

FoU Indre Romsdal

Feltforsøk i Trysil - Bremselengde

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 325



Tittel

FoU Indre Romsdal

Undertittel

Feltforsøk i Trysil- Bremselengde

Forfatter

Kine Nillssen, SINTEF
Kjell Arne Skoglund, SINTEF

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Seksjon

Vegteknologi

Prosjektnummer

601857

Rapportnummer

Nr. 325

Prosjektleder

Bård Nonstad

Godkjent av

Berit Laanke, SINTEF

Emneord

Samferdsel, gummihardhet, bremselengde, friksjon

Sammendrag

Hensikten med forsøket var å dokumentere mulig sammenheng mellom et kjøretøys bremselengde og dekkenes gummihardhet (shore-verdi). I forsøket ble det brukt to like lastebiler og to like personbiler. En lastebil og en personbil ble brukt som referansebil, mens den andre lastebilen og personbilen ble brukt som testbil. Testbilene ble kjørt med to forskjellige typer dekksett, som skulle representere henholdsvis "gode" og "dårlige" vinterdekk. De gode dekkene hadde dypere mønster og lavere shore-verdi (mykere gummi-blanding) enn de dårlige.

Det ble registrert signifikante forskjeller i bremselengde mellom dekkene. De dårlige dekkene hadde hos lastebilen i snitt 24 % lenger bremselengde enn de gode dekkene når det ikke var last i bilen. Dette tilsvarte 17,2 meter. Med last var bremselengden 31 % lenger, som tilsvarte 23,4 meter. De dårlige personbildekkene hadde i snitt 18 % lengre bremselengde enn de gode, i meter utgjorde dette 11,6 meter.

Antall sider 32

Dato September 2013

Title

Research and Development inner Romsdal

Subtitle

Field Experiment in Trysil- Braking length

Author

Kine Nillssen, SINTEF
Kjell Arne Skoglund, SINTEF

Department

Traffic Safety, Environment and Technology Department

Section

Vegteknologi

Project number

601857

Report number

No. 325

Project manager

Bård Nonstad

Approved by

Berit Laanke, SINTEF

Key words

Transport, rubber hardness, braking length, friction

Summary

The purpose of this test was to document a possible relation between vehicles braking length and the rubber hardness of the tires. (The shore-value)
In the experiment two identical trucks were used, and two identical cars. One of the trucks and one of the cars were used as references and the other truck and car used as test vehicles. The test vehicles were run with two different types of tires. One represented good winter tires and the other represented bad winter tires. The good tires had deeper tread grooves and a lower shore-value (softer rubber) than the bad tires.
It was noted significant differences in the braking distances between the different types of tires. The best tire had the shortest stopping distance. For the trucks, the difference was in average a 24 % longer braking distance with the bad tires when the truck was not loaded, and about 31 % when it was loaded.

Pages 32

Date September 2013



SBF 2013 A0143 - Åpen

Rapport

FoU Indre Romsdal

Feltforsøk i Trysil – Bremselengde

Forfattere

Kine Nilssen

Kjell Arne Skoglund



SINTEF ByggforskPostadresse:
Postboks 4760 Sluppen
7465 TrondheimSentralbord: 73593000
Telefaks:byggforsk@sintef.no
<http://www.sintef.no/Byggforsk/>
Foretaksregister:
NO 948007029 MVA

Rapport

FoU Indre Romsdal

Feltforsøk i Trysil - Bremselengde

EMNEORD:
Samferdsel
Gummihårdhet i dekk
(shore-verdi)
Bremselengde
Friksjon**VERSJON**

1

DATO

2013-09-30

FORFATTERKine Nilssen
Kjell Arne Skoglund**OPPDRAGSGIVER**

Statens vegvesen, Vegdirektoratet

OPPDRAGSGIVERS REF.

Bård Nonstad

PROSJEKTNR

102000304

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

32

SAMMENDRAG**Feltforsøk i Trysil 2013 – Bremselengde**

Hensikten med forsøket var å dokumentere mulig sammenheng mellom et kjøretøys bremselengde og dekkenes gummihardhet (shore-verdi). I forsøket ble det brukt to like lastebiler og to like personbiler. En lastebil og en personbil ble brukt som referansebil, mens den andre lastebilen og personbilen ble brukt som testbil. Testbilene ble kjørt med to forskjellige typer dekksett, som skulle representere henholdsvis "gode" og "dårlige" vinterdekk. De gode dekkene hadde dypere mønster og lavere shore-verdi enn de dårlige. Bilene passerte et gitt punkt i ca. 70 km/t, der bremses de maksimalt og bremselengden ble målt. Lastebilen ble kjørt både med og uten last.

Det ble registrert signifikante forskjeller i bremselengde mellom dekkene. De dårlige dekkene hadde hos lastebilen i snitt 24 % lenger bremselengde enn de gode dekkene når det ikke var last i bilen. Dette tilsvarte 17,2 meter. Med last var bremselengden 31 % lenger, som tilsvarte 23,4 meter. De dårlige personbildekkene hadde i snitt 18 % lengre bremselengde enn de gode, i meter utgjorde dette 11,6 meter.

UTARBEIDET AVKine Nilssen
Kjell Arne Skoglund**KONTROLLERT AV**

Carl Thodesen

GODKJENT AV

Berit Läänke

RAPPORTNR

SBF 2013 A0143

ISBN

978-82-14-05424-8

GRADERING

Åpen

SIGNATUR

Kine Nilssen
Kjell Arne Skoglund

SIGNATUR

[Signature]

SIGNATUR

Berit Läänke

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
1.0	30.09.2013	Endelig versjon

Sammendrag

Tidligere forsøk har vist at det er en sammenheng mellom tunge kjøretøys fremkommelighetsegenskaper og dekkenes gummihardhet (shore-verdi) (Gryteselv og Gjæver, 2011). Derfor ble det stilt spørsmål om gummihardheten også kan ha betydning for bremselengden til et kjøretøy. For å dokumentere dette har to feltforsøk blitt utført. Et feltforsøk ble utført på Lånkebanen 31. januar – 1. februar 2012 (Nilssen og Gryteselv, 2012a), og et feltforsøk ble utført på flyplassen i Trysil den 26.- 27. februar 2013. Denne rapporten beskriver feltforsøket utført på flyplassen i Trysil.

I forsøket ble det brukt to identiske lastebiler av type Scania 2013-modell og to like personbiler av typen Renault Megane Grand Scenic 2013-modell. En lastebil og en personbil ble brukt som referansebil. Referansebilene ble brukt til å kontrollere friksjonsforholdene utover dagen. Den andre lastebilen og personbilen fungerte som testbiler. Testbilene ble kjørt med to forskjellige typer dekksett. Et dekksett skulle representere gode vinterdekk og det andre settet skulle representere dårlige vinterdekk. De gode dekkene hadde dypere mønster og lavere shore-verdi (mykere gummi), enn de dårlige. Hvert dekksett ble kjørt fem ganger. Bilene passerte et gitt punkt i ca. 70 km/t. Der bremses de maksimalt og bremselengden ble målt med GPS og manuelt med målebånd. Vegbanen bestod av snø-/isdekke, med en friksjonskoeffisient rundt 0,30 før bremsing ble gjennomført. Lastebilen ble kjørt både med og uten last.

Det ble registrert signifikante forskjeller i bremselengde mellom dekkene. De dårlige dekkene hadde hos lastebilen i snitt 24 % lenger bremselengde enn de gode dekkene når det ikke var last i bilen. Dette tilsvarte 17,2 meter. Med last var bremselengden 31 % lenger for de dårlige dekkene, noe som tilsvarte 23,4 meter. De dårlige personbildekkene hadde i snitt 18 % lengre bremselengde enn de gode, i meter utgjorde dette 11,6 meter.

Forsøket har vist betydningen av gode vinterdekk kontra dårlige. Det skal legges til at forsøket ikke viser om det er mønsterdybden, mønstertypen eller shore-verdien som er årsaken til de store forskjellene i bremselengden, noe det kunne vært interessant å se nærmere på.

Summary

Previous experiments have shown that there may be a correlation between mobility of heavy vehicles and hardness of the rubber tire (shore-value) (Gryteselv and Gjæver, 2011). Therefore, there may also be a correlation between hardness of the rubber tire and the braking distance of the vehicle. Two field experiments have been conducted whose purpose was to document this correlation. One at Lånkebanen 31st January – 1st February 2012 (Nilssen and Gryteselv, 2012a) and one at the airport in Trysil the 26th - 27th February 2013. This report describes the field experiment conducted at the airport in Trysil, and the results of the experiment.

In the experiment two identical trucks were used, Scania 2013 models, and two identical cars, Renault Megane Grand Scenic 2013 models. One of the trucks and one of the cars were used as references and the other truck and car used as test vehicles. The test vehicles were run with two different types of tires. One represented good winter tires and the other represented bad winter tires. The good tires had deeper tread grooves and a lower shore-value (softer rubber) than the bad tires. The cars passed a given point at approx. 70 km/h, then performing a maximum braking to total stop. The stopping distances were measured with GPS and manually with measuring tape. The roadway consisted of snow/ice cover, with a friction coefficient around 0.30.

It was noted significant differences in the braking distances between the different types of tires. The best tire had the shortest stopping distance. For the trucks, the difference was in average a 24 % longer braking distance with the bad tires when the truck was not loaded, and about 31% when it was loaded. That meant 17.2 meters and 23.4 meters longer braking distance in this test. The bad car tire had on average 18 % longer braking distance than the good tire, which meant 11.6 meters.

