

Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 919-2016

VägRust på SCA

En analys av vägupprustningsbehov på
SCA Skog AB:s tre sydliga förvaltningar

VägRust at SCA

An analysis of road upgrading needs
on three southern holdings

Victor Asmoarp, Mikael Bergqvist, Mikael Frisk, Patrik Flisberg, Mikael Rönnqvist

Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 919-2016

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

Titel:

VägRust på SCA.

En analys av vägupprustningsbehov på SCA Skog AB:s tre sydliga förvaltningar.

Vägrust at SCA

An analysis of road upgrading needs on three southern holdings.

Bildtext:

Karta över de tre analyserade förvaltningarna.

Ämnesord:

CTI, Vägupprustning, virkesförsörjning, optimering.

Supply chain optimization, Road upgrading, Harvest planning, CTI, Transportation.

Redigering och formgivning:

Ingegerd Hallberg

© Skogforsk 2016

ISSN 1404-305X



SKOGFORSK

Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala

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

skogforsk@skogforsk.se

skogforsk.se



Victor Asmoarp, jägmästare och forskare i Planeringsprogrammet på Skogforsk. Han arbetar med virkesförsörjningsfrågor och beslutsstöd för att förbättra och effektivisera logistiken inom virkesförsörjningskedjan.



Mikael Bergqvist, skogsingenjör. Arbetar med vägfrågor inklusive verifiering och tillämpning av STP, Surface Thickness Program.



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



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



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

Abstract

RoadOpt is Skogforsk's decision-support tool for analysing upgrading needs for roads in a forest road network, with the aim of ensuring wood supply all year around while simultaneously minimizing overall logistic cost. The analysis considers demand for wood, available harvest sites, current road network, transport capacity, location of gravel pits, and costs of existing and improved road accessibility.

This study describes Skogforsk's work on developing RoadOpt and has been done in collaboration with SCA Skog AB.

The aim of the study was to make a strategic analysis of cost-effective road investments on three forest holdings. It was a particular focus on a coordinated planning of logging, transport and road upgrades for the three separate holdings. In addition, an upgrade and logging plan for a large area was implemented in order to analyse strategic issues, such as what proportion of the transportation fleet should be equipped with Central Tire Inflation (CTI).

The results showed a significant potential to decrease costs through more coordinated planning of logging, transport and road upgrades. For the three holdings included the potential savings was up to SEK 13/m³. The results also showed that logistics costs were lower when more than 40% of the fleet was equipped with CTI. For practical and standardisation reasons, the results showed that a higher proportion of CTI vehicles is preferable.

The analysis is based on a scenario analysis where several alternatives were optimized and evaluated. In the base alternative, an attempt was made to simulate real practice as far as possible. In this case the holdings were planned separately. This base alternative was compared with:

- A coordinated underlying optimization of the planning of transport, logging and road upgrades in all holdings integrated.
- Different proportions of CTI equipped timber vehicles.

The study showed that RoadOpt can be used to analyse strategic issues, and to produce a road upgrade plan for large geographical areas. In order for the results to be accurate and credible, input data must be of high quality. In this study, the input data was of sufficiently high quality to generate solutions for the strategic issues. However, for a more operational road upgrading plan more detailed information is necessary.

Innehåll

Sammanfattning.....	3
Inledning.....	4
Bakgrund.....	4
Syfte	5
Mål	5
Genomförande	5
Förberedelse av data.....	6
Optimeringsmodellen.....	6
Optimeringsalternativ.....	7
Känslighetsanalys.....	8
Validering.....	9
Databeskrivning.....	10
Fordon och vägnät	10
Bestånd och virkestillgångar.....	11
Volym och geografisk information	11
Bestånds bärighetsäsong	12
Avlägg	12
Grustäkter och grusåtgång	13
Mottagare och efterfrågan	13
Kostnader.....	14
Transportkostnad	14
Vägupprustning	14
Vägunderhållskostnad.....	15
Resultat	16
Potentiell vinst av bättre samplanering.....	16
Tillgänglig volym per säsong	16
Strategisk plan för upprustningsbehovet.....	18
Transporterad volym per förvaltning och säsong.....	19
CTI-analys.....	20
Tillgänglig avverkningsvolym (miljoner m ³)	21
Känslighetsanalyser.....	21
Avskrivningstid.....	21
Ruttalternativ	22
Avstånd till grustäkt.....	22
Validering av modellen	23

Stickprovsundersökning av NVDB:s tillgänglighetsklass.....	23
Intervju med vägmästare.....	24
Intervju med distriktansvarig.....	24
Felkällor, exempel	26
Diskussion	27
Indata.....	27
Kommentarer till Resultaten	28
Samplanering avverkning, transport och upprustning.....	28
Resursfördelning mellan förvaltningarna.....	30
Grustäkt.....	30
CTI-analys	30
Hur kan SCA använda Vägrust i framtiden	31
Obesvarade frågeställningar	31
Slutsatser.....	32
Fortsatt utveckling.....	32
Referenser.....	32
Bilaga 1 Utbytesberäkning.....	33

Sammanfattning

VägRust är Skogforsks beslutstöd för analys av upprustningsbehov i ett skogsbilvägnät med syfte att säkerställa virkesförsörjningen över tid. I analysen tas hänsyn till industrins efterfrågan, tillgängliga avverkningsobjekt, transportkapacitet samt kostnader för tillgänglighetshöjande åtgärder.

Denna studie avslutar Skogforsks utvecklingsarbete med VägRust och har genomförts tillsammans med SCA Skog AB.

Studiens syfte var att utföra en strategisk analys av kostnadseffektiva väginvesteringar på tre skogsförvaltningar, där samplanering av avverkning, transport och vägupprustningar särskilt beaktades. Dessutom skulle en upprustnings- och avverkningsplan som omfattar ett större område än i tidigare studier genomföras för att kunna svara på strategiska frågeställningar, t.ex. hur stor andel av fordonsflottan som bör vara utrustad med CTI ur ett transport- och vägkostnadsperspektiv.

Resultatet från optimeringarna visar att det finns en stor potential till kostnadsbesparing genom bättre samplanering av avverkning, transport och vägupprustningar. För de tre undersökta förvaltningarna fanns en potentiell besparing på upp till 13 kr/m³ genom en bättre samplanering. Resultaten visade också att en fordonsflotta där över 40 procent av fordonen är utrustade med CTI-teknik sänker logistikkostnaden. Den exakta andelen CTI-fordon spelar inte så stor roll så länge mer än 40 procent av fordonsflottan har CTI. Av praktiska skäl bör det vara enklare att ha en mer renodlad fordonsflotta, varför en högre andel CTI-fordon är att föredra.

Studien har genomförts som en scenarioanalys där olika optimeringsalternativ har utvärderats mot varandra. I ett första basalternativ har förutsättningarna sökts efterlikna praktiken så långt som möjligt. Detta basalternativ har sedan jämförts med:

- Ett alternativ där modellen utnyttjades för att hitta en lösning för bättre samplanering mellan transport-, avverknings-, vägupprustningsplanering.
- Flera alternativ med olika andelar av CTI-utrustade virkesfordon för att se hur detta påverkar vägupprustningsbehovet.

Studien visar att VägRust går att använda för att svara på strategiska frågeställningar och att ta fram en upprustningsplan för stora geografiska områden. För att resultatet ska vara korrekt och trovärdigt är indatakvaliteten helt avgörande. I denna studie har indata varit tillräckligt bra för att besvara de strategiska frågeställningarna, vilket också var syftet med studien men resultatet är inte tillförlitligt som urval av exakta upprustningsobjekt.

Inledning

BAKGRUND

En effektiv virkesförsörjning kräver bl.a. ett väl fungerande vägnät. Nybyggnation, upprustning och underhåll av skogsbilvägar måste utföras i rätt omfattning och tidsordning för att vara anpassade till de virkestransporter som förväntas ske på vägnätet till lägsta möjliga kostnad. Väginvesteringar kräver omfattande planering där många parametrar måste beaktas. Det finns därför ett behov av att kunna använda effektiva beslutsstöd i planeringsprocessen både på en övergripande och på detaljerad nivå.

SCA Skog har tillsammans med företaget Dianthus utvecklat ett GIS-verktyg för detaljerade beräkningar av nyttan med enskilda upprustningsåtgärder. Dessa beräkningar stödjer prioriteringar mellan enskilda upprustningsförslag men tar inte hänsyn till helheten över en större geografi. Det finns därför ett behov av att över större arealer analysera åtgärdsbehov och prioritera olika vägprojekt.

I projektet VägRust har Skogforsk utvecklat en modell för övergripande vägupprustningsplanering (Frisk, 2015). Med en optimeringsmodell identifieras kostnadseffektiva upprustningsåtgärder som säkerställer att en leveransplan kan uppfyllas givet planerade avverkningar i en viss geografi. Med vägupprustning menas åtgärder som höjer vägens tillgänglighetsklass. Åtgärder för att återföra en väg till ursprunglig tillgänglighetsklass efter att den har förfallit räknas inte som vägupprustning. Dessutom föreslår modellen vilka bestånd som ska avverkas och under vilken säsong på året avverkningen ska påbörjas.

VägRustmodellen har tidigare utvärderats i tre fallstudier med olika syften. Studierna har omfattat mindre områden av företagens geografiska distrikt eller del av distrikt, och har därmed varit begränsade till att inte hantera exempelvis budgetprioriteringar mellan större företagsenheter. I den fjärde fallstudien, som genomförts på SCA Skog, har modellen därför använts för strategiska beslut om väginvesteringar på tre förvaltningar.

Under utvecklingsarbetet har en referensgrupp sammansatt av medverkande företag (SCA Skog AB, Holmen Skog, Sveaskog och Stora Enso Skog) verkat för att ge synpunkter på modellen samt agera som markvärddar vid de olika fallstudierna.

SYFTE

Syftet med projektet har varit att:

- Genomföra en strategisk analys av kostnadseffektiva väginvesteringar på SCA:s förvaltningar Medelpad, Jämtland och Ångermanland.
- Skapa en upprustnings- och avverkningsplan som kan jämföras med planerna från SCA:s operativa GIS-verktyg.
- Identifiera eventuella utvecklingsbehov av optimeringsmodellen i samband med att VägRust används på stora områden för att besvara strategiska frågeställningar.

MÅL

Målen med projektet har varit:

- Ta fram en strategisk plan för hur vägupprustningsresurser kan fördelas mellan förvaltningarna.
- Skapa en upprustningsplan för ett betydligt större geografiskt område än i tidigare fallstudier.
- Analysera vilken potential det finns till sänkt kostnad genom bättre samplanering av avverkning, transport och vägupprustning.
- Utvärdera två potentiella CTI-strategier; hög eller låg andel CTI-fordon i fordonsflottan.

Genomförande

Projektet har genomförts i två faser. I den första fasen gjordes en optimering med förutsättningar som motsvarar det scenario SCA mest sannolikt kommer att arbeta enligt under den kommande femårsperioden. Denna optimering utgick från SCA:s taktiska avverkningsplan och användes tillsammans med en skattad leveransplan för att med VägRust identifiera vilka upprustningar som till lägsta kostnad säkerställer att leveransplanen kan uppnås.

I den andra fasen genomfördes en scenarioanalys där upprustningsbehovet ställdes mot en fordonsflotta med varierande andel CTI-fordon.

Optimeringarna har gjorts på data för en femårsperiod, vilket motsvarar den långsiktiga avverkningsplan som SCA har för både gallring och slutavverkning. Analysen omfattar SCA:s tre sydliga förvaltningar med en sammanlagd yta om 1,3 miljoner hektar och 83 000 kilometer enskilda vägar ägda av SCA och andra företag samt samfällighetsföreningar:

- Jämtlands förvaltning, 600 000 hektar.
- Medelpads förvaltning, 350 000 hektar.
- Ångermanlands förvaltningar, 350 000 hektar.

FÖRBEREDELSE AV DATA

Kvaliteten på indata bedömdes vara avgörande för trovärdigheten i resultatet och ett lyckat projekt. Då syftet med analysen var att genomföra en strategisk analys har en lägre nivå på datakvalitet kunnat accepteras än om resultatet skulle använts i operativ drift. Däremot har analysen varit känslig för systematiska skillnader i datakvalitet mellan förvaltningarna.

Utbytesberäkning

Utifrån SCA:s beståndsregister med uppgifter om volym och diameter per trädslag samt planerad skötselåtgärd gjordes en enkel utbytesberäkning för att skatta volymutfall per sortiment. Före utbytesberäkningen gjordes ett urval av vilka bestånd som skulle ingå i analysen enligt uppställda kriterier i Bilaga 1. I utbytesberäkningen har Ollas utbytesfunktion (Ollas, 1980) använts med givna in parametrar enligt Bilaga 1.

OPTIMERINGSMODELLEN

Optimeringsmodellen är en blandad heltalsmodell vars målfunktion syftar till att minimera kostnaderna för avverkning, upprustning, transport och lagring (Frisk, 2015). Till modellen finns bivillkor som uttrycker någon form av begränsningar t.ex.:

- Tillgång och efterfrågan av sortiment respektive sortimentsgrupper.
- Tillåten avverkning (stys av terrängbärigheten).
- Tillåtna transportflöden (stys av vägklassningen).
- Lagerbalanser och transportkapaciteter.

Modellens beslutsvariabler kan delas in i ”heltalsvariabler” och ”kontinuerliga variabler”. Heltalsvariablerna används för upprustningsbeslut av respektive väglänk samt för avverkningsbeslut för respektive trakt.

De kontinuerliga variablerna beskriver flöden via definierade rutter, lagernivåer, tillgänglighet samt transportarbete. I den variant av optimeringsmodell som använts i denna studie har avverkningskostnaden exkluderats. Då de bestånd som skulle avverkas var fastställda enligt SCA:s ordinarie planeringsrutiner blev avverkningskostnaden ett fast belopp.

Eftersom modellen innehåller många variabler, både heltals- och kontinuerliga samt bivillkor, blir den mycket svår att lösa. Därför används en typ av heuristisk metod (hittar lösningar nära optimum) som innebär att en sekvens av begränsade problem löses i följd.

OPTIMERINGSALTERNATIV

För att svara på projektets frågeställningar har ett antal optimeringsalternativ definierats där varje alternativ har unika förutsättningar. Genom att analysera skillnaderna mellan resultaten från respektive optimeringsalternativ kan man visa på relativa förändringar i logistiksystemet. Följande grundalternativ definierades under arbetets gång:

Fixed – Basalternativ där beståndens avverkningstidpunkt (år och säsong) var låst att utföras enligt SCA:s ursprungliga avverkningsplan.

Free – Fri optimering utan hänsyn till avverkningstidpunkt enligt SCA:s avverkningsplan. Ingen hänsyn togs till beståndens verkliga tillgänglighet (inklusive skotning till bilväg) utan enbart till beståndets terrängbärighet enligt bestandsregistret.

Winter 300 – Fri optimering med begränsningen att bestånd med skotningsavstånd över 300 meter och angivna som vinteravverkning enligt avverkningsplan låstes till vinteravverkning, övriga bestånd var fria att avverka enligt terrängbärighet.

För de tre grundalternativen gällde att vägupprustningar har en avskrivningstid på 10 år samt endast ett ruttalternativ användes för vidaretransport med lastbil per kombination av bestånd och industri. Dessutom används endast standardfordon, alltså inga CTI-utrustade fordon. Utöver grundalternativen har ytterligare optimeringsalternativ definierats för att ge svar på specifika frågeställningar:

Winter 300_1 %. Samma grundinställningar som optimeringsalternativet *Winter 300* men med restriktionen att enbart 1 procent av volymen fick flyttas mellan de tre förvaltningarna och de tre olika säsongerna.

CTI-analysen – flera optimeringsalternativ där transportkapaciteten fördelas på bilar med och utan CTI. Procentsatsen i namnet definierar hur stor andel av transportkapaciteten som utgjordes av CTI-fordon.

- *0CTI* – 100 procent standardfordon, samma som grundalternativet *Fixed*.
- *20CTI* – 20 procent CTI-fordon och 80 procent standardfordon.
- *50CTI* – 50 procent CTI-fordon och 50 procent standardfordon.
- *70CTI* – 70 procent CTI-fordon och 30 procent standardfordon.
- *85CTI* – 85 procent CTI-fordon och 15 procent standardfordon.
- *100CTI* – 100 procent CTI-fordon.

KÄNSLIGHETSANALYS

I projektet har tre olika känslighetsanalyser genomförts för att se hur de påverkar resultatet.

- Avskrivningstid för väginvesteringar,
- Ett eller tre ruttalternativ (från bestånd till mottagningsplats) samt
- Avstånd till grustäkt.

Avskrivningstid 5–20 år

Avskrivningstiden för en väginvestering har i optimeringen betydelse för hur kostnadseffektiv en investering är. Ju längre avskrivningstid desto större värde på den investerade vägen vid planperiodens slut, vilket i VägRust innebär fler upprustningsförslag. Känslighetsanalyser har gjorts med tre olika avskrivningsalternativ:

- *5 år* – Avskrivningstid 5 år räknat från planperiodens mitt, vägen antas ha 50 procent av sitt värde kvar efter planperioden.
- *10 år* – Avskrivningstid 10 år räknat från planperiodens mitt, vägen antas ha 75 procent av sitt värde kvar efter planperioden. (Samma som grundalternativet *Fixed*)
- *20 år* – Avskrivningstid 20 år räknat från planperiodens mitt, vägen antas ha 87,5 procent av sitt värde kvar efter planperioden.

Ett eller tre ruttalternativ

I VägRust skapas rutter från alla bestånd till alla mottagningsplatser. För varje rutt beräknas transportavståndet enligt samma princip som Krönt Vägval¹(KV3.1) och sämsta tillgänglighet och bärighet definieras. Eftersom det i många fall finns flera möjliga rutter (ruttalternativ) att välja på, kan olika rutter ge upphov till olika transportavstånd och olika tillgängligheter och bärigheter. Det skulle t.ex. kunna vara lönsamt att köra en omväg för att slippa göra en upprustning av en specifik väglänk. Därför gjordes en känslighetsanalys av ett alternativ med tre olika rutter för respektive kombination av bestånd och mottagningsplats, för att se dess påverkan på resultatet.

- *1 rutt* – KV3.1 (standard och samma som optimeringsalternativ *Fixed*).
- *3 rutter* – Tre rutter genereras med KV3.1, den första var samma som i alternativet ovan med en rutt. Det andra är en rutt med KV3.1 fast med hög kostnad att använda vägar med *Tillgänglighetsklass D* (för att om möjligt generera rutter som är bra på sommaren utan att behöva rusta upp något vägavsnitt). Den tredje ruten skapades med KV3.1 samt hög kostnad för att använda vägar med *Tillgänglighetsklass C och D* (för att om möjligt generera rutter som fungerar bra under förfallsperioden utan att behöva rusta upp något vägavsnitt).

¹ Krönt Vägval använder skoglig nationell vägdatabas som tillsammans med specifika motståndsställningar genererar det effektivaste vägvalet mellan två punkter.

Avstånd till grustäkt

Avstånd till grustäkt har stor betydelse för upprustningskostnaden. Eftersom grustäktstätheten kan skilja sig åt mellan områden (i detta fall mellan förvaltningar) kan avståndet till närmsta täkt ha betydelse för hur modellens upprustningsförslag fördelar sig mellan de tre skogsförvaltningarna.

Ett område på en skogsförvaltning med många grustäkter, och lägre genomsnittlig upprustningskostnad, skulle få fler upprustningsförslag än ett område med färre täkter (högre genomsnittlig upprustningskostnad) givet att alla andra förutsättningar är lika. I projektet testades därför vilken betydelse avstånd till grustäkter hade för upprustningsförslagets fördelning mellan förvaltningar. Det gjordes med två optimeringsalternativ och fyra olika avståndsvarianter:

- *Fixed*
 - *Avståndsmatris* – Avstånd mellan väglänk och grustäkt beräknas av modellen enligt KV3.1. (Samma som grundalternativet *Fixed*)
 - *Fast (12 kilometer)* – Avstånd till grustäkt sattes till 12 kilometer.

- *Winter 300*
 - *Avståndsmatris* – Avstånd mellan väglänk och grustäkt beräknas av modellen enligt KV3.1.
 - *Max (20 kilometer)* – Avståndsmatris användes upp till 20 kilometer, för alla avstånd över 20 kilometer angavs avståndet 20 kilometer.
 - *Max (25 kilometer)* – Avståndsmatris användes upp till 25 kilometer, för alla avstånd över 25 kilometer angavs avståndet 25 kilometer.*)

VALIDERING

För att säkerställa en likartad datakvalitet mellan de olika förvaltningarna, genomfördes intervjuer med vägspecialisten på respektive förvaltning. Under intervjuerna bearbetades insamlad vägdata (NVDB) för ett distrikt per förvaltning för att identifiera det systematiska felet mellan NVDB och verkligheten beträffande tillgänglighetsklass.

Under projektet genomfördes även en validering av resultatet i optimeringsalternativet *Winter 300* på ett av distrikten. Denna validering gjordes genom intervju med en distriktsansvarig där VägRusts resultat detaljstuderades för att identifiera eventuell bristande logik i modell och kvalitetsbrister i indata.

* Vid lägre avstånd än 20 respektive 25 kilometer så finns det oftast möjlighet att köpa grus från kommersiella täkter som inte ingått i analysen.

Databeskrivning

Traditionellt delas året upp i fyra avverkningssäsonger (se Tabell 1 nedan), men på grund av optimeringsalternativens storlek har säsongerna vår och höst slagits samman till en period benämnd förfallsperiod (*Förfall*). Sammanslagningen till en förfallsperiod motiveras också av att gränsdragningen mellan definitionerna ”Året runt” och ”Året runt utom vid kraftig tjällossning” är mycket svårbedömd i fält. Dessutom har inte dataunderlaget tillräcklig kvalitet för att ge ett trovärdigt resultat med denna höga upplösning. SCA angav också att man sällan bygger eller rustar upp vägar med *Tillgänglighetsklass A*, vilket motsvarar vårsäsongen. I stället löses uttransport under våren från vägar med sämre bärighet på andra sätt som t.ex. lunning eller utkörning på kalla nätter.

FORDON OCH VÄGNÄT

Skogsbilsvägnätet i NVDB delas in i tillgänglighetsklasser (Tabell 1) utifrån när på året vägen är tillgänglig.

Tabell 1

Tillgänglighetsklass – Skogsbilvägar delas in i vägklasser utifrån tillgänglighet för virkesfordon med full last.

	Tillgänglighetsklass	Säsong
Året runt	A*	Förfall
Året runt utom vid kraftig tjällossning	B*	Förfall
Året runt utom vid tjällossning och ihållande höstregn	C	Sommar
Frusen mark	D	Vinter

* Tillgänglighetsklass A och B har slagits ihop i analysen och båda vägklasserna är tillgängliga under säsongen Förfall.

Två olika fordonstyper har använts i analysen, normalfordon (utan CTI) och CTI-fordon. CTI-fordon har en högre tillgänglighet än normalfordonen (Tabell 2), men är något dyrare att använda.

Tabell 2.

Beskrivning av vilka fordonstyper som får använda respektive tillgänglighetsklass och bärighetsklass per säsong.

Fordonstyp	Säsong	Tillgänglighetsklass	Bärighetsklass
CTI	Vinter	A, B, C, D	BK1,BK2,BK3
CTI	Sommar	A, B, C	BK1,BK2
CTI	Förfall	A, B, C	BK1,BK2
Normal	Vinter	A, B, C, D	BK1,BK2,BK3
Normal	Sommar	A, B, C	BK1
Normal	Förfall	A, B	BK1

Som Tabell 2 visar får inte normalfordonen användas på BK2- och BK3-vägar under förfalls- respektive sommarperioden. Eftersom BK2- och BK3-vägar oftast finns längst ute i det perifera vägnätet är det möjligt att ”lunna” virket förbi dessa flaskhalsar till en extra kostnad. Att lunna ut virket innebär att man transporterar ut virke med reducerad last, förbi flaskhalsar och lastar om virket till full last när resterande väg till industri tillåter full last. För att kunna transportera ut allt virke oberoende av restriktioner på det allmänna vägnätets BK-klassning har en extra lunningskostnad använts motsvarande omlastning och extra kostnad för reducerad lastfyllnad på första delen av sträckan.

I VägRust skapas normalt ett ruttalternativ mellan varje bestånd och industri. I en känslighetsanalys undersöktes hur den optimala lösningen påverkades för flera alternativa rutter (Tabell 3). Från ett specifikt bestånd kan det finnas flera ruttalternativ med olika tillgänglighetsklass. Uppgiften för VägRust blir då att bestämma vilket av ruttalternativen som är billigast att använda, t.ex. ett alternativ med längre avstånd och därmed högre transportkostnad, jämfört med ett alternativ med kortare avstånd men som medför en upprustningskostnad.

Tabell 3.
Regler för ruttgenerering där tillgänglighetsklass bestämmer sämsta möjliga tillgänglighetsklass på ruten.

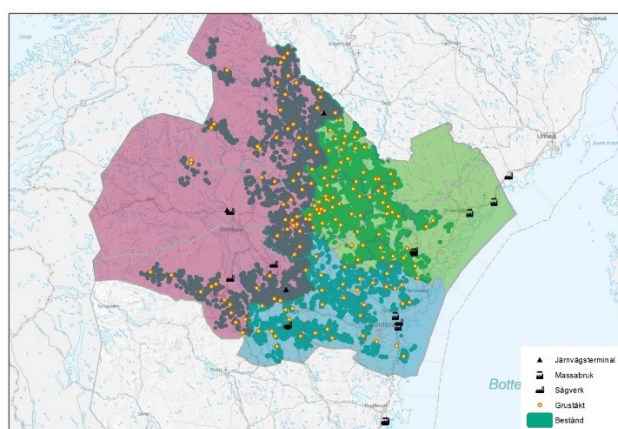
Ruttalternativ	Lägsta tillgänglighetsklass	Bärighet
1	D	BK3
2	C	BK3
3	B	BK3

Vid beräkning av ruttalternativ togs i modellen inte hänsyn till eventuella tillfälliga nedsättningar på BK1-vägar under våren då data för temporära bärighetsnedsättningar saknades.

BESTÅND OCH VIRKESTILLGÅNGAR

Volym och geografisk information

Analysen omfattade drygt 21 000 bestånd, 19 mottagningsplatser och 178 grustäkter, fördelat på de tre förvaltningarna. Samtliga bestånd, mottagningsplatser och grustäkter var koordinatsatta (Figur 1).



Figur 1
Karta över 21 000 bestånd, 19 mottagningsplatser och 178 grustäkter, fördelat på de tre förvaltningarna Medelpad, Ångermanland och Jämtland.

Den totala avverkningsvolymen för femårsperioden för de tre förvaltningarna tillsammans var 15,2 miljoner m³, motsvarande en årlig avverkning på cirka 3,0 miljoner m³ (Tabell 4). Förutsatt jämn avverkningstakt under året så motsvarar säsongernas längd en vintersäsong om 11 veckor, sommar 26 veckor och *Förfall* 15 veckor.

Tabell 4.
Avverkningsvolym (m³) per säsong och förvaltning för den 5-åriga planeringsperioden.

	Ångermanland	Jämtland	Medelpad
Förfall	1 149 119	948 209	2 168 618
Sommar	2 501 582	3 446 538	1 848 662
Vinter	1 158 105	1 331 361	691 498
Summa:	4 808 806	5 726 108	4 708 778

Bestånds bärighetsäsong

Ett bestånds avverkningstidpunkt bestäms på SCA i den Långsiktiga Planeringen (LSP) av två begrepp; årstid och terrängbärighet. I parametern årstid (Tabell 5), har en SCA-planerare vägt ihop ett antal förutsättningar och gjort en bedömning för lämplig avverkningstidpunkt. Parametern terrängbärighet avspeglas enbart beståndets bärighet. Båda parametrarna har använts i VägRust.

LSP-årstid har använts för att ange avverkningssäsong i optimeringsalternativet *Fixed* och terrängbärighet har bestämt i vilken säsong ett bestånd får avverkas i optimeringsalternativen *Free* och *Winter* 300 enligt Tabell 5.

Tabell 5.
Koppling mellan terrängbärighet och tillåten avverkningssäsong (LSP-årstid) för ett bestånd.

Terrängbärighet	Förfall	Sommar	Vinter
1	X	X	X
2	X	X	X
3		X	X
4			X
5			X

Avlägg

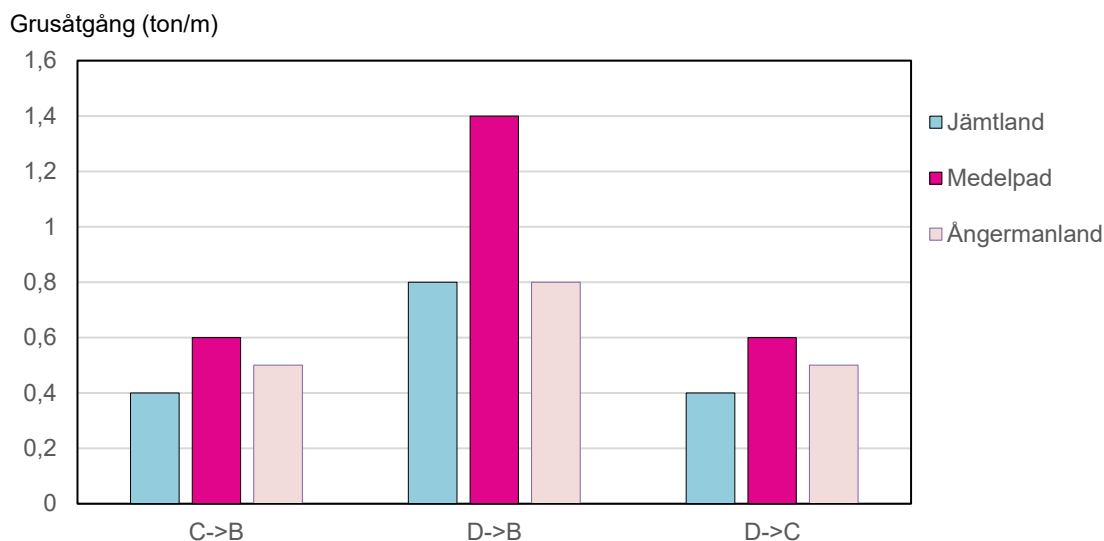
Innan optimering måste varje avverkningsobjekt kopplas till närmaste väg, en vägnod i vägdatabasen (en fiktiv avläggsplacering). Den kopplingsfunktion (snappningsfunktion) som finns i VägRust tar inte hänsyn till skotningshinder (vattendrag eller myrar) utan kopplar avverkningsobjektet till närmsta väg.

Alla bestånd kopplas till ett vägavsnitt där det teoretiskt sett ska vara möjligt att placera ett avlägg. För att en allmän väg ska vara tillåten att använda som avläggsplacering ska vägen ha vägnummer över 500 samt en maxhastighet på 80 km/h (Anon. 2012). För enskilda vägar finns inga begränsningar var avläggen får placeras.

GRUSTÄKTER OCH GRUSÅTGÅNG

178 grustäckter (både husbehovs- och köptäckter) har ingått i analysen. Enbart täkter som bedömdes vara i drift togs med i studien. Täckter som var i drift 2015, men som planerades att vara avslutade under femårsplanen togs inte med.

Åtgångstal för grusåtgång vid upprustning från en klass till en annan hämtades in via erfarenhetstal från de vägensvariga (Figur 2). Skillnaderna mellan förvaltningar förklaras främst av den för förvaltningen mest typiska grundförutsättning såsom jordart och vägutformning.



Figur 2.
Grusåtgång (ton/m) för upprustning från en klass till en annan.

MOTTAGARE OCH EFTERFRÅGAN

I Tabell 6 har SCA redovisat en uppskattad efterfrågan av olika sortiment för olika industrier under den 5-åriga planeringsperioden. Efterfrågan är uppskattad utifrån historiska data och är balanserad mot utbudet enligt LSP och utbytesberäkningen enligt Ollas funktioner. Volymerna från utbytesberäkningen har destinerats per sortiment och industri utifrån historiskt utförda transporter.

Tabell 6.
Efterfrågan (m³) per sortimentsgrupp för hela planperioden (5 år).

	BM	GM	GT	KTT	LM	TT
Industrier	2 307 000	2 054 000	2 646 000	345 000	754 000	2 743 000
Terminaler	1 214 000	1 119 000	649 000	0	585 000	828 000
Summa	3 521 000	3 173 000	3 295 000	345 000	1 339 000	3 571 000

KOSTNADER

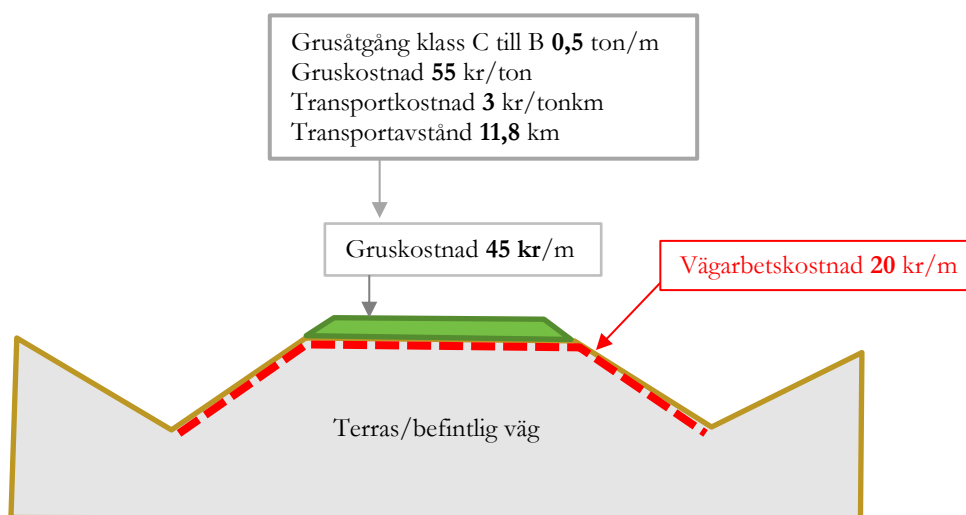
Transportkostnad

I analysen användes en genomsnittlig transportkostnadsfunktion för standardfordon hämtad från SCA. För transport med CTI-fordon adderades en extra kostnad till transportkostnadsfunktionen för standardfordon eftersom CTI-utrustade fordon har en högre driftskostnad (Skutin, 2016).

Vägupprustning

Med vägupprustning avses en åtgärd som ökar tillgänglighet för ett specifikt vägsegment. Kostnaden för upprustningen kan delas upp i två delkomponenter (Figur 3):

- Vägarkostnad som uppkommer vid exempelvis dikesrensning, hyvling och anges per längdmeter väg (kr/m).
- Gruskostnad (kr/m) som bestäms av transportkostnad för gruset, grusåtgång och gruskostnad (inklusive råbergskostnad).



Figur 3.

Exempel på beräkning för att höja en väg från Tillgänglighetsklass C till Tillgänglighetsklass B.

Genom intervjuer med vägensvariga erhöles kostnader, fördelade på olika moment, på de olika förvaltningarna. De sammanvägda kostnader som användes i modellen är dikning och hyvling (20 kr/m), gruskostnad (avser etablering av täkt och krossning av material, 55 kr/ton) och transportkostnad (avser grustransport från täkt till väglänk som skall upprustas, 3 kr/tonkm) (Figur 3).

Vägunderhållskostnad

Med vägunderhåll menas arbete som utförs för att upprätthålla befintlig vägstandard, t.ex. hyvling, dammbindning och grusåtervinning. Vägunderhållskostnaden är beroende av slitaget på vägen och bestäms av:

- Transporterad mängd virke (m^3).
- Under vilken säsong uttransport skett.
- Vilken fordonstyp som använts för uttransport (normal- eller CTI-fordon).

Vägunderhållskostnaden beräknas enbart för den del av ruten som körts på det enskilda vägnätet. Underhållskostnaden avser hyvling, grusning, dammbindning och trumbyten då dessa påverkas tydligt av trafikmängden. (Buskröjning, snöröjning och brönderhåll har inte räknats med då de ej påverkas lika tydligt av trafikmängden). Underhållskostnaden (Tabell 7 och 8) som använts i analysen var därför något lägre än verklig underhållskostnad.

För beräkning av underhållskostnad användes erfarenhetstal från Medelpads förvaltning gällande årsbudget dividerat med uppskattad trafikmängd på det enskilda vägnätet. Påverkan av CTI-fordon jämfört med normalfordon baseras på Skogforsks ”Validering av STP” (Bergqvist, 2016) och Nordamerikanska studier från FP Innovation, (Bradley, 2001).

Tabell 7.
Vägunderhållskostnader ($kr/(m^3 \cdot km)$) vid transport med normalfordon.

Fordonstyp	Tillgänglighetsklass	Säsong	Kostnad, $kr/(m^3 \times km)$
Normal	1	Förfall	0,68 kr
Normal	1	Sommar	0,68 kr
Normal	1	Vinter	0,03 kr
Normal	2	Förfall	0,57 kr
Normal	2	Sommar	0,57 kr
Normal	2	Vinter	0,03 kr
Normal	3	Sommar	0,23 kr
Normal	3	Vinter	0,03 kr
Normal	4	Vinter	0,03 kr

Tabell 8.
Vägunderhållskostnader ($kr/(m^3 \cdot km)$) vid transport med CTI-fordon.

Fordonstyp	Tillgänglighetsklass	Säsong	Kostnad, $kr/(m^3 \times km)$
CTI	1	Förfall	0,41 kr
CTI	1	Sommar	0,41 kr
CTI	1	Vinter	0,03 kr
CTI	2	Förfall	0,40 kr
CTI	2	Sommar	0,40 kr
CTI	2	Vinter	0,03 kr
CTI	3	Förfall	0,22 kr
CTI	3	Sommar	0,18 kr
CTI	3	Vinter	0,03 kr
CTI	4	Vinter	0,03 kr

Resultat

POTENTIELL VINST AV BÄTTRE SAMPLANERING

I resultaten från optimeringarna jämförs de olika optimeringsalternativen i relation mellan varandra. Alternativet *Fixed* (basalternativet) speglar ett scenario där upprustningar görs för att kunna följa den taktiska avverkningsplanen. Alternativ *Winter 300* och *Winter 300_1 %* jämförs sedan med planen.

Resultaten visar att den totala logistikkostnaden kan sänkas med cirka 200 miljoner kronor (12 procent) motsvarande cirka 13 kr/m³ för analyserad femårsperiod. Den potentiella kostnadsreduktionen uppnås genom bättre samplanering mellan avverkning, transport och väghållning.

Tabell 9.

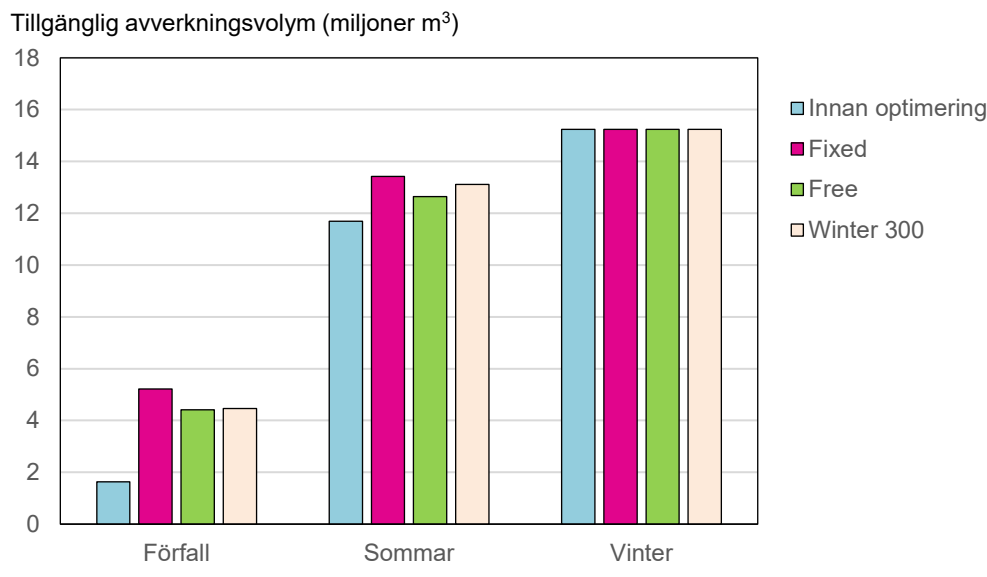
Sammanställning av kostnader (milj. kr) för respektive optimeringsalternativ.

	Fixed	Winter 300	Winter 300 1 %
Transportkostnad (milj. kr.)	1 332	1 296	1 297
Vägupprustningskostnad (milj. kr.)	264	106	132
Summa logistikkostnad (milj. kr.):	1 596	1 402	1 429

Kostnaderna för upprustning med SCA:s avverkningsplan (*Fixed*) summerar till drygt 264 miljoner kronor (Tabell 9), för de tre förvaltningarna under 5 år, d.v.s. 52,8 miljoner kronor per år. Det är alltså den minsta investeringsnivå som krävs för att transportmässigt tillgängliggöra de volymer som är bestämda att avverkas olika säsonger enligt den taktiska avverkningsplanen. Om optimeringsmodellen ges frihet att bestämma säsong för avverkningarna (*Winter 300* och *Winter 300_1 %*) blir kostnaden för upprustning betydligt lägre. I alternativet *Winter 300*, där alla vinterbestånd med skotningsavstånd över 300 meter är låsta och resten fria, blir upprustningskostnaden 106 miljoner kr, d.v.s. en sänkning med 60 procent. Även i alternativet *Winter 300_1%*, där max 1 procent av volymen per säsong fick flyttas mellan förvaltningar, blev resultatet sänkt upprustningskostnad om än inte lika stor sänkning (50 procent). I optimeringsalternativet *Free*, som gjorts endast för jämförelse, blir upprustningskostnaden 81 miljoner kronor, d.v.s. en sänkning med hela 69 procent. Det skulle dock kräva en helt annan fördelning av avverkningarna per säsong och förvaltning. Eftersom det inte är realistiskt redovisas inte resultatet från detta alternativ i resultatframställningen.

Tillgänglig volym per säsong

När VägRust föreslår förhöjd tillgänglighet i vägnätet leder det till att volymer blir tillgängliga för avverkning under sommar och förfallsperioderna. Genom att analysera hur stor volym som var tillgänglig per säsong med hänsyn till både traktbärighet och vägtillgänglighet före och efter optimering kan upprustningsbehovet illustreras enligt Figur 4.



Figur 4.
Tillgänglig ackumulerad volym per säsong och optimeringsalternativ för samtliga förvaltningar.

Notera att i säsong förfall var tillgänglig volym högre för optimeringsalternativet *Fixed* (fast avverkningsplan) än alternativ *Free* (när VägRust bestämmer tidpunkt för avverkning av respektive bestånd). Det innebär att den av SCA beslutade avverkningsplanen genererar mer tillgänglig volym än vad som är nödvändigt utifrån de definierade villkoren om efterfrågan i olika säsonger. I säsong vinter sker ingen ytterligare förbättring eftersom alla volymer är tillgängliga även utan upprustningar.

I Tabell 10 redovisas upprustningskostnad per avverkad kubikmeter tillsammans med frigjord volym tack vare upprustningarna. I optimeringsalternativet *Fixed* (fast avverkningsplan) höjs tillgänglighetsklassen för 4,3 miljoner m³ till en marginalkostnad av 61 kr/m³. I alternativet *Winter 300*, när modellen har större valmöjligheter, höjs tillgängligheten för 3,8 miljoner m³ till en marginalkostnad av 28 kr/m³. Den låga marginalkostnaden och förhållandevis stora tillgänglighetsökningen beror på att avverkningar omfördelas mellan förvaltningar och mellan säsonger. Det visar att det finns en stor potential till lägre kostnader genom bättre samplanering mellan avverkning, transport och vägbyggnation.

Upprustningskostnaden per avverkad kubikmeter sjunker från 17 kr/m³ i alternativet *Fixed* till 7 kr/m³ i alternativet *Winter 300*.

Tabell 10.

Kostnad för upprustning per avverkad kubikmeter (medelkostnad) samt upprustningskostnad per kubikmeter för de volymer som blir tillgängliga efter upprustning (marginalvolym och marginalkostnad).

Budget-område	Total avverkning (m ³)	Fixed				Winter 300	
		Medel-kostnad (kr/m ³)	Marginal-volym (m ³)	Marginal-kostnad (kr/m ³)	Medel-kostnad (kr/m ³)	Marginal-volym (m ³)	Marginal-kostnad (kr/m ³)
Ångermanland	4 808 806	23	1 352 675	83	9	1 191 115	36
Jämtland	5 726 101	12	1 108 459	63	4	954 678	24
Medelpad	4 708 778	17	1 841 203	43	9	1 627 304	25
Summa:	15 243 685	17	4 302 337	61	7	3 773 097	28

STRATEGISK PLAN FÖR UPPRUSTNINGSBEHOVET

Ångermanlands förvaltning har störst upprustningsbehov med nästan 2 000 kilometer under femårsperioden om den faktiska avverkningsplanen används som krav i optimeringen (Tabell 11). Upprustningsbehovet för Jämtlands förvaltning är näst högst i alternativet *Fixed* men lägst i alternativet *Winter 300*. Den totala längden som upprustas mer än halveras mellan *Fixed* och *Winter 300*.

Tabell 11.

Upprustningsbehov (km) per förvaltning och tillgänglighetsklass för respektive optimeringsalternativ.

Budgetområde	Tillgänglighetsklass	Fixed	Winter 300	Winter 300_1 %
Ångermanland	B	1 567	527	595
	C	300	188	236
Jämtland	B	852	220	257
	C	414	207	231
Medelpad	B	806	405	569
	C	176	107	126
Summa:		4 139	1 656	2 021

Den genomsnittliga upprustningskostnaden är lika (64 kr/m) för de två alternativen *Fixed* och *Winter 300*, men skiljer sig åt mellan förvaltningarna trots att medelavståndet till täkt var 11,2 kilometer för *Fixed* och 10,6 kilometer för *Winter 300*. Orsaken är att VägRust väljer att göra fler upprustningar närmre grustäckerna i det senare optimeringsalternativet.

Tabell 12.

Resursbehovet för upprustning per förvaltning.

Budgetområde	Fixed, %	Winter 300, %	Winter 300_1%
Ångermanland	43	40	37
Jämtland	26	22	20
Medelpad	30	38	43

Resursbehovet (Tabell 12) för att kunna genomföra upprustningar speglar till stor del uppgraderad längd, men eftersom kostnaden för upprustning skiljer sig åt mellan förvaltningar finns en viss avvikelse. Tabell 12 kan ses som ett underlag för hur en eventuell framtida fördelning av resurser för upprustning bör fördelas mellan förvaltningarna. Man måste dock beakta att kvaliteten på indata har stor betydelse för hur upprustningarna och därmed upprustningskostnaderna fördelas i optimeringen. Stickprovsinventeringen visade att NVDB underskattar den verkliga tillgänglighetsklassen på Medelpads förvaltning medan den överskattas på Ångermanlands och Jämtlands förvaltningar. Det innebär att upprustningsbehovet bör vara ännu större på Ångermanlands och Jämtlands förvaltningar medan det kan vara något mindre på Medelpads.

TRANSPORTERAD VOLYM PER FÖRVALTNING OCH SÄSONG

De transporterade volymerna är en direkt konsekvens av avverkningen per säsong och styrs i optimeringen av efterfrågan vid industri. Det fanns inte möjlighet att lagra virke från en säsong till en annan. Tabell 13 redovisar transporterad volym per optimeringsalternativ, förvaltning och säsong. Alternativet *Fixed* används som jämförelse till de övriga två alternativen. Skillnaden i transportvolym beror på att optimeringen hittar andra logistklösningar som minskar de totala kostnaderna jämfört med fallet *Fixed* (som utgår från faktisk avverkningsplan). Analysen tar dock inte hänsyn till den ev. fäskförskjutning av säsonger som finns mellan förvaltningar.

Optimeringsalternativet *Winter 300_1%* visar dock att det går att sänka den totala logistikkostnaden utan att ändra fördelningen av volym per förvaltning och säsong. Transportkostnaden blir ungefär densamma som för *Winter 300* och upprustningskostnaden blir något högre jämfört med samma alternativ, men ändå betydligt lägre än jämfört med alternativet *Fixed*.

Tabell 13.

Transporterad volym (m³) per förvaltning och säsong för optimeringsalternativ *Fixed* samt skillnaden mellan optimeringsalternativen *Fixed/Winter 300* samt *Fixed/Winter 300_1%*.

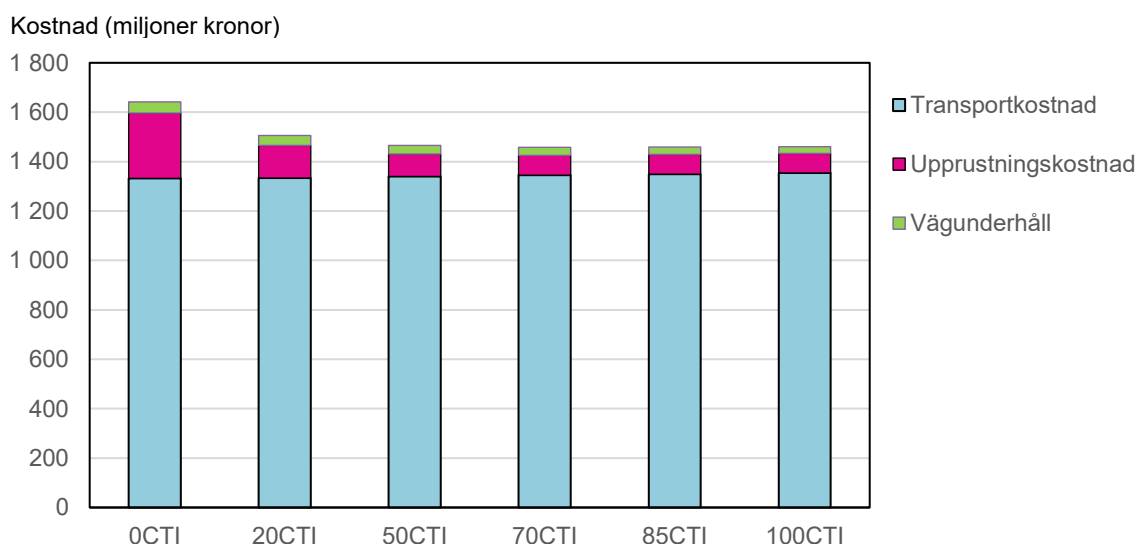
Budgetområde	Säsong	Volym Fixed	Skillnad mellan Fixed och Winter 300, %	Skillnad mellan Fixed och Winter300_1%
Ångermanland	Förfall	1 149 119	2,8	1,0
Ångermanland	Sommar	2 501 582	-4,4	-0,9
Ångermanland	Vinter	1 158 105	6,8	1,0
Summa Ångermanland		4 808 806	0,0	0,0
Jämtland	Förfall	948 209	15,3	1,0
Jämtland	Sommar	3 446 531	-4,4	-0,6
Jämtland	Vinter	1 331 361	0,4	0,9
Summa Jämtland		5 726 101	0	0
Medelpad	Förfall	2 168 618	-7,0	-0,5
Medelpad	Sommar	1 848 662	5,1	0,2
Medelpad	Vinter	691 498	8,3	0,9
Summa Medelpad:		4 708 778	0	0,0
Summa total:		15 243 685	0	0

I optimeringsalternativet *Fixed* är den totala transportkostnaden cirka 1,3 miljarder kronor. I båda de alternativa optimeringarna blir transportkostnaden cirka 3 procent lägre, motsvarande nästan 40 miljoner kr. I VägRust-analysen har ingen hänsyn tagits till tillgänglig transportkapacitet och de eventuella förflyttningar av transportkapacitet mellan förvaltningar som kan komma att behövas. Behovet av transportkapacitet står i proportion mot kostnaden. Om transportkostnaden på Jämtlands förvaltning under förfallsperioden ökar med 20 procent kommer behovet av transportkapacitet öka med 20 procent.

CTI-ANALYS

I CTI-analysen jämfördes logistikkostnaden för olika CTI-andel på rundvirkesflottan. I Figur 5 illustreras logistikkostnaden (vägupprustning, transport och vägunderhåll) vid olika nivåer av CTI-användning på rundvirkesflottan.

Resultaten visar att alternativet med 70 procent CTI har lägst totalkostnad (exklusive avskrivning), men skillnaden mellan olika nivåer på CTI-användning är liten när andelen överstiger 50 %. Besparingen i att öka från 0 procent CTI till 70 procent CTI var 184 miljoner kr, varav den största delen låg i sänkta kostnader för vägupprustning.



Figur 5. Logistikkostnaden uppdelat i transportkostnad, upprustningskostnad och vägunderhåll för respektive CTI-andel.

Genom att öka andelen CTI-fordon från 0–70 procent på de undersökta förvaltningarna (Tabell 14) ökar kostnaden för transport med 1 kr/m³ men upprustningskostnaden och vägunderhållskostnaden sänks med 12 respektive 1 kr/m³. Genom att införa en högre andel CTI-fordon finns en teoretisk besparingspotential på 8 kronor per kubikmeter under givna förutsättningar.

Tabell 14.

Kostnad per kubikmeter för 0 procent CTI som är det dyraste alternativet jämfört med 70 procent CTI som är det billigaste av de rimliga alternativen.

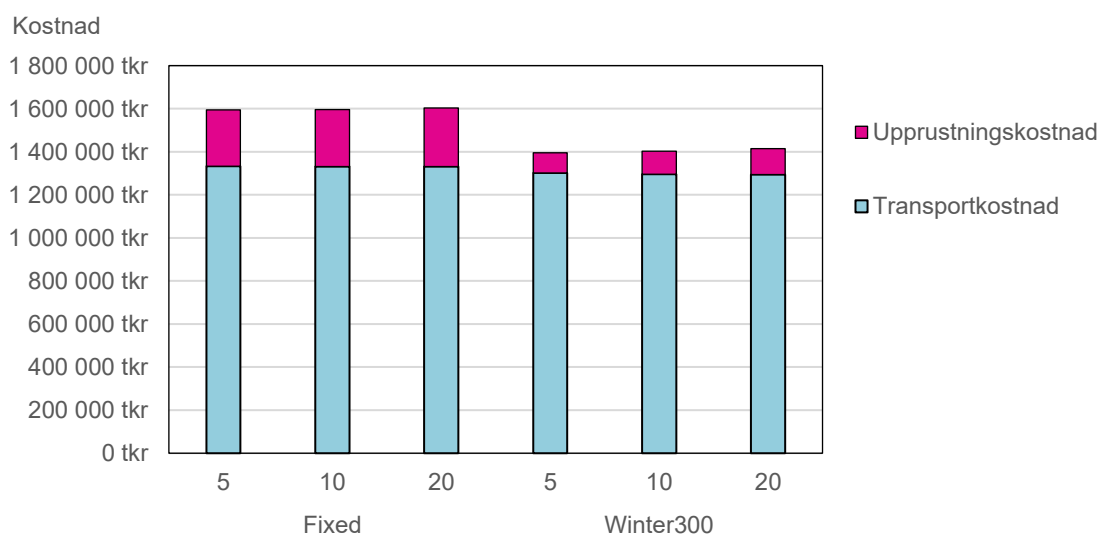
	CTI, 0 %	CTI, 70 %
Transportkostnad	87 kr/m ³	88 kr/m ³
Upprustningskostnad	17 kr/m ³	5 kr/m ³
Vägunderhåll	3 kr/m ³	2 kr/m ³
Totalt:	108 kr/m ³	96 kr/m ³

TILLGÄNGLIG AVVERKNINGSVOLYM (MILJONER M³) KÄNSLIGHETSANALYSER

I projektet har känslighetsanalyser gjorts för avskrivningstid på väginvesteringar, ruttalternativ och avstånd till grustäkt. Resultaten visar att de grundförutsättningar som används i projektet (tio års avskrivningstid, ett ruttalternativ och verkligt avstånd mellan väglänk och grustäkt) ger optimeringsresultat som är väl verklighetsförankrade.

Avskrivningstid

Avskrivningar på väginvesteringar gör att modellen får ”rabatt” på upprustningar eftersom investeringen delas upp på flera år. Ju längre avskrivningstiden är desto billigare blir upprustningarna och därför ökar väginvesteringarna. Eftersom väginvesteringarna ökar öppnas möjligheter för modellen att göra bättre transportval och på det sättet minska den totala transportkostnaden. Figur 6 illustrerar hur avskrivningstiden påverkar upprustnings- och transportkostnad för de två optimeringsalternativen *Fixed* och *Winter 300*. Eftersom modellen i alternativet *Winter 300* har möjlighet att själv bestämma avverkningssäsong blir effekten av avskrivningstid något större. Skillnaden mellan 5 års avskrivningstid och 20 års avskrivningstid är dock inte avgörande för resultaten varför de 10 år som används i optimeringarna kan anses vara rimligt.



Figur 6.

Känslighetsanalys av hur avskrivningstid påverkar transportkostnad och upprustningskostnad för de två optimeringsalternativen Fixed och Winter 300.

Ruttalternativ

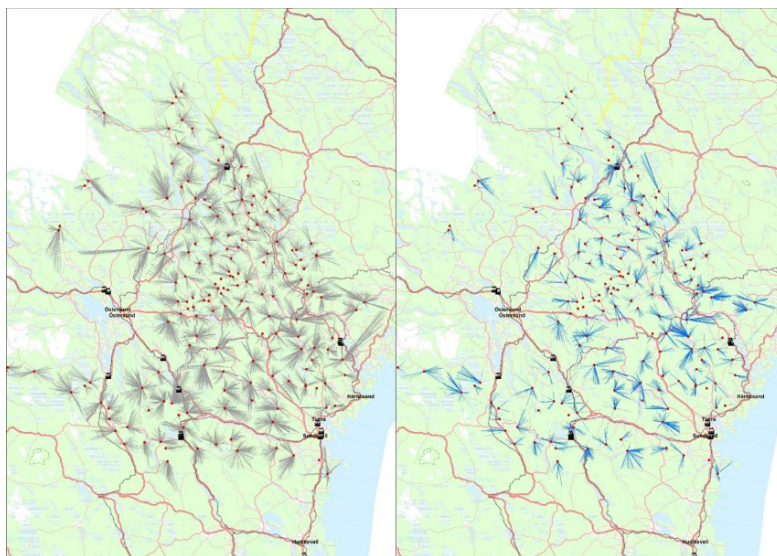
Med fler ruttalternativ kan modellen i vissa fall välja att köra en omväg istället för att göra en vägupprustning. I praktiken visar det sig dock att de möjligheterna är mycket små. För de tre optimeringsalternativen *Fixed*, *Free* och *Winter 300* har analyser gjorts med både ett och tre ruttalternativ. Skillnaden i fördelning mellan transport- och upprustningskostnad är försumbar för alla tre optimeringsalternativen (Tabell 15), vilket visar att ett ruttalternativ är tillräckligt för projektet. Alternativet med tre rutter ger alltid den lägsta totalkostnaden eftersom modellen, med fler ruttalternativ, kan hitta några rutter som ger ett kortare avstånd. Beräkningsmässigt är det en viss skillnad då optimeringarna med en rutt är enklare (och snabbare) att genomföra, vilket också talar för att använda bara ett ruttalternativ.

Tabell 15.
Känslighetsanalys av hur en respektive tre ruttalternativ från varje avlägg till industri påverkar fördelningen mellan transportkostnad och upprustningskostnad.

Kostnadstyp	Fixed		Free		Winter 300	
	1 rutt, %	3 rutt, %	1 rutt, %	3 rutt, %	1 rutt, %	3 rutt, %
Transport	83,4	84,0	94,1	94,2	92,4	92,4
Upprustning	16,6	16,0	5,9	5,8	7,6	7,6
Kostnad (tkr)	1 595 942	1 580 961	1 373 726	1 369 941	1 402 196	1 398 517

Avstånd till grustäkt

Avstånd mellan väglänk och närmaste grustäkt har betydelse för länkens upprustningskostnad. Ju kortare avstånd till närmsta täkt desto lägre upprustningskostnad. I projektet har avståndet mellan alla länkar och närmsta täkt beräknats för optimeringsalternativet *Fixed*. Det genomsnittliga volymvägda avståndet mellan grustäkt och de av modellen föreslagna länkarna för upprustning varierar mellan 10,5 och 13 kilometer beroende på förvaltning. Figur 7 illustrerar kopplingen mellan väglänkar och de grustäkter som används i optimeringen.



Figur 7.
Kopplingar mellan väglänk och grustäkt (röda prickar). I vänstra bilden illustreras kopplingen för samtliga uppgraderingsbara vägar. I den högra bilden illustreras kopplingen för de vägar som uppgraderas i optimeringsalternativ *Fixed*.

Eftersom täkttätheten skiljer sig åt mellan förvaltningarna och eftersom SCA har möjlighet att starta upp och stänga grustäkter efter behov testades vilken betydelse avståndet till täkt hade för valet av vilka vägar som modellen föreslår ska rustas upp. För optimeringsalternativet *Fixed* gjordes en optimering med ett fast avstånd (12 kilometer) till grustäkt för samtliga länkar. Resultatet visar att den totala upprustningskostnaden sänktes men det var samma länkar som investerades (Tabell 16). Anledningen är att i *Fixed* är avverkningsplanen låst och det finns inte möjlighet att välja andra tidpunkter för avverkning.

I känslighetsanalysen av *Winter 300* har resultaten från optimering med avståndsmatrisen (faktiskt avstånd) jämförts med resultaten från två alternativ där avståndet till täkt maximerats till 20 respektive 25 kilometer. Dessa avstånd är valda med tanken att det alltid ska gå att få tag på grus inom detta transportavstånd. Resultatet visar att det inte är någon praktisk skillnad mellan de tre optimeringarna. Sannolikt beror det på att det i optimeringsalternativ *Winter 300* är väldigt få upprustningar som har ett grustransportavstånd på mer än 20 kilometer. Med den obefintliga skillnaden kan vi även dra slutsatsen att fördelningen mellan förvaltningarna inte påverkas nämnvärt.

Tabell 16.

Känslighetsanalys av hur avståndet till en grustäkt påverkar logistikkostnaden.

	Fixed		Winter 300		
	Avståndsmatris	Fast 12 km	Avståndsmatris	Max 20 km	Max 25 km
Transportkostnad (tkr)	1 331 735	1 331 879	1 296 111	1 295 968	1 296 175
Vägupprustningskostnad (tkr)	264 208	256 332	106 086	106 683	105 949
Logistikkostnad (tkr)	1 595 943	1 588 212	1 402 197	1 402 651	1 402 124

VALIDERING AV MODELLEN

För att validera att modellen räknar rätt och ger verklighetsförankrade resultat har dessa diskuterats med personal från SCA.

Stickprovsundersökning av NVDB:s tillgänglighetsklass

En stickprovsundersökning har genomförts med vägspecialister och distriktspersonal på Stöde, Mitt och Kramfors distrikt. Stöde (Medelpads förvaltning) underskattade tillgängligheten medan Mitt (Jämtlands förvaltning) överskattade tillgängligheten. Även på Kramfors (Ångermanlands förvaltning) överskattades tillgängligheten men skillnaden var mindre än för Jämtland.

Intervju med vägmästare

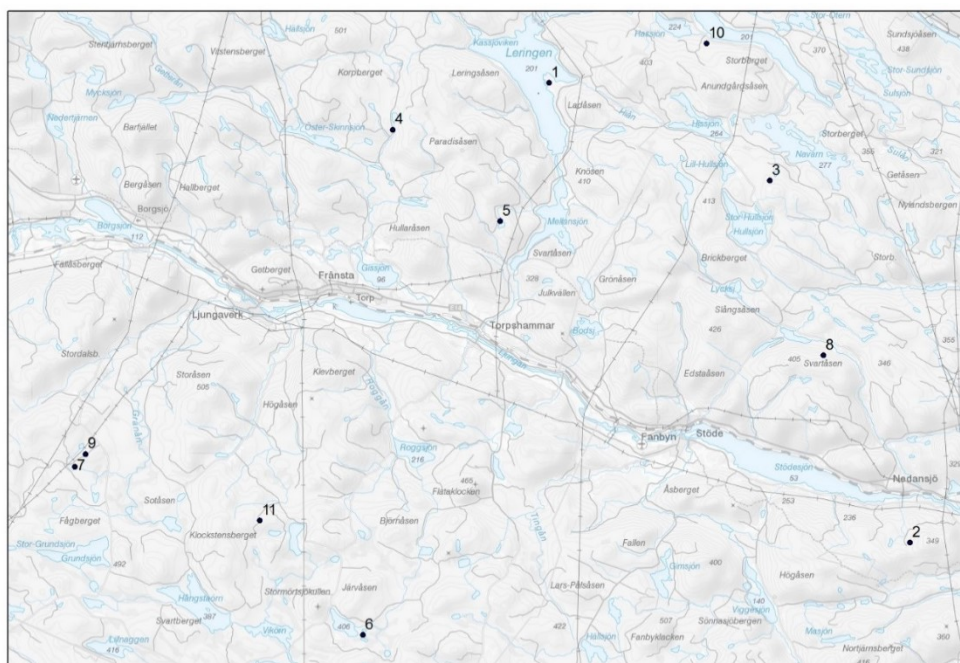
Intervjun gjordes med Daniel Yring som är vägensvarig på Medelpads förvaltning. Enligt honom ser resultaten generellt bra ut för både *Fixed* och *Winter 300*.

Ett önskemål från Daniel Yring var att modellen skulle kunna hantera en sammanslagning av två närliggande vägnät. Men eftersom modellen inte föreslår nybyggnation, så är inte detta möjligt med dagens modell.

VägRust upprustar enbart hela väglänkar och om väglänkarna är väldigt långa så kan upprustningskostnaden överskattas. En lösning skulle vara att dela av väglänkarna vid närmaste vändmöjlighet eller där beståndet ansluter till vägen. Efter diskussion med Daniel Yring beslutades att detta inte var nödvändigt just nu, då VägRusts syfte är att ge indikation på var upprustning ska ske för efterföljande detaljplanering.

Intervju med distriktansvarig

Intervju gjordes med Stefan Nordlander som är distriktansvarig på Stöde. Syftet var att jämföra optimeringsalternativen *Fixed* och *Winter 300*. Totalt sett för samtliga tre förvaltningar var det 22 procent av bestånden som modellen valde att avverka i en annan säsong i *Winter 300* jämfört med i *Fixed*. På Stöde distrikt detaljstuderades elva bestånd (Figur 8) som fått ändrad avverkningstidpunkt i *Winter 300* jämfört med *Fixed*. Frågeställningen var att utvärdera vilket av optimeringsalternativen som valt rimligast säsong för avverkning.



Figur 8.
Karta med validerade bestånd och där det fanns någon anmärkning.

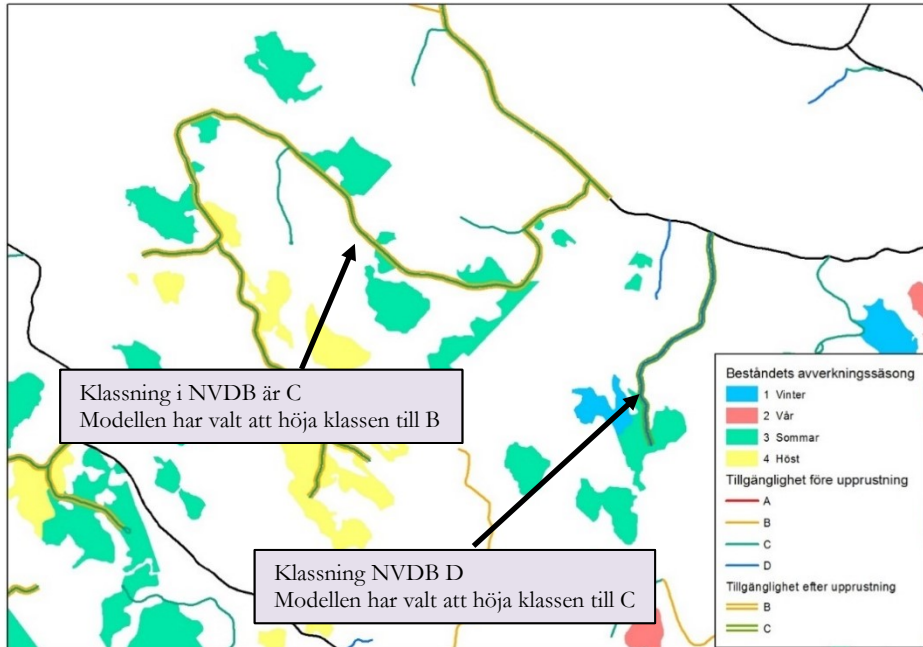
Kommentar

1. Vald i *Winter 300* att köra på vår/höst. Vägen är registrerad som B-bärig men håller inte B-standard i verkligheten. Modellen har alltså valt rätt men det är problem med vägdata.
2. Vald i *Winter 300* som sommar. Vald som vinter i *Fixed*. Kan gå att ta sommar med hjälp av kavling (bärighetsförstärkning av skotningsvägar) men bara cirka 60 procent av beståndet.
3. Vald i *Winter 300* som sommar. Vald som vinter i *Fixed*. Den är möjligt att göra som sommaravverkning om det går att bygga sig över en bäck.
4. Vald i *Winter 300* som vår/höst men skall tas som sommar på grund av att vägen (B-bärighet) ägs av en vägsamfällighetsförening som gör att man är mer restriktiv för skador på vägen samt att beståndet klustras med övriga bestånd.
5. Vald i *Winter 300* som vår/höst. Det fungerar men är i *Fixed* vald med lägre klass på grund av klustring för att få en rationellare hantering av posterna.
6. Stadig mark som dock omgärdas av myrar. Därför kan den ej tas som sommarpost, vilket föreslogs av *Winter 300*.
7. Enligt beståndsregistret ska avverkning kunna ske under sommaren men på grund av svag mark måste gallring ske på vintern. Fel i beståndsregister.
8. Beståndet har vårbärighet men på grund av att den allmänna vägen ofta sätts ned på våren måste avverkning ske på sommar eller vinter. Dynamiska företeelser som att vägen sätts ned på våren syns inte i NVDB.
9. Går att ta sommar enligt förslag i *Winter 300*.
10. Beståndet har vårbärighet men på grund av att den allmänna vägen ofta sätts ned på våren måste avverkning ske på sommar eller vinter. Dynamiska företeelser som att vägen sätts ned på våren syns inte i NVDB.
11. Beståndet går att avverka enligt *Winter 300* på vår/höst men skogsbilvägen är inte uppdaterad (håller inte B-klass, snarare C-klass).

Sammanfattningsvis kan man säga att problem uppstår när data (NVDB och beståndsregister) inte är uppdaterat. Modellen fungerar men det vore önskvärt att den i framtiden även tog hänsyn till klustring av trakter. För att komma till rätta med att modellen (i fallet *Winter 300*) väljer att avverka vissa vinterbestånd under sommaren utan att det är fysiskt möjligt skulle man kunna gå igenom alla val där modellen väljer olika mellan *Fixed* och *Winter 300* och se för vilka bestånd modellen gör ett felaktigt val på grund av myrar och bäckar. Genom att läsa dessa bestånd kan man få fram ett nytt resultat som har högre kvalitet för att kunna användas i praktisk drift.

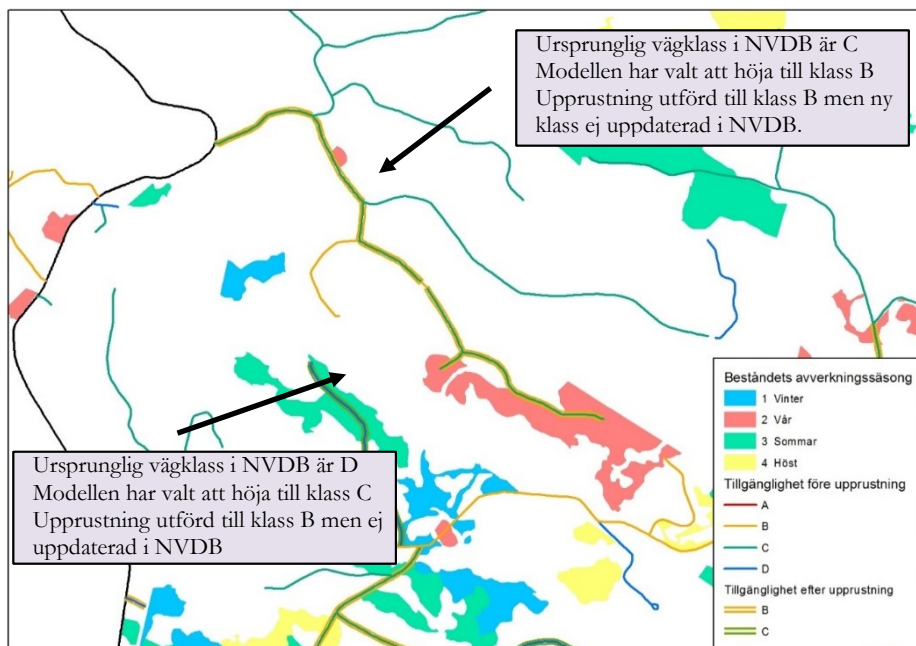
Felkällor, exempel

Figur 9 visar hur vägar väljs i normalfallet i VägRust. Vägens tillgänglighetsklass ska överensstämma med traktbärigheten för att beståndet ska kunna avverkas vid optimal tidpunkt förutsatt att det finns efterfrågan för virket.



Figur 9. Ett verifierande exempel norr om sjön Leringen när modellen har tagit rätt beslut.

Ett problem som uppstår vid felaktiga indata är att modellen kan välja att rusta upp en väg som i NVDB har *Tillgänglighetsklass C* men som i själva verket redan har *Tillgänglighetsklass B*, (upprustningen har inte ajourhållits). VägRust gör alltså upprustningen i onödan, se (Figur 10).



Figur 10. Exempel öster om sjön Leringen när modellen har tagit rätt beslut men indata från NVDB har varit felaktigt.

Diskussion

INDATA

Vid den här typen av analyser är det alltid viktigt med bra indata. Det slutgiltiga resultatet kan aldrig bli bättre än kvaliteten på indata. Tidigare intern uppföljning på SCA har visat att terrängens bärighet i beståndsregistret systematiskt underskattas och validering utförd i denna studie visar att tillgängligheten på vägarna överskattas i NVDB. Detta har betydelse för tolkningen av resultatet. För tillgänglighetsklassningen i NVDB har detta resultat även visat att vägars tillgänglighetsklass skattas olika på olika förvaltningar, främst på grund av bristande ajourhållning i NVDB.

Datakvalitet i NVDB har varit en begränsande faktor i analysen. Vid stickprovsgenomgången av vägar på respektive förvaltning hittades exempel där vägars tillgänglighet förfallit under många år och att man nu beställt upprustning till ursprunglig tillgänglighetsklass enligt NVDB. Den låga kvaliteten gör att det finns ett stort antal fel på föreslagna vägar av VägRust. Vägarna kan redan ha blivit upprustade eller det kan ha byggts nya vägar. Med bättre indata i NVDB skulle resultatets tillförlitlighet på detaljnivå ha blivit bättre. SCA kommer snart att kunna uppdatera NVDB från sitt vägförvaltningssystem (VFS), när detta fungerar kommer en viktig pusselbit i dataförsörjningen att ha åtgärdats.

På det allmänna vägnätet vet vägansvariga om att det finns ett stort antal årliga nedsättningar av bärighetsklassningen under förfalltid. Detta är något som VägRust inte tar hänsyn till och det påverkar vilket ruttval modellen väljer att göra. Lokalt kan detta ha gett stora effekter på resultaten men i denna strategiska analys bedöms detta ha utgjort ett mindre problem.

I resultatredovisningen har resultat från optimeringsalternativet *Free* inte redovisats på grund av att det av författarna bedömts att detta alternativ överskattar potentialen då modellen bortser från skotningsvägens bärighet från bestånd till väg.

Resultatet visar dock värdet om det fanns tekniska lösningar som överbygger eventuella skotningshinder. Tekniska lösningar skulle kunna vara tillfälliga vägar, stockmattor eller skonsammare maskiner. Potentialen uppgår till cirka 180 miljoner kronor exklusive kostnader för tekniska lösningar som löser skotningshinder.

KOMMENTARER TILL RESULTATEN

Den verkliga vägupprustningskostnaden för SCA var något lägre för de analyserade förvaltningarna under 2014 än VägRusts resultat vid optimeringen av kommande femårsperiod i optimeringsalternativet *Fixed*. Några möjliga förklaringar till att vägupprustningskostnaden under 2014 var lägre än vad optimeringen redovisade under planperioden kan vara att praktiken:

- Gjort avsteg från den taktiska avverkningsplanen och hittat billigare lösningar ur ett vägupprustningsperspektiv.
- Använt större andel CTI-fordon än vad som använts i analysen i alternativet *Fixed och Winter 300*.
- Lunnat ut virke på natten under förfallsperiod och därigenom sluppit upprusta vägarna.
- Plockat russinen ur kakan och vägupprustningskostnaden kan komma att öka i framtiden.

Vägsamfälligheter är en problematik som optimeringarna inte tagit hänsyn till. Modellen har fritt använt vägar som ägs av vägsamfälligheter för transport men även haft möjlighet att rusta upp dessa vägar. Eftersom det är dyrt och ger företaget en dålig stämpel att köra sönder en väg som ägs av en vägsamfällighet används dessa inte alltid i verkligheten. NVDB har för dålig kvalitet på informationen om vem som äger vägen för att den ska kunna användas i VägRust.

Ett annat problem är dynamiska företeelser, t.ex. förfallsnedsättning på det allmänna vägnätet. Förfallsnedsättningar finns inte registrerade och kan inte förutspås när de kommer att inträffa. Modellen bortser därför från den här typen av företeelser, vilket kan påverka transportkostnad och val av väg att rusta upp.

Samplanering avverkning, transport och upprustning

Resultatet har visat på en stor potential att sänka den totala kostnaden av transport och upprustning. Vid projektets avslutande workshop konstaterades att för att nå dessa samplaneringsvinster krävs ett ändrat arbetssätt och att det finns felkällor i indata som tar bort en del av vinsten. Det finns emellertid en viktig faktor som kan öka potentialen, nämligen att beståndens terrängbärighet relativt ofta underskattas jämfört med det som anges i beståndsregistret. Även om felkällor i indata reducerar en del av potentialen med samplanering borde den ändå vara stor.

Möjliga felkällor i data och optimeringsmodell:

- Trakter med fel terrängbärighet angiven.
- Hela beståndet kan inte avverkas.
- Samfälligheter (extra insats till samfälligheten).
- Små poster, klustring, koncentrationsaspekter.

Under workshopen hos SCA diskuterades hur potentialen skulle kunna realiseras trots felkällorna. Det spekulerades i ett arbetssätt där SCA använder en VägRustoptimering som ett försteg innan LSP-planering för att kunna tillgodogöra sig samplaneringsvinsten mellan avverkning och vägupprustning. Vägplanering ingår redan i dagens planeringsarbete men synkroniseras dåligt mot avverkningsplaneringen. Ett förslag på LSP från VägRust skulle vara ett mycket bra underlag för att skapa en skarp LSP. Modellen tar dock inte hänsyn till att SCA vill klustra objekt för att förenkla avverkningsplanering och få effektivare avverkningar.

Dagens planering av LSP utgår från att det bestäms avverkningskvoter som respektive förvaltning ska planera under respektive säsong. Dessa kvoter delas sedan upp på distrikten utan någon större hänsyn till det enskilda distriktets förutsättningar i vägnät och terrängbärighet. Analysen av optimeringsalternativ *Winter 300 och Winter 300_1%* har visat att det finns en stor vinst av att ha större planeringsområde och att inte låsa in sig på hur mycket respektive distrikt ska avverka under respektive säsong.

Ett förslag var att vända på planeringsprocessen och först titta på beståndsregistret och utifrån detta skapa kvoter per förvaltning, vilket leder till en LSP. En viktig aspekt är dock att det i vissa områden inte går att ändra de bestånd som ligger med i första årets LSP p.g.a. samesamråd m.m. Här bör fokus ligga på att göra optimeringen på år 2–6.

Eftersom det fanns en variation mellan åren för hur lång respektive säsong var så bör man i planeringsprocessen se till att skapa ett övermål för att få ihop årsvolymen. Detta kan hanteras som buffert i VägRust.

En felkälla i analysen som påverkar resultatet var att efterfrågan till industrier har fördelats enligt historiskt material, vilket innebär att modellen avverkar och transporterar en högre andel gran under vintern. Det kan även finnas andra historiska fel som byggs in i analysen. Det vore därför intressant att testa olika varianter där man undersöker vad SCA kan göra för att frångå dagens mönster.

Ett annat inbyggt fel som uppstår av att använda historiskt material är att köporganisationen vill nyttja avverkningsresurserna under vintertid för att avverka hos privata markägare, vilket leder till att man tvingas avverka SCA:s egna vintertrakter i tidsperioder som inte är optimalt. Detta leder till högre kostnader för avverkning på SCA:s egen skog.

Anledningen till att historiska data använts, var att det var allt för komplicerat att prognostisera den faktiska efterfrågan under respektive säsong, med hänsyn till ledtider och att det finns en förskjutning i när säsongerna inträffar på respektive förvaltning.

Ett alternativ skulle kunna vara att göra en optimering med jämnt flöde för att efterlikna ett scenario där SCA bara har egen skog. Skillnaden mellan alternativen bör ge en fingervisning om hur mycket det kostar egen skog att vinteravverkningar prioriteras till köporganisationen.

Resursfördelning mellan förvaltningarna

I resultatet har det tagits fram ett förslag på hur resurser för vägupprustning kan fördelas mellan förvaltningarna. Det är viktigt att komma ihåg att förslaget är framtaget genom en funktion för kostnadsminimering och att det kan finnas andra värden som inte modellen tar hänsyn till och som spelar roll för hur man bör fördela resurserna på bästa sätt. Fel i indata har påverkat resultatet av denna analys och där har tidigare belysts framförallt det systematiska fel som finns mellan förvaltningarna i NVDB. Detta systematiska fel bör man kompensera för.

Resultatet har också visat att det går att sänka den totala logistikkostnaden genom att omfördela avverkningskvoter per säsong mellan förvaltningarna. Modellen har använt en gemensam transport- och avverkningskapacitet för samtliga tre förvaltningar. Under workshopen diskuterades om det var möjligt att omfördela transportresurser mellan förvaltningar, något som de flesta var överens om skulle vara möjligt då dessa styrs centralt.

Om det förutsätts att resursutnyttjandet i optimeringsalternativ Fixed är jämnt över året kommer ändringarna i transporterad volym mellan *Fixed och Winter 300* att avspegla sig i nyttjandet av avverkningsresurser. Att flytta resurser mellan förvaltningarna kan vara förenat med en kostnad, något som inte tagits med i denna analys och något man måste beakta vid ett införande.

Grustäkt

En frågeställning som kom upp under arbetets gång var om analysen visat på att det går att sänka kostnaderna om fler grustäkter anläggs. Frågeställningen har inte analyserats, men lokalt går det säkert att hitta bättre lokaliseringar av grustäkter samt identifiera platser där nya grustäkter bör anläggas. Men i det stora perspektivet, verkar det finnas tillräckligt många valbara vägar att det går att upprusta dem i de områden som täcks av befintliga grustäkter.

CTI-analys

Analysen visar på en potential till lägre kostnader med en hög andel CTI-fordon. Ett praktiskt villkor är dock att även alla grusbilar måste utrustas med CTI. Den utvärderade strategin har varit att antingen använda en stor flotta med CTI-fordon och endast några få standardfordon (som koncentreras till det bäriga vägnätet) eller använda en stor flotta standardfordon där CTI-fordonen koncentreras till vägnätet med sämre bärigheter. Resultatet har visat att logistikkostnaden var lägre med en hög andel CTI-fordon. SCA har resonerat som att det inte är någon vits att ha två likvärdiga flottor med CTI respektive standardfordon eftersom det blir för krångligt att hålla reda på vilka fordon som får köra på vilka vägar under tjällossningstider.

I analysen räknar vi med en gemensam flotta över alla förvaltningar, vilket leder till en något skev fördelning avseende hur CTI-fordonen används mellan förvaltningarna. CTI-fordonen används något mer i Ångermanland än i Medelpad. Eftersom CTI-fordonen har tillåtelse att köra på BK2-väg under förfallsperioden kan dessa fordon då göra smartare vägval och välja en kortare väg. Detta är en aspekt som det inte tagits hänsyn till i analysen, men om så gjorts skulle det ha gett CTI-fordonen ännu en fördel.

HUR KAN SCA ANVÄNDA VÄGRUST I FRAMTIDEN

Den ursprungliga tanken med denna studie vara att analysera hur SCA:s VägGIS-verktyg från Dianthus förhåller sig till VägRust. Det konstaterades ganska tidigt att båda verktygen användes för analys av olika tidshorisonter och detaljnivåer. VägGIS-verktyget är ett operativt verktyg för att detaljplanera nybyggnation och upprustningar av vägförslag. VägRust är ett strategiskt/-taktiskt verktyg för att identifiera potentiella vägupprustningar kopplat till val av avverkningstidpunkt för bestånd och industrins efterfrågan. De båda verktygen kompletterar därför varandra i olika delar av planeringsprocessen. I planeringsprocessen av vägupprustningar kan VägRust användas för att identifiera vilka vägar som ska upprustas från en klass till en annan i kommande femårsperiod. VägGIS-verktyget kan sedan användas för att kvalitetssäkra VägRustförslagen och göra en detaljplanering som skickas vidare som beställning till entreprenören.

På workshopen identifierades även att VägRust kan vara ett verktyg för att komplettera SCA:s LSP-planering. Resultatet har visat att det finns en stor potential till samplanering mellan vägupprustning, transport och avverkning på de analyserade förvaltningarna. VägRust skulle här kunna fungera som ett försteg eller hjälp i den manuella LSP-planeringen som görs på respektive distrikt och förvaltning. I stället för att varje år börja från tomt blad så börjar man med en VägRustanalys som ger ett första förslag på vilka bestånd som ska avverkas under respektive säsong. Resultatet får sedan utvärderas och kompletteras av ansvariga för LSP-planeringen med möjlighet till ett iterativt arbetssätt där man varvar VägRust-optimeringar med utvärdering/komplettering av fältpersonalen tills man uppnått önskat resultat. Resultat blir sedan följande tre delar:

- En uppdaterad LSP-plan i SCA:s beståndsregister.
- En plan med föreslagna vägupprustningar i SCA:s VFS.
- En femårsplan med volymer som SCA skog ska leverera till respektive industri från eget skogsinnehav i respektive säsong och år.

OBESVARADE FRÅGESTÄLLNINGAR

Under arbetet har ett flertal frågeställningar diskuterats som denna analys inte har haft tid att besvara och som kan vara intressanta att utreda i framtida projekt:

- Analysera hur olika lagernivåer och möjligheter till lager i olika delar av transportkedjan påverkar logistikkostnaden.
- Testa hur kvoten köp/egen skog påverkar upprustningskostnaden genom att testa hur en förändring av förfallsperiodens längd slår på upprustningsbehovet. Resultatet skulle bli ett mått på värdet av att köpa förfallsposter från privata markägare.
- Analys av transportkostnader; vad är billigast – att transportera grus och upprusta vägar eller att transportera virke från bärigare områden utanför optimalt fångstområde för industrin?

Slutsatser

- I projektet har ett förslag till resursfördelning mellan förvaltningarna tagits fram. Förslaget visar att resursbehovet är större på Ångermanlands förvaltning än Jämtlands och Medelpads.
- Resultatet från optimeringarna visar att det finns en stor potential till kostnadsbesparing genom bättre samplanering av avverkning, transport och vägupprustningar.
- Hög andel CTI-fordon i fordonsflottan ger lägre logistikkostnad än låg andel.
- Denna studie har visat att VägRust går att använda för att svara på strategiska frågeställningar och ta fram en upprustningsplan för stora geografiska områden
- För att resultatet ska vara korrekt och trovärdigt är det alltid viktigt med bra indata. I denna studie har indata varit tillräckligt bra för att besvara de strategiska frågeställningarna.

Fortsatt utveckling

Koppling mellan väg och bestånd görs i dag i VägRust utan någon hänsyn till verkliga hinder. Det hade varit intressant att testa den snappningsfunktion (koppling mellan bestånd och vägnät) som används i SCA:s operativa VägGIS-verktyg för att beräkna närmsta skotningsväg ifrån ett avverkningsobjekt till en väg.

Referenser

- Anon. 2012. Upplag av virke och Skogsbränsle vid allmän och enskild väg, Trafikverket och Skogforsk.
- Bradley. A. 2001. "Evaluation of forest access road design for use with CTI equipped logging trucks" *Feric Advantage* Vol.2 No. 53 2001.
- Bergqvist. M. 2016 "Validering av Surface Thickness Program för svenska förhållanden" Skogforsk. in prep.
- Frisk. M., 2015. VägRust- Projektrapport, Arbetsrapport nr. 858. Skogforsk.
- Ollas, R. 1980. Nya utbytesfunktioner för träd och bestånd. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Ekonomi nr 5.
- Skutin, S.-G. 2016 *Opublicerad* Fordonskalkyl CTI, Manus Arbetsrapport. Skogforsk.

Utbytesberäkning

Selektering

Väljer bestånd med

- Huggningsform(HF) = 1,2,3,8.
- Taxeringsår(LSP_TAX_AR) = 2015,2016,2017,2018,2019.
- Registrerad diameter (LSP_DIAM) >0 (annars går det ej att genomföra utbytesberäkning).
- Virkesförråd (m³sk) >100.

Parametrar och variabler

- Sortiment
 - Talltimmer (inkl. contorta).
 - Klentimmer tall (enbart i Jämtland samt vanlig tall).
 - Grantimmer.
 - Barrmassaved (Massaved från tall och contorta).
 - Granmassaved (Massaved från gran).
 - Lövmassaved (Massaved från löv och andra löv).
- Volymen hämtas ifrån m³sk och räknas om med ett omräkningstal på 0,83 till m³fub.
- Gallringsuttaget är 30 procent för alla gallringar, baserat på:
 - Medelpad 30 procent.
 - Jämtland 30 procent.
 - Ångermanland 30 procent egentligen ska inte Contorta gallras men vi tar ej hänsyn till detta i utbytesberäkningen.
- Generell hänsyn 10 procent av volymen på alla slutavverkningar, baserat på:
 - Medelpad 10 procent.
 - Jämtland 12 procent.
 - Ångermanland >10 procent.
- Uttaget i Ospecificerad huggning är 50 procent.
- Ollas utbytesberäkning
 - Minsta toppdiameter för massaved 5 centimeter.
 - Minsta toppdiameter för timmer.
 - TT 140 millimeter.
 - GT 130 millimeter.
 - KTT 110 millimeter.

Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2015

År 2015

- Nr 856 Widinghoff, J. 2015. Logistklösning för delkvistat sortiment – Lätta skyddsplåtar på virkesbilar för transport av träddeklar och delkvistade sortiment. – Lightweight side-shields on timber trucks transporting partly delimbed energy wood. 15 s.
- Nr 857 Hannrup B, Bhuiyan N. Möller J.J. 2015. Rikstäckande utvärdering av ett system för automatiserad gallringsuppföljning. – Nationwide evaluation of a system for automated follow-up of thinning. 56 s.
- Nr 858 Frisk, M., Rönnqvist, M. & Flisberg, P. 2015. Vägrust – Projektrapport. 2015. – Vägrust – Project Report. 48 s.
- Nr 859 Asmoarp, V. & Jonsson, R. 2015. Fokusveckor 2014. Bränsleuppföljning för tre fordon inom ETT-projektet, ST-RME, ETT1 och ETT2. – Monitoring fuel consumption of three rigs in the ETT project: ST-RME, ETT1 and ETT2 42 s.
- Nr 860 Johannesson, T. 2015. Ny teknik för askåterföring i skogsmark. – New technology for ash recycling on forest floor. 14 s.
- Nr 861 Asmoarp, V., Nordström, M. & Westlund, K. 2015. Stämmer väglagervolymerna? – En fallstudie inom projektet “Skogsbrukets digitala kedja”. – Are roadside stock volumes correct? – A case study in the Digital Chains in Forestry project. 17 s.
- Nr 862 Möller, J.J., Bhuiyan, N. & Hannrup, B. 2015. Utveckling och test av beslutsstöd vid automatiserad gallringsuppföljning. – Development and test of decision-support tool for automated monitoring of thinning 38 s.
- Nr 863 Jonsson, R. 2015. Prestation och kvalitet i blädning med skördare och skotare. – Performance and costs in selective harvesting with harvester and forwarder. 27 s.
- Nr 864 Englund, M., Adolfsson, Niklas., Mörk, A., & Jönsson, P. 2015. Distribuerad arbetsbelysning – LED öppnar nya möjligheter för belysning hos arbetsmaskiner. – Distributed work lighting – LED lamps improve lighting on forest and agricultural machines. 20 s.
- Nr 865 Hofsten von, H. & Funck, J. 2015. Utveckling av HCT-fordon i Sverige. – HCT, heavier vehicle, truck design, ST, ETT. 28 s.
- Nr 866 Fridh, L. 2015. Utvärdering av fukthaltsmätare PREDIKTOR Spektron Biomass. – Evaluation of the Prediktor Spektron Biomass moisture content analyser. 10 s.
- Nr 867 Fridh, L. & Öhgren, J. 2015. Förstudie Automatisk skäppmätning av flis med laser. 20 s.
- Nr 868 Eriksson, A., Hofsten von, H. & Eliasson, L. 2015. Systemkostnader, logistik och kvalitetsaspekter för sju försörjningskedjor för stubbränslen. – System costs, logistics and quality aspects relating to seven supply chains for stump fuel. 29 s.
- Nr 869 Englund, M., Lundström, H., Brunberg T. och Löfgren, B. Utvärdering av Head up-display för visning av apteringsinformation i slutavverkning. 15 s.
- Nr 870 Löfroth, C. 2015. ETTaero – En förstudie av aerodynamisk utformning av skogsfordon. – A pilot study of aerodynamic design of forest vehicles 32 s.
- Nr 871 Grönlund, Ö., Iwarsson Wide, M., Hjerpe, T. och Sonesson, J. 2015. Skadeförekomst efter tidig gallring. – Damage after early thinning. 14 s.

- Nr 872 Fogdestam, N. & Löfroth, C. 2015 ETTdemo, demonstration av ETT- och ST-fordon. – ETTdemo, demonstration of ETT- and ST-vehicles. 34 s.
- Nr 873 Fridh, L. 2015. Produkttegenskaper för skogsbränsle. – Förslag till indelning, struktur och definitioner. – Forest fuel product characteristics- proposal for categories, structure and definitions. 46 s.
- Nr 874 Enström, J. 2015. Möjligheter till inrikes sjötransporter av skogsbränsle. – Possibilities for coastal maritime transport of forest fuel in Sweden. 22 s.
- Nr 875 Grönlund, Ö. & Iwarsson Wide, M. 2015. Uttag av skogsbränsle vid avveckling av låg skärmar av björk. – Harvest of forest fuel when birch shelterwoods are removed. 15 s.
- Nr 876 Jacobson, S. 2015. Lågskärm av björk på granmark – Modellering av beståndsutveckling och ekonomisk analys. – The use of birch as a shelter in young Norway spruce stands – Modelling stand development and economic outcome. 39 s.
- Nr 877 Grönlund, Ö., Iwarsson Wide, M., Englund, M. & Ekelund, F. 2015. Sektionsgallring en arbetmetod för täta klana gallringar. – Thinning in Sections – a work method for small-tree harvest. 17 s.
- Nr 878 Eliasson, L. & Nilsson, B. 2015. Skotning av GROT direkt efter avverkning eller efter hyggeslagring. – Forwarding of logging residue immediately after felling or after stor age on the clear-cut. – Effects on nutrient extraction, needle shedding, and moisture content. 10 s.
- Nr 879 Eriksson, B., Widinghoff, J., Norinm K. & Eliasson, L. 2015. Processkartläggning – Ett verktyg för att förbättra försörjningskedjor. – Process mapping – a tool for improving supply chains. 46 s.
- Nr 880 Möller, J.J., Nordström, M. & Arlinger, J. 2015. Förbättrade utbytesprognoser. – En förstudie genomförd hos SCA, Sveaskog och Södra. – Improved yield forecasts – a pilot study by SCA, Sveaskog and Södra. 14 s.
- Nr 881 von Hofsten, H. 2015. Vägning med hjälp av inbyggda vågar i fjädringen på lastbilar. – Payload weighing using onboard scales connected to the air suspension of trucks. 10 s.
- Nr 882 Rosvall, O., Kroon, J. & Mullin, T.J. 2015. Optimized breeding strategies at equivalent levels of population diversity. 61 s.
- Nr 883 Högbom, L. & Rytter, R.-M. 2015. Markkemi och fastläggning av C och N i bestånd med snabbväxande träslag - Etapp 2. – Slutrapport till Energimyndigheten 2015. – Soil chemistry and C and N sequestration in plantations with fast-growing tree species – Phase 2. – Final report to The Swedish Energy Agency 2015. 17 s.
- Nr 884 Hannrup, B., Andersson, M., Henriksen, F., Högdahl, A., Jönsson, P. & Löfgren, B. 2015. Utvärdering av V-Cut – en innovation med potential att minska förekomsten av kapsprickor. – Evaluation of V-Cut – an innovative saw bar with potential to reduce the occurrence of bucking splits. 32 s.
- Nr 885 Willén E. & Andersson, G. 2015. Drivningsplanering. En jämförelse mellan sju skogsföretag – A comparison of seven forest companies 2015. 31 s. + Bilaga 2-8.
- Nr 886 Johansson, F. 2015. Kontinuerlig uppföljning av drivmedelsförbrukning och lastfyllnadsgrad för ETT- och ST-fordon 2014. – Continual monitoring of fuel consumption and load utilisation of ETT and ST vehicles 21 s.
- Nr 887 Högberg, K.A. 2015. Selektionseffekter vid förökning av gran med somatisk embryogenes. – Selection effects of somatic embryogenesis in propagation of Norway spruce. 11 s.

- Nr 888 Enström, J. & von Hofsten, H. 2015. ETT-Chips 74-tonne trucks – Three 74-tonne chip trucks monitored in operation over one year. 23 s.
- Nr 889 Rytter, L., Stener, L.G. 2015. Gråal och hybridal.-En potential för ökad energiinriktad produktion i Sverige. – Grey alder and hybrid alder-Potentials for increased biomass production for energy in Sweden. 28 s.
- Nr 888 Enström, J. & von Hofsten, H. 2015. ETT-Chips 74-tonne trucks – Three 74-tonne chip trucks monitored in operation over one year. 23 s.
- Nr 889 Rytter, L., Stener, L.G. 2015. Gråal och hybridal.-En potential för ökad energiinriktad produktion i Sverige. – Grey alder and hybrid alder-Potentials for increased biomass production for energy in Sweden. 28 s.
- Nr 890 Asmoarp, V. & Enström, J. 2015. Fokusveckor 2015-Bränsleuppföljning för ETT 74 tons flisfordon inom projektet ETT-Flis. – Focus Weeks 2015 Monitoring fuel consumption of a 74-tonne chip truck in the ETT project. 25 s.
- Nr 891 Johannesson, T., Enström J. & Ohls, J. 2015. Test av paraffinolja för att motverka fastfrysning av flis i containrar. – Test of paraffin oil to prevent wood chips freezing onto surfaces in steel containers. 5 s.

År 2016

- Nr 892 Ågren, K., Hannrup, B., Jonsson, R., Jönsson, P., Lundström, H. och Nordström, M. Utvärdering av dimensionsmätning och förekomst av kapsprickor vid avverkning med Komatsu X19. – Evaluation of measurement quality and frequency of bucking splits in harvesting with the Komatsu X19 Harwarder. 21 s.
- Nr 893 Ågren, K., Möller, J. J. och Bhuiyan, N. 2016. Utveckling av en standardiserad metod för kalibrering av volymsbestämning vid avverkning med flerträdshanterande skördaraggregat. – Development of a standardised method for calibrating volume measurements when using a multi-tree handling harvester head. 27 s.
- Nr 894 Almqvist, C. & Rosenberg, O. 2016. Bekämpning av grankotterost (*Thekopsora areolata*) med fungicider – Försök utförda 2014 och 2015. – Control of cherry spruce rust infection (*Thekopsora areolata*) by use of fungicides – Trials performed in 2014 and 2015. 10 s.
- Nr 895 Westin, J., Helmersson, A. & Stener, L.-G. 2014. Förädling av lärk i Sverige. – Kunskapsläge och material. Genetic improvement of larch in Sweden – knowledge status and seed materials. 55 s.
- Nr 896 Mohtashami, S., Nordlund, S., Krook, M., Bergkvist, I., Ring, E. & Högbom, L. 2016. Körskador vid slutavverkning – en inventeringsstudie i Mälardalen. 16 s.
- Nr 897 von Hofsten, H. & Eliasson, L. 2016. Skotning av grot och rundved med en kombiskotare eller med två dedikerade skotare. 8 s.
- Nr 898 Rytter, L. & Mc Carthy, R. 2016. – Uthållig produktion av hybridasp efter skörd – Slutrapport 2016 för Energimyndighetens projekt 30346. - Sustainable production of hybrid aspen after harvest – Final Report 2016 from Swedish Energy Agency Project 30346.
- Nr 899 Bhuiyan, N., Möller, J.J., Hannrup, B. & Arlinger, J. 2016. Automatisk gallringsuppföljning. – Arealberäkning samt registrering av kranvinkel för identifiering av stickvägsträd och beräkning av gallringskvot – Automatic follow-up of thinning.- Stand area estimation and use of crane angle data to identify strip road trees and calculate thinning quotient.. 47 s.

- Nr 900 Pettersson, F. 2016. Effects of type of thinning and strip road distance on timber production and economy in the Scots pine field experiment at Kolfallet. Results after two thinnings and a 20-year study period.
- Nr 901 Eliasson, L., Mohtasami, S. & Eriksson, A. 2016. Analys av ett högproduktivt flissystem – Analysis of factors affecting a high productive chip supply system. 20 s.
- Nr 902 Enström, J., Asmomarp, V., Davidsson, A., Johansson, F., Jönsson, P. & Mohtashami, S. 2016. Transportsystemet Inlandsbanan – The Inlandsbanan transport system. 50 s.
- Nr 903 Klingberg, A., Persson, T. & Sundblad, L.G. 2016. Projektrapport – Fröskörd från tallfröplantage T2 Alvik – Effekt av inkorsning på planteringsresultatet i fält (projekt nr 244). – Project report Harvests from the T2 Alvik orchard – Effect of cross-pollination on operational planting outcome.
- Nr 904 Friberg, G. & Bergkvist, I. 2016. Så påverkar arbetsrutiner och markfuktighetskartor körskadorna i skogsbruket – How operational procedures and depth-to-water maps can reduce damage on soil and water and rutting in the Swedish forestry 28 s.
- Nr 905 Berlin, M. & Friberg, G. 2016. Proveniensval av Svartgran i Mellansverige. – Provenance choice of black spruce in central Sweden.. 22 s.
- Nr 906 Grönlund, Ö. 2016. Kontrollmätningens utformning vid chaufförers travmätning. – Quality control procedure for stack measurement by truck drivers. 16 s.
- Nr 907 Björheden, R. 2016. Mekaniserad avverkning av grova lövträd - en litteraturstudie. – Mechanised harvesting of large-size hardwood trees – a literature study. 26 s.
- Nr 908 Bhuiyan, N., Hannrup, B., Nordström, M. & Larsolle, A. 2016. Beslutsstöd för stubbskörd.– Utveckling av ett prototypprogram för snabbare implementering i skogsbruket. – Decision-support tool for stump harvest. – Development of prototype software for faster implementation in forestry. 22 s.
- Nr 909 Brunberg, T. & Lundström, H. 2016. Tidsåtgång och bränsleåtgång vid användning av sortimentsgripen 2014. – Evaluation of assortment grapple 2014 in terms of processing time and fuel consumption. 19 s.
- Nr 910 von Hofsten, H., Eliasson, L., Lundström, H. & Granlund, P. 2016. Prestation och bränsleförbrukning för två stora trumhuggar avsedda för flisning på terminaler. – Production and fuel consumption for two large drum chippers. 14 s.
- Nr 911 Jonsson, R., Jönsson, H. & Lundström, H. 2016. Prestation och kostnader för slutavverkningsdrivare Komatsu X19 harwarder med snabbfäste. – Performance and cost in final felling for Komatsu X19. Harwarder with quick hitch. 40 s.
- Nr 912 Jonsson, R., Jönsson, P., & Manner J., Björheden, R. & Lundström, H. 2016. Prestation och kostnader för drivaren Komatsu X19 och tvåmaskinsystem med Komatsu 941 och 895 i grov slutavverkning – Performance and costs for the Komatsu X19 harwarder compared to Komatsu 941/895 harvester/forwarder in large size final felling. 38 s.
- Nr 913 Jönsson, P., Andersson, M., Hannrup, P., Henriksen, F. & Högdahl, A. 2016. Avverkningskapacitet för sågkedjor – en jämförande studie. – Cutting capacity of saw chains – a comparative study. 38 s.
- Nr 914 Skutin, S.G. & Bergqvist, M. 2016. Slutrapport – Rapport Bergtäkt. – Potentialer till kortare ledtider i miljöprövningen. – Final report of the 'Rock Quarry' project. Potential to shorten lead times in environmental assessment. 44 s.

- Nr 915 Ottosson, P., Andersson, D. & Fridh, L. 2016. Radarteknik för fukthaltsmätning – en förstudie. – Radar technology for measuring moisture content – a preliminary study. 23 s.
- Nr 916 Manner, J., Björheden, R., Jonsson, R., Jönsson, P. & Lundström, H. 2016. Prestation och drivningskostnad för drivarprototypen Komatsu X19 jämfört med ett konventionellt tvåmaskinsystem. – Productivity and logging costs of the harwarder prototype Komatsu X19 and a conventional CTL system. 27 s.
- Nr 917 Bergqvist, M., Björheden, R. & Eliasson, L. 2016. Kompakteringseffekter på skogsbilvägar. – Compaction effects on Forest roads. 21 s.
- Nr 918 Jönsson, P., Andersson, M., Hannrup, B., Henriksen, F. & Högdahl, A. 2016. Cutting capacity of saw chains – a comparative study. – Avverkningskapacitet för sågkedjor – en jämförande studie. s. 38.
- Nr 919 Asmoarp, V., Bergqvist, M., Frisk, M., Flisberg, P. & Rönnqvist M. VägRust på SCA. En analys av vägupprustningsbehov på SCA Skog AB:s tre sydliga förvaltningar. – VägRust at SCA. An analysis of road upgrading needs on three southern holdings. 33 s.

SKOGFORSK

– Stiftelsen skogsbrukets forskningsinstitut

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

FORSKNING OCH UTVECKLING

Två forskningsområden:

- Skogsproduktion
- Virkesförsörjning

UPPDRAG

Vi utför i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter.

Det kan gälla utredningar eller anpassning av utarbetade metoder och rutiner.

KUNSKAPSFÖRMEDLING

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

Från Skogforsk nr. 919–2016



www.skogforsk.se