostnader som användes vid beräkningen av totalkostnaderna för höjning av vägstatusklass i det allmänna vägnätet, tabell 8.

Tabell 8.
Investeringskostnader som användes i fallstudien, allmänna vägar.

| Nuvarande vägstatus, åtgärd | Kostnad för att nå högsta vägstatusklassen, kr/löpmeter |
|--|---|
| BK1 belagd väg, tjälsäkring | 1 050 |
| BK1 grusväg, tjälsäkring | 1 000 |
| BK2-BK3 belagd väg, bärighetshöjning och tjälsäkring | 1 530 |
| BK2-BK3 grusväg, bärighetshöjning och tjälsäkring | 1 040 |

Kostnadssiffrorna är ett genomsnitt av de uppgifter som erhållits från källor inom Vägverket.

Motsvarande uppgifter om kostnader för det enskilda vägnätet inhämtades internt från SkogForsk, tabell 9. Investeringskostnaderna som redovisas är grova riktlinjer för vad det kostar att gå från vägklass C¹⁷ till vägklass A.

Tabell 9.
Investeringskostnader som användes i fallstudien, enskilda vägar.

| Nuvarande vägstatus, åtgärd | Kostnad för att nå högsta vägstatusklassen, kr/löpmeter |
|-----------------------------|---|
| Vägklass 1, från C till A | 20 |
| Vägklass 2, från C till A | 100 |
| Vägklass 3, från C till A | 20 |
| Vägklass 0, från C till A | 100 |

¹⁶ Lastbilstrafik under hela året.

¹⁷ Lastbilstrafik under hela året utom vid tjällossning eller ihållande höstregnsperioder.

Insamling av industri- och transportkostnadsdata

Industri- och transportkostnadsdata

Utbudet av råvara från skogen måste balanseras av en efterfrågan från industrin. Fallstudien omfattade virkesflöden till Stora Enso Skogs industrier, Skoghalls bruk samt Gruvöns bruk och sågverk. Hela den avverkade virkesvolymen antogs gå till de två industrierna och utgjorde endast en mindre del av industriernas totala virkesfångst. Vidare antogs efterfrågan vara konstant under tidsperioderna (5 år, 5 år, 10 år) som optimeringsmodellen behandlar. Skoghalls bruk tog emot all granmassaved, Gruvöns bruk all barr- och lövmassaved och Gruvöns sågverk allt gran- respektive talltimmer.

För att beräkna kostnaderna för rundvirkestransporter behövs uppgifter om transportkostnader. Kostnaderna varierar bland annat beroende på vägarnas bärighets¹⁸ - eller vägklass¹⁹ och vilket sortiment som transporteras.

Insamling av data

Stora Enso Skogs försörjningsgrupp i Skoghall bidrog med uppgifter om industriernas efterfrågan samt kostnaderna för transporter.

Resultat industri- och transportkostnadsdata

De transportkostnadsfunktioner som användes i studien presenteras nedan i tabell 10. Den fasta kostnaden i transportkostnadsfunktionen som beskriver ställkostnader uteslöts för att medge beräkningar av transportkostnaden på enskilda länkar.

Tabell 10.
Transportkostnadsfunktioner (rörlig del) som användes i fallstudien för olika bärighets- och vägklasser

| Bärighetsklass/ Vägklass | Transportkostnad, kr/m³fub, 100 km | | | |
|-------------------------------------|--|---------------------|---------------------|--------------------|
| | Timmer | Granmassaved | Barrmassaved | Lövmassaved |
| BK1 | 37,60 | 40,90 | 38,90 | 42,60 |
| BK2 | 45,10 | 49,10 | 46,60 | 51,10 |
| BK3 | 48,90 | 53,20 | 50,50 | 55,40 |
| Vägklass 1 | 43,00 | 46,80 | 44,40 | 48,70 |
| Vägklass 2 | 48,40 | 52,70 | 50,00 | 54,90 |
| Vägklass 3 | 43,00 | 46,80 | 44,40 | 48,70 |
| Vägklass 0 | 53,80 | 58,60 | 55,60 | 60,90 |

Tillåtna väginvesteringar

Varje väglänk i BIT-vdb tilldelades uppgifter om den var tillåten att investera i eller ej. Detta för att styra optimeringsmodellen till rätt bågar/länkar i nätverket. De väglänkar som investeringar var tillåtna i, var för det allmänna vägnätet de inom Storfors bevakning. För det enskilda vägnätet tilläts investeringar i väglänkar med klasserna 1–3, d.v.s. de vägar som förvaltades av Stora Enso Skog samt till vilka det fanns knutet attribut.

¹⁸ Allmänna vägar

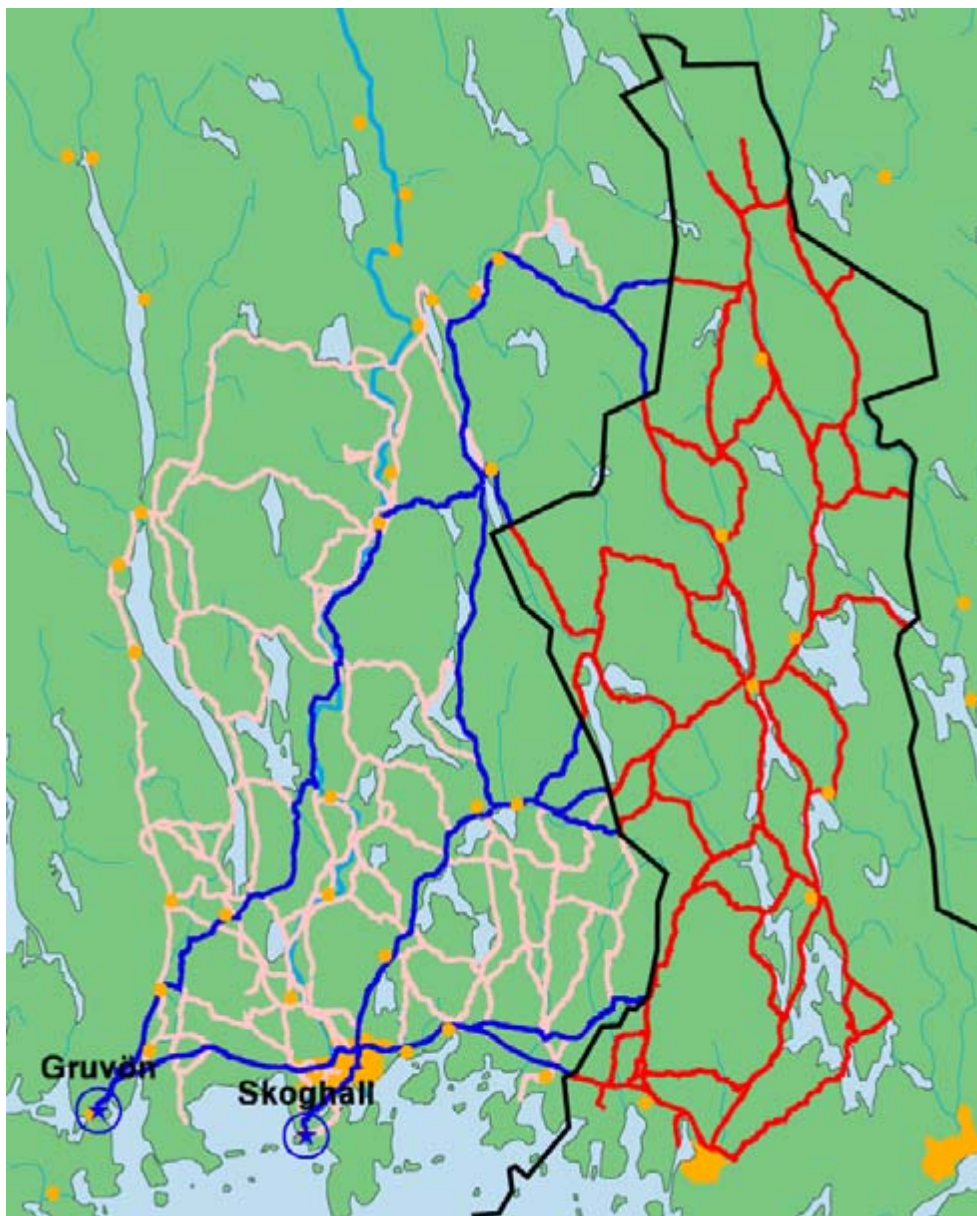
¹⁹ Enskilda vägar

Analyserade scenarier

Som tidigare beskrivits, begränsas beräkningsmodellen av det antal bivillkor som kan hanteras vid beräkningarna. Detta fick till följd att det totala vägnätet (statliga och enskilda vägar) inom Storfors bevakning endast kunde användas som underlag för beräkningarna. För att medge genomförande av optimeringen, krävdes att grunddata reducerades. Nedan beskrivs de två scenarier som användes vid beräkningarna i fallstudien, samt hur omfattande data som användes i respektive scenario.

Scenario 1: Allmänna vägnätet i hela Storfors bevakning

I scenario 1 behandlades det allmänna vägnätet i hela Storfors bevakning, röda vägnätet i figur 15. Detta gjorde att antalet noder i vägnätet kunde reduceras till ca 1 500. För att åstadkomma denna reduktion antogs avverkningstrakterna vara kopplade direkt till de allmänna vägarna. Vidare antogs transportererna mellan den västliga gränsen för Storfors bevakning och industrierna i Skoghall och Gruvön ske längs nio virtuella väglänkar för respektive industri, blåa vägar i figur 15. Dessa representerade den normala rutten från platsen där en allmän väg korsar bevakningsgränsen och fram till industrin. Således kunde antalet väglänkar utanför Storfors bevakning begränsas till endast nio stycken. För att erhålla längden för de virtuella länkarna summerades längderna av de enskilda väglänkarna längs transportrutten. Denna operation gjorde att antalet noder i vägnätet kunde reduceras väsentligt.



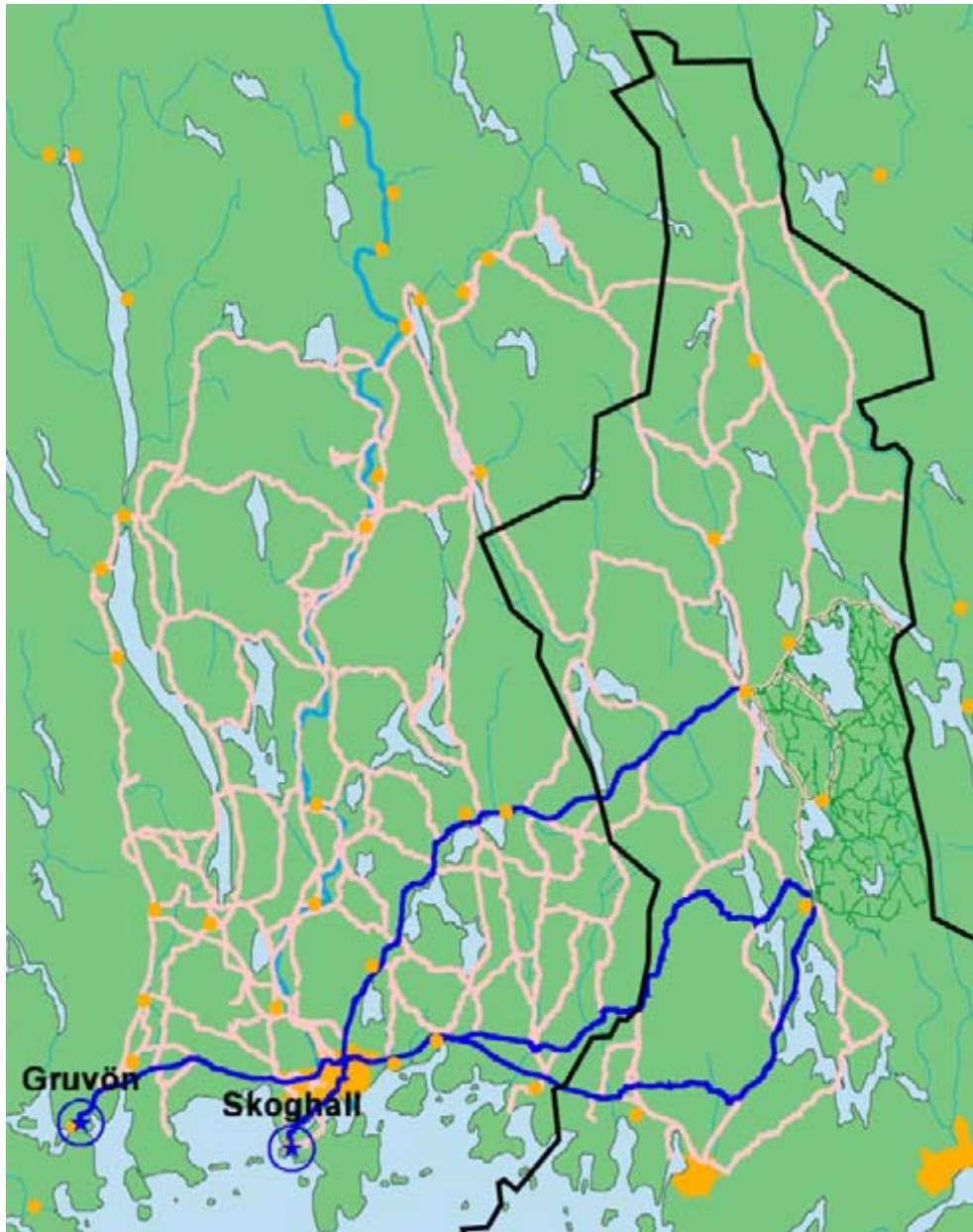
Figur 15.
Vägnätet i scenario 1.

Avverkningstrakterna som var spridda relativt jämnt över bevakningen knöts med hjälp av ett GIS-verktyg till de kvarvarande noderna i det nätverk som det allmänna vägnätet utgjorde.

Budgetramen för väginvesteringar som användes vid optimeringen var 25 Mkr/period.

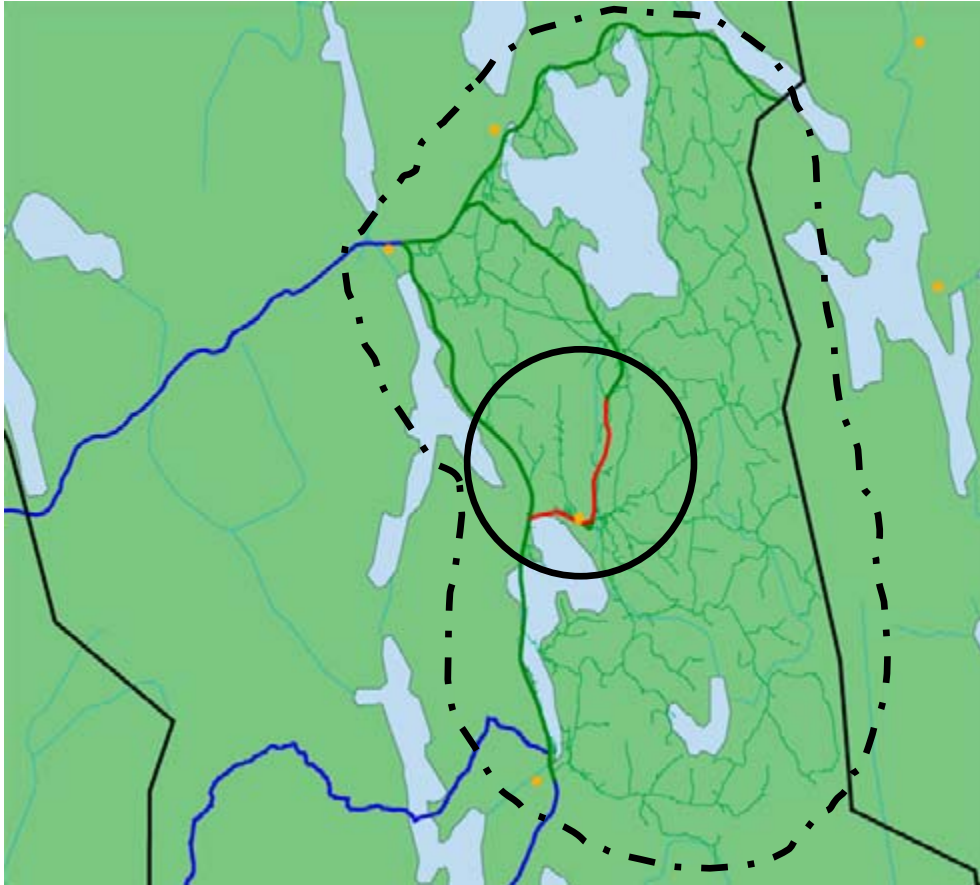
Scenario 2: Allmänna vägnätet samt Stora Enso Skogs vägnät i del av Storfors bevakning

I scenario 2 användes både det allmänna och det enskilda vägnätet. Ett mindre delområde av Storfors bevakning valdes ut för att medge en fördjupad analys. Detta medförde ett större antal noder än i scenario 1, och därmed ett finmaskigare vägnät med en högre upplösning, figur 16.



Figur 16.
Vägnätet i scenario 2.

I det vägnät som användes i scenario 2 fanns det ett fåtal väglänkar i det allmänna vägnätet som hade varit avstängda under perioden 1994–2000, röda länkar inom cirkeln i figur 17.



Figur 17.
Tjälavstängningar i vägnätet (inom streckad linje) i scenario 2.

För att reducera antalet noder användes virtuella länkar på samma sätt som i scenario 1. Med ledning av hur virkesflödet gick i scenario 1, valdes vilka transportrutter som de virtuella länkarna skulle representera. De virtuella länkarna i riktning mot industrierna uppgick till tre stycken (blåa vägar i figur 17).

De avverkningstrakter som fanns inom delområdet kopplades till noderna i vägnätet enligt samma procedur som i scenario 1.

Budgetramen för väginvesteringar som användes vid optimeringen var 5 Mkr/period för investeringar i det allmänna vägnätet, respektive 5 Mkr/period för Stora Enso Skogs vägnät.

Resultat

Metod

Den utvecklade optimeringsmodellen använder GIS-information om det statliga vägnätet. Denna information har en uppbyggnad som till viss del efterliknar den kommande NVDBs struktur. Data om vägnätets avstängningshistorik har hämtats från vägdata-baser och kopplats till ett vägnät med hjälp av GIS-verktyg och databashantering, se bilaga 1.

Information om skogstillståndet inom ett område har inhämtats från traktdata-baser för att beskriva variationerna över tiden i utbud av skogsråvara. Vidare har kostnaderna för lagrings- och kvalitetsförluster skattats med hjälp av tidigare utvecklade analysmodeller (Arvidsson & Holmgren, 1999).

Data om kostnader för upprustning av vägnätet samt transport längs olika klasser av vägar har hämtats från tjänstemän på Vägverket och från Stora Enso Skog.

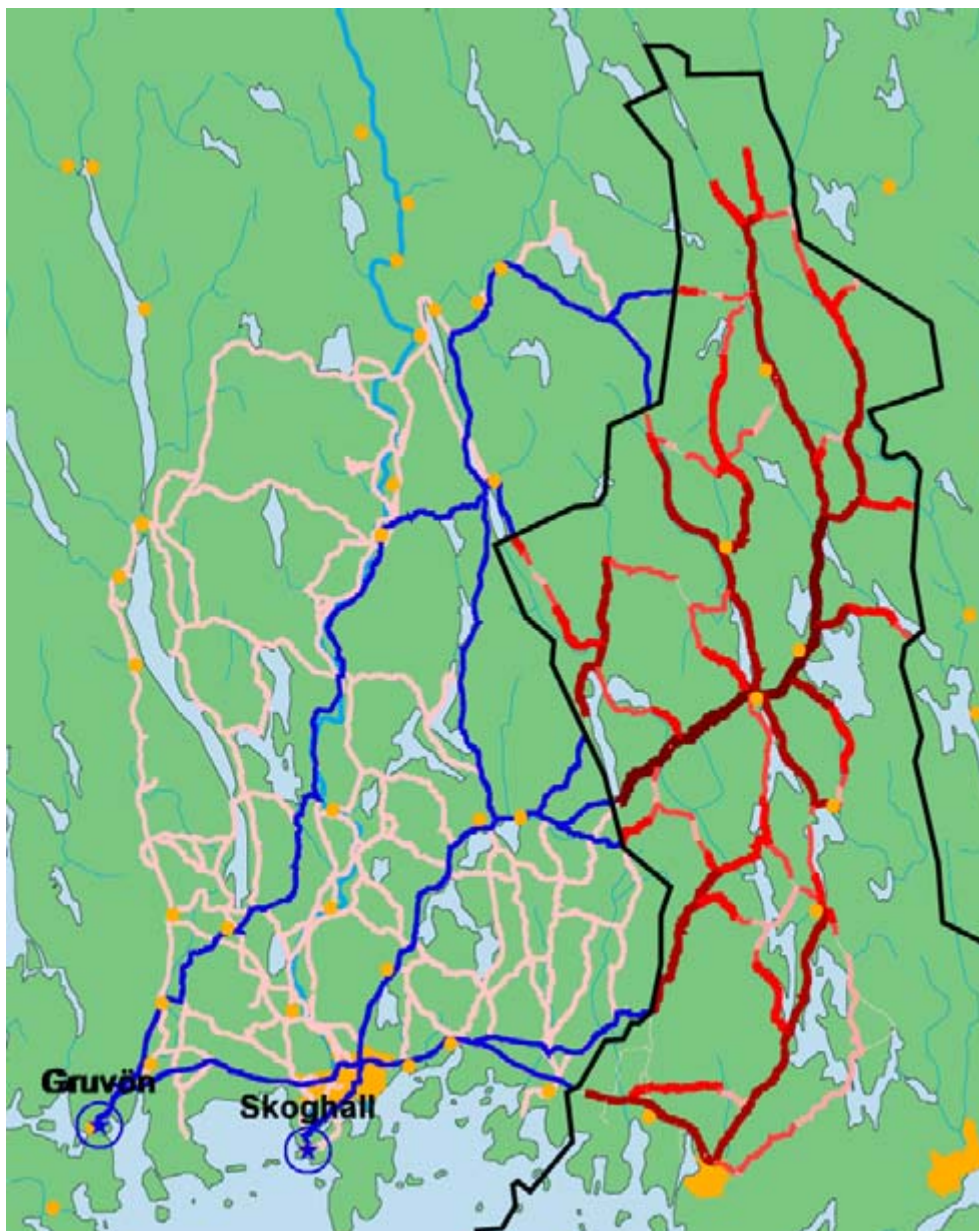
Den matematiska modellen tar hänsyn till virkesflödet i vägnätet över flera tidsperioder. Vid väginvesteringar vägs kostnaden av en investering mot intäkterna av en lägre transportkostnad samt eliminerade kvalitets- och lagringskostnader. Detta ställer krav på att väglänkarnas inbördes förhållande i geografin är känt så att en väginvestering verkligen frigör virkesvolym. Modellen hanterar detta genom att använda terminalflöden i ett skuggnätverk.

Fallstudie, Stora Enso Skog, Storfors bevakning

Datorkörningarna med optimeringsmodellen genomfördes vid Linköpings universitet. Vid optimeringen genererades utdatafiler med uppgifter om virkesflöden av olika sortiment och investeringar per väglänk under varje tidsperiod. Resultaten presenteras per scenario nedan.

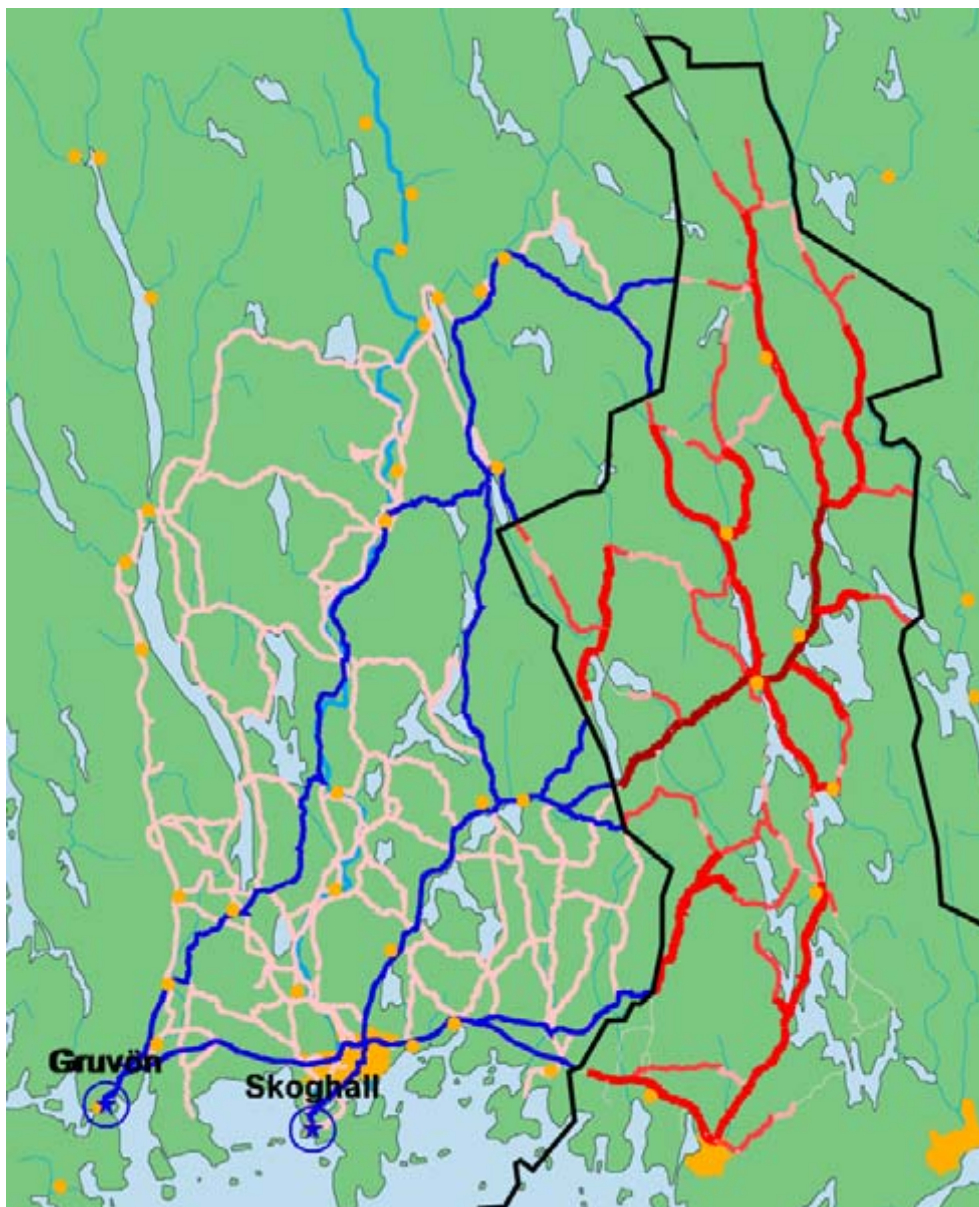
Scenario 1: Allmänna vägnätet i hela Storfors bevakning

Scenario 1 optimerar virkesflödena och väginvesteringar i det allmänna vägnätet som täcker Storfors bevakning. Figur 19 visar virkesflödena längs vägarna. Ju mörkare röd färg desto större flöde.