The experiment has shown the importance of good winter tires. It should be added that the experiment did not indicate whether it was the tire pattern depth or the shore-value that was the reason for the large difference in braking distance. It would be interesting to learn more about this.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	6
1.1	Bakgrunn.....	6
1.2	Problemstilling.....	6
1.3	Målsetting.....	6
2	Metodikk.....	7
2.1	Prosedyre for feltdokumentasjon.....	7
2.1.1	Banen.....	7
2.1.2	Bilene.....	8
2.1.3	Dekkene.....	10
2.1.4	Værdata.....	11
2.1.5	Friksjon.....	11
2.1.6	GPS-logging.....	12
2.2	Registrering av bremselengde.....	14
3	Resultater.....	17
3.1	Friksjon.....	17
3.2	Korrigerings av bremselengde.....	19
4	Diskusjon.....	27
4.1	Bremselengde.....	27
4.2	Eksempel på beregning av varierende friksjonen over bremselengden.....	29
5	Konklusjon.....	31
6	Referanseliste.....	32

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

FoU Indre Romsdal er et forsknings- og utviklingsprosjekt initiert av Statens vegvesen (SVV), Avdeling Møre og Romsdal. FoU Indre Romsdal har bestått av flere delprosjekt, og fokuset til prosjektene har omhandlet vinterdrift av veger. Prosjektet er finansiert av Statens vegvesen, Avdeling Møre og Romsdal gjennom driftskontrakt 1503 og av Vegdirektoratet, Trafikksikkerhet-, miljø- og teknologiavdelingen i Trondheim. Ivar Hol, Per Brandli og Bård Nonstad fra Statens Vegvesen har vært ansvarlige for gjennomføringen av delprosjektet beskrevet i denne rapporten. Feltforsøket ble utført på flystripa i Trysil. Tilstede var representanter fra Vegdirektoratet, SVV - Trafikant og kjøretøy Region midt, SINTEF og Dekkpartner Hamar.

1.2 Problemstilling

God friksjon og kortest mulig bremselengde er viktig for å opprettholde trafikksikkerheten. Tidligere delprosjekt utført i FoU Indre Romsdal har indikert at dekk med lite mønster og hard gummi har vesentlig dårligere egenskaper til å mobilisere trekkraft selv ved økning av aksellast (Gryteselv, 2012) og (Vaa et al., 2009). Derfor er det gjennom dette feltforsøket ønskelig å se om hardheten til dekkene også påvirker bremselengden til kjøretøyene.

I februar 2012 ble det utført et liknende feltforsøk på Lånkebanen. Dekkene som ble benyttet i dette forsøket hadde ikke tilstrekkelige forskjeller i egenskapene, for å kunne konkludere med at gummihardhet har påvirkning på bremselengden. Testoppsettet på feltforsøket i Trysil var derfor liknende testoppsettet på Lånkebanen, men med andre typer dekk.

1.3 Målsetting

Formålet med dette delprosjektet, "Feltforsøk i Trysil – Bremselengde", var å dokumentere eventuelle forskjeller i bremselengden til både tunge kjøretøy og personbiler når det ble brukt dekk med forskjellig gummihardhet (shore-verdi).

Rapporten beskriver bakgrunnen, gjennomføringen og analysen av feltforsøket. Prosjektet begrenser seg til en vurdering av dekkutrustning og gummihardhet. Testen viser resultater under gitte forutsetninger om føreforhold og friksjon.

2 Metodikk

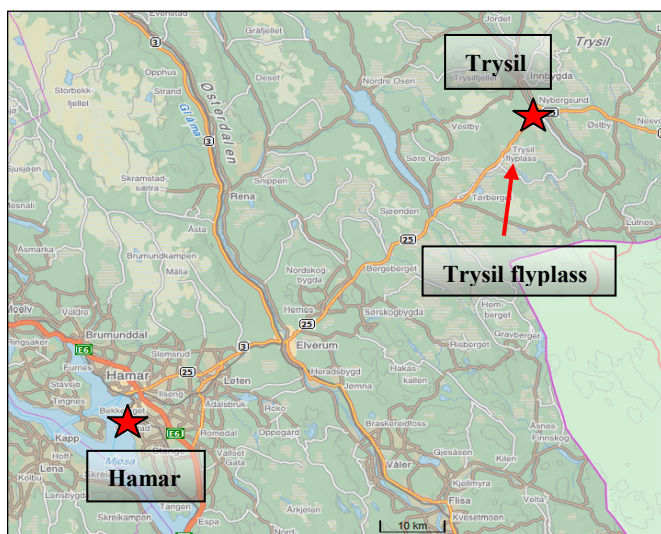
Kapittelet beskriver utførelsen av feltforsøket.

2.1 Prosedyre for feltdokumentasjon

Personer fra Statens Vegvesen (SVV) Trafikant og kjøretøy Region midt, SVV Trafikant og kjøretøy Vegdirektoratet, SINTEF og Dekkpartner Hamar deltok på feltforsøket. Det ble brukt to dager på forsøket, 26. februar og 27. februar 2013.

2.1.1 Banen

Feltforsøket ble utført på Trysil flyplass ved riksveg 25 i Trysil kommune, Hedmark fylke.



Figur 1. Trysil flyplass. Kartkilde: www.finn.no.

Flyplassen består av en asfaltert rettstrekning som er omtrent 800 meter lang og 25 meter bred. Se Figur 2.



Figur 2. Trysil flyplass, flyfoto. Kartkilde: www.finn.no.

Forsøket ble flyttet rundt på forskjellige steder på flystripa etter hvert som snødekket ble polert. Bilene brukte en del av strekningen for å komme oppi fart, og passerte to kjepler i en hastighet på ca. 70 km/t. Når bilene passerte kjeplene, bremsset sjåføren maksimalt og bilen stanset langs rettstrekket. Se Figur 3.



Figur 3. Trysil flyplass.

2.1.2 Bilene

I forsøket ble det brukt to lastebiler og to personbiler. Lastebilene var to tandemtrekkere av typen Scania, 2013-modeller. Personbilene var av typen Renault Megane Grand Scenic, 2013-modeller. Se Figur 4 og Figur 5. Bilene var utstyrt med ABS-bremser.



Figur 4. Lastebil brukt i feltforsøket.



Figur 5. Personbil brukt i feltforsøket.

En lastebil og en personbil ble brukt som testbil (T), og den andre lastebilen og personbilen ble brukt som referansebil (R).

Skiltnummer	Referanse eller testbil	Tungbil eller personbil	Identitet i beregningene
DP 15997	Referanse	Tungbil	RT
DP 18007	Test	Tungbil	TT
FX 58	Referanse	Personbil	RP
HB 74656	Test	Personbil	TP

Testbilen av lastebilene ble kjørt både med og uten last. Tabellen under viser aksellast på styr- og drivhjul, for både referansebil og testbil til lastebilen. Aksellast på styrehjul var omtrent 6 tonn uten last og 8 tonn med last. På drivaksel var den omtrent 7 tonn uten last og 15 – 18 tonn med last.

Vekt lastebiler	Referansebil	Testbil	Testbil med last, dag 1	Testbil med last, dag 2
Foran	6300	6400	8800	8150
Bak	7800	7000	15400	18200
Totalvekt	14100	13400	24200	26350

2.1.3 Dekkene

Referansebil kjørte med samme typen dekk hele dagen. Testbil kjørte med to forskjellige typer dekk. I rapporten brukes identitetene O, A, B, C og D på dekkene for ikke å oppgi fabrikanten.

Dekk O: Representerte bra vinterdekk, som ble benyttet på referansebil både til lastebil og personbil.

Dekk A: Representerte bra vinterdekk på tungbil.

Dekk B: Representerte dårlige vinterdekk på tungbil.

Dekk C: Representerte bra vinterdekk på personbil.

Dekk D: Representerte dårlige vinterdekk på personbil.

For lastebilen var dekk O og A identiske både når det gjelder type og alder. For personbil var dekk O og C identiske både når det gjelder type og alder.

Tabell 1 viser dekkdata fra lastebilen. Tabell 2 viser dekkdata fra personbil.

Dekkbenevnelse	Identer	Dekkdimensjon	Mønsterdybde [mm]	Prod.dato	Shore
Referanse Scania R620 DP 15977					
Styrehjul	O	385/65 R22,5	15	2412	65
Drivhjul	O	295/80 R22,5	20	4512	64,4
Testbil Scania R730 DP 18007					
Styrehjul 1	A	385/65 R22,5	15	2712	65
Drivhjul 1	A	295/80 R22,5	20	1312	64
Styrehjul 2	B	385/65 R22,5	5,5	3009	67,8
Drivhjul 2	B	315/80 R22,5	8		69,6
Drivhjul 3	B	315/80 R22,5	7	3507	70

Tabell 1. Dekkdata fra lastebildekkene.

Dekkene hadde foreskrevet dekktrykk. 126 psi (8,7 bar) på styrehjul og 116 psi (8 bar) på drivhjul.

Dekkbenevnelse	Dekkident	Dekkdimensjon	Mønsterdybde [mm]	Prod.dato	Shore
Referansebil FX 58 Renault Grand Scenic					
Dekk foran	O	205/60 R15	8	2812	48,3
Dekk bak	O	205/60 R16	8	2812	48,3
Testbil Hb 74656 Renault Grand Scenic					
Dekk 1 foran	C	205/60 R15	8	0712	48,0
Dekk 1 bak	C	205/60 R16	8	0812	48,0
Dekk 2 foran	D	205/55 R16	4	3308	64,3
Dekk 2 bak	D	205/55 R16	5	1008	64,3

Tabell 2. Dekkdata fra personbildekkene.

Dekkene hadde foreskrevet dekktrykk. 34,8 psi (2,4 bar) på styrehjul og 33,3 psi (2,3 bar) på drivhjul.

Samtlige dekk ble påmontert av representant fra Dekkpartner Hamar.

2.1.4 Værdata

Værdata har blitt hentet fra internettjenesten på www.eklima.no, og inneholder informasjon om temperatur og nedbørsmengde for værstasjonen på Trysil. Værstasjonen ligger ved Trysil vegstasjon, omtrent 9 kilometer fra flyplassen. Værdataen viser at temperaturene var lave i starten av dagen og ble litt midlere utover dagen. På dag 1 var middeltemperaturen $-7,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, og på dag 2 var middeltemperaturen $-4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Det var ikke nedbør noen av dagene. Målinger gjort med RoAR5 viste i snitt vegtemperatur noe lavere enn e-klima sine målinger, med $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ dag 1 og $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ dag 2. Det var lite variasjoner i vegbanetemperaturen i løpet av dagen både i følge e-klima og RoAR5. Temperaturen til vegdekket ble i tillegg målt manuelt ved hjelp av et IR-instrument. Målingene her viste stabile forhold hele dagen, med temperatur på rundt $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ den første dagen og $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ den andre dagen.

