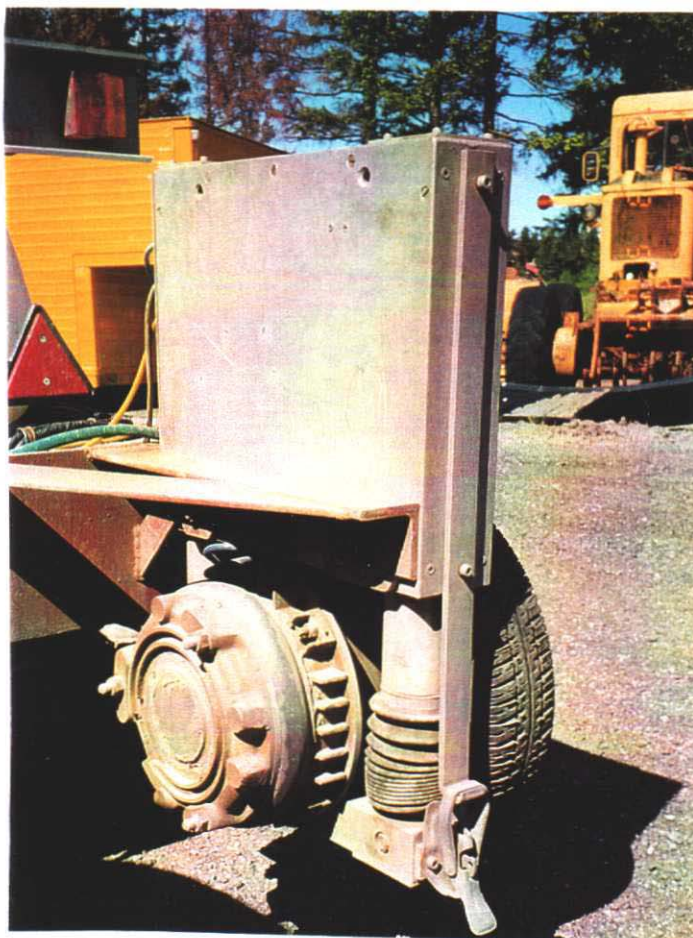


Intern rapport nr. 2188

Friksjonsmåler for vinterdrift
FOU prosjekt nr. 30745



13.12.00



Intern rapport nr. 2188

Friksjonsmåler for vinterdrift FOU prosjekt nr. 30745

Sammendrag

Sommeren 1997 ble det startet et prosjekt for å utvikle en enkel, robust og rimelig friksjonsmåler primært beregnet for måling av friksjon på vinterføre. Måleren er blitt kalt SALTAR og hovedpunktene i kravspesifikasjonene som ble utarbeidet for måleren er:

- Måleren må kunne registrere friksjonen i veiens hjulspor
- Målingen må kunne utføres uten at kjøretøyet bremses ned under målingen
- Måleren skal kunne monteres bak på en picup/lagsbil eller under en lastebil
- Måling skal kunne utføres i en hastighet mellom 30 og 80 km/t
- Målinger skal skje hvert 2. sekund
- Friksjonen skal vises i et display innen 5 friksjonsområder
- Måleren skal benytte et mønstret dekk med 12" av et bestemt merke
- Måleren skal som en opsjon kunne koples til ekstern PC for registrering av friksjon i forhold til distanse med utskrift til papir eller fil
- Måleren skal kunne koples til saltkontrollenhet

Det ble laget 3 prototyper etter disse spesifikasjonene. Prototypene ble testet i Sør – Trøndelag, Minnesota og Iowa. Måleren i Sør-Trøndelag ble montert på en tilhenger, mens målerne i Minnesota og Iowa begge ble montert på store salt- og brøytebiler. Målerene er gjennom vintrene 98 og 99 i hovedsak blitt testet på vinterføre, men det er også gjort enkelte målinger på våt og tørr vegbane. Det er i løpet av testperioden blitt avdekket visse svakheter som spesielt har knyttet seg til fuktighet som har trengt seg inn i brems og registreringstyre. Disse svakheter ved måleren er blitt utbedret.

Konklusjonen av testene i USA og Norge hvor over 1000 km veg er målt, er at SALTAR nå oppfylder kravspesifikasjonene.

Basert på erfaringene fra dette prosjektet og tidligere arbeid med friksjonsmålinger anbefaler prosjektgruppen at det velges ut en SALTAR måler som kalibreringsenhet andre SALTAR målere kalibreres mot. Denne underlegges spesielle kvalitetsprosedyrer.

Prosjektgruppen foreslår at det blir vurdert nærmere å etablere en målestandard som beskriver prosedyrer, målemetoder og tekniske krav formet slik at eksisterende friksjonskrav kan benyttes.

Emneord:	<i>Friksjonsmåling</i>
Kontor:	<i>Stab</i>
Saksbehandler:	<i>Arnulf Ingulstad</i>
Dato:	<i>13.12.00</i>

Statens vegvesen, Vegdirektoratet
Vegteknisk avdeling
Postboks 8142 Dep, 0033 Oslo
Telefon: 22 07 39 00 Telefax: 22 07 34 44

Innhold

<i>Forord</i>	2
1. Innledning	3
2. Teknisk beskrivelse	4
2.1 SALTAR	4
2.2 Valg av løsninger	5
2.2.1 Prinsipielle måleteknikker	5
2.2.1.1 Skråstilt hjul	5
2.2.1.2 Fast slipp	5
2.2.1.3 Variabel slipp	5
2.2.1.4 Valg av teknikk	6
2.2.2 Design og komponenter	7
3. Test av SALTAR	8
3.1 Resultater	8
3.2 Problemer og utbedringer underveis	12
3.3 Oppsummering	12
4. Sammenligninger mellom SALTAR og OSCAR/ROAR	13
5. USA målinger	16
5.1 Minnesota/Iowa	16
5.2 NASA Wallops Flight Center	16
5.3 North Bay, Canada	17
6. Konklusjoner og anbefalinger	18
<i>Appendix 1</i>	19
<i>Referanser</i>	21

Figurer

<i>Figur 1: Målinger med SALTAR før og etter tiltak på is. På to områder er det gjort strotiltak med varm og kald sand.</i>	8
<i>Figur 2: Målinger på slaps med enkelte bare flekker.</i>	9
<i>Figur 3: Våte og tørre målinger med SALTAR på strekningen Sandmoen - Klett.</i>	10
Figur 4: Gjennomsnittsverdier for ulike føreforhold målt med SALTAR.	11

Forord

Den foreliggende rapporten beskriver resultatene og selve prosjektet fra et samarbeid mellom Statens vegvesen, SND og Norsemeter AS. Prosjektet har i hovedsak gått ut på å utvikle en ny type friksjonsmåler som har fått navnet SALTAR.

En arbeidsgruppe sammensatt av representanter fra både Statens vegvesen og Norsemeter AS har vært ansvarlig for gjennomføringen av prosjektet. Arbeidsgruppen har vært ledet av Arnulf Ingulstad (Vegdirektoratet) og for øvrig bestått av Bjørn Ove Ofstad (Statens vegvesen, Sør-Trøndelag), Wilhelm Foslien (Statens vegvesen, Buskerud), Roald Hanssen, Per Harald Hansen, Jon Dahlen og Øystein Larsen (Vegdirektoratet), Bjørn Are Carlsson, Edit Radone og Eirin Torgersen (Norsemeter AS). I tillegg har Zoltan Rado (Norsemeter) som ikke har vært med i arbeidsgruppen, bidratt til prosjektet.

Prosjektet baserer seg på et forprosjekt som ble startet sommeren 1997. Forprosjektet tok for seg de tekniske spesifikasjonene og kravene til selve måleren.

1. Innledning

Det har lenge vært et ønske fra Statens vegvesen og vegmyndigheter i utlandet, bl.a. i USA, om et enkelt friksjonsmåleutstyr spesielt egnet for målinger på vinterføre. Statens vegvesen og Norsemeter har i samarbeid tidligere utviklet avanserte friksjonsmåleutstyr kalt ROAR (ROad Analyser and Recorder) og OSCAR (Optimal Surface Analyser and Recorder). Det har senere meldt seg et behov for noe som er enklere og ikke minst mindre kostbart for å kunne benyttes i noe større omfang.

Statens vegvesen og Norsemeter AS startet sommeren 1997 planlegging og utvikling av en forenklet friksjonsmåler som har fått navnet SALTAR. Det ble gjennomført et forprosjekt hvor de tekniske spesifikasjonene og kravene til måleren ble definert.

Den tekniske spesifikasjonen ble også samordnet med veimyndigheter i Minnesota og Iowa (MinDOT og IowDOT).

Høsten 1998 kom selve prosjektet i gang og tre prototyper til SALTAR var klar for testing i mars 1999. Henholdsvis Statens vegvesen ved Sør-Trøndelag vegkontor, Minnesota DOT og Iowa DOT har hatt hver sin prototype for uttesting. Prosjektet er finansiert av SND, Statens vegvesen og Norsemeter.

Målet med testingen av SALTAR kan i korte trekk oppsummeres som følger:

- Utsette måleren for så høy belastning som mulig for å kunne detektere svake komponenter eller dårlige løsninger.
- Verifisere at måleren er egnet til de oppgaver den er definert for.
- Undersøke kvaliteten, repeterbarheten og at måleren kan gi informasjon om hvor glatt veibanen er.
- Undersøke om de gitte intervallene er egnede, evt. i forhold til en standard.

Testing av prototypene har foregått i siste del av vinteren 1998/1999 og hele vinteren 1999/2000.

2. Teknisk beskrivelse

2.1 SALTAR

SALTAR friksjonsmåler er et utstyr designet og utviklet for å måle friksjon på vinterføre. Målingene baseres på å klassifisere veien i fem nivåer. Fundamentalt er SALTAR-enheten liten og robust, montert på en ramme med en elektronisk brems og et målehjul. Bremsen kontrolleres ved en avansert programvare og et elektronisk kontrollsystem for å simulere bilers bremseegenskaper og å måle friksjonen mellom hjul og overflate.

Målehjulet sammen med festene, kan senkes ved en pneumatisk mekanisme som også kan kontrollere og kalibrere vekt for målehjulet. Ved målinger senkes SALTAR med en bestemt og kontrollert vertikal kraft ved hjelp av to pneumatiske sylindrer som er integrert og en del av rammen. Disse holder festene til SALTAR. Når kjøretøyet beveger seg langs underlaget det skal måles på, blir målehjulet periodisk bremses av den elektroniske bremsen. Hjulet bremses fra fritt rullende til låst posisjon, etterfulgt av en spinn-opp fase. Energien som skal util for å spinne opp målehjulet registreres ved hjelp av et kontrollsystem. For å opprettholde et konstant marktrykk er det behov for en kompressor. For målere som monteres på lastebiler brukes kjøretøyet egen kompressor, mens for bruk på pickup eller tilhenger må egen kompressor monteres.



Målehjulet er mekanisk koblet til den robuste elektroniske bremsen, som er en høypresisjons brems. Den effektive friksjonen kan avledes direkte ved en kompleks og sofistikert kontrollsoftware fra den beregnede energien nødvendig for å spinne opp hjulet fra låst posisjon.

Som ekstrautstyr kan en data link installeres. Denne linken overfører måleresultater til en PC, enten ved radiokommunikasjon eller direkte til en bærbar PC inne i førerkabinen, for lagring, presentasjon eller videre prosessering. Programvaren som foreligger skriver friksjonsverdier til fil relatert til en distanse, og den kan gi grafiske utskrifter av friksjonsverdiene i forhold til distansen.

2.2 Valg av løsninger

Arbeidsgruppen har underveis i prosjektet stått overfor valg angående måleteknikk, tekniske løsninger og komponenter.

2.2.1 Prinsipielle måleteknikker

Det finnes i hovedsak tre ulike metoder for å måle friksjon:

- Skråstilt hjul
- Fast slipp
- Variabel slipp

2.2.1.1 Skråstilt hjul

Metoden for skråstilt hjul betyr at målehjulet er montert langs kjørebanelen med en vinkel. Det er to ulike prinsipper her. Ved det første sidekraftsystemet er målehjulet anordnet slik at det danner en bestemt vinkel i forhold til målekjøretøyets retning. Målehjulet ruller for øvrig fritt på vegdekket. Den fysiske størrelsen som måles er kraften som virker vinkelrett på rotasjonsplanet til målehjulet, dvs. sidekraften på målehjulet. Ut i fra denne kraften kan så sidefriksjonen beregnes. Målehjulet vil ha en fast slipp som er avhengig av vinkelen som hjulet er montert i. Dette prinsippet vil derfor gi samme type friksjonsdata som måleutstyr som er basert på fast slipp prinsippet. Dette prinsippet er mye brukt i forbindelse med friksjonsmålinger på sommerveier.

Den andre metoden har et hjul som har en varierende vinkel i forhold til kjørebanelen. Målehjulet er montert med en konstant kraft både vertikalt og horisontalt. Vinkelen som målehjulet til enhver tid har er et mål på hjulets slippshastighet. Desto mindre vinkel mellom kjøretøyets hjul og målehjulet desto mindre slippshastighet og motsatt desto større vinkel desto større er slippshastigheten. Med dette prinsippet måles det ved hvilken slippshastighet en gitt kraft vil opptre. Som kjent er forholdet mellom friksjon og slippshastighet sterkt ulineært, og samme er slik at man vil få to ulike svar avhengig av på hvilken side av friksjonskurven i forhold til maksimal friksjonen man starter målingen.

2.2.1.2 Fast slipp

Fast slipp målinger baserer seg på å måle friksjon ved å bremse målehjulet ved en gitt slipp i forhold til fritt rullende. Fast slipp systemer arbeider vanligvis med en slipp mellom 10 og 20 %. Slippshastigheten beregnes ved å multiplisere slipp-prosenten med målehastigheten, dividert med 100 prosent. Dette er det mest anvendte prinsippet når det gjelder friksjonsmåling med ett rullende hjul.

2.2.1.3 Variabel slipp

Variabel slipp systemer kan sies å representere den nyeste og mest avanserte generasjon av utstyr for friksjonsmålinger.

Målehjulet vil gå fra fritt rullende til blokkert tilstand mens kreftene som virker på hjulet måles, på denne måten kan den såkalte friksjonskurven måles. Ved analyse av friksjonskurven kan ulike typer friksjon kalkuleres, samt informasjon om underlagets micro- og macrotekstur. Prinsippet kan også ligge til grunn for enklere typer målinger hvor energien måles fra et hjul i blokkert posisjon er spunnet opp i fritt rullende tilstand. Energien vil være ett direkte mål på kraften som virker på hjulet, med andre ord friksjonen.

2.2.1.4 Valg av teknikk

I arbeidet med de funksjonelle kravene ligger føringen for valg av teknisk løsning her gjengitt bare punktvis:

- Målingene skal være pålitelige innenfor gitte marginer
- Utstyret skal være enkelt og robust
- Utstyrets skal oppfylle pris krav som medfører forenklinger i forhold til eksisterende produkter.

Det ble gjort en evaluering av de ulike prinsipper for å komme frem til det som var best egnet. Noen av de vurderinger som ble gjort av de ulike prinsipper er gjengitt her, det er spesielt lagt vekt på vurdering av prinsipp som kan gi pålitelige data under vinterforhold som er fundamentet for ethvert instrument. Det som er gjengitt nedenfor er hovedpunktene i evalueringen om hvorfor prosjektet havnet opp med det valget som ble gjort:

Skråstilt hjul med fast vinkel:

- Svinger og kurver på veien vil påvirke målehjulets vinkel i forhold til beregning av friksjonen. En høyre- og venstresving vil påvirke målehjulets vinkel forskjellig [1].
- Under glatte forhold som ved vinterføre vil sentrifugalkraften som oppstår i svinger påvirke måleresultatet. Denne effekten er også avhengig av kjøretøyets hastighet.
- Målehjul som har en betydelig vinkel i forhold til kjøreretningen vil få avsetninger av snø og is på hjulet. Dette påvirker hjulets masse og treghet, som igjen påvirker måleresultatet.
- For å oppnå nødvendig bremseeffekt på et skråstilt hjul må vinkelen være minimum 15°. Ved vinkler i denne størrelsesorden vil det oppstå en plogeffekt under snøforhold som vil generere krefter på hjulet som ikke har noen sammenheng med friksjon [2]. Dette kan være betydelig krefter sammenlignet med friksjonskreftene som oppstår på glatt føre.
- Et måleprinsipp basert på skråstilt hjul er vesentlig mer følsomt mot ujevnheter i kjørebanelen sammenlignet med et prinsipp basert på et målehjul montert i kjøreretningen.

Skråstilt hjul med varierende vinkel:

- De samme vurderinger ble gjort av dette prinsippet som skråstilt hjul med fast vinkel med følgende tillegg:
- Dette prinsippet måler ikke friksjon, men slipphastighet og det kreves derfor antagelser om forholdet mellom slipphastighet og friksjon. Dette forholdet er både ulineært og sterkt varierende på ulike fører.

Fast slipp:

- Måleprinsippet gir såkalt kontinuerlige målinger
- Vinterføre gir store variasjoner i friksjonskurver bl.a. med hensyn til ved hvilken slipphastighet maksimal friksjon opptrer. Ved slipp i området 10-20% vil målinger skje både på høyre og venstre side av maksimalfriksjonen som nødvendigvis vil påvirke måleresultatet.
- Utstyr med fast slipp krever spesielle mekaniske eller elektronisk utstyr for å bremse målehjulet i forhold til kjøretøyets hastighet. Dette gir både mange ekstra komponenter og utstyret en ekstra kompleksitet.

Variabel slipp:

- Måleprinsippet tar hensyn til hele friksjonskurven
-

- Prinsippet er i liten grad påvirket av andre faktorer enn vegens beskaffenhet dvs. friksjonen.
- Måleteknikken hvor en energibetraktning benyttes, kan anvendes i en meget enkel konstruksjon som er vesentlig for et pålitelig instrument.
- Måleteknikken kan rapportere data som er relevante for kjøretøyer.
- Måleteknikken med variabel slipp er godt utprøvd, men den avart som er valgt med en energibetraktning er ny og representer derfor en teknikk som må testes ut i praksis.

2.2.2 Design og komponenter

Det ble diskutert en annen design ved startfasen av prosjektet enn den som til slutt ble valgt. Dette var en "boks-konstruksjon" hvor en av boksene skulle sitte fast i rammen, mens den andre skulle gli langs denne med målehjul og brems montert på. Det viste seg at denne ikke var sterk nok uten å gjøre modifikasjoner, i tillegg til at denne modellen ble relativt stor. Boks-modellen hadde også for liten klaring til bakken, i tillegg til at den ville være vanskeligere og mer kostbar å produsere.

En annen diskusjon har vært valg av brems. Det ble funnet frem tre ulike bremsere som skulle testes før det ble tatt et endelig valg. Det var en elektromagnetisk brems, en pneumatisk brems og en elektromagnetisk skivebrems. Momenter som ble diskutert i forbindelse med valg av brems var blant annet beskyttelse av bremsen i forbindelse med eksponering for salt og vann, eller om det eventuelt skulle velges en robust brems som ikke trengte beskyttelse i så høy grad. En annen diskusjon gikk på vekt av bremsene. Vekten til den elektromagnetiske, pneumatisk og elektromagnetisk skivebremsen var henholdsvis ca. 12 kg, 22 kg og 32 kg. Det var fra noen i arbeidsgruppen ønskelig å gjøre utstyret så lett som mulig og derfor velge en av de letteste bremsene. Det var likevel enighet om at det viktigste var å finne den mest driftsikre bremsen. Det viste seg at alle tre mest sannsynlig kunne brukes, men det ble valgt å montere den elektromagnetiske skivebremsen som var den største og kraftigste. Denne bremsen var også mer robust enn de to første og tålte målinger over lang tid uten tendens til varmegang. Den var også bedre innkapslet og beskyttet mot søle og slaps enn de to andre.

Et nytt spørsmål som dukket opp var valg av målehjul. Ved å velge en så stor brems var det ikke mulig å montere et 8" glatt ASTM målehjul som er montert på ROAR, fordi det ikke ble nok klaring til bakken. Det ble derfor foreslått å montere et mønstret 12" dekk da det ikke var mulig å finne et glatt hjul i riktig dimensjon. Det har også tidligere vært diskutert om det er mest hensiktsmessig å måle friksjon på vinterføre med et mønstret måledekk da det kan synes som om friksjonsmålinger med glatt måledekk gir noe lave verdier på enkelte vinterførere. Arbeidsgruppen kom frem til at det kunne være gunstig å teste måleren med et mønstret hjul. Det var stor enighet om at det også burde undersøkes hvorvidt et mønstret målehjul er bedre egnet enn et glatt målehjul på vinterføre også for blant annen ROAR. Dekket som er brukt er et Bridgestone SF-228 dekk med dimensjon 12". Resultatene i dette prosjektet relateres til dette dekket. Dette dekket er ett standard dekk beregnet for tilhengere.

3. Test av SALTAR

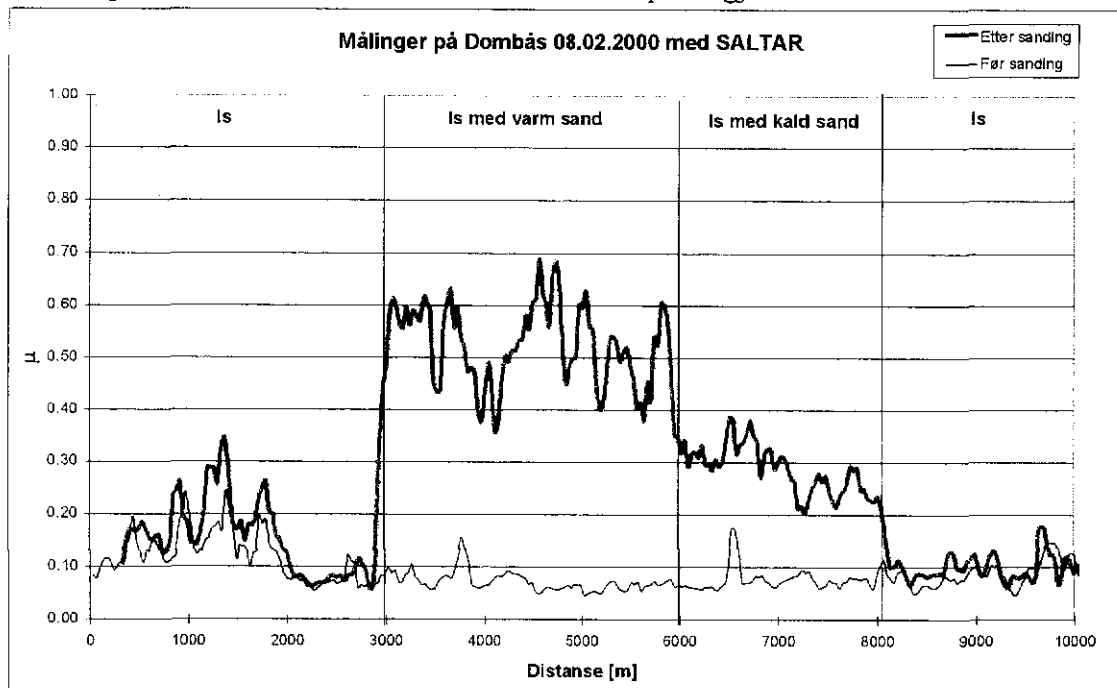
Statens vegvesen og Norsemeter utarbeidet i samarbeid et program for testingen av SALTAR. Planen ble også vurdert i forhold til testprogrammet i USA. Statens vegvesen hadde en prototype av SALTAR stasjonert i Sør-Trøndelag samtidig som to prototyper den siste vinteren har vært i Minnesota og Iowa i USA.

Testprogrammet er gjennomført, og totalt er det gjort målinger på mer enn 1000 km. For å kunne analysere dataene ble SALTAR koblet til en ekstern PC. Denne PC-en var utstyrt med en programvare som kunne registrere friksjonsverdiene i forhold til målt distanse. En printer ble også koblet til, og det var mulig å skrive ut resultatene etter endt målerunde. Programvaren er nevnt under opsjoner og er allerede utviklet.

3.1 Resultater

Forholdet mellom SALTAR og ROAR/OSCAR er beskrevet i kapittel 4.

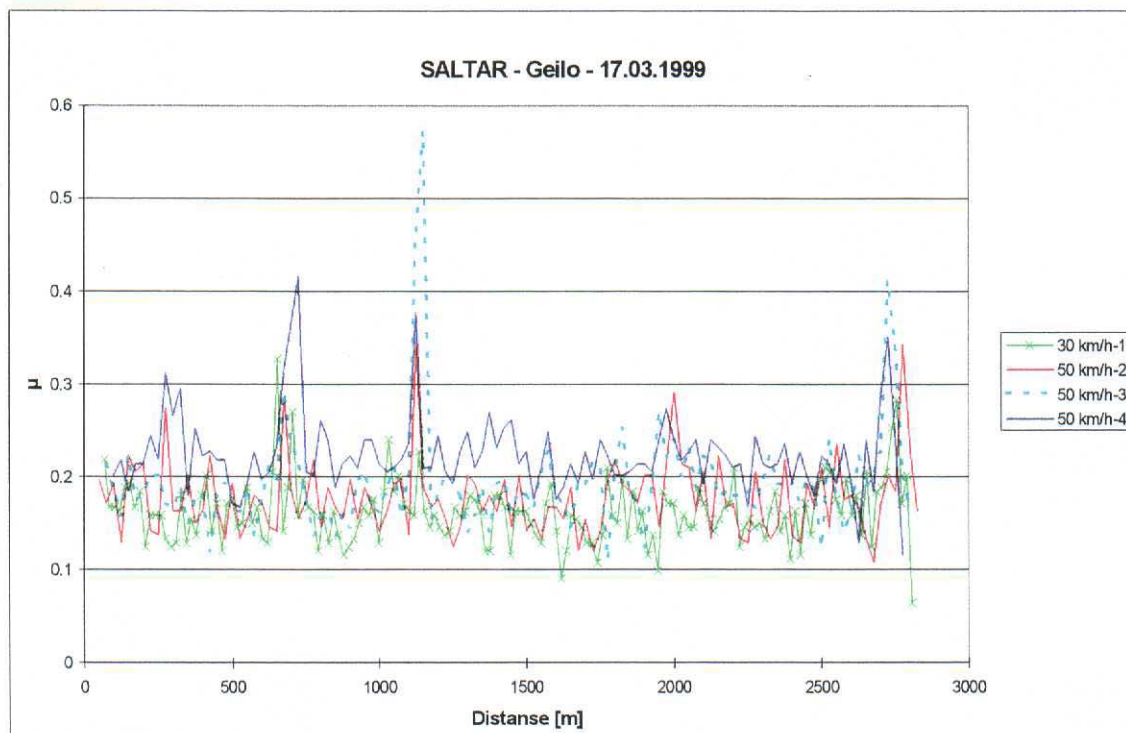
Figur 1 viser målinger gjort på Dombås med SALTAR før og etter strøtiltak. Strekningen var i utgangspunktet is, hvor det på ett området var strødd med varm sand og på neste strekning strødd med kald sand før man er tilbake på is igjen.



Figur 1: Målinger med SALTAR før og etter tiltak på is. På to områder er det gjort strøtiltak med varm og kald sand.

- Første målerunde før noe tiltak er gjort er målt på is. Dette er en lang strekning på 10 km som viser omtrent samme nivå hele strekningen.
- Etter at det er utført sandstrøing er det et tydelig skille mellom nivåene for de ulike underlagene og tiltakene. Dette svarer også til de forventningene man her til de utførte operasjonene. ROAR viser også tilsvarende variasjoner for de ulike underlagene, men måleverdiene til ROAR ligger noe høyere enn for SALTAR.
- Det er meget god repeterbarhet for de to rundene som er gjort på isen. De samme ujevnheterne i underlaget kommer frem for begge rundene.

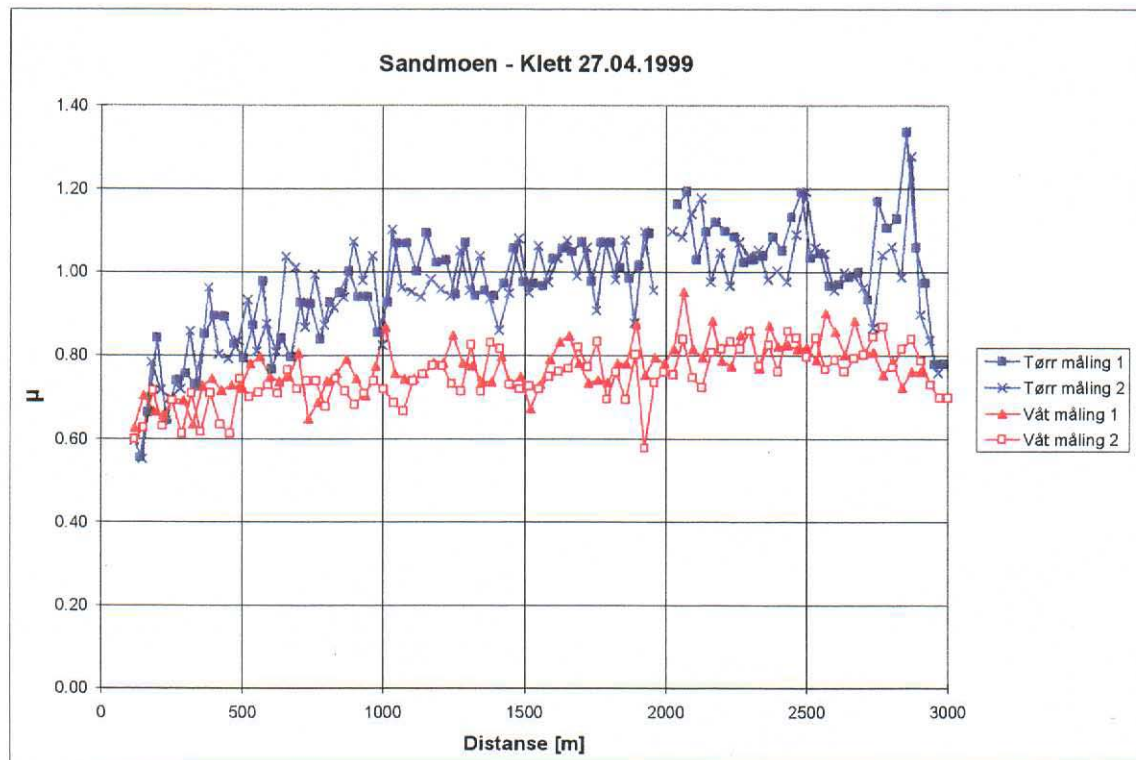
I figur 2 er det vist målinger med SALTAR på slaps. Det er gjort én måling i 30 km/h og tre målinger i 50 km/h. Det er en økning i verdiene fra første til siste målesekvens, men dette kommer av at underlaget med slaps smelter mer og mer. Fra toppene i plottet ser man at det er mulig å detektere bare flekker.



Figur 2: Målinger på slaps med enkelte bare flekker.

Figur 3 viser målinger med SALTAR på både tørr og våt vei. Man kan se at det er meget god repeterbarhet for det to målesettene.

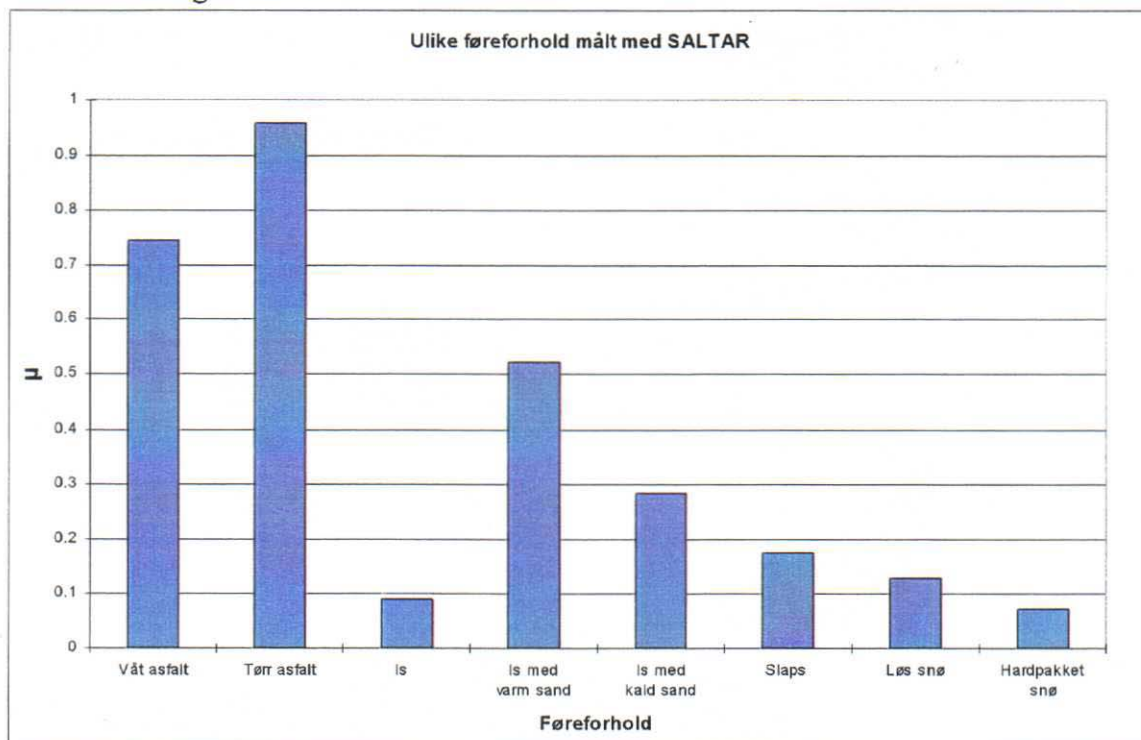
Det er gjort en god del målinger på bar våt vei den første sesongen, både i Norge og USA. Disse målingene viste ingen tendens til varmegang i bremsen, og det så ut som om målerne taklet forholdene bra.



Figur 3: Våte og tørre målinger med SALTAR på strekningen Sandmoen - Klett.

Det er gjort en rekke andre målinger på ulike typer fører, som ikke blir presentert her. Noen få målinger er plukket ut for å illustrere noen av de resultatene man har oppnådd med SALTAR.

Figur 4 viser gjennomsnittsverdier for ulike fører målt med SALTAR. Alle disse målingene er utført i hastighetene 50 km/h eller 60 km/h.



Figur 4: Gjennomsnittsverdier for ulike føreforhold målt med SALTAR.

- SALTAR skiller godt mellom ulike føreforhold
- SALTAR viser godt ulike nivåer
- Resultatene er funnet etter målinger på to kontinenter, i Norge og USA (Wallops og North Bay)
- 8 ulike underlag er presentert. I tillegg er det gjort mange målinger som er kombinasjoner av disse.

For å tilpasse friksjonverdiene fra Saltar til gjeldene friksjonstandard kan Saltar justeres slik at målingene er direkte relevant i forhold til gjeldene standard. Følgende kan justeres for å tilpasse friksjonsnivået som rapporteres av Saltar:

- Et annet dekk som gir høyere friksjon kan velges
- Den vertikale kraften kan økes ved å øke det pneumatisk trykket
- Konverteringsalgoritmen for konvertering av sensor verdier til friksjonsverdier

3.2 Problemer og utbedringer underveis

Det oppstod, som tidligere nevnt, en del problemer i startfasen av prosjektet.

Det første problemet som oppstod var at selve bremsen falt av enheten. Dette skjedde fordi bremsen kun var limt fast på resten av enheten. Løsningen på dette var at bremsen ble festet med fire solide bolter. Dette er en løsning som har vært tilfredsstillende.

Det viste seg senere at måleren begynte å lekket luft. Kompressoren begynte som følge av dette å gå kontinuerlig og greide ikke lenger å opprettholde det rette marktrykket for måleenheten. Målverdiene ble derfor for lave. Grunnen til luftlekkasjen var at det ble benyttet slanger som var for store og rigide. Disse ble bytte ut med mindre, mykere slanger og luftlekkasjen ble stoppet. Det har siden ikke vært problemer med luftlekkasje.

I andre fase av testen har det vært enkelte problemer med at fukt har kommet inn i bremsen, noe som gjorde at hjulet ikke ble låst i bremseprosessen på underlag med høy friksjon.

Detter ga utslag i meget høye friksjonsverdier. Det viste seg at bremsen ikke var forseglet godt nok, men det foreligger nå en løsning på dette problemet.

Det har også vært problemer med at fuktighet har kommet inn i koblingsboksen til SALTAR for måleren som har gått i Norge. Dette kom av en litt uheldig plassering av selve boksen til sensoren. Plasseringen av denne boksen ble endret allerede for målerne som ble sendt til USA, og dette problemet har ikke oppstått der. Det vil også bli valgt en bedre forsegling av denne boksen for å unngå at vann lekker inn.

Det har i ettertid vist seg at kontrollenheten som sitter på tilhenger ikke har vært tett nok. Denne vil bli skiftet ut med annen tettere type.

3.3 Oppsummering

- SALTAR og strukturen av måleren fungerte i hele friksjonsskalaen.
- Det har vært enkelte problemer med SALTAR som er løst tilfredsstillende underveis.
- SALTAR har vært montert på to totalt forskjellige kjøretøy, tilhenger og brøytebil, og totalt sett kan man si at konseptet har fungert bra på begge.
- Det er testet i ekstreme temperaturområder. Måleren og bremsen har fungert, noe som viser at måleren har greid å arbeide under disse forholdene.
- SALTAR har bevist å ha evnen til å kunne skille mellom underlagene slik den er konstruert for.

4. Sammenligninger mellom SALTAR og OSCAR/ROAR

SALTAR i Norge er montert på samme tilhenger som en ROAR Mark II men på den andre siden av hengeren. Det betyr også at det er gjort målinger i to forskjellige hjulspor og at resultatene ikke er direkte sammenlignbart da det svært ofte forekommer at det er ulik friksjon i høyre og venstre hjulspor.

Fra målingene som er gjort kan man se at friksjonsverdiene for både SALTAR og ROAR i høy grad følger samme mønster, selv om verdiene ikke alltid er helt de samme. Forskjellene mellom de to kommer også av at utstyrstypene baseres på to ulike måleprinsipper og at det brukes forskjellig målehjul.

Resultatene fra testene som er gjort viser et behov for å anbefale og å bruke et standardisert målehjul.

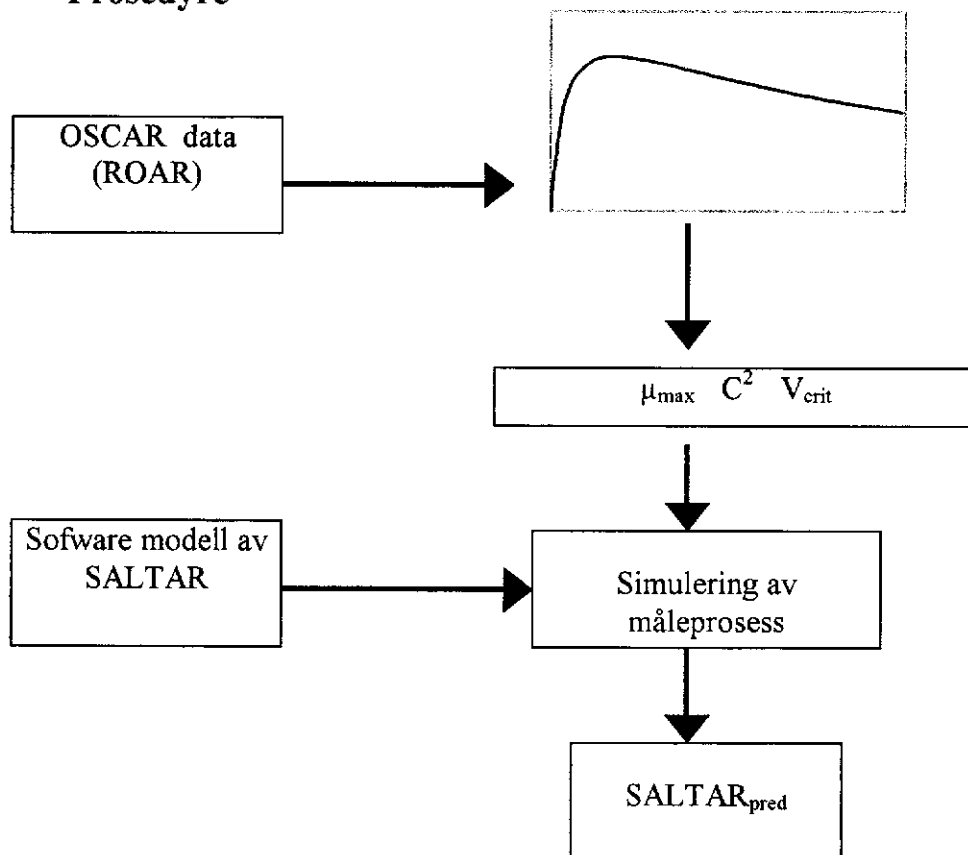
For å kunne bruke SALTAR i den daglige driften er det viktig å bestemme gode kalibreringsrutiner og å ha en vedlikeholdsstandard som kan relateres til det utstyret som brukes. I dag er vedlikeholdsstandarden relatert til blant annet OSCAR. ROAR er kalibrert i forhold til OSCAR og kan også brukes til dette formålet.

Kalibreringsprosedyrer kan inneholde flere momenter. En kalibreringsprosedyre bør blant annet inneholde kalibrering av den vertikale kraften og av omkretsen til målehjulet da dette slites med tid. I tillegg kan kalibrering relateres til annet måleutstyr.

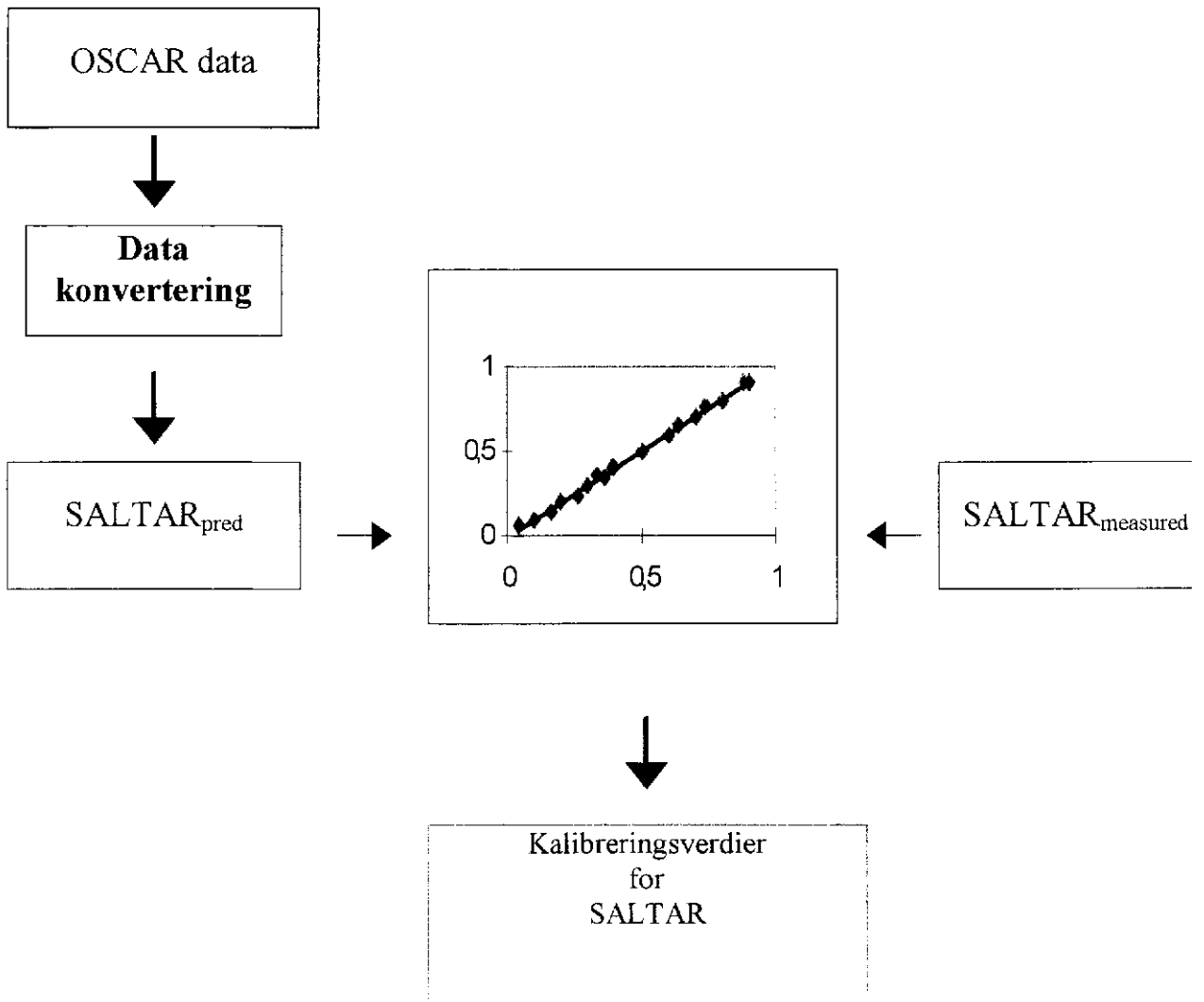
Analyser av data viser at det er behov for en standard som innlemmer SALTAR. Kvaliteten til denne standarden vil være så god som SALTAR greier å måle i forhold til denne standarden. For å holde vedlike kvaliteten til denne standarden må man måle med høy-precisjonsutstyr som ROAR og OSCAR.

For å kunne benytte SALTAR som det operative instrumentet for måling av friksjon i den daglige drift er det nødvendig og kalibrere utstyret mot en standard som har en høyere presisjon. Standarden kan være basert på OSCAR eventuelt en ROAR måler. Ved kalibrering måles ulike typer underlag med både OSCAR og det utstyret som skal kalibreres. Dataene fra OSCAR kan omformes til Saltar data. Kalibreringen av Saltar skjer således opp mot de omformede data fra OSCAR. Både OSCAR og ROAR målere benytter ett måleprinsipp, variabel slipp som muliggjør en konvertering av OSCAR data til Saltar data. Konverteringen er basert på en matematisk modell av SALTAR. Nedenfor er det beskrevet skjematisk hvordan en slik konvertering kan gjøres.

Prosedyre



Man kan ved denne prosedyren kalibrere SALTAR. Denne prosessen er vist under. ROAR/OSCAR målinger regnes om til simulerte SALTAR verdier som igjen sammenlignes med reelle SALTAR målinger.



Dette er en prosess som kun går én vei. Det vil si at det ikke lar seg gjøre ved SALTAR data å simulere OSCAR eller ROAR verdier.

5. USA målinger

SALTAR prototypene i USA har vært montert på rammen til en brøytebil bak sjåføren i venstre (indre) hjulspor.

Det er med disse prototypene gjort omfattende tester i Nord-Amerika. Blant annet er det gjort målinger i den "ekstreme" delen av friksjonsskalaen og ved ekstreme temperaturer. Det er testet i sør i USA i Virginia under sommerforhold, Iowa og Minnesota under høst og vinter og i Canada på vinterstid. Målerne har gjennomgått flere offisielle tester i USA som beskrives her.

Professor Wambold holdt et innlegg på en konferanse i Frankrike i Mai 2000 hvor han beskrev SALTAR og tester som er gjort med utstyret [3].

Et bilde av måleren som er montert på brøytebil er vist under.



5.1 Minnesota/Iowa

Vinteren 1999/2000 ble brukt til å måle under en rekke ulike forhold og det ble samlet inn en mengde data.

5.2 NASA Wallops Flight Center

Iowa bragte sin SALTAR til NASA Wallops Flight Center. Baner der blir brukt av friksjonsmåleprodusenter og brukere av utstyr for testing, kalibrering og godkjenning av utstyr. Der finnes mer enn 20 ulike underlag, fra kunstig lav friksjon til meget høy friksjon. SALTAR ble testet på en rekke ulike underlag med ulike nivåer (bl.a. asfalt, PCC (plast underlag) og microunderlag laget av stål) ved forskjellige hastigheter under ulike forhold som tørt og vått.

Konklusjonen som ble trukket etter denne testen var at SALTAR opererte etter forutsetningene. Dr. Wambolt analyserte dataene fra denne testen og rapporterte at SALTAR oppfører seg slik den er designet for.

5.3 North Bay, Canada

SALTAR deltok i Januar 2000 på en test i North Bay, Canada. Dette er også en test som avholdes årlig, og er et ledd i å utvikle en harmoniseringsmodell for friksjonsmålere på rullebaner. Under denne testen var temperaturen nede i -40°C . Det oppstod enkelte problemer under testen på grunn av de lave temperaturene. Feilen ble lokalisert og en komponent ble skiftet ut. Det ble på slutten av testen gjort målinger med SALTAR ved temperaturer ned mot -40°C . Det ble her målt på snø, is, hardpakket snø og saltet snø.

6. Konklusjoner og anbefalinger

Testen og prosjektet som er beskrevet i den foreliggende rapporten ble startet høsten 1998 og avsluttet våren 2000.

Resultatene fra testen kan kort oppsummeres som følger:

- SALTAR møter kravene i spesifikasjonen
- SALTAR har god repeterbarhet
- SALTAR skiller mellom ulike underlag og kan detektere korte områder med forandret friksjonsnivå
- Det er testet i ekstreme temperaturområder ned til -40 °C. Måleren og bremsen har fungert, noe som viser at måleren har greid å arbeide under disse forholdene.
- SALTAR har tålt målinger på våt og tørr vei og temperaturer opp til 30 °C. Målet med denne testen var å spesifikt teste måleren under vinterforhold. Testen indikerer at man får meningsfulle data for våte og tørre underlag. SALTAR har et potensiale til å brukes til sommermålinger og ulykkesundersøkelser. For å bruke SALTAR på denne måten må en standard utvikles basert på SALTAR, som for vintervedlikehold. Samtidig må det benyttes et vanningsanlegg.
- Bremsen som er valgt er i samsvar med forventningene. Det har i sluttfasen oppstått problemer med at fukt kommer inn i bremsen. Dette har gjort at bremsen ikke har greid å låse hjulet på underlag med høy friksjon og at friksjonsverdien blir veldig høy. Det foreligger en løsning på dette problemet.
- SALTAR har vært montert på to helt forskjellige kjøretøy, tilhenger og brøytebil, og utstyret synes å være egnet for begge typer kjøretøy.

Enkelte svake komponenter og dårlige løsninger er endret for SALTAR. Etter at modifikasjonene er gjort ser det ut som om produktet tåler ytre påkjenninger godt.

Angående måledekket ble det gjort et valg med hensyn til type. Det fantes ingen standardiserte dekk med glatt slitebane. Det ble derfor valgt et mønstret dekk med dimensjon 12" med et bestemt merke. Dette betraktes som standard måledekk for SALTAR. Det er mulig å relatere Oscar og Roar data gjennom en konverteringsalgoritme som er beskrevet i rapporten.

Etter to vintersesonger med uttesting av prototypen foreligger det en god del erfaringer både fra målingene som er gjort og problemer som har oppstått og blitt løst underveis.

Arbeidsgruppen har følgende anbefaling etter avsluttet test:

- * Det velges ut en Saltar måler som blir en kalibreringsenhet andre Saltar målere kan kalibreres mot. Denne måleren blir underlagt spesielle kvalitetsprosedyrer.
- * Konverteringsalgoritmen for Saltar justeres slik at måletallene blir tilpasset gjeldene standard for friksjonsverdier.

Arbeidsgruppen foreslår at følgende viktige problemstilling blir nærmere vurdert:

- * Etablering av en målestandard som beskriver prosedyrer, målemetode og tekniske krav og er slik utformet slik at eksisterende friksjonskrav kan benyttes.

Appendix 1

Kravspesifikasjon

Standarder og direktiver

Systemet skal tilfredsstillere EU direktivet og bære et CE-merke.

Måleområde

Friksjon: $0.05 < \mu < 0.50$

Måleintervall: én måling hvert 2-dre sekund

Output parameter

Output: Fem nivåer av informasjon for bremseaktiviteten

Måleparameter: Relativ bremseaktivitet i intervaller

Resultatet skal vises i et display, og det skal være mulighet for å koble til en ekstern enhet for datainnsamling.

Fem nivåer

Hasardiøst: $\mu = 0.15$ av OSCAR

Veldig glatt: $0.15 < \mu = 0.25$ av OSCAR

Glatt: $0.25 < \mu = 0.4$ av OSCAR

Akseptabelt: $0.4 < \mu = 0.5$ av OSCAR

Godt: $\mu > 0.5$ av OSCAR

Operativt område

Målehastighetsområde: 30 til 80 km/h

Operativ lufttemperatur: -30°C til $+10^{\circ}\text{C}$

Lagringstemperatur: -30°C til $+50^{\circ}\text{C}$

Snødybde: max. 100 mm snø eller slaps

Andre generelle krav

Vekt: Skal være lett nok til å kunne håndteres av en mann

(Vekten på enheten er 70 kg bl.a. p.g.a. valg av en svært robust brems)

Størrelse: Skal være liten nok til å kunne monteres etter en pick-up og under de fleste 16-26 tonn lastebiler. Skal ha en transportposisjon hvor det er klaring fra bakken på min 300 mm.

Kraft: 12 V fra batteri, max 75 W

Måleren må kunne måle i veiens hjulspor

Nøyaktighet

Nøyaktighet: for alle nivåer skal det være $\pm 10\%$

Pålitelighet og varighet

Levetid: Basert på det meget røffe miljøet under en lastebil er levetiden satt til 5 år

Operative omgivelser: Måleren må tåle røffe omgivelser som salt, vann, is og sørpe. Ingen korrosive deler.

Vedlikehold: Service, vedlikehold og kalibrering skal kunne utføres av trent personell i.h.t. instruksjonsbok. Måleren skal ha så lite/enkel vedlikehold som mulig. Få deler, få bevegelige deler, liten slitasje på delene, bare masseproduksjonskomponenter.

Måleren skal ikke kunne skades under kjøring over små hindringer (max. 10 cm høye), eller hull (max. 10 cm dype) langs veien.

Brukergrensesnitt

Kontrollenheten skal være så liten som mulig og kunne monteres hvor som helst inne i bilen.

Standard

Start/Stopp knapp

5-nivå indikator for den relative bremseaktiviteten, som også kan brukes som varselsignal

Opsjoner

Kobling til ekstern PC

Registrering av friksjon og hastighet i forhold til distanse. Utskrift til papir eller til fil.

Kobling til Saltkontroll enhet

Heve/senke knapp, som vil befinne seg separat fra kontrollsystemet

Pennskriver

Hvis målerne skal monteres på pickup eller tilhenger, må kompressor monteres.

Kompressorer som kan brukes må ha kapasitet opp til 7 Bar.

Installasjon

Enkel montering og demontering av måler for sesongbruk: En mann skal i løpet av maksimum en time med enkelt verktøy være i stand til å montere utstyret.

Målerne skal kunne monteres bak en pickup/lagsbil eller under en lastebil.

Betjening

Målesystemet skal være så enkelt å betjene at det skal kunne håndteres av sjåføren av bilen.

Referanser

- [1] P.D. Cenek, D.N. Brown, N.J. Jamieson and P.F. Stewart
Operational Limitations of skid resistance testers used in Australia
Central Laboratories, Works Consultancy Services Limited.

 - [2] Statens vegvesen / Norsemeter AS
Friksjonsmåling vinterveger
Sluttrapport forprosjekt
Oslo/Solbergelva 1995

 - [3] Prof. Dr. J .C. Wambold
Friction Measurement Techniques for Snow and Ice Road Operations
May 2000
-