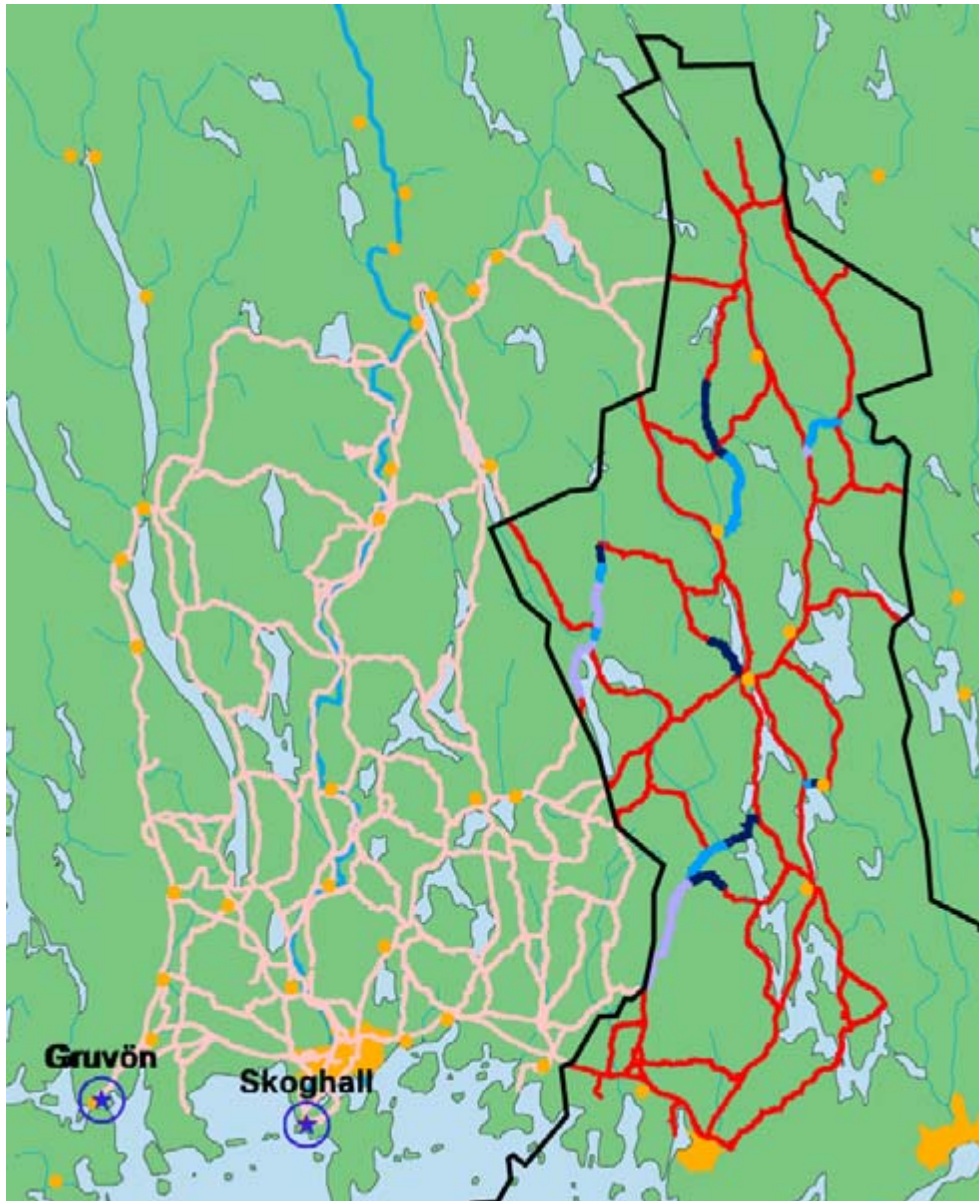
Figur 19.
Totala virkesflödet i scenario 1.

Motsvarande kartbild där endast flödena av granmassaved är representerade visas i figur 20.



Figur 20.
Virkesflöden av granmassaved i scenario 1.

Investeringar genomförs i vägnätet enligt figur 21. Huvuddelen av investeringarna sker vid utgångarna ur studieområdet mot industrierna, där virkesflödena är som störst.

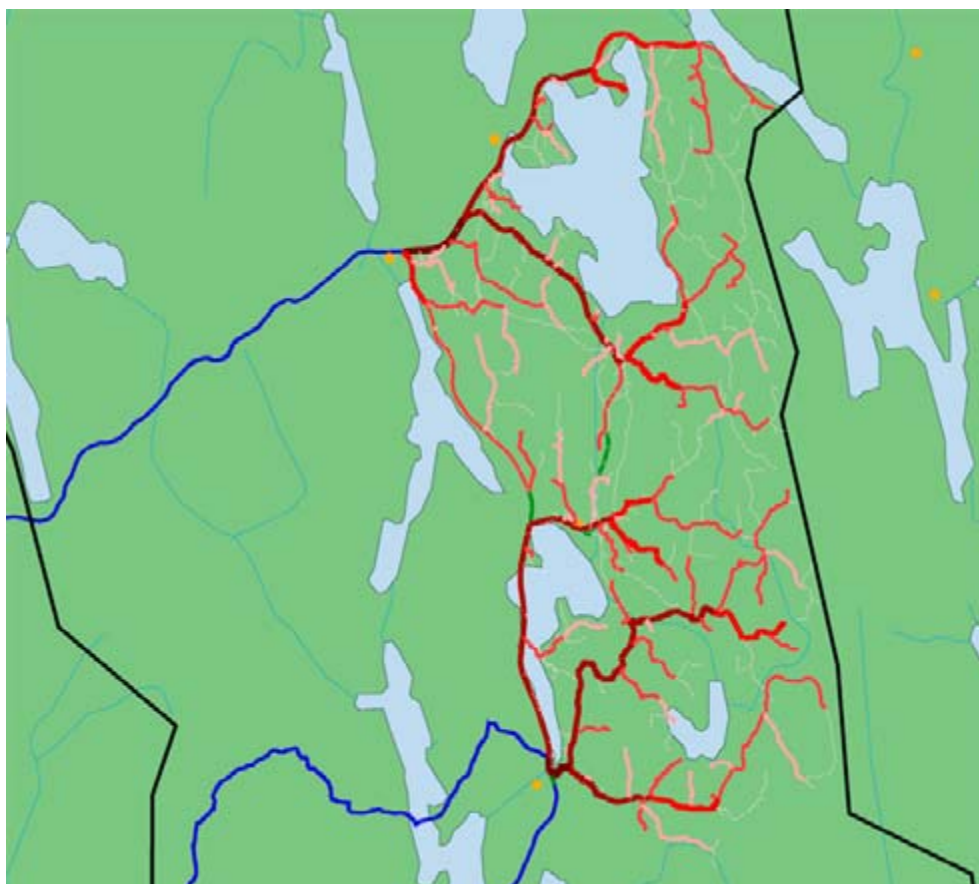


Figur 21.
 Investeringar i scenario 1.

Ljusblå färg indikerar att investeringen genomförts i period 1, mellanblå färg visar investeringarna i period 2 och mörkblå investeringarna i period 3. Investeringarna är endast tillåtna inom Storfors bevakning och sker mot virkesflödets riktning. Detta medför att det successivt frigörs volymer från lagerflödet.

Scenario 2: Allmänna vägnätet samt Stora Enso Skogs vägnät i del av Storfors bevakning

Scenario 2 optimerar virkesflödena och väginvesteringar i det allmänna vägnätet respektive Stora Enso Skogs vägnät inom en del av Storfors bevakning. Figur 22 visar virkesflödena längs vägarna. Ju mörkare röd färg desto större flöde.

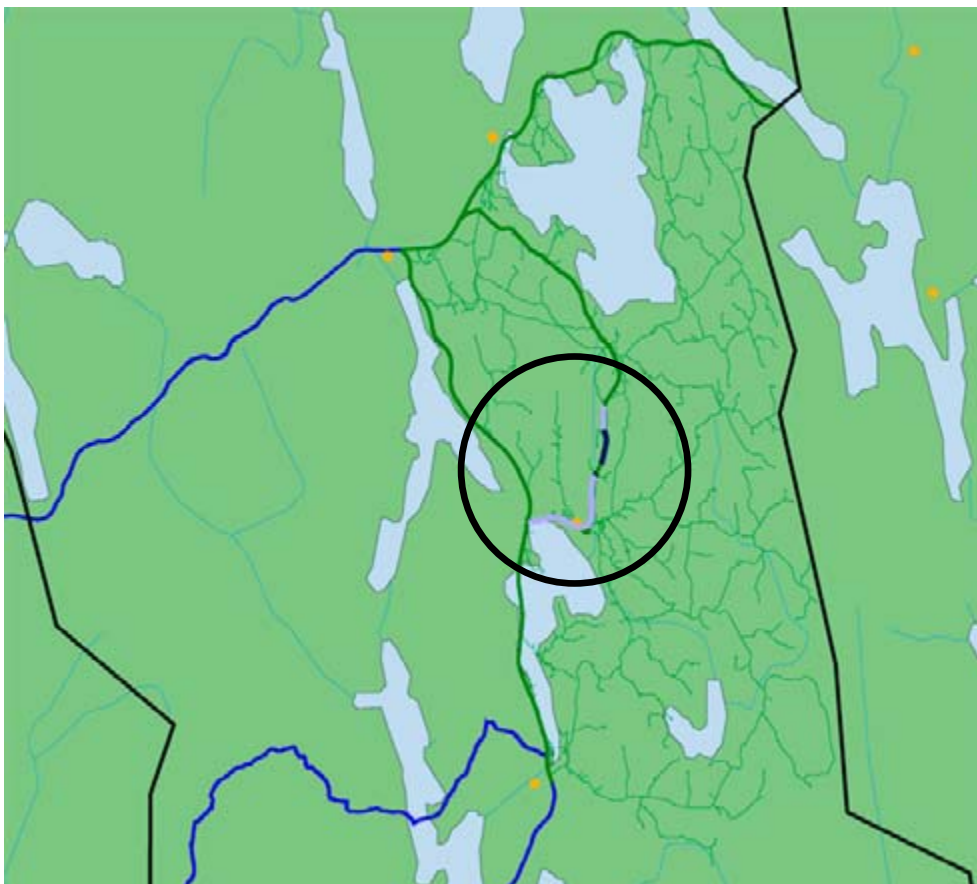


Figur 22.
Virkesflöden i scenario 2.

Investeringar genomförs i vägnätet enligt figur 23. I det enskilda vägnätet utblir investeringar. Detta p.g.a. att kostnaderna för investeringarna är högre än intäkterna av reducerade transport-, kvalitets- och lagringskostnader.

I det allmänna vägnätet genomförs investeringar i de väglänkar som var klassade som icke tjälsäkra, inringade i figur 23. Dessa vägar var de enda som inte tillhörde den högsta bärighetsklassen och dessutom var tjälsäkra. Därmed var det endast dessa vägar som genererade intäkter i form av reducerade kvalitets- och lagringskostnader vid en investering. Övriga vägar skulle endast givit en reducerad transportkostnad vid en investering i de fall de hade varit klassade till en lägre bärighetsklass. Detta förklarar varför investeringar endast genomfördes i de tjällossningsdrabbade vägarna. Vidare genomfördes investeringarna endast under period 1 och 3 (mellanblå väglänkar saknas) och kostade 6,4 Mkr trots att investeringsbudgetens totala utrymme på 15 Mkr skulle ha medgivit större investeringar. Förklaringen till detta är att det endast kostade 6,4 Mkr att genomföra de lönsamma investeringarna samt det inte transporteras något virke på de potentiella

investeringsobjekten under period 2, vilket gjorde att optimeringsmodellen väntade till period 3 innan den föreslog ytterligare investeringar.



Figur 23.
Investeringar i scenario 2.

Diskussion

Matematisk modell

Den matematiska modellen är generell i den mening att den, givet att indata genereras enligt ett specificerat format, kan användas för att lösa problem för alla möjliga val av kostnader m.m. Det går även att lägga till flera nivåer av investeringar om det är önskvärt att generera lösningar för olika grad av väginvesteringar. Modellen blir större, men ökningen sker i dimensionen av variabler och inte i bivillkor, vilket är positivt för lösningstiderna.

Modellen är specifik i det att den kan hantera terminalflöden på ett korrekt sätt. Vi bedömer att den typ av terminalflöden som hanteras just i det här fallet inte förekommer i andra modeller i litteraturen.

Lösningssmetod

Modellen är mycket stor, vilket innebär att det inte kan garanteras att det går att lösa den optimalt. Däremot kan man genom att använda heuristiker²⁰ i vissa steg ändå lösa den näroptimalt inom rimlig tid.

Metod, datafångst

Utvecklingsarbetet visar att det var möjligt att utnyttja GIS-information om vägnätet samt data från andra vägdata-baser för att skapa ett NVDB-liknande vägnät. Dock krävs det vidare utvecklingsinsatser för att ta till vara på detaljrikedomen i vägnätet på ett konstruktivt sätt.

För att anpassa och förbereda indata till optimeringsmodellen, användes GIS-verktyg tillsammans med databaser. De data som användes kom från flera olika datakällor, vilket medförde ett behov av att konvertera data från olika format till en gemensam struktur. Detta arbete innehöll stora mått av handpåläggning, vilket medför att förberedelserna inför användandet av den utvecklade optimeringsmodellen tar relativt mycket tid i anspråk. Omfattningen av detta arbete kan säkerligen minska i takt med att framför allt nya väginformationssystem utvecklas.

Genom att använda GIS-verktyg i arbetet med datafångst och bearbetning av data erhöles möjligheter att säkerställa riktigheten i datamaterialet på ett relativt enkelt sätt jämfört med om bearbetning skulle skett uteslutande med hjälp av databashantering. Dock krävs det vidare utveckling av rutiner för att fort-löpande kontrollera att det vägnät som vägdata-basen innehåller hänger ihop. GIS-stödet har under arbetet bidragit till att sänka komplexiteten då data-mängderna var relativt stora, och därmed säkerställt ett funktionellt vägnät.

Fallstudie

Diskussion kring genomförandet av fallstudien.

Förenklingar

Då vägnätet i sitt grundutförande var alltför omfattande för att användas som underlag för optimeringen, tvingades åtgärder vidtas för att reducera det. Reduceringen medförde att upplösningen minskade. Detta begränsade i sin tur antalet potentiella investeringsobjekt vad gäller upprustning och restaurering. Effekterna av detta förfarande är svåra att skatta.

Material

Datamaterialet till fallstudien insamlades från en rad olika tjänstemän eller register. Mycket av den indata som har använts bygger på bedömningar eller uppskattningar. Detta gäller framför allt vid beräkningarna av kvalitets- och lagringskostnader samt kostnaderna för väginvesteringar. Av naturliga skäl är det omöjligt att beräkna kostnaden för att upprusta en enskild vägsträcka med ledning av de uppgifter som finns i olika vägdata-baser. Bärighetshinder och vägvastängningar uppträder inte i förutsägbara intervall med likartad om-

²⁰ Metoder för hypotesbildning vilka kan användas för att sälla ut matematiskt intressanta lösningar.

fattning. Detta medför att det alltid råder en viss osäkerhet om storleken på lagernivåer och om vilka vägsträckor som är mest drabbade av avstängningar och därmed i störst behov av åtgärder.

Vad gäller stabiliteten i industriernas efterfrågan, kan det förmodas att den inte kommer att avvika från utbudet inom den tidsram som optimeringsmodellen arbetar med. Detta beror på antagandet att Storfors bevakning bidrar med en relativt liten del av de studerade industriernas totala efterfrågan av råvara, vilket gör att industrins efterfrågan alltid kommer att överstiga utbudet från Storfors bevakning.

Metod

Arbetsmetodiken vid genomförandet av datafångst och beräkningar i fallstudien avviker förmodligen inte från den metod som måste användas vid framtida studier. Dock kan framtida vägdatabaser och informationssystem underlätta arbetet genom att erbjuda enhetligare data samlat vid färre källor.

Studieområde

Det i fallstudien studerade området, Stora Enso Skog Storfors bevakning, valdes för att det innehöll en relativt stor andel bolagsskog, vilket gav ett bra underlag för att skatta virkesflödena. Skogstillståndet var känt och det gick med god säkerhet att prognostisera framtida avverkningar samt utfallet av olika sortiment.

En annan viktig anledning till att välja Storfors bevakning, var att den ligger i Värmland som tillhörde de län som var färdigbehandlade i NVDBs förberedande produktion. Detta medförde att det fanns ett färdigt digitaliserat vägnät innehållande både allmänna och enskilda vägar.

De nackdelar som kan hänföras till valet av Storfors bevakning, kan vara att de i fallstudien studerade virkesflödena i huvudsak följer samma vägsträckor vid transporten till industrierna oberoende av till vilken industri som virket är destinerat. Detta p.g.a. att industrierna låg relativt nära varandra, vilket därmed minskade möjligheterna att studera val av investeringsobjekt beroende av flödet av enskilda virkessortiment.

