



**NIBIO**

NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

# Variabelt dekktrykk for tømmerbiler

Effekt på fremkommelighet, vegslitasje og økonomi

NIBIO RAPPORT | VOL. 9 | NR. 150 | 2023



Helmer Belbo

NIBIO, divisjon Skog og utmark, avdeling Driftsteknikk og teknologi.

## TITTEL/TITLE

Variabelt dekktrykk for tømmerbiler - Effekt på fremkommelighet, vegslitasje og økonomi

## FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Helmer Belbo

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKT NR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
12.12.2023	9/150/2023	Åpen	10575	20/00973
ISBN:		ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:
978-82-17-03393-6		2464-1162	22	0

## OPPDRAKSGIVER/EMPLOYER:

NIBIO

## KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Helmer Belbo

## STIKKORD/KEYWORDS:

Tømmertransport, variabelt dekktrykk, CTI, vegslitasje

Central Tyre Inflation (CTI), Wood transportation, road wear

## FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Driftsteknikk og logistikk

Forest operations and logistics

## SAMMENDRAG/SUMMARY:

Gjennom prosjektet «Variabelt dekktrykk for tømmerbiler» er et system som gir tømmerbilføreren anledning til løpende regulering av dekktrykket etter hjulbelastning og kjøreforhold testet ut. Videre er det gjort analyser av vegslitasje og fremkommelighet, samt økonomiske effekter systemet kan få for både virkestransportør, skogsveg-eier og skogindustri. Denne fagrapporten summerer opp kunnskapsstatus for konseptet, presenterer resultatene fra prosjektet, og gir forslag til videre arbeid på tematikken.

Bruk av dekktrykkregulering kan tillate større virkesbil-lass på offentlige veger med aksellastbegrensninger, gi jevnere virkestransport i våte perioder, og redusere vegvedlikeholdskostnadene på skogsveg. Bedre friksjon på vinterføre gir også bedre fremkommelighet, og kan muliggjøre virkestransport på en del av veiene som per i dag kun kan benyttes i barmarksesongen. Samlet kan aktiv bruk av dekktrykkregulering på tømmerbiler redusere kostnadene til transport og vegvedlikehold med anslagsvis 5 – 7 kr per m<sup>3</sup>.

Virkestransportøren har likevel små økonomiske incentiver til investering i dekktrykkregulering. Derfor er det også lite sannsynlig at virkestransportørene vil investere i slike systemer om ikke en tilstrekkelig andel av de økonomiske fordelene ved systemet kanaliseres til virkestransportøren.

## GODKJENT /APPROVED

Bjørn Håvard Evjen

## PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

Helmer Belbo

NAVN/NAME

NAVN/NAME



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

# Sammendrag

Dekktrykkregulering («Central Tyre Inflation» - CTI) er et system og en teknologi som gjør det enkelt å tilpasse dekktrykket til varierende føreforhold og bæreevne. Gjennom prosjektet «Variabelt dekktrykk på tømmerbiler» er systemet testet ut i Norge. Det gjort analyser av vegslitasje og fremkommelighet, samt 5 års / 300000 km utprøving av systemet på drivhjulene på en tømmerbil og gjennom en vinter og vår med systemet på alle hjul. Det er gjort analyser av det økonomiske potensialet ved bruk av systemet og en gjennomgang av kunnskapsstatus rundt bruken av slike systemer. Det er også utviklet et kalkyleverktøy som kan brukes som beslutningsstøtte ved økonomiske vurderinger av CTI-systemet. Denne fagrapporten summerer opp kunnskapsstatus for konseptet, presenterer resultatene fra prosjektet, og gir forslag til videre arbeid på tematikken.

Bruk av CTI på tømmerbiler har potensiale til å redusere kostnadene til transport og vegvedlikehold med anslagsvis 5 – 7 kr per m<sup>3</sup>. Dette kommer av at systemet kan muliggjøre fulle virkesbil-laster på offentlige veier med aksellastbegrensninger, bedre maskinutnyttelse i teleløsning og våte perioder og redusert behov for vegvedlikehold på private skogsveier. Andre fordeler er redusert behov for virkeslaster på industritomt før teleløsning, bedre førermiljø, bedre fremkommelighet og mindre behov for bruk av kjetting på tømmerbilen. Tidligere analyser i Sverige antyder en samlet netto gevinst i størrelsesordenen 4 SEK per m<sup>3</sup> for all virkestransport om 30% av tømmerbilflåten går med CTI. Her til lands har vi større andel myke og bratte veier enn i nabolandet. Dermed er det derfor også logisk at oppsiden er enda større og bruken enda mer lønnsom i Norge.

Forsøk på vinterføre indikerer at redusert dekktrykk øker friksjonen med om lag 12-15%. Praktiske erfaringer tilsier også vesentlig bedre veg-grep med redusert dekktrykk på vinterføre. Om dette kan bekreftes også for ekstra utfordrende vinterforhold (våt is, snøslaps) og med varierende grad av hjulslipp, vil det kunne åpne for vintertransport på en del veier som per i dag er klassifisert kun for sommertransport.

Bruk av CTI gir per i dag økte kostnader for virkestransportøren og reduserte kostnader til øvrige ledd i forsyningskjeden, med reduserte vedlikeholdskostnader på offentlig og privat vegnett og jevnere flyt i virkesforsyningen. Transportøren har små økonomiske incentiver til å ta investeringen. Derfor er det også lite sannsynlig at virkestransportørene vil investere i slike systemer om ikke en tilstrekkelig andel av de økonomiske fordelene ved systemet kanaliseres til virkestransportøren.

# Forord

Prosjekt Variabelt dekktrykk for tømmerbiler har hatt til hensikt å kvantifisere CTI-teknikkens effekt på vegnettets tilgjengelighet og systemets driftssikkerhet under praktisk, samt tallfeste kostnader og innsparinger for ulike interessentgrupper. Prosjektet ble etablert i 2017. Prosjektet er finansiert av Utviklingsfondet for skogbruket og Skogtiltaksfondet, og er gjennomført i samarbeid og med støtte fra Transportselskapet Nord AS, Anton Jenssen transport AS, og Allskog SA.

Steinkjer, 12.12.23

Helmer Belbo

# Innhold

Sammendrag .....	3
Forord .....	4
1 Innledning .....	6
1.1 Bakgrunn.....	6
1.2 Friksjon og fremkommelighet.....	7
1.3 Vegslitasje.....	8
1.4 Økt nyttelast på offentlige veger med lav bæreevne .....	9
2 Materialer og metoder .....	10
3 Resultater .....	11
3.1 Friksjon og fremkommelighet.....	11
3.2 Veislitasje.....	11
3.3 Andel veier med redusert bruksklasse hvor dekktrykkregulering trolig kan tillate økt aksellast.....	11
3.4 Erfaringer fra praktisk bruk.....	12
3.5 Kalkyleverktøy .....	13
4 Diskusjon.....	14
4.1 Friksjon og fremkommelighet.....	14
4.2 Vegslitasje og nyttelast på veier med lav bæreevne .....	14
4.3 Praktiske og økonomiske effekter av dekktrykkregulering på tømmerbiler .....	15
4.3.1 Innkjøp, drift og vedlikehold .....	15
4.3.2 Omsetningsøkning for transportør i teleløsning .....	15
4.3.3 Reduserte bufferlager hos skogindustri .....	15
4.3.4 Bedre friksjon og bedre fremkommelighet .....	15
4.3.5 Reduserte vedlikeholdskostnader på skogsbilveg.....	15
4.3.6 Økt nyttelast på veger med lav bæreevne .....	15
4.3.7 Tømmertransport på veger med teleløsningsbegrensninger .....	16
4.3.8 Reduserte vedlikeholdskostnader på offentlig veinett .....	16
4.3.9 Rimeligere skogsveger og vintertransport på sommerbilveg.....	16
4.3.10 Oppsummering økonomi .....	16
4.4 Videre utvikling av teknologi og konsept.....	17
4.4.1 Finansieringsmodeller for dekktrykkregulering .....	17
4.4.2 Dekktrykkregulering ved bruk av 68 og 74 tonns vogntog.....	17
5 Konklusjoner .....	19

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Dekktrykk er alltid et kompromiss. Høyt dekktrykk gir liten intern friksjon i dekket, stor lasteevne på små hjul, og liten rullemotstand hvis underlaget er hardt. Det vil si stor lasteevne og transportevne til en lav pris. Med lavere dekktrykk blir det større kontaktflate mellom dekk og underlag, men også mer intern friksjon og slitasje i dekket. Optimalt dekktrykk varierer derfor med last, kjøreunderlag og kjørehastighet. CTI («Central Tyre Inflation» dvs. dekktrykkreguleringssystemer) gir mulighet for kontinuerlig tilpasning av dekktrykket til varierende last, underlag og hastighet. Kjøretøy med CTI-systemer har eksistert først og fremst militært i om lag 80 år (Kolisoja, 2012), og CTI har også vært i bruk på tømmerbiler siden 90-tallet i Nord-Amerika (Moore & Sowa, 1997; Stuart III et al., 1987).



Figur 1. Dekktrykkregulering på hengerhjul. Trykkluftslangene går i hjulakselen til en svivel i enden av navet, og derfra ut til hjulene. Foto: Stig Sagmo, 2023.

Kjøretøyet har mange navn, dekktrykkreguleringssystemer har minst fire forskjellige og i tillegg noen varianter av de fire:

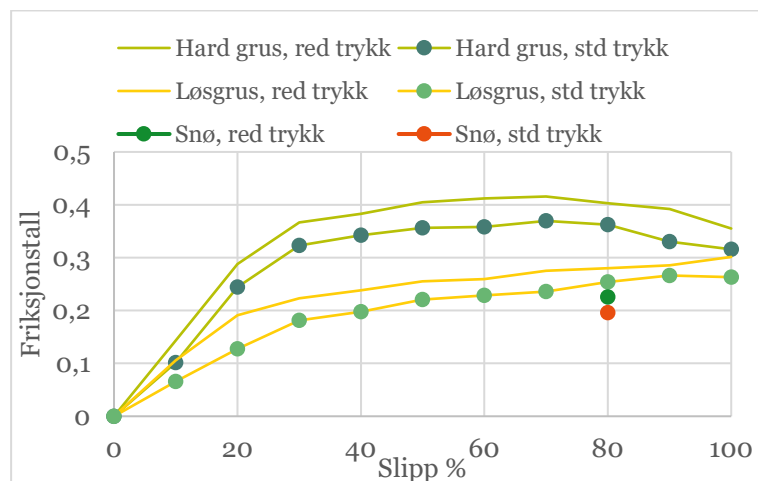
- CTI og CTIS – Central Tire Inflation (System)
- TPC og TPCS – Tire Pressure Control (System),
- ATIS – Automatic Tire Inflation System
- VTP – Variable Tire Pressure

Det er flere aktører som tilbyr CTI- eller andre systemer for dekktrykkvedlikehold, men ikke så mange som har løsninger for individuell justering av dekktrykket i hhv styrehjul, drivhjul og øvrige hjul på et vogntog.

## 1.2 Friksjon og fremkommelighet

Friksjonstallet (også kalt friksjonskoeffisienten) for kontaktflaten mellom dekk og vegbane er den egenskapen som bestemmer hvor bratt man kan kjøre og hvor raskt man kan bremse og akselerere. Størrelsen på kontaktflaten mellom dekk og vegoverflate har ikke noe å si for friksjonen, så lenge dekkene står på en hard, slett og homogen overflate (Vuorimies et al., 2012). Men i løse løsmasser vil «internfriksjonen» mellom partiklene i underlaget være lav (som i løs sand, bløt sand, fokksnø og sukkersnø), og dekkene vil grave i massene uten å gi særlig skyvekraft på bilen. Med større kontaktflate kan det overføres mer kraft mellom dekk og underlag før dekket begynner å grave. På grusveg og snøføre er topplaget ofte løst nok til at denne effekten gjør seg gjeldende. På isete og strødd veg vil friksjonen variere for hver kvadratcentimeter kontaktflate. Med større kontaktflate vil dekkene oftere nå tak i flekker med god friksjon, slik at friksjonen blir jevnere.

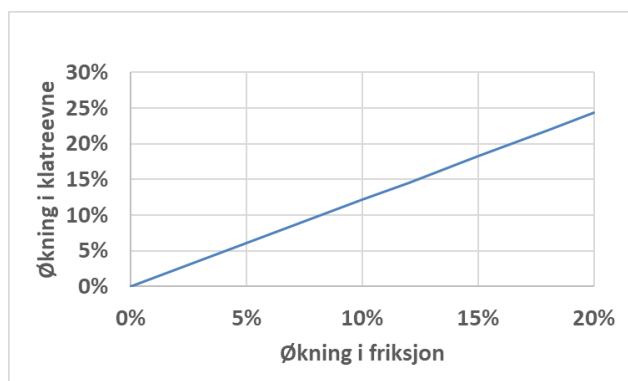
I forsøk på grusveg har redusert dekktrykk gitt en økning i maksimal friksjon i størrelsesordenen 9 – 16 % (Brokmeier, 2017). Relevant er det også at friksjonen ved moderate hjulslipp økte med hele 50-60% på løs grus og 20 – 40% på normalt grusdekke (Figur 2) (Brokmeier, 2017). En test på snøføre i Finland har vist samme tendens som på grusveg, dvs. en økning i maksimal friksjon på ca. 11 - 16 % (Vuorimies et al., 2012). Det har ikke latt seg gjøre å finne dokumentasjon på hvorvidt dekktrykk påvirker friksjon ved moderat slipp på vinterføre. Laboratorie-forsøk på is tilsier at lavere dekktrykk ofte gir større friksjon og aldri gir mindre friksjon enn høyt dekktrykk (Lahayne et al., 2016).



Figur 2. Redusert dekktrykk øker friksjonstallet med om lag 3-5 prosentpoeng på hard og løs grusveg og på snøføre. Data med friksjonstall for grusveg for flere ulike nivåer av hjulslipp er hentet fra Brokmeier (2017). De to punktene for snø er beregnet fra Vuorimies (2012), hvor det må bemerkes at eksakt slipp og friksjonstall ikke kunne avledes nøyaktig fra forsøksresultatene men at den relative forskjellen med redusert versus standard dekktrykk er riktig.

Redusert dekktrykk på drivhjulene vil øke trekkeevne, retarderevne og fremkommelighet i situasjoner med løs grus eller myk veg (Bradley, 2006, 2009; Brokmeier, 2017; Granlund, 2006a) og på snøføre (Vuorimies et al., 2012). Redusert dekktrykk på alle hjul gir økt bremse-evne på løs grus og vinterføre, ettersom alle hjul blir engasjert ved bruk av bremsene. På vegpartier som er så myke at det blir kjørespor, vil redusert dekktrykk på alle hjul også gi mindre rullemotstand og bedre fremkommelighet.

Ved bruk av formler som hensyntar rullemotstand, vektfordeling mellom drivhjul og øvrige hjul, samt friksjonstall, kan maksimal fremkommelig helling i motbakke beregnes (Hjort, 2012). Ved å snu litt på de samme formlene kan også minimum friksjonstall som kreves for å komme opp en helling beregnes. Veinormalene for landbruksveier angir maksimal stigning i lass-retning og retur-retning. For helårsveier og sommerbilveier er maksimal stigningen i lass-retningen hhv 10 og 12 %, mens i returretningen er tilsvarende krav 12 og 18%. For at en tømmerbil skal øke klatreevnen fra 10 til 12% helling (dvs. en økning på 20%) kreves 16% økning i friksjon (Figur 3). For å øke klatreevnen fra 12 til 18 % stigning (dvs. en økning på 50%) må friksjonstallet øke med 42%.



Figur 3. Streken viser økning i klatreevne ved økning friksjonstall for en bil med 18 tonn på drivhjul, 62 tonn totalvekt og en rullemotstand på 0.0022. Kalkylene er basert på Hjort (2012).

Det er redusert vinterfriksjon som ligger til grunn når det kreves at en skogsbilveg i vegklasse 3 (helårs veg) skal holde seg under 10 og 12% stigning i lass- og returretning, mens en skogsbilveg i vegklasse 4 (sommerbilveg) kan ha inntil 12 og 18% stigning i respektive kjøreretninger. Friksjon og maks kjørbar stigning henger proporsjonalt sammen og er egentlig to sider av samme sak. Hvis dekktrykkreduksjon øker friksjonen med ca. 20%, så vil maks kjørbar helling på vinterføre økes med 24%; fra 10 til drøyt 12% stigning.

I mange kommuner ligger andelen sommerbilveger i intervallet 15 – 30 prosent av skogsbilvegnettet (tabell 2). En utvidelse av nyttbar sesong for disse vil forenkle planlegging og logistikk for tømmerdrifter.

Tabell 1. Fordeling mellom skogsbilveger klassifisert som hhv. helårsveger, sommerbilveger og vinterbilveger i noen eksempelkommuner. Data er hentet hos Statens vegvesen (2023) .

Kommune	Helårs km (%)	Sommerbilveger %	Vinterbilveger %
Grong	37	28	34
Orkland	71	29	0
Trysil	98	2	0
Kongsberg	78	22	0
Rakkestad	78	22	0
Nord-Aurdal	83	17	0

### 1.3 Vegslitasje

Transport med redusert dekktrykk reduserer spenninger og deformasjoner i vegens øverste lag. Større kontaktflate mellom dekk og vegbane hindrer sporutvikling, og effekten er størst på veier med dårlig bæreevne (Bradley, 2009; Brokmeier, 2017; Karlefoss, 2014; Wang & Machemehl, 2006). Empiriske forsøk indikerer at på asfalterte veier vil 20% forhøyet dekktrykk kunne halvere forventet levetid på asfaltdekket (Varin & Saarenketo, 2014), mens tilsvarende redusert dekktrykk kan gi en dobling (Bradley, 2006, 2009) eller tredobling (Moore & Sowa, 1997; Owende et al., 2001; Wang & Machemehl, 2006) av forventet levetid.



Høyt dekktrykk gir også mindre rullemotstand og dieselforbruk på veier med asfaltdekke (Szcucka-Lasota et al., 2019). Det vil derfor være fristende for virkestransportøren å øke dekktrykket når forholdene tillater det. Dette vil gi økt vegslitasje, og dermed økte kostnader for veg-eier.

På grusveg vil redusert dekktrykk typisk redusere spordybdeutviklingen med 20 – 50 % (Bergqvist et al., 2017; Bradley, 2009; Brokmeier, 2017; Karlefoss, 2014). Redusert dekktrykk reduserer derfor behovet for vegvedlikehold; tidligere forsøk har vist inntil 80% redusert behov for vegskraping og 40-85% mindre erosjon av grusdekke i bakker (Moore & Sowa, 1997). Dette kan også utnyttes ved dimensjonering av bærelag og topplag på skogsveier; veier som bygges for CTI-biler vil kunne klare seg med ca. halvparten så tykk overbygning som veier bygd for standard biler (Bergqvist et al., 2017).

## 1.4 Økt nyttelast på offentlige veier med lav bæreevne

Alle offentlige veier er gitt en bruksklasse (Bk), som angir den trafikklast i form av aksellast og totalvekt som tillates kjørt fritt uten dispensasjon i det offentlige vegnettet. Bruksklasse og maksimal vogntoglengde står oppført for alle offentlige veier i det som heter veglistene (Vegdirektoratet, 2014). Tømmertransport har på mange av veiene egne terskelverdier, med større tillatt vogntoglengde og totalvekt enn andre «standard» vogntog. Den høyeste bruksklassen for tømmerbiler i Norge er Bk10/60 som tillater 10 tonn aksellast, 60 tonn totalvekt og 24 m vogntoglengde for vogntog som tilfredsstiller visse krav (Vegdirektoratet, 2014). Europaveg- og riksvegnettet i Norge har stort sett bruksklasse Bk10/60, men en del fylkesveier og kommunale veier har redusert bruksklasse. Noen av disse vegene er nedklassifisert på grunn av broer med lav bæreevne, andre på grunn av at selve vegen er bæresvak. Begrunnelsen for nedklassifisering står ikke i veglistene, så noen oversikt over hvilke motiver som ligger bak når vegene står med redusert bruksklasse har det ikke latt seg gjøre å lage.

Redusert dekktrykk gir redusert deformasjon av grusveier og asfaltveier som har lav bæreevne. Det kan dermed redusere vedlikeholdskostnadene på slike veier. I en del andre land (Sverige, Canada, USA) brukes CTI for å øke aksellast og totalvekt på bæresvake veier (Bradley, 2009; Granlund, 2006b). I Sverige tillates kjøretøy med CTI å kjøre med standard last (10 tonns aksellast) på mange såkalte BK2 og BK3 veier, som er Svenske vegklasser med redusert aksellast, gjennom en egen forskrift (Vägverkets författningssamling, 2007). Forskriften stiller krav om at historikk for dekktrykk og hastighet på kjørte strekninger dokumenteres av kjøretøyet.

For å vurdere om en tilsvarende ordning kan tilrådes også her i Norge, er det i dette prosjektet gjort teoretiske analyser av spenninger og vegdeformasjoner ved ulike kombinasjoner av hjullast, dekktrykk og bæreevne typisk for norske forhold. Videre er det utarbeidet en oversikt over andelen veier med aksellast-restriksjoner i ulike regioner.

Prosjekt Variabelt dekktrykk for tømmerbiler har hatt til hensikt å kvantifisere CTI-teknikkens effekt på vegnettets tilgjengelighet og systemets driftssikkerhet under praktisk bruk, samt tallfeste kostnader og innsparinger for ulike interessentgrupper.

Denne fagrapporten summerer opp resultatene fra prosjektet samt kunnskapsstatus for bruk av CTI på tømmerbil. Videre beskrives ulike forretningsmodeller som kan bidra til at bruk av slike systemer kan bli et lønnsomt tiltak for både virkestransportør, vei-eiere og øvrige parter i skogverdikjeden. Til slutt drøftes mulige fordeler og ulemper som systemet kan gi, men som enda ikke er godt nok kartlagt til å tallfeste de økonomiske effektene av dem.

## 2 Materialer og metoder

CTI-teknikkens effekt på vegnettets tilgjengelighet er undersøkt ved å modellere spenninger og deformasjoner i veier med bæreevne tilsvarende aksellastbegrensningene i de forskjellige aksellastklassene brukt på det norske vegnettet. Det finnes flere digitale verktøy for å beregne spenninger og deformasjoner i veier ut fra belastning på veien og karakteristikker av veikroppen (Maqbal & Ragab, 2021). I samråd med fagfolk i vegvesenet ble det i 2017 besluttet å bruke programvaren BISAR 3.0 (1998) for å analysere spenninger og deformasjoner i vegkroppen. Målparameteren var deformasjoner av asfaltlag eller slitelag ved ulike kombinasjoner av aksellast, dekktrykk og bæreevne i veiens bærelag. Dekktrykket ble satt til hhv 800 («normalt dekktrykk») og 400 («halvert dekktrykk») kilopascal (kPa). Hjulbelastning (kN) ble satt tilsvarende forventet hjullast på boggi ved dimensjonerende last på bruksklasse BK6, BK8, BKT8 og BK10. Analysene ble gjort for normal og redusert e-moduler i veiens bærelag, hvor 120 MPa ble brukt som normal e-modul og 80 MPa ble brukt som redusert e-modul, typisk for perioder med teleløsning eller langvarig regn (Fjeld, 2017).

Videre ble det gjort friksjonstester for å se hvordan redusert dekktrykk påvirker fremkommeligheten på vinterføre. Tømmerbilen med dekktrykkregulering på drivhjulene ble spent foran en annen tømmerbil, som skulle bremse den første helt til den mistet grepet slik at drivhjulene spant uten å gi fremdrift på trekkbilen. Trekk-kraften fra den første bilen ble målt av en veiecele som var koblet mellom de to bilene. Forsøket ble gjentatt med normalt og redusert dekktrykk, maksimal trekk-kraft fra hver nedbremsing ble brukt som mål på friksjon.

Vegnettet i de forskjellige regionene i Norge ble analysert med tanke på å finne andelen veger som står med forskjellige bruksklasser. For dette ble det benyttet et uttrekk av nasjonal vegdatabase av dato 2020-07-29 (Statens vegvesen, 2020).

Kostnader og driftssikkerhet til CTI under praktisk bruk ble undersøkt ved å følge bruken av systemet hos en norsk virkestransportør gjennom prosjektperioden.

Systemets økonomiske potensiale er vurdert ved hjelp av kalkyler for verdien av jevnere virkestransport i teleløsningsperioder, redusert transporttariff som følge av større lass på bæresvake offentlige veger, og reduserte kostnader til vedlikehold av skogsbilveger.

## 3 Resultater

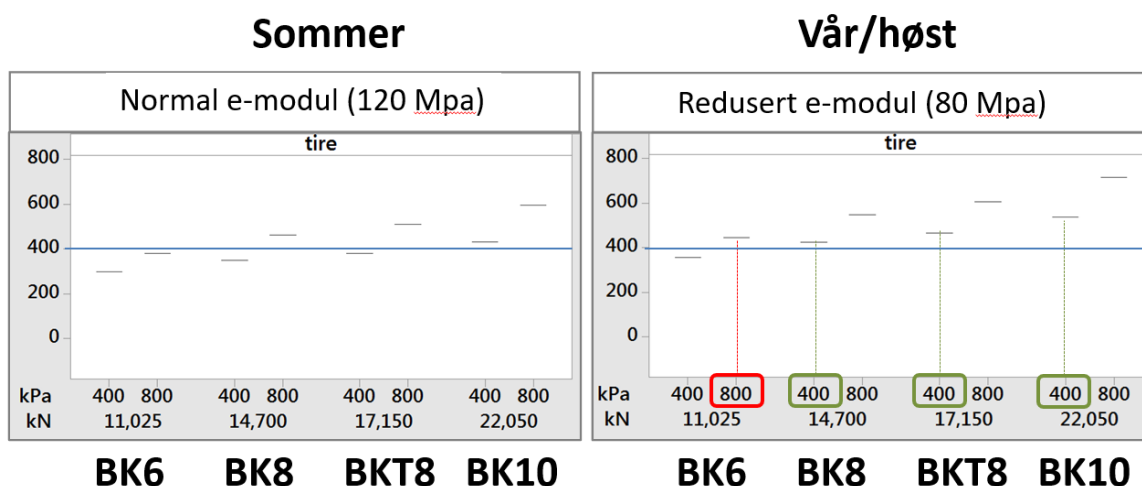
### 3.1 Friksjon og fremkommelighet

Resultatene fra friksjonstestene indikerer en gjennomsnittlig økning i friksjonstallet på 10% ved en dekktrykksreduksjon til 50% av normalt, og 18% økt friksjon ved 30% av normalt dekktrykk.

Resultatet er i tråd med forsøk på grusveier i Tyskland (Brokmeier, 2017) og forsøk på hardpakket snø i Finland (Vuorimies et al., 2012).

### 3.2 Veislitasje

Analysene i BISAR3.0 viser at halvert dekktrykk reduserer deformasjonene i asfalten omtrent like mye som en aksellastreduksjon tilsvarende to bruksklasser (Figur 4) (Fjeld, 2017). Det vil si at ved å halvere dekktrykket kan man gå opp to bruksklasser i aksellast før man oppnår samme deformasjon i asfalten som ved normalt dekktrykk.



Figur 4. Beregnet horisontal deformasjon i mikrostrain (dvs tøyning i 1/1000 mm per meter) i asfaltens underside ved hjulbelastning (kN) tilsvarende forventet hjullast på boggi på respektive vegklasser og ved to forskjellige dekktrykk (4 og 8 bar) (Fjeld, 2017). Ved halvert dekktrykk kan man øke lasten tilsvarende ca. 2 BK-klasser før deformasjonen blir like stor som ved normalt dekktrykk.

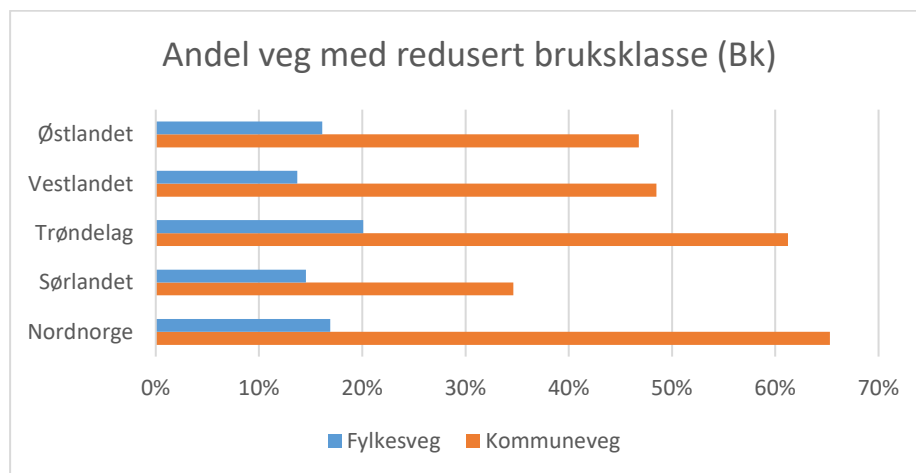
Analysene for grusveg viste at redusert dekktrykk generelt halverer deformasjonen i vegens overflate, mens effekten avtar jo lengre ned man kommer i veikroppen. På 30 cm dybde i veien er det ingen forskjell i deformasjoner mellom normalt og halvert dekktrykk.

### 3.3 Andel veier med redusert bruksklasse hvor dekktrykkregulering trolig kan tillate økt aksellast

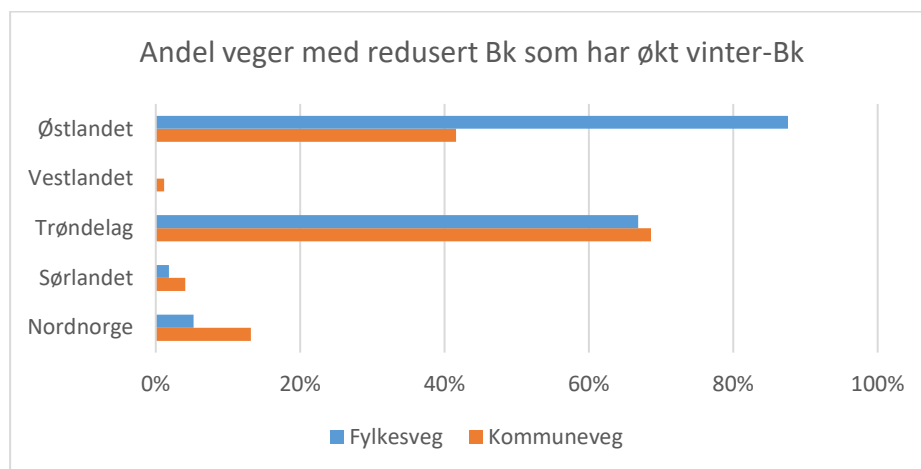
Europaveg- og riksvegnettet i Norge har stort sett bruksklasse Bk10/60, men 16 % av fylkesvegnettet og 50% av det kommunale vegnettet har redusert bruksklasse på grunn lavere maksimal aksellast (Figur 5). I Midt-Norge går omtrent 50% av tømmertransportene på 50 tonn tariff, dette er i all hovedsak transporter som er inntil vegger med Bk8 eller Bkt8 (pers medd, daglig leder TSN AS). Noen av disse vegene er nedklassifisert på grunn av broer med lav bæreevne, andre på grunn av at selve vegen er bæresvak. For en del kommunale og fylkeskommunale vegger med redusert bruksklasse tillates likevel høyere aksellast om vinteren (Figur 6). For disse vegene er det neppe broene som er årsaken til nedklassifiseringen. Men det har ikke vært mulig ut fra vegdatabasene (Statens vegvesen,

2020) å finne motivet for redusert Bk, eller om en egen vinteraksellast er vurdert og forkastet, versus ikke vurdert, for den enkelte vegstrekning.

På Østlandet har nesten alle fylkesveger med redusert Bk og halvparten av ditto kommuneveger en høyere Bk-klasse på vinterføre (Figur 6). På Sørlandet, Vestlandet og i NordNorge gjelder dette omtrent ingen veger (Figur 6).



Figur 5. Andel fylkesveger og kommunale veger med redusert bruksklasse (Bk < 10). Data fra nasjonal vegdatabank (Statens vegvesen, 2020).



Figur 6. Andel av fylkesveier og kommunale veier med redusert Bk som samtidig har økt bruksklasse om vinteren. Data fra nasjonal vegdatabank (Statens vegvesen, 2020)

### 3.4 Erfaringer fra praktisk bruk

Som deltaker i prosjektet har Anton Jenssen AS i Midt-Norge hatt dekktrykkregulering på drivaksler på en tømmerbil siden 2017 (5 år). Bilen har nå gått om lag 630000 km. Vedlikeholdsbehov og ekstraarbeid som følge av systemet består av daglig visuelt ettersyn, årlig litt grundigere ettersyn, bytte av svivler for hver 350.000 km, og at hjulskift tar mer tid enn med vanlige hjul. Erfaringene så langt er at dekktrykkreduksjon gir merkbart bedre veigrep på vinterføre, og mindre vibrasjoner i bilen. Det gjør også at man kommer frem i en del situasjoner hvor man ellers ville behøve kjettinger eller bistand, eller stanse transporten.

På grusveier er erfaringen at det blir langt mindre sporutvikling i teleløsningsperioden. Med redusert dekktrykk på bil og hengerhjul, myk vegbane og litt bevisst kjøring, vil tidligere kjørespor jevne seg ut og vegen får en jevn profil hvor vannet kan renne av vegen istedenfor langs sporene.

### 3.5 Kalkyleverktøy

Gjennom prosjektet er det utviklet en Excel-basert kalkulator for vurdering av økonomien ved bruk av CTI. Den kan også benyttes ved vurdering av aktuelle forretningsmodeller for finansiering av systemet.

Tabell 2. Lønnsomhetskalkyle for bruk av CTI for skognæringa som helhet beregnet per bil, gitt at man kan kjøre fulle billass på veger med aksellastbegrensninger ved bruk av CTI.

Ved 35000 m <sup>3</sup> pr år per bil	Per bil per år	Per m <sup>3</sup> berørt*	Per m <sup>3</sup> årsproduksjon
CTI Innkjøp, vedlikehold, 10 års levetid	-40.000		-1,1
Full produksjon i teleløsningsperiode	5000		0,1
Spart bufferlager industritomt	6000	3	0,2
Mindre bruk av kjetting og assistanse	4000		0,1
Spart vedlikehold skogsbilvei	100.000	5	2,8
Fulle lass på Bk-reduuerte veier	150.000	10	4,3
<b>Netto for systemet</b>	<b>225.000</b>		<b>6,5</b>

\* Volumet som faktisk berøres av hvert enkelt moment i tabellen vil variere. Her er det for eksempel anslått et redusert lagerbehov på industri på 2000 m<sup>3</sup> per bil med CTI, dvs at 2000 m<sup>3</sup> er berørt av redusert lagerbehov industri. Videre vil vedlikeholdsbehovet på skogsveg variere med vær og fjøreforhold, det er derfor anslått at ca 20.000 m<sup>3</sup> (drøyt halvparten av transporten) vil være berørt av redusert vedlikeholdskostnad skogsbilveg, mens resten av transporten foregår på så godt føre at vedlikeholdsbehovet på skogsveg blir neglisjerbart.

## 4 Diskusjon

### 4.1 Friksjon og fremkommelighet

Friksjonstesten i dette prosjektet indikerte at friksjonen øker med 10 og 18 % ved et dekktrykk på hhv. 50 og 30 % av normalt dekktrykk ved kjøring på nysnø. I et tidligere friksjonsforsøk ved Nokia's testcenter i Ivalo i Finland økte friksjonen med 14% på snøføre i -10°C ved 30% av normalt dekktrykk på drivhjulene. For begge forsøkene er det maksimal friksjon som er målt, dvs. friksjonen som oppnås i det øyeblikket drivhjulene begynner å spinne uten at friksjonen øker ytterligere.

Metodene som er brukt for friksjonsmålinger med varierende dekktrykk på vinterføre, både i dette prosjektet og i det omtalte forsøket fra Ivalo i Finland, gir relativt få og kostbare observasjoner. Metodene gir heller ikke informasjon om friksjon ved moderate hjulslipp, noe som også kan ha relevans med tanke på blant annet dekkslitasje, drivstoff-økonomi og førerkomfort. Norske (og sikkert flere andre) vegmyndigheter benytter andre metoder for overvåkning og dokumentasjon av friksjon over lange strekninger på vinterveier (Statens vegvesen, 2005, 2013). Hvis disse metodene kan tilpasses for å måle effekten av redusert dekktrykk på friksjon, vil det åpne for å utforske sammenhengen mellom dekktrykk, ulike føreforhold og friksjon på en langt mer effektiv måte.

Foreliggende kunnskap tilsier at for løs og fast grus, samt på snøføre, vil friksjonen øke i størrelsesorden 13-25% om dekktrykket reduseres til 30-50% av «standard» dekktrykk. Jo løsere underlag er, jo større virker det som at forskjellen er. Når det gjelder isete vinterveger strødd med sand, foreligger det så vidt vi vet ingen studier av hvordan redusert dekktrykk påvirker friksjon. Men det er gjort teoretiske analyser som indikerer at man også for strødd vinterveg vil oppleve økt friksjon ved redusert dekktrykk (Vuorimies et al., 2012).

### 4.2 Vegslitasje og nyttelast på veier med lav bæreevne

Analysene i BISAR3.0 viser at man i teorien med redusert dekktrykk kan øke aksellasten tilsvarende to bruksklasser, uten at dette gir noen økning i vegdeformasjonen. Et vesentlig økonomisk potensial for skognæringa samlet ligger i muligheten for å kjøre med 10 tonns akselvekt på 8-tonns veger, samt å kunne transportere virke på veger stengt pga. teleløsning eller med midlertidige aksellastbegrensning. I Sverige tillates CTI-kjøretøy å kjøre med BK1-last (10 tonns aksellast) på såkalte BK2 og BK3 veger, som er Svenske vegklasser med redusert aksellast, gjennom en egen forskrift (Vägverkets författningssamling, 2007). Det stilles krav om at historikken for dekktrykk og hastighet på kjørte strekninger dokumenteres av kjøretøyet.

Veger med redusert bruksklasse og høyere «vinter-Bk» er veger som ganske sikkert kan trafikkeres med 10 tonns aksellast ved bruk av redusert dekktrykk. Det var store geografiske forskjeller i hvor stor andel av vegene med redusert bruksklasse som hadde høyere «vinter-Bk» (Figur 6). Det er uvisst om denne forskjellen skyldes ulike tradisjoner og rutiner for vegklassifisering mellom fylkene eller om det skyldes vegenes reelle bæreevne og beskaffenhet. På kommunevegnettet er det stort sett bare korte broer (< 12 m brospenn), disse gir sjelden redusert Bk-klassifisering på tilknyttede veger (Ole Bakke, Kystskogbruket, pers medd).

## 4.3 Praktiske og økonomiske effekter av dekktrykkregulering på tømmerbiler

### 4.3.1 Innkjøp, drift og vedlikehold

Dekktrykkregulering på bil og henger koster, som ekstrautstyr til ny bil, ca. kr 250.000 i investering (Anton Jenssen, pers medd), og har en forventet levetid på ca. 10 år eller 1 million km (Skutin, 2016). Systemet medfører en økning i servicekostnader på anslagsvis 5%, men gir også mindre slitasje og økt levetid på dekk og kjøretøy, slik at disse faktorene omtrent utligner hverandre (Skutin, 2012). Erfaring fra Sverige viser at bil-eier samlet vil ha økte kostnader i størrelsesorden 1,3 – 1,4% sammenlignet med en bil uten slikt utstyr (Skutin, 2016).

### 4.3.2 Omsetningsøkning for transportør i teleløsning

For bil-eieren vil systemet muliggjøre transport under kjøreforhold hvor man ellers ville stanse eller redusere transporten. Dette gir erfaringsmessig større årlig transportvolum og større omsetning per bil (Skutin, 2012). I forstudien til dette prosjektet fant de at virkestransporten på Østlandet var redusert i en periode på 3-5 uker hver vårvinter / vår og 5-7 uker hver høst. Hvis dette tapet tilsvarer en ukes normalproduksjon, innebærer det et omsetningstap på 30-40.000,- per bil og et netto tap på anslagsvis 5000 per bil.

### 4.3.3 Reduserte bufferlager hos skogindustri

Jevnere virkestransport vil også redusere behovet for lager på industritomt i skogindustrien. Om skogindustrien skal ta høyde for svingninger tilsvarende en ukes normal inntransport, innebærer dette en lagerkapasitet på ca. 500-700 m<sup>3</sup> per bil, hvor dette lageret må være fylt før teleløsningsperioden starter. Om vi antar en kostnad på 3 kr per m<sup>3</sup> per uke for bufferlagring, og lagring i fire uker, gir dette et bidrag på kr 6000 per bil per år.

### 4.3.4 Bedre friksjon og bedre fremkommelighet

Bedre friksjon på drivhjulene medfører mindre behov for bruk av kjettinger og færre episoder med bergingsbehov. Den økonomiske effekten av dette er ikke lett å tallfeste, men om det utgjør en times arbeid per år og en bilberging annen hvert år er det anslått å utgjøre 4000 per år. Det vil også medføre mindre bruk (og slitasje) av bremsene, ettersom motorbremsen blir mer effektiv.

### 4.3.5 Reduserte vedlikeholdskostnader på skogsbilveg

For skogsbilveiene vil dekktrykkreduksjon gi en reduksjon i vedlikeholdskostnadene for toppdekket (skraping og grusing) i størrelsesordenen 50-80% (Moore & Sowa, 1997). Kostnadene for vedlikehold av toppdekket anslås her ligge på 5 kr / m<sup>3</sup> transportert virke. Dette gir en besparelse i intervallet 2,5 - 4 kr per m<sup>3</sup> transportert virke, hvor gevinsten vil være størst på veier med mykt toppdekke (innslag av leire, silt og organisk jord). Om en bil transporterer 35.000 m<sup>3</sup> per år, og dekktrykkregulering reduserer vedlikeholdskostnadene med 3 kr pr m<sup>3</sup>, gir dette et bidrag i størrelsesordenen kr 100.000,- per år for vei-eierne.

### 4.3.6 Økt nyttelast på veger med lav bæreevne

En økning fra 8 til 10 tonns aksellast øker nyttelasten med 30% (Molstad & Skjølaas, 2019). Hvis CTI-bilene kan kjøre fulle lass (60 tonn) på veger med 50 tonns maksbegrensning, vil dette innebære en besparelse på 7 – 12 kr per m<sup>3</sup> for de transportene det gjelder. I Midt-Norge vil dette berøre omtrent halvparten av transportert virke (pers medd TSN). For en bil som transporterer eksempelvis 15.000

m<sup>3</sup> på 50 tonns tariff, innebærer dette besparelser i størrelsesorden 150.000,- per bil per år. I skogstrøkene i Norge er rundt 15% av fylkesvegene og 40 - 60% av kommunevegene oppført med redusert bruksklasse (Figur 5). En betydelig andel av disse har en høyere bruksklasse om vinteren, hvilket er et signal om at det i iallfall for disse vegene er bæreevnen i selve vegkonstruksjonen (og ikke en svak bro eller noe annet) som forårsaker redusert bruksklasse.

#### 4.3.7 Tømmertransport på veger med teleløsningsbegrensninger

På en del vegstrekninger blir det innført ekstra aksellast-begrensninger i teleløsningsperiodene, eller de kan stenges for all tungtransport i slike perioder. Noen oversikt over strekninger, tidspunkt og omfang har det ikke vært råd å finne. Om biler med CTI kan kjøre som normalt også på disse strekningene, vil det forenkle planlegging og gi reduserte kostnader. Bilen med CTI på alle hjul som var involvert i prosjektet fikk kjøretillatelse på en kommunal veg som var stengt for tungtrafikk i teleløsningsperioden i Melhus kommune, og erfaringen var at veien tålte påkjenningen godt. Ukjent omfang av slike begrensninger gjør det likevel vanskelig å beregne økonomiske effekter av dette.

#### 4.3.8 Reduserte vedlikeholdskostnader på offentlig veinett

For offentlige «lavvolum-veier» med lite annen tungtrafikk, vil også tømmertransport på redusert dekktrykk kunne gi en vesentlig reduksjon i vegslitasje og vedlikeholdskostnader. Hvilke beløp dette kan dreie seg om, og hvordan bruken av redusert dekktrykk kan premieres av veg-eier, er ikke undersøkt videre her.

#### 4.3.9 Rimeligere skogsveger og vintertransport på sommerbilveg

I og med at redusert dekktrykk øker friksjonen på vinterføre kan det tenkes at man kan utvide sesongen for en del sommerbilveger. Dette vil gi større fleksibilitet i planlegging og timing av drifter og virkestransport. Bruk av CTI gir også mulighet til å redusere tykkelsen på bærelaget i nye skogsvegprosjekter. Tidligere analyser fra Skogsforsk i Sverige indikerer at man vil kunne halvere tykkelsen på tilkjørt bærelag og slitelag lag om tømmertransporten foregår på lavere dekktrykk (Bergqvist et al., 2017). Hvilke beløp dette kan utgjøre er ikke undersøkt videre her. I Skutin's (2012) analyser ble det antydnet at bygging og bruk av såkalte «CTI-veger» ga en gevinst på 3-4 kr per berørt m<sup>3</sup>. Byggekostnadsindeksen for veganlegg hos Statistisk Sentralbyrå tilsier en kostnadsøkning for veganlegg på 48% i perioden 2012 – 2022 (SSB, 2023), og det er rimelig å anta at gevinsten ved redusert bærelagstykkelse kan ha økt tilsvarende i perioden.

#### 4.3.10 Oppsummering økonomi

Kalkulatoren viser tydelig at de økonomiske fordelene for virkestransportøren (litt større årlig transportvolum, noe mindre bruk av kjetting og bistand ved fastkjøring) ikke er nok til å forsvare investering i dekktrykkregulering for bileier (Tabell 2). CTI på alle hjul innebærer en potensiell samlet brutto gevinst på anslagsvis kr 200.000 - 250.000 kr per bil per år (6 - 7 kr per m<sup>3</sup> transportert med CTI-bil) for skognæringa som helhet. Ved stor utbredelse vil det også i tillegg kunne redusere byggekostnadene for nye skogsbilveger.

Potensialet vil neppe la seg realisere om en ikke ved hjelp av forretningsmodeller eller egne forskrifter for dekktrykkregulering gjør investeringen lønnsom for virkestransportøren. En tidligere lønnsomhetsanalyse (case-studie) i Västernorrlands län i Sverige antydnet en samlet netto gevinst i størrelsesordenen 4 SEK per m<sup>3</sup> om 30% av tømmerbilflåten går med dekktrykkregulering (Skutin, 2012). I skogstrøkene i Norge er rundt 15% av fylkesvegene og 45% av kommuneveiene oppført med redusert bruksklasse (Tabell 1). Til sammenligning hadde 19% av veiene redusert bruksklasse i den omtalte lønnsomhetsanalysen i Västernorrlands län i Sverige (Skutin, 2012). Dette kan tilsa at



dekktrykkregulering vil være enda mer lønnsomt her, og at det vil være optimalt med en enda større andel biler med dekktrykkregulering i Norge.

Det økonomiske potensialet for redusert vegvedlikehold på offentlige veier er ikke estimert i denne omgang. For slike analyser vil man behøve erfaringstall eller modeller for vegslitasje og vedlikeholdskostnader per transportenhet (tonn-km). Det økonomiske potensialet knyttet til muligheten for å bygge rimeligere skogsveger er heller ikke beregnet her.

## 4.4 Videre utvikling av teknologi og konsept

### 4.4.1 Finansieringsmodeller for dekktrykkregulering

Per i dag har bileier nesten ingen insentiver for å skaffe bil med utstyr for dekktrykkregulering. Bileier får utgiftene og de øvrige aktørene i verdikjeden får de største fordelene. Systemet vil neppe få noen utbredelse før en tilstrekkelig del av gevinsten kanaliseres til transportøren, slik at investeringen blir lønnsom også for denne.

Forskriftsendringer tilsvarende opplegget i Sverige hvor biler med CTI under visse vilkår kan tillates for større aksellast på veier med redusert bruksklasse vil trolig være et tilstrekkelig insentiv for de fleste bileiere. Endringen vil medføre en gevinst på 8-12 kr per berørt m<sup>3</sup>, og dermed vil investeringen være lønnsom for biler hvor mer enn ca. 4000 m<sup>3</sup> transporteres via slike veier.

Systemet gir som tidligere beskrevet vesentlig mindre deformasjon av skogsveier. Denne deformasjonen er størst og mest alvorlig i perioder hvor vegkroppen er fuktig (teleløsning, langvarig nedbør). Hvorvidt skogeiere (skogsveg-eiere) er villige til å bidra med premiering for bruk av CTI er ikke undersøkt.

Det er i dag virkeskjøperen eller industrikunden som kjøper transporttjenester av transportøren (altså ikke skogeieren/skogsveg-eieren). En forretningsmodell hvor disse og skogeier betaler transportøren et CTI-bidrag i størrelsesordenen 1,5 kr per m<sup>3</sup> generelt eller 3 kr per m<sup>3</sup> i barmarksessongen vil også gjøre investeringen lønnsom for transportøren.

### 4.4.2 Dekktrykkregulering ved bruk av 68 og 74 tonns vogntog

Det er som regel god plass til mer virke om bord i tømmerbilene når de går på veier som tillater 24 meter vogntoglengde. Derfor pågår det nå andre prosjekter som tester ut bruken av 68 og 74 tonns tømmervogntog. Disse utstyres med hhv 8 og 9 aksler i stedet for 7 som er standard for 60-tonns vogntog. Spesielt 74-tonns varianten vil innebære at en større andel av lasten fordeles på andre hjul enn drivhjulene, noe som vil gi redusert fremkommelighet. Uten videre tiltak vil derfor potensialet i 74-tonns-varianten bli vanskelig å utnytte vinterstid i områder med noe terreng, for eksempel i dalstrøka, på Vestlandet og i Midt-Norge. Ved bruk av redusert dekktrykk på drivhjulene kan noe av dette tapet kompenseres. Det er enda ikke gjort beregninger eller forsøk som tallfester fremkommeligheten for disse variantene med og uten variabelt dekktrykk, men det er liten tvil om at muligheten for dekktrykkregulering vil være relevant også i utviklingen mot enda tyngre vogntog.



Figur 7. Tømmervogntog med 9 aksler og 74 tonns last. Her utnyttes lastevolumet fullt ut, men andelen av vogntogets vekt på drivhjulene vil være mindre enn med dagens 60-tonns vogntog. Derfor vil også fremkommeligheten trolig bli noe redusert. Dekktrykkregulering kan antagelig kompensere for dette. Foto: Dag Sjølås, skogeierforbundet.

## 5 Konklusjoner

CTI gir ved riktig bruk mindre veislitasje på både skogsbilveier og offentlig veinett, og gir virkestransporten bedre fremkommelighet på myke veipartier, løs grus og vinterføre. Analyser gjort i dette prosjektet tilsier at man på veier med redusert bæreevne (Bk8, BkT8, Bk6) kan transportere fulle tømmerlass med samme eller til og med mindre veislitasje med redusert dekktrykk enn en bil på standard dekktrykk med redusert lass. Friksjonsmålinger gjort på snøføre i dette prosjektet har gitt resultater i samsvar med andre forsøk på både is og løs grus, og viser en økning i maksimal friksjon i størrelsesordenen 15%. Tidligere forsøk på grusvei viser at økningen er enda større ved moderat hjulslipp. Studiemetodene brukt på snø og is i dette og andre prosjekter gir ikke svar på hvordan dekktrykkreduksjon påvirker friksjonen ved moderat hjulslipp, noe som er vel så relevant for bruken ved slike utfordrende kjøreforhold. Brukererfaringene tilsier at redusert dekktrykk gir vesentlig bedre veigrep og tryggere ferdsel på glatt vinterføre.

Økonomiske beregninger på foreliggende kunnskap viser at dekktrykkreguleringssystemer kan gi en netto økonomisk gevinst i størrelsesordenen 6-7 kr / m<sup>3</sup> i gjennomsnitt for alt transportert virke. Dette betinger større aksellast på Bk-reduuerte veger ved bruk av dekktrykkregulering. Fordelene for skogsvei-eier er også tilstrekkelige til at konseptet kan gi en netto økonomisk gevinst, men det fordrer at skogeier / skogsvei-eier er villig til å betale for fordelene dette gir.

Dekktrykkregulering gir også fordeler som ikke lett lar seg tallfeste i kroner og øre med den kunnskapen som foreligger. Et bedre tallgrunnlag på hvordan redusert dekktrykk påvirker både maksimal friksjon og friksjon ved moderat hjulslipp på flere typer vinterføre vil gjøre det mulig å beregne hvilke sommerbilveier man kan benytte vinterstid. Redusert marktrykk vil også gi muligheten til å bygge skogsveier med mindre krav til bæreevne. Dette kan gi vesentlig mindre massetransport og billigere skogsbilveier, og kan dermed gjøre at ellers marginale skogsvegprosjekter blir lønnsomme.

Det pågår andre utviklingsprosjekter hvor det jobbes med å konfigurere bil og henger slik at vogntogvektene kan øke til 74 tonn uten at dette gir større marktrykk og vegdeformasjoner. En større andel av lasten vil da ligge på andre hjul enn drivhjulene. For at slike vogntog-konfigurasjoner skal kunne utnyttes på utfordrende føre i områder med kupert terreng, vil det også være behov for tiltak som øker friksjonen til drivhjulene. Dekktrykkreguleringssystemer kan bli en viktig brikke i den utviklingen.

# Litteraturreferanser

- Bergqvist, M., Bradley, A., Björheden, R. & Eliasson, L. (2017). *Validering av STP (Surfacing Thickness Program) för svenska förhållanden* (nr. 920-2017; Arbetsrapport från skogforsk nr). Skogforsk.  
<https://www.skogforsk.se/contentassets/38dcc7f74e844101aa70c039de9fda2c/validering-av-stp-surfacing-thickness-program--for-svenska-forhallanden-arbetsrapport-920-2017.pdf>
- Bradley, A. (2006). Hauling with Full Axle Weights and Reduced Tire Pressures on Weight-Restricted Roads in British Columbia. *Transportation Research Record*, 1967, 20–26.  
<https://doi.org/10.3141/1967-03>
- Bradley, A. (2009). *Introduction to Tire Pressure Control Systems (TPCS) and synthesis of key research findings in highway and urban applications* (Contract report). FPInnovations.  
<https://comt.ca/english/programs/trucking/Reports.htm>
- Brokmeier, H. (2017). Central Tire Inflation System for timber transport in Germany. *International Journal of Forest Engineering*, 28(3), 211–225.  
<https://doi.org/10.1080/14942119.2017.1354529>
- Fjeld, D. (2017). *CTI på tømmerbil – gjennomgang av tidligere studier og nye beregninger av veideformasjon* (Rapportutkast, s. 14).
- Granlund, P. (2006a). *CTI på virkesfordon* (REDOGÖRELSE).  
[https://www.skogforsk.se/cd\\_20190114161752/contentassets/5655230oda244f2f86fdef440eae3f01/redogorelse-inl-nr-3-06-lowres.pdf](https://www.skogforsk.se/cd_20190114161752/contentassets/5655230oda244f2f86fdef440eae3f01/redogorelse-inl-nr-3-06-lowres.pdf)
- Granlund, P. (2006b). *Fem miljoner kilometer med CTI* (Nr. 10; Resultat från Skogforsk, s. 4).  
[https://www.skogforsk.se/cd\\_20190114161753/contentassets/e8dc2cb53c594bf7aef24e29e25fd7cc/resultat-nr-10-06-lowres.pdf](https://www.skogforsk.se/cd_20190114161753/contentassets/e8dc2cb53c594bf7aef24e29e25fd7cc/resultat-nr-10-06-lowres.pdf)
- Hjort, M. (2012). *Vinterdäck på drivaxel till tunga fordon : en väggreppsstudie*. Statens väg- och transportforskningsinstitut. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:vti:diva-587>
- Karlefoss, G. (2014). *Effekt av Central Tire Inflation på strukturellt svaga skogsbilvägar* [SLU].  
[https://stud.epsilon.slu.se/6843/1/Karlefors\\_G\\_140612.pdf](https://stud.epsilon.slu.se/6843/1/Karlefors_G_140612.pdf)
- Kolisoja, P. (2012, 25. april). *Tyre Pressure Control*. ROADDEX IV final seminar, Rovaniemi, Finland.  
<https://www.roadex.org/wp-content/uploads/2014/01/5.-Tyre-Pressure-Control-P-Kolisoja.pdf>
- Lahayne, O., Pichler, B., Reihnsner, R., Eberhardsteiner, J., Suh, J., Kim, D., Nam, S., Paek, H., Lorenz, B. & Persson, B. N. J. (2016). Rubber Friction on Ice: Experiments and Modeling. *Tribology Letters*, 62(2), 17. <https://doi.org/10.1007/s11249-016-0665-z>
- Maqbali, L. A. & Ragab, O. (2021). A Review of Software in Flexible Pavement Design. *Sustainability in Environment*, 6(2), p27. <https://doi.org/10.22158/se.v6n2p27>
- Molstad, O. & Skjølaas, D. (2019). *Klassifisering av offentlig vegnett etter tillatt totalvekt for tømmervogntog*. Norges skogeierforbund. [https://www.skogeier.no/wp-content/uploads/2019/06/Rapport\\_Klassifisering-av-offentlig-vegnett-etter-tillatt-totalvekt-for-t%C3%B8mmervogntog.pdf](https://www.skogeier.no/wp-content/uploads/2019/06/Rapport_Klassifisering-av-offentlig-vegnett-etter-tillatt-totalvekt-for-t%C3%B8mmervogntog.pdf)
- Moore, T. L. & Sowa, R. (1997). RESEARCH PAYS OFF: VARIABLE TIRE PRESSURE TECHNOLOGY: REDUCING TRANSPORTATION COSTS AND PROTECTING FOREST ECOSYSTEMS. *TR News*, 189. <https://trid.trb.org/view.aspx?id=483002>
- Owende, P. M. O., Hartman, A. M., Ward, S. M., Gilchrist, M. D. & O'Mahony, M. J. (2001). Minimizing Distress on Flexible Pavements Using Variable Tire Pressure. *Journal of Transportation Engineering*, 127(3), 254–262. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2001\)127:3\(254\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2001)127:3(254))
- Skutin, S.-G. (2012). *Lönsamhet för CTI på virkesfordon* (nr. 771; Arbetsrapport från Skogforsk, s. 32). Skogforsk.  
[https://www.skogforsk.se/cd\\_20190114161744/contentassets/5188f77748f644508c1c2c02395a293f/lonsamhet-for-cti-pa-virkesfordon.pdf](https://www.skogforsk.se/cd_20190114161744/contentassets/5188f77748f644508c1c2c02395a293f/lonsamhet-for-cti-pa-virkesfordon.pdf)

- Skutin, S.-G. (2016, 26. september). *CTI – lönsamt för industrin men en kostnad för åkaren*. Kunskapsbanken. <https://www.skogforsk.se:443/kunskap/kunskapsbanken/2016/cti---lonsamt-for-industrin-men-en-kostnad-for-akaren/>
- SSB. (2023). *Tabell 08658: Byggekostnadsindex för veganlegg* [Data set]. <https://www.ssb.no/statbank/table/08658/>
- Statens vegvesen. (2005). *Friksjonsmåling på veger - Statusrapport* (Nr. 2376; Intern rapport, s. 82). Statens vegvesen, Vegdirektoratet.
- Statens vegvesen. (2013). *Instruks for dokumentasjon av friksjonsnivå*. Statens vegvesen; Filnavn: D2-ID9300d-Friksjon-20100614. <http://www.vegvesen.no/s/anbud/dkmal2011/xxxx-D2-ID9300d-Friksjon-20100614.pdf>
- Statens vegvesen. (2020, 20. juli). *Vegkart* [Kart-applikasjon]. Vegkart. <https://vegkart.atlas.vegvesen.no>
- Statens vegvesen. (2023, 5. februar). *Vegkart* [Kart-applikasjon]. Vegkart. <https://vegkart.atlas.vegvesen.no>
- Strickland, D. (1998). *BISAR* (3.0). Shell International Oil Products B.V. <https://trid.trb.org/view/683379>
- Stuart III, E., Gililand, E. & Della-Moretta, L. (1987). THE USE OF CENTRAL TIRE INFLATION SYSTEMS ON LOW-VOLUME ROADS. *Transportation Research Record*, 1106. <https://trid.trb.org/view/288141>
- Szczucka-Lasota, B., Kamińska, J. & Krzyżewska, I. (2019). INFLUENCE OF TIRE PRESSURE ON FUEL CONSUMPTION IN TRUCKS WITH INSTALLED TIRE PRESSURE MONITORING SYSTEM (TPMS). *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 103, 167–181. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2019.103.13>
- Varin, P. & Saarenketo, T. (2014). *EFFECT OF AXLE AND TYRE CONFIGURATIONS ON PAVEMENT DURABILITY – A PRESTUDY* (s. 54). [https://www.roadex.org/wp-content/uploads/2014/10/ROADEX\\_Axle\\_Tyre\\_Prestudy\\_15102014%20Final.pdf](https://www.roadex.org/wp-content/uploads/2014/10/ROADEX_Axle_Tyre_Prestudy_15102014%20Final.pdf)
- Vegdirektoratet. (2014). Forskrift om vektor og dimensjoner, off. veg. I *Lovdata*. <https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2014-01-15-28>
- Vuorimies, N., Luomala, H. & Kolisoja, P. (2012). *NIINISALO AND IVALO TRACTION DEMONSTRATION PROJECTS, FINLAND. A Report on a Demonstration of Tyre Pressure Control on Timber Haulage Vehicles travelling on Slippery Surfaces and a Snowy Hillside*. <https://www.roadex.org/wp-content/uploads/2014/01/Demonstrations-of-TPC-traction-Finland-2012.pdf>
- Vägverkets författningssamling, Pub. L. No. VVFS 2007:3 (2007). <https://trvfs.ea.trafikverket.se/TRVFS/Home/DocumentHistory/2007-3>
- Wang, F. & Machemehl, R. B. (2006). Mechanistic–Empirical Study of Effects of Truck Tire Pressure on Pavement: Measured Tire–Pavement Contact Stress Data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1947(1), 136–145. <https://doi.org/10.1177/0361198106194700113>

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter.