



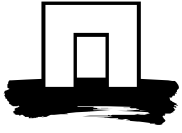
# Perspectief van een banddrukregelsysteem op vrachtwagens voor rondhoutvervoer

Een verkenning

G.D. Vermeulen & B.R. Verwijs







# Perspectief van een banddrukregelsysteem op vrachtwagens voor rondhoutvervoer

Een verkenning

G.D. Vermeulen & B.R. Verwijs

© 2009 Wageningen, Plant Research International B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Research International B.V.

In opdracht van het ministerie van LNV, uitgevoerd in het cluster Ecologische Hoofdstructuur,  
Helpdesk BO-02-001-007

## **Plant Research International B.V.**

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen  
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen  
Tel. : 0317 – 48 60 01  
Fax : 0317 – 41 80 94  
E-mail : [info.pri@wur.nl](mailto:info.pri@wur.nl)  
Internet : [www.pri.wur.nl](http://www.pri.wur.nl)

# Inhoudsopgave

	pagina
1. Introductie	1
2. Banddrukregelsystemen	3
2.1 Principe	3
2.2 Banddrukregelsystemen	5
2.3 Investeringskosten voor banddrukregelsystemen	7
3. Effecten van banddrukregelsystemen	9
3.1 Brandstofverbruik en CO <sub>2</sub> emissie	9
3.2 Bandenslijtage	9
3.3 Rijcomfort	10
3.4 Onderhoud en reparatie	10
3.5 Schade aan wegen	10
3.6 Trekkraftontwikkeling, mobiliteit	13
4. Huidige situatie in transport voor rondhoutvervoer in Nederland	15
5. Potentiële toepassing van CTIS op Nederlandse houtvrachtwagens	21
5.1 Potentie van CTIS voor vermindering van schade aan boswegen	21
5.2 Verwachte baten en kosten van CTIS	22
6. Conclusies en aanbevelingen	25
7. Literatuur	27
Bijlage I. Benaderde personen	1 p.
Bijlage II. Banddrukregelsystemen	4 pp.
Bijlage III. Schatting van kosten voor CTIS systeem	2 pp.



# 1.        **Introductie**

Boseigenaren en rondhoutvervoerders hebben steeds vaker te maken met schade aan boswegen als gevolg van rondhoutvervoer. De oorzaken daarvoor liggen bij een afnemende aandacht (en daarmee budget) voor uitvoering van periodiek wegonderhoud, een toegenomen transportintensiteit buiten de droge periode en minder beschikbare wegen die berijdbaar zijn, waardoor deze zwaarder belast worden. Tegelijkertijd lijkt ook de drempel van aanvaardbare mate van schade aan boswegen bij publiek en bouseigenaren steeds lager te worden; de aansprakelijkheidsvraag over wie onder welke omstandigheden voor welke schade aansprakelijk is doet zich dan ook steeds vaker voor. Vaak worden voor en na houtvervoer foto's gemaakt om de situatie goed vast te leggen en in contracten wordt soms voorafgaand aan de houtprijsbepaling al geregeld wie de rekening voor het herstel van de wegschade gaat betalen. Sommige houtkopers voeren het herschaven en profileren van beschadigde gedeelten van boswegen standaard uit bij oplevering van een vellingproject. Voorkomen van wegschade is een economisch belang voor alle spelers in de houtoogstketen omdat het uiteindelijk de opbrengsten voor de bouseigenaar drukt. Goede maatregelen kunnen veel frictie in de relaties verkleinen. Het uitrusten van houtvrachtwagens met een banddrukregelsysteem (Central Tyre Inflation Systems; CTIS), waardoor de bodemdruk op onverharde wegen verlaagd kan worden, kan een dergelijke maatregel zijn.

CTIS op houtvrachtwagens wordt in (bijvoorbeeld) Amerika al op grote schaal toegepast, in Zweden is het uitgebreid onderzocht en ook in Scotland zijn er testen uitgevoerd. In Nederland zijn er ervaringen bij brandweer, defensie en in de landbouw. De vraag doet zich voor of CTIS ook voor de Nederlandse bosbouw perspectief kan bieden, vooral om schade aan boswegen te voorkomen.

De opdracht en doelstelling van de studie is om de benodigde informatie te verzamelen en aan de hand van deze informatie te beoordelen of het zinvol is een pilotstudie uit te voeren met een CTI systemen op houtvrachtwagens voor rondhoutvervoer. Op basis van de bevindingen van het pilotproject kan dan verdere introductie worden overwogen en kunnen de voorwaarden die daarvoor dan gelden vastgesteld worden.

## Onderzoeksvraag

Kom op basis van literatuurstudie en gesprekken met een oordeel over de perspectieven die CTI kan bieden. Betrek in elk geval Skogforsk, Paul.Granlund@skogforsk.se en publicatie Resultat nr 10 -2006 en Frank McCulloch van de Schotse Forestry Commission (publicatie Forestry and British Timber, april 2007), alsmede de importeur van CTI systemen Brotec (Evert de Kruyf, info@brotec.nl) Omdat Brotec geen importeur meer bleek te zijn van PTG banddrukregelsystemen is contact opgenomen met de Bertram Tigges, de fabrikant in Duitsland.

Rapporteer over beschikbare systemen, investeringskosten, onderhoud, effecten op brandstofverbruik / CO<sub>2</sub> emissie, bandenslijtage, rijcomfort, effect op de boswegen.

Zorg voor een adequate vertaling van buitenlandse bevindingen naar de Nederlandse situatie met 'veel asfalt - weinig onverharde weg', met vrachtwagens die vaak voor meerdere doelen inzetbaar zijn, vrachtwagens uitgevoerd als trekker met oplegger en/of combinaties, acceptatievoorwaarden van rondhoutondernemers.





## 2. Banddrukregelsystemen

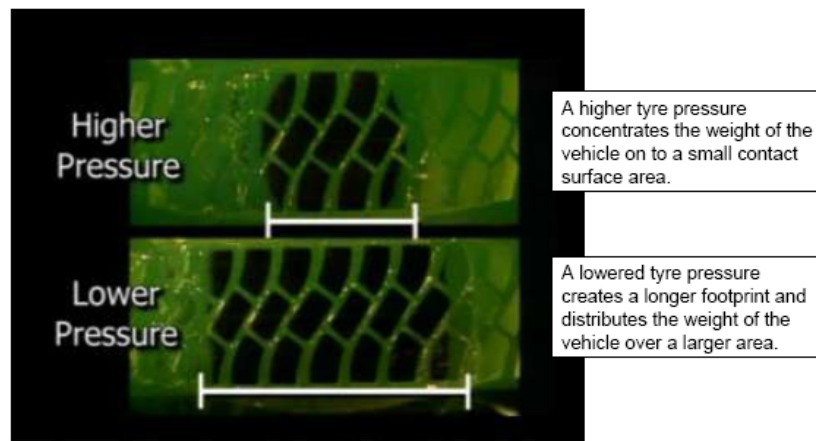
### 2.1 Principe

Bij een band met daarop een zeker belasting bepaalt de bandspanning de afplating van de band (de afname van de hoogte van de band ten opzichte van de hoogte in onbelaste toestand) en daarmee de grootte van het contactoppervlak van de band (Figuur 1).

Het grootste voordeel van een hard opgepompte band (hoge bandspanning) is dat de band weinig vervormt tijdens het rijden, dat daardoor weinig warmte wordt ontwikkeld en dat daardoor met hogere snelheden gereden kan worden zonder dat de band kapot gaat. Op een hard oppervlak is de rolweerstand bovendien laag.

De grootste voordelen van een grote afplating zijn:

- de relatief lage bodemdruk waardoor bijvoorbeeld landbouwgrond beschermd kan worden tegen verdichting en waardoor wegen beschermd kunnen worden tegen spoorvorming en vervormingschade;
- dat de trekkracht van de band in het algemeen toeneemt;
- dat de rolweerstand op zachte grond afneemt (Lach, 1999).



Figuur 1. Verschil in band-grond contactoppervlak bij hoge en lage bandspanning (Bron: Ritchie, 2008).

De precieze gebruiksmogelijkheden van banden bij een zeker afplating/bandspanning worden door de bandenfabrikanten gespecificeerd. Het draagvermogen van een band is in principe afhankelijk van de bandafmetingen, de stijfheid (vroeger: ply rating), de bandspanning en de wijze van gebruik (rijnsnelheid, aangedreven of niet, gestuurd of niet). Als langzamer gereden wordt mag de band in het algemeen meer afplaten. Daarnaast mag de afplating soms extra hoog zijn als sprake is van kortdurende piekbelastingen (cyclische belasting) of noodsituaties. Bij wielen die een zeer hoge trekkracht moeten leveren en bij stuurwielen is soms minder afplating toegestaan dan normaal bij de gegeven belasting van de band.

Voor landbouwbanden was de toegestane afplating voor algemeen gebruik tot 40 km/uur, dus ook voor transport op de verharde weg, ca 18 - 20% (Perdok en Arts, 1986). Dit cijfer kan nu, met de komst van de lagesectie banden, iets anders liggen. Op een landbouwperceel is grotere afplating gewenst, bij een relatief lage bandspanning, om een zo groot mogelijk contactoppervlak met de bodem te krijgen, bodemverdichting en structuurschade te voorkomen en de rolweerstand op zachte grond laag te houden. Hierbij werd gestreefd naar bandspanningen < 100 kPa (Vermeulen and Klooster, 1992; Vermeulen and Perdok, 1994). Het is technisch goed mogelijk om op het veld grotere afplatingen dan op verharding toe te passen, o.a. omdat de snelheden veel lager liggen. Omdat het wisselen van bandspanning tijdens het werk zonder voorzieningen niet praktisch is worden voor banden in de

landbouw daarom meestal de bandspanningen toegepast die voor wegtransport nodig zijn, bij 40 km/u, zodat transport over de weg zonder veel bandslijtage mogelijk is. Deze bandspanningen zijn in de orde van grootte van 100 to 300 kPa.

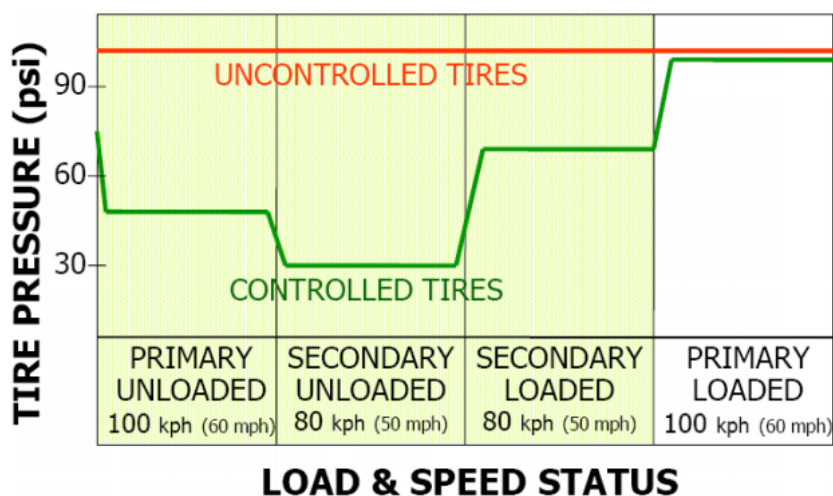
Banddrukregelsystemen (Central tyre inflation systems; CTIS) zijn ontworpen om op praktische wijze op de weg een kleine afplating (hoge bandspanning) en in het veld een grote afplating (lage bandspanning) te kunnen realiseren. In de landbouw worden deze systemen wel toegepast bij machines voor het mesttransport, het transport van bosproducten en voor oogstmachines. Ondanks de toepassing van CTIS worden bandspanningen < 100 kPa in de praktijk niet altijd gehaald. Vooral bij machines die met grote lasten over het veld rijden zoals bij oogstmachines en landbouwwagens is vaak minimaal 170 kPa bandspanning nodig om de lasten te kunnen dragen (Vermeulen en Verwijs, 2007).

Voor houtvrachtwagens op de snelweg moet een band een relatief kleine afplating (deflectie) hebben voor stabiliteit, een lage rolweerstand en om ongelijkmatige en overmatige slijtage door warmteontwikkeling te voorkomen. Hodges *et al.* (1987) noemen voor gebruik van vrachtwagens op snelwegen een deflectie van 10-12% van de sectiehoogte (de afname van de hoogte van de band ten opzichte van de hoogte in onbelaste toestand). Bij de gebruikelijke banden en bandlasten in 1987 betekende dit voor beladen vrachtwagens een relatief hoge bandspanning van 100 psi (689 kPa). Meer recente cijfers geven aan dat op dit moment bandspanningen van 800 tot 900 kPa normaal zijn. Een bandafplating van 20-22% is volgens Hodges *et al.* (1987) optimaal op schade aan wegen te voorkomen, maar dit vereist dan wel een verlaging van de snelheid tot langzamer dan 56 km/uur.

Houtvrachtwagens hebben een specifieke transportcyclus waarbij voor de combinaties van onbeladen-beladen en snelweg-bosweg verschillende bandspanningen 'optimaal' zijn (Figuur 2). Deze optimale bandspanningsniveaus verschillen per houtvrachtwagen, afhankelijk van de wielconfiguratie, de toegepaste banden en de aslasten (Granlund, 2006a). Een voorbeeld van gebruikte bandspanningen (vallend binnen de specificaties van de bandenfabrikanten) is weergegeven in tabel 1, voor het gebruikte materieel in een experiment in Oregon (Brown and Sessions, 1999) en voor een vrachtwagen (SCA1) bij een recent experiment in Zweden (Granlund, 2006b).

Alleen door middel van een banddrukregelsysteem is het praktisch gezien mogelijk om de druk in de banden tijdens het werk aan te passen aan de omstandigheden, waardoor de mogelijkheden van de banden ten volle benut kunnen worden en schade aan wegen mogelijk voorkomen kan worden.

Uit de tabel blijkt duidelijk dat de minimaal benodigde bandspanningen bij CTIS afhangen van het materieel. In Oregon werd gewerkt met lagere bandspanningen dan in Zweden. Waarschijnlijk komt dit omdat de aslasten bij het onderzoek in Oregon lager waren dan die in Zweden, of door toepassing van grotere banden. Echter aslasten en bandenmaten werden niet voor het onderzoek in Oregon gegeven.



Figuur 2. Optimale banddrukken in een typische rondhout-transportcyclus (Bron: Spreen, TPC-International).

Tabel 1. *Bandspanningen (in kPa) gebruikt bij CTIS tests op 'marginal quality gravel road' in Oregon (Brown and Sessions, 1999) en Zweden (Grunland, 2006b).*

Test, terrein	Onbeladen			Beladen		
	Gestuurd	Aangedreven	Aanhanger	Gestuurd	Aangedreven	Aanhanger
Oregon, snelweg	550	415	415	620	620	620
Oregon, low-grade gravel	480	210	210	480	340	340
Oregon, in noodgeval	275	170	170	345	205	205
Zweden, snelweg	570	500	500	800	690	780
Zweden, low-grade gravel	550	350	350	770	400	550
Zweden, in noodgeval	-	-	-	550	220	400

Als alternatief voor CTIS is in de USA ook wel continu verlaagde bandspanning toegepast, waarbij de versnelde bandslijtage op snelwegen voor lief werd genomen. In de USA kon dit omdat er relatief weinig op snelwegen gereden werd. Als er overwegend op snelwegen gereden wordt, zoals in Nederland, is dit systeem ongeschikt.

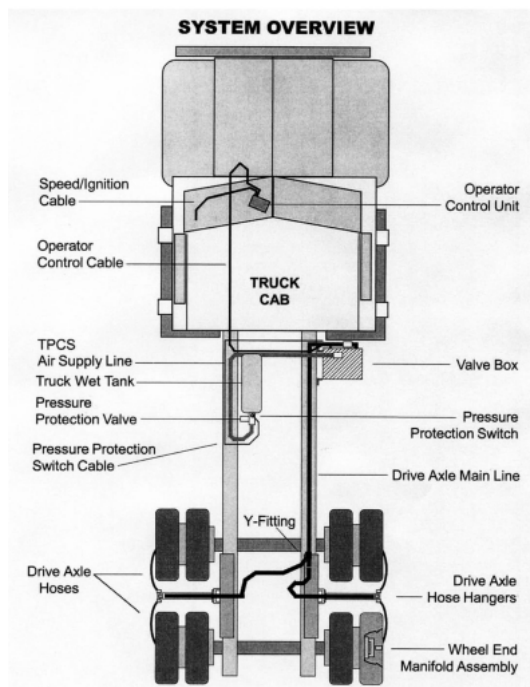
## 2.2 Banddrukregelsystemen

Banddrukregelsystemen zijn verkrijgbaar van zeer eenvoudig tot zeer geavanceerd. De benodigde lucht voor het systeem komt van het remsysteem van de vrachtwagens (ca. 8,5 bar luchtdruk), dat ook op luchtdruk werkt, of van het luchtveringsysteem (ca. 12 bar luchtdruk) als dat geïnstalleerd is. Een voorkeurschakeling zorgt er hierbij voor dat het remmen altijd prioriteit heeft. Bij de eenvoudige systemen gebeurt het instellen van de banddruk en het aansluiten en weer opbergen van de luchtslangen handmatig. Bij de zeer geavanceerde systemen kan de optimale banddruk per asgroep voorgeprogrammeerd worden voor verschillende terreinomstandigheden en wordt de banddruk automatisch ingesteld via een menugestuurde regelunit in de cabine (Figuur 3).



Figuur 3. *Regelunit voor menugestuurd instellen van de bandspanning van de stuuraswielen, de aandrijfswielen en de trailerwielen (Bron: TPC International).*

Het oppompen of aflaten gebeurt bij de geavanceerde systemen via permanent geïnstalleerde luchtslangen naar de wielen. Een schema van een systeem voor de aangedreven assen is in Figuur 4 weergegeven. De meest geavanceerde systemen corrigeren de banddruk bovendien automatisch voor de luchttemperatuur als er te snel gereden wordt en zijn geïntegreerd met de bediening van andere 'trekkracht' functies op het voertuig (bijv. gekozen versnelling en differentieelslot). Bij de systemen met vaste luchtleidingen naar de wielen kan de banddruk tijdens het rijden aangepast worden. De leidingen kunnen buitenom lopen, via een luchtkamer op de as met roterende afdichting of volledig geïntegreerd zijn in de as (Figuur 5; zie ook Bijlage II). Sommige systemen gebruiken twee luchtleidingen; één voor de drukregeling en één voor bediening van een klep dicht bij het ventiel om het leidingsysteem drukloos te maken nadat de juiste banddruk is ingesteld (slangbreukbeveiliging en tegengaan van slijtage van de afdichtingen).



Figuur 4. Schematische weergave van een Central Tyre Inflation System voor de aangedreven assen (Bron: TPC International).



Figuur 5. Luchtleiding geïntegreerd in de as (links, stuuras), buitenom lopend (midden, aangedreven assen) en door de as met roterende luchtkamer op de as (rechts, traileras) (Bron: TPC International).

Voor banddrukregelsystemen zijn diverse namen en afkortingen in omloop. De meest gebruikte zijn Engelstalige benamingen: CTI of CTIS (central tyre inflation system) en TPC of TPCS (tire pressure control system). Een beschrijving van de leverbare producten wordt in Bijlage II gegeven en samengevat in Tabel 2. Waarschuwingssystemen die alleen controleren of de banddruk op peil is en eventueel de druk automatisch op een ingestelde waarde houden zijn niet meegenomen in het overzicht.

De 'Tire and Rim Association', die de basisspecificaties opstellen waaraan banden moeten voldoen, bevelen aan om CTIS alleen toe te passen met tubeless radiaalbanden (Brown and Sessions, 1999). Bij CTIS wordt montage van stalen velgen (in plaats van aluminium) aangeraden omdat aluminium velgen minder sterk zijn en kapot kunnen gaan onder de krachten die op de velg werken bij rijden met lage bandspanning (Granlund, 2006a).

Bij dubbele montering mogen de twee banden elkaar normaal niet raken omdat dit tot snelle slijtage leidt. Uit informatie van Michelin (Swint, pers. comm.) blijkt dat bij lagere snelheden en bandspanningen de banden elkaar wel mogen raken zonder dat dit tot schade leidt.

Tabel 2. *Banddrukregelsystemen op de markt.*

Fabrikant/Leverancier	Systeem	Kenmerken
Pösge & Tigges GmbH (PTG, Duitsland)	STIS	(semi-automatic tyre inflation system) handmatig, centraal instellen van banddruk, handmatig aan- en afkoppelen en opbergen van luchtslangen, slaat automatisch af na bereiken ingestelde druk.
Pösge & Tigges GmbH (PTG, Duitsland)	AIRBOX	2 (on- / off-road) of meer instellingen, regeling per asgroep vanuit de cabine mogelijk, drukloos na aanpassing banddruk, luchtslangen niet in de as, maar buitenom.
Dana/Eaton (USA)	TPCS	6 instellingen (geladen/leeg en 3x terrein), snelheidsbeveiliging, regeling per asgroep, drukloos na aanpassing banddruk, luchtslangen in de as
Dana/Eaton (USA)	CTIS	Zoals TPCS, maar met geïntegreerde bediening van snelheid, schakelen, differentieelslot en ABS
Syegon (Frankrijk)	LD Ralley, III en IIS	Systemen van volledig handwerk tot volledig automatisch, luchtslangen in de as geïntegreerd.
Syegon (Frankrijk)	Dakar2000	Systeem met leidingen buitenom.
Air CTI (Australië)	Air CTI	Systeem met handmatige instelling van druk vanuit de cabine, optioneel per asgroep, luchtleidingen buitenom, slangbreukbeveiliging
TPC International (Canada)	Tireboss	6 instellingen (geladen/leeg en 3x terrein), snelheidsbeveiliging, regeling per asgroep, drukloos na aanpassing banddruk, luchtslangen buitenom (aangedreven as) of langs de as (stuurwielen en eventueel trailerwielen)
ITE Ltd. (Nieuw Zeeland)	Bigfoot	4 geprogrammeerde instellingen vanuit cabine, voor zover bekend geen instelling per asgroep en snelheidsbeveiliging, luchtslangen buitenom.

## 2.3 Investeringskosten voor banddrukregelsystemen

Ritchie (2008) rapporteert dat in Schotland de kosten van een CTI systeem (Tireboss) voor alle assen ongeveer £ 8.000 bedragen. Daar komt bij montagekosten en aanpassingen £ 4.000 en stilstandkosten van £ 1.000. De totale investering schat hij op £ 13.000 (€ 16.500). De extra onderhoudskosten schat hij op € 130 per jaar. De levensduur wordt geschat op 15 tot 16 jaar.

Grunland (2006b) schat dat de kosten voor installatie van een CTI systeem op Zweedse vrachtwagens tussen de US\$ 25.000 en 30.000 zijn (€ 20.000 – 25.000). Om deze investering terug te verdienen moeten er volgens Grunland jaarlijks ca. € 4.400 meer inkomsten komen. Hij gaat er van uit dat dit voornamelijk moet komen uit 1) meer werkbare dagen en/of 2) er vaker met volle belading gereden kan worden op de boswegen. Minder trillingen, minder onderhoud aan de vrachtwagen en brandstofverbruik dragen volgens Grunland in Zweden slechts weinig bij aan het terugverdienen van CTIS. Een effect van CTIS is dat het laadvermogen met ongeveer 400 kg afneemt omdat stalen in plaats van aluminium velgen gemonteerd worden (300 kg meer) en omdat de CTIS componenten ca. 100 kg wegen.

Een voorbeeld van de totale kosten van CTIS op een 6 assige houtvrachtwagen zoals ze in Nederland worden gebruikt, inclusief de kosten van 5 dagen stilstand, is € 15.000 - € 16.000 (gebaseerd op prijsopgaaf en montagegegevens van TireBoss voor een Volvo FH12).

## 3. Effecten van banddrukregelsystemen

De literatuurinformatie over de effecten van banddrukregelsystemen is in dit hoofdstuk beschreven. We moeten hierbij bedenken dat soms niet alle effecten tegelijkertijd zullen optreden. Om een voorbeeld te noemen: genoemd wordt dat er door toepassing van CTI meer werkbare dagen zullen zijn. Tegelijkertijd wordt ook genoemd dat er door toepassing van CTI minder schade aan de wegen optreedt. Echter, een gevolg van het eerste voordeel zal zijn dat er ook onder slechtere omstandigheden gewerkt kan worden. Hierdoor zal het tweede voordeel in ieder geval deels teniet worden gedaan.

### 3.1 Brandstofverbruik en CO<sub>2</sub> emissie

Brown en Sessions (1999) melden dat een verlaging van de banddruk van een vrachtwagen met 69 kPa ten opzichte van optimaal, op verharde wegen leidt tot een toename van het brandstofverbruik met 1%. Op onverharde wegen gaat deze relatie niet op omdat de rolweerstand niet altijd het kleinst is bij hoge banddrukken. De rolweerstand op onverharde wegen wordt mede bepaald door de insporing van de band en deze insporing neemt af als de banddruk lager wordt (Perdok en Arts, 1986; Lach, 1999) en de band 'zachter' wordt dan de ondergrond. Bovendien kan bij aangedreven wielen het energieverlies door slip een rol spelen. Bekend is dat het percentage slip op onverhard terrein afneemt als de banddruk verlaagd wordt. Het netto effect van rolweerstand en slip is onbekend, maar Brown en Sessions (1999) gaan er van uit dat het effect van CTIS op het brandstofverbruik niet groot zal zijn.

Door verlaging van de banddruk nam in Zweden (Granlund, 2006b) het overall brandstofverbruik enigszins toe (ca. 1%). Omdat Granlund ervan uit gaat dat de belading op boswegen toe kan nemen als CTIS toegepast wordt, zou het brandstofverbruik per ton vervoerd product kunnen dalen.

In de praktijk wordt in Zweden maar op 6-7% van de totale afstand met lage druk gereden. Het brandstofverbruikseffect zal daarom in de praktijk verwaarloosbaar zijn.

In Schotland heeft Ritchie (2008) het brandstofverbruik gemeten vóór en na de installatie van CTIS, van twee houtvrachtwagens, een 'Tag-axle lorry' en een 'Double-drive lorry', beiden met drie-assige oplegger (3x4). In dit geval werd in de praktijk een verlaging van het brandstofverbruik door toepassing van CTIS gemeten van respectievelijk 1,1 en 3,7%.

### 3.2 Bandenslijtage

De bandspanning van houtvrachtwagens is gewoonlijk berekend op een maximaal beladen wagen op asfaltwegen. Het is bekend dat banden alleen gelijkmatig afslijten als de bandspanning precies past bij de belasting op de band. Zowel een te hoge als een te lage bandspanning leidt tot ongelijkmatige slijtage. Theoretisch is de bandenslijtage bij CTIS daarom minder dan zonder CTIS. CTIS fabrikant TPC International claimt ook dat er door de grotere soepelheid van de banden op boswegen minder lekkages en schade aan het loopvlak van de banden zal voorkomen.

Keller (1993) rapporteert dat de bandenslijtage niet significant verschilde tussen banden met een hoge bandspanning en met een verantwoord lage spanning in de Weyerhaeuser proeven (USA). Echter, Bradley (1993) rapporteert dat de slijtage van het loopvlak door CTIS afnam met 47% (originele banden) en 25% (gecoverde banden), vergeleken met het gemiddelde van niet-CTIS vrachtwagens in Canada. Ook Hodges *et al.* (1987) vindt minder slijtage (15%) bij toepassing van lagere bandspanningen. Ritchie (2008) rapporteert dat na 5 maanden testen van twee houtvrachtwagens in Schotland verminderde slijtage nog niet aan te tonen is.

In de studies van Keller (1993) en Bradley (1993) werden de banden na afloop van het CTIS experiment geïnspecteerd. Er werd veel minder schade aan het loopvlak geconstateerd (insnijdingen etc.) en geen schade aan de

zijanten van de banden en minder schade aan de gordels (belt-separation). Alle genoemde studies betreffen vooral schade door scherpe stenen.

Zowel Ritchie (2008), Munro & MacCulloch (2008) en Granlund (2006a, b) melden dat lekkages en bandschade zeer weinig voorkomen bij CTIS vrachtwagens. Bij kleine lekken hield CTIS de band op druk, zodat net zo lang doorgereeden kon worden totdat de band bij een werkplaats verwisseld kon worden. Dit wordt als zeer praktisch en efficiënt beoordeeld (Brown and Sessions, 1999).

### 3.3 Rijcomfort

Verlaging van de bandenspanning heeft in het algemeen een verlagend effect op de trillingen en schokken van de vrachtwagen. Hoewel metingen op steenslag- en asfaltwegen ook uitzonderingen lieten zien (Altunel and de Hoop, 1998) zijn de chauffeurs die in praktijkexperimenten meegedaan hebben, unaniem van mening dat het rijcomfort toegenomen is met het gebruik van CTIS (Sturos, 1995; Keller, 1993; Granlund, 2006b; Munro and MacCulloch, 2008; Ritchie, 2008). De verbetering werd vooral gemerkt bij het onbeladen transport en bij beladen transport met lage snelheid op slechtere wegen (Keller, 1993; Granlund, 2006b). Het is niet eenvoudig om het verbeterde rijcomfort uit te drukken in geld. Verbeterd rijcomfort zal echter leiden tot minder rugklachten en hogere productiviteit. Ritchie (2008) gaat ervan uit dat het verbeterde rijcomfort ook zal leiden tot hogere snelheden op de boswegen en daardoor een hogere productiviteit.

### 3.4 Onderhoud en reparatie

Voor het effect van CTIS op truck onderhoud en reparatie wordt voornamelijk verwezen naar het effect van minder trillingen en schokken en minder 'wheel hopping' op de constructiedelen van de vrachtwagen (Brown and Sessions, 1999).

Hodges *et al.* (1987) constateren 87% minder schade aan constructiedelen en 83% lagere reparatiekosten onder omstandigheden in de USA. Bradley (1993) rapporteert 30% minder reparaties als CTIS gebruikt wordt en 91% minder tijdbesteding aan het dichtlassen van scheuren in constructiedelen. Ook Munroe and MacCulloch (2008) en Ritchie (2008) vonden dat CTIS resulteerde in minder reparatie en onderhoud. Ritchie (2008) rekende hier £ 480 (ca. € 550) per jaar verminderde onderhoudskosten aan toe.

Wheel hopping is gerapporteerd in de USA. Het komt voor op hellingen als de aandrijfwielen zichzelf ingraven, plotseling op harde ondergrond komen, grip krijgen en dan zwaar belast worden. Als dit vaak voorkomt kan schade aan de aandrijflijn (differentieel) ontstaan. Door het gebruik van lagere banddrukken wordt de tractie verbeterd en zal wheel hopping minder voorkomen (Brown and Sessions, 1999).

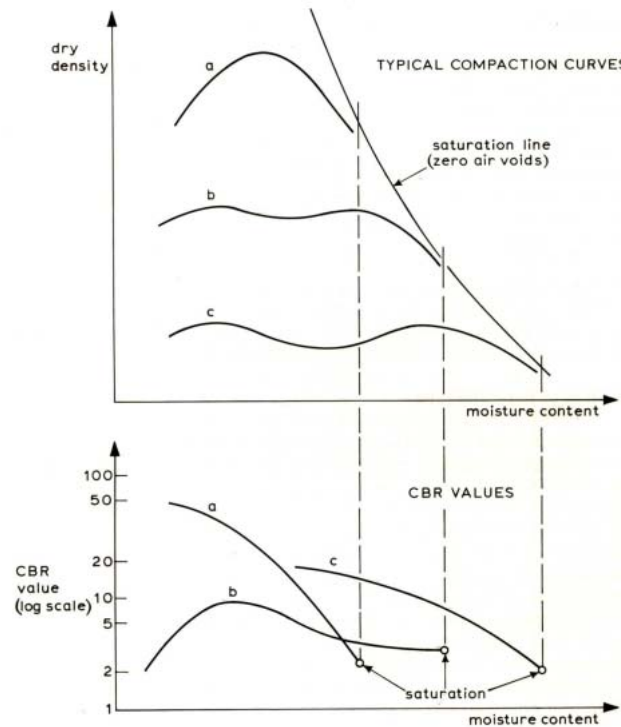
We mogen aannemen dat de grootste besparingen op onderhoud en reparatie zullen voorkomen als CTIS gebruikt wordt in ruwe en hellende terreinen. Het is echter aangetoond dat de kosten van onderhoud en reparatie bij alle vrachtwagens die op onverharde wegen rijden lager zijn en dat CTIS daarmee ook leidt tot minder onproductieve tijd.

### 3.5 Schade aan wegen

De aard van het wegdek is van doorslaggevende betekenis of houtvrachtwagens schade zullen veroorzaken aan de weg. Snelwegen zijn kwalitatief zo goed dat schade aan deze wegen niet verwacht hoeft te worden. Secundaire wegen, maar zeker ook halfverharde en onverharde wegen kunnen makkelijk beschadigd worden door de hoge aslasten/bandspanningen die bij houttransport toegepast worden. Of lagere bandspanningen dan toegepast op de snelweg, de schade aan het wegdek zal beperken is afhankelijk van de kwaliteit van de weg en de bandspanning die toegepast wordt. In principe geldt dat hoe zachter het wegdek, hoe zachter ook de band moet zijn om zonder insporing tot op hardere lagen te kunnen afplatten. Dit betekent dat op onverharde wegen, als de grond zacht



(vochtig) is, lage bandspanningen nodig zijn om schade (insporing) te voorkomen. Een maat voor de sterkte van het wegdek is de California Bearing Ratio (CBR). Eenvoudig gezegd is deze 100 voor beton en 0 voor water. Figuur 6 laat zien dat de CBR waarde voor onverharde wegen sterk afhankelijk is van grondsoort en vochtgehalte van de grond (Head, 1982). Harde grond kan een vergelijkbare sterkte hebben als gravel (*ca.* 30); vochtige grond is altijd zachter, ook als de grond zeer compact is. Om met CTIS op onverharde, zachte wegen, effecten van dezelfde orde van grootte te bereiken als op gravel wegen, zoals op wegen in Zweden en Canada, zouden de banddrukken op onverharde wegen lager moeten liggen. Mahoney *et al.* (1994) wijzen er dan ook op dat ook met CTIS, met beperkte banddrukverlaging, het aantal mogelijke passage voordat de weg onbruikbaar wordt erg klein kan zijn als het wegdek te slap is.



*Figuur 6 CBR waarden en verdichtingscurven voor een goed verdichtbaar zand-silt-klei-mengsel (a), uniform fijn zand (b) en zware klei (c), afhankelijk van het vochtgehalte van de grond (Bron: Head, 1982).*

De experimenten met CTIS voor houtvrachtwagens zijn tot nu toe voornamelijk uitgevoerd in streken met uitgestrekte bossen, secundaire wegen van relatief lage kwaliteit en bos(ontsluitings)wegen die meestal een vorm van verharding (dunne laag asfalt) of halfverharding (gravel) hebben. In deze experimenten in Noord-Amerika, Zweden en Ierland is het effect van CTIS op de wegen vrijwel altijd positief (Granlund, 2006a). De lagere bodemdrukken met CTIS kunnen benut worden om de tijd dat de weg mee gaat te verlengen, om te besparen op de kwaliteit van de weg, of om op het wegonderhoud te besparen.

De vroege resultaten in Noord-Amerika worden goed samengevat door Brown and Sessions (1999). Zij rapporteren dat: 'Sinds 1983 zijn diverse onderzoeken gepubliceerd die aanzienlijke vermindering van schade aan wegen laten zien door gebruik te maken van lager dan normale banddrukken. Vele anderen tonen cijfers over de vermindering van noodzakelijk wegenonderhoud. Een test op het Nevada Automotive Test Centre liet 76% vermindering van wegenonderhoud en 70% vermindering van benodigd halfverhardingsmateriaal zien door toepassing van 172-365 kPa in plaats van 620 kPa bandspanning (Hodges, 1987). Keller (1993) toonde in een praktijkproef aan dat het wegenonderhoud aan een weg verhard met zachte zandsteen aanzienlijk verminderde door het gebruik van lagere bandspanningen. Een ander experiment liet zien dat op een weg van matige kwaliteit het aantal passages tot noodzakelijk onderhoud 1,5 tot 21 keer hoger was als gevolg van toepassing van lage bandspanningen. In een experiment in

Alaska werd vastgesteld dat verlaging van de bandspanning van bouwachines tot 22% afplatting van de banden (290-427 kPa) leidde tot een verlaging van de dagelijkse insporing van 30-46 cm met dagelijks vlakschuiven tot 0-10 cm zonder dagelijks vlakschuiven'.

Bij gelijkblijvende schade aan de weg en gebruiksduur kon de dikte van de (half)verharding 20-30% afnemen door lagere bandspanningen volgens Steward (1994). Brown and Sessions (1999) berekenden met behulp van de WES modellen (Waterways Exp. Station) voor een onverharde weg (CBR = 14 voor 15 cm topklaag en 8 voor de ondergrond) dat 5 keer zoveel passages mogelijk waren totdat 7,5 cm insporing werd verkregen als de bandspanning werd verlaagd van 690 kPa tot 345 kPa.

Een ander vaak gerapporteerd effect van CTIS is dat door andere voertuigen gemaakte sporen of 'wasbord oppervlak' met CTIS vrachtwagens weer gerepareerd kunnen worden door systematisch te versporen (o.a. Bradley, 1993 en Keller, 1993).

In heuvelachtig en bergachtig terrein leidt schade (bodempervorming) aan onverharde of halfverharde wegen tot meer erosie. Het afgespoelde, fijne sediment komt op lagere plaatsen terecht en uiteindelijk in het oppervlaktewater, waardoor de kwaliteit van de omgeving afneemt. Door het gebruik van CTIS kan de erosie vanaf de boswegen aanzienlijk afnemen. Folz (1994) en Folz & Elliot (1998) rapporteren dat op een weg van lage kwaliteit halfverharding, op een helling van 12%, tot 80% vermindering van erosie verwacht mag worden als de bandspanning verminderd van snelwegspanning, 620 kPa, tot een range van 210-480 kPa gebruikt in CTIS.

In Noord Amerika gelden er in het voorjaar belastingrestricties voor duizenden kilometers lokale wegen omdat deze tijdens de opdooi bijzonder gevoelig zijn voor mechanische schade. De oorzaak hiervan is dat dooiwater zich in het wegdek verzamelt en niet weg kan. Hierdoor kunnen ook houtvrachtwagens in deze periode niet passeren. CTIS is een mogelijke manier om schade aan opdooiende wegen te voorkomen. Mahoney *et al.* (1994) berekenden dat lagere bandspanningen inderdaad zullen leiden tot minder structurele schade. Zij wijzen er echter op dat er toch een idee van de actuele sterkte van de weg moet zijn om te besluiten of de wegen wel met lage bodemdrukken bereden mogen worden. Zij geven aan dat het aantal mogelijke passages totdat ontoelaatbare schade aan de weg ontstaat ook bij lage bodemdruk afneemt naarmate de sterkte van het wegdek afneemt. Blair (2001) deed een experiment in British Columbia in Canada waarbij de sterkte van de weg in de restrictieperiode gemonitord werd en berekend werd of houtvrachtwagens met CTIS (volledig beladen) veilig konden passeren. De restrictieperiode duurde 41 dagen, waarin op 22 dagen aan vrachtwagens met CTIS toestemming gegeven kon worden om te rijden. Na afloop werd geen schade aan de weg geconstateerd.

In Zweden werd als onderdeel van een CTIS pilotproject ook naar schade aan wegen gekeken (Granlund, 2006a, 2006b). Berekend werd dat de drukken in de bovenste 20 cm van de weg aanzienlijk lager waren bij verminderde bandspanning. Bij proeven in 2005 bleek dat in de praktijk door toepassing van lagere bandspanningen aanzienlijk minder spoorvorming optrad op 10 van de 12 onderzochte wegen. Het effect was het grootst op de wegen met lage draagkracht. De twee wegen waar geen verschil met hoge bandspanning optrad waren wegen van hoge kwaliteit. Door lage druk werd ook het omhoog komen van het wegdek naast de sporen verminderd waardoor de mobiliteit voor personenwagens langer goed bleef.

Zowel in Canada (in 2004) als in Zweden (in 2007) zijn nu uitzonderingen mogelijk gemaakt op de daar geldende wettelijke, tijdelijke wegbelastingrestricties als vrachtwagens uitgerust zijn met CTIS (Munro & MacCulloch, 2008). In Schotland zijn voor sommige wegen, die door vrachtwagens beschadigd worden, gemeenteverordeningen van kracht die de belasting van deze wegen beperken (Ritchie, 2008).

Ierland heeft veel schadegevoelige secundaire wegen op een veenondergrond. Owende (2005) toonde aan dat ook in dit geval schade te beperken is door verlaging van de bandspanning.

Samenvatting Brown and Sessions van voordelen van CTIS voor wegen:

- afname wegschade en langere gebruiksduur van de weg
- afname onderhoud en onderhoudskosten
- minder verhardingsmaterialen nodig voor constructie en onderhoud

- sporen en wasbord kunnen 'genezen'

Het is de vraag of de bandspanningen die in USA, Canada en Zweden gebruikt worden ook haalbaar zijn in Nederland en of deze spanningen laag genoeg zijn om schade aan de boswegen te voorkomen. De indruk bestaat dat de (veelal onverharde) boswegen in Nederland minder draagkrachtig zijn dan de wegen waarop de houtvrachtwagens in de USA, Canada en Zweden rijden en dat daarom de bandspanningen verder zouden moeten kunnen zakken om werkelijk effectief te zijn. Volgens Tigges van PTG (persoonlijke communicatie) is dezelfde vraagstelling in Duitsland aan de orde.

### 3.6 Trekkraftontwikkeling, mobiliteit

In een situatie waarin de boswegen eenmaal moeilijk begaanbaar geworden zijn is het soms een groot voordeel als het werk toch afgemaakt kan worden (zie ook hoofdstuk 4). Om in moeilijke omstandigheden vooruit te komen moet een voertuig een duwkracht ontwikkelen die groter is dan de som van de weerstandskrachten (helling, wrijving, rolweerstand). Het koppel dat door de motor via de aandrijving op het wiel gezet wordt, wordt deels gebruikt om slip, rolweerstand en luchtweerstand te overwinnen en deels om het voertuig te versnellen (= trekkraft). Als de duwkracht die de band kan ontwikkelen kleiner is dan de rolweerstand wordt het percentage slip 100% en komt het voertuig niet vooruit. De duwkracht die ontwikkeld kan worden bij een zeker percentage slip (= vervorming van de bodem of de band) hangt af van de grootte van het contactvlak van de band met de bodem, vooral van de lengte van het contactvlak.

De rolweerstand wordt deels door insporing in de bodem veroorzaakt en deels door vervorming van de band. Bij hoge bandspanning is de bandvervorming klein en wordt de rolweerstand vooral door bodemvervorming veroorzaakt. Bij lage bandspanning vervormt de bodem minder en de band meer. De ideale bandspanning is die waarbij de som van beide effecten minimaal is. Deze ideale bandspanning is lager naarmate de grond zachter is.

In verschillende studies in Noord Amerika (o.a. Bradley, 1993; Keller, 1993; Schultz, 1992) werd aangetoond dat door verlaging van de bandspanning, de trekkraftontwikkeling en mobiliteit sterk verbeterd werd op grof zandige en modderige ondergronden. Op gronden met een fijne structuur (fijnzandig, kleiig) waren deze verbeteringen minder groot, maar wel significant aanwezig (Brown and Sessions, 1999). In grof zand verbeterde de trekkraft met 34% en in modder met 17% door verlaging van de bandspanning van 620 kPa naar 207 kPa.

De verbeterde trekkraft door bandspanningsverlaging komt ook tot uiting op hellingen (Bulley and Blair, 2001; Munro and MacCulloch, 2008). Verschillende onderzoekers rapporteren ook dat CTIS ertoe leidt dat de houtvrachtwagens minder vaak vast komen te zitten op slechte plekken (Munro and MacCulloch, 2008). Ritchie (2008) beschouwt de verbeterde mobiliteit feitelijk als het grootste voordeel van CTIS bij zijn testen in Schotland: 'Moeilijk in geld uit te drukken maar zeker efficiënter en effectiever omdat de zekerheid bestaat dat de vrachtwagens het bos in- en uitkomen zonder vast te komen zitten of grote omwegen te maken'.

Lach (1999) toont aan dat de mobiliteit van militaire voertuigen op leembodem sterk verbeterd wordt als de bandspanning verlaagd wordt van 450 kPa (normaal) naar 120 kPa (laagste spanning die de fabrikant voor de betreffende situatie toestond). Eveneens voor militaire voertuigen meten Pytka *et al.* (2006) een 57% hogere trekkraft op zandgrond en een 13% hogere trekkraft op leemgrond bij een verlaging van de bandspanning van 390 kPa (normaal) naar 200 kPa.



## 4. Huidige situatie in transport voor rondhoutvervoer in Nederland

Het totale bosoppervlak in Nederland is 360.000 ha. De totale staande houtvoorraad is 61,6 miljoen m<sup>3</sup> met een jaarlijkse bijgroei van 2,2 miljoen m<sup>3</sup> en een jaarlijkse velling van 1,2 miljoen m<sup>3</sup> (Anon, 2008).

Het meeste bos in Nederland staat op zandgrond (85,7%) in de provincies Gelderland, Noord-Brabant, Overijssel en Drenthe. Verder staat 9,5% op kleigrond (o.a. Flevoland), 3,7% op veengrond (Drenthe, Friesland, Overijssel) en 1% op lössgrond (Limburg) (Dirkse *et al*, 2007).

De wijze van ontsluiting van de Nederlandse bossen is zeer divers. De meeste boswegen zijn onverhard. Bij de grote boswachterijen is het boswegennet bepaald vóór 1960, in de tijd dat deze bossen als productiebos werden aangelegd. De wegen zijn berekend op velling met de hand, uitslepen van het hout met paarden, over bospaden en vervoer van het hout over zogenoemde ontsluitingswegen en hoofdwegen. Op dit moment vindt het vellen hoofdzakelijk plaats met oogstmachines die in het bos de stammen op kleine hopen verzamelen. Deze stammen worden door uitrijdcombinaties, vaak met 4 assen en brede banden, soms met tracks, in het bos opgeladen en uit het bos gereden. De stammen worden op een verzamelplaats neergelegd waar een vrachtwagen de stammen kan opladen. De chauffeurs van de uitrijdcombinaties (forwarders) zoeken echter niet altijd de voor vrachtwagens meest geschikte plek om het hout neer te leggen. Hierbij speelt een rol dat geprobeerd wordt om de oogstkosten minimaal te houden als oogst en transport niet door één partij uitgevoerd wordt.

De meeste oude ontsluitingswegen zijn onverharde zandwegen en hebben een ca. 3 meter brede rijbaan. De hoofdwegen zijn wat breder dan de ontsluitingswegen, maar meestal ook onverhard. De problemen met begaanbaarheid komen hier voor zowel bij grote droogte (los zand) als bij natheid (insporing). Vastzitten van vrachtwagens komt relatief veel voor op de momenten dat op deze smalle wegen met de houtvrachtwagens een haakse bocht gemaakt moet worden of een kruising overgestoken moet worden (vdWiel, pers. comm.).

Op kleipaden zijn de problemen met begaanbaarheid door houtvrachtwagens het grootst als de grond nat is en tractie ontbreekt. In de bossen in de Flevopolders, op kleigrond, zijn dunningspaden aangelegd om het hout te oogsten en met uitrijdcombinaties uit het bos te halen. De bospaden zijn in de Flevopolders vaak voorzien van een zandcunet om de begaanbaarheid onder natte omstandigheden te verbeteren. Deze paden worden alleen gebruikt door de uitrijdcombinaties om het hout uit het bos te halen en te verzamelen naast een halfverharde ontsluitingsweg. De houtvrachtwagens komen hier dus alleen op de wegen met halfverharding (grind, gebroken puin of grauwacker), die vaak ca. 5 meter breed zijn. Op deze wegen komt alleen insporing door houtvrachtwagens voor direct na aanleg van de wegen. Door versporen met de vrachtwagen of vlak maken met een shovel is dit te repareren. Na verloop van tijd, als de weg is gestabiliseerd, richten houtvrachtwagens geen schade meer aan (A. de Vries, pers. comm.). Het onderhoud aan deze wegen beperkt zich tot het aanbrengen van een nieuw laagje halfverharding als de oude verharding door ingereden blad en humus glad wordt.

Eerst verantwoordelijke voor het onderhoud en reparatie van boswegen is de bouseigenaar. De mogelijkheden om boswegen in de oude boswachterijen tegen lage kosten te verbeteren door aanbrengen van (gebiedsvreemde) (half)verharding zijn beperkt. Het kost veel tijd om de nodige vergunningen en een schoongrondverklaring te krijgen. Bovendien wordt het aanbrengen van halfverharding door het publiek en vaak ook door de bouseigenaar zelf om verschillende redenen als ongewenst gezien binnen het natuurlijke boscossysteem.

De veranderde hoofdfunctie van het Nederlandse bos (1. Natuurbehoud, 2. Recreatie, 3. Houtproductie) en de wijzigingen in de wijze waarop het hout verkocht, geoogst, vervoerd en verder verhandeld wordt zijn er een oorzaak van dat aan het onderhoud van de boswegen aanzienlijk minder gedaan wordt dan vroeger; blad wordt vaak niet meer verwijderd en opsnoeien van de bomen langs de wegen gebeurt onvoldoende. Het onderhoud is vaak beperkt tot het dichtschuiven van gaten in de wegen die bij de oogst zijn ontstaan. Een geïnterviewde houttransporteur (van

der Weide) zag onvoldoende opsnoeien van de bomen langs de boswegen als het grootste probleem omdat hierdoor schade ontstaat aan de vrachtwagen (rongen, cabine) en omdat de boswegen minder snel opdrogen bij drogend weer waardoor de begaanbaarheid afneemt.

Een ander genoemd probleem is dat de wegen waarop uitrijdcombinaties gewerkt hebben al ernstig beschadigd zijn voordat de houtvrachtwagens er op moeten rijden. Hoewel uitrijdcombinaties minder zwaar zijn dan houtvrachtwagens beschadigen deze voertuigen de boswegen ook. De oorzaken hiervan zijn vooral de wringende werking van de knikbesturing in combinatie met (hoge) nokken op de banden en een hoge bandspanning die nodig is om schade aan de banden door boomstronken te voorkomen. Ook tracks om de banden van de uitrijdcombinaties bieden geen oplossing voor schade aan boswegen (Jansen, 2008), wellicht met uitzondering van boswegen op kleigrond. De transportcapaciteit van uitrijdcombinaties is veel kleiner dan die van houtvrachtwagens. Het afleveren van het hout op een verder van de oogstlocatie gelegen 'magazijn', dat voor houtvrachtwagens makkelijk bereikbaar is, zou weliswaar een oplossing zijn om de schade aan boswegen door houtvrachtwagens te beperken, maar het uitrijden zou hierdoor duurder worden en de schade aan boswegen rondom de oogstlocatie zou mogelijk alleen maar groter worden. Een mogelijk voordeel van makkelijk bereikbare 'houtmagazijnen' in het bos zou wel zijn, dat de verschillende houtsoorten beter 'just in time' bereikbaar worden.

De boseigenaar bepaalt of uitrijdcombinaties (forwarders) en/of houtvrachtwagens in een bepaalde periode op de boswegen mogen rijden. Echter de mogelijkheden om goede (droge) omstandigheden voor oogst en transport uit te zoeken zijn ook voor de boseigenaren beperkt omdat er contractuele leververplichtingen kunnen zijn en er rekening gehouden moet worden met de bescherming van flora en fauna in het gebied (flora- en faunawet). De beperkingen zijn vastgelegd in een gedragscode zorgvuldig bosbeheer. De flora- en faunawet betekent in de praktijk dat de houtoogst stil ligt of zeer beperkt is tussen ca. 15 maart en 15 juli, hoewel de wet en de gedragscode wel mogelijkheden in die periode biedt. Het geoogste hout dat al klaar ligt om te laden mag in die periode wel vervoerd worden. Algemeen ingevoerd is de maatregel om alle boswegen af te sluiten voor vrachtverkeer als de bodem aan het opdoeien is. Door de harde ondergrond en de zeer zachte, natte toplaag zou op dat moment veel schade aan de wegen toegebracht worden.

Redenen die kunnen meespelen om het houttransport in dezelfde, vaak natte periode als de oogst uit te voeren zijn:

1. het verlies aan kwaliteit als het hout te lang geoogst ligt (voor sommige houtsoorten).
2. het feit dat (een deel van) de boswegen toch al beschadigd is door de uitrijdcombinaties.
3. de rondhout verwerkende industrie werkt niet seizoensgebonden. Er kan daarom sprake zijn van leverplicht, vooral als gewerkt wordt volgens het 'Just in time delivery' systeem.
4. door oogst en houttransport snel achter elkaar uit te voeren, kan de eerstvolgende droge periode gebruikt worden om de boswegen weer te repareren en voor het publiek bruikbaar en aantrekkelijk te maken. Op deze wijze blijft de periode van overlast zo beperkt mogelijk. In het algemeen gebeurt het repareren van de boswegen met een shovel.

In de praktijk (Wanningen, pers. comm.) wordt er toch het hele jaar door hout getransporteerd met een dip in de zomer door zomervakanties en het stilliggen van de houtoogst.

Samenvattend maken de vrachtwagens voor rondhout vervoer hoofdzakelijk gebruik van onverharde, vaak smalle zandwegen. De afstand van de laadplaats in het bos naar de geasfalteerde weg varieert van 0 tot 20 km. Een ruwe schatting van de gemiddelde afstand is 4 km.

De kwaliteit van de geasfalteerde wegen is in het algemeen goed. In Nederland kennen we geen zogenaamde B-wegen meer, waarvoor beperkingen golden. Sporadisch komen nog wel verharde openbare wegen met aslast-restricties voor, maar niet op de plaatsen waar houtvrachtwagens moeten zijn (Chris van der Weide, pers. comm.). De afstand die over de geasfalteerde weg afgelegd wordt naar de losplaats varieert uiteraard ook aanzienlijk. Een ruwe schatting voor de gemiddelde transportafstand over geasfalteerde weg is 120 km (enkele reis).

In Nederland zijn naar schatting ongeveer 100 vrachtwagens in gebruik voor rondhoutvervoer. Hiervan zijn er een aantal (ca. 10) waarmee langhout vervoerd kan worden. Een onbekend aantal is niet specifiek ingericht voor rond-

houttransport, maar deze wagens worden er wel mede voor gebruikt. Specifiek voor kort rondhout ingerichte houtvrachtwagens worden in het algemeen niet voor andere transporten gebruikt. De in Nederland gebruikte rondhoutvrachtwagens voor kort rondhout zijn typisch bakwagens met 1 stuuras en 2 aangedreven assen en een 3-assige aanhanger (Figuur 7). In Nederland is het maximaal toegestane gewicht van een combinatie 50 ton en de maximaal toegestane aslast 10 ton. In de praktijk wordt het maximale voertuiggewicht volledig benut. Het laadvermogen is daarbij ca. 27 ton. Voor transport naar België mag het maximale voertuiggewicht maar 44 ton zijn en voor transport naar Duitsland 40 ton. Rondhoutvrachtwagens rijden ongeveer 120.000 km per jaar. De voorwagens gaan 6-7 jaar mee en de aanhangers 15-18 jaar. De kostprijs van een voorwagen is ca. 180.000 euro en van een aanhanger 40.000 euro.

De banduitrusting van houtvrachtwagens varieert, maar de meeste vrachtwagens werken met enkele montering op de stuuras en dubbele montering op de aangedreven assen en de aanhangerassen. Bij een grote rondhouttransport-firma, van der Wiel te Drachten, worden de volgende bandtypen gebruikt:

Stuuras (enkel gemonteerd):	385/65R22,5	grip-profiel (Michelin XFN 2 Antisplash)
Aangedreven assen (dubbel gemonteerd):	13R22,5	on/off-roadprofiel (Michelin XYZ)
Aanhangerassen (dubbel gemonteerd):	275/70R22,5	multipurpose-wegprofiel (Michelin XZE 2+)



*Figuur 7. Vervoer van rondhout onder relatief natte omstandigheden met duidelijke insporing.*

Soortgelijke banden worden ook door van der Weide gebruikt. Bij beide benaderde vervoerders stond de bandspanning op 850 kPa (8,5 bar). Het argument voor deze relatief hoge druk is dat op de assen de maximale belasting kan komen te staan en dat daarom de bandspanning die voor de maximale belasting op de snelweg wordt aanbevolen wordt aangehouden. Volgens de Michelin bandentabellen zouden de bandspanningen bij (maximaal) 10 ton per as en 80 km/uur 770 kPa voor de aanhangerassen en 570 kPa voor de aangedreven assen mogen bedragen. De belasting van de stuuras is maximaal ca. 8 ton, waarbij de bandspanning bij 80 km/uur terug zou kunnen naar 790 kPa.

In Tabel 3 wordt een overzicht gegeven van de mogelijkheden voor verdere verlaging van de bandspanning als de snelheid beperkt wordt. De draagvermogens en technische gegevens worden gegeven voor 80, 30 en 10 km per uur bij de maximale aslast. Ook een grotere band voor de aanhanger (295/80R22.5), die eveneens vaak gebruikt wordt, is in Tabel 3 opgenomen. Uit de tabel blijkt dat bij een afname van de rijsnelheid van 80 naar 30 km/uur de mogelijke bandspanningsverlaging beperkt is. Het contactoppervlak neemt hierbij maar nauwelijks toe. De bandspanning mag sterker naar beneden bij een rijsnelheid van 10 km/uur. Daarbij hoort dan tevens een

toename van de afplating van de band en van het contactoppervlak. Door de keuze van zo groot mogelijke banden op de vrachtwagens worden de mogelijkheden voor banddrukverlaging aanzienlijk beter. Door de vervoerders wordt 10 km/uur als heel erg langzaam ervaren en is niet acceptabel, behalve in noodsituaties, als de vrachtwagen door een slechte plek heen moet.

*Tabel 3. Technische bandgegevens en mogelijke bandspanningen voor een maximaal beladen houtvrachtwagen bij een niet-optimale aslastverdeling waarbij 10 ton per trailer- of aandrijf-as kan voorkomen en 8 ton op de stuuras (Bron: Gegevens Michelin Nederland NV).*

Bandmaat	Belasting (kg)	Rijsnelheid (km/uur)	Breedte (mm)	Belaste straal (mm)	Contactoppervlak (cm <sup>2</sup> )	Bandspanning (kPa)
385/65R22,5 (stuuras)	4000	80	409	498	637	800
		30	409	497	643	790
		10	417	487	776	570
13R22,5 (aandrijf-as)	2500	80	341	524	620	570
		30	344	520	663	450
		10	351	510	767	340
275/70R22,5 (trailer-as)	2500	80	297	448	422	770
		30	300	448	427	690
		10	306	439	516	500
295/80R22,5 (trailer-as)	2500	80	326	490	521	670
		30	327	488	527	570
		10	334	478	629	420

De bandspanningen die in Zweden aanbevolen worden zijn voor aslasten van 7,5 tot 9 ton (Granlund, 2006a). Het is logisch dat voor aslasten van maximaal 10 ton, waar de Nederlandse vervoerders nu rekening mee houden, de bandspanningen hoger liggen dan in Zweden. Bij een voertuiggewicht van 50 ton (maximaal toegestaan) en 6 assen moet het echter mogelijk zijn om de aslasten te beperken tot maximaal 8 - 9 ton zonder in te leveren op het maximaal toegestane laadvermogen. De banddrukken van de aandrijf- en trailerassen kunnen dan bij 30 km/uur omlaag tot < 480 kPa (Tabel 4), waarbij een schadeverlagend effect op de boswegen en een betere mobiliteit verwacht mag worden. Verdere verlaging van de bandspanning tot minder dan 450 kPa is mogelijk als de snelheid verder beperkt wordt tot bijv. 25 km/uur.

In een aantal publicaties uit Canada (Bradley, 2002; Blair & Bradley, 2005) en Schotland (Munro & MacCulloch) worden op basis van specificaties van bandenfabrikanten combinaties van aslasten en (lage) bandspanningen genoemd, die niet mogelijk zijn volgens de specificaties die ten behoeve van dit rapport gegeven werden door Michelin Nederland. Het verdient aanbeveling verder te onderzoeken wat de achtergrond van deze verschillen is.

In de landbouw kan bij dezelfde inbouwbreedte met enkelgemonteerde, brede banden een lagere druk bereikt worden dan met dubbel gemonteerde relatief smalle banden. Voor vrachtwagens zijn de mogelijkheden (beschikbare brede banden) voor enkele montering beperkt. Bovendien werden verschillende redenen door de vervoerders aangevoerd om geen enkele montering op aandrijfassen en trailerassen te gebruiken: 1) bij lekke banden is dubbele montering voordeel, 2) enkel gemonteerde banden zakken eerder weg en/of glijden makkelijker van de paden af. De mogelijkheden van enkele montering van bredere banden zijn daarom niet verder onderzocht.



Tabel 4. *Mogelijke bandspanningen voor een maximaal beladen houtvrachtwagen bij een optimale aslast-verdeling van 8,5 ton per traileras, 9 ton per aandrijf-as en 6,5 ton op de stuuras (Bron: Gegevens Michelin Nederland NV).*

Bandmaat	Belasting (kg)	Toepassing	Rijsnelheid (km/uur)	Bandspanning (kPa)
385/65R22,5 (stuuras)	3250	Asfaltweg	80	660
		Bosweg	30	630
		Noodsituatie	10	450
13R22,5 (aandrijf-as)	2250	Asfaltweg	80	520
		Bosweg	30	390
		Noodsituatie	10	300
275/70R22,5 (trailer-as)	2125	Asfaltweg	80	660
		Bosweg	30	570
		Noodsituatie	10	430
295/80R22,5 (trailer-as)	2125	Asfaltweg	80	550
		Bosweg	30	480
		Noodsituatie	10	340

*Noodsituatie: slechte plekken in de weg.*

Volgens transporteur van der Weide uit Nieuweroord gaan vrachtwagenbanden ongeveer 180.000 km mee en op de aanhanger 300.000 km. Hoewel er mogelijkheden zijn om nieuw loopvlak op de banden te laten aanbrengen maakt van der Weide hier geen gebruik van en laat nieuwe banden monteren. Volgens van der Weide is er weinig verschil in levensduur tussen banden van houtvrachtwagens die veel op de snelweg rijden en banden die vaak op boswegen rijden mits de banden niet beschadigd worden door boomstronken e.d. Het rijden op slechte wegen heeft geen verhoogde bandenslijtage tot gevolg.

Van der Wiel geeft aan: aanhanger 250.000 km, trekker 200.000 km, stuuras 100.000 km. Kapotrijden van de banden komt weinig voor. Kapotrijden van de velg door een boomstomp (deuk in de velg), waarna de lucht uit de band loopt komt wel voor. Van der Wiel gebruikt stalen velgen omdat zij de gewichtsbesparing die bereikt kan worden relatief klein vinden.

Desgevraagd wist Chris van der Weide van het bestaan van CTIS af, maar was niet precies op de hoogte van de kosten en mogelijkheden. Op voorhand vond van der Weide het een bezwaar als op onze smalle boswegen lucht-slangen buiten de wielen uit zouden steken omdat het gevaar voor beschadiging dan erg groot zou zijn. Op de wegen in Zweden werd dit aanvankelijk ook als een bezwaar gezien, maar beschadigingen bleken in de praktijk erg weinig voor te komen (Granlund, pers. comm.).

Het brandstofverbruik van een geladen houtvrachtwagen is ongeveer 1 liter op 2 km snelweg en 1 liter op 1,8 km bosweg of binnenweg.

Schokken en trillen van de vrachtwagens komt vooral voor als het droog is (wasbord wegen) en als de combinatie op voldoende snelheid gehouden moet worden om door natte gaten heen te komen (van der Weide). Doordat met houtvrachtwagens op onverharde wegen wordt gewerkt zijn de jaarlijkse onderhoudskosten ca. € 15.000 hoger dan bij een vrachtwagen die alleen op de snelweg rijdt (van der Wiel). Om lichamelijk en andere effecten van trillingen en schokken te vermijden is bij van der Wiel de cabinevering aangepast.

Bij van der Weide komt het ca. 4 keer per jaar voor dat rondhoutvrachtwagens vast komen te zitten in het bos. Omdat het hout opgehaald wordt na de oogst zijn er meestal geen machines in de buurt om de combinatie weer los te trekken. Wat de chauffeur zelf kan doen is de aanhanger los te koppelen, alleen met de voorwagen weg te gaan

en het hout op een geschikte plek tijdelijk te lossen, terug komen en het hout op de aanhanger over te laden op de voorwagen. Met de beladen voorwagen wordt de lege aanhanger los getrokken. Naar schatting van der Weide kost het zelf redderen 1,5 tot 2 uur en het laten lostrekken 2 tot 3 uur. Dit laatste is sterk afhankelijk van de locatie in het bos en de beschikbaarheid van een zwaardere (landbouw) trekker of ander materiaal.

Bij van de Wiel (H. Koopman) komt naar schatting een houtvrachtwagen 4 keer per jaar zodanig vast te zitten dat er hulp nodig is om los te komen. Hier is een schatting dat de kosten voor het zelf oplossen zijn 1 uur à € 70,-. Schatting voor de kosten voor het lostrekken door shovel of kraan zijn 3 uur shovel à 70 euro en 3 uur vrachtwagen à 72 euro (totaal 426 euro). Van der Wiel streeft ernaar om al voor aanvang van het werk goede afspraken te maken over de plaatsen waar hout opgehaald wordt en is voorstander van een systeem met signalering van slechte weg-omstandigheden, zodat vastzitten vermeden wordt. Beide vervoerders zijn ook voorstander van een projectmatige aanpak van de oogst met 'rondhoutmagazijnen' langs een goed begaanbare weg, die door de uitrijdcombinaties gevuld worden, eventueel met behulp van rijplaten. Uitgangspunt moet wat betreft beide rondhoutvervoerders zijn goed onderhouden, begaanbare wegen voor de houtvrachtwagens, liefst met een halfverharding. Zij vrezen dat invoering van CTIS zal leiden tot nog minder onderhoud aan de boswegen en slechtere omstandigheden voor het rondhouttransport. Als CTIS kan helpen om schade aan eenmaal goed aangelegde wegen te voorkomen staat van der Wiel hier niet meteen afwijzend tegenover.

Bij intensief, langdurig gebruik van een centrale los/laadplaats worden wel eens uit voorzorg rijplaten neergelegd. Als de bosweg al sterk verslechterd is, moet eerst de slappe modder verwijderd worden voordat rijplaten uitkomst kunnen bieden. Dit maakt het dan een dure oplossing. In die situatie worden rijplaten daarom alleen als noodmaatregel toegepast.

De kosten voor rondhoutvervoer worden afgesproken per ton, m<sup>3</sup> of stère hout, afhankelijk van o.a. de afstand naar de afnemer, langere termijnafspraken en de marktsituatie. Bij van der Wiel worden de tarieven in principe berekend met een uurprijs van houtvrachtwagen + chauffeur van € 70.

De opbrengsten van hout worden bepaald door de markt. Indien de kosten van oogst en transport van rondhout omhoog zouden gaan komt dit uiteindelijk ten laste van de boseigenaar die het hout verkoopt. Als hierdoor andere kosten uitgespaard kunnen worden, zoals die voor herstel en onderhoud van boswegen zijn die hogere kosten beperkt toelaatbaar. Voor een aantal boseigenaars zou het bovendien bespreekbaar zijn om de kosten van hout-exploitatie (oogst plus transport) iets te laten oplopen ten gunste van de kwaliteit van de natuur en de recreatie-kwaliteit.

## 5. Potentiële toepassing van CTIS op Nederlandse houtvrachtwagens

Om te bepalen of CTIS voor Nederland interessant is moet gekeken worden of:

- 1) Toepassing van CTIS inderdaad zal leiden tot minder schade aan de boswegen en
- 2) De voordelen/baten opwegen tegen de nadelen/kosten.

### 5.1 Potentie van CTIS voor vermindering van schade aan boswegen

In Nederland zijn de boswegen hoofdzakelijk relatief smalle, onverharde zandpaden waarvan de hoofdpaden soms enige halfverharding hebben. Ook onverharde kleiwegen komen voor, maar in de Flevopolders zijn vaak relatief ruime, halfverharde wegen aangelegd op klei, waarlangs het hout voor de rondhoutvrachtwagens verzameld wordt.

Dit is een duidelijk verschil met de buitenlandse boswegen en secundaire wegen zoals die betrokken waren in de meeste studies van de effecten van CTIS, die of een halfverharding (gravel roads) of een dunne asfaltlaag hadden. Op deze wegen bleek CTIS voordelen te bieden zowel om schade (insporing) te voorkomen als ook om de trekkracht van de vrachtwagens te verbeteren. De bandspanningen waarbij dit gebeurde waren in de range van 340 tot 550 kPa voor de aangedreven assen en de trailerassen en 480 – 770 kPa voor de gestuurde as. Omdat de meeste Nederlandse zandboswegen minder draagkrachtig zijn dan de halfverharde wegen in het buitenland is het om effect van CTIS te krijgen waarschijnlijk nodig om lagere banddrukken toe te passen dan in het buitenland.

We weten dat op bodems waarop ook planten/bos moet groeien, afplatting van banden pas is te verwachten bij bandspanningen < 350 kPa (Weise, 2006). Op de onverharde, vaak relatief natte Nederlandse boswegen wordt geschat dat de sterkte van de weg ligt tussen die van landbouwgrond/bosgrond en halfverharde wegen en dat bandafplatting en daarmee effecten van verlaging van de banddruk op het schadeniveau van de weg merkbaar zullen zijn bij banddrukken lager dan 450 kPa (aandrijfassen en trailerassen).

Zonder in te leveren op het gewenste draagvermogen (10 ton per as) is dit met de gebruikte banden niet mogelijk als de snelheid beperkt wordt tot 30 km/uur. Bij 10 km per uur zou dit wel bereikbaar zijn, maar dit is te langzaam als reguliere snelheid op de boswegen; alleen om door slechte plekken heen te komen is 10 km/uur acceptabel. Het is daarom te verwachten dat CTIS in deze situatie niet tot vermindering van schade aan boswegen zal leiden.

Als men zich echter zou houden aan het maximale voertuiggewicht (50 ton) en de last goed verdeeld over de assen (max. 9 ton op de aandrijfassen, 8,5 ton op de trailerassen en 6,5 ton op de stuuras) zijn banddrukken van 390 kPa op de aandrijfassen en 480 kPa op de trailerassen mogelijk bij 30 km/uur. Hierbij mag wel een vermindering van schade op boswegen verwacht worden.

Op de Nederlandse smalle boswegen is versporen met de vrachtwagens vaak niet mogelijk waardoor slechte, natte plekken niet ontweken kunnen worden. De in het buitenland gesignaleerde verbetering van al beschadigde wegen door toepassing van CTIS, wordt daarom in Nederland niet direct verwacht.

Op basis van de verkenning wordt verwacht dat CTIS zal leiden tot minder schade aan de boswegen onder de volgende voorwaarden:

- dat de boswegen goed onderhouden zijn, zonder diepe gaten en slechte, natte plekken
- dat secundaire boswegen die voor rondhouttransport gebruikt worden niet meer eerst beschadigd worden door uitrijdcombinaties
- dat het maximaal toegestane voertuiggewicht van 50 ton goed verdeeld wordt over de assen, d.w.z. ongeveer 6,5 ton op de stuuras, 9 ton per aangedreven as en 8,5 ton per trailerassen

## 5.2 Verwachte baten en kosten van CTIS

Op basis van de verkenning worden de volgende baten voor de Nederlandse bosbouw verwacht door toepassing van CTIS op rondhoutvrachtwagens:

- a. Kostenbesparing op wegonderhoud door boseigenaren en verbetering van de kwaliteit van het bos voor recreatie doordat minder schade aan bosontsluitingswegen wordt toegebracht. Minder schade aan de boswegen zou ook kunnen betekenen dat het weer zinvol is om wat meer te investeren in de kwaliteit van de boswegen, bijvoorbeeld verbetering van de afwatering. De kosten van wegonderhoud bedragen volgens de index natuur, landschap en recreatie (prijspeil 2009) gemiddeld voor droog en vochtig productiebos ca € 12,50 per ha per jaar. De werkelijke uitgaven door Staatsbosbeheer waren ca € 2,00 per ha per jaar gemiddeld voor productiebos en natuurbos in de afgelopen 3 jaar. Daarin zijn niet de kosten meegerekend die houtkopers/houtvervoerders zelf hebben gemaakt om wegherstel na oogst en houtafvoer te realiseren. Het huidige onderhoudsniveau wordt in het veld als zeer onvoldoende beschouwd. Berekend op onderhoudskosten van € 12,50 per ha per jaar en een areaal bos waarin hout wordt geoogst van 240.000 ha (Oosterbaan et al, 2007) bedragen de totale jaarlijkse onderhoudskosten 3 miljoen euro per jaar. Onbekend is hoeveel de besparing op onderhoudskosten zal zijn als CTIS ingevoerd wordt. Als we de besparing bij uitrusting van 100 vrachtwagens met CTIS op een bescheiden 10% van de wegonderhoudskosten stellen, dan zou de besparing op onderhoudskosten in geld uitgedrukt € 300.000 per jaar zijn, d.w.z. 3000 per vrachtwagen per jaar.
- b. Secundaire boswegen zijn eerder/langer begaanbaar voor rondhoutvrachtwagens als schade door forwarders vermeden kan worden. Om dit voordeel te verwezenlijken kan het nodig zijn om ook de methode voor het uitrijden van het hout te verbeteren, bijvoorbeeld door het hout uit te rijden naar speciale centrale, laad/losplaatsen die door uitrijdcombinaties bereikbaar zijn zonder over wegen te rijden die ook door de rondhoutvrachtwagens gebruikt moeten worden. Langere begaanbaarheid van secundaire bospaden biedt voordelen voor alle bij de houtoogst betrokkenen omdat langer doorgedaan kan worden ondanks slechte omstandigheden.
- c. De genoemde baten onder a. en b. impliceren ook dat het bos beter toegankelijk blijft en de werkzaamheden beter geaccepteerd worden door recreanten en dat de duur van de overlast voor natuur en recreatie wordt beperkt. De baten van deze voordelen zijn niet eenvoudig in geld uit te drukken.
- d. Minder vaak vastzitten van de rondhoutvrachtwagens. Doordat de kwaliteit van de boswegen langer goed blijft, wordt de frequentie van vastzitten beperkt en door de lagere banddrukken, inclusief de emergency faciliteiten van CTIS (extreem lage banddrukken voor korte tijd) verbetert de tractie zodanig dat de vrachtwagens er onder slechte wegomstandigheden toch nog doorheen komen. Minder vaak vastzitten levert tijdwinst en kostenbesparingen op voor de vervoerder. De baten bij 3 keer minder vastzitten per jaar (zodanig dat de wagen losgetrokken moet worden) worden geschat op  $3 \times 425 = € 1275$  per auto. Voor 100 vrachtwagens is dit € 127.500 per jaar.
- e. Besparing op onderhoud aan de vrachtwagens. Het extra onderhoud doordat op onverharde wegen wordt gereden is geschat op € 15.000 per jaar. Als hierop door CTIS 5% bespaard zou kunnen worden zouden de baten € 750 per vrachtwagen per jaar zijn en 75.000 voor 100 vrachtwagens.
- f. Kunnen voldoen aan 'just in time' leveringscontracten door de rondhoutverkoper (boseigenaar of handel). De baten hiervan zijn moeilijk in geld uit te drukken.

Voor toepassing van CTIS worden naar schatting de volgende extra jaarlijkse kosten per vrachtwagen gemaakt:

- a. Afschrijving. De investering wordt geschat op € 16.000 (Bijlage III), de gemiddelde levensduur (trekker en trailer) op 10 jaar en restwaarde nul. De afschrijving is dan ca € 1600.
- b. Rentekosten:  $6\% \times € 8.000 = € 480$ .
- c. Onderhoud van het CTIS systeem: € 150.

In Tabel 5 zijn de geschatte jaarlijkse kosten en baten van CTIS, gemonteerd op 100 rondhoutvrachtwagens, in geld uitgedrukt weergegeven. Hierbij is verondersteld dat aan de voorwaarden voldaan is om de voordelen van CTIS tot zijn recht te laten komen. De kosten van CTIS komen in eerste instantie voor rekening van de vervoerder en de baten voor de hele bosbouwsector. Er wordt vanuit gegaan dat er goede afspraken gemaakt kunnen worden over

een verdeling van kosten en baten van CTIS over de verschillende betrokken partijen via de vervoerstarieven en oogstcontractonderhandelingen. In totaal wordt van de invoering van CTIS op houtvrachtwagens een batig saldo van € 279.500 voor de bosbouwsector verwacht en levert het voordelen op voor natuur en recreatie op het gebied van toegankelijkheid van het bos en acceptatie van houtoogstactiviteiten.

*Tabel 5. Geschatte jaarlijkse kosten en baten van CTIS, gemonteerd op 100 rondhoutvrachtwagens, voor de Nederlandse sector rondhoutproductie, uitgedrukt in euro.*

	Baten	Kosten
Onderhoud boswegen	300.000	
Minder vastzitten van vrachtwagens	127.500	
Minder reparatie/onderhoud vrachtwagens	75.000	
Kosten van CTIS op 100 vrachtwagens		223.000
<b>Totaal</b>	<b>502.500</b>	<b>223.000</b>
<b>Batig saldo</b>	<b>279.500</b>	



## 6. Conclusies en aanbevelingen

Op basis van literatuurstudie en gesprekken is een oordeel gevormd of het mogelijk is om via CTIS op rondhoutvrachtwagens schade aan boswegen te verminderen. Geschat wordt dat de schade die rondhoutvrachtwagens toebrengen aan de Nederlandse boswegen verminderd kan worden en de mobiliteit van de vrachtwagens kan verbeteren door toepassing van bandspanningen lager dan 450 kPa. Hierbij geldt dat hoe lager de bandspanning hoe minder schade aan de wegen en hoe beter de mobiliteit. Basis voor de bandspanning van 450 kPa is een inschatting van de sterkte van de Nederlandse boswegen. Er zijn geen metingen verricht om de sterkte van de wegen daadwerkelijk te bepalen.

Of bandspanningen lager dan 450 kPa technisch bereikt kunnen worden via een CTIS systeem hangt af van de aslast, de gebruikte banden en de snelheid waarmee gereden wordt. Bij een acceptabel lage snelheid van 30 km per uur op de boswegen, als de aslasten op de aandrijfassen en de trailerassen maximaal 10 ton en op de stuuras maximaal 8 ton moeten kunnen zijn, zoals aangegeven door de vervoerders, dan zijn de mogelijkheden om lager dan 450 kPa bandspanning te komen beperkt (Tabel 3). Echter, als het maximaal toelaatbare voertuiggewicht (50 ton) optimaal over de assen verdeeld wordt, dan zijn er wel goede mogelijkheden bij 30 km/uur (Tabel 4) en zeker bij 25 km/uur.

Een snelheid van ongeveer 10 km per uur is alleen acceptabel als noodmaatregel om door een slechte plek heen te komen. Bij deze snelheid kunnen bij een volbeladen vrachtwagen bandspanningen rond 300 kPa bereikt worden, waarbij de mobiliteit van de vrachtwagen op zandwegen aanzienlijk beter zal zijn dan bij de huidige bandspanningen van 850 kPa.

In de huidige situatie mag, afhankelijk van de boseigenaar/beheerder, tijdens opdooi (waterverzadigde bovenlag op een harde ondergrond) niet over de boswegen gereden worden. Tijdens opdooi is de natte bovenlaag dusdanig zacht dat ook CTIS geen oplossing zal zijn om in de situatie van opdooi toch over de boswegen te kunnen blijven rijden.

Verdere voorwaarden voor het bereiken van minder schade aan de boswegen door toepassing van CTIS op houtvrachtwagen zijn:

- dat de boswegen goed onderhouden zijn, zonder diepe gaten en slechte, natte plekken
- dat secundaire boswegen die voor rondhouttransport gebruikt worden niet meer eerst beschadigd worden door de uitrijdcombinaties waarmee het hout uit het bos gehaald wordt

De toepassing van CTIS is het meest succesvol als eerst zorg is gedragen voor goed aangelegde en onderhouden wegen. Hierbij is het vooral van belang dat de afwatering in orde is zodat er geen plasvorming of waterverzadiging van de bodem ontstaat. Door opsnoeien van begroeiing langs de wegen kan de bosweg mogelijk sneller opdrogen en daardoor vaker goed berijdbaar zijn.

Het zou aanbeveling verdienen om na te gaan of CTIS op uitrijdcombinaties haalbaar en zinvol is; een hoge druk in het bos waar gevaar op bandschade bestaat en een lage druk op de boswegen die ook door vrachtwagens gebruikt worden.

Door de transportsector wordt aangegeven dat de meest ideale situatie ontstaat wanneer er grote centrale houtverzamelplaatsen nabij doorgaande wegen worden gecreëerd. Houtvrachtwagens hoeven dan niet meer over slechte wegen te rijden. Nadeel hiervan is dat de forwarders grotere afstanden dan nu moeten gaan afleggen. Een tussenoplossing kan zijn als de forwarders het hout vanuit het bos langs de bosweg kunnen leggen, d.w.z. zonder op de bosweg hoeven te rijden.

Uit een vergelijking van kosten en de baten wordt geschat dat CTIS op rondhoutvrachtwagens een financieel haalbare optie is om schade aan goed onderhouden boswegen te voorkomen, mits voldaan wordt aan de voorwaarden waaronder vermindering van schade zal optreden.

De kosten van CTIS (€ 223.000 per jaar voor 100 vrachtwagens) komen in eerste instantie voor rekening van de vervoerders en de geschatte baten voor de hele bosbouwsector (€ 502.000 per jaar). Er wordt vanuit gegaan dat er goede afspraken gemaakt kunnen worden over een verdeling van kosten en baten van CTIS over de verschillende betrokken partijen via de vervoerstarieven en oogstcontractonderhandelingen. In totaal wordt van de invoering van CTIS op houtvrachtwagens een batig saldo van € 279.500 voor de bosbouwsector verwacht en levert het voordelen op voor natuur en recreatie op het gebied van toegankelijkheid van het bos en acceptatie van houtoogstactiviteiten.

De perspectieven van CTIS op rondhoutvrachtwagens in Nederland zijn zodanig positief dat aanbevolen wordt om CTIS onder Nederlandse omstandigheden uit te testen. Een betere vaststelling van de kosten en baten van CTIS zou deel uit moeten maken van deze testen. Veel kennis over CTIS op vrachtwagens voor rondhoutvervoer is al aanwezig bij 'Tire Pressure Control International' ( <http://www.tirepressurecontrol.com/forestry.php> ), die een vertegenwoordiger in Zweden hebben. TPCI zou daarom een waardevolle partij zijn om bij de testen te betrekken.

Een andere, wellicht voordeliger wijze om CTIS in Nederland te testen is om op enige wijze aan te sluiten bij een onderzoek dat in 2009 gaat lopen in Duitsland. Dit onderzoek wordt uitgevoerd door het IFA (Institut für Forstliche Arbeitswissenschaft und Verfahrenstechnologie) in Göttingen, in samenwerking met TPG, een Duitse fabrikant van CTIS systemen, en Richard Witte, een Duitse rondhoutvervoerder ([www.cti-holz.de/index.html](http://www.cti-holz.de/index.html)). TPG maakt vooral CTIS systemen voor de landbouw. Tot voor kort werd TPG vertegenwoordigd in Nederland door Brotec, maar deze firma is daarmee gestopt. Mogelijk kan de combinatie die in Duitsland uitgerust wordt met CTIS ook enige tijd onder Nederlandse omstandigheden getest worden.



## 7. Literatuur

- Anonymous, 2008.  
Index Natuur, Landschap en Recreatie. Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten, De Landschappen, Unie van Bosgroepen, Federatie Particulier Bezit.
- Anonymous, 2008.  
Kerngegevens Bos en Hout in Nederland. Stichting Probos, Wageningen, 12 pp.
- Blair, C., 2001.  
Extending hauling operations on thawing roads by using road-friendly technologies. Proceedings, International Mountain Logging and 11<sup>th</sup> Pacific Northwest Skyline Symposium, 2001: 152-161.
- Blair, C.W. and A.H. Bradley, 2005.  
Demonstration of improved mobility offered by optimized tire pressures for B-train log trucks in Saskatchewan field conditions. Forest Engineering Research Institute of Canada, Vancouver, 16 p.
- Bradley, A.H., 1993.  
Testing a central tire inflation system in western Canadian log-hauling conditions. Forest Engineering Research Institute of Canada, Vancouver, Technical Note 197, 11p. (Referentie genoemd door Brown and Sessions, 1999).
- Bradley, A.H., 2002.  
A comparison of Soil Impacts from Oilfield Vacuum Trucks Equipped with TIREBOSS TPCS and Conventional Dual Drive Tires vs. Flotation Drive Tires. Final Report. 13 pp.
- Brown, C. and J. Sessions, 1999.  
Variable tire pressures for tropical forests? 'Synthesis of concepts and applications'. In: Research on environmentally sound forest practices to sustain tropical forests. Electronic document, FAO, Rome.
- Bulley, B. and C. Blair, 2001.  
Using Reduced Tire Pressure for Improved Gradeability – A Proof of Concept Trial. Proceedings, International Mountain Logging and 11<sup>th</sup> Pacific Northwest Skyline Symposium 2001: 162 – 167.
- Dirkse, G.M., W.P. Daamen, H. Schoonderwoerd, M. Japink, M. van Jole, R. van Moorsel, P. Schnitger, W.J. Stouthamer en M. Vocks, 2007.  
Meetnet Functievervulling bos 2001-2005. Vijfde Nederlandse Bosstatistiek. Ministerie van LNV, Directie Kennis, Rapport DK nr. 2007/065, 95 pp.
- Folz, R.B. and W.J. Elliot, 1998.  
Measuring and modelling impacts of tyre pressure on road erosion. In: Proceedings of the Seminar on Environmentally Sound Forest Roads and Wood Transport, Sinaia, Romania. Electronic document, FAO, Rome.
- Folz, R.B., 1994.  
Sediment Reduction from the use of Lowered Tire Pressures. SAE Technical Paper 942244.
- Granlund, P., 2006a.  
CTI på virkesfordon (CTI on roundwood haulage vehicles). Skogforsk, Uppsala, Sweden, Redogorelse nr. 3 2006, 40 pp.
- Granlund, P., 2006b.  
Five million km covered in CTI project. Skogforsk, Sweden, Results from Skogforsk no. 4 2006, 4 pp.
- Head, K.H., 1982.  
Manual of Soil Laboratory Testing. Pentech Press Ltd., Plymouth, UK.
- Hodges, H.C. et al., 1987.  
Nevada Automotive Test Centre final report: Central tire inflation. USDA Forest Service, San Dimas, Ca. Rpt 53-9JA9-6-SD647,82 pp. (Referentie genoemd door Brown and Sessions, 1999).
- Jansen, P., 2008.  
Werk stil leggen of tracks? Vakblad Natuur, Bos, Landschap 5: p 6-8.
- Keller, R.R., 1993.  
Operational testing of central tire inflation systems proves the benefits of low tire pressure in logging operations. SAE Technical Paper 933056, 6 pp.

- Lach, B., 1999.  
Individual tire inflation management for multi-axle vehicles. Proc. 13th ISTVS conference, München.
- Mahoney, J.P., B.R. Sweet, R.L. Copstead and R.R. Keller, 1994.  
The potential use of central tire inflation during load restriction periods. SAE Technical Paper 942245. SP-1061.
- Munro, R. and F. MacCulloch, 2008.  
Tyre pressure control on timber haulage vehicles. Some observations on a trial in Highland, Scotland. Munroconsult and Forestry Commission Scotland, Roadex III Publication, 74 pp.
- Oosterbaan, A., C.A. van den Berg en M.J. Schelhaas, 2007.  
Ontwikkelingen in vraag en aanbod van rondhout in Nederland en aangrenzend gebied en mogelijke knelpunten en kansen voor bos- en houtsector in de periode 2005-2025. Alterra, Wageningen, rapport nr. 1510, 108 pp.
- Owende, P.M.O., 2005.  
Envirogentle timber extraction and transport system in sustainable forest management. University College Dublin, Agriculture and Food Science, Faculty of Agriculture, Research Report 1998-1999, 3pp.
- Perdok, U.D. en W.B.M. Arts, 1986.  
Het landbouwbandenboek. Stichting Landbouwmechanisatie-pers, Wageningen, 42 pp.
- Pytka, J., J. Dabrowski, M. Zajac and P. Tarkowski, 2006.  
Effects of reduced inflation pressure and vehicle loading on off-road traction and soil stress and deformation state. Journal of Terramechanics 43: 469-485.
- Ritchie, J., 2008.  
Tyre Pressure Control. An investigation into how reducing tyre pressures could increase efficiency and effectiveness of timber haulage. Source: www.timbertransportforum.org.uk (Knowledge bank) .
- Schultz, G.R., 1992.  
CTIS as a vehicle performance enhancer. SAE Technical Paper Series, No. 920828, 6 pp.
- Spreen, B. Powerpoint presentation.  
Variable Tire Inflation Technology. TPC-International Ltd, Edmonton, Canada.
- Steward, J.E., 1994.  
Tire pressure control through central tire inflation- The lightest foot on the road. Paper, 1994 Int. Road Federation Conference, Calgary, Alberta, 21 pp. (Referentie door Brown and Sessions, 1999).
- Sturos, J.A., D.B. Brumm and A. Lehto, 1995.  
Performance of a logging truck with a central tire inflation system. USDA, Forest service, North Central Forest Experiment Station, St. Paul, Research Paper NC-322, 10 p.
- Vermeulen, G.D. and J.J. Klooster, 1992.  
The potential of a low ground pressure traffic system to reduce soil compaction on a clayey loam soil. Soil & Tillage Res. 24: 337-358.
- Vermeulen, G.D. and U.D. Perdok, 1994.  
Chapter 19. Benefits of Low Ground Pressure Tyre Equipment. In: Soane, B.D. and Ouwerkerk, C. van (editors) Soil Compaction in Crop Production. Developments in Agricultural Engineering. Elsevier, Amsterdam: 447-478.
- Vermeulen, G.D. en B.R. Verwijs, 2007.  
Inventarisatie van beschikbare techniek voor oogst en transport met lage bodemdruk. Plant Research International, Wageningen, PRI rapport 163, 48 p.
- Weise, G., 2006.  
Assessing the soil impact of wheels and tracks of self propelled forest machines. Proc. 17<sup>th</sup> Conf. of the Int. Soil Tillage Res. Org., 28th Aug. – 3th Sept. 2006, Kiel, Germany, CD-ROM, pp 65-73.

# **Bijlage I.**

## **Benaderde personen**

De volgende personen hebben via een gesprek en/of e-mail informatie aangedragen voor dit project:

Kees Boon, AVIH, Houten

Tim Graafland, Parenco Hout bv

Rob Niezen, Staatsbosbeheer, Houtoogstmanager Regio Oost

Chris van der Weide, Rondhouttransporteur, Nieuweroord

Bertram Tigges, Pösges & Tigges GmbH, PTG Reifendruck-Regelsysteme, Neuss, Duitsland

Henk Wanningen, Staatsbosbeheer, Programmamanager biomassa en klimaat.

Arjen de Vries, Staatsbosbeheer, Houtoogstmanager Flevopolders

Harm Koopman, manager houtvrachtwagens, van der Wiel transport, Drachten

Jos Swint, Michelin Nederland NV, Drunen, Product Manager Truck Tyres.

Paul Granlund, Zweden, vertegenwoordiger Tire Pressure Control International (Tireboss) voor West Europa

Fred Mijnten, Staatsbosbeheer, Beleidsmedewerker economische zaken.



## Bijlage II.

# Banddrukregelsystemen

**PTG PÖSGES & TIGGES GmbH (Breite Straße 6-8, D-41460 Neuss, Duitsland, Telefon: 00 49 - (0)2131 - 120 122, E-mail: ptg@ptg.info)**

### *STIS – Semi-automatic Tyre Inflation System*

Met het STIS – systeem kan de druk in alle banden van een stilstaand voertuig worden gewijzigd (oppompen en aflaten). Voor de luchtvoorziening wordt gebruik gemaakt van de luchtketel en compressor van het remsysteem. Tussen luchtketel en de leidingen is een drukmeter en regelventiel geplaatst. Bij dit systeem worden spiraalleidingen middels snelkoppelingen gekoppeld en ontkoppeld van de ventielen van de banden. Zodra de vooraf ingesteld druk is bereikt, stopt het automatisch. De spiraalleidingen worden wanneer niet in gebruik opgeborgen in kokers. Voor elke band of set banden is een aparte koker. Er zijn bij dit systeem Omdat

Kenmerken van het STIS systeem zijn:

- Eenvoudig te monteren en te bedienen
- Zeer lage onderhoudskosten
- Geen verlies van bandenspanning bij lekkende koppeling
- Geen roterende onderdelen
- Geen elektrische en/of elektronische componenten
- Geen aanpassingen aan de assen nodig

Benodigde tijd voor het gelijktijdig oppompen of aflaten van 8 banden (365/85 R20) bij een MAN 8x8 met een compressor met 2 zuigers is ongeveer:

Aflaten van 6 naar 3 bar: 90 seconden

Oppompen van 3 naar 6 bar: 5 minuten

Tijd benodigd voor aan en afkoppelen slangen: 20 seconden per band

### *AIRBOX drive/2 leidingen systeem Central Tyre Inflation System*

Bij het AIRBOX drive/ tweeleidingsysteem kan de banddruk van alle banden van een rijdend voertuig gewijzigd worden (oppompen en aflaten). Het systeem bestaat uit een hoofd- en stuurleiding die beiden buitenom de banden werkt. De leidingen worden vastgemaakt aan het frame en spatborden. De stuurleiding wordt gebruikt om een terugslagklep bij de band 'open' te zetten zodat lucht in of uit de band gelaten kan worden. Wanneer er niet gepompt of afgelaten wordt is het systeem drukloos. Hiermee wordt voorkomen dat er (draaiende)afdichtingen constant onder druk staan waardoor er extra slijtage optreedt. In basis uitvoering wordt voor alle banden van het voertuig met dezelfde druk gewerkt. Het systeem kan uitgebreid worden met aparte regeling voor de stuuras, de aandrijf-as of de aanhangeras(sen). Bij oppompen of aflaten wordt, zodra de vooraf ingesteld druk is bereikt, automatisch gestopt. Tussentijds kan het oppompen / aflaten onderbroken worden. De bediening wordt handmatig of als optie elektronisch geregeld.

De tijd die nodig is voor een 4x4 met bandenmaat 14.00 R20 is ongeveer:

Aflaten van 7 naar 4 bar: 3 minuten

Oppompen van 4 naar 7 bar: 6 minuten

**Roadranger (een werkeenheid van DANA en EATON; Headquarters Location - 13100 E. Michigan Avenue, Galesburg, MI 49053, USA; Mailing Address - PO Box 4013, Kalamazoo, MI 49003, USA)**

### *Controle systemen*

Heeft in het programma een Tire Pressure & Monitoring System. Met een sensor in de band op de velg wordt constant de bandspanning en temperatuur gemeten. De gegevens worden draadloos naar een display gezonden. Wanneer er een afwijking wordt geconstateerd kan de bestuurder handmatig actie ondernemen.

Daarnaast is er een Tire Inflation & Monitoring system. Hierbij wordt de bandspanning constant gecontroleerd en wordt automatisch de band op een vooraf ingestelde spanning gehouden. Hiervoor is wel een permanente leiding naar de wielen gemonteerd. Indien er geen lucht in de banden gepompt hoeft te worden, staan de luchtdrukleidingen niet onder spanning.

#### *Controle en wijzigen van de bandspanning*

##### Spicer® TPCS (Tire Pressure Control System)

Bij het Spicer® TPCS systeem wordt zowel bij aangedreven als niet aangedreven assen gebruik gemaakt van een inwendig leidingensysteem. De leidingen gaan hierbij door de holle assen. Aan de buitenkant wordt de luchtleiding gesplitst voor de dubbellucht wielen. Op elke asstomp met 1 of 2 banden is een ventiel gemonteerd wat gesloten wordt als de band lek raakt of een luchtleiding kapot gaat. Hiermee wordt voorkomen dat de andere banden dan ook leeglopen. Ook is dit ventiel gesloten als de banden niet worden opgepompt of worden afgelaten. Hiermee wordt voorkomen dat de (draaiende) delen/afdichtingen constant onder luchtdruk staan en zodoende meer aan slijtage onderhevig zijn.

Het elektronisch regelen van de bandspanning werkt met 6 standaard instelling. Hierbij wordt 'Geladen' en 'Leeg' gecombineerd met 'Snelweg', 'Terrein' en 'Noodsituatie'. Deze laatste instelling kan worden gebruikt wanneer het voertuig dreigt vast komen te zitten, bij (steile) hellingen en in extreem slechte situaties waar de vrachtwagen zonder hulp niet door heen zou kunnen komen. Het TPCS systeem is geïntegreerd met de snelheidsmeting van de vrachtauto waardoor er, wanneer sneller gereden wordt dan toelaatbaar voor de ingestelde bandspanning, de banden automatisch worden opgepompt. Het TPCS systeem maakt ook gebruik van het luchtremstelsel van de vrachtwagen waarbij wanneer zowel gepompt als geremd wordt, er voorrang wordt gegeven aan het remstelsel.

##### Spicer® CTIS (Central Tire Inflation System)

Het CTIS systeem is het TPCS systeem maar is geïntegreerd met de bediening van snelheid, schakelen, differentieel en ABS. Hierbij wordt ook op vooraf ingestelde intervallen de bandspanning gecontroleerd en eventueel automatisch bijgesteld. De controle van de bandspanning en het regelen van de bandspanning kan per as of per groep van assen ingesteld worden.

Het aflaten van spanning met 300 kPa naar 150 kPa (van 90 psi naar 45 psi) gaat bij een 11R24.5 band in ongeveer 2 minuten

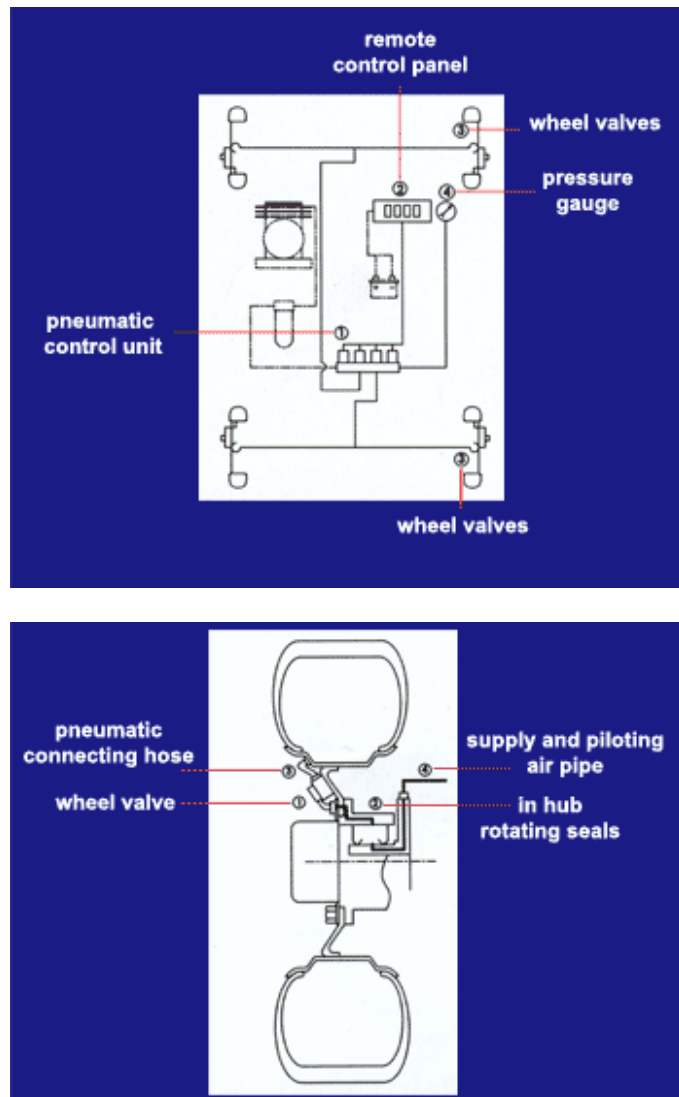
**SYEGON (11 Bd de Valmy, 42300 Roanne, FRANCE, tel: (33) 04-77-23-68-90, fax: (33) 04-77-23-68-91, e-mail: [contact@syegon.com](mailto:contact@syegon.com)**

Syegon heeft 4 systemen van Central Inflation System

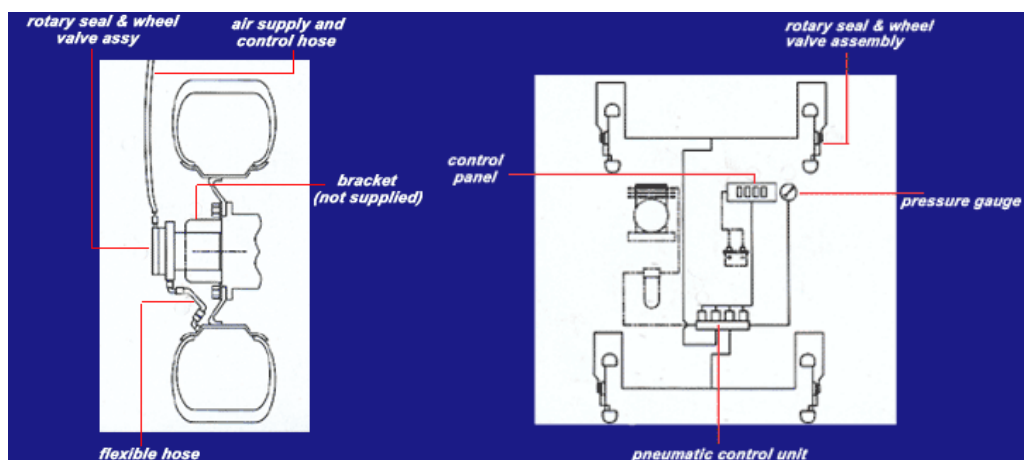
- Long Distance Rally Model
- Syegon III
- Syegon III S
- Dakar 2000

Alle vier de systemen werken met elektronische aansturing van een perslucht verdeelunit. Afhankelijk van het systeem wordt de gewenste bandspanning vooraf ingesteld en wordt het oppompen cq aflaten geheel automatisch uitgevoerd. Bij eenvoudigere systemen is alles volledig handwerk.

De systemen Long Distance Rally Model, Syegon III en Syegon III S werken met de leidingen door de as en wielnaven en een korte leiding door de wielschijf naar het ventiel (Figuur II-1). Het systeem Dakar 2000 werkt met een externe leiding (Figuur II-2). Standaard worden de systemen geleverd voor 8 wielen; uitbreiding is op aanvraag mogelijk.



Figuur II-1. De diverse componenten in het aansluitschema van CTIS (boven) met de leidingen door de assen/wielnaven (onder).



Figuur II-2. CTIS met leidingen buitenom de wielen. Leidingen worden o.a. gemonteerd aan de spatborden.

### **AIR CTI (120 Walhalla Road, Moe Victoria 3825 Australia)**

Het systeem van AIR-CTI werkt, zowel bij aangedreven assen als bij stuurassen, met leiding die buiten om de wielen gaan. Het systeem is vergelijkbaar met de onderste afbeelding van Figuur II-2 en werkt vanaf de bedieningskast met een hoofdleiding met de diverse aftakkingen naar de wielen. CTI van AIR bestaat uit een bedieningskast, een drukmeter, een vochtafscheider, de pijpen en slangen voor aansluiting naar de rotor op de wielnaaf, de slangen vanaf de rotor naar het ventiel, een slangbreukbeveiliging en een ventiel wat geplaatst wordt tussen de luchtketel en het CTI regelventiel. Op de bedieningskast wordt de druk handmatig ingesteld afhankelijk van de omstandigheden. Het basissysteem voor het regelen van de bandspanning voor het gehele voertuig kan uitgebreid worden met regeling voor afzonderlijke assen (stuurass, aandrijfassen) en aanhangerassen).

De slangbreukbeveiliging zorgt bij dit systeem met een hoofdleiding vanaf de bedieningskast ervoor dat, wanneer een van de leidingen naar de wielen beschadigt raakt, niet alle banden leeglopen. Het ventiel wat geplaatst wordt tussen de luchtketel en het CTI regelventiel zorgt ervoor dat wanneer de banden opgepompt worden en er gelijktijdig geremd moet worden, er voorrang wordt gegeven aan de luchtstroom naar het remproces.

### **TPG TIREBOSS Tire Pressure Control International Ltd.**

**Corporate Office, 15803 - 121A Avenue, Edmonton, Alberta, Canada T5V 1B1**  
**Phone: (+1) 780-451-4894, Fax: (+1) 780-452-6786, Email: info@tireboss.com**

TPG Tireboss levert één systeem waarbij zowel aangedreven wielen als wielen van stuurass(en) bediend kunnen worden. Er vindt vrijwel geen montage plaats op niet aangedreven wielen van bijvoorbeeld aanhangers. Bij de aangedreven ass(en) worden de leidingen buitenom de wielen geleid. Bij de stuurassen wordt gewerkt met leidingen langs de assen. Het systeem kan toegepast worden voor 1 tot 3 aparte bandgroepen en tot 10 assen met totaal 38 banden. Voor elke groep kan de bandspanning apart ingesteld worden. Voor het oppompen wordt gebruikt gemaakt van het luchtremstelsel wat al standaard op de vrachtauto is gebouwd. Wanneer er banden worden opgepompt en er moet gelijktijdig geremd worden dan wordt er voorrang gegeven aan luchttoevoer naar het remstelsel.

Door het elektronisch controlesysteem wordt de bandspanning constant gecontroleerd en waarschuwt wanneer de bandspanning te laag wordt. Ook wordt gewaarschuwd als de snelheid van het voertuig te hoog wordt voor de ingestelde bandspanning. De gegevens worden met behulp van een datalogger vastgelegd.

Enkele technische van het Tireboss systeem zijn

- Maximale luchtdoorlaat 2124 l/min
- Maximaal te bereiken bandspanning 8,3 bar (mede afhankelijk van capaciteit luchtremstelsel)
- Nauwkeurigheid van meetstelsel: +/- 0,15 bar van actuele bandspanning
- Gewicht van basis systeem: 66 kg

### **BIGFOOT Innovative Transport Equipment Ltd, 22 Hyland Crescent - Rotorua - New Zealand, Phone +64 7 347 7066, Fax +64 7 347 2702**

Bij het BIGFOOT systeem wordt ook lucht gebruikt van het luchtremstelsel wat al aanwezig is op de vrachtauto. Het remstelsel heeft voorrang wanneer gelijktijdig geremd en gepompt wordt.

De leverancier werkt met leidingen buitenom de wielen waarbij de leidingen vastgezet worden aan het frame en de spatborden. Op de asstompen zit een verdeler naar de binnen en buitenband bij een as met dubbele montering.

De elektronische aansturing kan op 4 instellingen geprogrammeerd worden afhankelijk van het gewicht van de lading en de rijnsnelheid. Er is geen instelling of regeling voor aparte asgroepen of set van wielen.



## Bijlage III.

### Schatting van kosten voor CTIS systeem

Op basis van een prijsopgaaf en werkplaatsureschatting voor installatie van een Tireboss systeem op een Volvo FH12 6x4 combinatie, gemaakt door Paul Granlund van TPC International [paul.granlund@glbt.se], werden de kosten van CTIS als volgt geschat:

#### Aannamen:

Werkplaatskosten €60 per uur incl. BTW

Stilstandkosten Truck met trailer €300 per dag.

De vrachtwagen heeft geen 'hub reduction' en luchtvering

Opbouw op bestaande vrachtwagen, zonder fabrieks-voorgeboorde trailerassen.

#### Kosten truck:

Tireboss systeem	€	8.550
Inbouwkosten, 24 uur	€	1.440
Speciale boringen voor stuuras	€	300

#### Kosten trailer:

Tireboss systeem	€	2.300
Inbouwkosten, 20 uur	€	1.200

Vrachtkosten Canada-werkplaats: € 550

Invoerrechten 3%: € 350

Kosten stilstand truck+trailer, 5 dagen € 1.500

Totaal € 16.190

- Voor een nieuwe trailer met fabrieksvoorgeboorde assen zijn de kosten ca. 1000 euro lager.