Resultat Fallstudie

Diskussion kring resultaten av fallstudien.

Scenario 1

Scenario 1 omfattade det allmänna vägnätet i Storfors bevakning. Virket flödade på ett förväntat sätt mot industrierna utan att uppvisa några förvånande vägval.

Då de största virkesvolymerna belastar väglänkar närmast industrierna, genomförs investeringar av naturliga skäl också där. Detta p.g.a. att förhållandet mellan kostnader och nytta är mest gynnsamt vid dessa länkar.

En intressant iakttagelse är de fåtaliga korta friliggande länkar vari det investerats utan någon rimlig förklaring. Förmodligen beror detta på att modellen fyller ut budgetutrymmet med dessa när budgetbegränsningen är nära att brytas.

Scenario 2

Scenario 2 omfattade både det allmänna vägnätet respektive Stora Enso Skogs vägnät inom en del av Storfors bevakning. Liksom i scenario 1 var virkesflödena störst i de utgångar som låg riktade mot industrierna i sydväst.

Antal möjliga länkar att investera i var begränsat, vilket gör att det är svårt att dra några generella slutsatser angående optimeringsmodellens funktion. Ett större urval av potentiella länkar skulle förmodligen ge en tydligare bild av hur investeringsbesluten har fattats.

För de enskilda väglänkarna skulle eventuellt lönsamheten sett annorlunda ut om de antogs vara avstängda under delar av året och därmed kunde generera kostnadsbesparingar i form av reducerade kvalitets- och lagringskostnader. I nuvarande specifikation tilldelar optimeringsmodellen bara positiv lönsamhet till väglänkar med mycket stora virkesflöden om de upprustas från en lägre till en högre väglklass. Detta beror på att investeringskostnaden är mycket hög i förhållande till besparingen som görs p.g.a. reducerade transport- samt lagrings- och kvalitetskostnader.

Vilka länkar väljs, mönster?

Det tydligaste mönstret vad avser val av länkar för investering vid optimeringen, är att det är virkesflödets storlek som avgör ett investeringsbeslut. Ju närmre industrierna en länk är lokaliserad i nätverket desto större är flödet. Detta påverkar i sin tur lönsamheten hos en investering.

Tyvärre flödar alla sortiment i samma riktning i fallstudien. Detta gör att det är svårt att uttala sig om enskilda sortiments inverkan på om investeringar genomförs. Det är dock troligt att granmassaved har ett stort inflytande över investeringsbeslut, med tanke på de höga intäkterna vid en investering i form av reducerade kvalitets- och lagringskostnader.

Problem och möjligheter

Vilka problem och möjligheter finns det rörande en optimeringsmodell för väginvesteringar?

Storlek på problem

För att erhålla ett användbart beslutsunderlag avseende vilka vägar som är mest lönsamma att upprusta och restaurera, krävs det att det går att behandla ett större geografiskt område. Så som optimeringsmodellen ser ut i dag, är detta ett problem, då problemets lösningstid tenderar att bli väldigt lång. Dock går det att genomföra beräkningar för reducerade problem, vilket ställer krav på en vidare utveckling av verktyg för att filtrera den detaljerade data som kan förväntas att finnas tillgänglig i den kommande nationella vägdatan. Detta för att datamängderna ska bli rimliga.

Genom att begränsa antalet tidsperioder och sortiment, kan antalet noder i problemet höjas något. Detta innebär dock att tidsdimensionen går förlorad liksom upplösningen, när det gäller att ta hänsyn till olika tillverkningsprocessers behov av en färsk råvara. Detta speglas genom att kvalitets- och lagringskostnaden skiljer sig åt för olika sortiment.

Väginformation

I dagsläget saknas en vägdatabas som innehåller information om alla vägar. Detta gör att kvaliteten på data är ojämn, vilket skapar en viss osäkerhet. En framtida nationell vägdatabas kommer förhoppningsvis att råda bot på detta. Vidare kan andelen handarbete med en central datakälla vid datafångsten förväntas minska till rimligare nivåer.

För att samla in och hantera väginformationen kopplad till det enskilda vägnätet krävs fortsatt utvecklingsarbete. Den information som är tillgänglig i dag är av varierande kvalitet och omfattning.

Schablon-/detaljnivå i väginformationen

För att nå ett arbets sätt som förenar hög detaljrikedom i väginformationen, med ett sätt att lösa optimeringsproblemet, som är förenligt med tillgänglig datorkraft, krävs fortsatt utveckling av verktyg för problemlösning.

Vid fallstudien uteslöts de enskilda vägarna ur vägnätet för att reducera antalet noder och bågar/länkar i nätverket. Effekten av detta förfarande kan bli att fel vägar väljs utifrån ett lönsamhetsperspektiv. Dock är det sannolikt att om en begränsad investeringsbudget ska användas, så är det i vilket fall som helst vägarna med störst flöde som är mest lönsamma att investera i. Detta gör att det förmodligen inte har en avgörande betydelse om det enskilda vägnätet är representerat eller ej vid en optimering av väginvesteringarna i det allmänna vägnätet över ett större område. Vid optimeringen av investeringar i det enskilda vägnätet blir problemen större, eftersom det är svårare att ta hänsyn till de allmänna väginvesteringarna. Detta p.g.a. behovet att reducera vägnätet till mindre delområden för att kunna lösa problemet. Investeringar i det allmänna vägnätet utanför delområdet är då uteslutna vid optimeringen och beaktas därmed inte. Vidare medför reduktionen av vägnätet (scenario 2 i fallstudien), för att det ska vara möjligt att bibehålla en hög upplösning i det enskilda vägnätet, att risken för suboptimering ökar.

Ett sätt att angripa problemet, kan vara att i ett första steg manuellt selektera ett antal vägsträckor som man tror är lämpliga investeringsobjekt. I ett andra steg optimerar man valet av sträckor ur den begränsade gruppen. Optimeringsproblemet blir därmed mindre och låter sig lösas lättare och snabbare. Dock leder detta till att modellens beslutsutrymme minskar. Samtidigt kan ett manuellt urval till en grupp av potentiella investeringsobjekt leda till att antalet vägsträckor att samla data minskar, vilket gör att mer kraft kan läggas på att höja datakvaliteten. Vidare ökar användarens kontroll över både indata och resultat på ett sätt som kan bidra till att sänka komplexiteten i resultaten.

En annan variant är att utgå från det detaljerade vägnätet som arbetades fram i förberedelserna inför fallstudien, och sedan knyta samman väglänkar längs en vägsträcka med likartad status till sammanhängande åtgärdsenheter. Genom att fortfarande ha tillgång till hela vägnätet när investeringsbeslut fattas, men samtidigt ha reducerat möjligheterna att sprida ut investeringar på ett mer godtyckligt sätt, erhålles två vinster. För det första efterliknas verkligheten i större utsträckning. Detta eftersom det är sannolikt att en längre vägsträcka, som i teorin utgörs av flera länkar, i praktiken åtgärdas i sin helhet snarare än att en-

skilda länkar uppgraderas, medan andra lämnas. För det andra medför förfarandet att problemet blir mindre, då antalet möjliga beslut reduceras.

För att beräkna investeringskostnaden för en enskild vägsträcka klassas väglänkar till en vägstatusklass med en uppskattad investeringskostnad. Detta förfarande gör att storleken av den beräknade investeringskostnaden sannolikt både överskattas för vissa vägvagnsnitt och underskattas för andra. Det kan dock förmodas att det inte är av högsta vikt att nå en exakt beräkning av investeringskostnader vid strategiska investeringsberäkningar, utan snarare att erhålla en inbördes rangordning och selektering av investeringsobjekt.

Information om skogstillstånd

Då utbudet av skogsråvara varierar inte bara över tiden, utan också över en yta, har det varit en förutsättning att känna till dessa variationer för att kunna skatta virkesflödet i vägnätet. Det skulle sannolikt vara möjligt att använda schablon-siffror för att skatta flödena längs vägar, grundat på nodtäthet i vägnätet, men då kvalitets- och lagringskostnaderna väsentligen skiljer sig åt mellan olika sortiment minskar möjligheterna att ta hänsyn till variationer inom ett område. Detta kan få konsekvenser vid val av investeringsobjekt, i synnerhet om det studerade området är så pass stort att utbudet av olika sortiment skiljer sig åt inom olika delar.

Sålunda har det varit väsentligt för studien att ha tillgång till traktdata med geografisk koppling. Dock finns det brister i kopplingen av avverkningstrakter till vägnoder, vilket diskuteras nedan.

Förbättrad koppling av trakter/noder

Kopplingarna av bestånd till vägnoder skedde utan kunskap om en enskild koppling var möjlig. Detta medförde att det sannolikt har skett kopplingar som inte är möjliga p.g.a. olika typer av terränghinder, vilket har fått till följd att vissa noder kan ha tilldelats mer eller mindre volym än de borde ha fått.

De fel som kan uppstå när en nod tilldelas mindre volym än vad den i verkligheten ska ha, är att de länkar som kopplar till noden får ett mindre flöde. Detta påverkar lönsamheten att investera i länken om den är ett potentiellt investeringsobjekt. Då virkesflödena i fallstudien huvudsakligen går från nordöst till sydväst, är det dock sannolikt att investeringarna sker i de länkar som ligger närmre industrierna, där den tillkommande volymen från noderna är relativt sett mindre än den transitvolym som kommer från länken ovanför i nätverket. Följden blir att kopplingen av volymer till noder inte har någon avgörande betydelse för virkesflödet på enskilda länkar. Detta visar också resultaten av fallstudien. Om ett område studeras som har industrierna jämnt spridda över ytan, kan problemet förmodligen bli större, då flödena längs bågar/länkar i nätverket sannolikt är jämnare fördelade. Dock återstår det faktum att flödena närmast industrierna är störst och att nettotillskotten från avverkningstrakter är relativt små ju närmre industrierna man kommer.

För att kunna göra en adekvat koppling av avverkningstrakter till vägnoder, krävs det att verktyg utvecklas som kan ta hänsyn till terränghinder som ej går att passera vid drivning till bilväg. Detta ställer krav på ytterligare GIS-information utöver den om vägnätet som användes vid databearbetningen.

Vid reducering av indata till problemet, så att endast allmänna vägar återstår, finns det ett behov av en rutin för att föra över de avverkningsvolymerna som finns kopplade till det enskilda vägnätet till rätt noder i det allmänna vägnätet. Rätt nod bör vara den första noden i det allmänna vägnätet som ett flöde i det enskilda vägnätet stöter på vid flöde i ett oreducerat vägnät.

Information om skogstillståndet inom ett område

I fallstudien beaktades endast Stora Enso Skogs egna skogsinnehav d.v.s. leveransvirke från externa leverantörer uteslöts ur beräkningarna. Vid fördelning av investeringsmedel inom områden med stor andel bolagsskog är detta ett mindre problem, om huvuddelen av avverkningsvolymerna kommer från bolagsskogen, vars skogstillstånd är känt. Studeras däremot områden med stor andel familjeskogsbruk är det svårare att skatta skogstillståndet liksom de framtida avverkningsvolymerna. För att lösa detta kan det finnas behov av rutiner för att schablonmässigt tilldela avverkningsvolymerna till områden där osäkerhet råder om skogstillståndet och ägarnas agerande.

Information om industrierna

Uppgifterna om industriernas efterfrågan innehåller på längre sikt ett visst mått av osäkerhet. För att balansera utbudet av råvara från skogen, måste industrin i nätverksmodellen ta emot det som produceras. Om ett mindre område av en industris fångstområde studeras, kommer utbudet av råvara endast utgöra en mindre del av industrins totala efterfrågan av råvara. Då kan det antas att industrins efterfrågan inte kommer att avvika från utbudet inom den tidsram som optimeringsmodellen arbetar med. Detta givet att industrierna fortsätter att efterfråga de sortiment som erbjuds, då balansen förändras om industrierna slutar efterfråga något av de producerade sortimenten.

Vid en studie av ett större område, som omfattar en större yta än enskilda industriers fångstområde, kan problem uppstå när det gäller att skatta efterfrågan av råvara på längre sikt. Det kan dock förmodas att det är de största industrierna som har störst inverkan på virkesflödena, samtidigt som dessa sannolikt har den stabilaste existensen över tiden. Detta borgar för att virkesflödena sannolikt inte förändras dramatiskt även om industrier byter ägare och mindre industrier upphör.

Felkällor

Mycket av den indata som användes av optimeringsmodellen bygger på bedömningar och uppskattningar. Detta medför av naturliga skäl att det alltid finns ett mått av osäkerhet. Det är svårt att säga om ifall vinsterna av att eliminera osäkra faktorer ger en bättre selektion av investeringsobjekt som uppväger kostnaderna av att samla in data på ett mindre schablonmässigt eller kostnadseffektivt vis. Modellen bör med dagens upplösning ge ett fullt tillräckligt stöd för beslut om väginvesteringar på strategisk nivå.

Övriga vägnyttjare

Den utvecklade optimeringsmodellen tar inte hänsyn till den nytta som övriga vägnyttjare, utöver skogsnäringen, erhåller. Detta gör att nyttan av en väginvestering sannolikt underskattas längs vissa vägar, medan den är neutral längs andra. Om en mer generell skattning av nytta ska göras, måste optimeringsmodellen kompletteras med rutiner för att ta hänsyn till andra transporter utöver skogsnäringens.

Slutsatser

Under arbetet med att utveckla ett beslutsstöd för investeringar i bärighets-höjande åtgärder, har kunskaper och erfarenheter erhållits, som gör att ett antal slutsatser kan dras. Dessa presenteras nedan under respektive ämnesområde.

Matematisk modell

- Den matematiska modellen beskriver sambandet mellan väginvesteringar och nytta för skogsnäringen. Detta medför att det är möjligt att selektera väginvesteringsobjekt inom ett område under ett antal tidsperioder givet begränsade investeringsbudgetar och varierande utbud och efterfrågan av skogsråvara.
- För att skapa en praktiskt hanterbar modell för prioritering av väginvesteringar krävs fortsatt utvecklingsarbete.
- Under arbetet har idéer för en modell som är enklare att lösa utarbetats. I denna modell används vägflöden som variabler tillsammans med investeringsplaner i stället för enskilda beslut.

Metod

- Användningen av GIS-information för att beskriva vägnätet var möjlig och underlättade bearbetningen av vägdata samt sänkte komplexiteten i arbetet.
- Genom att använda information om skogstillståndet ökade upplösningen i skattningen av framtida virkesflöden och därmed möjligheterna att med större säkerhet beräkna lönsamheten i väginvesteringar.
- En framtida nationell vägdatabas kommer förmodligen att underlätta data-fångsten, då vägdata beskrivs på ett enhetligare sätt.

Fallstudie

Resultaten av fallstudien indikerar att den matematiska modellen kan selektera vilka väginvesteringar som ska genomföras inom ett begränsat område under ett antal tidsperioder.

Framtida utvecklingsbehov

Skogsnäringen visar ett ökande intresse för frågor rörande virkesflöde och leveransprecision, vilket även kopplar mot vägfrågor såsom åtkomstproblem och vägbyggnation. Detta gör att det finns starka incitament till att utvecklingen av beslutstöd kopplade till en optimeringsmodell för väginvesteringar bör fortsätta.

Ett flertal framtida utvecklingsbehov kan spåras med ledning av de kunskaper och erfarenheter som erhållits under projektet. Följande punkter kan tjäna som en fingervisning inom vilka områden framtida utvecklingsarbete bör genomföras:

- Metoder för reducering och filtrering av datamängder. Detta medför att problemet går att lösa optimalt samtidigt som realismen i resultaten sannolikt ökar.
- Utveckling av modellen. En något mer avancerad modell rent optimeringsmässigt gör det möjligt att lösa problemet på ett effektivare sätt. Samtidigt blir även själva modellen troligtvis något mindre.
- Utveckling av lösningsmetod. Med en vidareutvecklad modell går det att utveckla lösningsmetoder som är mer effektiva. Detta gör att storleken på problemet kan reduceras samtidigt som lösningstiderna blir kortare.
- Koppling av traktdata till vägnätet.
- Skattning av skogstillståndet inom områden med mindre andel bolagsägd skog.
- Insamling och hantering av väginformation kopplad till det enskilda vägnätet. Den information som är tillgänglig i dag är av varierande kvalitet och omfattning.

Referenser

Litteratur

- Arvidsson, P.-Å. & Holmgren, M. 1999. KFB Dnr 1999-0095. Vägstandardens inverkan på skogsnäringens transportarbete och försörjning av högkvalitativa råvaror. SkogForsk, Arbetsrapport nr 433, 59 s.
- Nemhauser, G. L. & Wolsey, L. A. 1988. Integer and combinatorial optimization, ISBN: 0-471-82819-X, Wiley, New York.
- Skogsstyrelsen. 2000. Skogsstatistisk årsbok 2000, ISBN: 91-88462-47-1, Skogsstyrelsen, Jönköping.

Muntliga referenser

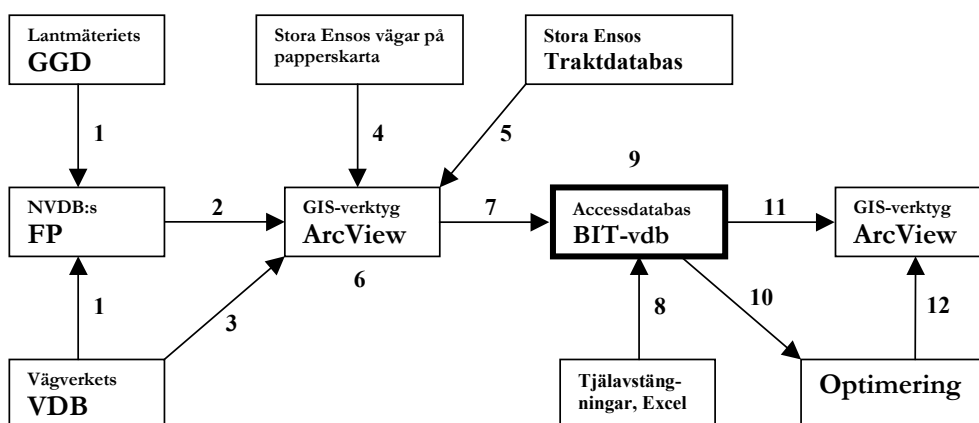
- Bergström, Johan, maj 2000, SkogForsk, Uppsala
- Holmgren, Martin, augusti 2000, Stora Enso Skog, Skoghall
- Johansson, Anders, augusti 2000, Stora Enso Skog, Storfors
- Littner, Bertil, augusti 2000, Vägverket, Karlstad
- Löfroth, Claes, augusti 2000, SkogForsk, Uppsala
- Lövgren, Hans, augusti 2000, Stora Enso Skog, Storfors
- Potucek, Jaro, augusti 2000, Vägverket, Borlänge
- Thörn, Peter, augusti 2000, Vägverket, Karlstad
- Untinen, Pekka, juni 2000, Stora Enso Skog, Falun
- Östman, Göran, augusti 2000, Stora Enso Skog, Skoghall
- m.fl.

Beskrivning av matchning av vägnät

Matchningen av attributdata från väglänkarna i VDBs vägnät till länkarna i vägnätet från NVDBs förberedande produktion, grunden till BIT-vdb, har beskrivits i avsnittet *Bearbetning av vägdata* på sidan 22. Här följer en något mer ingående beskrivning av matchningsproceduren.

Vid studiens genomförande fanns ingen vägdata bas där Sveriges alla vägar beskrevs. Det allmänna vägnätet beskrevs i Vägverkets vägdata bank, VDB, och det enskilda vägnätet i olika system beroende på vägförvaltare. Dock var grunden lagd till en Nationell vägdata bas, NVDB, i form av ett vägnät vars geografi och topologi fanns beskrivet i GIS-miljö i NVDBs förberedande produktion, FP. Vidare fanns Vägverkets register över tillfälliga framkomlighetsrestriktioner, TFR, att tillgå med uppgifter om var och när det allmänna vägnätet hade varit avstängt. För att skapa en enda vägdata bas innehållande både allmänna och enskilda vägar samt attribut till vägarna i så stor omfattning som möjligt, krävdes det att informationen i de olika vägdata baserna matchades samman. Denna matchning genomfördes för att skapa BIT-vdb.

Skiss över datakällor och matchningsproceduren



Figur 1.
Skiss över datakällor och matchningsproceduren.

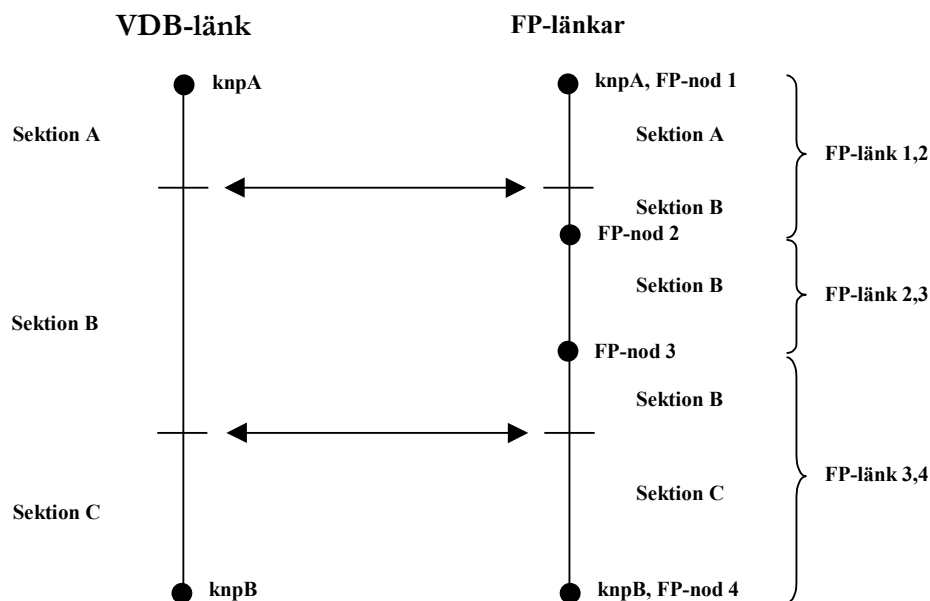
Steg i matchningsproceduren

Vid matchningen genomfördes ett antal steg. En del av dessa var genomförda redan innan vägdata erhöles för studien, se figur 1.

1. Vägverkets VDB och Lantmäteriets GGD²¹ synkroniserades i NVDBs förberedande produktion, FP, vilket resulterade i ett vägnät vars utbredning var beskrivet. Vidare innehöll FP-vägnätet, som SkogForsk erhöles från Lantmäteriet, VDBs nodidentiteter för de FP-noder som representerade en VDB-knutpunkt (vägnod i VDB). Varje enskild FP-länk hade en specifik uppgift om längd samt i de fall den sammanföll med en VDB-länk, VDB-länkens två knutpunktsidentiteter.

²¹ Grundläggande geografiska data.

2. FP-vägnätet erhöles som shape-filer, vilka lästes in i GIS-applikationen ArcView.
3. VDB-företeelser beskrivna som attribut och med koppling till vägnätet i form av frånnod och tillnod (VDB-knutpunkter), samt företeelsens start och slut i form av avstånd från frånnoden (från- och tillavstånd), lästes på dito vis in i ArcView.
4. Information överfördes från papperskartor till FP-nätet om de enskilda vägar som förvaltades av Stora Enso Skog.
5. Traktdata erhöles från Stora Enso Skog i form av Excel-filer med en databas för slutavverkning och fyra för gallring. Varje avverkningstrakt hade uppgifter om dess position, vilken kunde användas i GIS-verktyget. Uppgifterna om trakternas positioner exporterades till ArcView.
6. Med hjälp av GIS-verktyget genomfördes erforderliga begränsningar av vägnäten. De delar som var ointressanta för studien rensades bort. Vidare kontrollerades att alla länkar hängde ihop. Väglänkar tilldelades attribut för att skilja på länkar som låg innanför respektive utanför Storfors bevakning. Varje avverkningstrakt i traktdatabaserna kopplades till sin närmsta vägnod. En enskild nod erhöles därmed uppgifter om hur stor avverkningsvolymen per sortiment som var kopplad till densamma.
7. Databaserna som var kopplade till shape-filerna exporterades till en Accessdatabas, vilken utgjorde grunden för BIT-vdb.
8. Information om framkomlighetsrestriktioner, vilka i huvudsak var tjalavstängningar, erhöles från Vägverket i form av en databas. I databasen fanns restriktioner längs VDB-länkar registrerade. Varje post innehöll data om mellan vilka VDB-knutpunkter avstängningen hade varit, avstängningens längd, position på VDB-länken samt mellan vilka datum avstängningen inträffade. Beräkningar genomfördes för att erhålla antal dagar som en vägsträcka hade varit avstängd. Databasen exporterades till BIT-vdb.
9. I BIT-vdb genomfördes omfattande beräkningar. Attributdata tillhörande sektioner av VDB-länkar överfördes till FP-länkar, se figur 2. Detta var möjligt sedan de FP-länkar som motsvarade en VDB-länk hade sorterats efter var i VDB-länken de låg. Då FP-länkarnas längder sällan sammanföll med längderna på VDB-länkarnas sektioner, sektionerades FP-länkarna på samma sätt som VDB-länkarna. Vid beräkningar av t.ex. investeringskostnader beräknades kostnaden för varje FP-länks sektioner innan en summering genomfördes, vilken gav den totala investeringskostnaden för en FP-länk. Efter det att VDB-attribut hade överförts till de FP-länkar som sammanföll med VDB-länkar fanns ett vägnät som innehöll all tillgänglig väginformation samt uppgifter om hur stora virkesvolymen av olika sortiment som fanns i varje nod i vägnätet.



Figur 2.
Matchning av VDB-attributdata från en VDB-länk till flera FP-länkar.

10. Indatafiler till optimeringsmodellen genererades från BIT-vdb. Dessa var i form av textfiler som lästes in av programvaran, vilken styrde optimeringsmodellen.
11. Efter att databehandling hade genomförts i BIT-vdb kunde det nya vägnätet med attribut presenteras med hjälp av GIS-verktyget.
12. Utdata från optimeringen importerades till GIS-verktyget för att medge grafisk presentation av optimeringsresultaten i en kartbild. Underlag för analyser kunde genereras från GIS-verktyget till nya databaser för beräkningar.