2.1.5 Friksjon

Friksjon ble målt med etterhengene friksjonsmåler, typer RoAR5. Se Figur 6. Friksjonen ble målt like før bilene kjørte, mellom hvert bilskifte og dekkskifte.



Figur 6. Friksjonsmåleren RoAR5.

Data fra Roar5 viser at friksjonen varierte noe i løpet av dagen. Friksjonen på strekningen det ble bremsset på ble målt til:

Dag 1: Laveste friksjonsmåling 0,19 og høyeste til 0,33. Snittet for dagen var 0,27.

Dag 2: Laveste friksjonsmåling 0,20 og høyeste verdi 0,32. Snittet for dagen var 0,24.

Underlaget bestod av et tykt snødekke. Visuelt så det ut som dekket ble polert etter gjentatte nedbremsinger. Se figur 7.



Figur 7. Snø- og isdekke som har blitt polert etter bremsing.

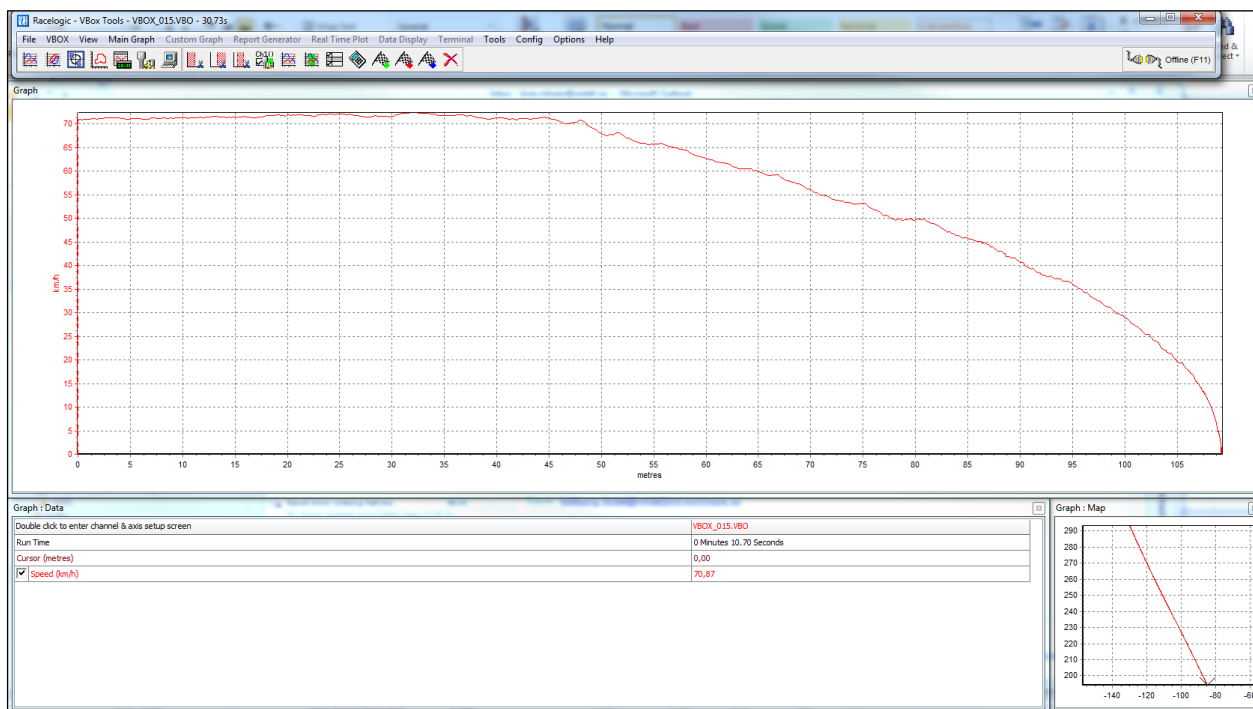
2.1.6 GPS-logging

I bilene ble det montert en GPS av typen Racelogic VBOX3i. Se Figur 8. GPSen har 100 Hz registreringsfrekvens. GPS-en registrer nøyaktig hvor kjøretøyet startet nedbremsingen og nøyaktig hvilken hastighet kjøretøyet hadde da, og dermed nøyaktig bremselengde.



Figur 8. GPS-logger.

Figur 9 viser eksempel fra programvaren til GPSen. Her ser man hastigheten (km/t) på y-aksen og distanse (meter) på x-aksen. I dette eksempelet begynte bilen å bremse etter omtrent 45 meter, da hadde den en hastighet på 70,5 km/t. Bremselengden i dette tilfellet var 63 meter.



Figur 9. Eksempel på graf som GPS-en gir.

2.2 Registrering av bremselengde

Bilene passerte de to kjeglene i 70 km/t og bremset maksimalt. Bremselengden ble målt med målebånd og med GPS. Rekkefølgen på kjøringene var som følger:

Dag 1:

- Friksjon måles
- Referansebil tungbil kjører med originaldekk **(1-RTO)**
- Friksjon måles
- Testbil kjører med dekk A **(2-TTA)**
- Friksjon måles
- Testbil personbil kjører med dekk C **(3-RPC)**
- Friksjon måles
- Referansebil personbil kjører med originaldekk **(4-RPO)**
- Friksjon måles
- Testbil tungbil kjører med dekk A med lass **(5-TTA-med last)**
- Friksjon måles
- Referansebil tungbil kjører **(6-RTO)**
- Friksjon måles
- Referansebil personbil kjører **(7-RPO)**
- Friksjon måles
- Testbil personbil kjører med dekk D **(8-TPD)**
- Friksjon måles
- Testbil tungbil kjører med dekk B og last **(9-TTB med last)**
- Friksjon måles
- Referansebil tungbil kjører **(10-RTO)**
- Friksjon måles
- Testbil tungbil med dekk B **(11-TTB)**
- Friksjon måles
- Referanse tungbil **(12-RTO)**
- Friksjon måles

Dag 2:

- Friksjon måles
- Testbil tungbil kjører med dekk B **(13-TTB)**
- Friksjon måles
- Referanse tungbil **(14-RTO)**
- Friksjon måles
- Referanse personbil **(15-RPO)**
- Friksjon måles
- Testbil personbil med dekk D **(16-TPD)**
- Friksjon måles
- Testbil tungbil med dekk B og last **(17-TTB med last)**
- Friksjon måles
- Referanse tungbil **(18-RTO)**

- Friksjon måles
- Testbil personbil med dekk C (19-TPC)
- Friksjon måles
- Referanse personbil (20-RPO)
- Friksjon måles
- Testbil tung med dekk A og last (21-TTA med last)
- Friksjon måles
- Referanse tungbil (22-RTO)
- Friksjon måles
- Testbil tung dekk A (23-TTA)
- Friksjon måles
- Referanse tungbil (24-RTO)
- Friksjon måles

Figur 10 - 13 viser eksempler på en testkjøring.



Figur 10. Friksjon måles.



Figur 11. Kjøretøy oppnår 70 km/t.



Figur 12. Kjøretøy passerer de røde kjeglene, sjåfør trækker bremsen helt i bunn.



Figur 13. Når lastebilen stanser måles bremselengde. Manuell avlesning med målebånd brukes som supplement til GPS-målingene.

3 Resultater

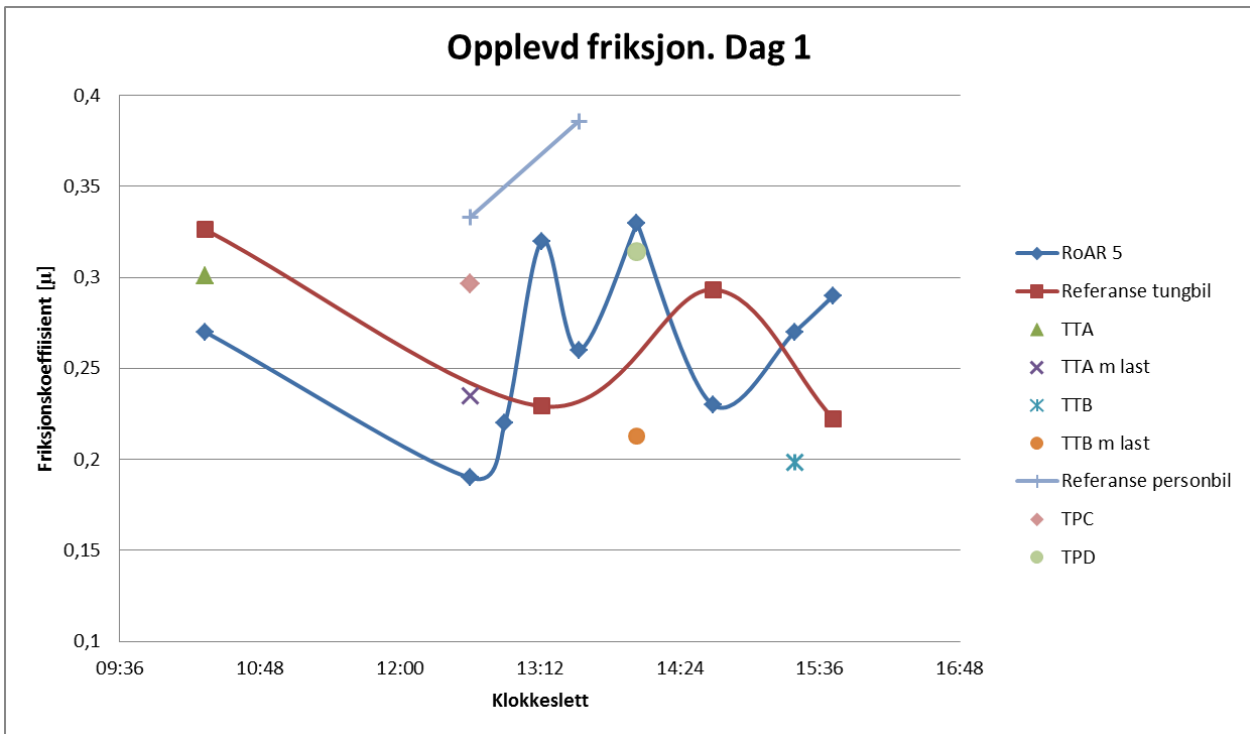
Friksjonen varierte utover dagen og fra den ene dagen til den andre. Bremselengden må korrigeres for denne friksjonsendringen slik at bremselengdene til de forskjellige dekkene kan sammenliknes med hverandre.

