



Kostnadsjämförelse för tillgänglighet under förfallsperioder genom tjälsäkring av skogsbilväg eller CTI-utrustade virkesbilar

*Cost comparison for availability during tax periods with forest
road upgrading or CTI-equipped timber trucks*

Simon Viklund

**Arbetsrapport 15 2015
Examensarbete 30hp A2E
Jägmästarprogrammet**

**Handledare:
Tomas Nordfjell**

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi
S-901 83 UMEÅ

www.slu.se/sbt

Tfn: 090-786 81 00

Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Kostnadsjämförelse för tillgänglighet under förfallsperioder genom tjälsäkring av skogsbilväg eller CTI-utrustade virkesbilar

Cost comparison for availability during taw periods with forest road upgrading or CTI-equipped timber trucks

Simon Viklund

Nyckelord: tjällossning, rundvirkestransport, vägstandard, bärighet, skogsbilväg.

Arbetsrapport 15 2015

Examensarbete i skogshushållning vid Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi, 30 hp
EX0772, A2E

Jägmästarprogrammet

Handledare: Tomas Nordfjell, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Examinator: Ola Lindroos, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Sveriges lantbruksuniversitet

Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2015

Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Förord

Denna studie har utförts som examensarbete motsvarande 30 hp i ämnet skogshushållning vid institutionen för skogens biomaterial och teknologi, Sveriges lantbruksuniversitet i Umeå. Jag vill rikta ett stort tack till min handledare professor Tomas Nordfjell för hans engagemang och goda råd. Jag vill även tacka de personer jag varit i kontakt med under arbetets gång. Utan er hade detta inte varit möjligt.

Umeå, april 2015

Simon Viklund

Sammanfattning

Kraven på jämna leveranser av rätt råvara i rätt tid ökar ständigt inom svensk skogsindustri. För att säkerställa virkesleveranserna krävs bäriga skogsbilvägar. Detta är ofta ett problem under förfallsperioder, så som vid tjällossning och regniga höstperioder. Ett sätt att möta bärighetsproblemen är att utrusta virkesbilar med Central Tire Inflation (CTI), vilket är en teknik som gör det möjligt att variera däcktrycket på ett fordon under färd. Ett annat sätt är att tjälsäkra skogsbilvägarna, det vill säga upprusta de till tillgänglighetsklass A.

I denna studie har först förfallsperiodens längd skattats för olika regioner i Sverige genom att analysera trafikverkets statistik över bärighetsrestriktioner på det allmänna vägnätets grusvägar. Sedan har CTI-utrustningens årliga merkostnad beräknats, totalt och utslaget per transporterad volymenhet. Därefter har kostnaderna för att tjälsäkra skogsbilvägar skattats. Beräkningar har gjorts för skogsbilvägar med två typer av jordart i underbyggnaden (normalmorän och mjåla) och av ursprunglig tillgänglighetsklass B och C. De två alternativa lösningarna har sedan jämförts.

Förfallsperiodens längd varierar över landet. Mellan åren 1994 och 2005 var förfallsperioden 3,3–9,6 veckor per år och den var kortast i region Syd och längst i region Väst. CTI-teknikens årliga merkostnad beräknades till mellan 46359 och 50872 kr vid medeltransportavstånd på 50-150 km. Att tjälsäkra skogsbilväg beräknades kosta mellan 37 och 368 kr per löpmeter. För samma årliga merkostnad som CTI-systemet beräknades medföra kan man tjälsäkra mellan 138 och 1260 meter väg, beroende på medeltransportavstånd, ursprunglig vägs tillgänglighetsklass och jordart i undergrunden.

För skogsbilvägar med undergrund av normalmorän med tillgänglighetsklass B som ligger nära en bergtäkt och är belägen i en region med kort förfallsperiod var tjälsäkring mer intressant än användning av CTI-utrustade virkesbilar. I ett scenario med kortare medeltransportavstånd, lång förfallsperiod och skogsbilvägar med undergrund av mjåla som är belägen långt från en bergtäkt var användning av CTI-utrustade virkesfordon bättre än tjälsäkring av skogsbilvägar.

Nyckelord: tjällossning, rundvirkestransport, vägstandard, bärighet, skogsbilväg

Summary

The requirement for regularly supplies of raw materials delivered just in time is increasing in the Swedish forest industry. To ensure the supply of wood, forest roads with good bearing capacity are required. This is often a problem during the spring thaw and rainy periods. One way to solve the problems is to equip timber trucks with Central Tire Inflation (CTI), which is a technology that makes it possible to vary the tire pressure on a moving vehicle. Another way is to upgrade forest roads to the highest availability class (class A).

In the study have the length of the period when the roads have had reduced bearing capacity been estimated for different regions in Sweden, by analyzing the Transport Department statistics of bearing capacity restrictions on the public road network of gravel roads. Then the CTI technology's annual additional cost have been estimated, in total and per transported volume unit. Last, the costs of upgrading forest roads have been estimated. Calculations have been made for forest roads with two types of soil in the subgrade (normal moraine and silt) and with initial availability class B and C. The two alternative solutions (CTI and road upgrading) have then been compared.

The length of the period when forest roads have reduced bearing capacity varies across the country. Between 1994 and 2005, the periods vary from 3.3 to 9.6 weeks per year. The periods were shortest in the South region and longest in the West region. The CTI technology's annual additional cost was estimated to between 46359 and 50872 SEK at average transport distances of 50-150 km. The cost of upgrading forest road was estimated to between 37 and 368 SEK per linear meter. For the same cost as the annual CTI cost it was possible to upgrade between 138 and 1260 meters of road, depending on the average transport distance, the accessibility class of the original road and type of soil in the subgrade.

For forest roads with a subgrade of normal moraine with accessibility class B that is located near a rock quarry and in a region with short maturity period was upgrading forest roads more interesting than use of CTI-equipped timber trucks. In a scenario with shorter average transport distance, long maturity periods and forest roads with subgrade of silt which is located far from a rock quarry was use of CTI-equipped timber trucks better than upgrading forest roads.

Keywords: spring thaw, round wood transportation, road standards, bearing capacity, forest road

Innehåll

1.	Inledning	6
1.1	Bakgrund	6
1.2	Sveriges vägnät.....	6
1.3	CTI.....	7
1.4	Väggroppen	8
1.5	Nedbrytning och slitage av skogsbilvägar.....	9
1.6	Tjälsäkring.....	10
1.7	Syfte.....	12
2.	Material och metoder	13
2.1	Förfallsperioden.....	13
2.2	Ekonomiska analyser av transporter med virkesbil	14
2.3	Tjälsäkring.....	15
2.4	Kostnadsjämförelse mellan att använda CTI-fordon och att tjälsäkra skogsbilvägar.....	17
3.	Resultat.....	18
3.1	Förfallsperioden	18
3.2	Ekonomiska analyser av transporter med virkesbil	19
3.2	Tjälsäkring	20
3.4	Kostnadsjämförelse mellan att använda CTI-fordon och att tjälsäkra skogsbilvägar.....	21
4.	Diskussion	24
4.1	Resultat	24
4.1.1	Förfallsperioden	24
4.1.2	Ekonomiska analyser av transporter med virkesbil.....	24
4.1.3	Tjälsäkring av väg	25
4.1.4	Kostnadsjämförelse mellan att använda CTI-fordon och att tjälsäkra skogsbilvägar	25
4.2	Känslighetsanalys	26
4.3	Styrkor och svagheter	27
4.4	Framtida studier.....	27
4.5	Slutsatser.....	28
	Litteraturförteckning	29
	Personlig kommunikation.....	31
	Bilaga 1	32
	Trafikverkets statistik över bärighetsrestriktioner	32
	Bilaga 2	34
	Resultat Transam	34

1. Inledning

1.1 Bakgrund

I svensk skogsindustri ökar kraven på jämna leveranser av rätt råvara i rätt tid. För att kunna säkerställa råvaruleveranserna med virkesbilar krävs tillgängliga vägar. Detta är ofta ett problem under framför allt förfallsperioder (tjällossningsperioder och regniga höstar). Under dessa perioder får många vägar begränsad bärighet vilket gör att skogsnäringen inte kommer åt virket som finns efter dessa vägar (Andersson & Westlund, 2008).

Med virkesbil avses en lastbil anpassad för transport av rundvirke. Enligt intervjuer med transportledare i Mellansverige och Norrland sammanfattade i Skutin (2012) har skogsbolagen någorlunda vetskap om tjällossningens startpunkt, plus minus två veckor. Längden på tjällossningen varierar från år till år vilket tvingar skogsbolagen att bygga lager för att ha säkerhetsmarginal. Ihållande höstregn är svårare att förutse och kan vålla stora problem när skogsbruket dessutom strävar efter låga lagernivåer. För att undvika höga lagerkostnader under förfallsperioder arbetar skogsbolagen idag mycket med att succesivt flytta transportkapaciteten till områden med bättre bärighet. Detta medför mer planeringsarbete och även höjda transportkostnader (Skutin, 2012). Bara problemen med obäriga allmänna vägar kostar skogsbruket 510-590 miljoner kronor årligen (Andersson & Westlund, 2008). Även underhåll av skogsbrukets egna vägar är en stor kostnadspost. År 2002 uppgick dessa kostnader till över 600 miljoner kronor (Skogsstyrelsen, 2002). Den pågående klimatförändringen spås inte göra situationen enklare i framtiden. Forskning visar att klimatförändringen leder till varmare vintrar, samt mer och intensivare nederbörd (Naturvårdsverket, 2013). Detta gör att den, för skogsbruket, så viktiga perioden med tjälad mark förkortas och större del av avverkningarna måste ske under övrig tid av året. Därmed ökar också kravet på större andel bäriga vägar samtidigt som förfallsperioden spås bli längre och mer oförutsägbar (Hallgren, 2012).

1.2 Sveriges vägnät

Det svenska vägnätet är i huvudsak uppdelat i två kategorier; allmänna vägar och enskilda vägar. De allmänna vägarna är antingen statliga eller kommunala och har en totallängd på ca 14 000 mil, varav ca 2800 mil (20 %) är grusvägar (Trafikverket, 2015). Det allmänna vägnätet är indelat i tre bärighetsklasser, BK1, BK2 och BK3. Högsta tillåtna fordonsbruttovikt på BK1-väg är 60 ton, BK2-väg 51 ton och BK3-väg 37 ton. BK1-väg utgör ca 95 % av det allmänna vägnätet (Transportstyrelsen, 2014). Västernorrlands län har högst andel BK2 och BK3 (19 %), följt av Jämtland (10 %), Norrbotten (9 %), Västerbottens län (9 %) och Västra Götalands län (6 %) (Skutin, 2012).

Det enskilda vägnätet, det vill säga väg som inte ägs av stat eller kommun, utgör ca 43 000 mil. Skogsbilvägar utgör knappt hälften av dessa, ca 21 000 mil (Svensson et al., 2012). Skogsstyrelsen definerar skogsbilväg som ”en väg huvudsakligen avsedd för skogsbrukets behov där virkestransport kan ske med lastbil” (Gunnarson et al., 2011). Skogsstyrelsen delar in skogsbilvägar utifrån tillgänglighet, det vill säga vägens bärighet, i klasserna A-D.

Man avser då när på året vägen når upp till en bärighet motsvarande BK1. Det dimensionerande fordonet är 24 meter långt, har bruttovikt 60 ton och axel-/boggityck 10/18 ton (tabell 1) (Svensson et al., 2012).

Tabell 1. Väglklasser för skogsbilvägar med avseende på tillgänglighet för ett 24 meter långt fordon med bruttovikt 60 ton och med en högsta axel-/boggityck på 10 alternativt 18 ton (efter Svensson et al., 2012)

Table 1. Road classes for forest roads classified by availability for a 24 meter long vehicle with a gross weight of 60 tonnes and a maximum axle/bogie load of 10, or 18 tonnes (from Svensson et al., 2012)

Tillgänglighet	Tillgänglighetsklass
Last- och personbilstrafik hela året.	A
Lastbilstrafik hela året utom vid svår tjällossning. Personbilstrafik hela året.	B
Lastbilstrafik hela året utom under tjällossnings- och ihållande regnperioder. Personbilstrafik hela året utom under tjällossningen.	C
Lastbilstrafik i huvudsak vintertid. Personbilstrafik även sommartid.	D

1.3 CTI

Ett sätt att möta problemet med dåliga vägar är att utrusta virkesbilar med Central Tire Inflation (CTI), vilket är en teknik som gör det möjligt att variera däcktrycket på ett fordon under färd. Med ett lägre tryck ökar däckens anläggningsyta och därmed sänks marktrycket. Detta leder i sin tur till mindre spårbildning och bättre framkomlighet på svaga vägar. Det är i vägkroppens översta del (< 200 mm) som det lägre marktrycket reducerar påkänningarna på vägen mest. Längre ner i vägkroppen har CTI mindre påverkan (Granlund, 2006).

Trafikverket har utfärdat en generell dispens för CTI-fordon att köra på BK2-och BK3-klassade vägar med fullt lass (Anon., 2007). CTI-fordon har då tillgänglighet till hela vägnätet även under tjällossningstider vilket gör att antalet vändor reduceras och man slipper dessutom omvägar och omlastningar (Skutin, 2012). En studie visar att genom att, inom en viss region, låta virkesbilar utrustade med CTI köra på BK2-klassade vägar kan transportkostnaderna sänkas med 3,8 % (Åkerlund, 2006). Det händer även att trafikverket inför totalförbud för konventionella fordon på vissa sträckor under förfallstider medan CTI-fordon tillåts köra som vanligt (Skutin, 2012).

Det negativa med CTI-systemet är investeringskostnaden, ca 160 000 kr för bilen och 40 000 för släpet. Det medför även ca fem procent högre underhållskostnader. Däcken på ett CTI-fordon har dock 10 procent längre hållbarhet och bränsleförbrukningen är densamma som för konventionella virkestransporter (Skutin, 2012). CTI-systemet medför även minskad lastvikt.

Systemet i sig väger ca 100 kg och en övergång till tåligare stålfälgar ökar taravikten med ytterligare 300 kg (Granolund, 2006), dvs. en minskad lastvikt med 400 kg.

Vid användning av CTI förbättras även förarnas komfort. Ett fordon utan CTI kör alltid med ett däcktryck anpassat för fullt lass på landsväg, vilket gör att vid all annan körning uppstår mer vibrationer än med CTI. Ett CTI-fordon kan anpassa däckstrycket till rådande omständigheter och förarna upplever då körningen som lugnare och behagligare (Granolund, 2006).

Enström (2005) har gjort en studie om lämplig avvägning mellan investering av CTI-teknik och lagerhållning av virke. Studieområdet var ett ”normalt” distrikt i Mellansverige och resultatet var att utrusta 30 % av fordonsflottan med CTI-teknik skulle täcka virkesbehovet under förfallsperioden och vara mer lönsamt än lagerhållning. Skutin (2012) har gjort en lönsamhetskalkyl för en fiktiv förvaltning i Västernorrlands län angående CTI på virkesbilar. Där kom han fram till att i en situation där transportflottan till 30 % består av CTI-fordon skulle fördelarna med CTI ge ett mervärde på 4,19 kr/m³fub. De största kostnadsminskningarna i detta typfall var byggnation och upprustning till så kallade CTI-vägar, minskat stillestånd och minskat industrilager. Byggnation och upprustning av CTI-vägar (vägar med grövre överbyggnad) avser skogsbilvägar på egen mark och förutsätter en hög andel CTI-fordon i transportflottan. Ett problem med CTI-vägar är att även andra fordon, så som trailers, grusbilar och servicefordon, måste förses med CTI-teknik.

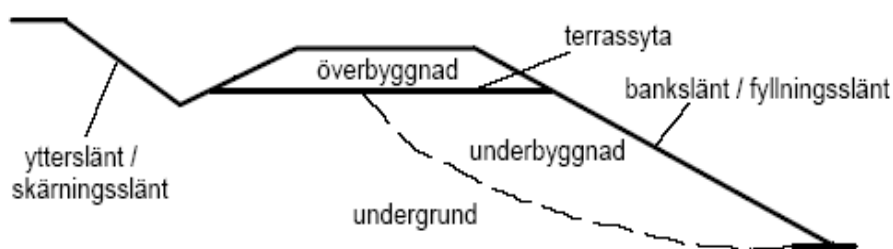
Tidigare forskning från Sverige (Granolund & Andersson, 1998; Åkerlund, 2006) och Kanada (Bradley, 1996) visar att fordon utrustade med CTI orsakar mindre spårbildning och klarar fler överfarter på vägar med dålig bärighet jämför med konventionella virkesbilar. På vägar med högre bärighet har CTI-tekniken mindre påverkan på spårbildningen (Granolund, 2006).

Hell (2011) identifierade Örnsköldsvik och Iggesund som områden med stor andel virkestransporter på vägar med låg bärighet under tjällossningsperioder. Där ansågs nyttan med CTI-utrustade virkesbilar på Holmen Skogs marker vara störst. Rådström (2014) har studerat vilka distrikt inom Holmen Skogs Region Iggesund som skulle kunna ha störst nytta av virkesfordon med CTI eller Super Singel hjul, alternativt ett hjulsystem som kombinerar de båda teknikerna. Analysen visar att det finns potential att differentiera virkesfordonen beroende på distriktens olika förutsättningar, så som säsongsvisa variationer i virkesflödet och vägnätsstandard, och på så sätt anpassa transportflottan till respektive distrikt.

1.4 Vägkroppen

Undergrunden kallas den orörda marken som är under vägen. Vägkroppens uppbyggnad för lång livslängd och bra bärighet beror till stor del på undergrundens egenskaper. På undergrunden byggs sedan ett lager som kallas underbyggnad. Underbyggnaden består av material från byggplatsen (Svensson et al., 2012). Sänkor i markprofilen fylls igen (bank) och toppar skärs av (skärning). Vid bank och skärning bildas olika typer av slänter mellan marken och vägen respektive diket. Vid bank kallas det bankslänt eller fyllningslänt, och vid

skärning kallas det skärningslänt eller ytterslänt (figur 1) (Granhage, 2009). Undergrundens övre del, tillsammans med underbyggnaden, utgör terrassen i vägkroppen. För att minimera kostnaderna vid vägbyggnation spelar materialet som finns längs väglinjen stor roll. Måste man transportera material till underbyggnaden ökar priset snabbt. Terrassens bärighet beror framför allt på väglinjens jordarts- och fuktighetsförhållanden (Svensson et al., 2012). På terrassen bygger man sedan upp en överbyggnad. Överbyggnadens uppgift är att fördela den belastning som blir på vägen nedåt i vägkroppen. Detta behövs för att undvika skador i underliggande lager. Överbyggnaden måste även ha en god dränering för att undvika vattensamlingar som i sin tur leder till nedsatt bärighet (Granhage, 2009). Tjockleken på överbyggnaden avgörs av undergrundens jordart, önskad bärighets- och tillgänglighetsklass, fuktighetsförhållanden, dränering samt kvaliteten på överbyggnadsmaterialet (Svensson et al., 2012). På skogsbilvägar är överbyggnadens viktigaste roll att ge vägen dess önskade tillgänglighetsklass (Gunnarson et al., 2011). En överbyggnad kan byggas upp på lite olika sätt. Gemensamt är att den byggs upp av olika lager, där högst krav ställs på de översta lagren eftersom de är mest belastade (Granhage, 2009). Överbyggnadens översta lager heter slitlager och fungerar som vägens tak, då det skall vara så tätt att vatten rinner av vägytan. Lagret skall även göra vägen jämn för trafiken (Svensson et al., 2012). Gruslitlager kräver underhåll för att det skall fungera. De fina fraktionerna dammar efterhand ner i dikena och ut i terrängen. Detta gör att slitlagret efter en tid får förändrad sammansättning med porthål och korrugerad vägbana som följd (Granhage, 2009). Under slitlagret finns ett bärlager som är av ett lite billigare material och skall göra vägen bärig. I ett bärlager är det viktigt att det finns lika mycket material i alla kornfraktioner (Svensson et al., 2012). Skogsbilvägar byggs vanligtvis med ett kombinerat bär- och slitlager. Det är möjligt då lastbilstrafik i låg hastighet klarar av de lite större stenarna i vägytan. Om det krävs tjockare överbyggnader används även ett förstärkningslager. Kraven för det lagret liknar bärlagrets men tillåter grövre fraktioner (Hallgren, pers. komm. 2014).



Figur 1. Vägområde i genomskärning (efter Granhage, 2009).

Figure 1. Cross-section of a road area (from Granhage, 2009).

1.5 Nedbrytning och slitage av skogsbilvägar

Klimatfaktorer, trafik, vägens uppbyggnad och materialsammansättning är avgörande för vägens slitage och nedbrytning (Enkell, 2003). Klimatpåverkan är störst under våren (tjällossning) och under hösten (allmän uppmjukning pga. regn). Under tjällossningen kan olika typer av tjälskador uppstå, som tjällyftning, ytuppmjukning, tjälskott och stenuppfrysning (Alzubaidi, 2010). Det som påverkar bärigheten mest är ytuppmjukningen.

Dessa problem uppstår under tjällossningens första skede och beror på att den övre delen av vägen tinar och vatten frigörs. Underliggande material är fortfarande fruset och det frigjorda vattnet kan då inte dräneras ner i vägen. Vattnet gör att vägen förlorar bärighet och kan bli mycket spårig om den trafikeras. Ytuppmjukning uppstår även vid perioder med rikligt med regn och dåligt avrinning eller dränering av vägkroppen (Enkell, 2003).

Spårbildning i vägar medför flera problem. Dels ökar däckslitaget och bränsleförbrukningen för åkaren, men framför allt skadar det själva vägen (Dawson & Kolisoja 2006). Ju bredare ett spår är desto djupare är vägen skadad. Man brukar säga att vägens största fiende är vatten (Svensson et al., 2012) och vägproblemen som uppstår vid spårbildning beror på att vatten ansamlas i spåren istället för att rinna av. Det ansamlade vattnet rinner då ner i överbyggnaden vilket reducerar bärigheten och snabbar på vägens nedbrytning (Dawson & Kolisoja 2006).

När spänningar uppstår i ett material, till exempel när en väg utsätts för tyngd från en lastbil, kan deformation uppstå. Deformation definieras som förhållandet mellan formförändring och materialets ursprungliga form. Om deformationen återgår efter spänningen kallas den elastisk och om den inte är återgående kallas den plastisk. När en plastisk deformation uppstår genomgår ofta materialet först en elastisk deformation. När skogsbilvägar trafikeras uppstår alltid viss elastisk- och plastisk deformation. När materialet i vägen packats stabiliseras dock deformationerna på en mycket låg nivå (Roadex, 2013).

Det saknas uppgifter om förfallsperiodens längd på enskilda vägar och skogsbilvägar. Trafikverket har statistik över skyltade bärighetsbegränsningar på det allmänna vägnätet mellan åren 1994 och 2014 (Nygårds, pers. komm. 2014). Man har dock från 2006 infört en ny liberal policy för bärighetsrestriktioner. Den innebär att trafikverket i lägre utsträckning utför skyltade begränsningar och att transportörerna har mer frihet under ansvar (Natanaelsson, 2013).

1.6 Tjälssäkring

Vägupprustning innebär att vägens standard förbättras. Det kan ske genom att till exempel öka vägens bredd eller öka dess tillgänglighet, det vill säga uppgradera vägen från en tillgänglighetsklass till en högre. Att uppgradera en väg till tillgänglighetsklass A, det vill säga farbar året runt, kallas för att tjälssäkra vägen. Vägens tillgänglighetsklass beror på undergrunden, överbyggnaden och dräneringen. Undergrunden är den naturliga mark som vägen byggs på och kan därför inte påverkas vid en upprustning (Jonsson et al., 1991). För att en vägs efterfrågade tillgänglighetsklass skall erhållas krävs ett fungerande dräneringssystem. Vatten kan skada vägen på många olika sätt som i sin tur leder till nedsatt bärighet. Dräneringen regleras framför allt med väl anlagda och underhållna diken och trummor. Det krävs dock att bomberingen, vägens form i tvärled, är tillräcklig för att övrig avvattning skall fungera. Bomberingen justeras med djuphyvling. Dikenas uppgift är sedan att avvattna- och leda bort vattnet från vägen. För att detta skall fungera krävs att dikena rensas och kantskärning utförs (Alzubaidi, 2010). Eftersom överbyggnadens egenskaper är avgörande

för vägens tillgänglighetsklass är det framför allt denna som en väghållare kan påverka för att öka vägens tillgänglighet (Jonsson et al., 1991). Det man kan påverka är överbyggnadens tjocklek, sammansättning och val av material. Tjockleken avgörs av vilken tillgänglighetsklass man vill uppnå, samt materialet i underbyggnaden (Gunnarson et al., 2011). Underbyggnadsmaterialen är indelade i olika tjälfarlighetsgrupper, beroende på hur jordarten påverkas av tjälning och upptining. Tjälfarlighetsgrupp I är icke tjälfarliga jordarter, II är måttligt tjälfarliga jordarter och III är mycket tjälfarliga jordarter (Gustafsson et al., 2003). För att vägen skall vara tjälsäker krävs en överbyggnadstjocklek på mellan 15 och 60 cm beroende på underbyggnadsmaterial (tabell 2).

Tabell 2. Dimensionering av överbyggnad (cm) på skogsbilvägar (efter Gunnarson et al., 2011)

Table 2. Dimensioning of the pavement (cm) on forest roads (from Gunnarson et al., 2011)

Material i undergrund	Tjälfarlighetsgrupp	Tillgänglighetsklass							
		A		B		C		D	
		Skärning	Bank	Skärning	Bank	Skärning	Bank		
Skraavel	I	15	15						0
Grus	I	15	15						0
Sandigt grus	I	15	15	5,7 eller 10 beroende på material		5,7 eller 10 beroende på material			0
Grusig morän	I	15	15						0
Sandig morän	I	15	15						0
Grusig sand	I	20	20						0
Sand	I	20	20	15	15	15	15		10
Grovmo	I	20	20	15	15	15	15		10
Grusig morän	II	30	20	20	15	15	5		0
Sandig morän	II	30	20	20	15	15	5		0
Normal morän	II	30	20	20	15	15	5		0
Sandig moig morän	II	40	30	30	20	20	15		0
Lerig morän	II	40	30	30	20	20	15		0
Moränlera	II	40	30	30	20	20	15		0
Moig morän	III	60	50	40	30	20	15		0
Mjällig morän	III	60	50	40	30	20	15		0
Finmo	III	60	50	40	30	30	20		5
Mjäla	III	60	50	40	30	30	20		5
Grovlera (lättlera)	III	60	50	40	30	30	20		5
Grov mellanlera	III	60	50	40	30	30	20		5
Fin mellanlera	II	40	30	30	20	30	15		5
Finlera (styv lera)	II	40	30	30	20	30	15		5

Svenska skogsbilvägar består vanligtvis av en överbyggnad med kombinerat bär- och slitlager. På undergrunder med sämre bärighet kan även ett förstärkningslager behövas. Materialen i överbyggnaden är nästan alltid specialframställt grusmaterial i form av

naturgrus, sorterat moränmaterial eller krossat material. De bästa materialen är välgraderade, det vill säga innehåller korn i alla storlekar. De skall även möta idealgruskurvan så bra som möjligt, det vill säga ha rätt viktandel av de olika kornstorlekarna (Svensson et al., 2012). För kombinerat bär- och slitlager rekommenderas 0/32-material (osorterat material bestående av fraktioner mellan 0 och 32 mm) och i förstärkningslagret används 0/90-material. Anledningen till att man använder grövre material i förstärkningslagret är framför allt av ekonomiska skäl. För att överbyggnaden skall få rätt egenskaper skall de olika lagren, efter packning, vara minst 3 gånger tjockare än lagrets grövsta fraktion. Ett lager med 0/32-material skall alltså vara minst 96 mm tjockt (Hallgren, 2012).

Kostnaden för att tjälsäkra väg varierar väldigt mycket. Vägens läge i förhållande till kommersiell grus- eller bergtäkt påverkar transportkostnaden, vilket är en stor del av totala tjälsäkringskostnaden. Vid transportavstånd över 4-5 mil kan transportkostnaden uppgå till över 50 % av total tjälsäkringskostnad. Kostnaden för själva materialet varierar också. Grövre material är generellt billigare än finare (Lestander, pers. komm. 2015).

1.7 Syfte

Syftet med denna studie var att skatta den årliga förfallsperiodens längd (den tid av året då bärigheten utgör ett problem för virkestransporter) på skogsbilvägar av tillgänglighetsklass B och C i fem olika delar av landet. Syftet är också att jämföra kostnaderna för två alternativa lösningar för tillgänglighet under förfallsperioden:

1. CTI-utrustade virkesbilar
2. Tjälsäkring av skogsbilvägar med bärighetsproblem, dvs. upprustning till tillgänglighetsklass A.

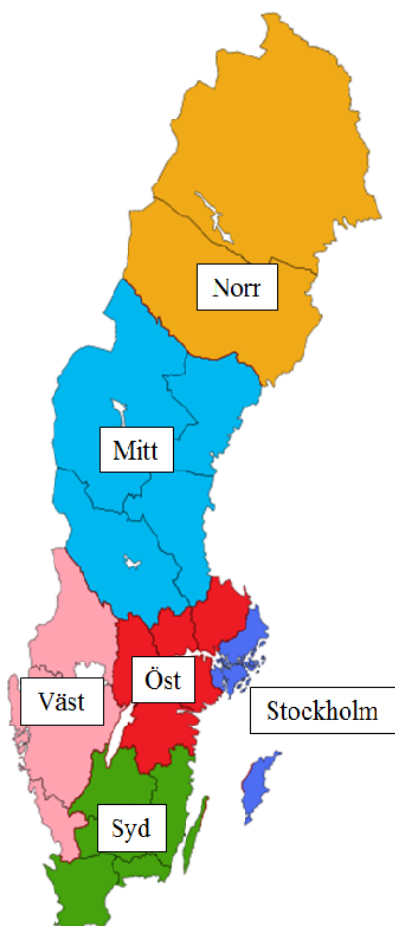
Förutsättningar och avgränsningar

- I scenariot med CTI antas det CTI-utrustade virkesfordonet nyttjas på samma sätt som en konventionell virkesbil den tid på året som inte utgör förfallsperiod. Nyttan med CTI-teknik avses alltså endast påverka transporter under förfallsperioden. Teknikens merkostnader slås helt och hållet ut på den volym som CTI-fordonet transporterar under förfallsperioden.
- Problemet med vägar med dålig bärighet antas endast innefatta förfallsperioden. Med förfallsperiod avses den tid på året då bärigheten på vägar av tillgänglighetsklass B och C utgör ett problem för virkestransporter. D-vägar tas inte med i analysen då de antas vara för dåliga för att kunna tjälsäkra eller köra med CTI-fordon på under förfallsperioder.
- Endast skogsbilvägar ingår i analysen.

2. Material och metoder

2.1 Förfallsperioden

För att skatta den årliga förfallsperiodens längd har uppgifter från trafikverket om skyltade bärighetsbegränsningar på allmänna vägnätets grusvägar studerats. Policyförändringen som infördes år 2006 ger utslag i statistiken och därför har data mellan åren 1994 och 2005 använts. Uppgifterna är angivet i antalet km och dygnskilometer grusväg som är utsatt för bärighetsbegränsningar per region (figur 2) och år. Dygnskilometer avser antal km med bärighetsbegränsning multiplicerat med antalet begränsade dygn för respektive vägsträcka. Detta är sedan summerat till ett totalt värde per region. Område Stockholm har uteslutits i analysen då det saknas uppgifter därifrån. För att få fram medelantalet dygn med bärighetsbegränsningar har antalet dygnskilometer dividerats med antalet kilometer grusväg med bärighetsbegränsningar per region.



Figur 2. Trafikverkets regionindelning.

Figure 2. Trafikverkets regional divisions.

2.2 Ekonomiska analyser av transporter med virkesbil

För att ta reda CTI-teknikens årliga merkostnader har en fordonskalkyl utförts. I kalkylen har årlig transport och kostnader för en virkesbil utrustad med CTI-teknik jämförts med en konventionell virkesbil. Skillnaden i årlig totalkostnad anses vara CTI-utrustningens merkostnad. Fordonskalkylen är utförd i programmet Transam som är en Excel-applikation framtagen av Skogforsk (Skutin, pers. komm. 2014). Indata i kalkylen baseras på Skutin (2012) och avser en kranbil som går i tvåskift. Dessutom har CTI-fordonets lastkapacitet reducerats enligt Granlund (2006) (tabell 3).

Tabell 3. Indata till ekonomiska analyser av transporter med virkesbil

Table 3. Input data for the economic analysis of transports with a timber truck

	Virkesbil					
	Konventionell			CTI		
Ränta, %	4			4		
Lönekostnader, kr/år	765000			765000		
Övriga tidskostnader, kr/år	70000			70000		
Årligt utnyttjande, tim/år	3400			3400		
Laststorlek, ton	42			41,6		
Rådensitet virke, kg/m ³ fub	900			900		
Bränslepris, kr/liter	9,3			9,3		
Lastkörningsgrad, %	50			50		
Terminaltid, min/lass	45			45		
Avbrottsid, min/lass	5			5		
Transportavstånd, km	50	88	150	50	88	150
Körhastighet, km/tim	65	70	75	65	70	75
Bränsleförbrukning, liter/km	0,6	0,58	0,56	0,6	0,58	0,56
Smörjolkjekostnad, kr/km	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Bil	Släp	Kran	Bil	Släp	Kran
Investering exkl. däck, kr	1500000	550000	500000	1660000	590000	500000
Avskrivningstid, år	5	8	5	5	8	5
Restvärde, % av investering	15	15	15	15	15	15
Service och reparation, % av investering	45	40	45	47	42	45
Avskrivning som belastar tidskostnader, %	25	25	25	25	25	25
Investering däck, kr	33200	46400	-	33200	46400	-
Däckens livslängd, km	90000	120000	-	99000	132000	-
Fordonsskatt, kr/år	12658	14400	-	12658	14400	-
Försäkringar, kr/år	40000	20000	-	40000	20000	-
Bränsleförbrukning kran, liter/lass	-	-	5	-	-	5

Posten *övriga tidskostnader* utgörs av bland annat försäkrings- och administrationskostnader. *Lastkörningsgrad* avser hur stor andel av sträckan som virkesbilen kör med last. Vid 50 %

lastkörningsgrad nyttjas inga returtransporter. Om lastkörningsgraden ändras måste övriga parametrar också anpassas. *Terminaltid* är den tid per lass som virkesbilen befinner sig på terminal eller av-/pålastningsplats. I kalkylen har resultat med tre olika medeltransportavstånd, 50, 88 och 150 km, beräknats. Enligt Skogsstyrelsen (2014) var 54 % av alla inrikes virkestransporter mellan 50 och 150 km långa. Riksgenomsnittet låg 2007 på 88 km, och detta var det senaste året man uppdaterade uppgifterna. CTI-fordonets skattade årstransport har sedan slagits ut på transport per vecka, det vill säga dividerats med 52. Den transporterade veckovolymer har sedan multipliceras med antalet veckor som förfallsperioden utgör under ett år. Den årliga merkostnaden har sedan slagits ut på den volym som CTI-fordonet transporterar under förfallsperioden och ger en merkostnad i kr/volymerhet.

2.3 Tjålsäkring

Beräkningar har utförts för tjålsäkring av väg på två typer av undergrund, normalmorän och mjåla, vilket skall representera ytterligheterna av svårighetsgrad vid tjålsäkring.

Tjålsäkringsberäkningarna avser endast tjockleksökning av överbyggnadens lager. Övriga åtgärder, så som dikesrensning och hyvling, anses som underhåll som ändå måste utföras och ingår inte i beräkningarna. Vågegenskaper är ett komplext område och för att kunna utföra beräkningarna har grova generella antaganden gjorts i samråd med en expert på skogsbilvågar på Skogsstyrelsen. Vågen antogs vara 3,0 meter bred och av vågtypen bank, det vill säga uppbyggd över marknivå (Hallgren, pers. komm. 2014). Ursprungsvågarernas egenskaper antogs vara homogena och antaganden för överbyggnadens sammansättning för de olika vågtyperna presenteras i tabell 4.

Tabell 4. Sammansättning och tjocklek av överbyggnadens lager för tjälsäkring till tillgänglighetsklass A. Tabellen anger ursprunglig vägs sammansättning av överbyggnaden och dess ökning vid tjälsäkring. Tjälsäkringen avser skogsbilväg av tillgänglighetsklass C och B på undergrund av normalmorän och mjäla. Jfr tabell 2

Table 4. Composition and thickness of the pavement layers when upgrading the availability to class A. The table shows the composition of the original pavement and its increase at the upgrading. The upgrading refers to forest roads of availability class C and B on the basis of normal moraine and silt. See Table 2

		Undergrund			
		Normalmorän		Mjäla	
		Klass C	Klass B	Klass C	Klass B
Ursprungsväg	Överbyggnadens sammansättning				
	Bär-/slitlager (cm)	5	15	20	15
	Förstärkningslager (cm)	-	-	-	15
	Total (cm)	5	15	20	30
Tjockleksökning vid tjälsäkring	Bär-/slitlager (cm)	15	5	15	20
	Bär-/slitlager (ton/m)	0,89	0,3	0,89	1,19
	Förstärkningslager (cm)	-	-	35	-
	Förstärkningslager (ton/m)	-	-	2,14	-
	Total (cm)	15	5	50	20
	Total (ton/m)	0,89	0,3	3,03	1,19

Vid tjälsäkring ökas överbyggnadslagrens tjocklek. För att erhålla efterfrågad tjockleksökning har den extra volym material som krävs per löpmeter väg beräknats. Den volymen har sedan multiplicerats med 1,2 för att erhålla rätt tjocklek efter packning. Volymen material som behövs har sedan räknats om till ton med omräkningstalen 1,65 ton/m³ för 0/32-material och 1,7 ton/m³ för 0/90-material (Nybrogrus, 2012). Vid tjälsäkring av befintlig väg med tillgänglighetsklass C på undergrund av mjäla krävs ett förstärkningslager. Då bortses helt från befintlig överbyggnad, det vill säga hela överbyggnadstjockleken byggs upp på befintlig väg vid tjälsäkring (Hallgren, pers. komm. 2014).

I beräkningarna antas avståndet till kommersiell grustäkt vara 40 km. Följande prisuppgifter för grus har använts: Bergförstärkning (0/90)- 76,36 kr/ton och Bergbärlager (0/32)- 80,04 kr/ton. Kostnaden för transport och spridning anges som timkostnad. En lastbil med släp kostar 877 kr/tim. Lastbilen kan transportera 32 ton och hinner köra ca 5 vändor per dag (8 timmar) vid ett transportavstånd på 40 km. Detta ger ett transportpris på 43,85 kr/ton. Totalt för material, transport och spridning blir priset: 0/32-material 123,89 kr/ton och 0/90-material 120,21 kr/ton (Lestander, pers. komm. 2015).

2.4 Kostnadsjämförelse mellan att använda CTI-fordon och att tjälsäkra skogsbilvägar

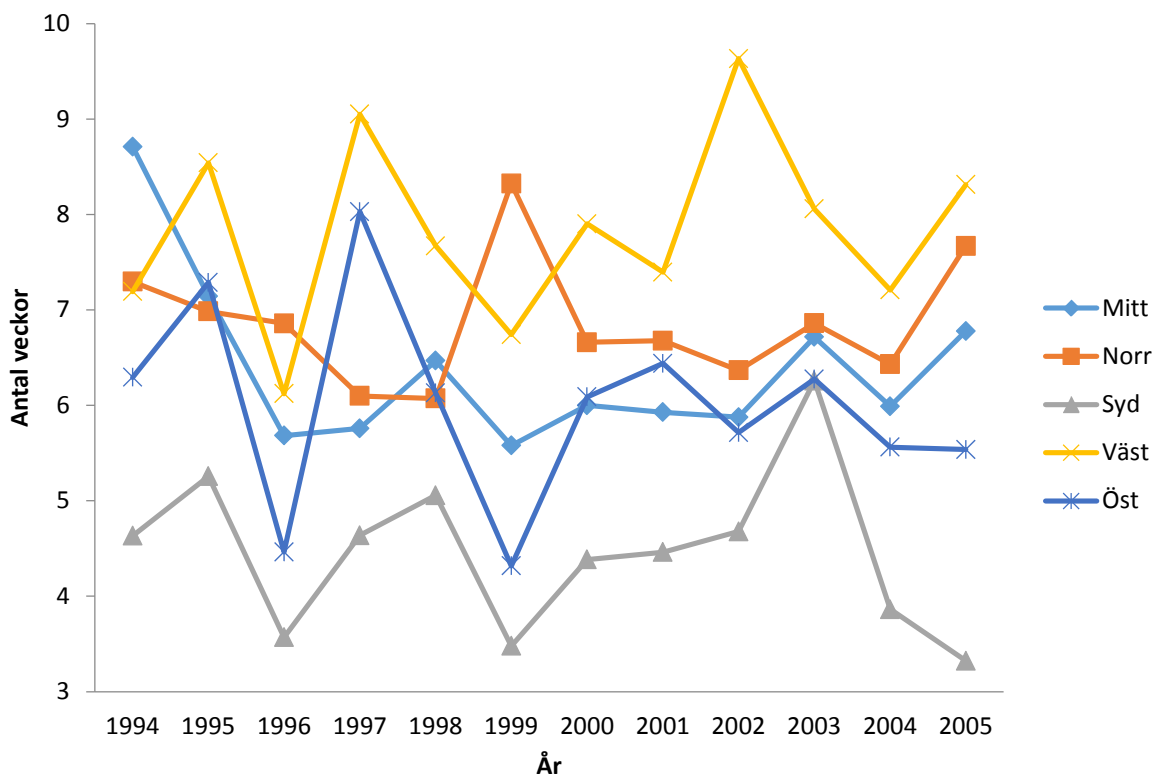
Till sist har de två alternativen jämförts. Ett konventionellt virkesfordon som kör på tjälsäkrad väg antas kunna nyttjas på samma sätt som en CTI-utrustad bil.

Tjälsäkringskostnaden har jämförts med den merkostnad som CTI-systemet medför, vilket resulterat i en beräknad vägsträcka som kan tjälsäkras för samma kostnad som ett CTI-system medför. För att tjälsäkring skall vara lönsamt måste alltså den väglängden medföra en lägre total kostnad än CTI-teknikens merkostnad. Jämförelsen har utförts med olika förutsättningar vad gäller jordart och tjällossningsperiodens längd.

3. Resultat

3.1 Förfallsperioden

Förfallsperiodens längd varierar över landet, och mellan olika år (figur 3, tabell 5). Totalt för hela landet har förfallsperioden varierat mellan 3,3 veckor (syd) och 9,6 veckor (väst) under åren 1994-2005.



Figur 3. Antal veckor med bärighetbegränsningar på allmänna grusvägar för olika områden i Sverige mellan åren 1994 och 2005.

Figure 3. Number of weeks with bearing limitations on public gravel roads for different areas in Sweden between 1994 and 2005.

Tabell 5. Bärighetsbegränsningens längd (antal veckor) på det allmänna vägnätets grusvägar för olika delar av Sverige mellan åren 1994 och 2005

Table 5. The length of the bearing limits (number of weeks) on public gravel roads for different areas in Sweden between 1994 and 2005

Område	Min	Max	Medel	Standardavvikelse
Mitt	5,6	8,7	6,4	0,8
Norr	6,1	8,3	6,9	0,6
Syd	3,3	6,3	4,5	0,8
Väst	6,1	9,6	7,8	0,9
Öst	4,3	8,0	6,0	1,0

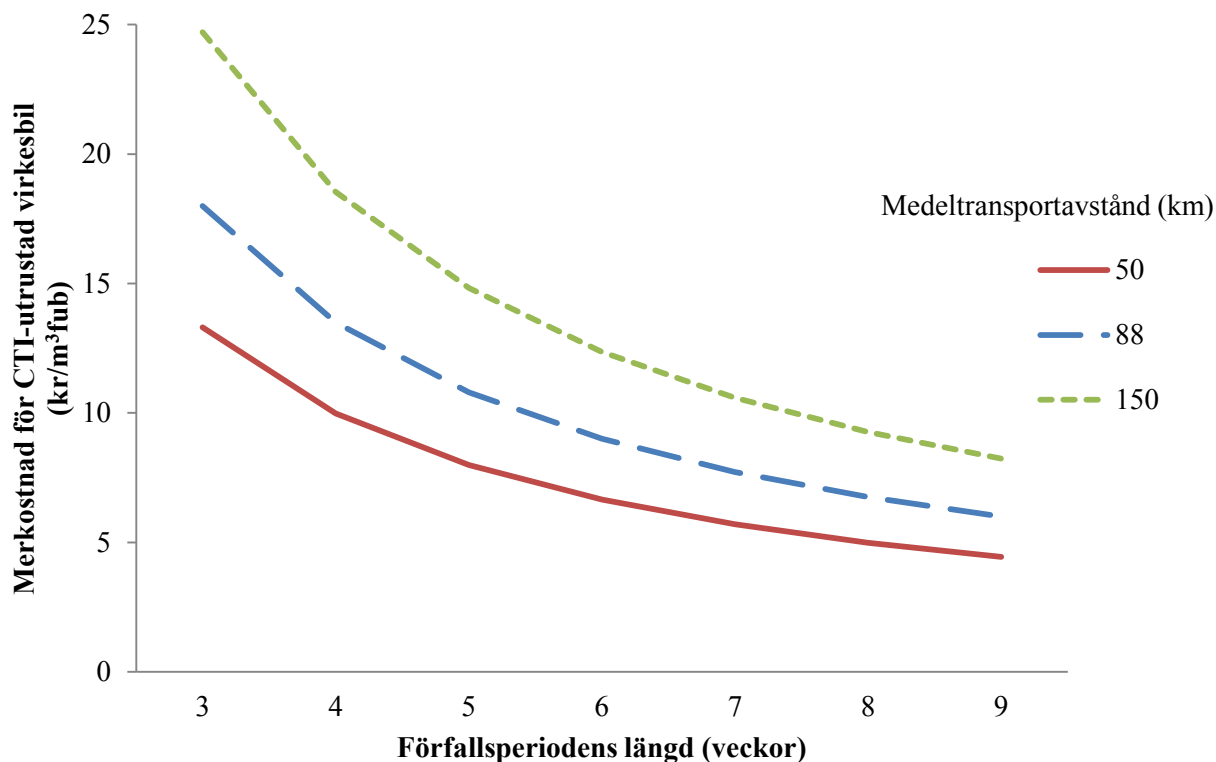
3.2 Ekonomiska analyser av transporter med virkesbil

Transportkostnaderna och CTI-systemets merkostnad varierar beroende på medeltransportavstånd (tabell 6). Skillnaden i årligt transporterad volym beror helt på att CTI-systemet medför en förhöjd taravikt och därmed en minskad lastvikt. Antal lass per år är 1434 stycken vid medeltransportavstånd på 50 km, 1016 vid 88 km och 703 vid 150 km. Det blir då 28, 20 respektive 14 lass per vecka för de olika transportavstånden. Vid kortare medeltransportavstånd hinner alltså fordonet köra fler vändor och transportera mer volym per år. Detta gör även att CTI-systemets merkostnad slås ut på en större volym, vilket sänker kostnaden per m³fub. CTI-systemets merkostnad utslaget på årligt transporterad volym är endast 1,1 till 2,3 kr/m³fub (tabell 6). Merkostnaden utslagen på transporterad veckovolym under förväntad förfallsperiodslängd (3-9 veckor) varierar mellan 4 och 25 kr/ m³fub, beroende på antal veckor och medeltransportavstånd (figur 4).

Tabell 6. Årligt transporterad volym och kostnader för virkestransporter med virkesbil vid olika medeltransportavstånd

Table 6. Annual volume transported and costs for a timber truck at different average transport distances

Medeltransport- avstånd (km)	Virkesbil	Transporterad volym		Totalkostnad	Medelkostnad
		(m ³ fub/år)	(m ³ fub/vecka)	(kr/år)	(kr/m ³ fub)
50	Konventionell	66897	1286	2590252	38,7
	CTI	66260	1274	2641124	39,9
	Skillnad	-637	-12	50872	1,1
88	Konventionell	47397	911	2765141	58,3
	CTI	46945	903	2813883	59,9
	Skillnad	-452	-9	48742	1,6
150	Konventionell	32828	631	2913157	88,7
	CTI	32515	625	2959515	91
	Skillnad	-313	-6	46359	2,3



Figur 4. CTI-teknikens merkostnad utslaget per transporterad m³fub under 3 till 9 veckors förfallsperiod vid medeltransportavstånden 50, 88 och 150 km.

Figure 4. The additional costs for the CTI-technology per transported volume during 3-9 weeks at medium transport distances of 50, 88 and 150 km.

3.2 Tjälsäkring

Det är stor kostnadsskillnad mellan de olika beräknade vägförutsättningarna. Det värsta ursprungsscenariot, C-klassad väg på undergrund av mjäla, är nästan 10 gånger så dyr att tjälsäkra som det billigaste scenariot, B-klassad väg på undergrund av normalmorän. Det som framför allt driver upp kostnaden är behovet av förstärkningslager.

Tabell 7. Kostnad för tjälsäkring (kr/m) av C- och B-klassad väg på undergrund av normalmorän och mjäla

Table 7. The upgrading costs (kr/m) of C and B classed roads on the basis of normal moraine and silt

Kostnadspost	Undergrund			
	Normalmorän		Mjäla	
	Klass C	Klass B	Klass C	Klass B
Bär-/slitlager	110,4	36,8	110,4	147,2
Förstärkningslager	-	-	257,5	-
Totalt	110,4	36,8	367,9	147,2

3.4 Kostnadsjämförelse mellan att använda CTI-fordon och att tjälsäkra skogsbilvägar

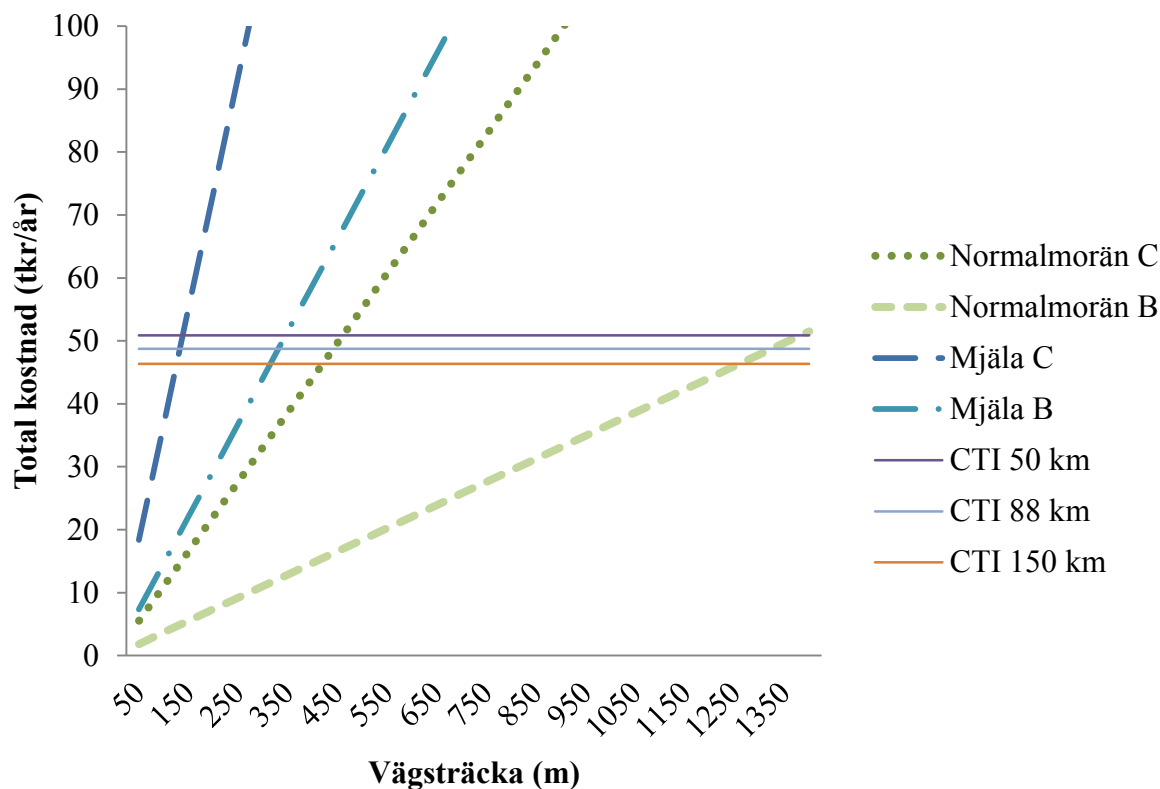
Merkostnaden för CTI-utrustade virkesbilar varierar mellan 46359 och 50872 kronor per år beroende på medeltransportavstånd. För samma summa kan man tjälsäkra en viss längd väg. Beroende på ursprunglig vägstandard och medeltransportavstånd så kan man tjälsäkra 126-1383 meter skogsbilväg för samma merkostnad som CTI-utrustade virkesfordon medför (tabell 8).

Tabell 8. Vägsträcka (m) som kan tjälsäkras för samma kostnad som CTI-systemets årliga merkostnad. CTI-kostnaderna vid medeltransportavstånd på 50-, 88- och 150 km jämförs med tjälsäkringskostnader för C- och B-väg på normalmorän och mjäla

Table 8. The road distance (m) which can be upgraded for the same cost as the annual CTI cost. CTI costs at average transportation distance of 50-, 88- and 150 km compared with upgrading costs for C and B roads on normal moraine and silt

Medeltransportavstånd (km)	Undergrund			
	Normalmorän		Mjäla	
	Klass C	Klass B	Klass C	Klass B
50	461	1383	138	346
88	442	1325	132	331
150	420	1260	126	315

Om den befintliga vägen redan är av hög bärighet, tillgänglighetsklass B på normalmorän, kan man tjälsäkra upp till 1383 meter väg för att nå den volym som en CTI-utrustad virkesbil annars hade gjort. När förhållandena är sämre, befintlig väg med tillgänglighetsklass C på mjäla, är endast tjälsäkring att föredra då vägsträckan är kortare än 138 meter. Krävs längre tjälsäkrad sträcka är istället en investering i CTI-teknik mer lönsam (figur 5).

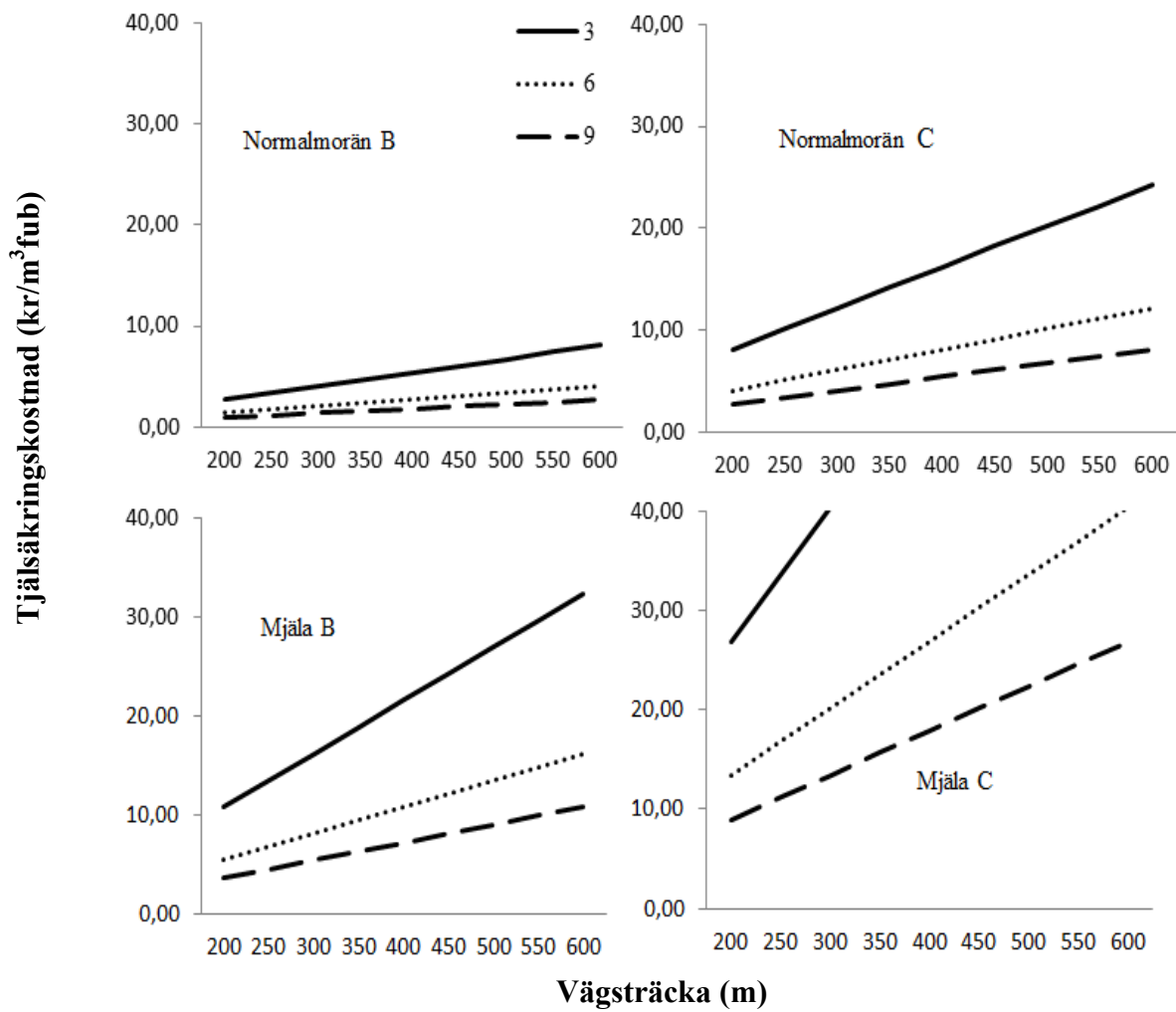


Figur 5. Jämförelse av total kostnad för tjälsäkring av skogsbilväg med undergrund av normalmorän eller mjåla med tillgänglighetsklass B eller C och användning av CTI-utrustad virkesbil vid medeltransportavstånden 50, 88 och 150 km.

Figure 5. Comparison of the total cost of upgrading a forest road with subsoil of normal moraine or silt with availability class B or C and use of CTI-equipped timber truck at medium transport distances of 50, 88 and 150 km.

Ett konventionellt virkesfordon transporterar vid jämna flöden 911 m³fub/vecka, vid medeltransportavstånd på 88 km. Under en förfallsperiod på tre veckor transporterar den alltså 2733 m³fub, under sex veckor 5466 m³fub och under nio veckor 8199 m³fub.

Kostnaden för att tjälsäkra väg utslaget per volymenhet för dessa tre alternativa förfallsperiodslängder varierar beroende på ursprunglig vägstandard (figur 6).



Figur 6. Kostnaden för att tjälsäkra skogsbilväg med undergrund av normalmorän eller mjåla med tillgänglighetsklass B eller C utslaget på den volym som en konventionell virkesbil transporterar under förfallsperioder på 3, 6 eller 9 veckor.

Figure 6. The cost of upgrading a forest road with subsoil of normal moraine or silt with accessibility class B or C, averaged over the volume that a conventional timber truck can transport during 3, 6 or 9 weeks.

4. Diskussion

4.1 Resultat

4.1.1 Förfallsperioden

Analysen av trafikverkets statistik över bärighetsbegränsningar på det allmänna vägnätets grusvägar visar liknande längd som Andersson och Westerlund (2008). Längden varierar över landet men håller sig inom intervallet på tre till nio veckor. Även längdvariationen från år till år är förhållandevis stabilt och liknar tidigare studier. Förfallsperiodens längd varierar också inom varje region för olika vägavsnitt. Andersson och Westerlund (2008) presenterar den fördelningen, dock för en något annorlunda regionindelning. Totalt över landet är 90,2 procent av vägarnas bärighetsbegränsningar mellan 3 och 9 veckor per år (Andersson och Westerlund, 2008).

Statistiken i studien är något gammal, från åren 1994 till 2005. Detta beror på att nya principer beträffande bärighetsrestriktioner från trafikverket gäller efter 2005. Vägstandarden har sedan dess inte markant förbättrats utan man har snarare haft en liberalare inställning till bärighetsbegränsningar och istället reparerat sönderkörda vägar i efterhand. Statistiken bedöms därför vara relevant än idag. Huruvida skogsbilvägarnas standard går att jämföra med allmänna vägnätets grusvägar är dock något osäkert. Skogsbilvägarna skulle generellt kunna vara något sämre underhållna och därmed ha sämre bärighet. Detta har dock bortsetts från i denna studie då data saknats. Trafikverkets statistik är indelat i ganska stora geografiska regioner. Det skulle vara intressant att se hur bärighetsrestriktionerna skiljer sig ända ner på till exempel länsnivå.

Något som är intressant är hur landets skogsbilvägar kommer påverkas av de klimatförändringar som vi står inför. Mildare vintrar och mer nederbörd kommer att ställa högre krav på vägnätets standard. Idag prioriteras ofta inte underhåll och upprustning, utan skogsbilvägar förknippas snarare bara med utgifter. För att vi i framtiden skall kunna ha tillgängligt virke året runt krävs det en attitydförändring så att bra skogsbilvägar ses som en resurs och inte bara som en utgiftspost. Bra skogsbilvägar är också en förutsättning för all jakt, fiske och friluftsliv.

4.1.2 Ekonomiska analyser av transporter med virkesbil

Kalkylen visar att CTI-systemet är mest lönsamt vid situationer med kortare medeltransportavstånd och stora virkesflöden. Det beror på att systemets kostnader inte påverkas nämnvärt av transporterad volym. Kostnaden per volymenhet blir således lägre ju mer som transporteras. Detta liknar resultaten som Skutin (2012) kom fram till. Indata i kostnadskalkylen är tyvärr inte helt modern. Uppgifterna är från 2011 men det är de värdena som finns att få tag på från Skogforsk. Det är framför allt bränslepriset som kan skilja mot idag. CTI-systemet skall enligt tidigare forskning inte påverka bränsleförbrukningen och därför borde inte kostnadsskillnaden påverkas. Största kostnaden vid användning av CTI-fordon är investering och montering av själva CTI-systemet.

Förenklad planering på operativ nivå, framför allt under förfallsperioder, är CTI-teknikens största förtjänst. Förenklad planering är svårt att värdera i ekonomiska termer men det vore intressant att utreda. CTI-utrustade virkesbilar kan dessutom flyttas till de områden där de behövs. I till exempel Norrland kan de CTI-utrustade virkesbilarna flyttas i takt med tjällossningen på våren, från kusten och västerut. På så sätt kan ett skogsbolag hantera en, totalt sett, mycket lång tjällossningsperiod. Nyttan med CTI-tekniken blir då betydligt större och merkostnaden per transporterad volymenhet lägre.

4.1.3 Tjälssäkring av väg

Beräkningen av tjälssäkringskostnader visar att kostnadsskillnaderna är stora beroende på ursprungsvägens tillgänglighetsklass och material. Det värsta ursprungsscenarioet, C-klassad väg på undergrund av mjåla, är nästan 10 gånger dyrare att tjälssäkra än det billigaste scenarioet, B-klassad väg på undergrund av normalmorän. Det råder även tveksamhet till att en C-klassad väg på undergrund av mjåla går att få så pass bra att den kan få tillgänglighetsklass A. I beräkningarna har grova generaliseringar antagits. Enskilda skogsbilvägars egenskaper varierar ofta utmed vägsträckan. Därför måste aktuell vägs egenskaper beaktas vid tjälssäkring. I beräkningarna har dock Skogsstyrelsens rekommendationer fått agera modell för vägarnas enhetliga sammansättning och egenskaper.

Beräkningarna bygger på att grusmaterialet som används vid tjälssäkring kommer från kommersiell täkt och transporteras ca 40 km. Transportkostnaden står för en stor del i tjälssäkringskostnaden. Skulle tjälssäkringsobjektet ligga närmare en täkt skulle därför priset reduceras. Har väghållaren dessutom tillgång till en husbehovstäkt och kan producera godtagbart krossmaterial skulle tjälssäkringskostnaderna reduceras ytterligare.

När vägar upprustas till tillgänglighetsklass A, det vill säga tjälssäkras, utförs ofta i praktiken även andra åtgärder än bara ökning av överbyggnadens tjocklek. Det kan till exempel vara dräneringsåtgärder eller hyvling av körbanan. Dessa åtgärder ingår i det underhåll som krävs för att alla skogsbilvägar skall behålla sina egenskaper över tid. Därför beaktas inte dessa kostnader i beräkningen då de anses uppstå även fast vägen inte skulle tjälssäkras. Det vore dock intressant att även studera hur underhållet och underhållskostnaderna påverkas av användning av CTI-fordon respektive tjälssäkring. Hypotetiskt skulle användning av CTI-fordon innebära minskade underhållskostnader eftersom systemet bidrar till lägre slitage på vägen. Att underhålla en väg med tillgänglighetsklass A skulle istället kunna innebära ökade kostnader då högre krav ställs på bärighet.

4.1.4 Kostnadsjämförelse mellan att använda CTI-fordon och att tjälssäkra skogsbilvägar

En av grundförutsättningarna i jämförelsen var att ett CTI-fordon och ett konventionellt fordon på tjälssäkrad väg kan nyttjas på samma sätt. Det enda som skiljer är att CTI-fordonet har en något högre taravikt och kan därför transportera en något lägre volym per lass, och därmed per vecka. Veckovolymen som ett konventionellt fordon transporterar är 1286-, 911-

och 631 m³fub för medeltransportavstånden 50-, 88- och 150 km. Det betyder att vid en förfallsperiod på tre veckor måste man tjälsäkra väg för att nå 3859-, 2733- eller 1894 m³fub, beroende på medeltransportavstånd. I ett scenario där förfallsperioden är nio veckor måste man alltså nå 11578-, 8199- eller 5682 m³fub. Då faller alternativet att tjälsäkra en väg som är på undergrund av mjäla och med tillgänglighetsklass C. Det är orimligt att på en sträcka kortare än 140 meter nå så stora volymer (förutsatt att tjälsäkrad väg inte leder till ett annat redan tjälsäkert vägsystem). I områden med en jordmån av sämre bärighet, så som mjäla, är användning av CTI-fordon klart lönsammast. Dessa områden är framför allt Västernorrland och Västra Götaland (Markinfo, 2007). Där finns även störst andel BK2- och BK3-väg (Skutin, 2012), samt längst förfallsperiod (figur 3, tabell 5). Västernorrland har även i tidigare studier identifierats som ett område där CTI-utrustade virkesbilars potential är störst (Skutin, 2012 och Hell, 2011). CTI-teknikens fördelar på spårbildningen är dessutom mindre på vägar med högre bärighet (Granlund, 2006).

Både inom forskning (Skutin, 2012) och i skogsbranschen anses en positiv effekt av användning av CTI-fordon vara möjligheten att hålla en lägre standard på skogsbilvägnätet. Man ser en möjlighet att både bygga billigare vägar och reducera underhållet eftersom CTI-fordon ändå tar sig fram. Detta är enligt mig fel väg att gå. CTI-anpassade vägar förutsätter att alla fordon som använder vägen har CTI. Att rusta ner vägnätet inom stora områden och helt satsa på CTI-bilar kan även försämra flexibiliteten. Skulle det uppstå en situation, t.ex. storm, då man tillfälligt behöver öka transportkapaciteten kan CTI-kravet försvåra möjligheten att snabbt hyra in virkesbilar på kortare kontrakt. Detta kan även göra att skogsbilvägnätet blir otillgängligt för allmänheten vilket i sin tur kan leda till minskad acceptans för skogsbranschen i allmänhet.

Studiens två alternativa lösningar på tillgänglighetsproblemen under förfallsperioder innebär kostnader för olika parter. Kostnaderna för tjälsäkring av vägar läggs på väghållaren, det vill säga markägaren. Kostnader för CTI-systemet betalas istället av transportören, det vill säga åkerientreprenörerna. I slutändan blir det ändå slutkonsumenterna som får betala priset och därför är jämförelsen enligt mig relevant.

4.2 Känslighetsanalys

Ökad flexibilitet på operativ nivå är CTI-systemets största fördel. Skulle något oförutsett ske och man snabbt behöver transportera mer virke från skogen på lastbil är tjälsäkring av väg inget alternativ. Att tjälsäkra skogsbilvägar tar tid och är något som måste planeras på en längre tidshorisont. Vid innehav av CTI-fordon kan man däremot snabbt öka intransporttakten. Skulle man öka volymerna som transporteras med ett CTI-fordon med 50 % under förfallsperioden sjunker CTI-systemets merkostnad per volymenhet med 33 %.

CTI-systemet är förhållandevis nytt i Sverige och implementeringen är ännu inte fullt utförd. En större implementering av CTI-fordon i svenskt skogsbruk skulle förmodligen leda till att tillverkare av systemet utvecklar tillverkningsprocessen och gör systemet billigare. Skulle

investeringskostnaden sänkas med 25 % skulle den årliga merkostnaden sjunka med 27-29 % vid medeltransportavstånd på 50-150 km.

Ett tjälsäkringsobjekts avstånd till bergtäkt har stor inverkan på den totala tjälsäkringskostnaden. Om transportavståndet är 20 km istället för 40 km så skulle en lastbil kunna köra 8 lass grus på en dag. Transportpriset skulle då sänkas med 37 % och totala tjälsäkringskostnaden med 13 %.

4.3 Styrkor och svagheter

Studiens både styrka och svaghet är att den är väldigt generell. Studien inkluderar många olika scenarier och förhållanden. Svagheten är dock att den inte är testad med verklighetsförankrade uppgifter. Alla grova antaganden gör att beräkningarna blir väldigt osäkra. Resultaten skall ändå kunna ge en fingervisning av de olika alternativa lösningarnas fördelar och kostnader.

4.4 Framtida studier

Studien är generell och bygger mycket på antaganden. Det vore därför intressant att studera ett mer verklighetsförankrat scenario där uppgifter om virkesbehov, medeltransportavstånd, beståndsdata, vägnät, jordart, avstånd till bergtäkt och förväntad förfallsperiod inkluderas. Bland det viktigaste, och svåraste, är att ha ett bra vägnätsregister med uppdaterade data om olika vägsegments tillgänglighetsklass. Med i beräkningarna för tjälsäkring av väg måste också vägens båtnad vara. För att en väg skall vara lönsam att tjälsäkra krävs det att de virkesvolymen man efterfrågar går att nå från vägen.

Det vore även intressant att likt Enström (2005) göra en studie där man även inkluderar lagringskostnader i jämförelsen. Detta skulle resultera i en jämförelse där nästan alla alternativa lösningar på tillgänglighetsproblemet under förfallsperioden är inkluderade.

4.5 Slutsatser

- Förfallsperiodens längd varierar över landet. Mellan åren 1994 och 2005 var förfallsperioden 3,3–9,6 veckor per år. Kortast i region Syd och längst i region Väst.
- CTI-teknikens årliga merkostnad är mellan 46359 och 50872 kr vid medeltransportavstånd på 50-150 km.
- Att tjälsäkra skogsbilväg kostar mellan 37 och 368 kr per löpmeter beroende på ursprunglig tillgänglighetsklass och jordart i undergrunden.
- För skogsbilvägar med undergrund av normalmorän med tillgänglighetsklass B som ligger nära en bergtäkt och är belägen i en region med kort förfallsperiod är tjälsäkring mer intressant än användning av CTI-utrustade virkesbilar.
- I ett scenario med kortare medeltransportavstånd, lång förfallsperiod och skogsbilvägar med undergrund av mjäla som är belägen långt från en bergtäkt är användning av CTI-utrustade virkesfordon bättre än tjälsäkring av skogsbilvägar.

Litteraturförteckning

- Alzubaidi, H. (2010). *Drift och underhåll av grusvägar*. Väg- och transportforskningsinstitutet. [Online] Tillgänglig: <http://www.vti.se/sv/publikationer/pdf/drift-och-underhall-av-grusvagar-litteraturstudie.pdf> [2014-09-23]
- Andersson, G. & Westlund, K. (2008). *Vägstandardens inverkan på skogsnäringens transportarbete*. Skogforsk, Uppsala. Arbetsrapport nr 663.
- Anon. (2007), Vägverkets föreskrifter om färd med fordon med variabelt däckstryck. Vägverkets författningssamling 2007:3
- Bradley, A. (1996). *Trial of a central tire inflation system on thawing forest roads*. Forest engineering research institute of Canada. Technical Report No. TR116.
- Dawson, A. & Kolisoja, P. (2006). *Skötsel av spårbildning på lågtrafikerade vägar*. (Roadex III).
- Enkell, K. (2003) *Grus under maskineriet*. Svenska kommunförbundet. Väg- och transportforskningsinstitutet, Linköping.
- Enström, J. (2005). *Lämplig avvägning mellan investeringar i CTI-teknik och lagerhållning av virke för skogsindustrin*. Examensarbete utfört i Kommunikations- och transportsystem vid Linköpings Tekniska Högskola, Campus Norrköping, Institutionen för teknik och Naturvetenskap (ITN).
- Granhage, L. (2009). *Kompendium i vägbyggnad*. Chalmers tekniska högskola: Göteborg.
- Granlund, P. & Andersson, G. (1998). *CTI på virkesfordon ger bättre framkomlighet och större dragkraft*. Uppsala: Skogforsk. Resultat, Nr 2.
- Granlund, P. (2006). *CTI på virkesfordon*. Uppsala: Skogforsk. Redogörelse, Nr 3.
- Gunnarson, S., Hallgren, P. & Christofferson, P. (2011). *Anvisningar för projektering och byggande av skogsbilvägar klass 3 och 4*. Skogsstyrelsen.
- Gustafsson, M., Von Bahr, B., Ekvall, A., Johansson, P., Reuterhage, Å & Wallman, S. (2003) *Inledande laboratorieförsök projekt AIS 32*. VINNOVA Rapport VR 2003:8. Göteborg. ISBN: 91-89588-97-5
- Hallgren, P. (2012). *Klimatanpassad vägbyggnadsteknik för skogsbilvägar*. Skogsstyrelsen.

Hell, M. (2011). *Geografisk prioritering av CTI-utrustad virkestransportkapacitet*. Examensarbete vid institutionen för skoglig resurshushållning, Sveriges Lantbruksuniversitet. Arbetsrapport 329 2011.

Jonsson, T., Larsson, M., Löfroth, C. & Filipsson, S. (1991). *Skogsbilvägar - service, underhåll och upprustning*. Oskarshamn: Forskningsstiftelsen Skogsarbeten 1991.

Markinfo. (2007) *SGU:s jordartskarta*. [online] Tillgänglig: <http://www-markinfo.slu.se/sve/mark/jart/jartkart.html> [2015-04-25].

Natanaelsson, K. (2013). *Utvärdering av den mer liberala hanteringen av tjälrestriktioner*. Trafikverket. Borlänge. Rapport. ISBN 978-91-7467-502-3.

Naturvårdsverket. (2013). FN:s klimatpanel. Klimatförändring 2013. Den naturvetenskapliga grunden. Rapport 6592. ISBN 978-91-620-6592-8.

Nybrogrus. (2012). *Produkt och prislista*. [online] Tillgänglig: <http://www.nybrogrus.se/produkter-priser/produktprislista/> [2015-01-08].

Roadex. (2013). *Vad är permanent deformation och varför vi inte tycker om den*. [Online] Tillgänglig: <http://www.roadex.org/index.php/e-learning/permanent-swe> [2014-09-17].

Rådström, C. (2014) *Virkesflöde och val av hjulsystem på virkesfordon inom Region Iggesund, Holmen Skog*. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning. Umeå. Arbetsrapport 428 2014.

Skogsstyrelsen. (2002). *Ekonomi*. [Online] Tillgänglig: <http://www.skogsstyrelsen.se/Myndigheten/Statistik/Amnesomraden/Ekonomi/Ekonomi/> [2014-09-09].

Skogsstyrelsen. (2014) *Skogsstatistisk årsbok 2013, virkestransporter*. Jönköping. ISSN 0491-7847.

Skutin, S-G. (2012). *Lönsamhet för CTI på virkesfordon*. Skogforsk, Uppsala. Arbetsrapport nr 771.

Svensson, G., Ljungberg, B., Filipsson, S., Kjellberg, K., Forsberg, D., Westman, S., Brandelius, S., Ahlenius, S., Jansson, O., Ivarsson, S. & Johansson, A. (2012). *Vägar*. [Online] Tillgänglig: www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/m/Vagar/ [2014-09-15].

Trafikverket. (2015) [Online] Tillgänglig: <http://www.trafikverket.se/Privat/Vagar-och-jarnvagar/Sveriges-vagnat/>

Transportstyrelsen. (2014) *Lasta lagligt*. [Online] Tillgänglig:
<http://www.transportstyrelsen.se/FileDownload.ashx?downloadId=8692> [2015-02-04].

Åkerlund, M. (2006). *Utvärdering av CTI på virkesfordon*. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsskötsel. Umeå. Studentuppsatser, nr 87.

Personlig kommunikation

Hallgren Per, Uppdragschef Skogsstyrelsen Umeå. Personligt möte 2014-12-19.

Lestander Tommy, Gruppledare Maskin & Transport-försäljare Bilfrakt Umeå. Mailkontakt 2015-01-12.

Nygårds Ulf, Förvaltare Trafikinformation Trafikverket Borlänge. Mailkontakt 2014-11-7.

Skutin Sten-Gunnar, Forskare Skogforsk Uppsala. Mailkontakt 2014-10-13.

Bilaga 1

Trafikverkets statistik över bärighetsrestriktioner

Region	År	Slitlager	Antal_km	Dygnskm
Mitt	1994	Grus	3783,27	230659,83
Mitt	1995	Grus	1899,03	94964,05
Mitt	1996	Grus	698,17	27770,44
Mitt	1997	Grus	1044,26	42087,57
Mitt	1998	Grus	1739,34	78736,65
Mitt	1999	Grus	1499,02	58535,00
Mitt	2000	Grus	1265,32	53140,05
Mitt	2001	Grus	1490,87	61865,74
Mitt	2002	Grus	1352,79	55642,06
Mitt	2003	Grus	517,06	24305,10
Mitt	2004	Grus	922,06	38654,90
Mitt	2005	Grus	589,87	27986,00
Norr	1994	Grus	3877,34	198014,52
Norr	1995	Grus	3674,62	179625,53
Norr	1996	Grus	2581,65	123934,92
Norr	1997	Grus	3301,24	140919,44
Norr	1998	Grus	3660,18	155580,89
Norr	1999	Grus	4056,01	236307,82
Norr	2000	Grus	4077,85	190125,00
Norr	2001	Grus	4207,11	196636,81
Norr	2002	Grus	3946,57	175897,31
Norr	2003	Grus	3052,14	146544,71
Norr	2004	Grus	3301,95	148648,46
Norr	2005	Grus	3038,60	163132,52
Syd	1994	Grus	354,50	11497,16
Syd	1995	Grus	235,94	8681,99
Syd	1996	Grus	180,08	4500,51
Syd	1997	Grus	84,09	2729,54
Syd	1998	Grus	79,46	2813,19
Syd	1999	Grus	109,74	2671,91
Syd	2000	Grus	116,84	3585,91
Syd	2001	Grus	309,30	9659,65
Syd	2002	Grus	135,66	4442,84
Syd	2003	Grus	133,80	5861,24
Syd	2004	Grus	331,47	8961,29
Syd	2005	Grus	147,96	3442,09
Väst	1994	Grus	1896,10	95458,28
Väst	1995	Grus	1581,82	94554,13

Väst	1996	Grus	1864,43	79900,70
Väst	1997	Grus	2010,78	127373,55
Väst	1998	Grus	2030,28	108995,65
Väst	1999	Grus	1641,57	77466,65
Väst	2000	Grus	1464,06	80975,35
Väst	2001	Grus	1946,06	100738,70
Väst	2002	Grus	1691,46	114049,62
Väst	2003	Grus	1536,97	86692,59
Väst	2004	Grus	2156,00	108793,88
Väst	2005	Grus	1580,15	91932,63
Öst	1994	Grus	863,62	38046,88
Öst	1995	Grus	782,27	39906,65
Öst	1996	Grus	793,87	24802,04
Öst	1997	Grus	574,97	32316,52
Öst	1998	Grus	396,31	17002,68
Öst	1999	Grus	867,32	26217,12
Öst	2000	Grus	406,25	17312,76
Öst	2001	Grus	1183,63	53345,14
Öst	2002	Grus	617,04	24683,89
Öst	2003	Grus	498,48	21892,61
Öst	2004	Grus	1208,86	47059,09
Öst	2005	Grus	1145,77	44401,60

Bilaga 2

Resultat Transam

Konventionell virkesbil

Fordonstyp Kranbil, 2-skift. Stsk dec 2011				
Resultat				
Tidkostnad, kr/tim	320,34	Årlig tidkostnad, kr/år	1 089 148	
Transportavstånd	50 km	88 km	150 km	
Sträckkostnad, kr/km	10,47	9,38	8,64	
Årlig körsträcka, km	143 351	178 754	211 034	
Årlig sträckkostnad, kr/år	1 500 840	1 675 996	1 823 966	
Antal vändor per år	1 434	1 016	703	
Vändatid, timmar/vända	2,4	3,3	4,8	
Total vändakostnad, kr/vända	1 807	2 723	4 141	
Årlig transportkostnad, kr/år	2 589 988	2 765 144	2 913 114	
Total transportkostnad, kr/ton	43,02	64,82	98,60	
Total transportkostnad, kr/m ³ f	38,72	58,34	88,74	
Transportkostnadsfunktion, kr/ton =	15,56	+	0,555	- km
Transportkostnadsfunktion, kr/m ³ f =	14,00	+	0,499	- km
Kostnadsfördelning				
Transportavstånd	50 km	88 km	150 km	
Tidkostnader Fast avskrivning	1,49	2,10	3,03	
kr/m ³ f Räntor	1,01	1,42	2,06	
Fordonsskatt	0,40	0,57	0,82	
Försäkring	0,90	1,27	1,83	
Lönekostnader	11,44	16,14	23,30	
Övriga tidkostnader	1,05	1,48	2,13	
Summa tidkostnader, kr/ton	16,28	22,98	33,18	
Sträckkostn. Rörlig avskrivning	4,47	6,30	9,10	
kr/m ³ f Kilometerskatt	0,00	0,00	0,00	
Däcksutrustning	1,62	2,85	4,86	
Bränsle och smörjolja	13,17	21,72	35,12	
Service och reparation	3,18	4,49	6,48	
Summa sträckkostnader, kr/ton	22,43	35,36	55,56	
Totalt, kr/ton	38,72	58,34	88,74	
Total årlig transport ton	60 208	42 657	29 545	
m ³ f	66 897	47 397	32 828	

CTI-utrustad virkesbil

Fordonstyp			
Kranbil, 2-skift. Stsk dec 2011			
Resultat			
Tidkostnad, kr/tim	324,00	Årlig tidkostnad, kr/år	1 101 611
Transportavstånd	50 km	88 km	150 km
Sträckkostnad, kr/km	10,74	9,58	8,80
Årlig körsträcka, km	143 351	178 754	211 034
Årlig sträckkostnad, kr/år	1 539 345	1 712 069	1 857 822
Antal vändor per år	1 434	1 016	703
Vändatid, timmar/vända	2,4	3,3	4,8
Total vändakostnad, kr/vända	1 842	2 770	4 207
Årlig transportkostnad, kr/år	2 640 956	2 813 680	2 959 432
Total transportkostnad, kr/ton	44,29	66,59	101,13
Total transportkostnad, kr/m ³ f	39,86	59,94	91,02
Transportkostnadsfunktion, kr/ton =	16,21	+ 0,567	- km
Transportkostnadsfunktion, kr/m ³ f =	14,59	+ 0,511	- km
Kostnadsfördelning			
Transportavstånd	50 km	88 km	150 km
Tidkostnader Fast avskrivning	1,62	2,29	3,31
kr/m ³ f Räntor	1,09	1,54	2,22
Fordonsskatt	0,41	0,58	0,83
Försäkring	0,91	1,28	1,85
Lönekostnader	11,55	16,30	23,53
Övriga tidkostnader	1,06	1,49	2,15
Summa tidkostnader, kr/ton	16,63	23,47	33,88
Sträckkostn. Rörlig avskrivning	4,87	6,87	9,92
kr/m ³ f Kilometerskatt	0,00	0,00	0,00
Däcksutrustning	1,49	2,62	4,46
Bränsle och smörjolja	13,29	21,93	35,46
Service och reparation	3,59	5,06	7,31
Summa sträckkostnader, kr/ton	23,23	36,47	57,14
Totalt, kr/ton	39,86	59,94	91,02
Total årlig transport ton	59 634	42 251	29 263
m ³ f	66 260	46 945	32 515