

Intern rapport

Intern rapport nr. 2366

Kalibrering av
friksjonsmåleutstyr
Sesongen 2003/2004



September 2004



Statens vegvesen
Vegdirektoratet

Teknologiavdelingen

Intern rapport nr. 2366

Kalibrering av friksjonsmåleutstyr Sesongen 2003/2004

Sammendrag

Rapporten gir en oppsummering av erfaringene med kalibrering av retardasjonsmålere / friksjonsmålere som brukes i forbindelse med oppfølging av funksjonskontrakter for drift og vedlikehold vintersesongen 2003/2004.

I funksjonskontraktene er det satt krav til at friksjonsmåleutstyr skal være godkjent av byggherren og det skal kalibreres minst en gang per vintersesong. Kalibrerte retardasjonsmålere av typen C- μ -trip og ELTRIP er godkjent for bruk.

Kalibreringa foregår ved at måleverdier fra retardasjonsmålere sammenlignes med måleresultat fra ROAR. Det regnes ut en kalibreringsfaktor som blir lagt inn i instrumentet og nye tester blir gjort for å se om det er samsvar mellom de to måleinstrumentene.

På noen samlinger ble det målt bremselengder ved oppbremsing til full stopp. Friksjonskoeffisient regnet ut ved hjelp av bremselengder ble sammenlignet med friksjonen som ble målt med ROAR.

Totalt gjennomførte 302 kjøretøy kalibreringa, med en fordeling på 110 biler fra Statens vegvesen (byggherre) og 192 biler fra ulike entreprenører. 23,8 ukeverk ble det totale tidsbruket på kalibreringsrunden når det er tatt hensyn til antall instruktører og målebilsjåfører.

Analysen av måledata viser at friksjonskoeffisienter som er beregnet på grunnlag av bremselengder er på et høyere nivå enn de som måles med friksjonsbilen ROAR. Sammenlikning av bremselengder viser at konvensjonelle bremsere gir en noe dårligere friksjon enn ved bruk av blokkeringsfrie bremsere ved to forskjellige føretyper.

Emneord: *Friksjonsmålinger, C- μ -trip, ELTRIP, kalibrering, bremselengder, ABS-bremser.*

Kontor: *Faggruppe for Drift og Vedlikehold*

Saksbehandler: *Bård Nonstad*

/barnon

Dato: *23.09.04*

Innhold

1. INNLEDNING	3
2. GJENNOMFØRING AV KURSET	5
2.1. GENERELT	5
2.2. DELTAKERE	7
2.3. TIDSBRUK	8
2.4. UTGIFTER	9
2.5. MOTTAKELSE	9
2.6. TYPER FRIKSJONSMÅLERE	10
3. ANALYSER AV MÅLEDATA	12
3.1. SAMMENLIKNING AV KALIBRERINGSFAKTOR	12
3.2. BREMSELENGDER/ SAMMENLIKNING AV FRIKSJON	13
3.2.1. <i>Sammenlikning av bremselengder på biler utstyrt med ABS og med konvensjonelle bremseser</i>	14
3.3. NØYAKTIGHET I MÅLINGER	15
3.3.1. <i>Fordeling av kalibreringsfaktorer</i>	16
3.4. FORSKJELLER I FRIKSJON, HELNING / STIGNING	18
4. FORSLAG TIL FORBEDRINGER	20
5. LITTERATURLISTE	21
6. VEDLEGG	22

Figurliste

FIGUR 1.1: FRIKSJONSMÅLINGER MED ULIKE BIL- OG DEKKTYPER. (LELAND, 1996).....	3
FIGUR 2.1: MÅLING AV BREMSELENGDER PÅ HAMAR DEN 06.01.2004.	6
FIGUR 2.2: KALIBRERING PÅ STEINKJER DEN 04.01.2004.....	8
FIGUR 2.3: C- μ /MINI.....	10
FIGUR 2.4: C- μ	10
FIGUR 2.5: C- μ /3.	10
FIGUR 2.6: ELTRIP-45N.	10
FIGUR 3.1: SAMMENLIKNING AV KALIBRERINGSTALL SESONGEN 2003/2004 MED TALL FRA SESONGEN 2002/2003.....	12
FIGUR 3.2: MÅLTE BREMSELENGDER I ALTA SAMMENLIKNET MED ROAR- VERDIER.	13
FIGUR 3.3: SAMMENLIKNING AV FRIKSJON OPPNÅDD MED ABS- BREMSER OG VANLIGE BREMSER BEREGNET UT FRA BREMSELENGDER OG HASTIGHET.....	14
FIGUR 3.4: FORDELING AV KALIBRERINGSFAKTORER FOR C- μ SESONGEN 2003/2004.....	16
FIGUR 3.5: FORDELING AV KALIBRERINGSFAKTORER FOR C- μ -TRIP SESONGEN 2002/2003....	17
FIGUR 3.6: FORDELING AV KALIBRERINGSFAKTORER FOR ELTRIP SESONGEN 2003/2004.	17
FIGUR 3.7: BAKKEN HVOR TESTENE BLE UTFØRT.....	19
FIGUR 6.1: BREMSELENGDER HAMAR. SAMMENLIKNING ABS OG VANLIGE BREMSER (VB)...	23
FIGUR 6.2: BREMSELENGDER MO I RANA SAMMENLIKNET MED ROAR- FRIKSJON.....	23
FIGUR 6.3: GJENNOMSNIITTSFRIKSJON OG STANDARDAVVIK.....	25
FIGUR 6.4: BREMSELENGDER VED ULIK FRIKSJON. (MATEMATISK BEREGNET VED HJELP AV FORMEL 3).....	25
FIGUR 6.5: FRIKSJONSKURVER VED ULIKE FØREFORHOLD. (STATENS VEGVESEN & NORSEMETER, JANUAR. 1995).....	26

Tabeller

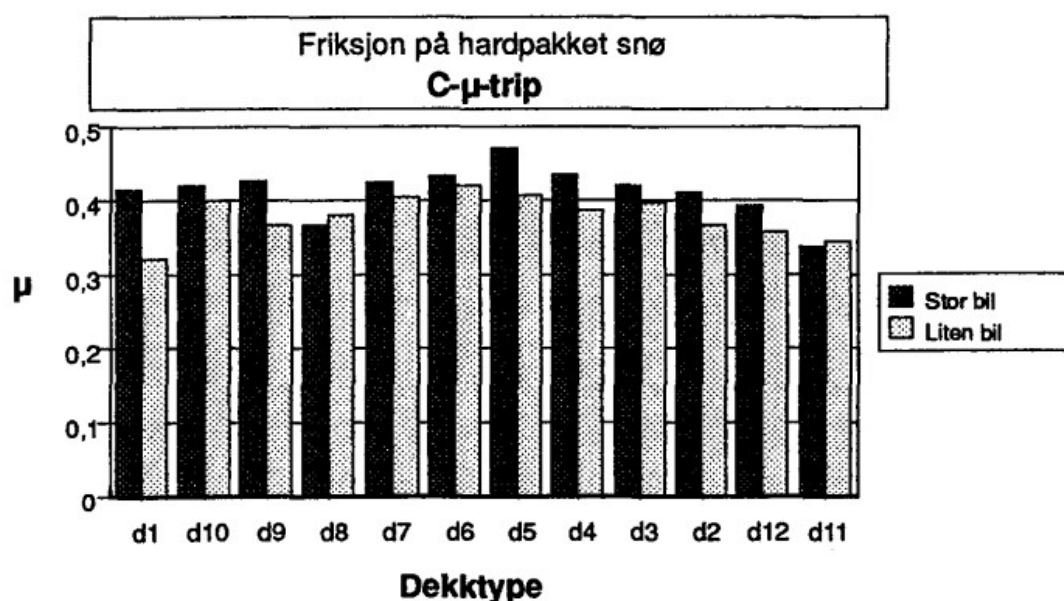
TABELL 2.1: STATISTIKK OVER ANTALL KJØRETØY SOM BLE KALIBRERT I DE ULIKE REGIONENE FORDELT PÅ STATENS VEGVESEN OG ENTREPRENØRER.	7
TABELL 2.2: FORDELING AV DELTAKERE PÅ DE ENKELTE ENTREPRENØRER.	7
TABELL 2.3: TIDSBRUK FORDELT PÅ DE ULIKE REGIONENE.	8
TABELL 2.4: KONTAKTPERSONER I DE ULIKE REGIONENE.....	10
TABELL 3.1: TABELL SOM VISER VARIASJONEN I STANDARDAVVIK FOR 6 FORSKJELLIGE KALIBRERINGER.....	15
TABELL 3.2: FRIKSJONSKRAV OG TILHØRENDE GRENSEVERDIER FOR AVVIK.....	15
TABELL 3.3: FRIKSJONSVERDIER I NEDOVER- OG OPPOVERBAKKE.	18

1. Innledning

Dette notatet tar for seg de erfaringene fra kalibrering av friksjonsmåleutstyr som ble samlet vintersesongen 2003/2004.

Målere av typen C- μ -trip og ELTRIP kan anvendes for å samle inn forskjellige vegdata som distanse, temperatur og friksjon. Instrumentene brukes som hjelpemiddel i arbeid med vegregistrering, vegvedlikehold, trafikkplanlegging, ulykkesanalyse, og i forbindelse med oppfølging av funksjonskontrakter.

Fordelene med et slikt instrument i friksjonssammenheng er en forholdsvis liten kostnad (Pris fra ca 10 000 kr til 30 000 kr), det er enkelt å gjennomføre en test av friksjonen, og byggherren eller entreprenøren kan også benytte sin egen bil.



Figur 1.1: Friksjonsmålinger med ulike bil- og dekktyper. (Leland, 1996).

Ulempen med måleinstrumentet er at det kan inneholde en del usikkerheter. Friksjonsverdien er blant annet avhengig av dekkutrustningen og type bil (Se Figur 1.1). I tillegg spiller bremsetypen en rolle, samt lastfordeling i bilen. I februar 1995 ble det utført friksjonsmålinger med C- μ på biler utstyrt med forskjellig dekktype. (Leland, 1996)

Som vi ser av figuren er det store variasjoner i friksjon avhengig av dekk og biltype. Det er en av grunnene til at det er nødvendig med kalibrering av måleinstrumentet.

I 1998 ble det også gjennomført tester med C- μ på Norsk Trafikksenter i Våler hvor det ble konstatert at friksjonskoeffisienten varierer så mye fra bil til bil at det er nødvendig å foreta en kalibrering mot en referanse. Referansen kan være de nøyaktige friksjonsmålebilene ROAR eller OSCAR. Ved å utføre en kalibrering vet vi at en kan gjennomføre sammenlikninger på et objektivt grunnlag.

Siktemålet med kalibrering sesongen 2003/2004 var at brukerne har et korrekt instrument for kontroll og oppfølging av vinterdrifta. Kalibrering av retardasjonsmålere bør gjennomføres minst en gang i året.

Ved noen anledninger ble det også målt bremselengder med en utgangshastighet på 50 km/t til full stopp. Disse lengdene ble brukt for å kunne sammenligne biler utstyrt med konvensjonelle- og ABS-bremser, pigg- og piggfrie-dekk osv.

2. Gjennomføring av kurset

2.1. Generelt

Det ble delt ut en perm med tre notat:

1. Kalibrering og gjennomføring av friksjonsmålinger sesongen 2003/2004
2. Opplæringsnotat friksjon
3. Resultater fra kalibreringa sesongen 2002/2003. Permen hadde også plastlomme for kalibreringssertifikat (Se vedlegg 1).

Notatene ble først og fremst skrevet for kalibrering av C- μ - trip målere. En beskrivelse av friksjonsmåleren ELTRIP og kalibreringsrutiner for denne må være med i permen til neste sesong. De nye retningslinjene for friksjonsmålinger på vinterveger som nå er utarbeidet bør også være med.

Først ble det gitt en liten orientering om hva som skulle foregå kursdagen. Perm ble delt ut, samt manualer for C- μ -målere og ELTRIP for de som hadde behov for det. Det ble forelest litt om friksjon, samt vist et eksempel med typiske friksjonskurver for forskjellige føreforhold (se vedlegg 6). I tillegg ble det fokusert på utførelsen av bremseprosedyren i forbindelse med friksjonsmålinger.

Forutsetningen for at en skal få riktige friksjonsmålinger er at avstanden er korrekt kalibrert. På grunn av en del nye brukere av utstyret samt erfaring med en del feil- kalibrering av distanse i fjor, ble det besluttet at alle skulle gjennomføre en avstandskalibrering. Eventuelt kun å gjennomføre en kontroll av distansen. Et avvik på +/- 2 meter ble godtatt på 1000 meter. I forkant av samlingene målte vi opp en kalibreringsstrekning på 1000 meter eller 500 meter hvor det var mer hensiktsmessig. Ikke alle steder var like egnet til å kalibrere avstand på grunn av kurvatur. Dette er noe en må tenke på i forhold til hvor man legger samlingene til neste år.

Første del av kalibreringsprosedyren for retardasjonsmålere av typen C- μ - trip bestod i å sette kalibreringstallet lik 1,00 og gjennomføre 3 bremseprøver hvor friksjonsverdiene ble notert. Ved store avvik (forskjell større enn 0,05 μ mellom høyeste og laveste verdi) ble det tatt ytterligere 2 målinger. Gjennomsnittet av de 3 jevneste målingene ble benyttet for å regne ut kalibreringsfaktoren. Etter at ny faktor var innlagt ble det gjennomført nye bremsemålinger for å se om verdien samsvarte med referansen (ROAR- måleren).

Sesongen 2002/2003 ble det tatt 5 bremsemålinger, men med store samlinger er det en fordel med færre nedbremsinger på grunn av problemet med polering av underlaget. Grunnlaget for beregning av kalibreringsfaktor blir da noe mindre.



Figur 2.1: Måling av bremselengder på Hamar den 06.01.2004.

Et større deltakerantall gjorde også at antallet kjøretøy på samlingene ble større. Problemet med de fleste is- eller snøunderlag er at friksjon går ned etter hvert som det ble gjort bremseprøver. En metode som eliminerte dette var å benytte en lengre strekning (200-300 m) med jevn friksjon, men ofte er det vanskelig å finne strekninger med så like friksjonsforhold. Bremseprøver ble tatt på et valgfritt sted innenfor dette området.

Alle kalibreringer denne sesongen ble gjennomført innenfor friksjonsområdet fra 0,15 til 0,35 målt med ROAR, og på det føret som fantes den dagen. Det beste hadde vært en kalibrering på minst to forskjellige friksjonsnivåer, men det var ikke gjennomførbart. I instrumentet er det også kun mulighet til å legge inn en faktor og ikke en regresjonslikning. (F. eks: $y=ax+b$)

Det ble i tillegg målt bremselengder ved oppbremsing til full stopp i tilknytning til enkelte samlinger. Det ble gjennomført 3 målinger per kjøretøy. Bremselengden ble målt ved bruk av lasermåler eller ved bruk av målehjul. Utgangsfarten skulle være 50 km/t, men i tillegg ble farten enkelte ganger målt med radar (Radar 449). Måling av bremselengder ble gjennomført i mindre skala enn sesongen før. Årsaken til det var flere deltakere, to samlinger enkelte dager og generelt et mer hektisk program med transportetapper i mellom.

Friksjonskoeffisienten regnet ut ved hjelp av bremselengder ble sammenlignet med friksjonen målt med ROAR samt friksjonen målt med C- μ (Se kapittel 3.2 for analyse).

På slutten av dagen ble data fra målingene samlet inn, og deltakerne fikk et sertifikat (se vedlegg 1) som viste at måleinstrumentet var kalibrert og godkjent for friksjonsmåling.

2.2. Deltakere

Tilbudet om kalibrering gikk ut til ansatte i Statens vegvesen samt til entreprenører med kontraktsansvar. Totalt ble 302 biler kalibrert og godkjent for friksjonsmålinger sesongen 2003/2004.

	Svv	Entreprenører	Sum regioner
Region nord	29	20	49
Region midt	28	48	76
Region vest	24	41	65
Region sør	18	54	72
Region øst	11	29	40
SUM	110	192	302

Tabell 2.1: Statistikk over antall kjøretøy som ble kalibrert i de ulike regionene fordelt på Statens vegvesen og entreprenører.

Antall personer som deltok var noe større enn tabellen viser da en del stilte med en egen protokollfører/hjelper. Ca. 4 biler møtte opp med feilkoblet friksjonsmåleutstyr. (Region midt 3 stk, Region øst 1 stk.) Personell med erfaring fra installasjon av instrumentet var ikke med på samlingene. Det var et krav til entreprenøren at det var minst en bil fra hvert kontraktsområde som stilte opp på kalibrering. Som regel stilte entreprenøren med flere kjøretøy.

På bakgrunn av erfaringer fra tidligere år ble det satt et tak på 15 biler på en samling. Alt fra 10-20 biler møtte opp på samlingene, med et gjennomsnitt på ca 15 biler. I og med at friksjonen forandrer seg raskt på vinteren og særlig i forbindelse med bremsing med blokkerte hjul, så blir usikkerheten i hele kalibreringsprosessen større desto flere biler som deltar. Dersom underlaget er en jevn og hard isflate er dette problemet noe mindre.

	Mesta	Kolo	Risa	Skanska	Trafikk og anlegg	Andre
Region nord	18	2				
Region midt	35	8		3		3
Region vest	35	2	3			
Region sør	49				5	
Region øst	25	4				
SUM	161	16	3	3	5	3

Tabell 2.2: Fordeling av deltakere på de enkelte entreprenører.

Det ble tatt høyde for dette ved å kjøre friksjonsmålinger med ROAR både før, underveis og etter at bremseprøvene var avsluttet. Likevel ble det mer problematisk å finne riktig kalibreringsfaktor for den enkelte bil.



Figur 2.2: Kalibrering på Steinkjer den 04.01.2004.

2.3. Tidsbruk

Totalt tidsbruk for selve kalibreringsrunden i Norge er beregnet til totalt 28 dager inkludert reisedager. Det er da ikke medregnet forarbeid som utarbeidelse av kursmateriell med mer. På grunn av mange deltakere og liten tid ble vi nødt til å arrangere to samlinger enkelte dager. Tar en hensyn til antall instruktører gir dette 23,8 ukeverk (Se Tabell 2.3). Forrige sesong ble det brukt 16,6 ukeverk, men da var antallet deltakere mye mindre (125 kjøretøy).

	Antall dager	Instruktører +Målebilsjåfør	Ukeverk
Region nord	9	4	7,2
Region midt	5	4	4
Region vest	4	5	4
Region øst	3	5	3
Region sør	7	4	5,6
SUM	28		23,8

Tabell 2.3: Tidsbruk fordelt på de ulike regionene.

Lengst tid brukte vi i Region nord hvor vi totalt brukte 9 dager inkludert reisedager. Årsaken til dette er store avstander slik at dager måtte settes av kun til reise. Minst tid ble brukt i Region øst.

På kalibreringsrunden var vi 3-4 instruktører i tillegg til en sjåfør for friksjonsmålebilen. Det var mange av årets deltakere som ikke hadde erfaring fra friksjonsmålinger tidligere. Disse hadde behov for å ha en instruktør i bilen ved de første nedbremsingene /

friksjonsmålingene. For å få en riktig friksjonsmåling er det viktig at denne nedbremsingen gjøres korrekt med et kraftig trykk på bremsepedalen og tilstrekkelig lang bremsetid. Det er derfor viktig at det gies god instruksjon på dette punktet da det er lett for uerfarne å gjøre feil.

Oversikt over instruktører/målebilsjåførere som har deltatt på kalibrering sesongen 2003/2004:

Bjørn Ove Ofstad, Region midt (Friksjonsmålebil)

Børge H. Larsen, Region øst

Bård Nonstad, Vegdirektoratet

Idar Schjølberg, Region øst

Mathis Pettersen, Region nord

Olav Tveit, Region sør (Friksjonsmålebil)

Per Barstad, Region sør

Per Harald Hansen, Vegdirektoratet

Sigurd Wiberg, Region sør

Stig Folkestad, Region vest

Torodd Simensen, Region øst

Trond Dreiem, Vegdirektoratet

2.4. Utgifter

Det ble ikke tatt noen form for kursavgift for kalibreringa verken for entreprenører eller ansatte i Statens vegvesen. Utgiftene for kurset omfatter reise- og lønnsutgifter, utgifter til kursmateriell, samt utgifter til bensin og slitasje på måleutstyr (ROAR).

Det ble sendt regning til regionene for å dekke kostnader i forbindelse med bruk av målebilen til Region midt (ROAR mark III). Kostnadene for regionene var fra 20 000 - 30 000 kr avhengig av tidsomfang og reiselengde.

De totale kostnadene for Vegdirektoratet ble ca 130 000 kr inkludert lønnskostnader for alle dager (medregnet reisedager). Det var budsjettert med 165 000 kr. Ser vi kun på ekstrautgifter i forbindelse med reise, kost og opphold blir utgiftene på ca 66 000 kr, mot 88 000 kr budsjettert. Få av reisene ble utført med fly og det gjorde at reisekostnadene ble forholdsvis lave. Utgifter for ansatte i regionene og utgifter i forbindelse med bruk av måleutstyr er ikke tatt med i disse beregningene.

2.5. Mottakelse

I oktober ble det sendt ut brev til trafikkstabene i de forskjellige regionene om viktigheten av kalibreringa, og at det skulle opprettes en kontaktperson i hver region. Disse kontaktpersonene ble kalt inn til et lite møte hvor det ble gitt en orientering om opplegget for kurset/kalibreringa.

Region	Kontaktperson
Region nord	Ole-Fredrik Wikstrand
Region midt	Åge Sivertsen
Region vest	Åsmund Espe
Region sør	Sigurd Wiberg
Region øst	Børge H. Larsen

Tabell 2.4: Kontaktpersoner i de ulike regionene.

Fra og med denne sesongen var det et krav i funksjonskontraktene at entreprenørene kalibrerer friksjonsmålestyret minst en gang per sesong. Hovedtyngden av deltakere var nettopp entreprenører.

2.6. Typer friksjonsmålere

Det finnes ulike fabrikat av friksjonsmåleutsyr som er beregnet på personbil. De utrustninger som er nevnt i denne rapporten måler middelretardasjonen når bremselyset er tent. Hastigheten registreres når bremsingen begynner og slutter, samtidig som bremsetiden måles. Ved å beregne forskjellen mellom de to hastighetene og ved å dividere på bremsetiden får man middelretardasjonen. Dersom en dividerer dette tallet med tyngdeakselerasjonen ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) fåes middelverdien for utnyttet friksjon.

Størrelsen på denne verdien er foruten vegbanen avhengig av hastigheten ved start og slutt av bremsing, bremsetiden, bilens dekkutrustning, bilens bremsesystem og førerens bremseteknikk. For å få noenlunde like verdier er det viktig at disse faktorene er så like som mulig fra gang til gang (Vägverket, 1996).

Det er to forskjellige typer retardasjonsmålere som brukes til oppfølging av funksjonskontrakter: ELTRIP og C- μ -trip. Begge finnes i flere utgaver. Se figurer under.



Figur 2.3: C- μ /mini.



Figur 2.4: C- μ .



Figur 2.5: C- μ /3.



Figur 2.6: ELTRIP-45n.

En svakhet ved disse retardasjonsmålerne er at de ikke har mulighet for dataoppsamling. 4 prototyper med dataoppsamling ble utlånt fra leverandøren Nor-skilt AS. Målerne hadde mange problemer og bør forbedres på enkelte punkter. Erfaringen fra brukerne er at måleren bør bygges ut med lagringsmulighet for minimum 1 dags bruk. Tapping av data bør kunne skje på en enkel måte. Dersom måleren skal ha noen verdi i dokumentasjonssammenheng burde den også hatt GPS -tilkobling.

Totalt ble 32 målere av type ELTRIP kalibrert, mens de resterende 268 var C- μ -trip av forskjellige utgaver.

C- μ og ELTRIP rapporterer kun en friksjonsverdi som måleresultat. Friksjon er en funksjon av slippshastigheten og endrer seg i løpet av en bremseprosess. Kalibrering skjer ved å sammenligne verdier oppnådd med C- μ -trip og ELTRIP opp mot friksjonsmålebilen ROAR som fungerer som en fasit. For C- μ - trip settes kalibreringsfaktoren lik 1,0 og etterpå beregnes det hvor mange prosent en behøver å endre denne for å få like verdier. F. eks dersom en beregner at det er behov for å øke friksjonen med 22 % legges verdien 1,22 inn, og dersom en ønsker å senke friksjonen med samme prosentandel legges 0,78 inn (1-0,22).

ELTRIP er i utgangspunktet stilt med en faktor på 500 fra fabrikk. Det finnes per i dag ikke noen måte å regne ut kalibreringstallet på. En må derfor prøve seg frem til de riktige friksjonsverdier blir oppnådd. Denne svakheten har blitt rapportert til den norske leverandøren Euroskilt AS.

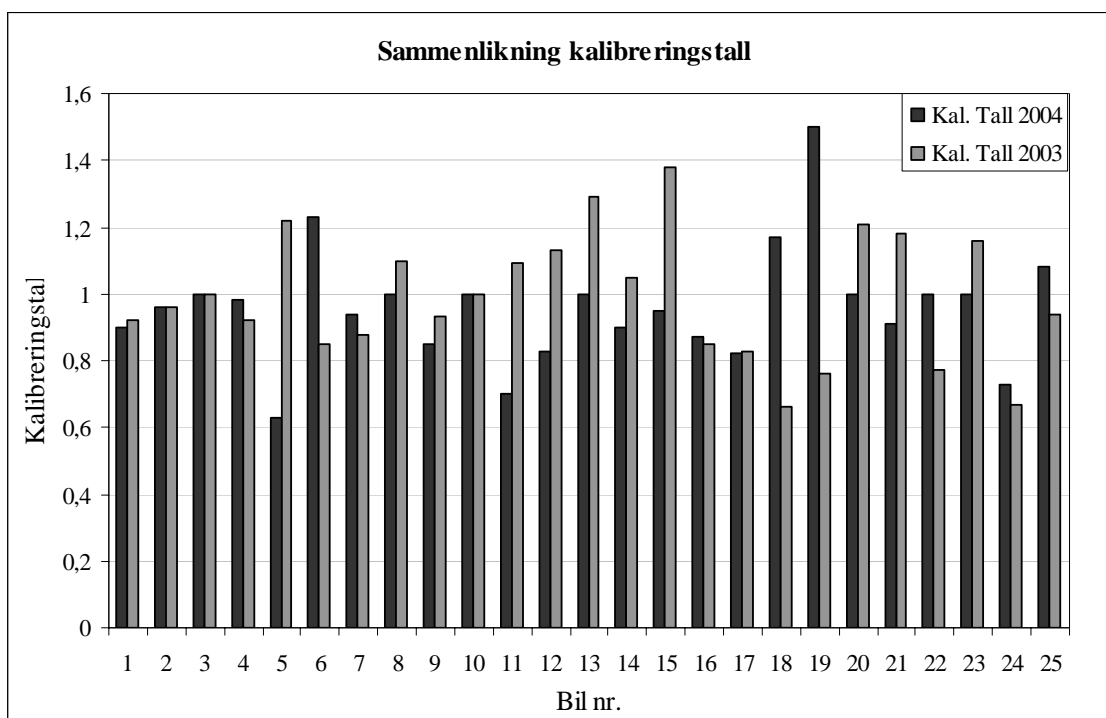
3. Analyser av måledata

Det ble utført 5 forskjellige analyser knyttet opp mot målingene med retardasjonsmålere:

- ✓ En sammenligning av nye og gamle kalibreringsfaktorer for å se samsvar i dataene.
- ✓ Sammenlikning av friksjonskoeffisient funnet ved måling av bremselengder, ved målebil (ROAR), og ved bruk av retardasjonsmålere.
- ✓ Fordeling av kalibreringsfaktorer.
- ✓ Beregning av usikkerhet knyttet til C- μ -trip og ELTRIP målinger.
- ✓ Sammenlikning av friksjonskoeffisienter oppnådd med ABS og konvensjonelle bremseser.

3.1. Sammenlikning av kalibreringsfaktor

Grafen under viser en sammenlikning av kalibreringsfaktoren som lå inne fra sesongen 2002/2003 med de nye faktorene som ble lagt inn. Ideelt sett bør disse tallene stemme overens. Grafen viser kun et lite antall biler på grunn av at mange biler har byttet dekk. Tallgrunnlaget fra 2003 er også mye mindre enn for 2004. En del av bilene har veldig bra samsvar mellom gammelt og nytt kalibreringstall, mens noen har veldig store avvik. Dette er avvik som kan skyldes slitasje av dekk, ulikt dekktrykk, forskjellige føreforhold under kalibrering, feilkalibrering og at kalibreringstallet har blitt tastet inn feil.



Figur 3.1: Sammenlikning av kalibreringstall sesongen 2003/2004 med tall fra sesongen 2002/2003.

Store avvik er likevel et tegn på at noe kan ha gått galt på en av kalibreringsrundene. For eksempel kan føret ha endret seg underveis og en kan derfor ha tatt utgangspunkt i en gal ROAR-verdi.

3.2. Bremselengder/ sammenlikning av friksjon

I etterkant av kalibreringa ble det målt bremselengder for hver enkelt bil.

Utgangshastigheten skulle være 50 km/t, og en skulle bremse til bilen stoppet helt. Dette ble repetert 3 ganger. Ved måling av bremselengder ble det benyttet radar for å måle hastigheten til bilene. Dette på grunn av at utgangshastigheten betyr mye for bremselengden og utregning av friksjonskoeffisienten.



Figur 3.2: Målte bremselengder i Alta sammenliknet med ROAR- verdier.

Friksjonskoeffisienten for bremselengder (Beregnet friksjon ut fra BL) ble regnet ut ved hjelp av formelen: (for utledning se vedlegg 3)

$$\mu = \frac{V^2}{254,3 \cdot L_b}$$

Formel 1: Hvor V er farten i km/t og L_b er bremsestrekninga.

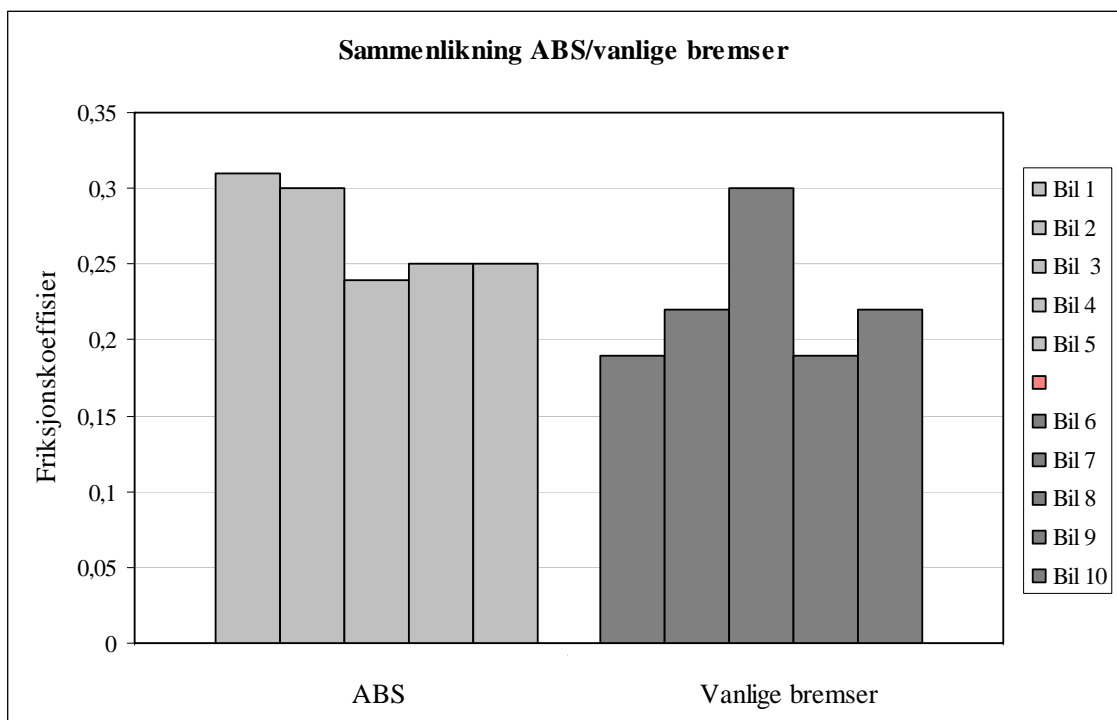
Analysene viser at friksjonskoeffisienter som er beregnet på grunnlag av bremselengder er på et høyere nivå enn de som måles med ROAR på denne samlinga. Alle bilene i Figur 3.2 har piggdekk. Resultatene er i samsvar med de vi fant i fjor når vi sammenliknet bremselengder med friksjon oppnådd med ROAR:

Ved alle samlinger ble det kun benyttet matematisk friksjonskoeffisient. C- μ har også en funksjon som tar hensyn til vindmotstand og helning på vegen som kalles korrigert friksjon. (I følge manual for C- μ -trip). På Sjusjøen ble det gjort en sammenlikning av disse to friksjonskoeffisientene. Konklusjonen etter de testene er at den korrigerte friksjonskoeffisienten ikke korrigerer tilstrekkelig for de nevnte faktorer. (Se kapittel 3.4).

3.2.1. Sammenlikning av bremselengder på biler utstyrt med ABS og med konvensjonelle bremseser

ABS- bremseser eller blokkeringsfrie bremseser tar sikte på å forhindre de problemer som oppstår når hjulene blokkeres. Formålet med denne typen bremseser er å beholde retningsstabiliteten og styrbarheten i en kritisk situasjon. I denne analysen er det tatt utgangspunkt i to tester med måling av bremselengder. (Alta den 15.12.2003 og på Hamar den 07.01.2004)

I analysen er de registrerte bremselengder og hastigheter regnet om til friksjon ved hjelp av Formel 1.



Figur 3.3: Sammenlikning av friksjon oppnådd med ABS- bremseser og vanlige bremseser beregnet ut fra bremselengder og hastighet.

Figuren ovenfor viser forskjellige friksjonskoeffisienter som er oppnådd med de to bremsetypene i Alta.

Hver søyle representerer gjennomsnittlig friksjon oppnådd med en bil. Hver bil gjennomførte 3 bremsemålinger. ABS- bremseene kommer best ut med kortest bremselengde og den høyest oppnådde friksjonskoeffisienten. Gjennomsnittlig friksjonskoeffisient med ABS- bremseer er 0,27 mot 0,22 for vanlige bremseser. Den gjennomsnittlige bremselengden for ABS- bremseer er 40 m mot 43,8 meter for konvensjonelle bremseser. (I beregningen av den gjennomsnittlige bremselengden er det ikke tatt hensyn til variasjoner i hastighet.) I Alta var det isføre og friksjonskoeffisienten målt med ROAR var 0,15. Utgangshastigheten skulle være 50 km/t, men denne ble målt med radar og korrigeret for i figuren. Alle bilene i Alta var utstyrt med piggdekk. Samme resultat fikk vi også sesongen 2002/2003. ABS- bremseer ga den korteste bremselengden.

Ved måling av bremselengder på samlingen i Hamar var forskjellen mellom to bremsetypene mindre. ABS-bremser oppnådde en friksjonskoeffisient på 0,26 mot 0,23 med vanlige bremses. Se vedlegg 2 for graf.

3.3. Nøyaktighet i målinger

En analyse ble gjort for å se hvor god repeterbarhet som ble oppnådd med C- μ -trip- og ELTRIP- målerne. Det ble tatt utgangspunkt i de 3 friksjonsmålingene før ny kalibreringsfaktor ble lagt inn, og deretter ble det regnet ut ett standardavvik ut fra dette. Standardavvik sier noe om observasjonsseriens spredning, og kan benyttes som et mål på usikkerheten i disse dataene.

Dataene omfatter 89 kjøretøy med retardasjonsmålere på 6 forskjellige samlinger/føreforhold. Gjennomsnittlig friksjonskoeffisient for dette datamaterialet ble 0,224. Dette ga ett standardavvik på 0,017, eller en gjennomsnittlig usikkerhet på +/- 0,017. Dette standardavviket tar opp den totale usikkerheten, det vil si usikkerhet i operatørdata, variasjon i føret og fra selve instrumentet. Med operatørdata menes feilavlesning, feilbremsing osv. Den gjennomsnittlige friksjonen før kalibrering varierer fra 0,16 til 0,28 på samlingene. Det gjennomsnittlige standardavviket varierer fra 0,012 som beste resultat til 0,023. Med grenseverdi menes gjennomsnittlig friksjon minus standardavviket. Grenseverdien kan ses på som en verdi hvor usikkerheten i dataene er fjernet.

Dato	Sted	Friksjon før kalibrering	Standardavvik	Grenseverdi
08.01.2004	Kongsvinger	0,260	0,016	0,244
15.12.2003	Alta	0,195	0,016	0,179
09.12.2003	Mo i Rana	0,261	0,012	0,249
18.11.2003	Haukeli	0,284	0,016	0,267
06.01.2004	Steinkjer	0,187	0,019	0,168
14.01.2004	Voss	0,160	0,023	0,137
Snitt		0,224	0,017	

Tabell 3.1: Tabell som viser variasjonen i standardavvik for 6 forskjellige kalibreringer.

Tabellen ovenfor finnes som graf i vedlegg nr.4.

Tar en utgangspunkt i Tabell 3.1 finner man en usikkerhet i dataene på +/- 7,6 %. ($0,017/0,224 \cdot 100 = 7,6\%$). Analysene fra dataene i fjor ga en gjennomsnittlig usikkerhet på +/- 9 %. Ved utarbeidelse av retningslinjer for friksjonsmålinger for entreprenører og byggherrer sesongen 2004/2005, ble det tatt utgangspunkt i et standardavvik på 10 % på bakgrunn av disse dataene. Grenseverdier for avvik ble da:

Friksjonskrav	Grenseverdier for avvik
0,15	0,135
0,2	0,180
0,25	0,225
0,3	0,270

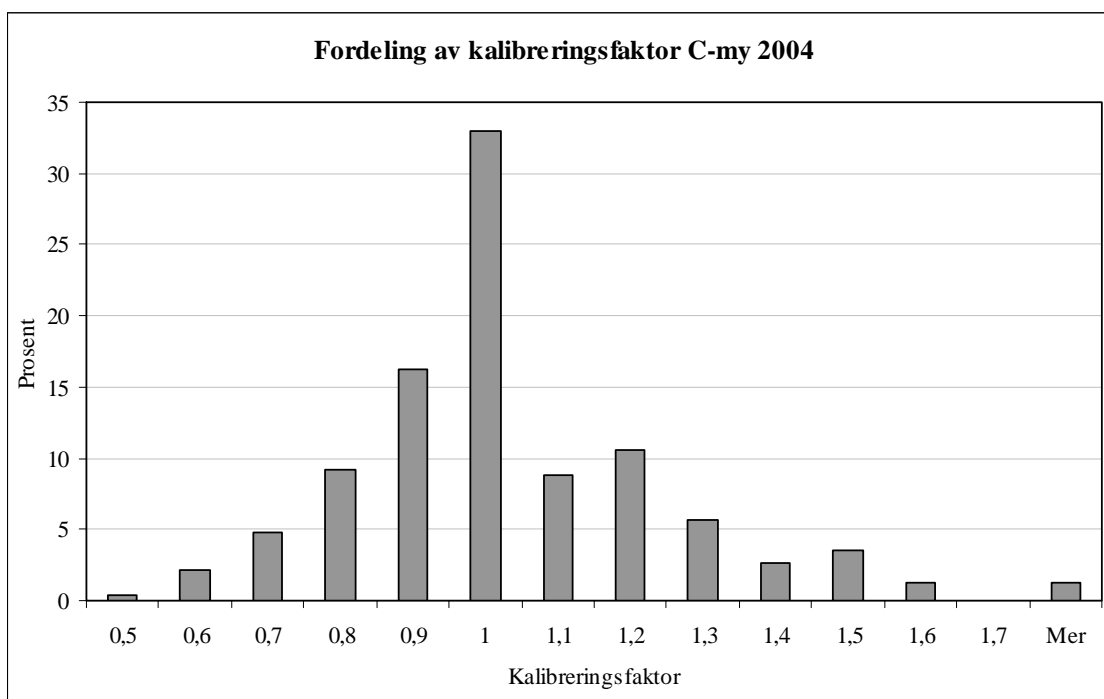
Tabell 3.2: Friksjonskrav og tilhørende grenseverdier for avvik.

Registreres det friksjonsverdier under kravet taes det minst 3 målinger i samme område. Gjennomsnittet for disse målingene regnes ut, og er denne mindre eller lik disse grenseverdiene er det avvik i forhold til friksjonskravene. Standardavviket for årets sesong er lavere enn fjoråret så disse grenseverdiene er nok ikke urimelige.

Det er også blitt regnet på sannsynligheten for at en måling skal komme utenfor disse grenseverdiene. "Worst case scenario" er at en måler en friksjonsverdi som er lavere enn grenseverdien uten at dette er tilfellet. Ved å ta utgangspunkt i dataene fra denne analysen har det blitt beregnet at sannsynligheten for dette er 6,2 %. (93,8 % av målingene har høyere verdier enn gjennomsnittet minus standardavvik.)

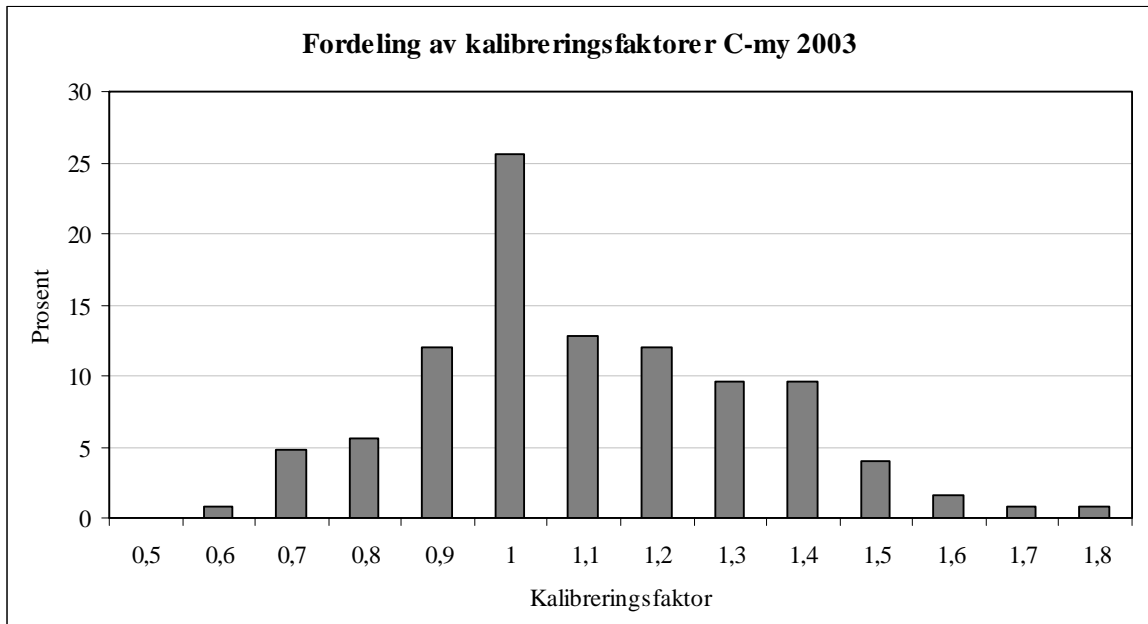
3.3.1. Fordeling av kalibreringsfaktorer

Det ble gjort analyser på hvordan kalibreringsfaktoren varierte både for C- μ -trip og ELTRIP.



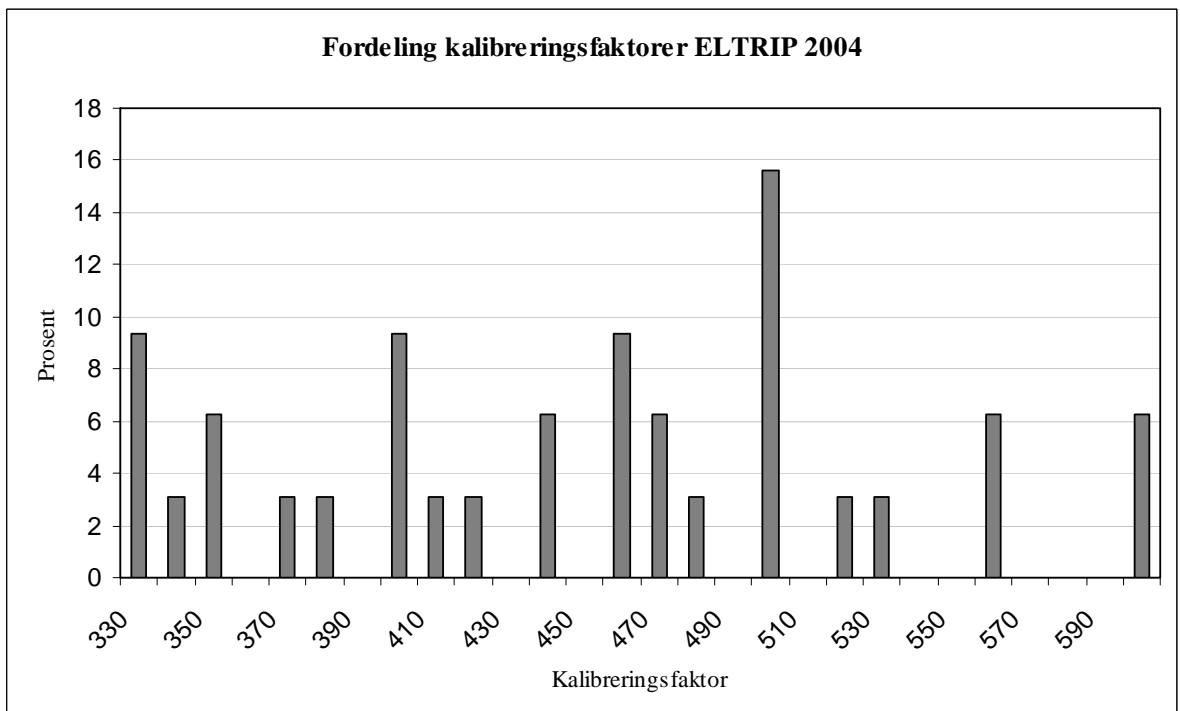
Figur 3.4: Fordeling av kalibreringsfaktorer for C- μ sesongen 2003/2004.

Generelt så ligger gjennomsnittet (Eksakt: 1,008) og medianen på 1. Kurven har så å si lik fordeling på begge sider av 1: 33,9 % over 1, og 33,0 % under 1. Dersom kalibreringsfaktoren er under 1 betyr det at kjøretøyet utstyrt med en retardasjonsmåler gir for høy friksjon i forhold til ROAR, og omvendt dersom faktoren er over 1. Vi kan med andre ord si at ved å kalibrere opp i mot ROAR, så verken senker eller øker friksjonsnivået dersom vi ser på alle kjøretøy med C- μ (230 stk). Det er overraskende i og med at ROAR er utstyrt med et glatt ASTM-målehjul, og det var forventet at dette ga generelt lavere friksjon enn en vanlig personbil.



Figur 3.5: Fordeling av kalibreringsfaktorer for C- μ -trip sesongen 2002/2003.

Resultatene fra kalibreringa sesongen 2002/2003 er mer skjevfordelt med hovedvekt av kalibreringsfaktorer over 1. Det betyr at kjøretøyene gir en for lav friksjon i forhold til hva ROAR gir. Hovedvekten av kjøretøyene har også her en kalibreringsfaktor lik 1,00 (Eksakt gjennomsnitt 1,07). Dataene fra denne sesongen representerer 125 kjøretøy.



Figur 3.6: Fordeling av kalibreringsfaktorer for ELTRIP sesongen 2003/2004.

ELTRIP er i utgangspunktet ”nullstilt” fra fabrikk med en kalibreringsfaktor på 500. Faktorer som ble lagt inn varierte fra 330 til 600. Som en ser av Figur 3.6 var det stor variasjon i faktorer og ingen klar trend. En kalibreringsfaktor på 500 representerer tydeligvis

ikke den aktuelle friksjonen til kjøretøyet på samme måte som hos C- μ -trip. (En kalibreringsfaktor på 1.0 hos C- μ vil si den friksjonen som den aktuelle kjøretøyet gir.)

3.4. Forskjeller i friksjon, helning / stigning

Det ble utført en liten test hvor det ble undersøkt forskjeller i friksjon oppnådd med kalibrert C- μ i oppover- og nedoverbakke. Bakgrunnen for testen var at vi ønsket å finne ut hvor mye helningen på bakken hadde å si for friksjonsverdiene som blir avlest. Den korrigerte friksjonsverdien ble også notert ned. Korrigert verdi skal i følge brukermanualen ta hensyn til andre krefter enn friksjon mot vegbanen, for eksempel vindmotstand og helning. Det ble utført 3 tester i nedoverbakke og 3 tester i oppoverbakke. Bakken hadde en helning på 10 %. Resultatene viser at det er stor forskjell på målingene oppover og nedover. Gjennomsnittlig friksjonsverdi nedover ble 0,17, mot 0,37 oppover.

Serie	Nedover		Oppover	
	Normal	Korrigert	Normal	Korrigert
1	0,16	0,18	0,39	0,33
2	0,17	0,19	0,38	0,34
3	0,18	0,2	0,34	0,29
Gj.snitt	0,17	0,19	0,37	0,32

Tabell 3.3: Friksjonsverdier i nedover- og oppoverbakke.

De gjennomsnittlige korrigerte verdiene ble henholdsvis 0,19 og 0,32. I praksis så skulle de korrigerte verdiene ha blitt like. For sammenlikning av friksjonsverdier ble det gjort målinger med ROAR Mark III. Målingene fra denne ga en gjennomsnittlig friksjon på 0,28 over strekningen. Det bør med andre ord være grunnlag for å si at måleinstrumentet er følsomt for stigninger/helninger. Dette var en forholdsvis kraftig stigning og det har ikke blitt gjort andre tester i bakker med mindre helning, men det er sannsynlig at forskjellen blir mindre desto svakere stigningen er. Den korrigerte verdien ga andre friksjonsverdier, men funksjonen er ikke god nok i så kraftige stigninger.

Ved å regne ut gjennomsnittet mellom nedover- og oppoverbakke $((0,17 + 0,37)/2)$ blir friksjonen 0,27. Roar Mark III har kjørt to serier med en times mellomrom. Gjennomsnittet for disse seriene er 0,28, det vil si så å si likt med hva vi fant med C- μ . Det må gjøres flere undersøkelser for å finne ut om dette er en metode som kan brukes. Det bør også kjøres flere tester i bakker med ulik helning.

Det bør være grunnlag for å utelukke bruk av den korrigerte friksjonen i slike sterke stigninger. På den andre side stemmer kanskje disse friksjonsverdiene bra med hva en vanlig personbil oppnår av friksjon i bakker. Ved kjøring i nedoverbakke blir selvsagt bremselengden betydelig lengre enn ved kjøring i oppoverbakker.



Figur 3.7: Bakken hvor testene ble utført.

4. Forslag til forbedringer

- ✓ En beskrivelse av ELTRIP og kalibreringsrutiner for denne må være med i permene til neste sesong, samt retningslinjer for friksjonsmåling som nå er utarbeidet. Forslag til skjema for registrering av friksjon bør også være med. På sertifikatet bør det spesifiseres at det gjelder kun for vintersesongen og kun for vinterføre. Brukermanual deles ut til de som behøver dette.
- ✓ Planen er at det etter hvert skal finnes en friksjonsmåler som kan brukes som referanse i hver region. Det kan da være et par faste instruktører i hver region som driver med instruksjon for Statens vegvesen og entreprenører. Flere små samlinger er en fordel i og med at hver enkelt deltaker da får bedre oppfølging, samt at forholdene ved kalibreringa blir jevnere.
- ✓ Kalibrering av avstanden blir satt som en fast prosedyre først i programmet slik at en unngår feilkalibrering som igjen virker inn på friksjonsmålingene. Det må finnes en egnet strekning til dette. En del brukere visste heller ikke hvordan man skulle avstandskalibrere instrumentet så det er naturlig å gi en liten opplæring i dette.
- ✓ En vurdering omkring standardisering av målebiler. I Sverige er det et krav at bilen skal være utstyrt med ABS- bremses. Et problem med måling med konvensjonelle bremses og låste hjul er at dersom bremsen slippes i høy hastighet på et glatt underlag er det en mulighet for at hjulene som er koblet til hastighetsmåleren ikke har kommet opp i rett hastighet i forhold til målesystemets antatte opprullingstid. Slutt hastigheten blir derfor for lav, noe som gir en for høyt beregnet friksjon. Ved å benytte bremsing uten at hjulene blir låst unngår man dette problemet (Vägverket, 1996).

ABS-bremses gir også mindre ubehageligheter for føreren, og mindre risiko for ulykker. Standardisering av bildekk og biltype blant entreprenører og byggherre slik at utgangspunktet for målingene er mest mulig like. Dette er vanskelig gjennomførbart, men bør vurderes.
- ✓ Bilen skal være utstyrt slik at den oppfyller kravene til arbeid på veg.
- ✓ Viktig at bremsene er i god stand når det gjelder virkning, ansettingstid og slippetid. Dersom bremsene er for svake på bakakselen vil bare en del av friksjonen utnyttes og en får for lave friksjonsverdier. Dersom bremseservoen er langsom fører dette til at ansettingstiden øker, noe som gir for lave friksjonsverdier (Vägverket, 1996). Vi forutsetter at bilen som brukes har bremses som er i forskriftsmessig stand.
- ✓ Vinterdekk i god stand bør anvendes. Deres tilstand skal kontrolleres kontinuerlig under målesesongen. Krav til mønsterdybde er 3 mm. I Sverige er det et krav at mønsterdybden bør være minst 5 mm. Dekkene kan være pigg eller piggfri. Men de piggfrie er å foretrekke ut fra et målesynspunkt (Vägverket, 1996).

5. Litteraturliste

Coralba, *Manual for C- μ* . Versjon 3.08, 22. januar 2003.

Korsvoll, R. & Antila, J. *Vinterdekktesten*. Medlemsblad for Norges Automobilforbund (NAF), Motor nr. 8, oktober 2002.

Leland, T. *Friksjon mellom et gummi hjul og vegdekket*, Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Trondheim 1996.

Nordström & Gustavsson, *Nya vinterdäcks för bromsning och styrning*. VTI, 1995.

Statens vegvesen & Norsemeter. *Testing av friksjon for kommersielle vinterdekk: Innbyrdes sammenlikning og undersøkelse av sammenhenger med friksjonene til testdekk med glatt slitebane*. Rapport november 1995.

Statens vegvesen & Norsemeter. *Friksjonsmålinger på vinterveger*. Sluttrapport januar 1995.

Vägverket. *Metodbeskrivning 110:1996*, Publikation 1996:15.

Vaa, T. *Friksjonsforbedrende tiltak - kalibrering av C- μ -målere*. Rev. 2002-02-15.

6. Vedlegg

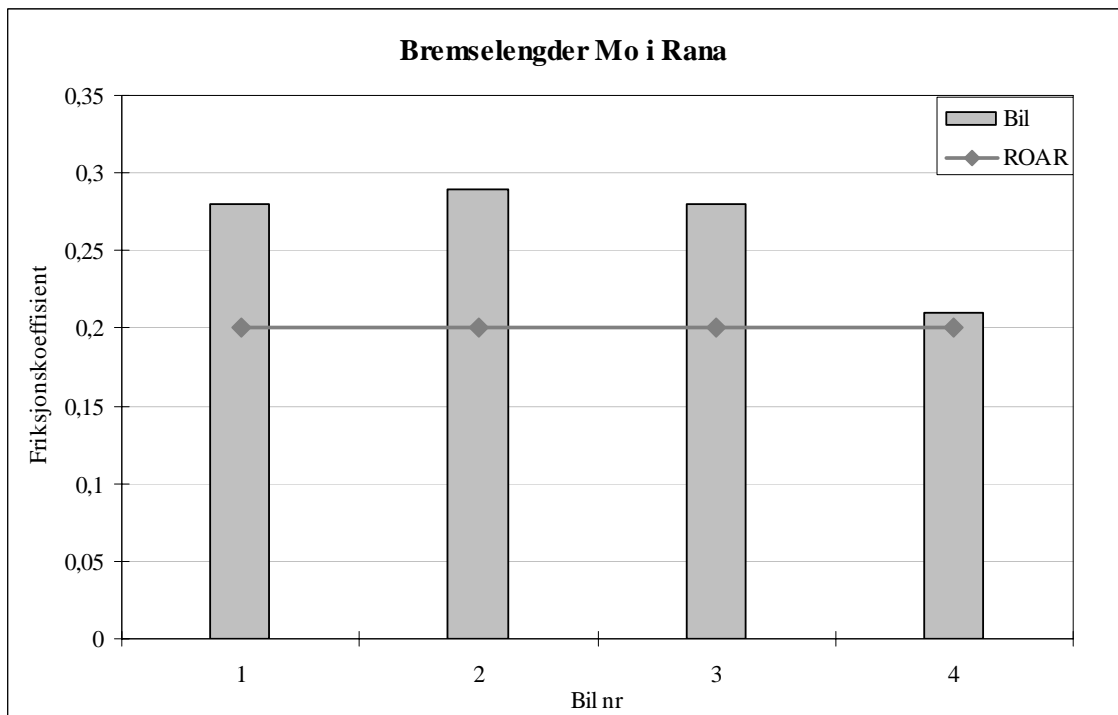
Vedlegg 1: Eksempel sertifikat C-μ:



Statens vegvesen

Sertifikat friksjonsmålinger sesongen 2003/2004

Firma:	Navn:
Bilnummer:	Bilmerke:
Kalibrert dato:	Sted:
Korreksjonsfaktor:	Underskrift kursleder:

Vedlegg 2: Bremselengder**Figur 6.1:** Bremselengder Hamar. Sammenlikning ABS og vanlige bremses (VB).**Figur 6.2:** Bremselengder Mo i Rana sammenliknet med ROAR- friksjon.

Vedlegg 3: Formelutredning.**Formler**

Formel for å regne ut friksjonen ved hjelp av retardasjon med utledning. Det vil si den formel som benyttes i C- μ og andre retardasjonsmålere:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}mv_1^2 &= F \cdot BL + \frac{1}{2}mv_2^2 \\ \frac{1}{2}mv_1^2 &= mg\mu \cdot BL + \frac{1}{2}mv_2^2 \\ \frac{1}{2}v_1^2 &= g\mu(v_1t + \frac{1}{2}at^2) + \frac{1}{2}v_2^2 \\ \frac{1}{2}v_1^2 &= g\mu(v_1t + \frac{1}{2}(\frac{v_1-v_2}{t}) \cdot t^2) + \frac{1}{2}v_2^2 \\ \frac{1}{2}v_1^2 - \frac{1}{2}v_2^2 &= g\mu t(\frac{1}{2}v_1 + \frac{1}{2}v_2) \\ \mu &= \frac{v_1 + v_2}{g \cdot t} \end{aligned}$$

Symbolforklaring:

v_1 : utgangshastigheten i m/s

v_2 : hastigheten når bremseprosedyren er avsluttet i m/s.

m : Bilens masse i kg.

BL : Bremselengde i meter.

a : Bilens akselerasjon eller i dette tilfellet retardasjon. (m/s^2)

g : Tyngdens akselerasjon ($9,81 m/s^2$).

t : Tid i sekunder.

μ : Friksjonskoeffisienten

Formel 2: Formel for å finne friksjon som benyttes i blant annet C- μ .

Formel for å regne ut friksjonskoeffisienten ved kjent bremselengde og fart:

Det vil si bremsing til full stopp:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}mv^2 &= F \cdot BL \\ \frac{1}{2}mv^2 &= mg\mu \cdot BL \\ \mu &= \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot BL} \text{ eller } BL = \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot \mu} \end{aligned}$$

Symbolforklaring:

BL : bremselengde i meter.

v : er utgangshastighet i m/s før bremsing (v_2 er lik 0 m/s)

g : Tyngdens akselerasjon i m/s^2 ($9,81 m/s^2$)

μ : Friksjonskoeffisienten

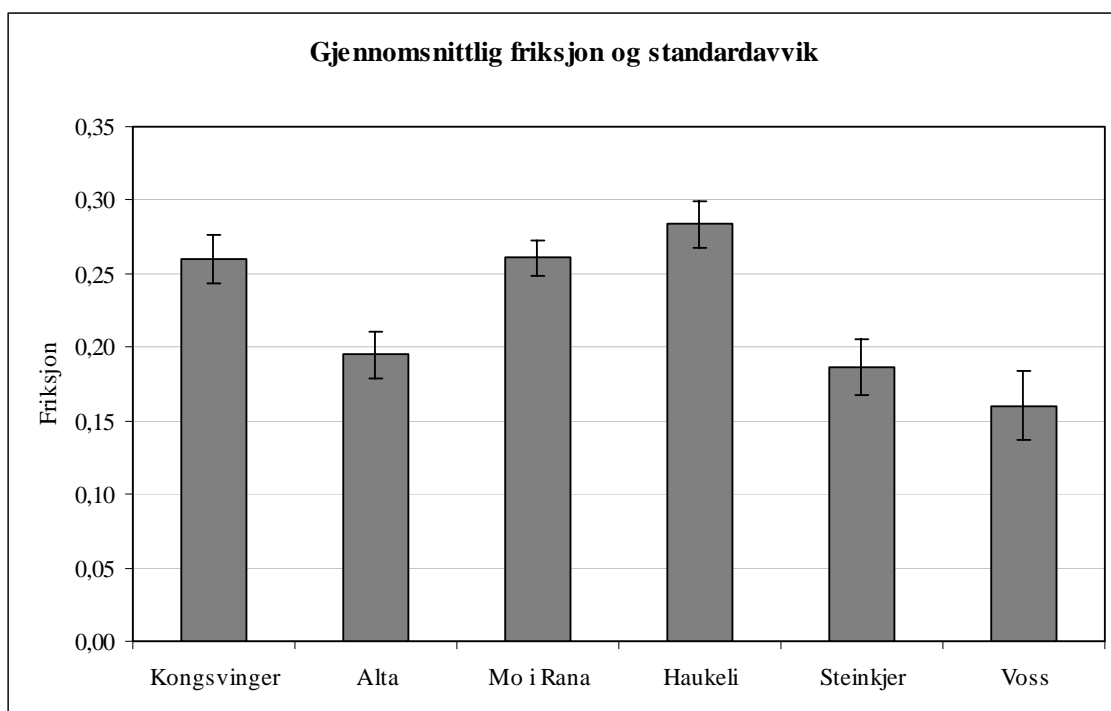
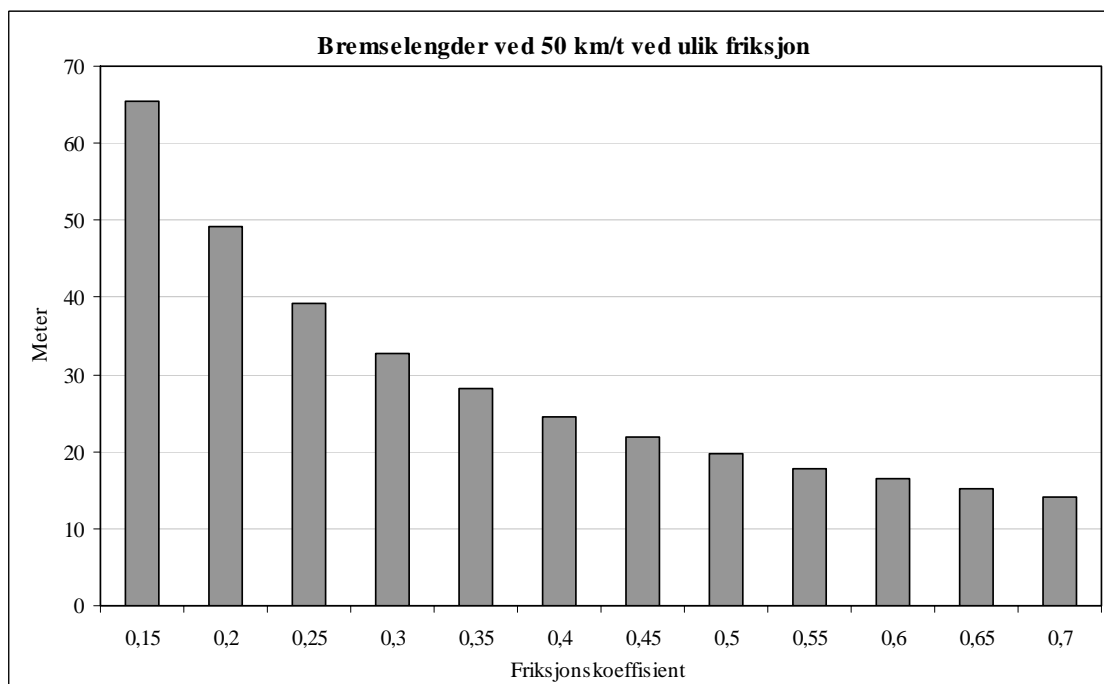
Formel 3: Formel for å finne friksjonskoeffisienten ved kjent bremselengde.

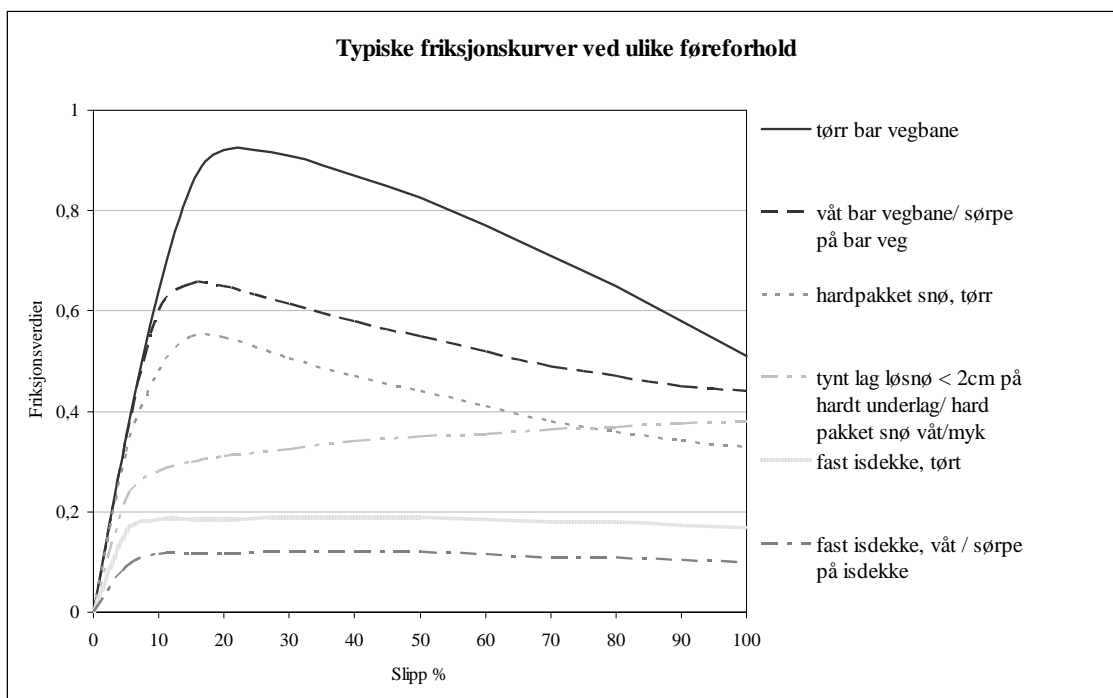
Dersom en regner om fra m/s til km/t og tar med tyngdens akselerasjon blir formelen. Her er altså farten V i km/t:

$$\mu = \frac{V^2}{254,3 \cdot BL}$$

Formel 4: Formel for å finne friksjonskoeffisienten ved kjent bremselengde.

Bremselengdene i Figur 6.4 (Vedlegg 5) er regnet ut ved hjelp av denne formelen.

Vedlegg 4: Gjennomsnittsfriksjon og standardavvik.**Figur 6.3:** Gjennomsnittsfriksjon og standardavvik.**Vedlegg 5: Bremselengder ved ulike friksjonskoeffisienter.****Figur 6.4:** Bremselengder ved ulike friksjon. (Matematisk beregnet ved hjelp av Formel 3)

Vedlegg 6: Typiske friksjonskurver**Figur 6.5:** Friksjonskurver ved ulike føreforhold. (Statens vegvesen & Norsemeter, januar. 1995)