3.1 Friksjon

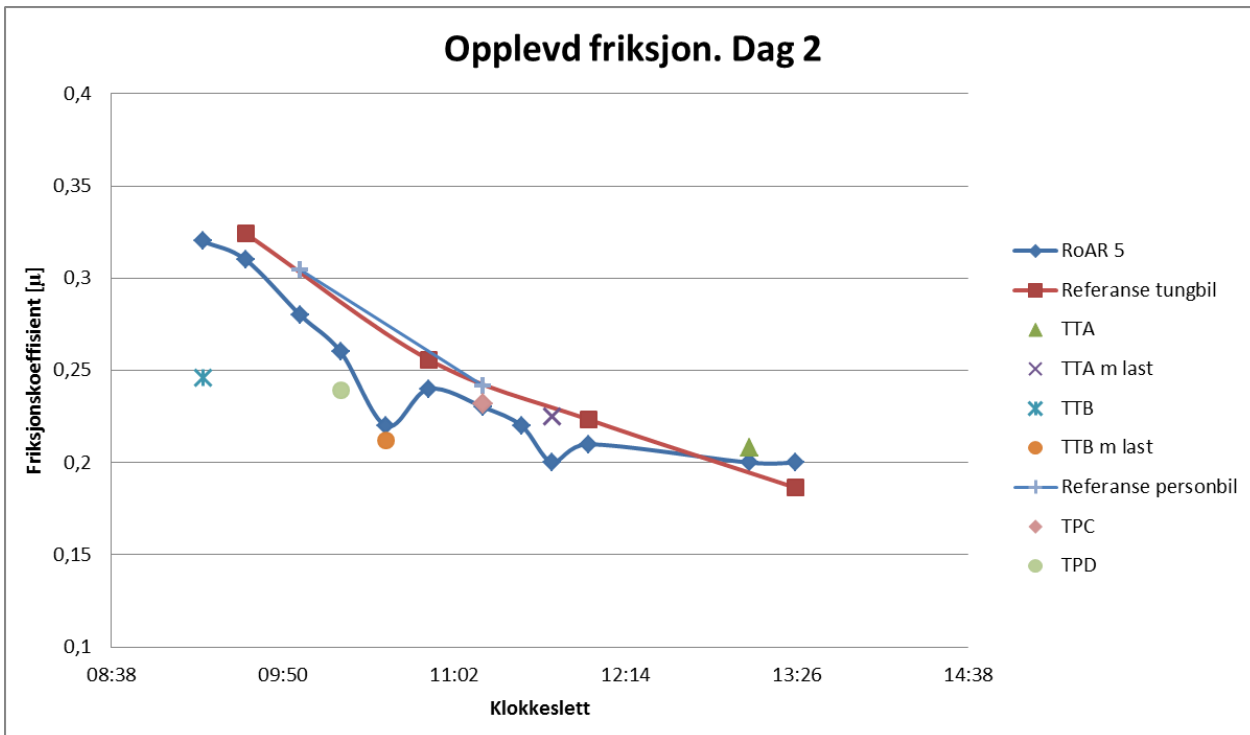
Ved hjelp av GPS-målingene ble dekkenes opplevde friksjon beregnet. Det ble kjørt fem ganger med hvert dekk, høyeste og laveste verdi på opplevd friksjon er ikke tatt med i beregningene, slik at dekkenes opplevde friksjon er snittet av tre kjøring. Friksjon ble i tillegg målt med RoAR5. RoAR5 ble kjørt mellom hvert bil- og dekkbytte.

Resultatene av friksjonsmålingene viser at det ikke alltid var direkte samsvar mellom friksjonen RoAR5 målte og friksjonen dekkene til lastebilene og personbilen opplevde. Figur 14 og Figur 15 viser den opplevde friksjonen for referansebilene, for hvert dekk og for RoAR5 på henholdsvis dag 1 og dag 2. Det er trukket linjer mellom punktene til referansebilene, mens hver dekktype er vist som et enkelt punkt i grafen. Lineær tilnærming for dag 1 gir ikke et godt bilde av friksjonsutviklingen i og med at det ble byttet testbane flere ganger i løpet av dagen. En lineær tilnærming av RoAR5 ville for eksempel vist en relativ jevn friksjon hele dagen. Dette skyldes at RoAR 5 ofte fikk kjøre de nye testbanene først, og noen ganger kun en gang, mens lastebilen etter hvert polerte vegbanen.

For dag 1 og dag 2 er friksjonen RoAR5 måler og friksjonen referansebilene opplever noe forskjellig. På dag 1 er den opplevde friksjonen for personbilen høyere enn det RoAR5 måler, mens friksjonen til lastebilen er lavere enn det RoAR5 måler. Det samme erfarte prosjektgruppen på dekktesten på Lånkebanen året før (Nilssen og Gryteselv, 2012). Mens på dag 2 så ligger friksjonen opplevd av både personbil og lastebil høyere enn det RoAR5 målte. Det er vist en lineær tilnærming av friksjonsutviklingen i figur 15. Den viser at alle tre bilene opplever at reduksjonen av friksjonen er omtrent like stor for hver time som går. Dag 2 er enklere å analysere enn dag 1 i og med at samme bane ble benyttet hele dagen. RoAR5 viser seg her og være noe konservativ, men gir et godt bilde på friksjonsutviklingen. I et annet delforsøk utført i FoU Indre Romsdal ble det også dokumentert at den opplevde friksjonen til personbildekk er gjennomgående høyere enn det RoAR5 måler, dvs. TWO-måler kalibrert mot RoAR5 (Gryteselv og Gjæver, 2011)



Figur 14. Utvikling av friksjon utover dag 1.



Figur 15. Utvikling av friksjon utover dag 2

3.2 Korrigering av bremselengde

Som nevnt tidligere er det nødvendig å korrigere bremselengden for endret friksjonsforhold utover dagen. Dette er gjort ved å ta utgangspunkt i hvilken friksjon referanse bilen opplever og korrigere bremselengden til testbilen opp mot dette. Tabell 3 – 8 viser hvordan korrigeringen er beregnet. Tabellene inneholder informasjon om tidspunkt, bil-ident, beregnet friksjon fra GPS-målinger, korreksjonsfaktoren, bremselengde i felt og bremselengde ved korrigering. Nærmere forklaring på disse parameterne følger under.

Figur 16 - Figur 27 viser bremselengden til de forskjellige dekkene. Først vises tabellene med korrigerte bremselengder, som beskrevet i kapittel 3.2. Deretter vises en grafisk fremstilling av bremselengdene for det "gode dekket" mot "det dårlige dekket", både for 70 km/t og 100 km/t. Resultatene er presentert i følgende rekkefølge:

<u>Dag 1</u>	<u>Dag 2</u>
Lastebil	Lastebil
Lastebil med last	Lastebil med last
Personbil	Personbil

- Tidspunkt

Klokkeslett for første kjøring med hvert dekk.

- Bil- og dekkident

ID som er brukt på dekket, siden produsent er anonymisert. Se kapittel 2.1.3 og kapittel 2.2 for utdypende informasjon om dekkene.

- Beregnet friksjon fra GPS-målinger

Dette er dekkenes opplevde friksjon. Beregnet friksjon fra GPS-målinger er snittverdi av de fem kjøringene med hvert dekk, der minste og største verdi er fjernet. Hvordan friksjonskoeffisienten er beregnet vises under:

Mekanisk arbeid, E_w , for å bremse kjøretøyet er lik bremsekraften, F , ganger avstanden bilen kjører, dvs. bremselengden, L :

$$E_w = F \cdot L$$

der $F = \mu mg$

μ = friksjonskoeffisienten (ubenevnt)

m = kjøretøyets masse [kg]

g = tyngdens akselerasjon ($= 9,81 \text{ m/s}^2$)

L = bremselengde [m]

Energien som brukes for å akselerere omdannes til kinetisk energi E_{kin} :

$$E_{kin} = \frac{1}{2} mv^2$$
$$\mu mgL = \frac{1}{2} mv^2$$

der v = kjøretøyets hastighet før oppbremsing [m/s]

Massen forkortes:

$$\mu = \frac{v^2}{2g * L}$$

Omgjør fra m/s til km/t, og får følgende uttrykk for friksjonskoeffisienten μ :

$$\mu = \frac{V^2}{254,3 * L}$$

der V = kjøretøyets hastighet før oppbremsing [km/t]

L og v er direkte avlest fra GPS-målingene.

- Korreksjonsfaktor c

Bremselengdene er korrigert med en korreksjonsfaktor c . Dette betyr at alle bremselengdene er dratt opp eller ned til hvor lange de hadde vært ved en bestemt referansefriksjon. Referanse-friksjon (μ_{ref}) er definert som snittet av referansedekkenes opplevde friksjon mellom kjøringen som ble gjort rett før testbil med "gode dekk" og testbil med "dårlige dekk". Korreksjonsfaktoren c blir derfor referansefriksjonen delt på referansebilens opplevde friksjon.

$$\text{Korreksjonsfaktoren } c = \mu_{ref} / \mu(\text{referansebilens opplevde friksjon})$$

- μ -korrigert

Friksjon til dekkene korrigert med korreksjonsfaktoren c .

- Bremselengde i felt 70 km/t og 100 km/t

Bremselengde i felt er den bremselengden lastebilen ville hatt hvis den kjørte i nøyaktig 70 km/t. Det er da tatt utgangspunkt i dekkets opplevde friksjon beregnet fra GPS-målinger (μ).

Bremselengden er deretter skalert opp til hvor lang den hadde blitt hvis lastebilen hadde kjørt i 100 km/t. Dette er gjort kun for å illustrere bremselengdene i stor fart.

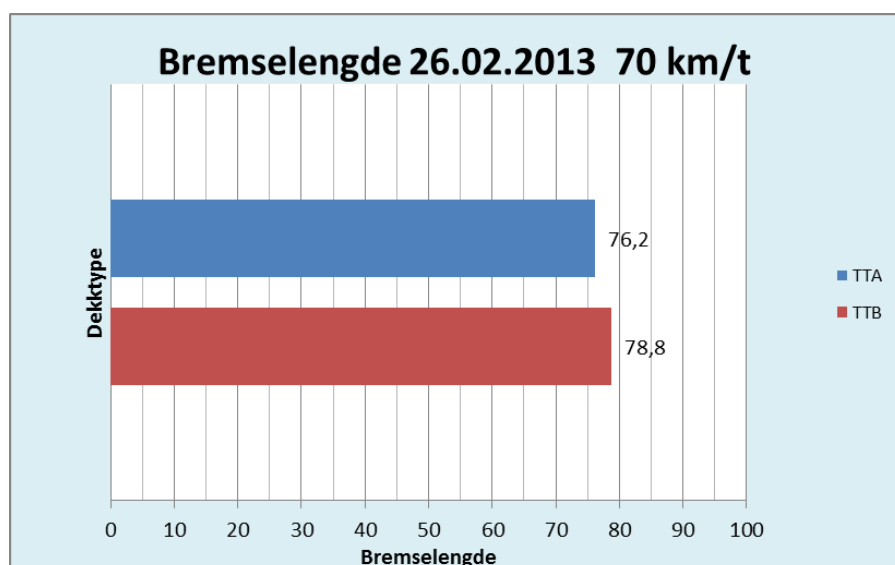
- Bremselengde ved μ -korrigert

Bremselengden etter den har blitt korrigert for endring i friksjonsforhold under forsøket. Resultatet viser hvilket dekk som har lengst bremselengde

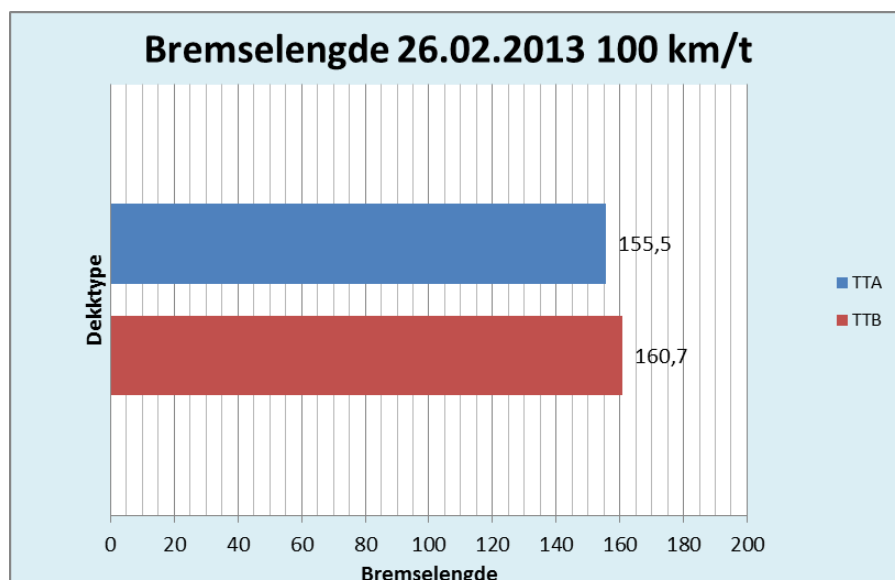
Dag 1 - Lastebil

Tidspkt	Bilident	Friksjon			Bremselengde			Bremselengde		
		Beregnet fra GPS-målinger	Korreksjonsfaktor c	μ -korrigert	I felt (70 km/t)	Ved μ -korrigert	Δ (snitt-dekk)	I felt (100 km/t)	Ved μ -korrigert	Δ (snitt-dekk)
09:59	RTO	0,326	0,84	0,274	59,1	70,3	0 %	120,5	143,4	0 %
10:22	TTA	0,301		0,253	64,1	76,2	-8 %	130,7	155,5	-8 %
15:26	RTO	0,222	1,23	0,274	86,7	70,3	0 %	177,0	143,4	0 %
15:10	TTB	0,198		0,245	97,2	78,8	-12 %	198,4	160,7	-12 %
	μ -ref:	0,27								

Tabell 3. Korrigerings av bremselengde



Figur 16. Bremselengde lastebil, dekk A mot dekk B



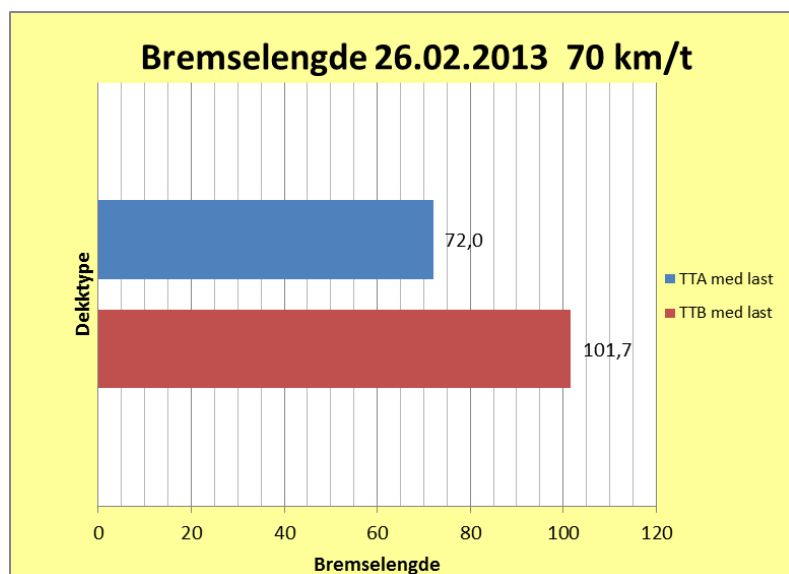
Figur 17. Bremselengde lastebil, dekk A mot dekk B

Dekk B har noe lengere bremselengde enn dekk A. I 70 km/t har dekk B 2,6 meter lenger bremselengde, noe som utgjør 3,4 %.

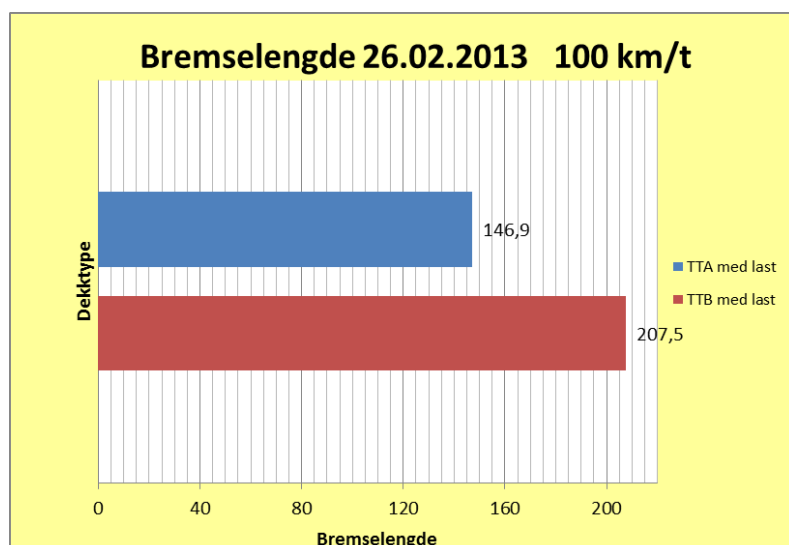
Dag 1 – Lastebil med last

Tidspkt	Bilident	Friksjon			Bremselengde			Bremselengde		
		Beregnet fra	Korreksjonsfaktor c	μ -korrigert	I felt (70 km/t)	Ved μ -korrigert	Δ (snitt-dekk)	I felt (100 km/t)	Ved μ -korrigert	Δ (snitt-dekk)
12:42	RTO	0,229	1,14	0,261	84,0	73,7	0 %	171,5	150,5	0 %
12:23	TTA med last	0,235		0,268	82,1	72,0	2 %	167,5	146,9	2 %
14:26	RTO	0,293	0,89	0,261	65,7	73,7	0 %	134,1	150,5	0 %
14:04	TTB med last	0,213		0,189	90,6	101,7	-38 %	184,9	207,5	-38 %
	μ -ref.	0,26								

Tabell 4. Korrigerings av bremselengde



Figur 18. Bremselengde, lastebil med last 70 km/t



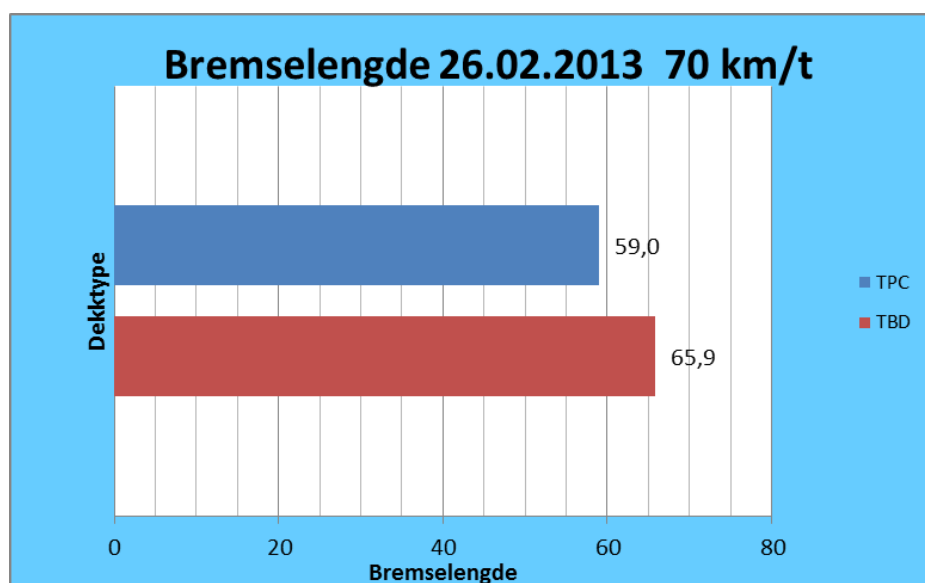
Figur 19. Bremselengde, lastebil med last 100 km/t

Dekk B har lengere bremselengde enn dekk A. I 70 km/t har dekk B 29,7 meter lenger bremselengde, altså hele 29,4 % lenger bremselengde.

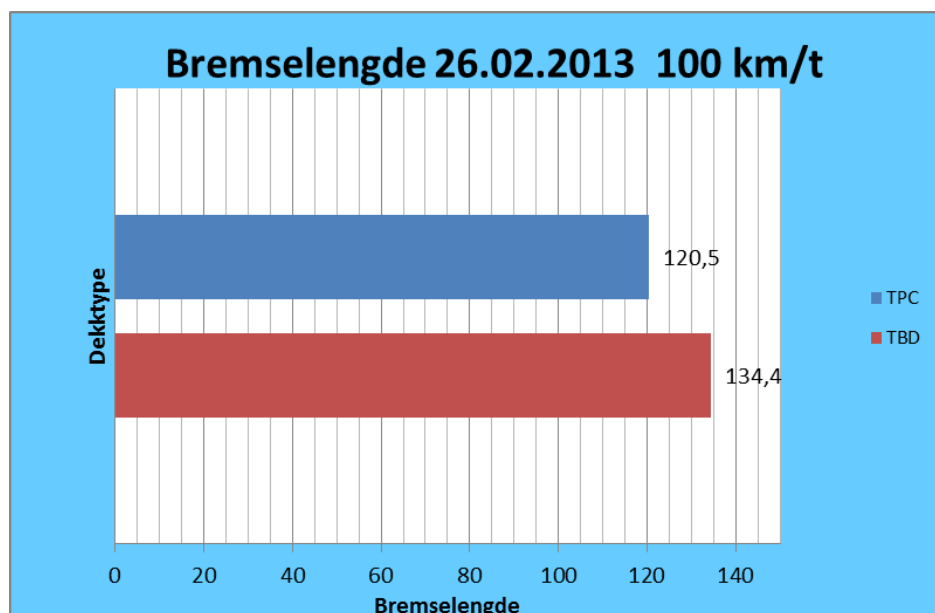
Dag 1 - Personbil

Tidspkt	Bilident	Fniksjon		Bremselengde			Bremselengde			
		Beregnet fra GPS-målinger	Korreksjonsfaktor c	μ -korrigert	I felt (70 km/t)	Ved μ -korrigert	Δ (snitt-dekk)	I felt (100 km/t)	Ved μ -korrigert	Δ (snitt-dekk)
11:09	RPO	0,333	1,08	0,359	57,9	53,6	0 %	118,1	109,4	0 %
10:51	TPC	0,302		0,326	63,7	59,0	-10 %	130,0	120,5	-10 %
13:14	RPO	0,386	0,93	0,359	49,9	53,6	0 %	101,9	109,4	0 %
13:35	TBD	0,314		0,293	61,4	65,9	-23 %	125,2	134,4	-23 %
	μ -ref:	0,36								

Tabell 5. Korrigerings av bremselengde



Figur 20. Bremselengde 70 km/t, personbil



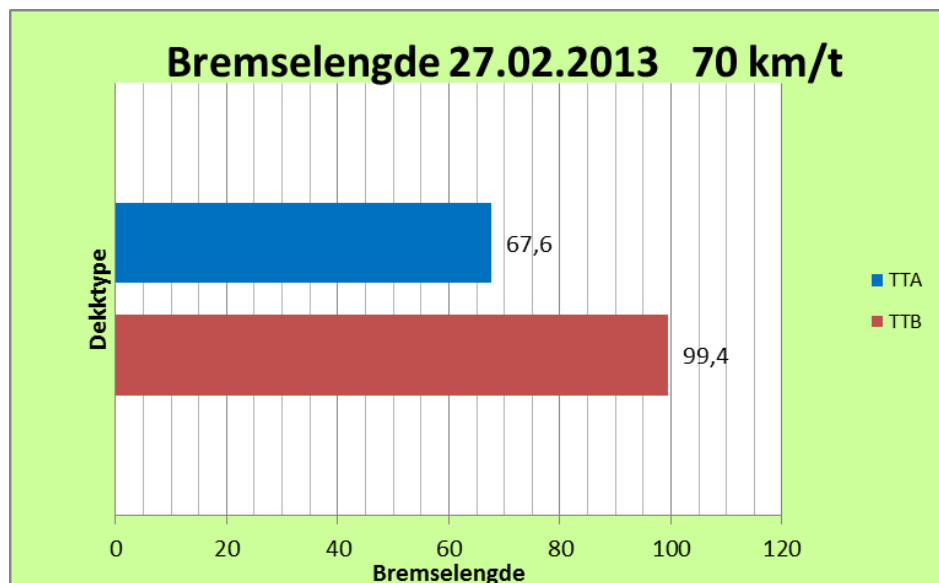
Figur 21. Bremselengde 100 km/t, personbil

I 70 km/t hadde dekk D har 6,9 meter lengere enn dekk C, altså 11,7 % lenger bremselengde.

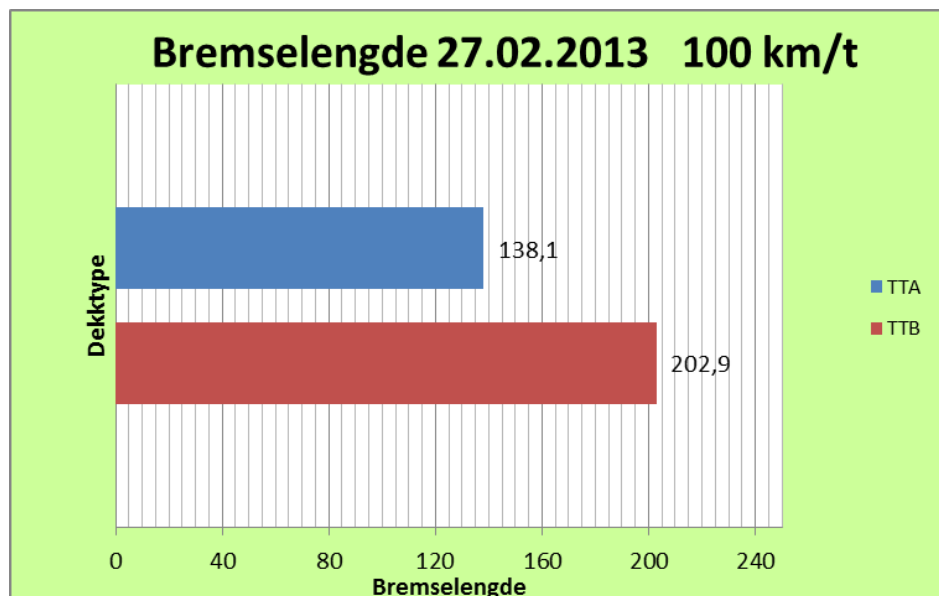
Dag 2 – Lastebil

Tidspkt	Bilident	Friksjon			Bremselengde			Bremselengde			
		Beregnet fra GPS-målinger	Korreksjonsfaktor c	μ -korrigert	I felt (70 km/t)	Ved μ -korrigert	Δ (snitt-dekk)	I felt (100 km/t)	Ved μ -korrigert	Δ (snitt-dekk)	
13:26	RTO	0,186	1,37	0,255	103,3	75,5	0 %	210,9	154,0	0 %	
13:07	TTA	0,208		0,285	92,6	67,6	10 %	189,1	138,1	10 %	
09:35	RTO	0,324	0,79	0,255	59,4	75,5	0 %	121,3	154,0	0 %	
09:17	TTB	0,246		0,194	78,3	99,4	-32 %	159,8	202,9	-32 %	
	μ -ref.	0,26									

Tabell 6. Korrigering av bremselengder, dag 2.



Figur 22. Bremselengde 70 km/t, lastebil



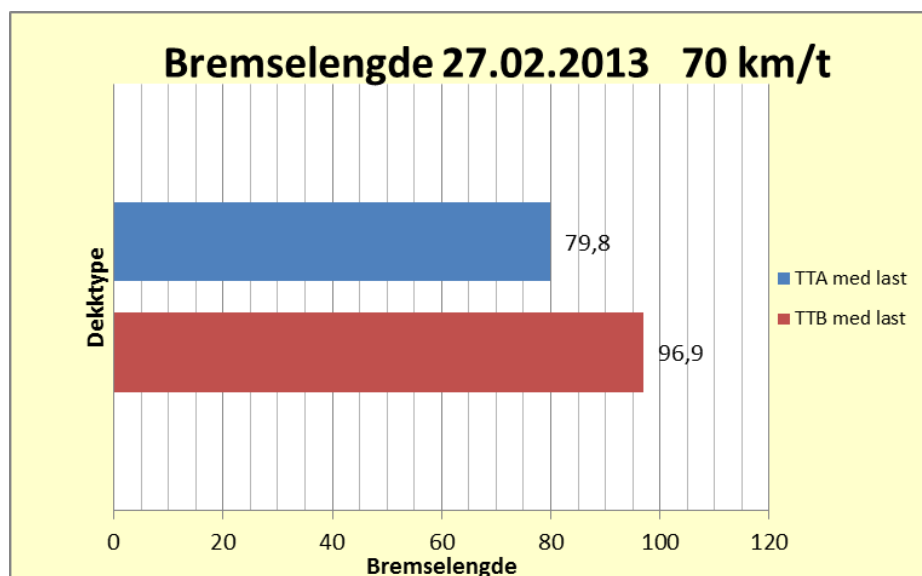
Figur 23. Bremselengde 100 km/t, lastebil

Dekk B har lenger bremselengde enn dekk A. I 70 km/t har dekk B 31,8 meter lenger bremselengde. Dette utgjør 47 % lengere bremselengde.

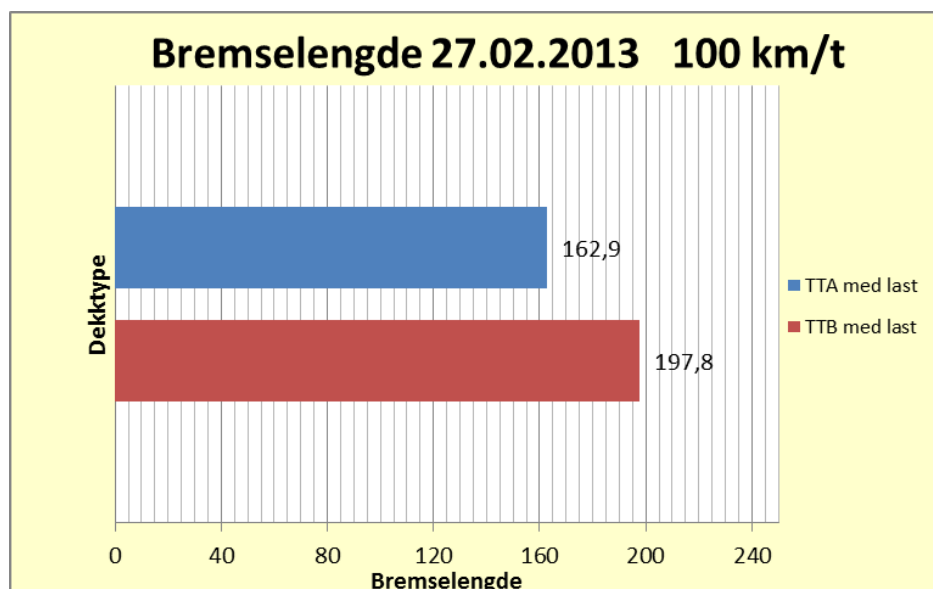
Dag 2 – Lastebil med last:

Tidspkt	Bilident	Friksjon			Bremselengde			Bremselengde		
		Beregnet fra GPS-målinger	Korreksjonsfaktor c	μ -korrigert	I felt (70 km/t)	Ved μ -korrigert	Δ (snitt-dekk)	I felt (100 km/t)	Ved μ -korrigert	Δ (snitt-dekk)
11:59	RTO	0,223	1,07	0,240	86,2	80,4	0 %	176,0	164,1	0 %
11:44	TTA med last	0,225		0,241	85,6	79,8	1 %	174,7	162,9	1 %
10:52	RTO	0,256	0,94	0,240	75,3	80,4	0 %	153,7	164,1	0 %
10:34	TTB med last	0,212		0,199	90,8	96,9	-21 %	185,3	197,8	-21 %
	μ -ref	0,24								

Tabell 7. Korrigering av bremselengder, dag 2. Lastebil med last



Figur 24. Bremselengde 70 km/t, lastebil med last



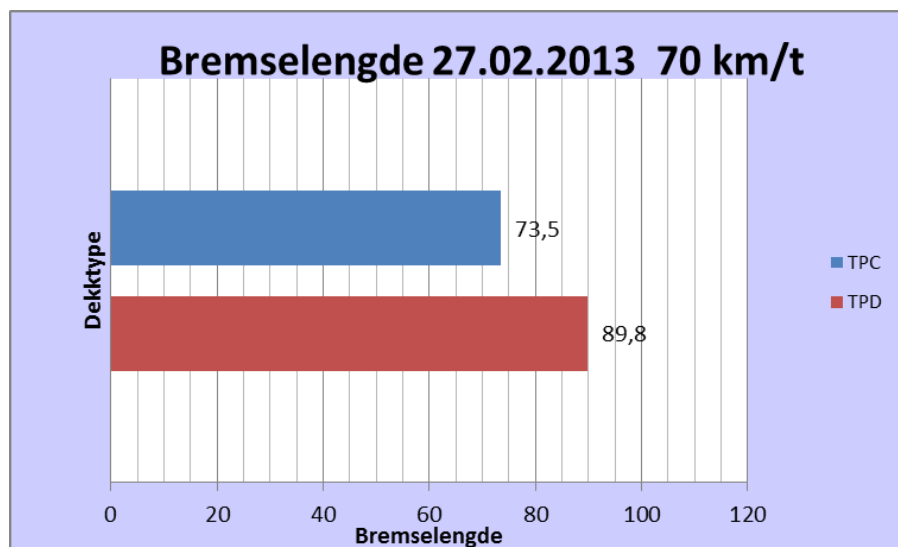
Figur 25. Bremselengde, 100 km/t, lastebil med last

I 70 km/t har dekk B 17,1 meter lengere bremselengde enn dekk A. Dette utgjør 21,4 % lengere bremselengde.

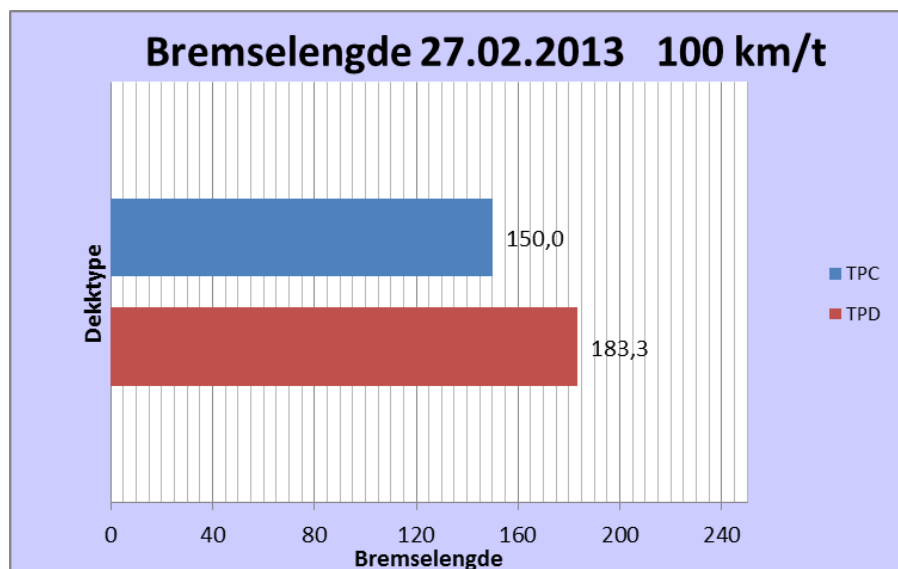
Dag 2 – Personbil

Tidspkt	Bilident	Friksjon			Bremselengde			Bremselengde		
		Beregnet fra GPS-målinger	Korreksjonsfaktor c	μ -korrigert	I felt (70 km/t)	Ved μ -korrigert	Δ (snitt-dekk)	I felt (100 km/t)	Ved μ -korrigert	Δ (snitt-dekk)
11:31	RPO	0,242	1,13	0,273	79,8	70,6	0 %	162,8	144,0	0 %
11:13	TPC	0,232		0,262	83,1	73,5	-4 %	169,5	150,0	-4 %
09:58	RPO	0,305	0,90	0,273	63,3	70,6	0 %	129,1	144,0	0 %
10:15	TPD	0,239		0,215	80,5	89,8	-27 %	164,4	183,3	-27 %
	μ -ref:	0,27								

Tabell 8. Korrigerings av bremselengde



Figur 26. Bremselengde 70 km/t, personbil



Figur 27. Bremselengde 100 km/t, personbil

I 70 km/t har dekk D 16,3 meter lengere bremselengde enn dekk C. Dette utgjør 22,2 % lengere bremselengde.

4 Diskusjon

I kapittel 4.1 diskuteres resultatene og grunnen for dem. I kapittel 4.2 ser vi på et eksempel der variasjonen i friksjonen er beregnet over bremselengden.

4.1 Bremselengde

Det ble utført en dataanalyse for å se signifikansen av resultatene. Alle fem oppbremsinger med hvert dekk begge dagene ble brukt i analysen. Først hver dag for seg og deretter samlet, altså ti kjøring per dekk. Det ble beregnet signifikansverdi med konfidensintervall $\alpha=0,05$, som tilsvarer et 95 % - konfidensintervall, og angir den sanne verdien med en sannsynlighet på 95 %. Slår vi sammen resultatene fra dag 1 og dag 2 finner vi at resultatene fra testen viser at det er signifikant lengere bremselengde for dekk med mindre mønsterdybde og høyere shore-verdi. Isolerer vi dag 2 finner vi fremdeles at verdiene er signifikante. Dag 1 viser den samme tendensen, men her er ikke forskjellene så store at resultatet kan beskrives som signifikante med 95 % - konfidensintervall. Som tidligere nevnt er det vanskelig å analysere data fra dag 1. Det ble byttet testbane flere ganger i løpet av dagen, noe som gjør det vanskeligere å tolke friksjonsgrafen. Den største usikkerheten knyttet til dag 1 ligger midlertidig til at referansebil noen ganger ble kjørt før testbil, mens andre ganger etter. Dag 2 ble testbil kjørt konsekvent først. Dette betyr at registrert friksjon på dag 2 mest sannsynlig alltid ble registrert litt for lavt, men at dette vil gjelde for samtlige dekk. Mens på dag 1 vil noen av dekkene fått registrert litt for høy friksjon og andre litt for lav.

Tabell 9 viser en oppsummering av bremselengdene til lastebilen (med og uten last) og personbilen i 70 km/t. Verdiene er snitt mellom dag 1 og dag 2. Dekkdata er hentet fra kapittel 2.1.3. Forskjellen i bremselengde mellom gode og dårlige dekk er vist både i meter og i prosent.

Dekk	Bremselengde			Dekkdata	
	meter	Δ (meter)	Δ (%)	Mønsterdybde (mm)	Shore-verdi
Lastebil, gode dekk (A)	71,90			15/20	64/65
Lastebil, dårlig dekk (B)	89,10	17,20	23,9	5,5/8/7	67,8/69,6/70
Lastebil med last, gode dekk (A)	75,90			15/20	64/65
Lastebil med last, dårlig dekk(B)	99,30	23,40	30,8	5,5/8/7	67,8/69,6/70
Personbil, gode dekk (C)	66,25			8/8	48/48
Personbil, dårlige dekk (D)	77,90	11,65	17,6	4/5	64,3/64,3

Tabell 9. Oppsummering bremselengder

Kolonnen Δ % viser forskjellen i bremselengde mellom "gode" og "dårlige" dekk for samme kjøretøy. Denne er varierende for de forskjellige kjøretøyene. Lastebilen opplever større forskjeller i bremselengde mellom gode og dårlige dekk enn personbilen (23,9 % forskjell på lastebil, 17,6 % forskjell på personbil). Lastebildekk med last opplever enda større forskjeller lastebilen uten last (30,8 % med last mot 23,9 % uten last).

Det er i hovedsak to årsaker til at de dårligere dekkene gir lengere bremselengde enn de gode dekkene.

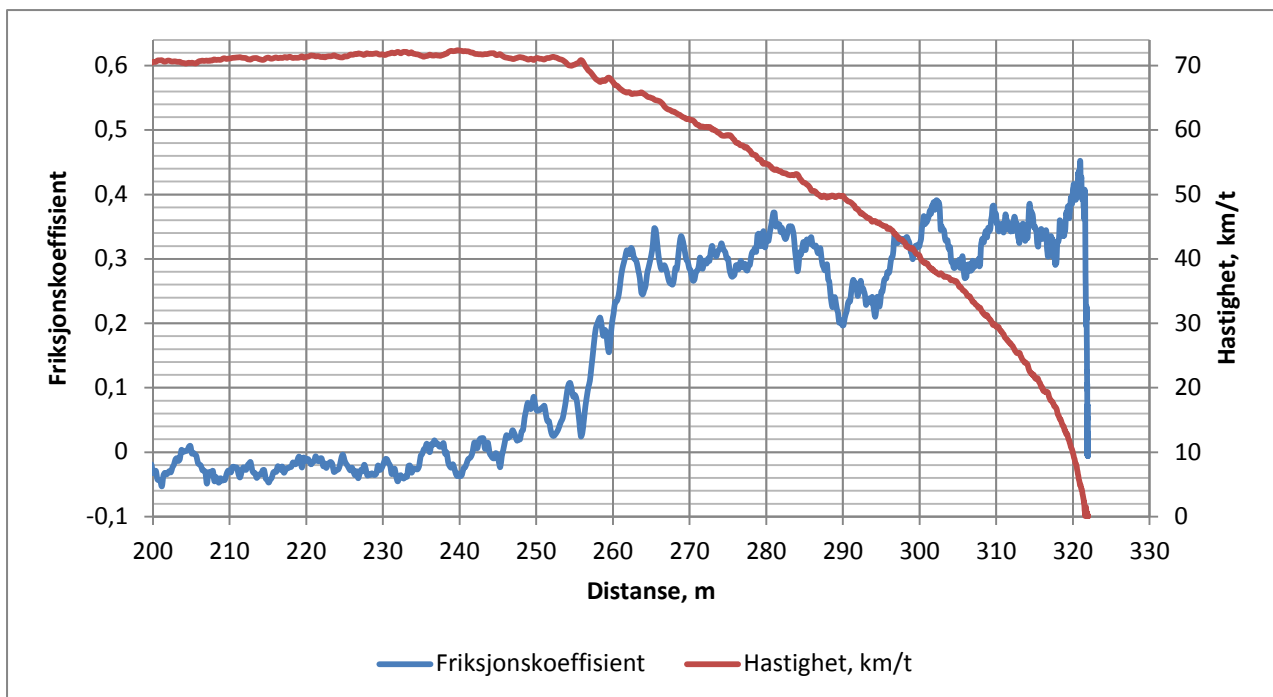
- Høyere shore-verdi – gir stivere respons. Dekket greier ikke å utnytte alle groper og topper i et ruglete is- og snødekke
- Mindre mønsterdybde – gir også stivere respons fordi den fjæra som mønsteret representerer i dekket blir lavere, dvs. mye av det samme som skjer når ei spiralfjær av stål innkortes.

Dekkene brukt på lastebil og personbil har forskjellige egenskaper. De dårlige lastebildekkene har 10 mm mindre mønsterdybde enn de gode dekkene, og differansen på shore-verdi er 6 på det høyeste. De dårlige dekkene på personbilen har 4 mm mindre mønsterdybde enn de gode, og differansen i shore-verdi er hele 16,3. Altså er det størst forskjeller i mønsterdybde på lastebildekkene, og størst forskjell i shore-verdi på personbilen. Lastebildekkene opplever størst endring i bremselengde mellom gode og dårlige dekk, dette indikerer at mønsterdybde har større betydning for bremselengde enn shore-verdi. Men mindre mønsterdybde gir, som forklart i punktene ovenfor, lengere bremselengde fordi responsen blir stivere. Og når responsen blir stivere, blir det mindre deformasjon i gummi mot dekket. Altså – lav mønsterdybde vil kunne gi opplevd stivere gummi for dekket, som er det samme som skjer når shore-verdien blir lavere. Shore-verdien er derfor muligens avhengig av en viss mønsterdybde.

Lastebilen opplevde større forskjell mellom gode og dårlige dekk når den var lastet enn når den ikke var det. I følge den fysiske likningen for friksjon vist i kapittel 3.2, er oppnådd friksjon uavhengig av massen til kjøretøyet. Likningen er en forenkling av virkeligheten, og ut fra resultatene i dette feltforsøket kan det tyde på at massen til lastebilen har hatt betydning for mulig oppnådd friksjon, og dermed ikke følger likningen helt korrekt. Selv med samme bil og samme dekk har lastebilen med last lenger bremselengde, og større forskjeller mellom gode og dårlige dekk, enn den uten last.

4.2 Eksempel på beregning av varierende friksjonen over bremselengden

Tidligere i rapporten er det antatt at friksjonen er konstant over hele bremselengden, jf. én felles friksjonskoeffisient for hele bremsforløpet. Dette er en forenkling av det virkelige friksjonsforløpet. Målingene som er gjort kan også brukes til å beregne friksjonskoeffisienten for hver delmåling ved hjelp av formelen i kap. 3.2. Som eksempel er det løpende gjennomsnittet over 0,5 sekund (tilsvarende en periode på 50 enkeltmålinger) gjengitt nedenfor i Figur 28. For disse målingene anses en periode på 50 enkeltmålinger for det løpende gjennomsnittet som passende, dvs. hvert punkt på grafen representerer et gjennomsnitt for 50 målinger. På denne måten får man filtrert bort målestøy samtidig som reelle variasjoner i friksjonen trer klarere fram.



Figur 28. Eksempel på variasjon i friksjon avbildet som et løpende gjennomsnitt med periode på 50 enkeltmålinger tilsvarende 0,5 sekund.

Figur 28 viser at friksjonen øker brått i løpet av 6-8 meter etter at bremsing er iverksatt, etter ca. 255 meters kjøring, for deretter å variere mellom ca. 0,2 og 0,45; de fleste verdiene ligger rundt $0,3 \pm 0,05$. Vi ser også at den høyeste friksjonen er rett før stillstand. Årsaken til variasjonene i friksjonen er sannsynligvis varierende føreforhold langs bremserekningen, men bilens bremseegenskaper muligens også spiller inn. Husk også at det som her betegnes som friksjon, strengt tatt inkluderer all retardasjon - også luftmotstanden. Luftmotstanden har mest å si for de høyere hastighetene, og antas ikke å spille en avgjørende rolle i disse forsøkene. Bremsing som følge av indre friksjon i drivverk m.m. vil måtte tas opp av friksjonen mot underlaget og er dermed en del av bremsekraften.

SINTEF har ikke beregnet friksjonsforløpet for alle målingene fordi hovedfokuset var å måle bremselengde, og bremselengden er målt i felt og dermed uavhengig av hvordan friksjonen beregnes. Å beregne friksjonen på denne måten er også nokså tidkrevende, men vil vise hvordan friksjonen varierer over bremselengden. En slik analyse kan vise

- hvordan snø- og føreforholdene varierer

- hvordan bremsesystemet varierer fra bil til bil
- måten sjåføren håndterer bremsesystemet
- hva som er høyest oppnåelige friksjon for en bestemt dekkvalitet ved gitte føreforhold og gitt bil

Siste kulepunkt kan muligens benyttes som et mål på dekkenes egenskaper i stedet for bremselengden, men dette har ikke vært en del av problemstillingen i dette prosjektet.

5 Konklusjon

Fra resultatene kan vi konkludere med at "de gode" dekkene gir signifikant kortere bremselengde enn "de dårlige" dekkene både for lastebilen og for personbilen. Dekk B (det dårlige lastebildekket) hadde lengere bremselengde enn dekk A (det gode lastebildekket). Dekk D (det dårlige personbildekket) hadde lengere bremselengde enn dekk C (det gode personbildekket). Det var to essensielle egenskaper som skilte "de gode" dekkene fra "de dårlige", nemlig forskjellig mønsterdybde og shore-verdi (hardhet på gummiblandingen). En kombinasjon av mindre mønsterdybde og hardere gummiblanding vil i følge feltforsøket gi oss lenger bremselengde, men det er vanskelig å konkludere hvilke av disse variablene som påvirker bremselengden mest.

Det er forskjeller i resultatene fra dag 1 og dag 2, selv om forholdene var tilsynelatende like. Dag 2 viste signifikante forskjeller i bremselengde mellom "gode" og "dårlige" dekk. Dag 1 viste samme tendens, men resultatet var ikke signifikant. Årsaken til dette kan være rekkefølgen mellom kjøringen til testbilen og referansebilen. Referansebilen bør enten alltid kjøres rett før testbil, eller rett etter, slik som det ble gjort dag 2. Dette for å sikre at friksjonen alltid blir registrert litt for høy eller alltid litt for lav for samtlige dekk. På dag 1 var det variasjoner i dette kjøremønsteret, og resultatene fra dag 1 inneholder større mulighet for feilkilder i friksjonsdataen enn dag 2. Friksjonsdata fra dag 1 har også vært vanskeligere å tolke i og med at det ble byttet bane opp til flere ganger denne dagen. Slike feilkilder som det må rettes for kan være med å øke usikkerheten på resultatet. På dag 2 ble samme bane brukt, og da viser grafene enkelt hvordan friksjonen minsket utover dagen når banen ble polert.

6 Referanseliste

GRYTESELV, D. & GJÆVER, T. 2011. FoU Indre Romsdal. Feltforsøk på Hjerkin
2010 - sidefriksjon. In: BYGGORSK, S. (ed.). Trondheim

NILSSEN, K. & GRYTESELV, D. 2012. Feltforsøk på Lånkebanen 2012 - Bremsing av lastebil
In: BYGGFORSK, S. (ed.). Trondheim



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no



Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO
Tlf: (+47 915) 02030
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen