

# Føreres fartsvalg under ulike friksjonsforhold

**Johan Kristian Kvernland**

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2013

Hovedveileder: Eirin Olaussen Ryeng, BAT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for bygg, anlegg og transport





Oppgavens tittel: Føreres fartsvalg under ulike friksjonsforhold  (Drivers choice of speed under different friction conditions)	Dato: 06.06.2013		
	Antall sider (inkl. bilag): 124		
	Masteroppgave	X	Prosjektoppgave
Navn: Stud.techn. Johan Kristian Kvernland			
Faglærer/veileder: Førsteamanuensis Eirin Ryeng, NTNU Førsteamanuensis Alex Klein-Paste, NTNU			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Kai Rune Lysbakken, Statens vegvesen Vegdirektoratet			

**Ekstrakt:**  
Flere studier har blitt utført hvor fartstilpasning på rette stekninger har blitt undersøkt. Fartstilpasning i kurvaturer er det derimot langt mindre forsket på. Det vitenskapelige spørsmålet som kommer opp er om trafikanten har mer, mindre eller tilsvarende fartstilpasning i kurvaturer som på rette strekninger.

Innledningsvis er det gjennomført en litteraturundersøkelse for å få en generell oversikt over teori og relevant forskning knyttet til vinterforhold, vinterdrift, friksjonsforhold, fartsvalg og ulykker.

I løpet av mars 2013 ble det gjennomført 10 registreringer langs Utleirvegen i Trondheim. Fart og friksjon ble målt samt at hver registrering inneholder førebeskrivelser. Høyest friksjon ble målt på tørr, bar veg ( $\mu = 0,72$ ) mens lavest friksjon ble målt på hard snø langs rett strekning ( $\mu = 0,34$ ) og på is i kurven ( $\mu = 0,30$ ).

Resultatene fra fartsmålingene viser at trafikantene reduserer farten med 3-9 % langs rett strekning på synlig vinterføre (hard snø, bart i spor osv.) sammenlignet med på tørr, bar veg. Denne fartsreduksjonen innebærer at trafikantenes relative fartstilpasning på vinterføre i gjennomsnitt er 0,76 langs rett strekning.

Resultatene viser også forskjeller i trafikantenes grad av fartstilpasning på rette strekninger og i kurvatur. Kort oppsummert viser resultatene en større, eller like stor, relativ fartstilpasning på vinterføre like før og gjennom kurven sammenlignet med på rett strekning. Like før og gjennom kurven er trafikantenes relative fartstilpasning i overkant av 0,80 på vinterføre. Fortsatt er ikke fartstilpasningen stor nok til å kompensere for mindre tilgjengelig friksjon, men resultatene gir indikasjoner på at den vil være større enn tidligere antatt basert på undersøkelser gjennomført kun på rette strekninger.

Stikkord:

1. Vinterdrift
2. Førebeskrivelse
3. Friksjon
4. Fart

(sign.)



## Forord

Denne rapporten er et resultat av mitt arbeid med den avsluttende masteroppgaven ved Institutt for Bygg, Anlegg og Transport, faggruppe Veg og transport ved NTNU våren 2013. Oppgaven gjennomføres i 10. semester ved masterstudiet Bygg- og miljøteknikk og har en arbeidsbelastning som skal tilsvare 30 studiepoeng.

Om vinteren medfører snø, is og slaps vanskelige kjøreforhold på norske veger. Dette reduserer fremkommeligheten og øker faren for at trafikkulykker skal forekomme dersom det ikke gjøres forbyggende tiltak. Nullvisjonen, et ønske om null drepte og alvorlig skadde i vegsystemet, plasserer ansvaret for at det ikke skal inntreffe ulykker mellom trafikantene og de som utformer trafikksystemet. Vegeier er ansvarlig for å iverksette ulike drifts- og vedlikeholdstiltak for å gi et så trafikksikkert vegsystem som mulig, mens trafikantene har et ansvar for å tilpasse farten etter de til enhver tid rådende føreforhold.

Hovedhensikten med denne oppgaven har vært å undersøke metodebruk for å kunne måle trafikanters fartstilpasning til vekslende føreforhold, både langs en rett strekning og i kurve. Flere studier har blitt utført hvor fartstilpasning har blitt undersøkt på rette strekninger, mens det finnes langt mindre forskning på fartstilpasning i kurvaturer.

Jeg har hatt to veiledere ved NTNU, i tillegg til en ekstern veileder. Førstemanuensis Eirin Ryeng ved NTNU har vært hovedveileder og har gjennom regelmessige møter hjulpet meg med fremdriften, fokus og de formelle krav som forventes av en masteroppgave. I tillegg har førstemanuensis Alex Klein-Paste fungert som en medveileder og har gitt meg gode innspill ved flere anledninger.

Kai Rune Lysbakken ved Statens vegvesen Vegdirektoratet har bistått med hjelp til praktisk gjennomføring av registreringene. I tillegg har han vært tilgjengelig på kort varsel, kommet med flere gode innspill og vist stor interesse for arbeidet med denne masteroppgaven.

Det rettes en stor takk til samtlige veiledere for den kompetansen, erfaringen og støtten de har bidratt med. I tillegg ønsker jeg gjerne å takke følgende personer:

Bjørn Ove Ofstad og Gerd Vårly ved Statens vegvesen for hjelp til friksjonsmålinger, med hhv ROAR og ViaFriction.

Snorre Hansen ved Statens vegvesen Vegdirektoratet for hjelp til å sette opp radarer, brukt til fartsmålinger, samt generell veiledning i bruken av radarene.

Torbjørn Haugen ved Statens vegvesen som var med på å velge samt vurdere alternative registreringsområder.

Trondheim, juni 2013

Johan Kristian Kvernland



## Sammendrag

Vegtrafikklovens paragraf 3 sier at enhver skal ferdens hensynsfullt og være aktpågivende og varsom så det ikke kan oppstå fare, eller voldes skade og slik at annen trafikk ikke unødig blir hindret eller forstyrret. Dette innebærer bl.a. at farten må tilpasses friksjonsforholdene på veien.

Innledningsvis er det gjennomført en litteraturundersøkelse for å få en generell oversikt over teori og relevant forskning knyttet til vinterforhold, vinterdrift, friksjonsforhold, fartsvalg og ulykker.

Flere studier har blitt utført hvor fartstilpasning på rette stekninger har blitt undersøkt. Disse studiene viser at trafikanten reduserer farten noe når friksjonen på veien reduseres, men på langt nær tilstrekkelig til å opprettholde samme bremsestrekning dersom man må foreta en bråbrems.

Fartstilpasning i kurvaturer er det derimot langt mindre forsket på. Forskjellen mellom en rett strekning og en kurve er at i kurven trenger kjøretøyet alltid friksjon, mens på en rett strekning kun når det skal bremse eller akselerere. Det vitenskapelige spørsmålet som kommer opp nå er om trafikanten har mer, mindre eller tilsvarende fartstilpasning i kurvaturer som på rette strekninger.

Hovedhensikten med denne oppgaven har bl.a. vært å undersøke metodebruk for å kunne måle trafikanters fartstilpasning til vekslende føreforhold, både langs en rett strekning og i kurve. Derfor bør det gjennomførte arbeidet betraktes mer som et forprosjekt der metodikken som ligger bak resultatene er vel så viktig.

For å undersøke trafikanters fartstilpasning ved ulike friksjons- og føreforhold samt på rette strekninger og i kurvatur har det i dette prosjektet blitt gjennomført:

- Førebeskrivelser (tørr, bar veg, hard snø, is osv.)
- Friksjonsmålinger (ROAR, ViaFriction og bremsetester med Dynatron)
- Fartsmålinger (både manuelle og radarmålinger)

For å undersøke om trafikantene har mer, mindre eller tilsvarende fartstilpasning i kurvaturer som på rette strekninger må det benyttes en kvantifiserbar metode. For å få til dette innføres begrepet «*friksjonstilpasset fart*». Friksjonstilpasset fart har i dette prosjektet blitt definert som den kjørefarten som gir samme sikkerhetsmargin ved kjøring på ulike føreforhold.

Langs rett strekning har bremselengden (på tørr, bar veg) blitt brukt som en referanse på trafikantenes sikkerhetsmargin. I kurve har minste teoretiske sirkelradius, som kan passeres med den målte gjennomsnittsfarten på tørr, bar veg uten at det oppstår skrens, blitt brukt som en referanse på trafikantenes sikkerhetsmargin.

For å eliminere forskjellen mellom kjøring langs rett strekning og i kurve har fartstilpasningen blitt fremstilt relativt til den målte farten på tørr, bar veg. Den målte farten på tørr, bar veg blir dermed brukt som referanse og den relative fartstilpasningen på tørr, bar veg settes til 1,0. Relativ fartstilpasning vil være et benevingsløst tall som er forholdstallet mellom beregnet fart

som gir ønsket referansen (bremselengde eller minste sirkelradius) og målt fart på det aktuelle føreforhold.

For å studere fartsvalg under ulike friksjonsforhold, både på rette strekninger og i kurver, har det vært nødvendig å finne et registreringsområde som er egnet for et slikt forsøk. Siden det her skal gjøres undersøkelser i kurvatur var det nødvendig å finne en strekning med en kurve som innbyr til varierende fartsnivå ved ulike føreforhold. Samtidig har det vært nødvendig at områdets geografiske plassering gjør det praktisk gjennomførbart å få gjort målingene på kort varsel ved hurtige værromslag.

Fylkesveg 860 Utleirvegen har i dette prosjektet blitt brukt som registreringsområdet. Strekningen ved Utleirvegen er oversiktlig, har et nokså høyt trafikkvolum, fartsgrense 60 km/t langs rett strekningen og ligger kun 5 km sørøst for Trondheim sentrum. Strekningen driftes etter bar-veg strategien.

I løpet av mars 2013 ble det gjennomført 10 registreringer langs Utleirvegen i Trondheim. Fart og friksjon ble målt samt at hver registrering inneholder førebeskrivelser. De målte friksjonsverdiene på ulike føreforhold virker rimelige sammenliknet med tidligere undersøkelser, deriblant Vinterfriksjonsprosjektet. Høyest friksjon ble målt på tørr, bar veg ( $\mu = 0,72$ ) mens lavest friksjon ble målt på hard snø langs rett strekning ( $\mu = 0,34$ ) og på is i kurven ( $\mu = 0,30$ ).

Fartsmålingene har vist at trafikantene tilpasser farten til føreforholdene når friksjonen reduseres. Denne fartsreduksjonen er derimot ikke tilstrekkelig for å opprettholde samme sikkerhetsmargin (operasjonalisert i dette prosjektet som bremselengde på rett strekning og minste sirkelradius gjennom kurve) som ved kjøring på tørr, bar veg.

Resultatene viser at trafikantene i gjennomsnitt kjører med en 3-9 % lavere hastighet langs rett strekning på synlig vinterføre (hard snø, bart i spor osv.) sammenliknet med på tørr, bar veg. Denne fartsreduksjonen innebærer at trafikantenes relative fartstilpasning på vinterføre i gjennomsnitt er 0,76 langs rett strekning.

Resultatene viser også forskjeller i trafikantenes grad av fartstilpasning på rette strekninger og i kurvatur. Kort oppsummert viser resultatene en større, eller like stor, relativ fartstilpasning på vinterføre like før og gjennom kurven sammenliknet med på rett strekning. Like før og gjennom kurven er trafikantenes relative fartstilpasning i overkant av 0,80 på vinterføre. Fortsatt er ikke fartstilpasningen stor nok til å kompensere for mindre tilgjengelig friksjon, men resultatene gir indikasjoner på at den vil være større enn tidligere antatt basert på undersøkelser gjennomført kun på rette strekninger.



## Summary

The road traffic act § 3 states that everybody should show consideration and be vigilant and cautious to prevent danger, or cause damage so that other traffic is not unnecessarily obstructed or interrupted. This includes, among others, that the speed must be adapted to the roads friction ratio.

Introductorily a literature study was conducted to get a general overview of the theory and relevant research related to winter conditions, winter maintenance, friction conditions, road users' choice of speed and accidents.

Several studies have been performed on speed adaptation on a straight stretch road section. These studies have showed that road users reduces the speed some when the road friction is reduced, but not nearly sufficient to maintain the same breaking distance if you need to make a slam on the brakes.

However there exists much less studies on speed adaptation in curvature. The difference between a straight stretch and a curvature is that in a curvature the vehicle always requires friction, while on a straight stretch only when to brake or accelerate. The scientific question will then be if road users have more, less or the same speed adaptation in curvatures as on straight stretches.

One of the main purposes of this project have been to examine a method which can be used for measuring road users speed adaptation to changes in road conditions, both along a straight stretch and in a curve. Therefore this project can be regarded as a pilot project where the methodology behind the results is just as important.

To examine road users speed adaptation at different friction- and road conditions, as well as along a straight stretch and in a curve, there have been completed:

- Road condition descriptions (dry, bar road, ice, etc.)
- Friction measurements (ROAR, ViaFriction and breaking tests with Dynatron)
- Speed measurements (both manual and radar measurements)

To examine if road users have more, less or the same speed adaptation in curvatures as along a straight stretch a quantifiable method has been used. To achieve this the term «friction adapted speed» have been introduced. In this project friction adapted speed has been defined as the driving speed which provides the same margin of safety when driving on different road conditions.

On a straight stretch the braking distance (on a dry bar road) have been used as a reference for road users margin of safety. In the curve the smallest theoretical circle radius, which can be passed with the average measured speed on a dry bar road without causing skidding, have been used as a reference for road users margin of safety.

To eliminate the difference between driving on a straight stretch and in a curve the speed adaptation have been presented relative to the measured speed on a dry bar road. The measured speed on a dry bar road is then used as a reference and the relative speed

adaptations on a dry bar road is set to 1.0. The relative speed adaptation will be the ratio between the reference (braking distance or smallest circle radius) and the measured speed at the current condition.

To be able to study road user's choice of speed under different friction conditions, both on a straight stretch and in a curve, it has been necessary to find a registration area which is suitable for such an experiment. Since there will be made investigations in the curvature there have been necessary to find a stretch with a curve which is ideal for varying levels of speed under different road conditions. At the same time the geographical location of the area have set limitations because the registrations has to be conducted at a short notice if there is a quick change in the weather.

County road 860 Utleirvegen has been the registration area in this project. The stretch at Utleirvegen is easy to follow, have a relatively high traffic volume, speed limit of 60 km/h along the straight stretch and is only about 5 km southeast of Trondheim. The stretch is operated by the bar-road strategy.

During March 2013 10 registrations was completed along Utleirvegen in Trondheim. Speed and friction was measured and each of the registration days is given a description of the road conditions. The measured friction values in this project seem reasonable compared with previous projects such as «Vinterfriksjonsprosjektet ». The highest friction was measured on dry bar road ( $\mu=0.72$ ) while the lowest friction was measured on hard snow along the straight stretch ( $\mu=0.34$ ) and on ice in the curve ( $\mu=0.30$ ).

The speed measurements have shown that road users adapt their speed to the road conditions when friction is reduced. This speed reduction is however not sufficient to maintain the same margin of safety (operationalized in this project as braking distance on a straight stretch and smallest circle radius in the curve) as when driving on a dry bar road.

The results shows that road users in average drives 3-9 % slower along the straight stretch on visible winter conditions (hard snow, ice etc.) compared with on a dry bar road. This speed reduction means that the road users relative speed adaptation, on winter conditions, along a straight stretch in average is 0.76.

The results also show that the level of road users relative speed adaption is different along a straight stretch and in a curve.

Briefly summarize the results show that the road users relative speed adaptation is larger, or equal, just before, and through, the curve compared with along the straight stretch. Just before and throughout the curve the road users relative speed adaptation is in average just above 0.80 on winter conditions. Still the speed reduction is not big enough to compensate for less available friction, but the results indicates that the relative speed adaptation will be bigger than previously assumed based on projects which is only conducted on straight stretches.

**Innhold**

Forord .....	III
Sammendrag .....	V
Summary .....	VII
Figurer .....	XIII
Tabeller.....	XV
Formler .....	XVII
1. Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn og problemstilling.....	1
1.2 Oppgavens oppbygning.....	2
2. Litteraturundersøkelse .....	3
2.1 Vinterdrift og vintervedlikehold.....	3
2.1.1 Strategier for vintervedlikehold .....	4
2.1.2 Alternative strategier .....	5
2.2 Vegsalting.....	5
2.2.1 Anti-ising.....	6
2.2.2 Anti-kompaksjon .....	7
2.2.3 Avising .....	8
2.3 Friksjon og friksjonsforhold.....	9
2.3.1 Hva er friksjon? .....	9
2.3.2 Friksjon: Et responssystem.....	10
2.3.3 Friksjonsmekanismer .....	11
2.3.3.1 Deformasjon .....	11
2.3.3.2 Adhesjon.....	12
2.3.3.3 Slitasje .....	13
2.3.4 Hvordan blir friksjon tapt på vinterføre?.....	14
2.4 Fart, fartsvalg og ulykker .....	16
2.5 Risikokompensasjon og fartsvalg.....	18
2.5.1 Risikokompensasjon/atferdstilpasning .....	18
2.5.2 Risikokompensasjon/atferdstilpasning som gir seg utslag i endret fartsvalg.....	19
2.6 Fartsvalg på ulike veg- og føreforhold .....	22
2.7 Fart, føre og ulykkesrisiko .....	23
2.8 Trafikksikkerhet på vinterføre.....	26
2.9 Oppsummering av litteraturundersøkelse.....	29

3. Design av forskningsopplegg .....	33
3.1 Valg av registreringsområde .....	33
3.2 Forskningsspørsmål og hypoteser .....	33
3.3 Operasjonalisering.....	34
3.3.1 Klassisk bremsefriksjon .....	36
3.3.2 Minste sirkelradius .....	38
3.3.3 Relativ fartstilpasning .....	40
4. Eksperimentelle detaljer .....	41
4.1 Førebeskrivelser .....	41
4.2 Friksjon.....	43
4.2.1 ROAR og ViaFriction .....	43
4.2.2 Dynatron.....	44
4.3 Fart .....	45
4.3.1 Manuelle registreringer .....	45
4.3.2 Radarmålinger .....	46
4.4 Oppsummering av eksperimentelle detaljer.....	47
5. Resultater.....	49
5.1 Registreringsdagene .....	49
5.2 Friksjonsmålinger og førebeskrivelse .....	50
5.3 Fartsmålinger.....	53
5.3.1 Manuelle fartsmålinger .....	53
5.3.2 Radarmålinger .....	55
5.3.2.1 Radar 1 (rett strekning) .....	56
5.3.2.2 Radar 2 (inngang kurve).....	56
5.3.2.3 Radar 3 (utgang kurve).....	57
5.4 Fartsvalg på ulike friksjonsforhold .....	58
5.5 Friksjonstilpasset fart .....	60
5.5.1 Manuelle registreringer .....	60
5.5.1.1 Rett strekning og like før kurve.....	61
5.5.1.2 Gjennom og utgang kurve .....	62
5.5.2 Radarmålinger .....	64
5.5.2.1 Radar 1 (rett strekning) .....	64
5.5.2.2 Radar 2 (inngang kurve).....	64

5.5.2.3 Radar 3 (utgang kurve).....	65
6. Diskusjon av resultater .....	67
6.1 Hypotese 1:.....	67
6.2 Hypotese 2:.....	68
6.3 Friksjon, fart og risiko .....	70
7. Oppsummering og konklusjon .....	73
7.1 Oppsummering av resultatene .....	73
7.2 Erfaringer fra gjennomføringen .....	74
7.3 Videre arbeid .....	74
7.4 Konklusjon .....	76
Referanser.....	77
Vedlegg .....	81
Vedlegg 1: Oppgavetekst masteroppgave .....	81
Vedlegg 2: Wildes teori om risikolikevekt .....	84
Vedlegg 3: Beskrivelse av radarer .....	85
Vedlegg 4: Registreringsdagene.....	87
Vedlegg 5: Resultater friksjonsmålinger ROAR og ViaFriction .....	95
Vedlegg 6: Registreringsskjema.....	102
Vedlegg 7: Boksdiagram .....	103
Vedlegg 8: Klassisk bremsefriksjon og kritisk hastighet .....	105



## Figurer

Figur 1: Registreringsområdet (Google, 2013) .....	1
Figur 2: Fasediagram for natriumklorid i vann (Klein-Paste, 2012c) .....	6
Figur 3: Saltkonsentrasjonens effekt på vannets frysepunkt (Klein-Paste, 2012c).....	7
Figur 4: Faseovergang mellom fast form og væske (Klein-Paste, 2012c).....	8
Figur 5: Friksjon mellom to legemer.....	10
Figur 6: Friksjon fra deformasjon (Inside racing technology, 2004) .....	11
Figur 7: Trykkfordeling uten (a) og med (b) en horisontal kraft (Klein-Paste, 2012d) .....	12
Figur 8: Adhesjonsmekanisme (Klein-Paste & Nonstad, 2011) .....	12
Figur 9: Vannmolekyler mellom gummidekk og vegbane (Klein-Paste & Nonstad, 2011)....	14
Figur 10: Snø mellom gummi og vegoverflaten (Klein-Paste & Nonstad, 2011).....	15
Figur 11: Fartstilpasninger (Sagberg et al., 2002).....	17
Figur 12: Atferdstilpasning: Strategisk og taktisk/operativt nivå (Fridstrøm & Elvik, 2011) .	21
Figur 13: Gjennomsnittsfart på ulike føreforhold (Giæver, et al., 2006) .....	24
Figur 14: Inndeling av Sverige i 4 klimatiske regioner (Norem, 2009).....	26
Figur 15: Målt friksjon på ulike typer føreforhold (Sakshaug, et al., 2006) .....	27
Figur 16: Ulykkesfrekvens som funksjon av føre (Sakshaug, et al., 2006) .....	28
Figur 17: Registreringsområdet (Google, 2013) .....	33
Figur 18: Brems- og sidefriksjon (Statens vegvesen, 2008).....	35
Figur 19: Bremsforløp .....	37
Figur 20: Tørr, bar veg og slaps (Johnsen, 2012) (Wikipedia, 2012) .....	41
Figur 21: ROAR og ViaFriction.....	44
Figur 22: Sensor, PDA og program for friksjonsmåling (Nonstad, 2007).....	44
Figur 23: Målepunkt og delstrekninger manuelle registreringer (Google, 2013) .....	46
Figur 24: Plassering av radarer (Google, 2013) .....	47
Figur 25: Eksempelbilder av ulike føreforhold .....	50
Figur 26: Målt friksjon ved ulike føreforhold .....	51
Figur 27: Friksjonskoeffisient ved ulike føreforhold .....	52
Figur 28: Boksdiagram med forklaring .....	53
Figur 29: Kjøre fart rett strekning og like før kurve ved ulike førebeskrivelser .....	54
Figur 30: Kjøre fart gjennom og utgang kurve ved ulike føreforhold.....	54
Figur 31: Antall registrerte kjøretøy, radarer .....	55
Figur 32: Fartsmålinger radar 1 (rett strekning).....	56
Figur 33: Fartsmålinger radar 2 (inngang kurve) .....	57
Figur 34: Sideveg til Utleirvegen (Google, 2013).....	57
Figur 35: Fartsmålinger radar 3 (utgang kurve) .....	58
Figur 36: Fartsvalg på ulike friksjonsforhold.....	59
Figur 37: Relativ fartstilpasning rett strekning .....	61
Figur 38: Relativ fartstilpasning like før kurve .....	62
Figur 39: Relativ fartstilpasning gjennom kurve.....	63
Figur 40: Relativ fartstilpasning utgang kurve.....	63
Figur 41: Relativ fartstilpasning radar 1.....	64
Figur 42: Relativ fartstilpasning radar 2.....	64
Figur 43: Relativ fartstilpasning radar 3.....	65

Figur 44: Relativ fartstilpasning over registreringsområdet .....	69
Figur 45: Gjennomsnittlig relativ fartstilpasning på vinterføre .....	73



**Tabeller**

Tabell 1: Tre hovedstrategier for vintervedlikehold (Statens vegvesen, 2012a).....	5
Tabell 2: Parametere som påvirker friksjonen (Klein-Paste & Nonstad, 2011).....	11
Tabell 3: Trafikksikkerhetstiltak og risikokompensasjon (Amundsen & Bjørnskau, 2003)....	19
Tabell 4: Forskjell i gjennomsnittsfart vinter/sommer (Vaa, et al., 2002).....	23
Tabell 5: Ulykkesfrekvens på ulike føreforhold (Sakshaug, et al., 2006).....	28
Tabell 6: Førebeskrivelser .....	41
Tabell 7: Beskrivelse av ulike føreforhold .....	42
Tabell 8: Avstander mellom målepunkt .....	46
Tabell 9: Forhåndskriterier .....	46
Tabell 10: Sammendrag fra registreringsdagene.....	49
Tabell 11: Friksjonsmåling og førebeskrivelse .....	50
Tabell 12: Resultater friksjonsmålinger .....	51
Tabell 13: Sammenlikning med Vinterfriksjonsprosjekt .....	52
Tabell 14: Manuelt registrerte kjøretøy under ulike føreforhold .....	53
Tabell 15: Radarmålinger .....	55
Tabell 16: Gjennomsnittlig hastighet/standardavvik delstrekning/radar .....	60
Tabell 17: Referanse bremselengde/sirkelradius.....	60
Tabell 18: Prosentvis fartsreduksjon .....	67



**Formler**

Formel 1: Friksjonskoeffisient .....	10
Formel 2: Potensmodellen.....	17
Formel 3: Bremselengde .....	36
Formel 4: Sideakselerasjon mot sentrum av kurve .....	38
Formel 5: Kraft rettet mot senter av bevegelsen .....	38
Formel 6: Maksimal friksjonskraft mot vegen .....	39
Formel 7: Kritisk hastighet.....	39
Formel 8: Referanse sirkelradius.....	39
Formel 9: Gjennomsnittlig strekningshastighet .....	45
Formel 10: Gjennomsnittlig punkthastighet.....	45



## 1. Innledning

### 1.1 Bakgrunn og problemstilling

Vegtrafikklovens paragraf 3 sier at enhver skal ferdens hensynsfullt og være aktpågivende og varsom så det ikke kan oppstå fare, eller voldes skade og slik at annen trafikk ikke unødig blir hindret eller forstyrret. Dette innebærer bl.a. at farten må tilpasses friksjonsforholdene på veien.

Bakgrunnen for dette prosjektet er at det ønskes å undersøke sammenhengen mellom ulike friksjons- og føreforhold sammenlignet med trafikantenes valg av fartsnivå. Aktuelle problemstillinger vil f. eks være:

- Hvilket fartsnivå velges på ulike føre- og friksjonsforhold?
- Hva er friksjonen (friksjonskoeffisienten,  $\mu$ ) ved ulike føreforhold?
- Hvordan finne en kvantifiserbar måte å sammenligne fartstilpasninger langs rett strekning og i kurve?
- Har trafikantene mer, mindre eller tilsvarende fartstilpasning i kurvaturer som på rette strekninger?

Dette er problemstillinger som er nokså komplekse og vanskelige å besvare fullt ut, spesielt med tanke på det begrensede utvalget av data som ligger til grunn for dette prosjektet. Derfor er det blitt valgt en relativ enkel tilnærming til problemstillingene, og det gjennomførte arbeidet må derfor betraktes mer som et forprosjekt der metodikken som ligger bak resultatene er vel så viktig.

Fart, friksjon og føreforhold har blitt kartlagt og registrert i flere nordiske prosjekter. Det som skiller dette prosjektet fra andre lignende prosjekt er at det undersøkes fartsvalg både langs rett strekning og gjennom kurve. Det valgte registreringsområdet har vært langs Fylkesveg 860 Utleirvegen. Figur 1 viser registreringsområdets geografiske plassering.



Figur 1: Registreringsområdet (Google, 2013)

At det finnes en klar sammenheng mellom kjørefart og omfanget av ulykker er kjent og vel dokumentert i forskningslitteraturen (Backer-Grøndal, 2009).. Flere prosjekter har kommet fram til at trafikantene på vinterføre kompenseres ved å redusere kjørefarten. Likevel er det blitt bevist at denne fartsreduksjonen ikke nødvendigvis er stor nok for å opprettholde den samme sikkerhetsmarginen som ved kjøring på tørr, bar veg (Ragnøy, 2008).

For å undersøke trafikanters fartstilpasning ved ulike friksjons- og føreforhold har det i dette prosjektet blitt gjennomført:

- Førebeskrivelser (tørr, bar veg, hard snø, is osv.)
- Friksjonsmålinger (ROAR, ViaFriction og brems tester med Dynatron)
- Fartsmålinger (både manuelle og radarmålinger)

## **1.2 Oppgavens oppbygning**

I kapittel 2 er det gjennomført en litteraturundersøkelse for å få en oversikt over relevant forskning og kunnskap knyttet til vinterforhold, vinterdrift, friksjonsforhold, fartsvalg og ulykker. Innledningsvis i kapitlet ses det på generell teori rundt vinterforhold og vinterdrift i Norge, andre del omfatter friksjonsteori, tredje del generelt om fart og atferdstilpasninger mens det til slutt blir sett på forskning knyttet til sammenhengene mellom fart, føreforhold, friksjon og ulykker.

Kapittel 3 viser designet av forskningsopplegget. Her vises det til hvordan registreringsområdet ble valgt, det formuleres forskningsspørsmål og hypoteser samt operasjonaliseringen (dvs. hvordan den er gjort målbar) av problemstillingen.

Kapittel 4 tar for seg å beskrive eksperimentelle detaljene. Kapitlet omtaler hvorfor forskningsmetodene har blitt valgt, hvordan de er brukt og eventuelle svakheter ved å benytte dem.

I kapittel 5 presenteres resultater fra analysene. Det gis innledningsvis en generell oversikt over friksjons- og fartsmålingene, deretter følger mer detaljerte resultater som vil gjøre det mulig å trekke konklusjoner rundt problemstillingene.

I kapittel 6 diskuteres resultatene, og funnene blir drøftet ut fra et kombinert trafiksikkerhetsmessig og vinterdriftsmessig perspektiv.

Til slutt i kapittel 7 oppsummeres arbeid og det gis en oppsummerende konklusjon. I tillegg vil det bli sett på muligheter for videre arbeid innenfor samme tema.

## 2. Litteraturundersøkelse

Det er i denne oppgaven gjennomført en litteraturundersøkelse for å få en oversikt over relevant teori og forskning knyttet til vinterforhold, vinterdrift, friksjonsforhold, fartsvalg og ulykker.

Litteraturundersøkelsen startet med søk i NTNU sitt eget universitetsbibliotek. Flere av de aktuelle kildene som ble funnet i universitetsbiblioteket kom fra Transportøkonomisk institutt (TØI), og flere TØI-rapporter har blitt brukt som teoretisk grunnlag. Det har også blitt gjennomført vanlige søk i søkemotoren «google». Typiske søkeord har vært: fart, vinterdrift, fartsvalg, ulykker, friksjon o.l. I tillegg har det blitt brukt faglitteratur på engelsk innenfor de samme temaene. Det har blitt innhentet informasjon fra forskningsrapporter og notater gjennomført av Statens vegvesen og Sintef. F. eks Notat N-01/05: Sammenheng mellom ulykkesfrekvens, skadestnad og føre- og friksjonsmålinger.

Det har vært forsøkt å benytte et bredt utvalg av kilder. Også pensum fra tidligere emner ved NTNU har blitt benyttet i litteraturundersøkelsen. Spesielt pensumslitteratur fra emnet TBA4340 Rehabilitering og drift av veger har stått sentralt. Det er lagt størst vekt på å finne litteratur som er relevant for norske forhold, og det har blitt forsøkt å prioritere litteratur som er av nyere dato der det har vært mulig og relevant.

Høsten 2012, i forbindelse med min prosjektoppgave i emnet TBA4542 Transport, ble det gjennomført en litteraturundersøkelse knyttet til bl.a. fartsvalg generelt og fenomenet risikokompensasjon. Kapittel 2.4 og 2.5 i litteraturundersøkelsen er derfor i store trekk identiske med funn fra prosjektoppgaven.

### 2.1 Vinterdrift og vintervedlikehold

Etter at vegen har blitt planlagt og konstruert kan den bli åpnet for trafikk. Denne åpningen markerer gjerne starten på vegens operasjonelle fase. Den operasjonelle fasen kan strekke seg over lang tid, og det er i denne perioden at vegen tjener sin hensikt til samfunnet (Klein-Paste, 2012a):

*Vegen gir mennesker og gods muligheten til å bli transportert fra punkt A til punkt B*

I den operasjonelle fasen er det viktig å opprettholde forhold langs vegen som sikrer sikker og effektiv transport av både mennesker og gods. Dette er derimot ikke bestandig like enkelt. Spesielt gjelder dette dersom vegen ligger i klimatiske områder der temperaturen kan synke under 0°C. Forekomster av snø, is eller «slaps» i vegbanen kan redusere friksjonen mellom gummidekk og vegdekke, styreevnen og rullemotstanden (Klein-Paste, 2012a). Dersom ingen tiltak blir gjennomført for å fjerne eller behandle (f. eks salte) snø/is/slaps avsetningene, vil vegen fort kunne miste sin funksjonalitet og bli farlig, eller umulig, å bruke for normale kjøretøy (Klein-Paste, 2012a).

En definisjon på vintervedlikehold kan være innsamlingen av tiltak for å holde hele vegen (overflaten, skilt, tunneler, omkringliggende områder, osv.) trygg og åpen for normal trafikk gjennom vinteren. Dette omfatter flere operasjoner/oppgaver som f. eks (Klein-Paste, 2012a):

- Mekanisk fjerning av snø/is
- Kjemisk is-beskyttelse
- Overvåkning av vær- og vegoverflateforhold
- Fjerning av snø fra skilt
- Friksjonsforsterkning
- Gjenåpning av vinterstengte veger

Hovedformålet med vintervedlikehold er å sørge for at vegene er kjørbare og sikre om vinteren (Klein-Paste, 2012a). Men når er vegforholdene tilfredsstillende? Hvor mye innsats bør legges ned for å holde vegen kjørbare og trygg? Når bør vedlikeholdstiltak igangsettes? Disse spørsmålene blir behandlet i vedlikeholdsstandarden. Den spesifiserer i hvilken grad en veg skal vedlikeholdes. Det vanlige er at vegeieren (f. eks stat, fylke eller kommune) velger graden av vedlikehold basert på viktigheten av vegen, trafikkvolumet og de klimatiske forholdene (Klein-Paste, 2012a). I Norge er vedlikeholdsstandarden beskrevet i Statens vegvesens håndbok 111.

Spesifikasjonene i vedlikeholdsstandarden kan bli delt inn i to forskjellige kategorier (Klein-Paste, 2012a) (Statens vegvesen, 2012a):

- 1) Funksjonsbaserte spesifikasjoner (materialkrav)
- 2) Innsatsbaserte spesifikasjoner (metode/utførelseskrav)

Funksjonsbaserte spesifikasjoner beskriver hvilke kriterier som bør være oppfylt slik at vegen kan opprettholde sin funksjon. Et eksempel på et slikt kriterium kan f. eks være: «*Vegdekke skal minimum ha en friksjonskoeffisient på XXX mellom gummidekk og vegdekke*». De funksjonsbaserte spesifikasjonene spesifiserer derimot ikke hvordan disse kravene skal nås (Klein-Paste, 2012a).

Innsatsbaserte spesifikasjoner beskriver når ulike tiltak skal iverksettes. Et eksempel på dette kan f. eks være: «*Snøbrøyting skal iverksettes før XX mm snø har falt på vegoverflaten*». De innsatsbaserte spesifikasjonene er mer spesifikke på når tiltak skal gjennomføres, men de spesifiserer ikke hvilke resultat tiltakene skal ha (Klein-Paste, 2012a).

### 2.1.1 Strategier for vintervedlikehold

Oppstår det situasjoner med forekomster av snø, is eller slaps på vegoverflaten vil det være fornuftig å ha en strategi for hva som skal gjøres i en slik situasjon. En slik strategi kan defineres som en metode eller en plan for å oppnå, eller beholde, en ønsket tilstand i framtiden (Klein-Paste, 2012b).

Som tidligere nevnt er det overordnede målet ved vintervedlikehold å holde vegen kjørbare og trygg om vinteren. Strategien for vintervedlikeholdet forteller videre noe om hvordan man skal opprettholde, eller gjenoppnå, en vegoverflate som både er kjørbare og trygg.

Siden det er store variasjoner i både trafikkvolum, klimatiske forhold og vedlikeholdsbudsjett, vil det ikke finnes en bestemt strategi som vil passe for alle forhold. I Norge har Statens vegvesen definert to hovedstrategier for vinterdrift (Larsen, et al., 2011):



- Bar-veg strategi; Vegen skal holdes mest mulig bar
- Vinterveg strategi; Snø- og isdekke aksepteres

I tillegg finnes det en tredje strategi som går ut på å stenge enkelte veger om vinteren (Klein-Paste, 2012b):

- Stengt-veg strategi

Denne strategien er kun aktuell dersom det finnes alternative ruter eller at mesteparten av trafikken foregår om sommeren, f. eks pga. turisme.

Tabell 1 oppsummerer det viktigste ved de tre hovedstrategiene for vintervedlikehold i Norge:

**Tabell 1: Tre hovedstrategier for vintervedlikehold (Statens vegvesen, 2012a)**

Bar-veg strategi	Vinterveg strategi	Stengt-veg strategi
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Normalt snø- og isfri hele vinteren</li> <li>- Salt benyttes for å holde vegen bar</li> <li>- Preventiv salting gjennomføres for å unngå at vann og dugg fra lufta fryser til is og at snøen fester seg til vegbanen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Snø- og isdekke aksepteres</li> <li>- Det er krav til friksjon (veggrep), løs snømengde og tykkelse på issålen</li> <li>- Sand brukes primært for å sikre friksjon</li> <li>- Veghøvel brukes for å fjerne issåle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vegen stenges for all trafikk om vinteren</li> <li>- Gjenåpnes når det ikke forventes mer snøfall</li> <li>- Krever betydelig kunnskap og utstyr for å gjenåpne vegene</li> </ul>

### 2.1.2 Alternative strategier

I tillegg til de tre hovedstrategiene finnes det flere varianter og kombinasjoner av strategier. En variant som benyttes i enkelte regioner i Norge, bl.a. for å redusere forbruket av salt, er «bar-veg i hjulspor». Formålet med denne varianten er å sikre bart dekke innenfor hjulsporene, mens man aksepterer at det er snø/is tilstede mellom hjulsporene (Klein-Paste, 2012b).

Det er også vanlig å kombinere bruken av strategier, og spesielt gjelder dette i de vestlige delene av Norge hvor de klimatiske forholdene varierer mest (Klein-Paste, 2012b). Her blir noen veger vedlikeholdt etter bar-veg strategi når temperaturen er over  $-3^{\circ}\text{C}$ . Ved lavere temperaturer skifter man derimot til strategi vinterveg. For effektivt å kunne skifte mellom strategiene er det viktig å sørge for å begrense kompakteringen av snø ved å ha gode rutiner for mekanisk fjerning av snø og høvling.

### 2.2 Vegsalting

Vintervedlikehold med salting er ett av tiltakene som beskrives i Trafikksikkerhetshåndboka (Fridstrøm & Elvik, 2011). I Norge er det vanlig praksis å benytte en form for salt, eller andre kjemikalier, i vintervedlikeholds operasjoner. Den mest vanlige typen salt er natriumklorid (NaCl), men også andre kjemikalier som magnesiumklorid ( $\text{MgCl}_2$ ) og kalsiumklorid ( $\text{CaCl}_2$ ) blir ofte benyttet (Larsen, et al., 2011). I denne oppgaven går det ikke mer i detalj på forskjellene mellom de ulike kjemikalene. Istedenfor ses det på de fysiske mekanismene som ligger bak egenskapene for vegsalt. Begrepet salt har derfor i denne oppgaven en bred betydning og kan referere til alle typer kjemikalier som blir benyttet under vintervedlikehold.

Salting av vegbanen benyttes, som tidligere nevnt, for å fjerne is og snø slik at friksjonen mellom vegdekke og bildekk kan forbedres og for å øke trafikksikkerheten. Samtidig medfører salting også en rekke negative miljøeffekter, og det er derfor viktig at den antatte sikkerhetseffekten faktisk er til stede (Fridstrøm & Elvik, 2011).

Denne rapporten ser ikke nærmere på de negative miljøeffektene som salt fører med seg. Det vil istedenfor bli sett på hvordan vegsalt fungerer i forbindelse med vintervedlikehold.

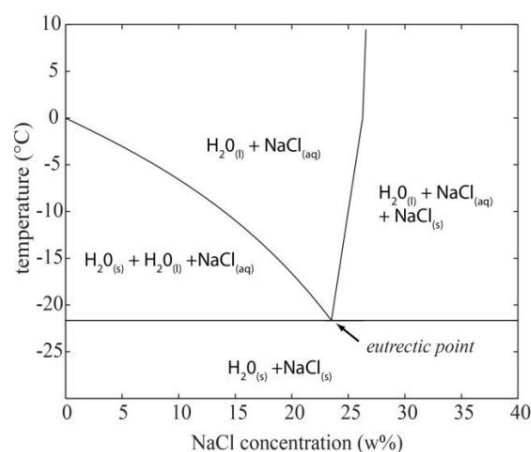
### 2.2.1 Anti-ising

Vann på en våt vegoverflate vil fryse når det når sitt frysepunkt (for rent vann er dette  $0^{\circ}\text{C}$ ). Når vannet fryser skjer det også et varmetap til omgivelsene. Det finnes derfor to måter å forhindre at vannet fryser (Klein-Paste, 2012c):

1. Redusere vannets frysepunkt
2. Tilføre varme til vannet som kompenserer for varmetapet

Den andre metoden er vanskelig å gjennomføre, i praksis, i stor skala da den vil kreve enorme mengder med energi for å holde vegoverflaten over frysepunktet samtidig som det vil føre med seg store økonomiske kostnader. Likevel benyttes denne metoden på enkle fortau. En mye mer brukt metode er derimot å senke vannets frysepunkt.

Vannets frysepunkt vil bli senket når fremmede molekyler eller ioner blir oppløst, og hvor mye det senkes vil avhenge av antallet molekyler per enhet vann (Klein-Paste, 2012c). For å fungere effektivt må derfor saltet oppløses. Det finnes derimot en øvre grense for hvor mye salt som kan oppløses i vann (ca. 23w % NaCl). Dette punktet kalles det «*eutektiske punkt*», og ved dette punktet sier man at løsningen er mettet (Klein-Paste, 2012c). Figur 2 viser et fasediagram for natriumklorid i vann.

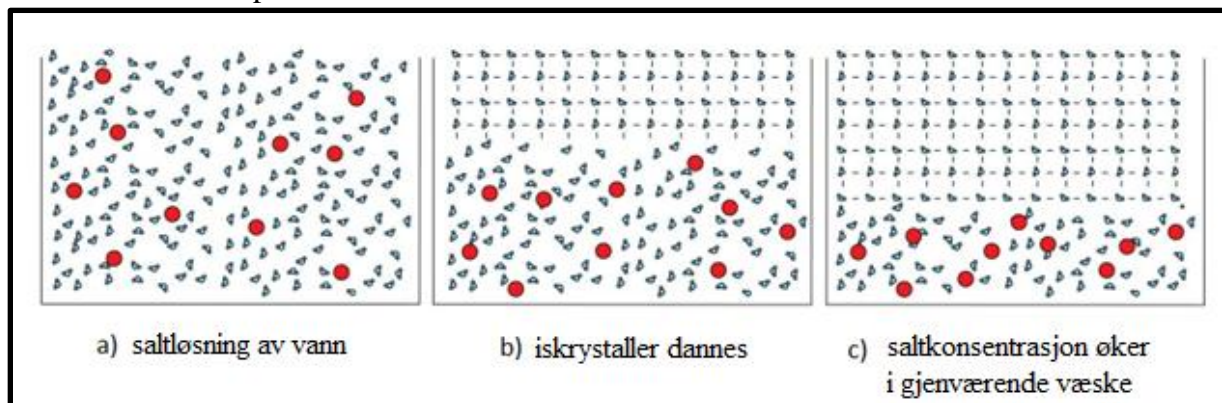


Figur 2: Fasediagram for natriumklorid i vann (Klein-Paste, 2012c)

Som nevnt tidligere vil rent vann fryse ved  $0^{\circ}\text{C}$ . Dette innebærer at iskrystaller vil dannes når vannet er på, eller under, denne temperaturen. Når noe av vannet har frosset vil det gjenværende vannet fortsatt ha en frysetemperatur på  $0^{\circ}\text{C}$ . Dette innebærer at for ren is kan alt vannet fryse ved  $0^{\circ}\text{C}$ .

Når en saltløsning av vann (vann med oppløst salt) fryser, vil de første krystallene bli dannet når løsningen er ved sitt frysepunkt. Denne temperaturen er nå under  $0^{\circ}\text{C}$ , og avhenger av saltkonsentrasjonen. Når iskrystaller dannes tillates ikke «fremmede» molekyler i strukturen (se figur 3). Derfor, når en saltløsning av vann fryser, vil iskrystallene kun bestå av vannmolekyler. Alle saltmolekylene vil derfor fortsatt være i den gjenværende væsken. Når vannmolekylene nå blir til is vil saltkonsentrasjonen i den gjenværende væsken øke. Som tidligere nevnt vil væskens frysepunkt avhenge av saltkonsentrasjonen, og dermed vil den gjenværende væsken få et enda lavere frysepunkt (Klein-Paste, 2012c).

Figur 3 illustrerer prosessen når en saltløsning av vann fryser. Saltionene er på figuren illustrert med røde prikker.



Figur 3: Saltkonsentrasjonens effekt på vannets frysepunkt (Klein-Paste, 2012c)

For en saltløsning av vann vil frysepunktet kun fortelle hvor de første iskrystallene vil dannes. Med en gang fryseprosessen har startet vil frysepunktet til den gjenværende væsken bli lavere. Fryseprosessen vil derfor strekke seg fra frysepunktet og helt til det eutektiske punkt. I praksis innebærer dette at fryseprosessen tar lengre tid dersom man tilfører salt på den våte vegoverflaten (Klein-Paste, 2012c).

Anti-ising går altså ut på å hindre iskrystallene fra å binde seg til hverandre og vegoverflaten. Siden det kreves langt mindre kjemikalier for å ødelegge bindingene til snø/is dersom kjemikaliene blir direkte påført vegoverflaten før nedbøren faller, vil anti-ising vil være et godt alternativ til avising (se kapittel 2.2.3) (Alger, et al., 1994).

### 2.2.2 Anti-kompaksjon

Et hardt komprimert snølag kan i enkelte situasjoner være en god vegoverflate å kjøre på, men ved milde temperaturer, og ved at trafikken «polerer» overflaten, kan den bli veldig glatt. Derfor er det ønskelig i enkelte situasjoner å forhindre oppbygningen av komprimerte snølag på vegoverflaten (målsetningen bak strategi bar-veg). Anti-kompaksjon går nettopp ut på å forhindre kompakteringen av snølag på vegoverflaten.

Under belastning vil snøen komprimeres. Snøkrystallene kommer nærmere hverandre og flere krystaller vil komme i kontakt med hverandre. Siden snøen er nært sitt smeltepunkt vil bindinger mellom krystallene dannes. Denne prosessen (selv om ulike prosesser er involvert) kalles «*sintring*» (Klein-Paste, 2012c). Disse bindingene dannes veldig fort (under et sekund)

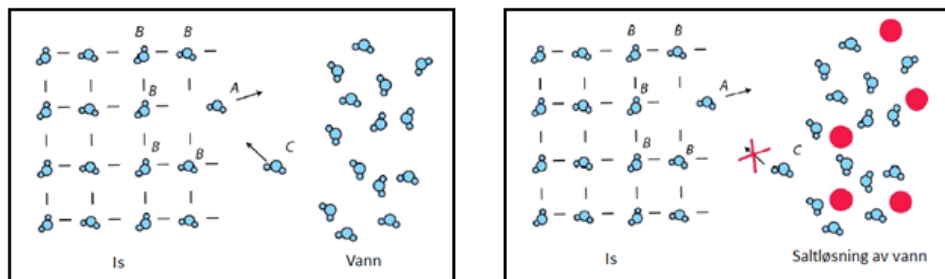
dersom det er vann i væskeform til stede. Det blir også dannet bindinger mellom snøen og vegoverflaten. Dette kalles «*adhesjon*» (Klein-Paste, 2012c).

Det å tilsette salt til snøen vil redusere den totale bindingsstyrken, men detaljene bak denne effekten er i stor grad ukjent (Klein-Paste, 2012c). Siden teorien bak denne effekten er så ukjent baserer anti-kompaksjon seg kun på praktiske erfaringer.

### 2.2.3 Avising

Avising er en måte å tvinge isen til å smelte ved hjelp av salt, selv om temperaturen er under  $0^{\circ}\text{C}$ .

For å kunne smelte ren is må man bringe temperaturen på isen til dens smeltepunkt. Isens smeltepunkt er temperaturen der både væske og fast form eksisterer i likevekt. Is-molekyler har mye mindre energi enn vannmolekyler, og opptrer i faste posisjoner i forhold til sine naboer (se figur 4). Vannmolekylene kan derimot bevege seg fritt å sprette frem og tilbake mot hverandre.



Figur 4: Faseovergang mellom fast form og væske (Klein-Paste, 2012c)

For å illustrere mekanismene bak avisning kan vi tenke oss et is-molekyl A (se figur 4). Dersom man tilfører is-molekyl A kinetisk energi vil det gå over til væskeform (Klein-Paste, 2012c). Til å begynne med vil det stjele denne energien fra nabomolekylet B (se figur 4), noe som igjen vil innebære at molekyl B blir kjølt ned. Siden isen nå har blitt noe kaldere er det stor sannsynlighet for at molekyl C (se figur 4) vil fryse. Når C fryser vil det bli frigitt energi som igjen øker isens temperatur. Dette innebærer at systemet er i likevekt (se venstre side av figur 4) (Klein-Paste, 2012c).

Ved å tilsette saltmolekyler til vannet vil man senke væskens frysepunkt (Klein-Paste, 2012c). På samme måte som for ren is vil molekyl A gå over til væske ved å stjele energi fra sin nabo B. Siden vannet nå har et lavere frysepunkt vil ikke lenger molekyl C fryse selv om isen blir kaldere (se høyre side av figur 4). Saltet bidrar også til å forhindre varmeutslippet som førte til at temperaturen på molekyl B økte. Resultatet av dette blir at molekyl B forblir kaldt.

Når smelteprosessen pågår vil saltoppløsningen bli tynnet ut av de smeltede is-molekylene. Dette vil igjen føre til at frysepunktet for væskefasen øker. Systemet får en ny likevekt når systemets temperatur når frysepunktet til den oppløste saltoppløsningen (Klein-Paste, 2012c). Siden både isen og saltoppløsningen nå blir kjølt ned, vil de bli kaldere enn sine omgivelser (luften og vegoverflaten). Dette vil tillate en varmestrøm fra omgivelsene til smeltefronten som også vil hjelpe smelteprosessen (Klein-Paste, 2012c).

Et problem ved avisning er at saltkonsentrasjonen fort vil avta og at reaksjonen stopper. For å opprettholde en høy konsentrasjon av salt er det ønskelig å ha et «reservelager» av saltmolekyler tilgjengelig. Derfor er det vanlig at avisning gjennomføres med «førfuktet» salt (Klein-Paste, 2012c). Førfuktingen går ut på at man påfører avisningssaltet en løsning flytende kjemikalier (som f. eks  $\text{CaCl}_2$ ) før det påføres vegoverflaten. Dersom man førfukter saltet vil det virke som et mer effektivt avisningsmiddel av to forskjellige årsaker. For det første vil saltet feste seg til vegoverflaten istedenfor at det hurtig blir fjernet av trafikken. Dette vil være både kostnadsbesparende samt minimere trusselen mot miljøet (Deicing fact sheets, 2009). Den andre årsaken er at salt krever fuktighet for å være et effektivt avisningsmiddel. Fuktighet løser opp saltet, og dermed frigjøres varme som vil bidra til å smelte isen/snøen i tillegg til å bryte bindingene mellom is/snø og vegoverflaten (Deicing fact sheets, 2009).

### 2.3 Friksjon og friksjonsforhold

Tilgjengelig friksjon mellom gummidekk og vegoverflaten er avgjørende for sikker og effektiv vegtransport. Friksjon er nødvendig for at kjøretøyene skal akselerere, bremse samt holde retningskontroll. Alle de kreftene som trengs for å oppnå dette må overføres gjennom kontaktflaten mellom gummidekket og vegoverflaten (Klein-Paste, 2012d).

I dette kapitlet skal det ses på hvordan friksjon lages, hvordan krefter kan overføres gjennom kontaktflaten mellom gummidekk og vegoverflaten, hvordan man kan måle friksjon, og hvordan friksjon blir tapt på vinterføre.

#### 2.3.1 Hva er friksjon?

Det finnes ulike definisjoner på friksjon i litteraturen. Mange av disse beskriver friksjon som en kraft og en slik definisjon kan f. eks være (Elert, 2011):

*“Friction is the force between surfaces in contact that resists their relative tangential motion”*

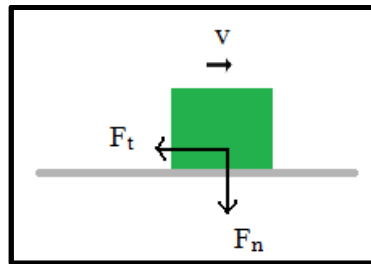
En annen måte å se friksjon på kan være (Klein-Paste, 2012d):

*«Friction is the resistance against motion, or the attempt of motion, between two bodies that are in contact with each other»*

Den siste definisjonen inkluderer både tilfeller med bevegelse (kinetisk friksjon) og hvor man prøver å starte en bevegelse (statisk friksjon).

Kinetisk friksjon er mer enn bare en kraft. Friksjonen vil alltid virke i motsatt retning av bevegelsen. Når man påfører et legeme en kraft over tid utfører man et mekanisk arbeid  $W$  (Klein-Paste, 2012d). Dette betyr at friksjon under en bevegelse blir en måte å tape energi på.

Figur 5 viser en kloss som beveger seg langs en annen overflate med hastighet  $v$ . Normalkraften  $F_n$  presser de to overflatene sammen og  $F_t$  viser den genererte friksjonen.



Figur 5: Friksjon mellom to legemer

Friksjonen kan bestemmes ved å måle kraften som er nødvendig for å trekke klossen i retningen bevegelsen skjer. Maksimal kraft som man kan påføre før bevegelsen starter gir den statiske friksjonen, mens kraften som behøves for å holde en konstant hastighet gir den kinetiske friksjonen (Klein-Paste, 2012d).

Den første friksjonsloven, utarbeidet av den franske fysikeren Guillaume Amontons, antar en lineær sammenheng mellom normalkraften og friksjonskraften (Klein-Paste, 2012d). På bakgrunn av denne lineære sammenhengen har det blitt vanlig å uttrykke friksjonen i form av en friksjonskoeffisient  $\mu$ , istedenfor som en kraft. Dette gir denne sammenhengen:

**Formel 1: Friksjonskoeffisient**

$$\mu = \frac{F_t}{F_n}$$

Så lenge man antar at denne loven er gyldig vil  $\mu$  avhenge av normalkraften. Siden denne lineære sammenhengen kun vil gjelde i enkelte tilfeller kan det være misledende å kalle det for en «lov». I komplekse friksjonssystem, som f. eks gummi glidende på is, vil den første friksjonsloven ofte være ugyldig, spesielt for høye belastninger. Siden gummi er et så mykt materiale vil ikke det reelle kontaktarealet mellom de to overflatene bli større etter en viss belastning. Dermed vil ikke den lineære sammenhengen lenger være gyldig siden friksjonskrafta er antatt å være proporsjonal med kontaktarealet (Klein-Paste, 2012d).

### 2.3.2 Friksjon: Et responssystem

Friksjon er ikke en egenskap som hører til en bestemt overflate. F. eks kan man ikke si at en vegoverflate har en friksjonskoeffisient på  $\mu=0,35$ .

Friksjon er responsen fra et system. Systemet består av to overflater som er i kontakt med hverandre, et mellomliggende medium (is, snø, vann, salt etc.) mellom overflatene samt omgivelsene som systemet befinner seg i (luft, vakuum etc.) (Klein-Paste, 2012d).

Derfor er det samspillet mellom gummidekk, vegoverflaten, det mellomliggende laget og atmosfæren som bestemmer friksjonen. Flere ulike parametere vil være med på å bestemme størrelsen på friksjonen. Noe av de viktigste parameterne er gitt i tabell 2:

Tabell 2: Parametere som påvirker friksjonen (Klein-Paste &amp; Nonstad, 2011)

Systemparametere	Dekk	Vegbane	Kontaktmedium	Luftlag
Normalkraft Kjørehastighet Slipp rate	Dekktrykk Gummienskaper Mønsterdybde Temperatur	Mikrotekstur Makrotekstur Spor/jevnhet	Mengde Viskositet/konsistens(snø, is, slaps) Temperatur Tekstur Harde partikler(sand, støv etc.)	Luftfuktighet Temperatur

### 2.3.3 Friksjonsmekanismer

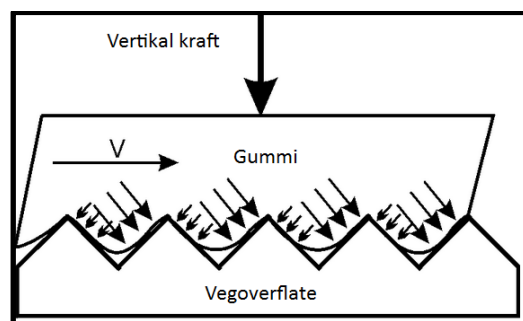
Friksjonen som oppstår mellom gummidekk og vegoverflaten kan skyldes ulike prosesser. Disse prosessene kalles friksjonsmekanismer og de viktigste friksjonsmekanismene er (Klein-Paste, 2012d):

- Deformasjon
- Adhesjon
- Slitasje

For å få en større forståelse av hvordan friksjon genereres må man se nærmere på de prosessene som foregår i kontaktområdet mellom gummidekket og vegbanen.

#### 2.3.3.1 Deformasjon

En vegoverflate vil aldri være helt perfekt glatt og vil derfor ha en viss grad av topografi, også kalt tekstur.

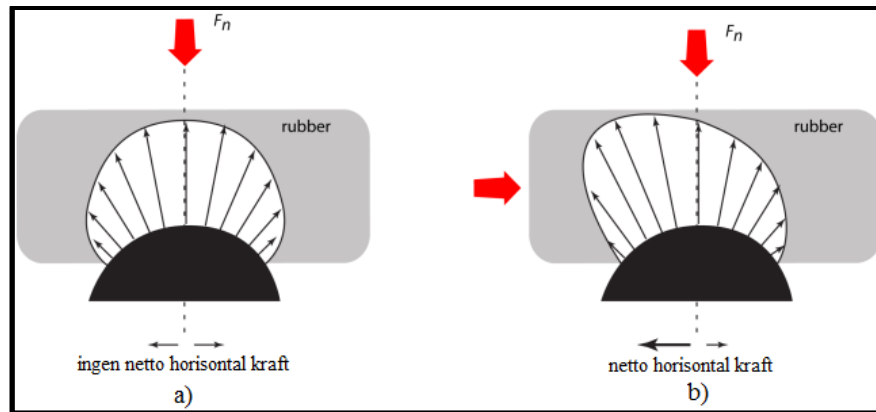


Figur 6: Friksjon fra deformasjon (Inside racing technology, 2004)

Når gummidekket kommer i kontakt med vegoverflaten vil den vertikale kraften presse gummien ned i tekturen til vegoverflaten (se figur 6). Gummi er et relativt mykt materiale og vil dermed folde seg rundt ujevnheten i vegoverflaten. Slik blir kontakten mellom gummien og vegoverflaten dannet i mange små lokale områder. Dette betyr at den virkelige kontaktflaten vil variere fra den tilsynelatende kontaktflaten. Generelt vil den virkelige kontaktflaten være mindre, og den vil bl.a. avhenge av mykheten på gummien, vertikalkraften, dekktrykket og ujevnheten på vegoverflaten (Klein-Paste & Nonstad, 2011). På grunn av den store forskjellen i hardhet mellom gummien og vegoverflaten er det vanlig å anta at all deformasjonen skjer i gummien (Klein-Paste, 2012d).

Dersom gummien ikke blir påført noen horisontal kraft vil det være en symmetrisk trykkfordeling på alle toppene i ujevnheten. Blir derimot gummien utsatt for en horisontal

kraft vil trykkfordelingen endres og det vil eksistere en netto horisontal motstandskraft. Denne reaksjonskraften virker i motsatt retning av den horisontale kraften og vil utligne den påførte kraften. Det er denne «sammenslåingen» mellom gummi og vegoverflaten som gjør det mulig å overføre horisontale krefter fra gummidekk til vegoverflaten (Klein-Paste, 2012d).



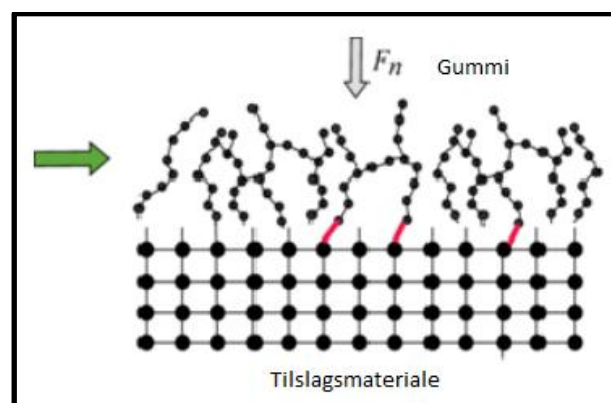
Figur 7: Trykkfordeling uten (a) og med (b) en horisontal kraft (Klein-Paste, 2012d)

Det finnes en fysisk grense for hvor store horisontale krefter som kan påføres gummi før den begynner å bevege seg. Denne grensen er gitt av den statiske friksjonen. Når de horisontale kreftene overstiger den statiske friksjonen går man over til kinetisk friksjon (se kapittel 2.3.1). Gummi vil fortsatt bli utsatt for en motstandskraft, men siden det nå er kinetisk energi vil noe av energien forsvinne (Klein-Paste, 2012d).

Når gummi er i bevegelse blir den komprimert før «topper» i vegoverflatens topografi. Etter disse toppene vil den komprimerte gummi «fjære tilbake» for så å synke ned i «dalene» i vegoverflatens topografi. Dette kalles for «relaksering». Når gummi beveger seg over alle toppene oppstår det vibrasjoner (sykluser av kompresjon og avslapping) i gummi. Dette fenomenet kalles «hysterese» (Klein-Paste, 2012d).

### 2.3.3.2 Adhesjon

En annen friksjonsmekanisme er adhesjon (Klein-Paste, 2012d). For å forstå denne mekanismen kan man igjen ta for seg kontaktområdet mellom gummi og vegoverflaten, men denne gangen på et molekylært nivå. Kontaktområdet kan se noenlunde likt ut som i figur 8.



Figur 8: Adhesjonsmekanisme (Klein-Paste & Nonstad, 2011)



Hvis man tar for seg en liten del av vegoverflaten så vil den bestå av molekyler med sterke bindinger mellom hverandre. Hvert molekyl i vegoverflaten vil være omgitt av molekyler som er «bundet» til hverandre. De øverste molekylene i vegoverflaten vil derimot mangle en nabo. De har dermed det man kaller for en «løs forbindelse» (Klein-Paste, 2012d). Molekylene i gummien henger også sammen i bindinger (polymer). Gummien vil være langt mer fleksibel enn tilslagsmaterialet, men også for gummien vil de ytterste molekylene ha en løs forbindelse.

Når gummien presses ned mot vegoverflaten vil deler av gummien komme i nær kontakt (innenfor molekylær rekkevidde) med tilslagsmaterialets molekyler (Klein-Paste, 2012d). De ytterste molekylene (som har løse forbindelser) vil dermed tiltrekke hverandre og det vil oppstå interaksjon mellom molekylene i gummien og materialet i vegoverflaten (Klein-Paste & Nonstad, 2011).

Denne typen bindinger vil enkelt kunne oppstå, og når de dannes frigjøres varme (Klein-Paste, 2012d). Når gummien så blir utsatt for en horisontal kraft vil disse bindingene bli strukket helt til de brytes. Etter dette vil gummimolekylene bevege seg til en ny posisjon hvor de kan danne nye bindinger med vegoverflaten som også vil bli strukket helt til de går i stykker. Adhesjonsprosessen kan dermed ses på som en syklisk prosess som består av dannelse, strekking og bryting av molekylære bindinger (Klein-Paste, 2012d).

### **2.3.3.3 Slitasje**

En tredje friksjonsmekanisme er dekkslitasje. Det finnes forskjellige meninger i litteraturen om dekkslitasje er en egen friksjonsmekanisme eller kun en konsekvens av de andre friksjonsmekanismene deformasjon og adhesjon.

For å kunne slite av en bit av gummidekket må mange bindinger mellom gummimolekylene brytes. Dersom dette skjer vil to nye gummioverflater dannes med hver sin «løse forbindelse». For å forhindre at de to overflatene ikke skal tiltrekke hverandre må de skilles fra hverandre over en betydelig avstand.

Når man kjører over asfalten vil det produseres en kraft i motsatt retning av kjøreretningen som tillater kjøretøyet å bevege seg framover. Denne kraften absorberes delvis av gummidekket, delvis av veggen og delvis av kjøretøyet selv. Når energien absorberes i gummidekket vil det føre til at små biter av gummien faller av. Over tid vil disse bitene bidra til den samlede dekkslitasjen (Klein-Paste, 2012d).

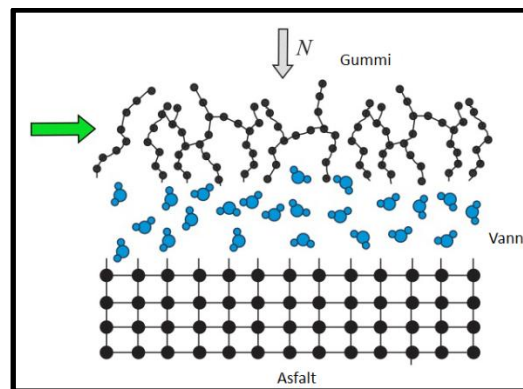
Det er tydelig at det her vil være en sammenheng mellom gummidekkets slitestyrke og friksjonsegenskaper. Det er normalt å anta at dekk som gir bedre friksjon også fortere vil slites. Dette er derimot ikke helt korrekt siden mekanismene bak dekkslitasje er mer komplekse enn kun avrivning av gummibiter (Klein-Paste, 2012d). Det går ikke nærmere inn på dette i denne rapporten.

Slitasje kan også forekomme på vegbanen hvor harde partikler som sand eller pigger riper opp overflaten. På vinterføre vil slike slitasjemekanismer kunne ha avgjørende bidrag til friksjonen (Klein-Paste & Nonstad, 2011). Dette blir nærmere omtalt i kapittel 2.3.4.

### 2.3.4 Hvordan blir friksjon tapt på vinterføre?

I Norge er klimaet slik at det er mye nedbør, både i form av regn og snø, som er med på å skape vanskelige føreforhold i deler av året. I dette kapittelet skal det ses på hvorfor friksjonen blir redusert under enkelte føreforhold. Helt generelt kan man si at man mister friksjon dersom man ikke klarer å generere deformasjon, slitasje og/eller adhesjon (Klein-Paste & Nonstad, 2011).

Med en gang vegbanen blir våt vil det bli vanskeligere for gummimolekylene å komme i kontakt med molekylene i vegoverflaten og danne bindinger. Selv om det kun er få vannmolekyler på vegoverflaten kan det være nok til å forhindre at gummien binder seg mot veggen (Klein-Paste, 2012d).



Figur 9: Vannmolekyler mellom gummidekk og vegbane (Klein-Paste & Nonstad, 2011)

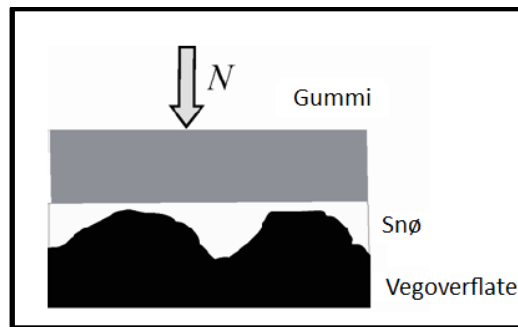
Dersom det kun er et mikroskopisk tynt lag med vann på vegoverflaten må det «presses» ut fra kontaktområdet før friksjon kan genereres (Klein-Paste, 2012d). Denne prosessen tar tid og derfor tar det lengre tid før gummien og asfalten kommer i kontakt med hverandre. Resultatet av dette blir at kontaktområdet mellom gummien og asfalten reduseres. Tar prosessen med å presse vannet for lang tid (som en følge av for mye vann eller for høy kjørehastighet) vil ikke gummien i det hele tatt komme i kontakt med asfalten. Dette kalles for «vannplaning».

Den samme prosessen oppstår dersom det er slaps til stede på vegoverflaten. Slaps består av løse snø- eller iskrystaller. På samme måte som vann er slaps en inkompressibel væske (dvs. den kan ikke trykkes sammen). Det betyr at væsken må presses bort fra kontaktområdet slik at gummien til slutt kan komme i kontakt med vegoverflatens tekstur og generere friksjon (Klein-Paste, 2012d).

Er det snø på vegoverflaten blir situasjonen annerledes. Snø er et sammentrykkbart materiale og det er derfor ikke like enkelt å få presset det bort fra kontaktområdet mellom gummidekk og vegoverflate (Klein-Paste, 2012d). Teksturen til den originale vegoverflaten (f. eks asfalten) vil raskt bli dekket og dermed hindre hjulene å komme i kontakt med vegoverflatens tekstur.

Nå vil isteden friksjonen bli generert mellom gummidekket og det komprimerte snølaget (Klein-Paste, 2012d). På et mikroskopisk nivå vil snøen til å begynne med inneholde en signifikant ujevnhet. Over tid vil snøens struktur endre seg som en følge av fysiske prosesser

som f. eks kompaktering, sintring og polering (Klein-Paste, 2012d). Disse forandringene kan forekomme nokså raskt (alt fra minutter til timer eller dager). Dette betyr at snø er et veldig dynamisk materiale der mange kritiske parametere som f. eks densitet, skjærstyrke og overflatens topografi er under kontinuerlig forandring (Klein-Paste, 2012d). Vanligvis skjer disse endringene fortere når temperaturen er i området rundt  $0^{\circ}\text{C}$ . Til slutt har snøen fått så stor styrke, og blitt så polert, at man begynner å kalle den for is istedenfor kompakt snø. Snøens dynamiske egenskaper fører også til at tilgjengelig friksjon mellom gummidekk og snøoverflaten kontinuerlig forandrer seg.



Figur 10: Snø mellom gummi og vegoverflaten (Klein-Paste & Nonstad, 2011)

På snø (og is) er det liten sannsynlighet for å få dannet friksjon gjennom adhesjon. Dette fordi de ytterste molekylerne på is-overflaten er for svake til å kunne overføre store skjærkrefter. Årsaken til dette er at snø og is ofte forekommer i temperaturer svært nært til sitt eget smeltepunkt (Klein-Paste, 2012d).

Som en følge av dette må friksjon på snø og is genereres gjennom deformasjonsprosesser som f. eks hysteresse (se kapittel 2.3.3.1). Siden snøen er mykere enn vegoverflaten (f. eks asfalt) kan også noe av deformasjonen skje i snøen.

På is finnes det få ujevnheter og det er derfor vanskelig å generere friksjon gjennom deformasjonsprosesser som hysteresse. Derfor må man finne andre løsninger for å få generert friksjon.

En måte kan være å maksimere potensialet for adhesjon (Klein-Paste, 2012d). Siden bindingene mellom is-molekylerne er svake er den eneste måten å oppnå dette på å øke antallet bindinger. Dette kan gjøres ved å sørge for at gummien har et størst mulig kontaktområde. Det er viktig å huske at det virkelige kontaktområdet alltid vil være noe mindre enn det teoretiske kontaktområdet. En måte å øke kontaktområdet kan være å redusere gummiens hardhet (Klein-Paste, 2012d). Mykere gummi vil enklere kunne følge is-overflaten og dermed gi et større kontaktområde. Dette er bl.a. årsaken til at vinterdekk er mykere enn sommerdekk.

En annen løsning kan være å skape deformasjoner i isen (Klein-Paste, 2012d). Dette kan gjøres ved at harde partikler er tilstede både i gummidekket og i vegoverflaten. Kontaktrykket på disse harde partiklene er mye større enn på vanlig gummi, og dermed vil partiklene presses ned gjennom islaget. Nå blir friksjon generert ved å «pløye» de harde partiklene gjennom gummien. De harde partiklene kan enten være sandpartikler eller piggene i piggedekk som benyttes om vinteren (Klein-Paste, 2012d).

Friksjon er en meget viktig parameter i forbindelse med drift og vedlikehold av veier, og friksjonsforholdene vil også være en avgjørende faktor for hvilket fartsnivå som kan velges.

## 2.4 Fart, fartsvalg og ulykker

Sanseopplevelsen av fart er å regne som en medfødt egenskap ved menneskets perseptuelle system. I tillegg kan man anta at opplevelsen av fart baserer seg på erfarte sammenhenger mellom fart og signaler/informasjon fra omgivelsene. Man oppfatter sin egen fart på grunnlag av relativ bevegelseshastighet, dvs. egen fart i forhold til omgivelsene. Dette kan være både stasjonære og bevegelige objekter i omgivelsene. Befinner det seg ikke noen objekter i synsfeltet vil ikke synssansen gi noen holdepunkter for fartsfølelsen (Sagberg et al., 2002).

Om farten er for høy, lav eller passe gir ikke fartsfølelsen i seg selv noe informasjon om. Farten må sees i forhold til et kriterium om «hva som er riktig fart». Hva som vil betegnes som riktig fart vil ofte avhenge av informasjonen fra omgivelsene. Speedometeret vil gjerne være en viktig informasjonskilde for valg av fartsnivå, f. eks i forhold til fartsgrensen. Fartsgrensen vil ofte være den avgjørende faktoren for hvilket fartsnivå som blir valgt. Den primære hensikten med fartsgrenser er å forebygge sannsynlighetene for farlig kjøring, men andre motiver som f. eks energiøkonomisering kan også ligge bak valget av fartsgrense (Sagberg et al., 2002).

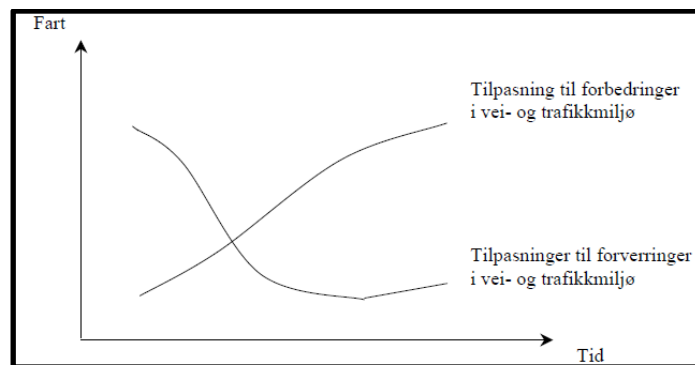
I enkelte situasjoner vil bilførere, av forskjellige årsaker, velge et lavere fartsnivå enn hva fartsgrensen tillater. I slike situasjoner vil ikke informasjon fra speedometeret ha noen betydning (Sagberg et al., 2002). En av årsakene til at det velges et lavere fartsnivå enn hva fartsgrensen tillater vil kunne være at man opplever at kjøring i fartsgrensen gir for lav sikkerhetsmargin. Sikkerhetsmarginen vil være avhengig av flere forhold som f. eks sikt, kurvatur, avstand til andre trafikanter, avstand til objekter langs vegens sidekanter og ikke minst friksjon. Det kan også være en kombinasjon av flere som f. eks at glatt vegbane og sving vil føre til en fartsreduksjon sammenlignet med tilsvarende kjøring på tørr veg langs en rett strekning.

Farten vil også kunne tilpasses av mulige/tenkte hendelser som vil kunne oppstå, men som man ikke har oversikt over. En slik reduksjon vil f. eks kunne oppstå pga. informasjon fra fareskilt (barn, skarp sving, etc.) eller av annen informasjon som indikerer at en mulig faresituasjon vil kunne oppstå. Det er også mulig at mengden av informasjon i enkelte situasjoner vil kunne bli så stor at det vil bli vanskelig, eller umulig, for bilførerne å ta til seg alt. Dette gjelder gjerne ved kjøring i komplisert bytrafikk, ved kryss og/eller på ukjente steder der man i tillegg til å følge med på trafikken også må ta til seg informasjon fra omgivelsene (f. eks fra skilt). Farten vil da bli redusert som en konsekvens av for høy «kognitiv belastning» (Sagberg et al., 2002). Dette betyr at mengden informasjon som et individ kan håndtere blir for stor.

Er ikke forholdene tilrettelagt for høye hastigheter (f. eks dårlig eller svingete veg) kan høy fart føles ubehagelig for både fører, men kanskje først og fremst for passasjerene. Det er da naturlig å anta at føreren vil tilpasse farten etter veg- og trafikkforholdene for å opprettholde størst mulig behag. Selv om bilførere tilpasser farten til veg- og føreforholdene er det fortsatt langt ifra en «perfekt» tilpasning. For å illustrere dette kan man tenke seg et eksempel som

innebære at farten reduseres ved kjøring fra tørr, bar veg til veg med is og snø. Selv om farten reduseres behøver ikke denne reduksjonen å være stor nok til at risikoen ikke øker. Det er her viktig å presisere at trafikanter ikke opprettholder en konstant risiko. Hadde det vært tilfelle ville alle trafikkmiljø hatt den samme risikoen og ingen trafikksikkerhetstiltak ville hatt noen som helst innvirkning (Sagberg et al., 2002).

Det som er typisk for de fleste trafikanter er at det er faktorer som stress, tid og dagsform som er med på og avgjør hvor stor risiko man velger å kjøre med. Figur 11 viser hvordan man skjematisk kan anta at forholdet mellom fartstilpasning varierer over tid mellom forbedringer og forverringer i veg- og trafikkmiljø. Det er sannsynlig å anta at bilførere vil kompensere raskere ved en endring i risikofaktor enn hva tilfellet vil være ved en endring i sikkerhetsfaktor. Med risikofaktorer menes enhver faktor som vil øke sannsynligheten for en ulykke eller skadegraden i ulykker, dvs. det motsatte av en sikkerhetsfaktor (Trafikksikkerhetshåndboken, 2000a).



Figur 11: Fartstilpasninger (Sagberg et al., 2002)

Det er en vitenskapelig kjent sammenheng mellom kjørehastighet og ulykkers alvorlighetsgrad (Backer-Grøndal, 2009). Med utgangspunkt i denne sammenhengen vil et tiltak for å få redusert antallet ulykker være å redusere bilistenes kjørehastighet. I dag finnes det flere effektive og utbredte tiltak for å oppnå dette. Eksempler på dette kan være fysiske fartsreguleringer, politikontroller samt andre intelligente transportsystemer (ITS).

Sammenhengen mellom fart og trafikksikkerhet er et omdiskutert tema (Elvik, et al., 2004). En mye brukt modell for å beskrive denne sammenhengen er Potensmodellen. Modellen ble foreslått av den svenske trafikksikkerhetsforskeren Gøran Nilsson. Potensmodellen beskriver sammenhengen mellom endringer i fart og endringer i ulykker, skadde eller drepte, i form av et sett potensfunksjoner. En potensfunksjon er en sammenheng mellom to variabler som fremkommer ved at verdier på den ene variabelen kan beregnes ved å opphøye den andre variabelen i en eksponent. Potensmodellen for sammenhengen mellom endringer i fart og endringer i ulykker, skadde eller drepte, består totalt av seks potensfunksjoner (Elvik, et al., 2004). Formel 2 viser formen til potensfunksjonene.

**Formel 2: Potensmodellen**

$$\frac{\text{Ulykker etter}}{\text{Ulykker før}} = \left( \frac{\text{Fart etter}}{\text{Fart før}} \right)^{\text{Eksponent}}$$

## 2.5 Risikokompensasjon og fartsvalg

Dette kapitlet tar for seg fenomenet risikokompensasjon. Risikokompensasjon vil i denne rapporten bli brukt for å beskrive ulike atferdsendringer som vil følge av endringer i transportsystemet. Risikokompensasjon vil innebære at trafikanter tar i bruk sikkerhetstiltak på andre måter enn for å øke sikkerheten.

### 2.5.1 Risikokompensasjon/atferdstilpasning

I mange rapporter, og tidligere studier, er det ikke uvanlig at begrepet «atferdstilpasning» blir foretrukket. Grunnen til dette er at betydningen av risikokompensasjon kan antyde at det er et ønske om å opprettholde en viss risiko som er motivasjonen bak tilpasningen. En definisjon på atferdstilpasning er (OECD, 1990, side 14):

*“Behavioral adaptation (are) those behaviors which may occur following the introduction of changes to the road-vehicle-user system and which were not intended by the initiators of the change;*

*Behavioral adaptation is observed when engineers, programmers, and others make changes in the transportation system, and road users change their behavior in a manner inconsistent with the goals of those initiating the change.”*

Atferdsendringene innebærer at trafikantene vil bruke forandringene til å tilfredsstille sine egne behov. Disse forandringene kan både ha positive og negative innvirkninger på trafikksikkerheten (OECD, 1990). Atferdstilpasning, eller risikokompensasjon, til et sikkerhetstiltak vil i all hovedsak skje på to ulike måter; enten ved å øke konsentrasjonen som en følge av tiltaket, eller ved å redusere oppmerksomheten. Det er altså en klar sammenheng mellom trygghet og risikokompensasjon (Amundsen & Bjørnskau, 2003). Noe som kan vise denne sammenheng er ordtaket «trygghet er farlig». Det som ligger bak dette er at dersom individer føler seg trygge vil de redusere konsentrasjonen og dermed lettere bli utsatt for, eller forårsake ulykker (Amundsen & Bjørnskau, 2003).

Føler de som kjører bilen at tryggheten er godt ivaretatt, vil de ikke føle noe behov for mer trygghet (Amundsen & Bjørnskau, 2003). Blir sjåførene «påført» et trafikksikkerhetstiltak i tillegg til at de opplever at tryggheten er tilstrekkelig ivaretatt, vil de ha muligheten til å ta ut effekten av sikkerhetstiltaket på andre måter. Det er vanlig å anta at bilførere vil kompensere kjøringen sin, og ta høyere risiko, dersom det innføres tiltak som forenkler kjøringen. F. eks er det dokumentert at økt friksjon både fører til økt fart og redusert oppmerksomhet (Høye, et al., 2011).

Hva som ligger bak motivet for en kompensasjon er i stor grad ubesvart. Det finnes mange teorier. Noen vil hevde at risikoen er en avgjørende motivasjonsfaktor, mens andre hevder at bilførere kompenserer som en følge av en rekke forskjellige motiver. Et funn som går igjen i mange studier på risikokompensasjon er at de fleste tiltak fører til at en del av effekten tas ut i form av økt sikkerhet, og en del i form av redusert oppmerksomhet (Amundsen & Bjørnskau, 2003). Under viser tabell 3 at trafikksikkerhetstiltak kan deles inn i fire ulike grupper når det gjelder kompensasjon:

Tabell 3: Trafikksikkerhetstiltak og risikokompensasjon (Amundsen &amp; Bjørnskau, 2003)

Kompensasjon	Tiltak(eksempler)
1. Tiltak som ikke gir sikkerhetseffekt på grunn av risikokompensasjon	- ABS-bremser - Føreropplæring/øvelse - Lyse vegdekker - Periodisk kjøretøykontroll
2. Tiltak som har sikkerhetseffekt, men som også er gjenstand for kompensasjon	- Salting av veg - Vegbelysning - Piggdekk
3. Tiltak med sikkerhetseffekt og som ikke kompenseres	- Bilbelter - Kollisjonsputer
4. Tiltak som fører til flere ulykker på grunn av kompensasjon	- Oppmalte gangfelt - Glattkjøringskurs

### 2.5.2 Risikokompensasjon/atferdstilpasning som gir seg utslag i endret fartsvalg

Sammenhengen mellom iverksetting av tiltak og effekten på ulykkesomfanget er et sentralt tema innenfor trafikksikkerhetsforskningen (Bjørnskau & Vaa, 2002). Ved å oppnå en bedre teoretisk forståelse av hvordan fartsvalget skjer, og hvordan førerens adferd påvirkes, vil man kunne være med på å gi nye og bedre forslag til effektive trafikksikkerhetstiltak. Førernes fartsvalg vil være en nøkkelfaktor når det gjelder antallet ulykker og konsekvensene de fører med seg.

Førere vil velge å regulere sin kjøreadferd slik at de subjektivt opplever at risikoen under kjøringen er null (Bjørnskau & Vaa, 2002). Hovedproblemstillingen knyttet til føreratferd vil derfor være knyttet til hvilke forhold det er som bestemmer bilførerens valg av kjørefart. Hvorfor er det store variasjoner i fartsvalg på en og samme strekning, og hvorfor velger den samme føreren forskjellig fartsnivå på den samme strekningen ved forskjellige tidspunkt? For bedre å forstå begrunnelsen bak fartsvalg kan dette koples opp mot forståelsen av fenomenet risikokompensasjon (atferdstilpasning). Som nevnt i kapittel 2.5.1 innebærer risikokompensasjon at trafikanter har en tendens til å ta ut effekter av trafikksikkerhetstiltak på andre måter enn gjennom å øke sikkerheten. Som en følge av dette får mange tiltak ikke den effekten man på forhånd hadde antatt, og i noen tilfeller kan de også virke mot sin hensikt (Sagberg et al., 2002).

Vi kan tenke oss at bilførere i utgangspunktet vil kompensere for trafikksikkerhetstiltak gjennom endret fart. Bakgrunnen for denne antagelsen er, som nevnt i kapittel 2.4, at bilførere vil forsøke å oppleve mest mulig behag ved bilkjøringen. Dermed kan man anta at det finnes et optimalt nivå for hvor krevende bilkjøringen kan være for at den kan oppleves som behagelig (Sagberg et al., 2002).

Det er vanskelig å forstå hva som påvirker menneskelig atferd. Som en forenkling kan det være hensiktsmessig å anta noen generelle antagelser om mennesket, for så å formulere mer spesifikke antagelser eller hypoteser. Fem grunnhypoteser om mennesket og fartsvalg kan være (Sagberg et al., 2002):

- Bilførere forsøker å realisere størst mulig behag når de kjører

- Bilførere har et ønsket fartsnivå gitt bil, veg- og føreforhold som de opplever som behagelig og som de ønsker å realisere
- For å realisere størst mulig behag, vil bilførere tilpasse kjøringen til veg- og trafikkforholdene gjennom å variere fart samt variere oppmerksomhet (atferdstilpasning)
- Bilførere foretrekker generelt å kompensere i form av endret fart framfor endret oppmerksomhet
- Jo friere bilføreren er til å velge hvilken fart de skal kjøre i, desto mer behagelig oppleves bilkjøringen.

Ofte vil forholdene ikke tillate bilførere å velge den farten de ønsker, men at de må kjøre saktere (eller fortere) pga. ulike situasjonsbetingede faktorer (Sagberg et al., 2002). Slike faktorer kan f. eks være fartsgrensen, annen trafikk, føreforhold osv. Dette er alle faktorer ligger utenfor førerens kontrollområde, og som dermed føreren ikke direkte kan gjøre noe med.

Det er mange faktorer som ligger bak at ulykker oppstår og konsekvensene av dem. Likevel har analyser av trafikkulykker indikert at så mye som 90-95 % av alle ulykker skyldes menneskelige handlinger (Hjälmdahl, 2004). Faktorene som ligger bak de fleste ulykkene har vist seg å være kjøring «litt» over fartsgrensen, manglende kjøreferdigheter samt kjøring i ruspåvirket tilstand.

Den kanadiske forskeren Gerald Wilde står bak en av de mest omdiskuterte modellene som kan forklare hvorfor ulykker skjer, og muligheten for å formulere en generell teori til forklaring av ulykker (Wilde & Trimpop, 1994). Wilde lanserte en teori om risikolikevekt, som går utpå at den eneste faktoren som på lang sikt kan redusere antallet ulykker per tidsenhet er at ønsket om sikkerhet i befolkningen forsterkes. Wilde hevdet utfra dette at ethvert samfunn har det ulykkestall som innbyggerne i samfunnet ønsker å ha. I vedlegg 2 finnes en mer detaljert forklaring på Wildes teori om risikolikevekt.

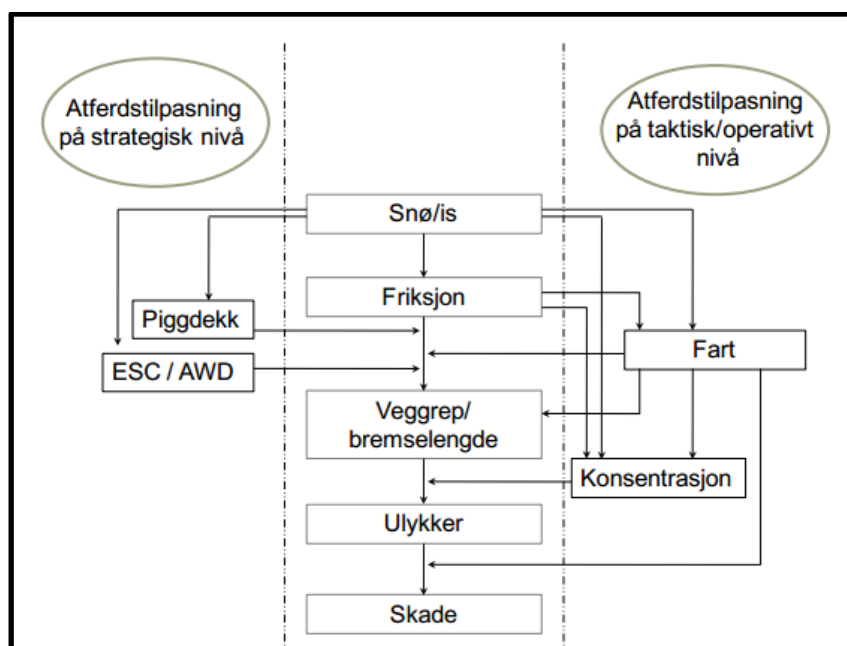
Påstanden om at hvert enkelt individ søker å opprettholde et bestemt risikonivå, når det gjelder risiko for ulykker, er en teori som blir ansett som ikke testbar. Likevel har flere evalueringstudier vist at bilførere vil kompensere for et gitt tiltaks antatte virkning gjennom å tilpasse seg tiltaket på en bestemt måte. Denne atferdstilpasningen kan innebære at sikkerhetsgevinsten man antok ville inntreffe, helt eller delvis forsvinner som en følge av endringen bilføreren foretar som et svar på tiltaket (Vaa, et al., 2001). Selv om Wildes teori har blitt utsatt for omfattende diskusjoner og kritikk er det enighet blant trafikkforskere om at Wilde har pekt på vesentlige forhold i sin teori, og at ikke alle sikkerhetstiltak er like effektive som forventet.

Bilkjøring er i stor grad en selv-regulert aktivitet. Dvs. at føreren selv i stor utstrekning velger vanskelighetsgrad på kjøree oppgaven gjennom tilpasninger av sikkerhetsmarginer (Sagberg, 2003). Likevel vil kjøringen bestå av noen deloppgaver som er felles for ulike kjøresituasjoner og ulike førere. En klassifisering av disse kjøree oppgavene baserer seg på en hierarkisk inndeling av oppgaver i tre nivåer; *strategisk*, *taktisk* og *operasjonelt* nivå (Sagberg, 2003).



- På strategisk nivå må føreren løse mer overordne problem som f. eks valg av reiserute og reisetidspunkt. Altså tas beslutningene før reisen gjennomføres. Atferden er kunnskapsbasert, dvs. at føreren foretar bevisste vurderinger og beslutninger basert på egen kunnskap og innsamlet informasjon. Kunnskapsbasert atferd krever kognitive ressurser, og er oppgaven krevende kan føreren bli mentalt overbelastet.
- På taktisk nivå løses situasjonsbetingede oppgaver av føreren som f. eks samhandling med andre trafikanter. Føreren besitter et repertoar av regler for atferd og forsøker å finne den regelen som passer for den gjeldende situasjonen. Valg av regel krever bevisst bearbeiding av informasjon og vil være ressurskrevende. Selve utføringen av regelen vil skje nokså automatisk og dermed kreve ingen eller få kognitive ressurser.
- På det laveste nivået, operasjonelt nivå, vil aktiviteten vanligvis være knyttet til kontinuerlig kontroll av kjøretøyet slik som f. eks fartsvalg og sideplassering. Atferden er ferdighetsbasert, dvs. føreren baserer seg på tidligere innarbeidede og automatiserte ferdigheter. Det blir ikke bearbeidet noen informasjon, og atferden krever derfor få eller ingen kognitive ressurser.

Figur 12 viser en skjematisk modell for hvordan atferdstilpasninger påvirker sammenhengen mellom snø/is, friksjon, veggrep, ulykker og skader. Her er det skilt mellom atferdsendringer på et «strategisk nivå», dvs. tilpasninger før man er ute og kjører, og atferdstilpasninger på «operativt/taktisk nivå», dvs. underveis når man kjører (Fridstrøm & Elvik, 2011). F. eks vil det være naturlig å anta at i områder der det er mye snø og is vil trafikantene i større grad benytte piggdekk, biler med firehjulstrekk og elektroniske stabilitets- og varslingsystemer. Disse tilpasningene, på et strategisk nivå, vil sørge for at den reduserte friksjonen på is og snø ikke svekker veggrepet, eller øker bremselengden, i samme grad som den ellers ville ha gjort.



Figur 12: Atferdstilpasning: Strategisk og taktisk/operativt nivå (Fridstrøm & Elvik, 2011)

Førernes oppmerksomhetskapasitet er begrenset. Derfor må man tilstrebe at viktig informasjon presenteres slik at den enkelt kan oppfattes. F. eks skal vegvisningsinformasjon (strategisk nivå) ikke presenteres i områder hvor det er sannsynlig at førerne må ta viktige beslutninger på taktisk eller operasjonelt nivå (Sagberg, 2003). Dette kan f. eks være i kompliserte vegkryss.

Tilstedeværelse av snø og is på vegoverflaten vil trolig føre til en nokså umiddelbar reaksjon i form av redusert fart og/eller økt konsentrasjon fra føreren. Det vil også være naturlig å anta at dersom bilføreren føler at det er glatt vil det skje ytterligere tilpasninger i form av redusert fart og økt konsentrasjon. Disse fartstilpasningene vil føre til at bl.a. bremselengden ikke øker så mye som den ellers ville ha gjort, og med økt konsentrasjon vil man hurtigere reagere på potensielle farer. Dermed manifesteres ikke den lengre bremselengden, som kommer på grunn av dårligere friksjon, nødvendigvis i form av økt ulykkesrisiko (Fridstrøm & Elvik, 2011).

## 2.6 Fartsvalg på ulike veg- og føreforhold

Veg- og føreforholdene kan tenkes både å ha direkte effekter og samspillseffekter med kjennetegn på føreren (Vaa, et al., 2002). F. eks vil det være naturlig å anta at enkelte bilførere, av ulike årsaker, vil ønske å variere farten langt mer etter veg- og føreforholdene enn andre.

Noen generelle hypoteser om direkte effekter av veg- og føreforhold kan være (Vaa, et al., 2002):

- Brede veger/brede kjørefelt gjør at farten øker sammenlignet med smale
- Lang siktstrekning gir høyere fart enn kort siktstrekning
- Rett strekning gir høyere fart enn kurver
- Tørr veg gir høyere fart enn våt veg
- Bar veg gir høyere fart enn snø-/isdekket veg.
- Den mentale belastning (opplevd vanskelighetsgrad) vil påvirke fartsvalget

Subjektiv risiko, eller trafikantens opplevelse av risiko vil være et sentralt element i fartstilpasning til ulike føreforhold. Trafikantene ønsker å tilpasse kjørefarten til de rådende føreforhold på en slik måte at de opplever at risikoen ved kjøringen ikke blir for stor. Videre vil dette bety at de kan håndtere og manøvrere bilen slik de vil og at de, ikke minst, kan stoppe kjøretøyet på en akseptabel måte (Ragnøy, 2008).

Tidligere rapporter og undersøkelser viser at bilister med piggdekk på vinterføre gjennomsnittlig kjører med lavere sideakselerasjon i forhold til grensen for å miste veggrep (Vaa, et al., 2002). Dvs. at selv om bilister som bruker piggdekk på glatt føre tenderer til å holde høyere fart, likevel kjører med gjennomsnittlig høyere sikkerhetsmargin enn de uten piggdekk. I disse undersøkelsene har sikkerhetsmarginen i kurver blitt målt som forholdstallet mellom faktisk og maksimal sideakselerasjon.

Det at trafikanter med piggdekk i gjennomsnitt velger et høyere fartsnivå kan enkelt forklares ut fra de ulike signaler som føreren får om veggrep ved kjøring med og uten piggdekk. Ved kjøring uten piggdekk vil det lettere bli merkbart når man mister veggrep. Dersom man

kjører med sommerdekk på vinterføre vil følelsen av dårligere veggrep være «*diskriminativ stimulus*» for risiko (Vaa, et al., 2002). Dvs. en følelse som forteller individet at akkurat nå vil en bestemt adferd gi bestemte konsekvenser. Denne følelsen vil derfor naturligvis føre til en kompensasjon i form av et lavere fartsnivå.

Statens vegvesen har gjort analyser som har vist at nest etter tørr veg er det på vått føre de fleste dødsulykkene skjer. Dette gjelder særlig når det ellers er fint vær og gode siktforhold, uten mye regn. Resultatene fra analysene tilsier at folk overvurderer veggrepet når vegen er våt, og ikke senker farten tilstrekkelig. På våt veg kan veggrepet bli halvert sammenlignet med på tørr veg. For å opprettholde samme stopplengde som på tørr veg, innebærer dette f. eks at farten, på enkelte våte føreforhold, må senkes fra eksempelvis 80 km/t på tørt føre til 60-70 km/t på vått føre (Statens vegvesen, 2012b).

For å gjøre trafikantene mer oppmerksomme på at fuktighet på vegen kan halvere veggrepet, og dermed bedre tilpasse farten bedre etter føreforholdene, har Statens vegvesen gjennomført en egne kampanje for å informere trafikantene. Kampanjen heter «Fart etter forholdene». I kampanjen er det snakk om fuktig veg, ikke vann som flyter eller vann i spor. Kampanjen legger vekt på at selv på perfekte vegdekker vil veggrepet kunne bli opp mot halvert på fuktig veg sammenlignet med tørr veg (Statens vegvesen, 2012b).

## 2.7 Fart, føre og ulykkesrisiko

På midten av 1990-tallet ble det utviklet en visjon om null drepte og null alvorlig skadde i trafikken i Sverige. I Norge har Statens vegvesen en tilsvarende visjon om et fremtidig vegsystem der ingen skal bli drept eller alvorlig skadd. Denne visjonen, også kalt nullvisjonen, er forankret i Nasjonal transportplan (NTP) for perioden 2006-2015 (Assum, 2007).

En endring i siktforhold og/eller friksjonsforhold på vegbanen er noen av mekanismene som ligger bak at farten varierer med vær-, føre- og lysforhold. Som nevnt tidligere behøver ikke en reduksjon i fartsnivået, f. eks pga. dårligere sikt om natten, å være tilstrekkelig for å opprettholde sikkerhetsmarginen (Vaa, et al., 2002). Dette er noe av forklaringen til at ulykkesfrekvensen øker ved kjøring i mørke.

Fartsreduksjoner på vinterføre vil avhenge av fartsgrensen og vil være størst ved fartsgrense 80 km/t. Forskning har vist at fartsreduksjonen vil være mindre både ved høyere og lavere fartsgrenser (Vaa, et al., 2002). En undersøkelse av Sakshaug (1986) bekreftet dette og viste til følgende endring i gjennomsnittsfart mellom vinter- og sommerføre ved ulike fartsgrenser (Vaa, et al., 2002):

Tabell 4: Forskjell i gjennomsnittsfart vinter/sommer (Vaa, et al., 2002)

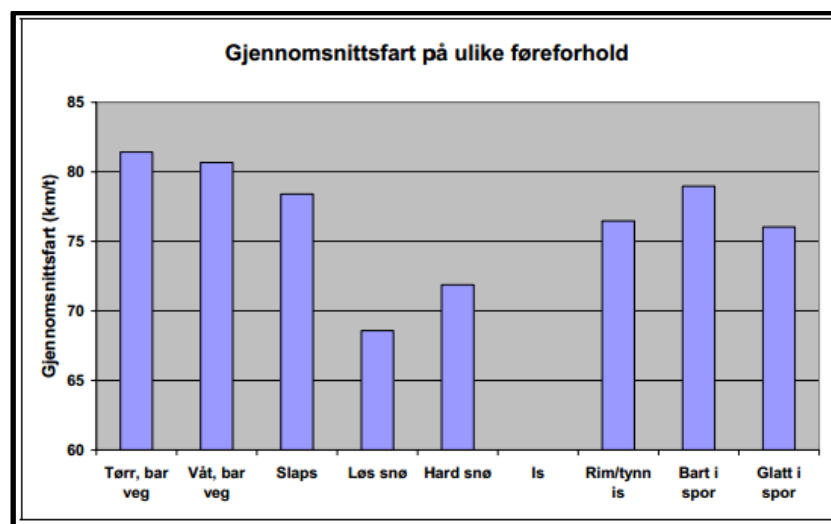
Fartsgrense	Endring i gjennomsnittsfart
50	-1.0 km/t
60	-2.7 km/t
80	-8.2 km/t
90	-4.2 km/t

Hva som ligger bak dette resultatet er det vanskelig å si noe om. Likevel kan resultatet være en indikasjon på at førerens atferd påvirkes sterkere av fartsgrensen enn av vegforholdene.

At det eksisterer en sammenheng mellom friksjon og ulykker er generelt meget godt dokumentert. Både norske og utenlandske undersøkelser har vist en klar og tydelig sammenheng mellom vegdekkets friksjon og ulykkesrisikoen. Tørr bar veg har best friksjon og lavest ulykkesrisiko, mens vinterføre har dårligst friksjon og høyest ulykkesrisiko (Fridstrøm & Elvik, 2011).

En annen klar tendens er at vinterføre med dårlig friksjon fører til at bilister kompenserer ved å kjøre med lavere fart. Dette innebærer at ulykkene som inntreffer på vinterføre vil være mindre alvorlige enn de som oppstår på bar veg med høyere fart. Derfor vil snø og is på vegoverflaten føre til at det er de minst alvorlige ulykkene (kun materielle skader) som øker mest. Denne antagelsen bekrefter også forskningslitteraturen (Fridstrøm & Elvik, 2011).

I forbindelse med et Nullvisjonsprosjekt på Lillehammer ble det gjennomført et delprosjekt «Vinterdrift». I prosjektet ble det gjennomført undersøkelser av friksjonsforhold ved ulike driftsmetoder, fartstilpasninger osv. (Giæver, et al., 2006). I denne undersøkelsen ble det avdekket at fartsnivået reduseres relativt lite ved de ulike føretilstandene sammenlignet med tørr, bar veg. Derimot ble det oppdaget at gjennomsnittlig fartsnivå ble betydelig redusert ved løs og hard snø. Undersøkelsene ble gjort på en rett vegstrekning med fartsgrense 80 km/t og figur 13 viser gjennomsnittsfarten ved de ulike føreforholdene for vintersesongen 2004/2005 (Giæver, et al., 2006).



Figur 13: Gjennomsnittsfart på ulike føreforhold (Giæver, et al., 2006)

Det vil være naturlig å anta at snødekt veg i seg selv vil føre til en reduksjon i gjennomsnittsfarten. Dette ble bekreftet i et forsøk med vinterfartsgrenser av Ragnøy og Fridstrøm (1999). Her kom de frem til at snødekt veg i seg selv reduserer gjennomsnittsfarten med ca. 6 km/t både på strekninger som har fartsgrense 70- og 90 km/t (Bjørnskau, 2011). Undersøkelsen kom også fram til at vinterfartsgrenser (egne fartsgrenser vinterstid satt ut fra trafikksikkerhetshensyn) reduserte farten ytterligere, men at disse hadde størst effekt når det ikke var synlig vinterføre siden trafikantene i stor grad tilpasser farten frivillig ved vanskelig

føreforhold. Ved å legge sammen virkningene av (i) frivillig fartstilpasning til vinterføre og (ii) nedsatt (vinter)fartsgrense fra 80 til 70 km/t, kom de fram til at det oppnås en hastighetsreduksjon på snø/is som utgjør ca. 85 prosent av reduksjonen i tillatt hastighet (Ragnøy & Fridstrøm, 1999).

En annen norsk undersøkelse av trafikanters fartstilpasninger på ulike føreforhold, gjennomført vinteren 2006/2007 i Nordland og Troms, viste at bilførere i liten grad reduserer farten på vinterføre (Fridstrøm & Elvik, 2011). Dersom det i noen grad ble registrert fartstilpasninger var dette kun på «synlig» vinterføre (slaps og snø), der farten var i størrelsesordenen 5-8 % lavere enn på tørr bar veg. I denne rapporten ble det konkludert med at trafikantene i gjennomsnitt kjører med 20-25 % høyere fart på vinterføre enn det som tilsvarer samme bremselengde på tørr, bar veg.

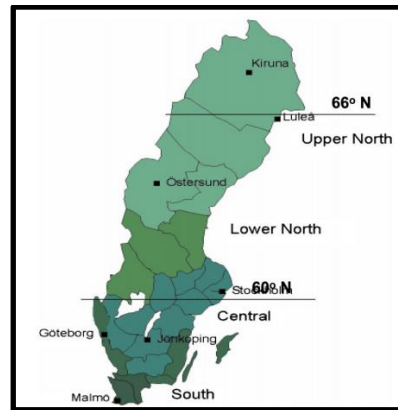
For fullt ut å ha tilpasset kjørefarten til føreforholdene dersom friksjonskoeffisienten endrer seg fra 0,7 til 0,2 må man redusere farten fra 100 km/t til ca. 50 km/t. Dette kalles friksjonstilpasset fart. Med friksjonstilpasset fart menes altså den kjørefarten som gir den samme sikkerhetsmargin (her målt i bremselengde) ved kjøring på ulike føreforhold (Ragnøy, 2008). Undersøkelser har vist at trafikanter i snitt velger en fart som er omtrent 20-25 % høyere enn det den burde ha vært for å opprettholde samme bremselengde som ved tørr, bar veg (Ragnøy, 2008), noe som stemmer godt overens med resultatet fra Nordland og Troms.

I det store svenske vintermodellprosjektet har også fartstilpasninger på ulike føreforhold blitt kartlagt (Fridstrøm & Elvik, 2011). I dette prosjektet ble det registrert gjennomgående større fartstilpasninger enn det man fant i den norske undersøkelsen fra 2006/2007 i Nordland og Troms. I det svenske vintermodellprosjektet kom man frem til at fartstilpasningene varierer mellom kjøretøytyper og at fartstilpasningen er mye større for personbiler enn for lastebiler. Resultatene viste at fartstilpasningen for personbiler er en fartsreduksjon som ligger i området 5-15 % sammenlignet med kjøring på tørr, bar veg. På løs snø var den samme fartsreduksjonen i området 15-20 % (Fridstrøm & Elvik, 2011). Disse funnene stemte godt overens med tidligere svenske funn fra 1980-tallet der man hadde konkludert med at farten på is/snø tilsvarte ca. 75-95 % av farten på tørr, bar veg (Fridstrøm & Elvik, 2011).

Flere nyere undersøkelser dokumenterer sammenhengen mellom friksjon og ulykker (Fridstrøm & Elvik, 2011). En forbedring av vegdekkets friksjon vil gi en stor og signifikant nedgang i antall ulykker (Høye, et al., 2011). Dersom friksjonen øker vil man oppnå bedre styrbarhet og kortere bremselengde. På tørr bar veg er friksjonen uavhengig av fart, mens den på våt veg avtar mer desto høyere farten er (Høye, et al., 2011). Dette betyr at effektene av en forbedring av vegdekkets friksjon vil være større på våt veg enn på tørr veg.

Det er altså naturlig å anta at ulykkesrisikoen på vinterføre vil være høyere enn ved kjøring på bar veg. OECD fant i en undersøkelse fra 1976 at ulykkesrisikoen på snø er omtrent dobbelt så høy som på bar veg. En studie av Wallman mfl.(2006) kom frem til at ulykkesrisikoen på vinterføre generelt avhenger av hvor ofte vinterføre forekommer; jo sjeldnere vinterføre forekommer desto høyere er ulykkesrisikoen (Bjørnskau, 2011).

At det er en sammenheng mellom ulykkesrisikoen på vinterføre og hvor ofte vinterføre forekommer ble bl.a. studert i en undersøkelse gjennomført av VTI (Statens väg- och transportforskningsinstitut). Her ble det sett på trafikkulykker som involverer dødsfall og alvorlige skader ved ulike kjøre- og klimatiske forhold. I undersøkelsen ble Sverige inndelt i fire ulike regioner, som hver har sine karakteristiske klimatiske forhold (Norem, 2009). Figur 14 viser inndelingen.



Figur 14: Inndeling av Sverige i 4 klimatiske regioner (Norem, 2009)

Funnene fra VTI sin undersøkelse stemte godt overens med teorien til Wallman mfl.(2006). Her ble det konkludert med at ulykkesrisikoen på vinterføre er høyere i Sør-Sverige enn i Nord-Sverige som har mer stabile vinterforhold. Den samme tendensen ble også funnet av SINTEF i Norge (Bjørnskau, 2011). Her kom de fram til at ulykkesrisikoen er høyere i overgangsperiodene høst/vinter og vinter/vår enn midtvinters når det er stabile vinterforhold.

## 2.8 Trafikksikkerhet på vinterføre

Flere nyere undersøkelser har funnet klare sammenhenger mellom friksjon og ulykkesrisiko. Kort oppsummert viser bl.a. resultatene at (Høye, et al., 2011):

- friksjon har større virkning på ulykkesrisiko enn ujevnheter (IRI, International Roughness Index)
- friksjon har større virkning på ulykker på veier med mindre ujevnheter enn på ujevne veier
- friksjon har større virkning på ulykkesrisiko i kurver med lav radius enn i kurver med større radius eller på rette strekninger

Friksjonskontroll om vinteren er derfor en viktig oppgave for å sikre trygge og tilgjengelige forhold for trafikantene, og friksjonsforholdene vil naturligvis variere ved ulike føreforhold. Siden det er en sammenheng mellom vinterføre, friksjon og ulykker vil det naturligvis ligge et stort sikkerhetspotensiale ved å fjerne snø/is fra vegdekket for å bedre friksjonsforholdene (Bjørnskau, 2011). For å oppnå dette vil salting, som tidligere nevnt, være et effektivt virkemiddel.

Flere av undersøkelsene som ser på sikkerhetseffekter av salting har imidlertid klare metodesvakheter. Det har f. eks vært vanlig å sammenligne antall ulykker på strekninger som saltes med strekninger som ikke saltes uten å vurdere andre forskjeller dem imellom.

Strekninger som saltes har gjennomgående god kvalitet og et høyt trafikkvolum. Dette kan resultere i at noe av sikkerhetseffektene som tilskrives salting kan være en konsekvens av andre forskjeller mellom forsøksstrekningene (Bjørnskau, 2011).

En annen metodesvakheter er at mange undersøkelser ikke skiller mellom ulykkesalvorlighetsgrad når sikkerhetseffektene av salting estimeres. Siden salting gir bedre friksjon vil det også innby til høyere fart. Dette kan være noe av forklaringen på at enkelte studier ikke finner gunstige sikkerhetseffekter av salting når effekten måles mot de mest alvorlige ulykkene (drepte eller hardt skadde) (Bjørnskau, 2011).

Som nevnt i kapittel 2.7 har flere studier funnet at risikoen ved å kjøre på vinterføre (snø og is) er høyere i områder der vinterføre forekommer sjeldent. Ved å ta utgangspunkt i disse funnene kan salting, som fører til at mer av trafikken skjer på bar veg, som utilsiktet konsekvens føre til at strekninger som ikke saltes, eller der saltingen ikke fjerner snø/is, får høyere risiko. Analyser av de mest alvorlige ulykkene fra VTIs undersøkelse viste at i Nord-Sverige, dersom vintervedlikeholdet sørger for at 20-30 % av trafikken foregår på snø/is, vil det mest sannsynlig oppstå flere alvorlige ulykker enn om en større andel av trafikken hadde foregått på snø/is (Norem, 2009).

Vinterfriksjonsprosjektet, gjennomført av Statens vegvesen, er et prosjekt hvor det ble registrert føreforhold og friksjonsmålinger 1-2 ganger daglig (Sakshaug, et al., 2006). Totalt baserer resultatene seg på føre- og ulykkesdata for i alt 26 strekninger fordelt på 8 fylker. Til sammen utgjør disse strekningene 651 km veg. Resultatene av friksjonsmålingene er vist i figur 15.

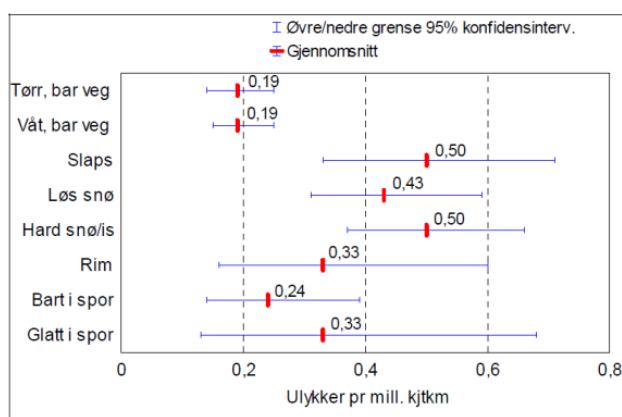


Figur 15: Målt friksjon på ulike typer føreforhold (Sakshaug, et al., 2006)

Som man kan se av figur 15 er variasjonene relativt små for de ulike føreforholdene. Likevel må man huske at dette er gjennomsnittet av målingene, og at variasjonen innen hver gruppe kan være stor.

I figur 16 er ulykkesfrekvensen beregnet for de ulike føreforholdene. Ulykkesfrekvensen var størst på hard snø (0,70 ulykker pr mill. kjt km), faktisk høyere enn på is (0,38 ulykker pr mill. kjt km). På løs snø er ulykkesfrekvensen omtrent den samme som på is. Årsaken til at konfidensintervallene for gjennomsnittet er stor for de fleste føreforholdene kommer av at det

inntraff få ulykker under registreringsperioden (Sakshaug, et al., 2006). I figur 16 er føreforholdene hard snø og is slått sammen.



Figur 16: Ulykkesfrekvens som funksjon av føre (Sakshaug, et al., 2006)

I tabell 5 sammenlignes tall fra Vinterfriksjonsprosjektet med tilsvarende tall fra tidligere norske undersøkelser fra Statens vegvesens interne rapport 2269 fra 2002. Her har også føreforholdene hard snø og is blitt slått sammen. Dette skyldes at det er en glidende overgang mellom disse føreforholdene og at det derfor kan være vanskelig å skille mellom dem ved registreringen.

Tabell 5: Ulykkesfrekvens på ulike føreforhold (Sakshaug, et al., 2006)

Føreforhold	Personskadeulykker per million kjøretøykilometer	
	Tidligere tall	Denne undersøkelsen
Tørr bar veg, vinter	0,12	0,19
Våt bar veg, vinter	0,16	0,19
Slaps	0,18*	0,50
Løs snø	0,30	0,50
Hard snø	0,27	
Is	0,47	0,33*
Rim	0,47	
Bart i spor	0,14*	0,24
Glatt i spor	0,47*	0,33*

\*Spesielt usikre tall

Som man ser av tabell 5 ligger ulykkesfrekvensen noe høyere, men omtrent på samme nivå, for denne undersøkelsen. En forklaring til avviket kan være, som nevnt tidligere, at det inntraff få ulykker under registreringsperioden og at konfidensintervallene for gjennomsnittet er stort. Siden antallet ulykker på vegene i Norge har gått ned de siste årene ville det vært naturlig å anta at tendensen skulle ha vært motsatt.

Et annet prosjekt som har undersøkt sammenhengen mellom fart, føre og friksjon ble gjennomført med bakgrunn i de mange alvorlige trafikkulykkene i Salten-distriktet i februar-mars 2006. I løpet av 7 uker omkom 8 mennesker i 6 dødsulykker i dette området (Ragnøy,



2008). Registreringene i dette prosjektet er derfor foretatt i tre ulike registreringspunkter i Region nord. Alle registreringene foregikk langs rett strekning.

Analysene av de innsamlede data viste at trafikantene kun i mindre grad tilpasser kjørefarten til de rådende føreforhold. Størst tilpasning ble observert på de «synlige» vinterførene, dvs. slaps, løs snø og hard snø (Ragnøy, 2008). Her har trafikantene i gjennomsnitt redusert farten med 5-8 % sammenlignet med kjøring på tørr, bar veg. På våt, bar veg ble det nesten ikke observert noen endring i farten sammenlignet med tørr, bar veg.

Den observerte fartstilpasningen på alle føreforhold i dette prosjektet er derfor langt fra tilstrekkelig for å veie opp for dårligere friksjon. I dette prosjektet ble bremselengden på tørr, bar veg benyttet som en referanse på trafikantenes sikkerhetsmargin. Resultatene viste at bremselengde øker mer på de «usynlige» føreforholdene tynn is og is sammenlignet med de «synlige» vinterførene løs snø, hard snø og slaps. Bremselengden økte mest (nesten 50 %) på tynn is (Ragnøy, 2008).

## 2.9 Oppsummering av litteraturundersøkelse

I dette kapitlet er det gjennomført en litteraturundersøkelse for å få oversikt over relevant forskning knyttet til vinterforhold, vinterdrift, friksjonsforhold, fartsvalg og ulykker.

Hovedformålet med vintervedlikehold er å sørge for at vegene er kjørbare og sikre om vinteren. Vedlikeholdsstandarden spesifiserer i hvilken grad en veg skal vedlikeholdes. Spesifikasjonene i vedlikeholdsstandarden kan deles inn i to forskjellige kategorier:

- 1) Funksjonsbaserte spesifikasjoner (materialkrav)
- 2) Innsatsbaserte spesifikasjoner (metode/utførelseskrav)

Strategien for vintervedlikeholdet forteller videre noe om hvordan man skal opprettholde, eller gjenoppnå, en vegoverflate som er kjørbare og trygg. Variasjoner i både trafikkvolum, klimatiske forhold og vedlikeholdsbudsjett vil innebære at det ikke finnes en bestemt strategi som vil passe for alle forhold. I Norge finnes det tre hovedstrategier for vinterdrift:

- Bar-veg strategi; Vegen skal holdes mest mulig bar
- Vinterveg strategi; Snø- og isdekke aksepteres
- Stengt-veg strategi

Salting av vegbanen benyttes bl.a. for å fjerne is og snø slik at friksjonen mellom vegdekke og bildekk kan forbedres og for å øke trafikksikkerheten. Vegsalt vil fungere på forskjellige måter i forbindelse med vintervedlikehold. Tre av disse er:

- Anti-ising (hindre iskrystallene fra å binde seg til hverandre og vegoverflaten)
- Anti-kompaksjon (forhindre kompakteringen av snølag på vegoverflaten)
- Avising (tvinge isen til å smelte selv om temperaturen er under 0°C)

Friksjon er en meget viktig parameter i forbindelse med drift og vedlikehold av veger. Friksjon er responsen fra et system, og derfor er det samspillet mellom gummidekk, vegoverflaten, mellomliggende lag (snø, is o.l.) og atmosfæren som bestemmer friksjonen.

Hvordan friksjonen oppstår mellom gummidekk og vegoverflaten kan skyldes ulike prosesser. Disse prosessene kalles friksjonsmekanismer og de viktigste friksjonsmekanismene er:

- Deformasjon
- Adhesjon
- Slitasje

Dersom vegbanen blir våt vil man miste friksjon. Før friksjon kan genereres må vann/slaps på vegoverflaten «presses» ut fra kontaktområdet. Tar prosessen for lang tid vil ikke gummien i det hele tatt komme i kontakt med asfalten, og det oppstår *vannplaning*. Dersom det er snø på vegoverflaten blir situasjonen noe annerledes siden snø er et sammentrykkbart materiale. Teksturen til den originale vegoverflaten vil raskt bli dekket og dermed hindre at hjulene kommer i kontakt med vegoverflatens tekstur. Dermed vil isteden friksjonen bli generert mellom gummidekket og det komprimerte snølaget. Siden snø er et dynamisk materiale (dvs. mange kritiske parametere som f. eks densitet og skjærstyrke er under kontinuerlig forandring) vil tilgjengelig friksjon mellom gummidekk og snø kontinuerlig forandre seg.

Fartfølelsen gir i seg selv ingen informasjon om farten er for høy, lav eller passe. Farten må sees i forhold til et kriterium om «hva som er riktig fart». Informasjon fra omgivelsene (f. eks fartsgrensen og siktforhold) vil ofte være avgjørende for hva som betegnes som riktig fart. I enkelte situasjoner vil bilførere, av forskjellige årsaker, velge et lavere fartsnivå enn hva fartsgrensen tillater. En av årsakene til dette vil kunne være at man opplever at kjøring i fartsgrensen gir for lav sikkerhetsmargin. Sikkerhetsmarginen vil være avhengig av flere forhold som f. eks sikt og friksjon. En fartsreduksjon behøver ikke å være tilstrekkelig for å opprettholde sikkerhetsmarginen. Dette er noe av forklaringen til at ulykkesfrekvensen øker ved kjøring i mørke når sikten er dårligere. Det som er typisk for de fleste trafikanter er at faktorer som stress, tid og dagsform er avgjørende for hvor stor risiko man velger å kjøre med.

Risikokompetanse/atferdstilpasning innebærer at trafikanter tar i bruk sikkerhetstiltak på andre måter enn for å øke sikkerheten. I utgangspunktet kan man tenke seg at bilførere vil kompensere for trafikkisikkerhetstiltak gjennom endret fart. Dermed kan man anta at det finnes et optimalt nivå for hvor krevende bilkjøringen kan være for at den kan oppleves som behagelig.

Bilkjøring er i stor grad en selv-regulert aktivitet. Dvs. at føreren selv i stor utstrekning velger vanskelighetsgrad på kjøreoppgaven (gjennom tilpasning av sikkerhetsmarginer). Likevel vil kjøringen bestå av noen deloppgaver som er felles for ulike kjøresituasjoner og ulike førere. En klassifisering av disse kjøreoppgavene baserer seg på en hierarkisk inndeling av oppgaver:

- Strategisk nivå (tilpasninger før man er ute og kjører, f. eks bruk av piggdekk)
- Taktisk/operasjonelt nivå (underveis når man kjører, f. eks fart og konsentrasjon)

Det er generelt godt dokumentert i forskningslitteraturen at det eksisterer en sammenheng mellom friksjon og ulykker. Tørr, bar veg har best friksjon og lavest ulykkesrisiko, mens vinterføre har dårligst friksjon og høyest ulykkesrisiko. En forbedring i vegdekkets friksjon

vil gi en stor og signifikant nedgang i antall ulykker siden økt friksjon vil gi bedre styrbarhet og kortere bremselengde. Derimot er det på tørr- og våt, bar veg at de fleste dødsulykkene inntreffer.

OECD fant i en undersøkelse fra 1976 at ulykkesrisikoen på snø er omtrent dobbelt så høy som på bar veg. Det finnes også undersøkelser som har bekreftet at ulykkesrisikoen på vinterføre generelt vil avhenge av hvor ofte vinterføre forekommer; jo sjeldnere vinterføre forekommer desto høyere er ulykkesrisikoen. Et eksempel på dette er en undersøkelse gjennomført av VTI (Statens väg- och transportforskningsinstitut) i Sverige hvor trafikkulykker som involverer dødsfall og alvorlige skader ved ulike kjøre- og klimaforhold ble undersøkt.

Det finnes ingen entydige bevis i forskningslitteraturen på hvordan fartstilpasningen er på ulike føreforhold. Bl.a. viser noen undersøkelser minimale fartstilpasninger, mens andre viser en fartstilpasning i størrelsesorden 75-95 % (på ulikt vinterføre) sammenlignet med farten på tørr, bar veg. Denne fartstilpasning er derimot ikke tilstrekkelig for å opprettholde samme bremselengde som på tørr, bar veg. I gjennomsnitt viser tidligere undersøkelser at trafikantene i gjennomsnitt velger å kjøre 20-25 % fortere på vinterføre enn det som tilsvarer samme bremselengde på tørr, bar veg.

Fart, friksjon og føreforhold har vært kartlagt og registrert i flere nordiske prosjekter, men med varierende hovedfokus. Et eksempel på dette er Vinterfriksjonsprosjektet, gjennomført av Statens vegvesen, hvor det ble registrert føreforhold og friksjonsmålinger 1-2 ganger daglig. I denne undersøkelsen ble ulykkesfrekvensen målt til å være høyest på hard snø (0,70 ulykker pr mill. kjt km). Ulykkesfrekvensen for tørr- og våt, bar veg var den samme (0,19 ulykker pr mill. kjt km).

Et annet forsøk som har undersøkt sammenhengen mellom fart, føre og friksjon ble gjennomført i tre ulike registreringspunkter i Region nord. Analysene av de innsamlede data viste at trafikantene kun i mindre grad tilpasser kjørefarten til de rådende føreforhold. Størst fartstilpasning (5-8 %) ble observert på «synlig» vinterføre sammenlignet med kjøring på tørr, bar veg. Den observerte fartstilpasningen var på alle føreforhold i dette prosjektet ikke tilstrekkelig for å veie opp for dårligere friksjon. Bremselengden, som ble brukt som en referanse på trafikantenes sikkerhetsmargin, økte med nesten 50 % på tynn is.



### 3. Design av forskningsopplegg

#### 3.1 Valg av registreringsområde

For å studere fartsvalg under ulike friksjonsforhold, både på rette strekninger og i kurver, har det vært nødvendig å finne et registreringsområde som er egnet for et slikt forsøk. Siden det her skal gjøres undersøkelser i kurvatur var det nødvendig å finne et område med en kurve som innbyr til varierende fartsnivå ved ulike føreforhold. Samtidig må områdets plassering være slik at det er praktisk gjennomførbart å få gjort målingene på kort varsel ved hurtige værromslag.

Det ble gjennomført en befarings av aktuelle registreringsområder torsdag 31. januar. Befaringen resulterte i 4 ulike alternativer:

- Fylkesveg 860 Utleirvegen
- Fylkesveg 861 ved Jonsvatnet
- Loholt allè like ved Dragvoll
- Kommunal veg 7113 Stokkanhaugen

Det ble konkludert med at Fylkesveg 860 Utleirvegen var det beste alternativet. Strekningen ved Utleirvegen er oversiktlig, har et nokså høyt trafikkvolum, fartsgrense 60 km/t langs rett strekningen og ligger kun 5 km sørøst for Trondheim sentrum. Strekningen driftes etter barveg strategien.

Registreringene vil kun ta for seg den ene retningen, dvs. nordgående retning mot Trondheim. Den blå pila i figur 17 viser kjøreretningen som har blitt studert i analysene.



Figur 17: Registreringsområdet (Google, 2013)

#### 3.2 Forskningsspørsmål og hypoteser

Hovedformålet med dette prosjektet er å undersøke om farten tilpasses til de rådende føreforhold og om det er noen forskjell i trafikanters fartstilpasning langs rett strekning og i kurvatur.

Før man tester en hypotese må man først formulere en nullhypotese  $H_0$  som vil undersøkes på grunnlag for om den kan forkastes. Den alternative hypotesen  $H_1$  er hypotesen som det ønskes

å underbygge. De to hypotesene må være komplementære ettersom forkasting av den ene automatisk fører til akseptering av den andre. Følgende grunnhypoteser legges til grunn før arbeidet starter:

### ***Hypotese 1***

#### **Tilpasses farten til de rådende kjøreforhold?**

H<sub>0</sub>: Synlig vinterføre vil ikke ha noen innvirkning på trafikantenes fartsvalg

H<sub>1</sub>: På synlig vinterføre vil det skje en fartsreduksjon sammenlignet med kjøring på bar veg pga. trafikantenes visuelle og opplevde inntrykk av redusert friksjon

### ***Hypotese 2***

#### **Er det forskjell på trafikantenes fartstilpasning langs et vegprofil som består av både rett strekning og kurvatur?**

H<sub>0</sub>: Det er ingen forskjell i trafikantenes fartstilpasning i kurvaturer og på rette strekninger

H<sub>1</sub>: Trafikanter utfører en større grad av fartstilpasning like før, eller i kurver, sammenlignet med på rette strekninger

### **3.3 Operasjonalisering**

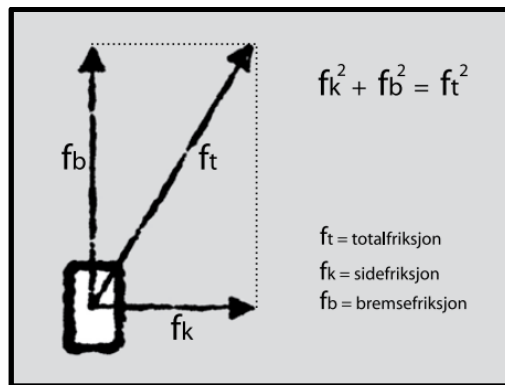
I dagligspråk brukes begrepet «friksjon» om den maksimale kraften som kan overføres fra kjøretøyet til vegbanen. Denne friksjonskraften  $F_t$  kan brukes til enten å akselerere, bremse eller styre og retningskontrollere kjøretøyet (Klein-Paste & Nonstad, 2011).

Mange faktorer er med på å bestemme hvor stor den maksimale friksjonskraften kan være. Den viktigste er derimot normalkraften som presser dekkene mot vegbanen. Normalkraften er alltid vinkelrett rettet mot vegbanen (Klein-Paste & Nonstad, 2011).

Den totale friksjonen mellom dekk og vegbane skal (Statens vegvesen, 2008):

- Sikre tilstrekkelig friksjon for nedbremsing
- Sikre tilstrekkelig friksjon for å holde kjøretøyet på vegen ved kjøring i kurver

Dette innebærer at totalfriksjonen er en fordeling mellom bremse- og sidefriksjon. Prinsippet for denne fordelingen er vist i figur 18.



Figur 18: Bremse- og sidefriksjon (Statens vegvesen, 2008)

Sidefriksjonen ( $f_k$ ) er den delen av totalfriksjonen som sammen med overhøyden skal ta opp sidekreftene. Dermed vil sidefriksjonen være av betydning når minste horisontalkurveradius beregnes (Statens vegvesen, 2008).

Bremsefriksjon ( $f_b$ ) blir dermed den delen av totalfriksjonen som skal bremse ned kjøretøyet fra en viss fart til stopp. Bremsefriksjon vil derfor avgjøre dimensjonerende siktlengde, og vil også ha noe å si for beregning av minste vertikalkurveradius i høgbrekk (Statens vegvesen, 2008).

Trafikantenes fartstilpasning vil avhenge av behovet for friksjon. Langs rett strekningen vil kjøretøyet kun ha behov for friksjon dersom det skal akselerere eller bremse. Dermed kan fartstilpasningen langs rett strekning være mindre enn like foran kurven siden trafikantene, under normale omstendigheter, vil kunne holde en konstant fart langs rett strekningen. Langs rett strekningen vil oppbremsing kun være nødvendig dersom det skulle oppstå mulige tenkte hendelser (f. eks at et dyr krysser vegen). Like foran kurven vil behovet for bremsefriksjon være større siden det må foretas en nedbremsing før man kjører inn i kurven.

Gjennom en kurve vil kjøretøyet bli påvirket av en akselerasjon mot sentrum av kurven (sideakselerasjon). Dette betyr at trafikantene alltid her har behov for friksjon, og ikke kun i nødstilfeller som på rett strekning.

I dette prosjektet skal det bl.a. undersøkes om trafikantene har mer, mindre eller tilsvarende fartstilpasning i kurvaturer som på rette strekninger. For å få gjennomført dette må det benyttes en kvantifiserbar metode for å sammenligne fartstilpasninger langs rett strekning og i kurve.

For å få til dette defineres begrepet «*friksjonstilpasset fart*». Med friksjonstilpasset fart menes her den kjørefarten som gir den samme sikkerhetsmargin ved kjøring på ulike føreforhold (Ragnøy, 2008). Sikkerhetsmarginen vil være avhengig av flere forhold som f. eks sikt og friksjon, og en fartsreduksjon behøver ikke å være tilstrekkelig for å opprettholde sikkerhetsmarginen.

Langs rett strekning vil bremselengden på tørr, bar veg bli brukt som en referanse på trafikantenes sikkerhetsmargin. Når man vet gjennomsnittlig kjørefart og friksjonskoeffisient

kan man ved hjelp av klassisk bremsefriksjon (se kapittel 3.3.1) finne de aktuelle bremselengder på ulike føreforhold. Trafikantenes relative fartstilpasning, på de ulike føreforholdene, blir målt som forholdstallet mellom tilpasset fart og målt fart. Tilpasset fart vil her være den farten på det aktuelle føreforhold som gir den samme bremselengden som på tørr, bar veg (referansen).

I kurven blir minste sirkelradius, som kan passeres med den målte farten på tørr, bar veg uten at det oppstår skrens, brukt som en referanse på trafikantenes sikkerhetsmargin (se kapittel 3.3.2). Den relative fartstilpasningen, på de ulike føreforholdene, vil også her være forholdstallet mellom tilpasset fart og målt fart. Her vil tilpasset fart være den største teoretiske fart, på det aktuelle føreforholdet, som gjør det mulig å komme gjennom en kurve med samme radius som referanseradiusen på tørr, bar veg.

For å eliminere forskjellen mellom kjøring langs rett strekning og i kurve vil fartstilpasningen bli fremstilt relativt til den målte farten på tørr, bar veg. Den målte farten på tørr, bar veg blir dermed brukt som referanse og settes til 1,0 (se kapittel 3.3.3).

### 3.3.1 Klassisk bremsefriksjon

Ved å måle friksjon, samt gjennomføre fartsmålinger, på hvert føreforhold kan man ved hjelp av klassisk bremsefriksjon finne aktuelle bremselengder (stoppstrekning), som her blir brukt som en referanse på trafikantenes sikkerhetsmargin langs rett strekning.

Friksjonen mellom bilhjulet og vegoverflaten, samt kjøretøyets hastighet, vil ha noe å si for bremselengden til et kjøretøy. Formel 3 viser at bremselengden, for en horisontal veg, vil avhenge av kjøretøyets hastighet (m/s) og friksjonskoeffisienten  $\mu_b$  (Klein-Paste, 2012d).

Formel 3: Bremselengde

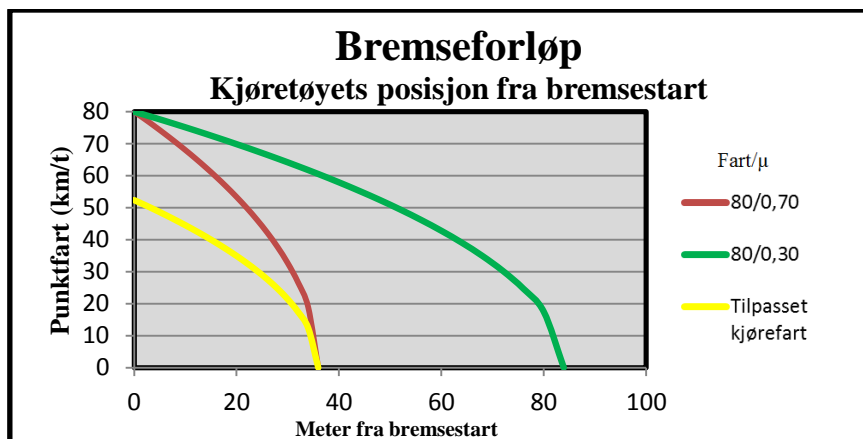
$$l_b = \frac{mv^2}{2\mu_b mg} = \frac{v^2}{2\mu_b g}$$

Stoppstrekning er ikke det samme som bremselengde. I tillegg til at et kjøretøys bremselengden vil variere avhengig av underlaget den kjører på vil også førerens reaksjonstid ha noe å si for hvor fort et kjøretøy kommer til full stopp. Vanlig reaksjonstid er på ca. 1. sekund, men det vil her være individuelle forskjeller. Dvs. at dersom man kjører i 80 km/t vil reaksjonstiden utgjøre ca. 23 meter av total bremselengde (Ragnøy, 2008). Dermed vil faktisk stoppstrekning (reaksjonstrekning + bremselengde) være noe større enn bremselengden siden reaksjonstiden må inkluderes.

I dette prosjektet er ikke reaksjonstider medregnet, og forutsettes dermed til å være den samme på alle føreforhold og for alle kjøretøy.

For bedre å illustrere et kjøretøys bremselengde kan man tenke seg et bremseforløp som vist i figur 19.





Figur 19: Bremseforløp

Figur 19 viser tre ulike bremseforløp for et kjøretøy. Kurvene viser den aktuelle kjørefarten ifra nedbremsingen starter og helt til kjøretøyet har stoppet. Dvs. langs hele stoppstrekningen.

Den røde kurven viser bremseforløpet til et kjøretøy som i utgangspunktet kjører med en hastighet på 80 km/t. Friksjonskoeffisienten  $\mu_b$  er i dette tilfellet 0,70, noe som vil tilsvare føreforholdene på en våt, bar veg. Av figur 19 ser man at dette kjøretøyet vil ha en stoppstrekning på ca. 36 meter.

Den grønne kurven illustrer det samme bremseforløpet (kjørefart 80 km/t), men nå har friksjonskoeffisienten  $\mu_b$  blitt redusert til 0,30. Dette tilsvarer typiske vinterføreforhold som f. eks hard snø. Stoppstrekning i dette tilfellet vil bli på hele 84 meter eller 133 % lengre enn på en våt vegoverflate. I denne situasjonen ville alt som var innenfor de siste 48 meterne av bremsestrekningen ha blitt truffet av det bremsende kjøretøyet. Etter de første 36 meterne (stoppstrekning ved kjøring på våt veg) har kjøretøyet fortsatt en kjørefart på hele 61 km/t.

For å opprettholde den samme bremselengden på vinterføre må kjørefarten tilpasses. I dette tilfellet viser den gule kurven et bremseforløp der kjørefarten fullt ut er tilpasset føreforholdene med vinterføre og friksjonskoeffisient  $\mu_b$  på 0,30. For å beholde den samme bremselengden (36 meter) er det nødvendig med en fartstilpassning fra 80 km/t på våt, bar veg til 52 km/t på vinterføre med friksjonskoeffisient 0,30.

Bremselengdene på tørr, bar veg, som danner grunnlaget for relativ fartstilpassning, er i dette prosjektet blitt beregnet ut ifra gjennomsnittlig friksjonskoeffisient og den målte gjennomsnittsfart på tørr, bar veg.

Resultatene er aritmetisk midlet og fremstilles relativt til fartstilpassningen på tørr, bar veg som er satt til 1,0. Den relative fartstilpassningen blir da forholdstallet mellom (100 %) friksjonstilpasset kjørefart og målt hastighet på aktuelt føreforhold. Trafikantenes fartsvalg på tørr, bar veg antas å være en referanse på behovet for sikkerhetsmargin (Ragnøy, 2008).

Nedenfor er det vist et regneeksempel på hvordan relativ fartstilpassning har blitt beregnet ved hjelp av klassisk bremsefriksjon i dette prosjektet:

**Rett strekning: Klassisk bremsefriksjon**

Bremselengden på tørr, bar veg brukes som referanse på trafikantenes behov for sikkerhetsmargin.

Bremselengden kan beregnes fra formelen:  $L_b = \frac{v^2}{2\mu g}$ , der farten  $v$  er gitt i m/s.

På tørr, bar veg er gjennomsnittlig friksjonskoeffisient  $\mu_b$  målt til 0,72. Gjennomsnittlig fart fra de manuelle registreringene, for rett strekning, er på 57,1 km/t ( $v_{m\ddot{a}lt}$ ). Dermed blir bremselengden på tørr, bar veg:

$$L_b = \frac{v^2}{2\mu g} = \frac{\left(\frac{57,1}{3,6}\right)^2}{2 \cdot 0,72 \cdot 9,81} = \underline{\underline{17,8 \text{ m}}}$$

Langs rett strekning ble den laveste friksjonskoeffisienten,  $\mu_b=0,34$ , målt for førebeskrivelsen hard snø. For å oppnå en bremselengde på 17,8m på dette føreforholdet må derfor farten tilpasses.

Friksjonstilpasset fart på hard snø blir dermed:

$$V_{\text{tilpasset}} = (\sqrt{L_b \cdot 2\mu g}) \cdot 3,6 = (\sqrt{17,8 \cdot 2 \cdot 0,34 \cdot 9,81}) \cdot 3,6 = \underline{\underline{39,2 \text{ km/t}}}$$

På hard snø er gjennomsnittlig fart, fra de manuelle registreringene, blitt målt til **52,2 km/t** ( $V_{m\ddot{a}lt}$ ) langs rett strekning. Dermed blir bremselengden på hard snø:

$$L_b = \frac{v^2}{2\mu g} = \frac{\left(\frac{52,2}{3,6}\right)^2}{2 \cdot 0,34 \cdot 9,81} = \underline{\underline{31,5 \text{ m}}}$$

Dvs. at trafikantene har tilpasset farten etter føreforholdene ved å redusere farten med (57,1-52,2) 4,9 km/t. Derimot er ikke denne fartsreduksjonen stor nok til å opprettholde samme sikkerhetsmargin, her med bremselengden på tørr bar veg som referanse. Den relative fartstilpasningen blir:

$$v_{\text{rel}} = \frac{v_{\text{tilpasset}}}{v_{m\ddot{a}lt}} = \frac{39,2 \text{ km/t}}{52,2 \text{ km/t}} = \underline{\underline{0,75}}$$

Dette betyr at den tilpassede farten på hard snø kun er 75 % av trafikantenes valgte fart.

**3.3.2 Minste sirkelradius**

Dersom man kjører med farten  $v$  (m/s) gjennom en kurve med radius  $R$  (m) på en horisontal veg vil man påvirkes av en akselerasjon mot sentrum av kurven (sideakselerasjon) (Sikker trafikk, 2009). Sideakselerasjonen som virker inn mot sentrum av kurven er gitt av formelen:

**Formel 4: Sideakselerasjon mot sentrum av kurve**

$$a = \frac{v^2}{R}$$

Denne akselerasjonen betinger en kraft ( $K$ ) rettet mot senter av bevegelsen (Sikker trafikk, 2009):

**Formel 5: Kraft rettet mot senter av bevegelsen**

$$K = \frac{M \cdot a}{g},$$

der  $M$  er kjøretøyets vekt (kg) og  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  er tyngdens akselerasjon. Den maksimale friksjonskrafta mot vegen er gitt av formelen:

**Formel 6: Maksimal friksjonskraft mot vegen**

$$K_f = \mu_s * M$$

Dersom det oppstår en skrens er sentrifugalkraften  $K > K_f$  eller (Sikker trafikk, 2009):

**Formel 7: Kritisk hastighet**

$$\frac{v^2 * M}{R * g} \geq \mu_s * M \rightarrow$$

$$v_{kr} = \sqrt{\mu_s * R * g}$$

Kritisk hastighet gjennom kurven vil avhenge av friksjonskoeffisienten og kurvens radius. Før man kan begynne å studere kritisk hastighet må man derfor finne kurvens sirkelradius. I dette forsøket gjøres den forenklingen med kun å studere kurven i det horisontale plan. Dermed vil beregnet kritisk hastighet avvike fra reell kritisk hastighet. For enkelte av målingene blir dermed målt hastighet gjennom kurven større enn kritisk hastighet, uten at kjøretøyene opplever skrens. Dette skyldes bl.a.:

- Veger legges med overhøyde gjennom kurver for delvis å motvirke tverrkraften som virker på kjøretøyets føring og komfort. Resten må tas opp ved sidefriksjon. Overhøyde er vegens ensidige tverrfall i kurve (Statens vegvesen, 2008).
- Radius i sirkelbuen er målt fra sentrum i vegbanen. Dvs. at radius vil være noe større i ytterste kjørefelt der målingene er foretatt. Kjørefeltbredde vil kunne være på ca. 3.5m (Statens vegvesen, 2008).
- Gjennom kurven vil kjøretøyene ha mulighet til å kutte svingradiusen.

Derfor velges det heller å se på hva som er teoretisk minste sirkelradius for å unngå skrens. Referansen, på trafikantenes sikkerhetsmargin, blir dermed minste sirkelradius på tørr, bar veg som kan finnes ved å snu om på formel 7:

**Formel 8: Referanse sirkelradius**

$$R_{ref} = \frac{v_{tørr,bar}^2}{\mu_s * g}$$

Videre kan  $R_{ref}$  brukes til å finne tilpasset kjørefart på de ulike føreforholdene. I dette forsøket gjøres den forenklingen om at bremsefriksjon langs rett strekning er lik sidefriksjon i sving ( $\mu_b = \mu_s$ ), dvs. at all friksjon gjennom kurven går med til styring og retningskontroll og at det ikke skjer noen brems.

Den relative fartstilpasningen blir da her forholdstallet mellom (100 %) friksjonstilpasset kjørefart og målt hastighet på aktuelt føreforhold. Relativ fartstilpasning på tørr, bar veg settes også her til 1,0.

Nedenfor er det vist et regneeksempel på hvordan relativ fartstilpasning er beregnet utfra minste sirkelradius i dette prosjektet:

**Kurve: Kritisk hastighet**

I kurven antas minste sirkelradius som teoretisk kan passeres uten at det oppstår skrens med den målte farten på tørr, bar veg som en referanse for trafikantenes behov for sikkerhetsmargin.

På tørr, bar veg er gjennomsnittlig friksjonskoeffisient  $\mu_s$  målt til 0,72. Gjennomsnittlig fart fra de manuelle registreringene, gjennom kurven, er på 38,5 km/t ( $V_{tørr,bar}$ ). Dermed blir minste teoretiske sirkelradius som kan passeres uten at det oppstår skrens:

$$R_{ref} = \frac{v_{tørr,bar}^2}{\mu_s * g} = \frac{\left(\frac{38,5}{3,6}\right)^2}{0,72 * 9,81} = \underline{\underline{16,2 \text{ m}}}$$

Langs delstrekning 3 ble den laveste friksjonskoeffisienten,  $\mu_s=0,30$ , målt på førebeskrivelsen is. For å kunne kjøre gjennom en kurve med sirkelradius 16,2 m på dette føreforholdet må derfor farten tilpasses. Friksjonstilpasset fart på is blir dermed:

$$v_{tilpasset} = \sqrt{R_{ref} * g} * \sqrt{\mu_s} = (\sqrt{16,2 * 9,81} * \sqrt{0,30}) * 3,6 = \underline{\underline{24,9 \text{ km/t}}}$$

På is er gjennomsnittlig fart, fra de manuelle registreringene, blitt målt til 36,3 km/t ( $V_{målt}$ ). Dvs. at trafikantene har tilpasset farten etter føreforholdene ved å redusere farten med (38,5-36,3) 2,2 km/t. Derimot er ikke denne fartsreduksjonen stor nok til å opprettholde samme sikkerhetsmargin, her med minste mulig sirkelradius på tørr bar veg som referanse. Den relative fartstilpasningen blir:

$$v_{rel} = \frac{V_{tilpasset}}{V_{målt}} = \frac{24,9 \text{ km/t}}{36,3 \text{ km/t}} = \underline{\underline{0,68}}$$

Dette betyr at den tilpassede farten på is kun er 68 % av trafikantenes valgte fart.

**3.3.3 Relativ fartstilpasning**

Det relative forholdstallet ( $v_{rel}$ ), som er et benevningsløst mål på trafikantenes fartstilpasning, vil si noe om i hvilken grad farten er tilpasset til de rådende føreforhold, og om det er noen forskjell i kompensering langs rett strekning, like før kurve, gjennom kurve og ved utgang av kurve. Desto høyere forholdstallet er, desto mer er farten tilpasset. F. eks vil en relativ fartstilpasning på 1,0 bety at farten er 100 % tilpasset de rådende føreforhold, mens en relativ tilpasning på 0,8 innebærer at farten er 80 % friksjonstilpasset. Overstiger relativ tilpasning 1,0 innebærer det at trafikantene har tilpasset kjørefarten mer enn nødvendig for å tilpasse farten til de rådende føreforhold.

## 4. Eksperimentelle detaljer

### 4.1 Førebeskrivelser

Tidligere rapporter og notater baserer seg også på førebeskrivelser istedenfor, eller som et supplement, til friksjonsmålinger. Derfor har det i denne oppgaven blitt gjennomført både friksjonsmålinger og førebeskrivelser ved de ulike registreringsdagene.

I notatet «Sammenhengen mellom ulykkesfrekvens, skadekostnad og føre- og friksjonsforhold» er føreforholdene blitt delt inn i 9 forskjellige kategorier (Sakshaug, et al., 2006):

Tabell 6: Førebeskrivelser

Førebeskrivelser	
1. Tørr, bar veg	6. Is
2. Våt, bar veg	7. Rim
3. Slaps	8. Bart i spor
4. Løs snø	9. Glatt i spor
5. Hard snø	

Det finnes derimot ikke fra før noen klare definisjoner på når de ulike førebeskrivelsene gjelder. Som man kan se av inndelingen vil det kunne være vanskelig å skille overgangen mellom noen av førebeskrivelsene. F. eks når går hard snø over til å være is? Hva skiller glatt i spor fra is? I tabell 7, basert på litteraturundersøkelsen, er det derfor blitt lagd en mer utfyllende forklaring og beskrivelse av de ulike førebeskrivelsene. Tabellen vil danne grunnlaget for klassifiseringen av førebeskrivelser i dette prosjektet.



Figur 20: Tørr, bar veg og slaps (Johnsen, 2012) (Wikipedia, 2012)

Tabell 7: Beskrivelse av ulike føreforhold

Føreforhold	Definisjon	Effekt på friksjon
Tørr, bar veg	Bar veg strategien definerer at det skal være bart mellom hvit stripene. I tillegg skal hele vegoverflaten i denne kategorien være tørr. Det skilles mellom tørr, bar veg sommer og tørr, bar veg vinter.	For å bli definert som bar veg må hele vegoverflaten være bar. Dvs. ingen forekomster av snø/is/slaps o.l. I tillegg stilles det her krav til at vegen skal være tørr. Det omfatter at det ikke kan være nedbør, i form av regn, på vegoverflaten. En tørr bar overflate gir høyest friksjon.
Våt, bar veg	Definisjonen på våt, bar veg blir når vegen er <b>tydelig</b> mørkere enn når den er tørr. Altså er det ikke nødvendig med fritt vann til stede for å bli definert som våt, bar veg.	Med en gang vegbanen blir våt vil det bli vanskeligere for gummimolekylene i bildekket å komme i kontakt med molekylene i vegoverflaten og danne bindinger. Selv et mikroskopisk tykt lag med vann på vegoverflaten må «presses» ut fra kontaktområdet, mellom dekk og vegoverflate, før friksjon kan genereres. Denne prosessen tar tid og resultatet blir at kontaktområdet mellom gummien og asfalten reduseres. Tar prosessen for lang tid vil ikke gummien i det hele tatt komme i kontakt med asfalten. Dette kalles «vannplaning».
Slaps	Slaps defineres som en blanding av flytende vann og is. Konsistensen på slaps kan variere, men vil være en mellomting av vann og is.	Den samme prosessen som for vann oppstår også dersom det er slaps til stede på vegoverflaten. Vegsalting kan føre til at slaps opptrer ved lavere temperaturer enn normalt (kun i det saltede området). På samme måte som vann er slaps en inkompressibel væske (dvs. den kan ikke trykkes sammen). Dermed må slapsen «presses» bort fra kontaktområdet slik at gummidekket kan komme i kontakt med vegoverflatens tekstur og generere friksjon.
Løs snø	Under denne kategorien er typisk nysnø som ikke har blitt komprimert. Her er det snakk om snø som er forholdsvis enkel mekanisk å fjerne (brøyte), men som kan skape vanskelige kjøreforhold dersom den ikke blir fjernet fra vegoverflaten.	Snø er et sammentrykkbart materiale og det vil derfor ikke være like enkelt å få det «presset» bort fra kontaktområdet mellom gummidekk og vegoverflaten. Dermed vil teksturen til den originale vegoverflaten raskt bli dekket og dermed hindre at hjulene kommer i kontakt med vegoverflatens tekstur. Dette problemet vil bli verre når snøen blir komprimert og man får det som defineres som hard snø. Store mengder løs snø i vegbanen vil redusere fremkommeligheten.
Hard snø	Snø som har blitt komprimert og som danner et eget lag oppå vegoverflaten. Fargen er <b>hvit</b> .	Et slikt føreforhold vil skape en helt ny situasjon siden friksjon nå vil bli generert mellom gummidekket og det komprimerte snølaget. Over tid vil snøens struktur endre seg som en følge av ulike fysiske prosesser (f. eks sintring og polering). Til slutt har snøen fått så stor styrke, og blitt så polert, at man begynner å kalle den for is.
Is	For å skille mellom hard snø og is ses det på fargen: <b>Hvit = snø, blank = is.</b>	Man vil gå fra hard snø til is når snøen, etter en viss tid, oppnår en viss styrke.

Rim	Rim defineres som en tynn ishinne på vegoverflaten. Føreforhold som vil gå under denne kategorien vil f. eks være perioder der temperaturen skifter rundt null grader.	Rim er iskrystaller som blir dannet av frossen luftfuktighet på kalde overflater. Rim dannes ved at vanndamp i lufta går direkte over i fast form. Siden rim er mye svakere enn is vil den også enklere bli fjernet, f. eks av trafikkbelastningen.  Rimet har en hvit farge, ikke gjennomsiktig, pga. at den inneholder mye fanget luft. Rim har en mye lavere tetthet en ren is og vil ikke ha den samme styrken.
Bart i spor	Dersom det er snø/isdekke på vegen, men hjulsporene er bar (pga. av trafikkbelastning) har man førebeskrivelsen bart i spor.  Her må det være et tydelig skille mellom hjulsporene og resten av vegbanen.	Ved stor trafikk og høy piggdekkandel vil snø/issåle slites og dermed blir det raskt bart i spor. Slike forhold vil føre til at sannsynligheten for at ulykker øker når kjøretøyene forlater hjulsporet. Friksjonsforholdene mellom hjulsporene, eller på sidene, vil være kritiske siden de vil kunne hindre at føreren vil klare å gjenvinne sin posisjon innenfor hjulsporet og opprettholde styringskontrollen på kjøretøyet.
Glatt i spor	For å bli klassifisert i denne kategorien må det også være synlig forskjell mellom føreforholdene i hjulsporene og utenfor. Dvs. tynn ishinne eller rim i spor (gjennomsiktig), og utenfor spor: a) Løs snø b) Slaps c) Hard snø	Her har man motsatt situasjon av bart i spor. Denne situasjonen kan f. eks oppstå dersom det er hjulspor i vegoverflaten og vann kan samles her. Dersom vannet fryser vil det bli glattere forhold i hjulsporene enn utenfor.

## 4.2 Friksjon

Friksjonsmålingene har blitt gjennomført med to ulike metoder:

- Friksjonsmålinger med ROAR og ViaFriction
- Brems tester med Dynatron

Friksjonsmålingene har blitt utført med to ulike metoder siden det ikke har vært mulig å få gjennomført like mange friksjonsmålinger med kun 1 metode. Resultatene fra de ulike friksjonsmålingene tolkes likt i dette prosjektet.

### 4.2.1 ROAR og ViaFriction

ROAR (Road Analyzer and Recorder) er en tilhenger som blir slept bak en bil. ROAR gir muligheten til å måle hvor glatt dekket er ved å foreta bremseprøver med et lite umønstret hjul på vegoverflaten, og måler bremsefriksjonskraften som vegoverflaten yter mot det bremsende hjulet (Horvli, et al., 2006). En bremseprøve varer fra 0,5-1,0 sek og skjer med et nøyaktig styrt bremsepådrag. Det forutsettes at vegbanetilstanden er den samme under hele bremseprøven, dvs. i ca. 1 sek (Horvli, et al., 2006).

ROAR kan også utføre kontinuerlige målinger ved fastslippmålinger fra 0 til 95 % (0 % hjulet ruller fritt, 100 % når hjulet er fastlåst pga. bremsing). Slipp hastigheten blir dermed relativ hastighet mellom hjulet og underlaget.

ViaFriction benyttes til kontinuerlig måling av friksjon mellom et målehjul og vegoverflaten. Gjennom bruk av elektrisk bremsing av målehjulet er det mulig for kontrollsystemet å gjennomføre målinger etter alle internasjonale standarder. ViaFriction benytter et standardisert målehjul som sikrer kvaliteten på målinger og måleresultater (ViaTech, u.d.).



Figur 21: ROAR og ViaFriction

#### 4.2.2 Dynatron

Dynatron Road er en retardasjonsmåler som presenterer retardasjonen (negativ akselerasjon) som friksjon. Målingene er basert på et treakset akselerometer som måler bevegelseskraften som målebilen blir utsatt for under en oppbremsing. Denne kraften danner så grunnlaget for vurdering av målebilens veggrep (Nonstad, 2007).

Dynatron registrer toppunktet på friksjonskurven. På is- eller snøføre er det normalt liten forskjell mellom friksjonskurvens toppunkt og gjennomsnittsfriksjonen (Nonstad, 2007). Toppunktet på friksjonskurven fremkommer i løpet av svært kort tid, og derved liten hastighetsforandring. Derfor bør oppbremsingene ikke være harde og lange, noe som er normalt ved andre retardasjonsmålere. Bremsetestene gjennomføres med et raskt og bestemt trykk på bremsen.

For å eliminere eventuelle feilmålinger er det gjennomført opp mot 10 målinger hver gang en bremsetest har blitt gjennomført. På den måten vil man kunne danne seg et bilde av hva som er riktig friksjonskoeffisient på det aktuelle føret. Til slutt har gjennomsnittet av målingene blitt lagt til grunn.



Figur 22: Sensor, PDA og program for friksjonsmåling (Nonstad, 2007)



### 4.3 Fart

Fart, eller hastighet, er et begrep som benyttes om flere størrelser. Det er vanlig å skille mellom punkthastighet og strekningshastighet, og det er et skille mellom hastigheten til enkeltkjøretøy og gjennomsnittlig hastighet i et tidsintervall (Statens vegvesen, 2011).

Strekningshastighet er definert som lengden av en strekning dividert på tidsforbruk på strekningen. For å finne gjennomsnittlig strekningshastighet for en trafikkstrøm er det tidsforbruket som er den sentrale parameteren (Waal & Haugen, 2005).

**Formel 9: Gjennomsnittlig strekningshastighet**

$$\bar{V}_{strekn} = \frac{L}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i} \quad \begin{array}{l} L = \text{Lengden av strekningen} \\ t_i = \text{Reisetid for kjøretøy nr } i \\ n = \text{Antall observasjoner (kjøretøy)} \end{array}$$

Punkthastighet er hastigheten som kan måles i et punkt på en vegstrekning, og angis vanligvis i km/t (Waal & Haugen, 2005).

**Formel 10: Gjennomsnittlig punkthastighet**

$$\bar{V}_{punkt} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \quad \begin{array}{l} v_i = \text{Enkelthastighet til kjøretøy nr } i \\ n = \text{Antall hastighetsobservasjoner (kjøretøy)} \end{array}$$

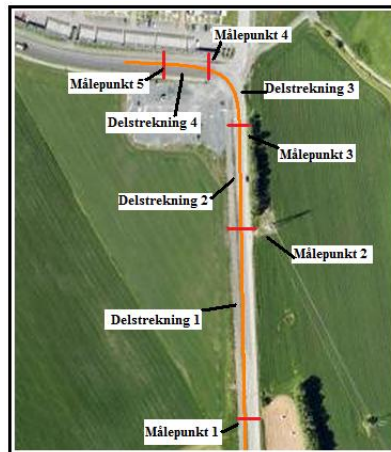
Siden det har vært praktisk gjennomførbart har fartsmålingene blitt gjennomført med to ulike metoder:

- Manuelle registreringer (strekningshastighet)
- Radarmålinger (punkthastighet)

#### 4.3.1 Manuelle registreringer

De manuelle registreringene har blitt gjennomført ved å måle tidsforbruket mellom fem ulike punkter, som har blitt markert med oppmerkingsbånd eller andre kjennemerker, langs registreringsområdet. Disse punktene inkluderer rett strekning, inngangen til kurven, gjennom kurven og utgang av kurven. Under registreringene har observatør stått plassert omtrent midt i mellom målepunkt 2 og 3 (se figur 23). Tiden har blitt målt ved å benytte en stoppeklokke som kan måle mellomtidene mellom de ulike punktene. Data har fortløpende blitt notert i egne registreringsskjema. Registreringsskjemaet som har blitt benyttet er vist i vedlegg 6.

Det har gjennom hele registreringsperiode vært forsøkt å sørge for størst mulig likhet mellom de ulike målingene. Den største utfordringen har vært å klokke kjøretøyene likt ved punkt 1 som ble sett fra en skjev synsvinkel for observatør. Figur 23 viser de ulike punktene og delstrekningene.



Figur 23: Målepunkt og delstrekninger manuelle registreringer (Google, 2013)

I det videre arbeid har hver delstrekning fått hvert sitt navn utfra plassering langs registreringsområdet. Gjennom kurven er avstanden mellom målepunktene målt ved å ta utgangspunkt i sentrum av ytterste kjørefelt. De målte avstandene er vist i tabell 8:

Tabell 8: Avstander mellom målepunkt

Strekning	Navn	Avstand [m]
Delstrekning 1	Rett strekning	141
Delstrekning 2	Like før kurve	44.5
Delstrekning 3	Gjennom kurve	70
Delstrekning 4	Utgang kurve	15

Før arbeidet med registreringene kunne gjennomføres måtte det bestemmes et forhåndssett av kriterier som skulle gjelde for at et kjøretøy kunne brukes i registreringene. Tabell 9 viser de fem kriteriene som ble lagt til grunn under hele registreringsperioden.

Tabell 9: Forhåndskriterier

Kriteria	Beskrivelse
1.	Det vil kun bli registrert kjøretøy i retning Trondheim (dvs. retning fra målepunkt 1)
2.	Kjøretøyet må kjøre uforstyrret og dets fartsvalg må ikke bli påvirket av foranliggende kjøretøy. Det vil ikke bli tatt hensyn til hvor kjøretøyet kommer fra, da dette ikke er mulig å observere
3.	Kjøretøyet må ikke stoppe underveis på strekningen. Eventuelle små hastighetsreduksjoner f. eks pga. syklist/fotgjengere tas det ikke hensyn til
4.	Moped, motorsykkkel o.l. vil ikke bli registrert.
5.	Trailere, lastebiler o.l., dvs. store kjøretøy som uansett føre må redusere hastigheten for å komme gjennom kurven blir ikke registrert

I dette forsøket er alle de manuelle registreringene gjennomført av samme person og man kan dermed se bort ifra eventuelle individuelle forskjeller mellom ulike observatører.

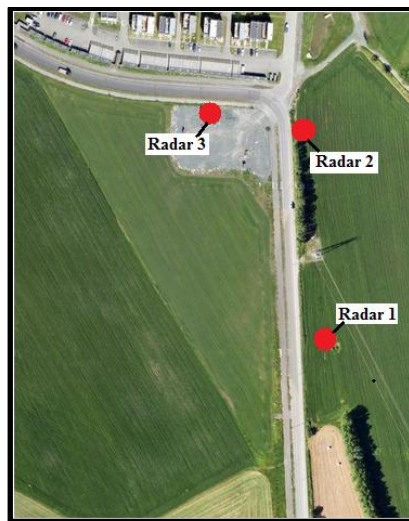
#### 4.3.2 Radarmålinger

Radarer benytter dopplereffekten for å registrere fart og retning på kjøretøy. Radaren sender ut en puls, og kan ved å se på frekvensforskyvningen av det reflekterte signalet se om et

kjøretøy beveger seg mot eller fra radaren og med hvilken fart det beveger seg (Statens vegvesen, 2009).

Langs registreringsområdet har det totalt vært utplassert 3 radarer. Det har vært to av typen Radar449 og en SierZega. En mer detaljert beskrivelse av radarene er gitt i vedlegg 3. Resultatene fra de ulike radarene tolkes likt i dette prosjektet.

Radar 1 og 2 har vært plassert på rett strekningen og ved inngangen til kurven, mens radar 3 har målt hastigheten ved utgang av kurven. Radarene har vært plassert i egne skap som har blitt montert til skilt og lyktestolper. Radarene har kun vært i bruk i omtrent de samme tidsrom som de manuelle registreringene ble gjennomført. Figur 24 viser radarenes plassering.



Figur 24: Plassering av radarer (Google, 2013)

Som nevnt ble de manuelle registreringene gjennomført utfra et forhåndssett av kriterier. Radarmålingene baserer seg ikke på disse kriteriene. Derfor vil resultatene fra radarmålingene inneholde alle kjøretøy som har passert i løpet av registreringen. Pga. av dette vil det bli registrert flere kjøretøy som av forskjellige årsaker ikke kjører uforstyrret.

Radaren langs rett strekning har blitt plassert med en innfallsvinkel 45 grader mot kjøretøyene. For å oppnå god nøyaktighet på fartsmålinger er det helt avgjørende med riktig vinkel. Noen få grader feil innstilling vil kunne gi unøyaktige fartsmålinger (Statens vegvesen, 2009).

En naturlig svakhet med radarmålingene gjennomført i denne oppgaven vil dermed være de som er gjennomført i kurve. Siden radarene egentlig er tilpasset for å registrere langs rett strekning vil ikke radarer i sving være nøyaktig 45 grader mot kjøretøyene.

#### 4.4 Oppsummering av eksperimentelle detaljer

Det har blitt gjennomført både friksjons- og fartsmålinger. I tillegg inneholder hver registreringsdag egne førebeskrivelser. Førebeskrivelser har i tidligere rapporter og notater blitt brukt istedenfor, eller som et supplement, til friksjonsmålinger. Førebeskrivelsene har blitt delt inn i 9 forskjellige kategorier (tørr bar veg, våt bar veg, slaps, løs snø, hard snø, is, rim, bart i spor og glatt i spor).

Friksjonsmålingene har blitt gjennomført med to ulike metoder siden det har gjort det mulig å gjennomføre flere friksjonsmålinger.

- Friksjonsmålinger med ROAR og ViaFriction
- Brems tester med Dynatron

Resultatene fra de ulike friksjonsmålingene tolkes likt.

Siden det har vært praktisk gjennomførbart har også fartsmålingene blitt gjennomført med to ulike metoder:

- Manuelle registreringer (strekningshastighet)
- Radarmålinger (punkthastighet)

De manuelle registreringene har målt strekningshastighet over fire ulike delstrekninger langs registreringsområdet. Delstrekningene omfatter rett strekning, inngang til kurve, gjennom kurve og utgang kurve.

Det har totalt blitt benyttet 3 radarer til fartsmålinger. Radarene har vært plassert langs rett strekning, inngang til kurve og utgang kurve. Resultatene fra de ulike radarene tolkes likt.

## 5. Resultater

I dette kapitlet presenteres resultatene av friksjons- og fartsmålingene som ble gjennomført ved Utleirvegen i mars 2013.

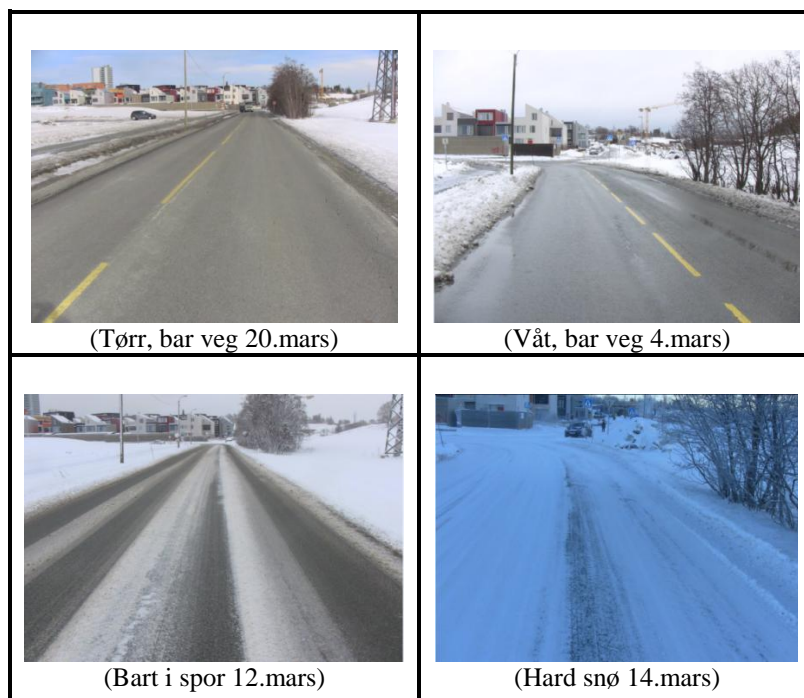
### 5.1 Registreringsdagene

Det har blitt gjennomført 10 registreringer, ved ulike føre- og friksjonsforhold langs Utleirvegen, i løpet av våren 2013. Tabell 10 oppsummerer det viktigste fra registreringsdagene.

Tabell 10: Sammendrag fra registreringsdagene

Dato	Oppsummering
1.mars	<b>Friksjonsmålinger:</b> ROAR $\mu = 0,81$ , Dynatron $\mu = 0,75-0,85$ <b>Fartsmålinger:</b> Alle radarer fungerte, totalt registrert 99 kjøretøy manuelt i tidsrommet 13:15-15:25 <b>Temperatur:</b> $1-3^{\circ}\text{C}$ <b>Førebeskrivelse:</b> <u>Våt, bar veg</u>
4.mars	<b>Friksjonsmålinger:</b> Dynatron $\mu = 0,7-0,85$ <b>Fartsmålinger:</b> Alle radarer fungerte, totalt registrert 100 kjøretøy manuelt i tidsrommet 11:00-13:50 <b>Temperatur:</b> $1-2^{\circ}\text{C}$ <b>Førebeskrivelse:</b> <u>Våt, bar veg</u>
6.mars	<b>Friksjonsmålinger:</b> Dynatron $\mu = 0,6-0,7$ <b>Fartsmålinger:</b> Alle radarer fungerte, totalt registrert 100 kjøretøy manuelt i tidsrommet 12:00-14:50 <b>Temperatur:</b> $0^{\circ}\text{C}$ <b>Førebeskrivelse:</b> <u>Våt, bar veg</u>
7.mars	<b>Friksjonsmålinger:</b> Dynatron: Kl. 09:30 $\mu = 0,2-0,3$ , kl. 12:40 $\mu = 0,65-0,75$ <b>Fartsmålinger:</b> Alle radarer fungerte, totalt registrert 100 kjøretøy manuelt i tidsrommet 09:45-12:20 <b>Temperatur:</b> $-2-3^{\circ}\text{C}$ <b>Førebeskrivelse:</b> Ved start: <u>Hard snø</u> . Ved slutt: <u>Slaps</u>
1.mars	<b>Friksjonsmålinger:</b> ROAR: $\mu = 0,64$ , Dynatron $\mu = 0,55-0,65$ <b>Fartsmålinger:</b> Alle radarer fungerte, totalt registrert 100 kjøretøy manuelt i tidsrommet 08:40-11:30 <b>Temperatur:</b> $-2^{\circ}\text{C}$ <b>Førebeskrivelse:</b> Svak issåle (fjernet av trafikkbelastningen) $\rightarrow$ <u>Våt, bar veg.</u>
12.mars	<b>Friksjonsmålinger:</b> ROAR: $\mu = 0,19$ (målt ca. kl. 08:00), Dynatron før: $\mu = 0,3-0,35$ etter: $\mu = 0,55-0,65$ <b>Fartsmålinger:</b> Radar449 ved inngang til svingen ga ikke resultat, totalt registrert 100 kjøretøy manuelt i tidsrommet 09:00-11:45 <b>Temperatur:</b> $-3-4^{\circ}\text{C}$ <b>Førebeskrivelse:</b> Ved start: <u>Bart i spor</u> . Ved slutt: <u>Slaps</u>
14.mars	<b>Friksjonsmålinger:</b> ViaFriction: $\mu = 0,42$ , Dynatron: $\mu = 0,35-0,4$ <b>Fartsmålinger:</b> Lås på SierZega frosset, fikk derfor startet den først etter en time. Totalt registrert 100 kjøretøy manuelt i tidsrommet 07:45-10:40 <b>Temperatur:</b> $-15--7^{\circ}\text{C}$ <b>Førebeskrivelse:</b> Ved start: <u>Hard snø</u> . Ved slutt: <u>Glatt i spor</u>
15.mars	<b>Friksjonsmålinger:</b> ROAR $\mu = 0,7$ (rett strekning), $\mu = 0,3$ (sving) <b>Fartsmålinger:</b> Alle radarer fungerte, totalt registrert 100 kjøretøy manuelt i tidsrommet 07:45-10:40 <b>Temperatur:</b> $-10--4^{\circ}\text{C}$ <b>Førebeskrivelse:</b> <u>Bart i spor (rett strekning), is (sving)</u>
18.mars	<b>Friksjonsmålinger:</b> ROAR $\mu = 0,7-0,75$ <b>Fartsmålinger:</b> Radar449 ved inngang til svingen ga ikke resultat, totalt registrert 100 kjøretøy manuelt i tidsrommet 11:35-14:05 <b>Temperatur:</b> $2^{\circ}\text{C}$ <b>Førebeskrivelse:</b> <u>Tørr, bar veg (vinter)</u>
20.mars	<b>Friksjonsmålinger:</b> Ikke gjennomført! <b>Fartsmålinger:</b> Radar449 ved inngang til svingen ga ikke resultat, totalt registrert 97 kjøretøy manuelt i tidsrommet 10:35-13:10 <b>Temperatur:</b> $2^{\circ}\text{C}$ <b>Førebeskrivelse:</b> <u>Tørr, bar veg (vinter)</u>

I vedlegg 4 gis en mer detaljert oversikt over av de aktuelle registreringsdagene. Vedlegget inneholder også flere bilder fra de ulike registreringsdagene. Figur 25 viser noen eksempelbilder av føreforholdene fra registreringsområdet.



Figur 25: Eksempelbilder av ulike føreforhold

## 5.2 Friksjonsmålinger og førebeskrivelse

Tabell 11 viser hvilke friksjonsmålinger som har blitt utført ved de ulike registreringsdagene samt førebeskrivelsen. Prosentandelen bak registreringsdagene, som har flere førebeskrivelser, viser hvor stor andel av de registrerte kjøretøyene som er blitt klassifisert under hvilken førebeskrivelse.

Tabell 11: Friksjonsmåling og førebeskrivelse

Registreringsdato	ROAR	ViaFriction	Dynatron	Førebeskrivelse
1.mars	X		X	Våt, bar veg
4.mars			X	Våt, bar veg
6.mars			X	Våt, bar veg
7.mars			X	Start: Hard snø (70 %). Slutt: Slaps (30 %)
11.mars	X		X	Våt, bar veg
12.mars	X		X	Start: Bart i spor (65 %). Slutt: Slaps (35 %)
14.mars		X	X	Start: Hard snø (75 %). Slutt: Glatt i spor (25 %)
15.mars	X			Bart i spor (rett strekning), is (sving),
18.mars	X			Tørr, bar veg (vinter)
20.mars	Ikke gjennomført friksjonsmåling			Tørr, bar veg (vinter)

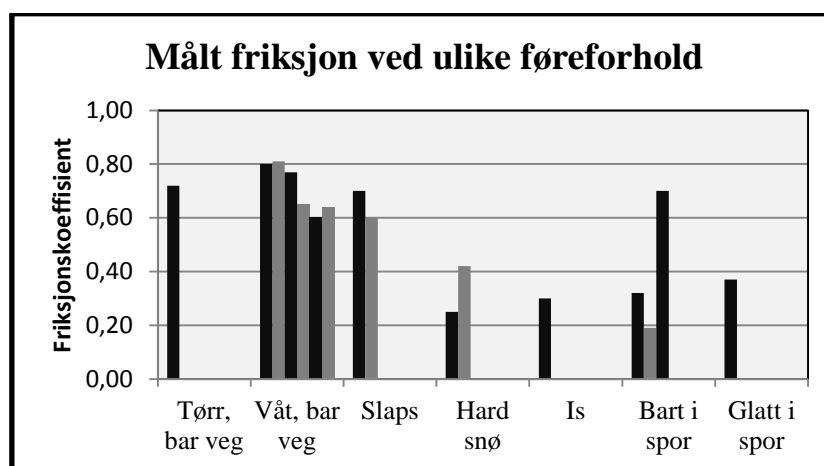
Registreringsdagene hvor det ble gjennomført friksjonsmålinger med ROAR eller ViaFriction inneholder mer detaljerte målinger langs hele registreringsområdet. Resultatene av disse er vist i vedlegg 5.

Dersom føreforholdene har endret seg i løpet av en registreringsdag er det gjennomført målinger med Dynatron både før og etter fartsregistreringene. Friksjonsmålinger med ROAR og ViaFriction har vist små variasjoner i friksjonen mellom rett strekning og kurve. Unntaket er 15. mars, der dette har blitt tatt hensyn til ved at det er angitt forskjellige førebeskrivelser for rett strekning og kurve. Antall forekomster av de enkelte føreforholdene fremgår av figur 26. Registreringsdager hvor det kun er utført bremsetester med Dynatron er gjennomført langs rett strekning. Disse dagene er det antatt at friksjonen er den samme langs rett strekning og i kurve. I tabell 12 og figur 26 presenteres resultatene av friksjonsmålingene.

Tabell 12: Resultater friksjonsmålinger

Registreringsdato	Friksjonskoeffisient $\mu$		
	ROAR	ViaFriction	Dynatron
1.mars	0,81		0,8
4.mars			0,75
6.mars			0,65
7.mars			Før: 0,25 Etter: 0,7
11.mars	0,64		0,6
12.mars	0,19*		Før: 0,3 Etter: 0,6
14.mars		0,42	0,4
15.mars	0,7 (rett strekning) 0,3 (sving)		
18.mars	0,75		

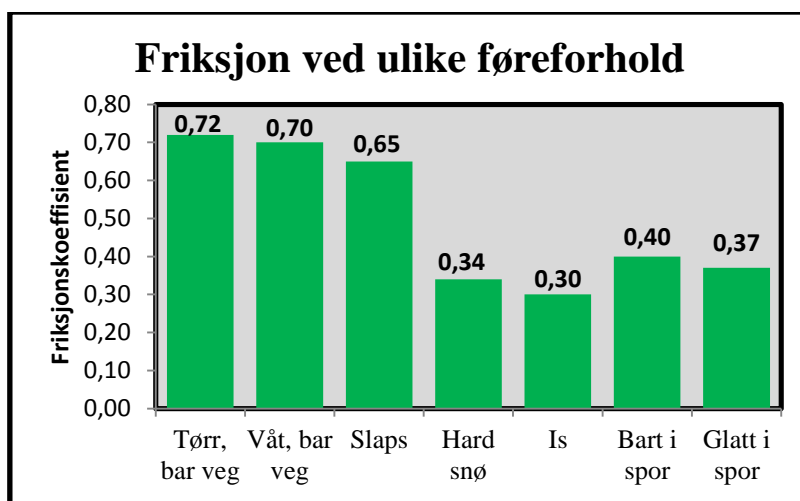
\*Friksjonsmåling gjennomført ca. 1 time før manuelle registreringene



Figur 26: Målt friksjon ved ulike føreforhold

Som man kan se av figur 26 har det blitt gjennomført friksjonsmålinger ved 7 forskjellige førebeskrivelser. Av de 9 førebeskrivelsene som ble definert i kapittel 4.1 er det kun løs snø og rim som ikke har blitt observert. Med tanke på den begrensede tiden som var til rådighet for registreringene har dette vært over all forventning. Derimot er det kun førebeskrivelsene våt, bar veg (6.stk) og bart i spor (3.stk) som har mer enn to målinger.

I de videre analyser benyttes et vektet gjennomsnitt, ut ifra hvor mange kjøretøy som er registrert, ved de ulike friksjonsmålingene. For førebeskrivelsene som kun har 1 måling brukes denne verdien, mens ved førebeskrivelser som har flere målinger benyttes gjennomsnittsverdien. Av figur 27 fremkommer gjennomsnittlig målt friksjon for de ulike førebeskrivelsene som er lagt til grunn i det videre arbeidet.



Figur 27: Friksjonskoeffisient ved ulike føreforhold

Som man kan se av figur 27 er det forholdsvis små variasjoner for de ulike føreforholdene som kan klassifiseres som vinterføre (hard snø, is, bart i spor og glatt i spor). Likevel må man her også huske at dette er gjennomsnittet av målingene, og at friksjonen innenfor hver enkelt førebeskrivelse derfor kan inneholde store variasjoner. F. eks varierte friksjonskoeffisienten fra 0,19-0,70 for førebeskrivelsen bart i spor. Flere av førebeskrivelsene inneholder også kun en friksjonsmåling. Friksjonsmålingene på bart i spor og glatt i spor antas å være målt i kjøresporet.

I tabell 13 sammenlignes friksjonsmålingene fra Utleirvegen med friksjonsmålingene fra Vinterfriksjonsprosjektet gjennomført av Statens vegvesen. Det er gjennomsnittsmålingene som her blir sammenlignet.

Tabell 13: Sammenlikning med Vinterfriksjonsprosjekt

Førebeskrivelse	Friksjonskoeffisient $\mu$		
	Vinterfriksjonsprosjektet	Denne undersøkelsen	Avvik ( $\pm$ )
Tørr, bar veg	-	0,72	-
Våt, bar veg	-	0,70	-
Slaps	0,35	0,65	0,30
Hard snø	0,28	0,34	0,06
Is	0,27	0,30	0,03
Bart i spor	0,43	0,40	0,03
Glatt i spor	0,29	0,37	0,08

Som man kan se er avvikene forholdsvis små, noe som er en god indikasjon på nøyaktigheten og klassifiseringen ved friksjonsmålingene gjennomført i dette prosjektet. Det eneste store avviket finnes for førebeskrivelsen «slaps», men kan forklares utfra mengden slaps tilstede på vegoverflaten ved de ulike prosjektene. På denne førebeskrivelsen er det mengden slaps på vegoverflaten som er avgjørende for friksjonen. F. eks nevnes det ikke noe i Vinterfriksjonsprosjektet om hvor mye slaps som var til stede på vegoverflaten for å bli klassifisert i denne førebeskrivelsen.



## 5.3 Fartsmålinger

### 5.3.1 Manuelle fartsmålinger

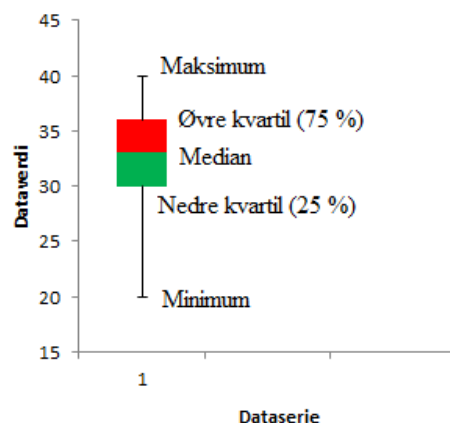
Tabell 14 viser totalt antall registrerte kjøretøy, fordelt på førebeskrivelsene, for de fire delstrekningene.

Tabell 14: Manuelt registrerte kjøretøy under ulike føreforhold

	Tørr, bar	Våt, bar	Slaps	Løs snø	Hard snø	Is	Rim	Bart i spor	Glatt i spor	SUM
Rett strekning	197	399	65	0	145	0	0	165	25	<b>996</b>
Like før kurve	197	399	65	0	145	0	0	165	25	<b>996</b>
Gjennom kurve	197	399	65	0	145	100	0	65	25	<b>996</b>
Utgang kurve	197	399	65	0	145	100	0	65	25	<b>996</b>

Et boksdiagram er en grafisk måte å sammenligne numeriske data i ulike undergrupper. Boksdiagrammene er delt inn i fire deler som hver utgjør 25 % av datasettet. Disse delene er:

- Minimum til nedre kvartil (25 %)
- Nedre kvartil til median
- Median til øvre kvartil (75 %)
- Øvre kvartil til maksimum



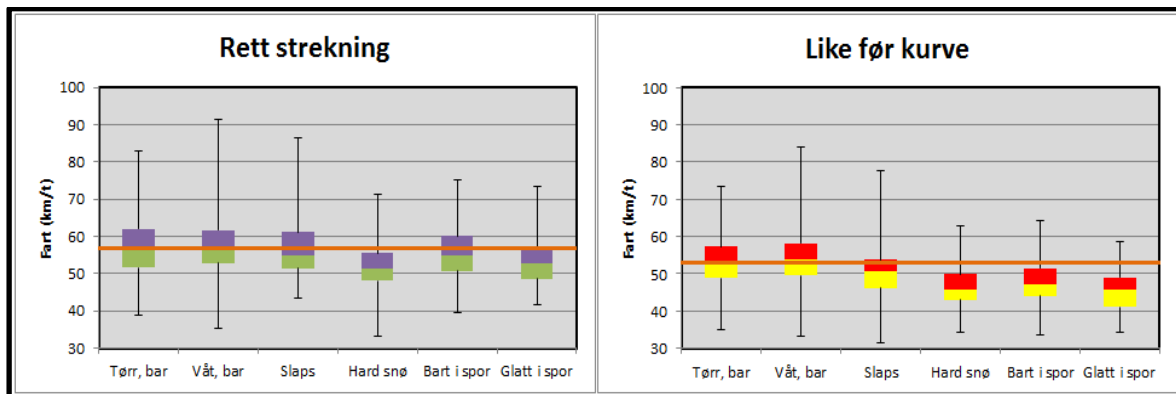
Figur 28: Boksdiagram med forklaring

Boksen utgjør altså all data i mellom øvre og nedre kvartil, dvs. de midterste 50 % av datasettet. Medianverdien er der boksen skifter farge. De vertikale linjene som er tegnet fra øvre og nedre kvartil, mot hhv øvre og nedre grense, er datasettets maksimums og minimums verdi. Lengden på de vertikale linjene forteller noe om datasettets variasjon. Desto lengre linjene er, desto større er variasjonen.

Videre vil fartsmålingene fra de ulike delstrekningene bli presentert i boksdiagram. Tabellene som danner grunnlaget for boksdiagrammene er vist i vedlegg 7.

Figur 29 viser resultatene av de manuelle fartsmålingene for delstrekning 1 og 2. Dvs. langs rett strekning og like før inngang til kurven. Den oransje linjen på figuren representerer

medianen av målingene for førebeskrivelsen tørr, bar veg på de ulike delstrekningene. Medianverdien er 57,2 km/t og 53,3 km/t på hhv rett strekning og like før kurve.

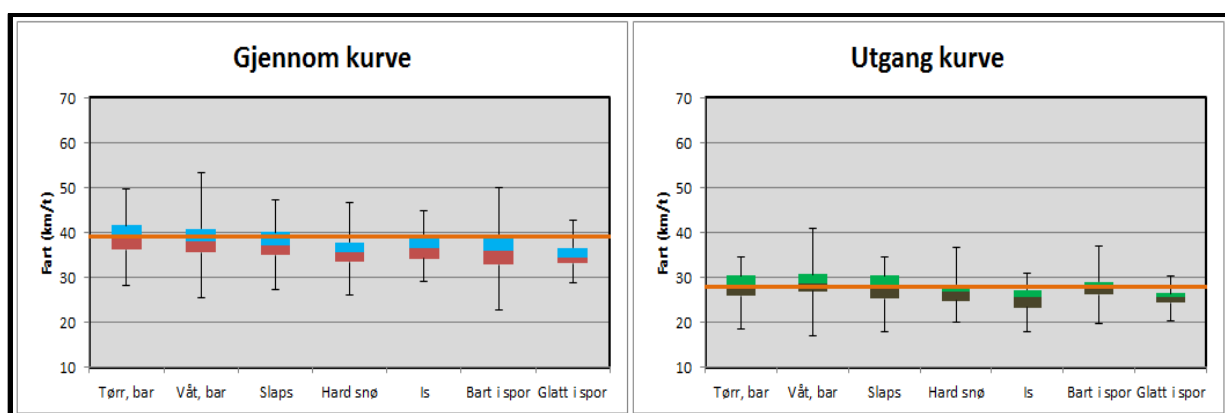


Figur 29: Kjørefart rett strekning og like før kurve ved ulike førebeskrivelser

På alle føreforhold observeres en fartsreduksjon like før kurven sammenlignet med rett strekningen. Det kan også observeres at både medianen og maksimumsverdiene for føreforholdene hard snø, bart i spor og glatt i spor er lavere på begge delstrekningene i forhold til tørr, bar veg. Dvs. at resultatene gir en klar indikasjon om en fartsreduksjon på synlig vinterføre. På rett strekning reduseres farten mest på hard snø (9 %), mens den like før kurve er størst på glatt i spor (15 %).

For rett strekningen ses det at for alle førebeskrivelser er medianen under fartsgrensen 60 km/t. Den største variasjonen finnes for førebeskrivelsen våt, bar veg. Siden de første registreringsdagene hadde denne førebeskrivelsen kan den store variasjonen skyldes dårlige rutiner med stoppeklokken.

Delstrekning 3 og 4 måler kjøretøyenes fart gjennom kurven og ved utgang av kurven. Resultatene av målingene er vist i figur 30. Den oransje linjen representerer også her medianverdien for førebeskrivelsen tørr, bar veg. Siden det er så store forskjeller i farten, målt i km/t, mellom de ulike delstrekningene er ikke figur 30 i samme skala som figur 29. Medianverdien er hhv 39 og 28 km/t gjennom kurve og ved utgang kurve.



Figur 30: Kjørefart gjennom og utgang kurve ved ulike føreforhold

Figur 30 viser at det er variasjoner i kjørefarten også gjennom kurven for de ulike førebeskrivelsene. Det kan også fra figuren ses en tendens til at den gjennomsnittlige kjørefarten reduseres noe på vinterføre.

For disse delstrekningene vil kurvens utforming føre til marginale fartstilpasninger, målt i km/t, siden kjørefarten uansett føreforhold må være forholdsvis lav for å komme gjennom kurven.

Gjennom kurven skjer den største fartstilpasningen på førebeskrivelsen glatt i spor, mens den ved utgang kurve inntreffer på is. Fartsreduksjonen, sammenlignet med målingene på tørr, bar veg er for begge på 11 %.

### 5.3.2 Radarmålinger

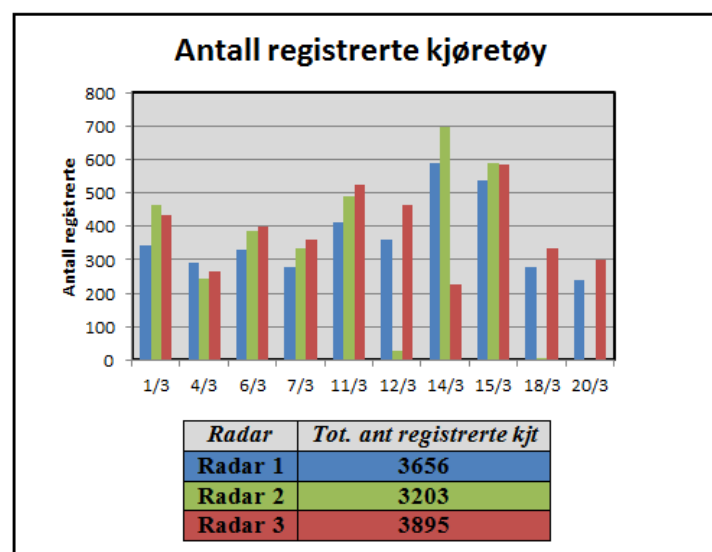
Underveis i registreringsperioden oppstod det problemer med radar 2. Derfor har den ikke gitt resultater ved noen av registreringsdagene. Tabell 15 viser derfor hvilke registreringsdager de ulike radarene har vært aktive:

Tabell 15: Radarmålinger

Dato	Radar 1	Radar 2	Radar 3
1.mars	X	X	X
4.mars	X	X	X
6.mars	X	X	X
7.mars	X	X	X
11.mars	X	X	X
12.mars	X		X
14.mars	X	X	X*
15.mars	X	X	X
18.mars	X		X
20.mars	X		X

\*Lås på radar 3 frosset, derfor ikke noe resultat den første timen

Figur 31 viser antall registrerte kjøretøy de forskjellige registreringsdagene for de ulike radarene.

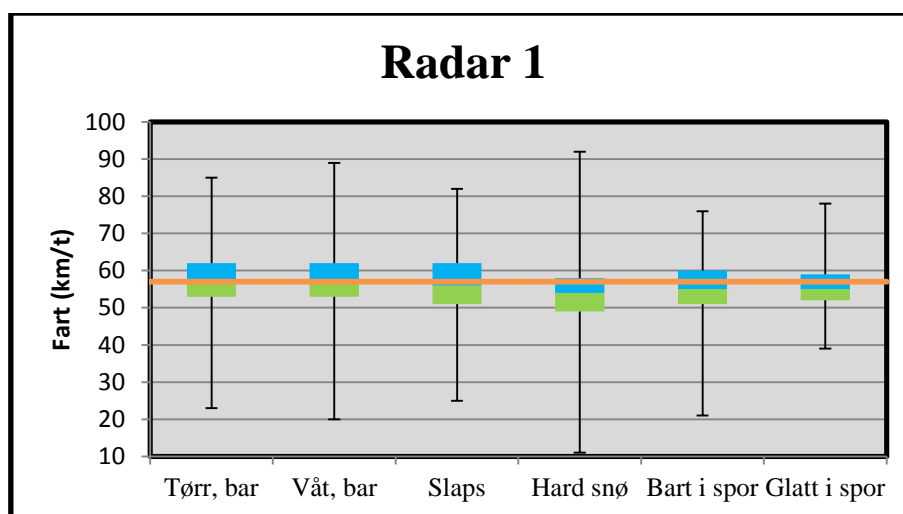


Figur 31: Antall registrerte kjøretøy, radarer

Avvikene i antall registrerte kjøretøy mellom radarene på samme registreringsdag skyldes at det er forskjeller i hvor lenge radarene har vært aktive. Radar 3 vil også registrere kjøretøy fra en sideveg til Utleirvegen. For radar 1 og 2 derimot ser man at radar 2 har registrert flere kjøretøy på de fleste registreringsdager hvor de begge har vært aktive (unntaket er 4.mars). Dette stemmer overens med gjennomføringen da radar 2 både har blitt startet først og avsluttet sist (unntatt 4. mars). Forskjellen i registreringstid mellom de to radarene kan for enkelte dager være over 30 min.

### 5.3.2.1 Radar 1 (rett strekning)

Totalt har 3656 kjøretøy blitt registrert. Resultatet av radarmålingene langs rettstrekningen, hvor fartsgrensen er 60 km/t, er gitt i figur 32. Den oransje linjen viser medianverdien (57 km/t) for tørr, bar veg.



Figur 32: Fartsmålinger radar 1 (rett strekning)

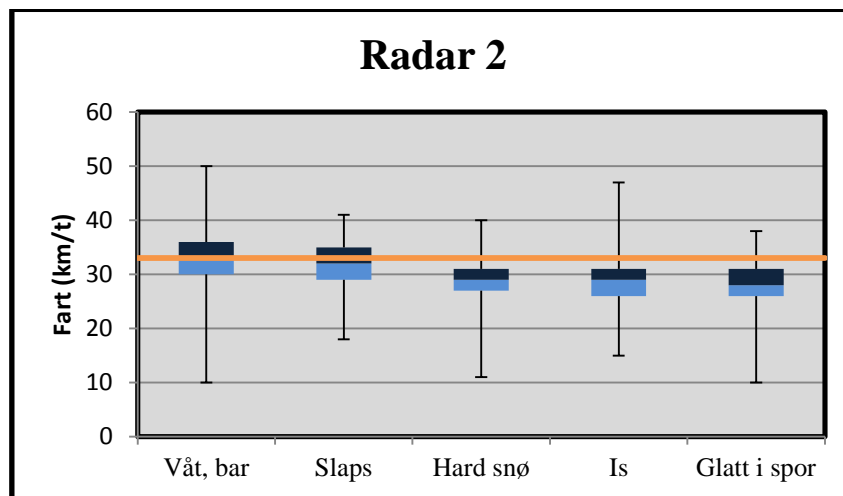
Som man kan se av figur 32 er det små variasjoner i hvilken kjørefart flertallet (selve boksen) av kjøretøyene velger ved ulike førebeskrivelser. Det kan derimot her legges merke til at det er langt større variasjoner i resultatene fra radarmålingen sammenlignet med de manuelle målingene langs rett strekningen (se figur 29). F. eks har radaren for førebeskrivelsen hard snø registrert et kjøretøy med hastighet på kun 11 km/t. Dette kan skyldes en feilmåling av radaren, syklist, eller at et kjøretøy har måtte foreta en betydelig fartsreduksjon like foran radaren.

På figur 32 ser man at boksene i snitt ligger noe lavere ved kjøring på typisk vinterføre (hard snø, bart i spor og glatt i spor) sammenlignet med kjøring på bar veg. Dette kan være indikasjon på at trafikantene kompenserer i form av en fartsreduksjon når det er synlige vinterforhold langs rett strekningen. Den største fartsreduksjonen, sammenlignet med tørr, bar veg skjer på hard snø og er på 6 %. Dvs. 3 % mindre enn resultatet fra de manuelle registreringene langs rett strekning.

### 5.3.2.2 Radar 2 (inngang kurve)

Radar 2 har totalt registrert 3203 kjøretøy på de 7 registreringsdagene den ga resultat. Resultatene av fartsmålingene er vist i figur 33. Siden radar 2 ikke inneholder registreringer

på tørr, bar veg blir våt, bar veg her referansen. Medianen på førebeskrivelsen våt, bar veg er 33 km/t.



Figur 33: Fartsmålinger radar 2 (inngang kurve)

Siden denne radaren har vært plassert ved inngangen til kurven har alle kjøretøy som passerte 15.mars blitt registrert under førebeskrivelsen is som var føreforholdet i kurven.

Ved å studere resultatene i figur 33 ser man at det også her er en fartsreduksjon på vinterføre kontra våt, bar veg. Siden kjørefarten her i utgangspunktet er så lav vil naturligvis også fartstilpasningene bli mindre målt i km/t. Den prosentvise fartsreduksjonen er størst (14 %) på førebeskrivelsen is.

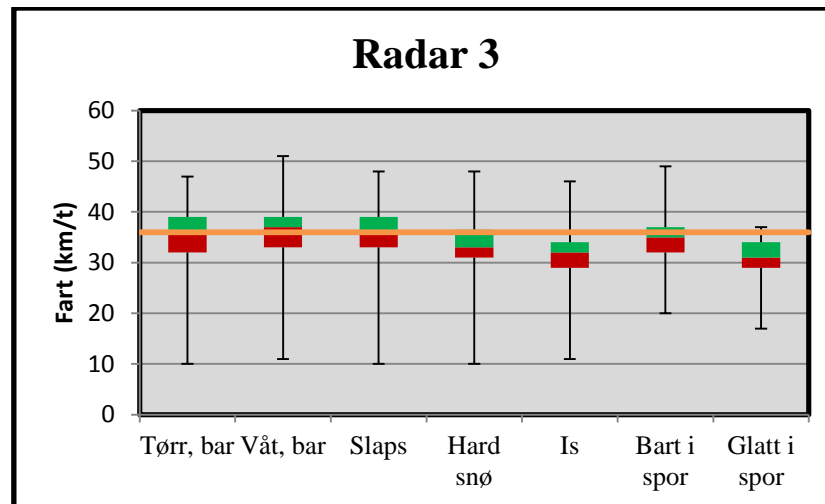
### 5.3.2.3 Radar 3 (utgang kurve)

Radar 3 har totalt registrert 3895 kjøretøy. Grunnen til at denne radaren har registrert flest kjøretøy kommer av at den inkluderer kjøretøy som kommer fra en sideveg til Utleirvegen. Figur 34 viser denne sidevegen.



Figur 34: Sideveg til Utleirvegen (Google, 2013)

Figur 35 viser resultatene for radar 3 retning Trondheim. Medianverdien for tørr, bar veg er 36 km/t.



Figur 35: Fartsmålinger radar 3 (utgang kurve)

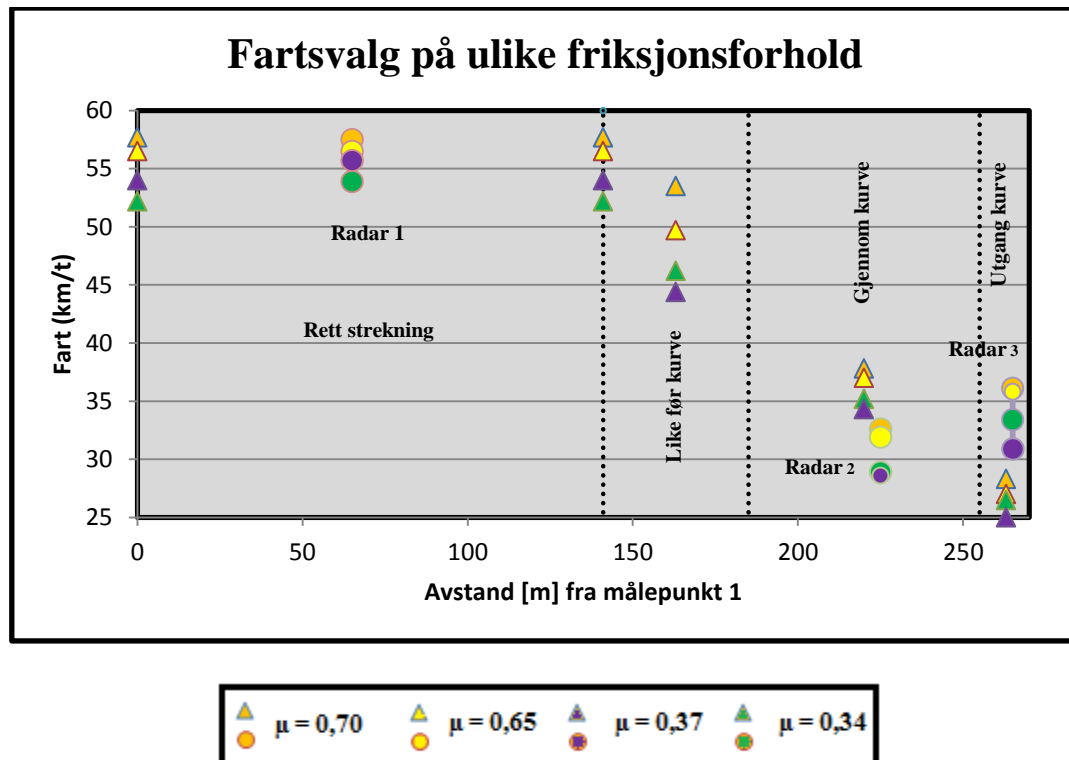
Resultatene viser nok en gang en indikasjon på at fartstilpasninger inntreffer på vinterføre. Denne radaren har vært plassert ved slutten av kurven, og kjøretøyene vil her allerede ha kunnet startet akselerasjonen ut av kurven hvis føreforholdene tillater det. F. eks ser at man at for førebeskrivelsen is så er medianverdien 4 km/t lavere sammenlignet med kjøring på bar veg. Gjennomsnittlig fartsreduksjonen på is og glatt i spor er hhv 11 og 12 % sammenlignet med på tørr, bar veg.

#### 5.4 Fartsvalg på ulike friksjonsforhold

Totalt er det fire førebeskrivelser hvor det har blitt gjennomført fartsmålinger over samtlige delstrekninger og radarer. Disse fire er:

- Våt, bar veg:  $\mu = 0,70$
- Slaps:  $\mu = 0,65$
- Glatt i spor:  $\mu = 0,37$
- Hard snø:  $\mu = 0,34$

I figur 36 er fartsutviklingen over registreringsområdet vist for disse førebeskrivelsene. Her illustrerer trekantene ( $\Delta$ ) gjennomsnittlig målt fart fra de manuelle registreringene. Det er antatt en lineær fartsutvikling over hver enkelt av de 4 delstrekningene. Langs rett strekning er det antatt at trafikantene kjører med en konstant fart, mens for de andre delstrekningene er gjennomsnittshastigheten angitt midt i delstrekningen. Disse antagelsene er diskutabile siden det bl.a. vil være naturlig å anta, spesielt like før kurve, at mesteparten av nedbremsingen vil skje på slutten av delstrekningen (dvs. ved inngang kurve). Gjennomsnittsmålinger fra radarene er markert sirkler (o). X-aksen representerer antall meter fra målepunkt 1, dvs. startpunktet til registreringsområdet.



Figur 36: Fartsvalg på ulike friksjonsforhold

Som man kan se av figur 36 tilpasses farten etter målt friksjonskoeffisient langs rett strekning. Dvs. våt, bar veg som har høyest friksjonskoeffisient har målt høyest gjennomsnittlig kjørefart, mens hard snø som har lavest friksjonskoeffisient også har lavest kjørefart.

I løpet av delstrekning 2, dvs. like før kurven, ser man derimot at gjennomsnittsfarten blir lavest for glatt i spor og at dette fortsetter gjennom hele kurven. Dette bekrefter også radarmålingene. Det må her nevnes at en av de to friksjonsmålingene på hard snø målte en høyere friksjonskoeffisient ( $\mu = 0,42$ ) enn den ene målingen på glatt i spor.

Radarmålingene langs rett strekning viser den samme tendensen som de manuelle registreringene. Det kan legges merke til at radaren på vinterføre (hard snø og glatt i spor) har registrert noe høyere gjennomsnittlig fart enn de manuelle registreringene. En mulig forklaring på dette kan være at trafikantene, på vinterføre, allerede på slutten av rett strekning vil begynne å tilpasse farten inn mot kurven og at antagelsen om en konstant hastighet langs rett strekning ikke stemmer på vinterføre med lav friksjon.

Radar 2 har gjennomgående, for alle friksjonsforhold, målt lavere gjennomsnittsfart enn de manuelle registreringene gjennom kurven. Dette er ikke uventet siden de manuelle registreringene baserer seg på en jevn hastighet over hele delstrekningen. Som tidligere nevnt er det antatt at den relative fartstilpasningen vil være størst like før inngang til kurven. Det at radar 2, som har målt farten like før inngangen til kurven, har målt lavere fart er med på å bekrefte denne antagelsen. Det vil derfor være naturlig å anta at på denne delstrekningen vil trafikantene foreta mesteparten av nedbremsingen fram mot radar 2 (inngang kurve).

Radar 3 har derimot målt høyere gjennomsnittlig fart enn gjennomsnittet fra utgang kurve. Dette er heller ikke uventet siden kjøretøyene allerede vil ha kunne startet akselerasjonen ut av kurven i punktet der radar 3 har målt. I første del av denne delstrekningen vil kurvens utforming fortsatt sette klare begrensninger til fartsvalget, noe som tilsier at gjennomsnittsfarten i utgang kurve vil bli noe lavere enn punktmålingene fra radar 3.

### 5.5 Friksjonstilpasset fart

Videre vil den relative fartstilpassing bli undersøkt. Relativ friksjonstilpasset fart vil da bli et kvantifiserbart mål på hvor stor fartstilpassingen er, og vil gjøre det mulig å sammenligne resultatene fra de ulike delstrekninger/radarer med hverandre.

Inngangsdata for beregning av relativ fartstilpassing blir dermed gjennomsnittlig målt hastighet på de ulike førebeskrivelsene. Standardavviket, som er et mål på datasettets spredning, er også vist i tabell 16.

Tabell 16: Gjennomsnittlig hastighet/standardavvik delstrekning/radar

Fart (km/t)	Tørr, bar	$\sigma$	Våt, bar	$\sigma$	Slaps	$\sigma$	Hard snø	$\sigma$	Is	$\sigma$	Bart i spor	$\sigma$	Glatt i spor	$\sigma$
Rett strekning	57,1	6,9	57,7	7,6	56,5	7,9	52,2	6,8	-	-	55,8	7,3	54,0	7,7
Like før kurve	52,5	6,5	53,5	7,3	49,7	6,6	46,2	5,5	-	-	47,2	5,9	44,4	5,6
Gjennom kurve	38,5	4,2	37,8	4,0	37,0	4,0	35,2	3,7	36,3	3,3	35,3	4,4	34,3	3,3
Utgang kurve	27,6	3,3	28,3	3,2	27,0	3,4	26,5	2,9	24,9	2,6	27,1	2,7	25,0	2,4
Radar 1	57,3	7,5	57,5	7,8	56,5	8,2	53,9	7,5	-	-	55,5	7,2	55,7	6,5
Radar 2	-	-	32,6	4,9	31,9	4,6	28,9	3,8	28,1	4,0	-	-	28,6	3,7
Radar 3	35,1	5,2	36,1	4,9	35,8	5,0	33,4	4,7	31,3	4,2	34,5	4,3	30,9	3,9

I tillegg til gjennomsnittlig målt hastighet har hver av delstrekningene/radarene en referanse som relativ fartstilpassing beregnes utfra. På rett strekning er dette bremselengden på tørr, bar veg, mens den i kurven er minste teoretiske sirkelkurve som kan passeres med den målte fart på tørr, bar veg. I tabell 17 er referansebremselengde ( $L_b$ ) og minste sirkelkurve ( $R_{ref}$ ) vist for de ulike delstrekningene/radarer. Relativ fartstilpassing på tørr, bar veg settes til 1,0.

Tabell 17: Referanse bremselengde/sirkelradius

Delstrekning/radar	Referanse bremselengde ( $L_b$ )	Referanse sirkelkurve ( $R_{ref}$ )
Rett strekning	17,8m	-
Like før kurve	15,1m	-
Gjennom kurve	-	16,2m
Utgang kurve	-	8,3m
Radar 1	17,9m	-
Radar 2	6,0m	-
Radar 3	-	13,5m

#### 5.5.1 Manuelle registreringer

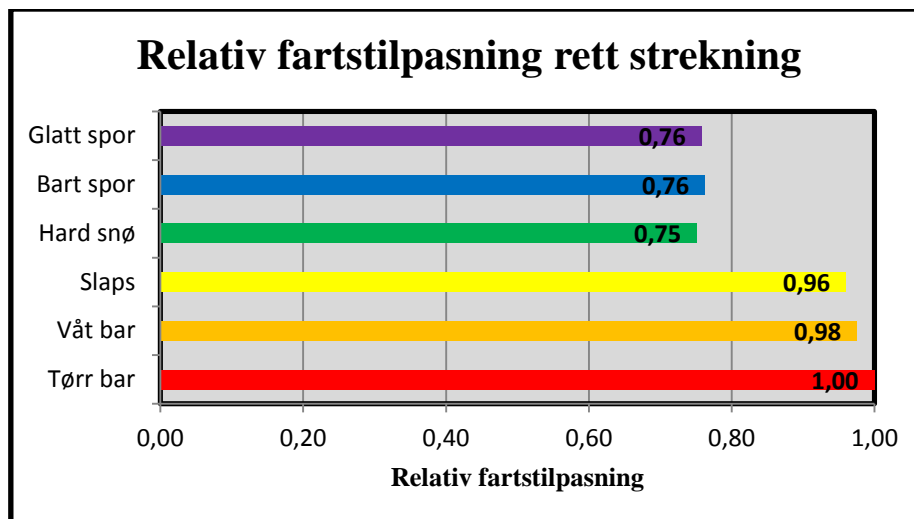
Av de manuelle registreringene foregår delstrekning 1 og 2 langs rett strekning, mens 3 og 4 skjer i kurven. Selv om første del av delstrekning 3 skjer langs rett strekning beregnes relativ fartstilpassing utfra minste sirkelkurve.



### 5.5.1.1 Rett strekning og like før kurve

Den gjennomsnittlige målte farten på tørr, bar veg er 57,1 km/t. Med en målt friksjon på 0,72 tilsvarer dette en beregnet bremselengde på ca. 17,8 m. Dermed legges dette som basis bremselengde for de andre føreforholdene langs rett strekning.

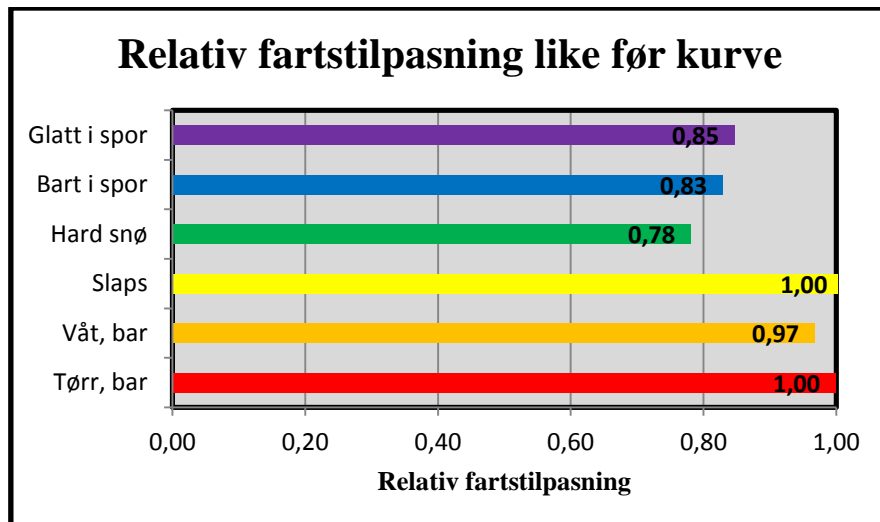
På hard snø var den målte kjørefarten 52,2 km/t. Friksjonen ble målt til 0,34. For å oppnå en bremselengde på 17,8m med denne friksjonen må farten være 38,9 km/t. Den relative fartstilpasningen på dette føret blir derfor 0,75 (38,9/52,2). Dette innebærer at den tilpassede farten kun utgjør 75 % av den målte farten.



Figur 37: Relativ fartstilpasning rett strekning

Figur 37 viser at den friksjonstilpassede farten er nesten fullt ut (100 %) tilpasset for føreforholdene våt, bar veg og slaps. Dette er ikke uventet siden det var små forskjeller i målt friksjonskoeffisient for disse førebeskrivelsene. For alle de tre førebeskrivelsene som kan klassifiseres som vinterføre ser man at den relative fartstilpasningen er omtrent like stor. Her velger trafikantene i gjennomsnitt en relativ fartstilpasning på 0,75. Siden det kun i særtilfeller vil være behov for friksjon, enten til å bremse eller akselerere, langs denne delstrekningen er det ikke uventet at farten ikke er fullt ut er friksjonstilpasset på vinterføre.

Delstrekning 2 omfatter strekningen like før kjøretøyene kommer inn i kurven. Her vil også kjøretøyene kun ha behov for bremsefriksjon enten for å bremse eller for å akselerere. Nå vil derimot behovet for bremsefriksjon bli større, spesielt på vinterføre, siden det må foretas en nedbremsing før man går inn i kurven. Tilgjengelig bremsefriksjon mellom vegoverflaten og gummidekket vil bestemme behovet, og nedbremsingen må starte tidligere desto glattere føreforholdene er.



Figur 38: Relativ fartstilpasning like før kurve

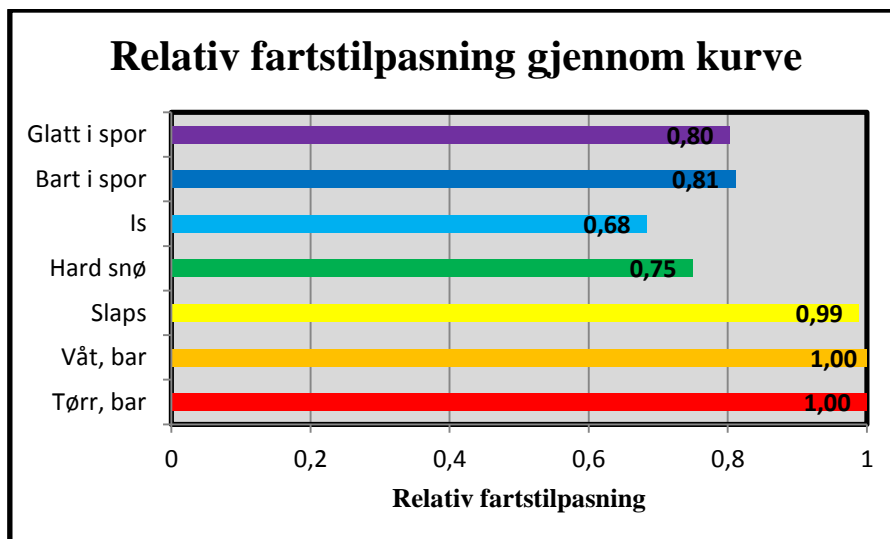
For førebeskrivelsene våt, bar veg og slaps ser man omtrent det samme resultatet som langs rett strekning, men man kan av figur 38 se at den relative fartstilpasningen er større på vinterføre like før kurven. Den største forskjellen er på føreforholdene bart i spor og glatt i spor. Her velges en relativ fartstilpasning som er hhv 7 og 9 % større enn langs rett strekning.

#### 5.5.1.2 Gjennom og utgang kurve

Resultatene for gjennom og utgang kurve baserer seg på minste sirkelkurve på tørr, bar veg som referanse på trafikantenes sikkerhetsmargin.

Den målte gjennomsnittsfarten på tørr, bar veg er 38,5 km/t gjennom kurven. Med en friksjonskoeffisient på 0,72 blir minste sirkelradius ( $R_{ref}$ ) 16,2m.

På is, med gjennomsnittlig friksjonskoeffisient på 0,30, er den målte farten 36,3 km/t. For å komme gjennom en sirkelkurve med radius på 16,2 m på dette føreforholdet blir tilpasset hastighet 24,9 km/t. Dermed blir den relative fartstilpasningen på is 0,68 (24,9/36,3). Dette betyr at den tilpassede farten kun er 68 % av trafikantenes valgte gjennomsnittsfart på denne førebeskrivelsen der referansen er minste teoretiske sirkelradius som kan passeres med målt fart på tørr, bar veg.

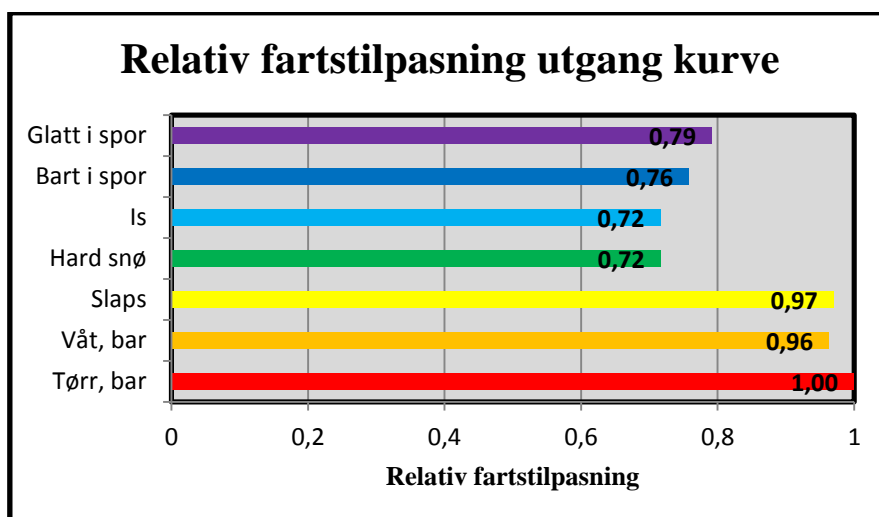


Figur 39: Relativ fartstilpasning gjennom kurve

For førebeskrivelsene våt, bar veg og slaps er farten så godt som fullt ut friksjonstilpasset etter friksjonsforholdene.

På vinterføre (hard snø, bart i spor og glatt i spor) ser man at relativ fartstilpasning er like stor eller større enn langs rett strekningen. Derimot ser man at den er noe mindre enn like foran kurven. Førebeskrivelsen is har ingen målinger langs rett strekning eller like før kurve.

Ved kurvens utgang er det forventet at den relative fartstilpasning er omtrent den samme som gjennom kurven, men at friksjonsforholdene setter klare begrensninger for hvilken kjørefart som kan velges siden akselerasjonen ut av kurven vil kunne starte tidligere dersom føreforholdene tillater det.



Figur 40: Relativ fartstilpasning utgang kurve

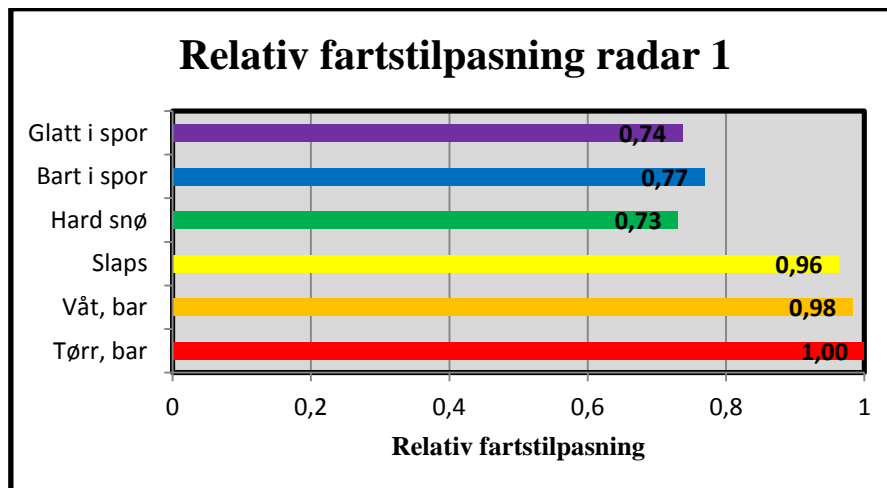
Resultatene viser små avvik sammenlignet med gjennom kurven. De største avvikene er en 4 % høyere relativ fartstilpasning på is og 5 % lavere relativ fartstilpasning for bart i spor. Det kan også nevnes at relativ fartstilpasning her er noe lavere på våt, bar veg og slaps enn

gjennom kurven. Dette kan skyldes en observasjon av mindre mengder fritt vann og slaps ved slutten av kurven.

## 5.5.2 Radarmålinger

### 5.5.2.1 Radar 1 (rett strekning)

Resultatene for radar 1 er målt omtrent midt på rett strekningen (delstrekning 1). Derfor forventes det at radar 1 gir omtrent de samme resultatene som de manuelle registreringene ga langs rett strekning, der det ble antatt at trafikantene kan holde en forholdsvis konstant hastighet over hele delstrekningen.

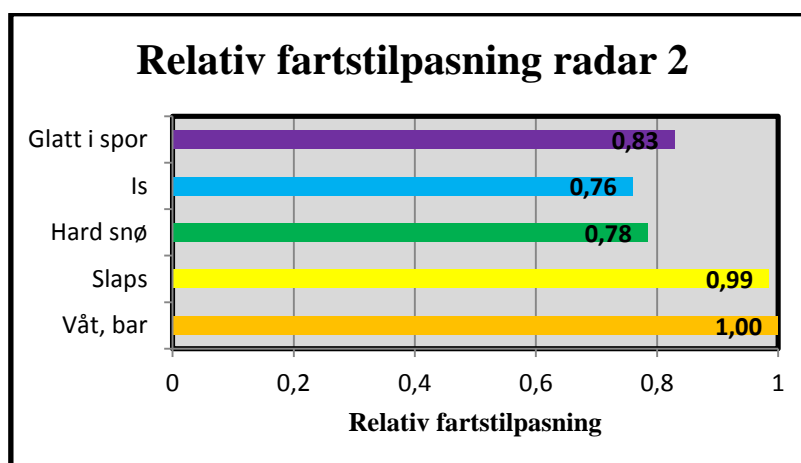


Figur 41: Relativ fartstilpasning radar 1

Som forventet ga radar 1 nesten identiske resultat som de manuelle registreringene langs rett strekning (se figur 37). De største avvikene er på førebeskrivelsene glatt i spor og hard snø. For begge har radarmålingene gitt en 2 % lavere relativ tilpasning.

### 5.5.2.2 Radar 2 (inngang kurve)

Siden radaren ikke inneholder resultater for tørr, bar veg er resultatet fremstilt relativt til trafikantenes fartsvalg på våt, bar veg som er satt til 1,0.

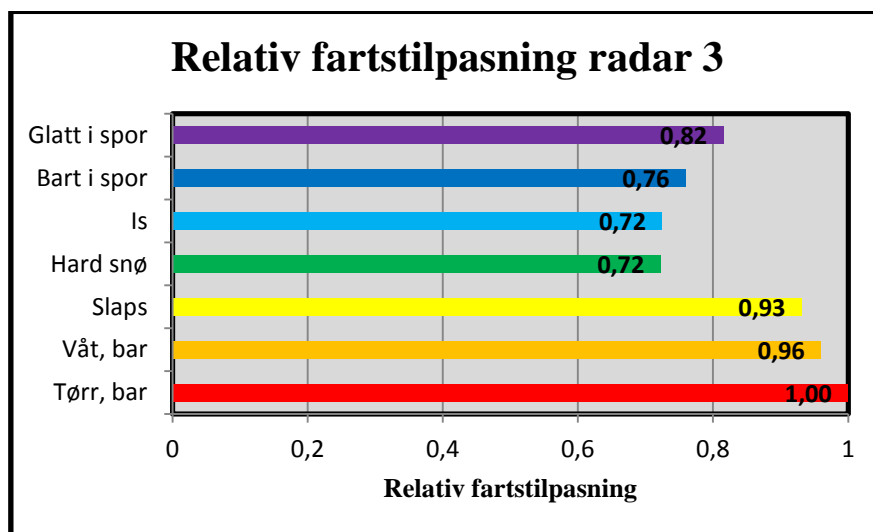


Figur 42: Relativ fartstilpasning radar 2

Resultatene viser at relativ fartstilpasning er høyere ved inngang kurven også for radarmålingene sammenlignet med rett strekning. Siden radaren ikke inneholder resultater for tørr, bar veg blir det ikke direkte mulig å sammenligne med de manuelle registreringene. I figur 38 viste de manuelle registreringene at relativ fartstilpasningen på våt, bar veg var 97 % av tørr, bar veg. Dermed vil det være naturlig å anta at relativ fartstilpasningene også for radarmålingene ville ha vært noe høyere dersom referansen hadde vært tørr, bar veg.

### 5.5.2.3 Radar 3 (utgang kurve)

Resultatene fra radar 3 er forventet å gi omtrent den samme relative fartstilpasning som de manuelle registreringene ved utgang kurve.



Figur 43: Relativ fartstilpasning radar 3

Som forventet viser radar 3 nesten identiske resultat som de manuelle registreringene ved utgang kurve. De største avvikene er på glatt i spor og slaps der radarmålingene hhv har vist en 3 % høyere og lavere relativ fartstilpasning.



## 6. Diskusjon av resultater

I kapittel 3.2 ble to grunnhypoteser lagt til grunn før arbeidet startet. I dette kapittelet vil resultatene fra kapittel 5 bli diskutert med utgangspunkt i de to hypotesene. For at en hypotese skal kunne forkastes må det gjennomføres statistiske undersøkelser. Resultatene i dette prosjektet vil derfor kun gi indikasjoner på trafikantenes fartsvalg til de rådende kjøreforhold, og eventuelle forskjeller mellom fartstilpasning på rett strekning og kurvatur.

### 6.1 Hypotese 1:

#### Tilpasses farten til de rådende kjøreforhold?

$H_0$ : Synlig vinterføre vil ikke ha noen innvirkning på trafikantenes fartsvalg

$H_1$ : På synlig vinterføre vil det skje en fartsreduksjon sammenlignet med kjøring på bar veg pga. trafikantenes visuelle og opplevde inntrykk av redusert friksjon

Resultatene fra kapittel 5 har vist at trafikantene kompenserer farten på synlig vinterføre, men at fartstilpasningen ikke er tilstrekkelig for å opprettholde samme sikkerhetsmargin (operasjonalisert i dette prosjektet som bremselengde på rett strekning og minste sirkelradius gjennom kurve) som på tørr, bar veg. Tabell 18 viser prosentvis fartsreduksjon for de ulike førebeskrivelsene sammenlignet med tørr, bar veg. Negative tall betyr at det har skjedd en fartsøkning.

Tabell 18: Prosentvis fartsreduksjon

	Tørr, bar	Våt, bar	Slaps	Hard snø	Is	Bart i spor	Glatt i spor
Rett strekning	0,0 %	-1,0 %	1,2 %	8,6 %	-	2,4 %	5,4 %
Like før kurve	0,0 %	-2,1 %	5,0 %	12,2 %	-	10,1 %	15,3 %
Gjennom kurve	0,0 %	1,8 %	3,9 %	8,4 %	5,9 %	7,8 %	11,0 %
Utgang kurve	0,0 %	-2,1 %	2,1 %	4,6 %	10,6 %	2,2 %	9,9 %
Radar 1	0,0 %	-0,3 %	1,3 %	5,9 %	-	3,1 %	2,7 %
Radar 2	-	0,0 %	2,2 %	11,2 %	13,9 %	-	12,4 %
Radar 3	0,0 %	-2,7 %	-2,0 %	4,9 %	11 %	1,9 %	12,1 %

Tilpasningen er større (kjørefarten senkes mer) når friksjonen er synlig lavere, som f. eks på hard snø, enn den er på mindre synlige føreforhold som kan gi lav friksjon som f. eks slaps. Dette kan skyldes et bevisst risikovalg ved kjøring på føreforhold med lav friksjon, men kan også være en indikasjon på trafikantenes mangel på kunnskap om hvordan endringer i friksjonsforholdene vil kunne påvirke f. eks bremselengdene.

I kapittel 2.6 ble det nevnt at analyser fra Statens vegvesen hadde vist at fuktighet på vegoverflaten kan halvere veggrepet. Der var det snakk om fuktig veg, ikke vann som flyter eller vann i spor. Resultatene i tabell 18 viser at trafikantene i liten grad reduserer farten på en våt vegbane. For enkelte delstrekninger/radarer er det målt en høyere gjennomsnittsfart på våt, bar veg enn tørr, bar veg. Selv om det var små forskjeller i gjennomsnittlig målt friksjonskoeffisient mellom tørr, bar veg og våt, bar veg i dette forsøket gir resultatene en klar indikasjon på at trafikanter i liten grad vil tilpasse kjørefarten dersom en vegoverflate blir våt.

En annen mulig forklaring kan selvsagt være at trafikantene synes sikkerhetsmarginen ved kjøring på tørr, bar veg generelt er for høy, og at fartsgrenser og andre forhold setter klare begrensninger til hvilken fart de velger.

Noe som i liten grad har vært diskutert i litteraturen om friksjon og vintervedlikehold er nettopp at fartsgrensene vil bidra til å hindre trafikantenes fartstilpasninger (Bjørnskau, 2011). Felles for dette prosjektet og tidligere undersøkelser er at farten på vinterføre har blitt sammenlignet med farten på tørr, bar veg. Derfor er det ikke tatt hensyn til at farten på tørr, bar veg i stor grad vil være bestemt av fartsgrensen sammenlignet med kjøring ved vanskelige føreforhold som snø og is. Høyere fartsgrense vil derfor trolig gi større fartstilpasninger til dårlige føreforhold (Bjørnskau, 2011).

I litteraturundersøkelsen (kapittel 2.7) ble det sett på at fartsreduksjoner på vinterføre vil være størst ved fartsgrense 80 km/t. En undersøkelse av Sakshaug (1986) viste at endringen i gjennomsnittsfart mellom vinter- og sommerføre ved fartsgrense 60 km/t var en fartsreduksjon på 2,7 km/t. I dette forsøket har det ikke blitt gjennomført fartsmålinger på sommerføre, men ved å benytte fartsmålingene på tørr, bar veg (vinter) som en referanse viser resultatene en fartsreduksjon på nøyaktig 2,7 km/t langs rett strekning på vinterføre. Her har farten på vinterføre blitt definert som gjennomsnittet av målingene på hard snø, bart i spor og glatt i spor, dvs. alle vinterførene som har blitt registrert langs rett strekning.

## 6.2 Hypotese 2:

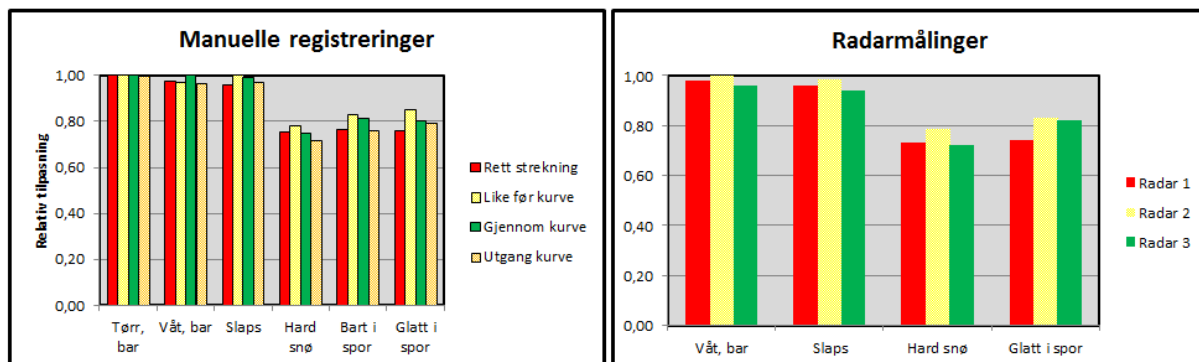
**Er det forskjell på trafikantenes fartstilpasning langs et vegprofil som består av både rett strekning og kurvatur?**

*H<sub>0</sub>: Det er ingen forskjell i trafikantenes fartstilpasning i kurvaturer og på rette strekninger*

*H<sub>1</sub>: Trafikanter utfører en større grad av fartstilpasning like før, eller i kurver, sammenlignet med på rette strekninger*

I kapittel 3.2 ble det antatt trafikantene utfører en større grad av fartstilpasning like før, eller i kurver, sammenlignet med på rette strekninger. I figur 44 er derfor trafikantenes relative fartstilpasning (resultater fra kapittel 5.5) slått sammen. Her er kun de førebeskrivelsene som er registrert langs hele registreringsområdet tatt med. Dvs. at førebeskrivelsen is, som ikke er registrert langs rett strekning, er utelatt. For radarmålingene er kun de 4 førebeskrivelsene som er registrert på alle de tre radarene tatt med.





Figur 44: Relativ fartstilpasning over registreringsområdet

Som man kan se av figur 44 er den relative fartstilpasningen nesten fullt ut tilpasset (over 90 %) for førebeskrivelsene våt, bar veg og slaps. Dette skyldes at det var små forskjeller i gjennomsnittlig målt friksjonskoeffisient (0,72-0,65) for de tre førebeskrivelsene og at det derfor er lite behov for noen fartstilpasning.

Det som er mest interessant er derfor å studere fartstilpasningene på vinterføre, dvs. hard snø, bart i spor og glatt i spor. Som antatt bekrefter figur 44 at den relative fartstilpasningen er større (eller like stor) like foran eller i kurven sammenlignet med rett strekningen for de manuelle registreringene. Langs rett strekning har førebeskrivelsen hard snø en relativ fartstilpasning på 0,75, mens bart i spor og glatt i spor begge har en relativ fartstilpasning på 0,76. Like før kurven øker trafikantenes gjennomsnittlige relative fartstilpasning til 0,78 på hard snø, 0,83 på bart i spor og 0,85 på glatt i spor. Gjennom kurven avtar relativ fartstilpasning noe (hard snø = 0,75, bart i spor = 0,81 og glatt i spor = 0,80), men den er fortsatt høyere (eller like stor) som på rett strekning.

Radarmålingene viser den samme tendensen. På rett strekning (radar 1) er relativ fartstilpasning hhv 0,73 og 0,74 for hard snø og glatt i spor. Resultatene fra radar 2 som har målt farten ved inngangen til kurven har hhv en relativ fartstilpasning på 0,78 og 0,83 for hard snø og glatt i spor. Siden resultatene fra radar 2 har brukt målt fart på våt, bar veg som referanse er det naturlig å anta at den relative fartstilpasning ville ha vært enda noe høyere dersom referansen hadde vært tørr, bar veg.

Ved utgang kurve er også relativ fartstilpasning høyere på vinterføre enn langs rett strekning. Unntaket er for førebeskrivelsen hard snø som har registrert en lavere relativ fartstilpasning ved utgang kurve enn langs rett strekningen. Hard snø er den førebeskrivelsen (bortsett fra is) som har målt lavest gjennomsnittlig friksjonskoeffisient ( $\mu = 0,34$ ) og vil også tydeligst gi trafikantene signaler om at friksjonen er lav. Dette kan føre til at fartsreduksjonen starter på et tidligere tidspunkt og at farten ut av kurven relativt kan bli høyere.

Kort oppsummert viser altså resultatene fra dette forsøket en større, eller like stor, relativ fartstilpasning like før og gjennom kurven sammenlignet med relativ fartstilpasning på rett strekning på vinterføre. Fortsatt er ikke fartstilpasningen stor nok til å kompensere for mindre tilgjengelig friksjon, men den vil være større enn tidligere antatt basert på undersøkelser

gjennomført kun på rette strekninger. Dette er med på å bevise at trafikantenes fartstilpasning vil avhenge av behovet for friksjon. Like foran og ved inngang til kurven vil behovet for (bremse)friksjon være størst og det er også her resultatene har vist at trafikantenes relative fartstilpasning er høyest på de fleste føreforholdene.

### 6.3 Friksjon, fart og risiko

Utgangspunktet for å ta i bruk salt i vintervedlikeholdet var fremkommelighetshensyn, men det har vært stor usikkerhet knyttet saltingens innvirkning på trafikkulykkene. Tidligere undersøkelser i Norden har gitt indikasjoner på at vinterføre er farligere desto sjeldnere det opptrer (Norem, 2009). Dette betyr at dersom man ikke makter å fjerne snø/is fra vegoverflaten gjennom vintervedlikeholdet vil risikoen på denne delen av vegnettet øke desto oftere vegoverflaten er bar. Dermed vil salting, som fører til at mer av trafikken foregår på bar veg som utilsiktet konsekvens kunne føre til at strekninger som ikke saltes, eller der saltingen ikke fjerner snø/is, får høyere risiko.

Bar-veg strategien med salting vil bedre friksjonen, og bedre friksjon vil trolig redusere antallet ulykker (Bjørnskau, 2011). Derimot har tidligere undersøkelser vist at dersom man unngår å salte vil man kunne oppnå så store fartsreduksjoner at det vil være gunstig fra en nullvisjonstanke ikke å salte vegen (Bjørnskau, 2011). Selv om ikke antallet ulykker vil minke vil det å redusere kjørefarten trolig føre til at alvorlighetsgraden ved ulykkene vil bli mindre. Sett ifra et nullvisjonsperspektiv er det ønske om at de mest alvorlige ulykkene, hardt skadde eller drepte, som skal reduseres. Redusert kjørefart vil trolig redusere mulighetene for dødsulykker.

Selv om registreringsområdet i dette prosjektet driftes etter bar-veg strategien, har noen av målingene blitt gjennomført med snø/is på vegoverflaten, dvs. typiske føreforhold under vinterveg strategien. Dvs. det er perioder der vintervedlikeholdet ikke makter å fjerne snø/is fra vegoverflaten. Det at trafikantenes relative fartstilpasning blir mindre desto lavere friksjonen er vil være en indikasjon på at sjeldent forekommende vinterføre medfører en høyere ulykkesrisiko.

Med bakgrunn i dette står man overfor to utfordringer når det kommer til dimensjonering av vintervedlikeholdet:

- 1) Er farten så mye høyere på veger med god friksjon at det eliminerer den gunstige effekten bedre friksjon har på antall ulykker?
- 2) Vil risikoøkningen på sjeldent forekommende vinterføre være større enn den gunstige effekten på antallet ulykker ved å fjerne snø og is fra vegoverflaten?

Resultatene fra dette prosjektet viser at trafikantene, uansett føreforhold, velger i gjennomsnitt en kjørefart langs rett strekningen som ligger oppunder fartsgrensen. Dette kan være med å bekrefte antagelsen om at fartsgrensen, i dette tilfelle, er den avgjørende faktoren for hvilket fartsnivå som blir valgt, spesielt på føreforhold med høy friksjon. Fartsgrensens innvirkning på trafikantenes fartsvalg på føreforhold med høy friksjon vil for dette prosjektet dermed føre til at farten ikke vil bli så mye høyere at den gunstige effekten bedre friksjon har på antallet ulykker elimineres.

Derimot viser også resultatene at trafikantenes relative fartstilpasning blir mindre på sjeldent forekommende vinterføre langs Utleirvegen. Dette er en indikasjon på at trafikantene vil velge å kjøre med lavere sikkerhetsmargin på sjeldent forekommende vinterføre. Denne risikoøkningen vil dermed kunne redusere noe av den gunstige effekten det å fjerne snø og is fra vegoverflaten har på ulykkestallet.

Forholdet mellom fart og risiko er veldokumentert i forskningslitteraturen (Backer-Grøndal, 2009). En 5 % fartsøkning vil gi en 10 % økning i antall ulykker og 25 % økning i antall døde. Dybdeundersøkelser av alle dødsulykker i Norge fra 2005 har vist at i hver femte ulykke er fart en vesentlig årsak, og i hver tredje ulykke har det vært moderate fartsoverskridelser, enten etter fartsgrensen eller etter forholdene (Backer-Grøndal, 2009).

Ulykker vil inntreffe uansett hvordan vintervedlikeholdet gjennomføres. Derfor vil det være viktig å informere trafikantene om føreforholdene slik at de kan tilpasse farten etter forholdene. For å studere trafikanters fartstilpasning sammenlignet med ulike fartsgrenser er en mulighet å innføre egne vinterfartsgrenser både for å informere om dårligere friksjon og for å få trafikantene til å kjøre saktere. Ved å benytte variable fartsgrenser, også på tørr, bar veg, vil man kunne få et inntrykk av fartsgrensens påvirkning på fartsvalget. Fartsvalget på tørr, bar veg vil kunne ha noe å si for trafikantenes fartsvalg på glatt føre. Tidligere undersøkelser har vist at trafikantene kjører fortere på glatt føre desto høyere fartsnivået er under gode kjøreforhold (Vaa, 1995).



## 7. Oppsummering og konklusjon

I dette kapitlet oppsummeres resultatene, det ses på muligheter for videre arbeid innenfor det samme feltet før det til slutt blir gitt en oppsummerende konklusjon.

### 7.1 Oppsummering av resultatene

I dette prosjektet har det blitt gjennomført friksjons- og fartsmålinger. Hver registrering har også fått sin egen førebeskrivelse, og i løpet av de 10 registreringsdagene har det blitt observert 7 forskjellige førebeskrivelser.

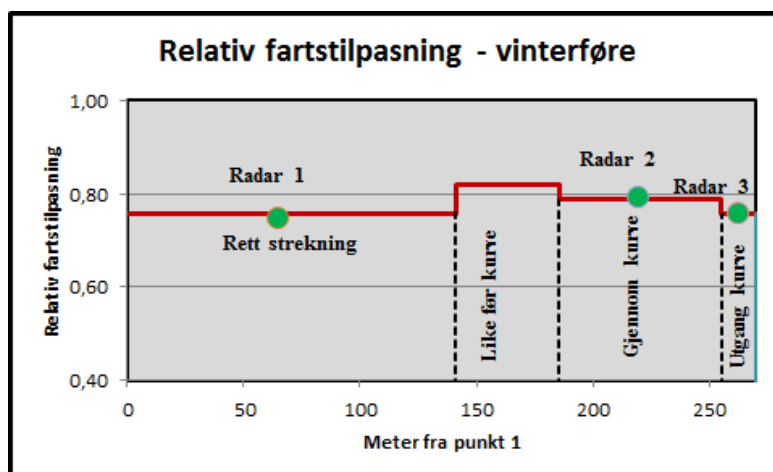
På tørr, bar veg ble det i gjennomsnitt målt en friksjonskoeffisient  $\mu$  på 0,72.

Førebeskrivelsene is og hard snø har målt lavest friksjonskoeffisient  $\mu$  på hhv 0,30 og 0,34.

De målte friksjonsverdiene på ulike føreforhold virker rimelige sammenliknet med andre undersøkelser, deriblant Vinterfriksjonsprosjektet.

Fartsmålingene inneholder to separate datasett. Det ene baserer seg på strekningshastigheter (manuelle registreringer) langs fire delstrekninger, mens det andre på punkthastigheter (radarmålinger) i tre punkt langs registreringsområdet. Det har vært bra samsvar mellom datasettene og begge har vist at trafikantene reduserer farten på vinterføre sammenliknet med kjøring på bar veg. Denne fartsreduksjonen er derimot ikke tilstrekkelig for å opprettholde samme sikkerhetsmargin (operasjonalisert i dette prosjektet som bremselengde på rett strekning og minste sirkelradius gjennom kurve) som ved kjøring på tørr, bar veg. For førebeskrivelsene tørr- og våt, bar veg samt slaps har fartsmålingene kun vist marginale forskjeller i fartsnivå.

Fartsmålingene har vist at den relative fartstilpasningen i gjennomsnitt på vinterføre er like stor, eller større, like foran og i kurven sammenliknet med på rett strekning. Unntaket har vært på hard snø der relativ fartstilpasning er lavest ved utgang kurve. Langs rett strekning har den relative fartstilpasningen i gjennomsnitt (for alle vinterførene) vært 0,76, mens den like før og gjennom kurven stiger til i overkant av 0,80. Ved utgang kurve er den relative fartstilpasningen i gjennomsnitt lik som langs rett strekningen på vinterføre. Dette innebærer at (100 %) friksjonstilpasset fart på vinterføre i gjennomsnitt kun er i området 0,76-0,82 av trafikantenes valgte gjennomsnittsfart.



Figur 45: Gjennomsnittlig relativ fartstilpasning på vinterføre

## 7.2 Erfaringer fra gjennomføringen

Siden dette arbeidet har vært et forprosjekt vil det naturligvis være forbedringsmuligheter ved deler av gjennomføringen.

Valg av målepunkt langs registreringsområdet ble gjort tidlig i arbeidsprosessen. I ettertid har det vist seg at å bruke flere punkt ville ha gitt større muligheter for å undersøke hvor fartstilpasningene skjer. Dette gjelder spesielt like foran kurven der det har blitt observert at den relative fartstilpasningen er størst. Flere målepunkter ville bl.a. ha gitt et større grunnlag for å skille mellom når nedbremsingen starter på ulike føreforhold.

Bruk av radarer førte til noe ekstra arbeid. I tillegg til å gjennomføre friksjonsmålinger har det også gått med noe tid til å koble opp radarene. Derfor har det vært behov for en del forarbeid før hver registrering kunne starte. Dette forarbeidet har for enkelte av registreringsdagene tatt opp mot to timer noe som har vært kritisk siden føreforholdene, spesielt dersom det var synlig vinterføre, endret seg raskt. Dette bl.a. pga. bar-veg strategien og fordi solinnstrålingen fort vil ha stor innvirkning på en delvis bar vegoverflate i mars måned. Det har også gått med noe tid til etterarbeid, bl.a. til å gjennomføre nye friksjonsmålinger og tapping av radarer.

Dersom lignende registreringer skal gjennomføres ved en senere anledning anbefales det derfor at flere bør være tilstede. F. eks en til å gjøre manuelle fartsmålinger mens en annen til å kontrollere radarene samt gjennomføre kontinuerlige friksjonsmålinger underveis mens fartsmålingene pågår.

## 7.3 Videre arbeid

Dette arbeidet kan ses på som et forprosjekt for å undersøke eventuelle forskjeller i trafikanters fartstilpasning langs rett strekning og i kurvatur. Videre arbeid vil derfor naturlig være rettet mot å se på fartstilpasninger ved ulike fartsgrenser, kurvaturer og en videreføring av metodebruken.

Metodikkbruken for beregning av relativ fartstilpasning langs rett strekning er gjennomført på lignende måte som i tidligere undersøkelser. I kurven, hvor det er gjort lite forskning på trafikanters fartstilpasning tidligere, er det derimot gjort noen forenklinger i dette prosjektet. Et videre arbeid vil derfor kunne være å se på kurver med dosering, og der man antar at kjøretøyene må foreta oppbremsing i gjennom kurven. Kurver med dosering vil tillate høyere hastigheter gjennom kurven uten at det oppstår skrens siden doseringen vil motvirke tverrkraften som virker på kjøretøyets føring og komfort. Er det nødvendig å foreta en brems gjennom kurven vil derimot behovet for friksjon bli større (både bremsefriksjon og sidefriksjon) og kritisk hastighet gjennom kurven blir mindre.

Utfordringer knyttet til vintervedlikehold og salting er mange, deriblant at bedre friksjon normalt fører til økt fart, som igjen fører til mer alvorlige ulykker dersom ulykker inntreffer. Nyere undersøkelser anbefales derfor både å registrere trafikanters fartstilpasning som en følge av ulike føreforhold og vintervedlikehold. F. eks teststrekninger der vintervedlikeholdet varieres. Dersom det er mulig bør også ulykkesdata innsamles og undersøkes, og det vil være viktig å kartlegge alvorlighetsgraden av ulykkene. Det er gjerne de mindre alvorlige ulykkene, kun med materiell skade, som det er vanskeligst å få oversikt over siden de i mindre grad blir

rapportert. Slike undersøkelser vil gjøre det mulig å studere nettoeffekter vinterføre og vintervedlikehold har på alvorlige ulykker. Høyere ulykkesrisiko, som en følge av dårligere friksjon, må avveies mot lavere alvorlighetsgrad som følge av lavere fart.

Dette prosjektet har totalt registrert 996 kjøretøy manuelt og mellom 3000-4000 kjt med radarmålinger. Utfra forutsetningene som ble lagt for dette prosjektet har datagrunnlaget vært større enn først antatt. Dette skyldes i første rekke at det ble mulig å gjennomføre radarmålinger som et supplement til de manuelle registreringene.

Som et videre arbeid bør derimot datagrunnlaget økes betraktelig. Siden dette prosjektet har vist at det er små variasjoner mellom radarmålingene og manuelle registreringene gir det derfor muligheter for kun å basere fremtidige undersøkelser på radarmålinger (eller andre automatiske fartsmålinger). Dette vil kreve lite manuelt arbeid under registreringene, der det eneste som må gjøres er å ha jevn kontroll på radarene. Prosjekt som går over en hel (eller flere) vintersesonger bør derfor være mulig å gjennomføre.

Hvordan automatisk å klassifisere føreforholdene er også en mulig videreføring av dette prosjektet. Kan det finnes klarere sammenhenger mellom målt friksjon og føreforhold. Dvs. at ved å måle friksjonen, samt dokumentasjon med bilder, automatisk vil gi muligheten til å klassifisere føreforholdene.

Et mulig videre arbeid vil også kunne være rettet mot å informere trafikantene om friksjon og føreforhold. Dersom varsling om en glatt vegbane gir fartsreduksjoner kan dette være med på å redusere det fremtidige behovet for vegsalt.

Nedenfor er det gitt en kort oppsummering av anbefalinger/muligheter knyttet til videre studier innenfor det samme fagfeltet:

- Videreføring av metodebruken (f. eks svinger med dosering)
- Studere nettoeffekter vinterføre og vintervedlikehold har på alvorlige ulykker. Høyere ulykkesrisiko pga. dårligere friksjon må avveies mot lavere alvorlighetsgrad som en konsekvens av lavere fart.
- Utvidelse av datagrunnlaget, f. eks prosjekt som går over en hel (eller flere) vintersesonger
- Sammenligninger av ulike registreringsområder med lignende utforming men ulikt vintervedlikehold
- Gjennomføre undersøkelser på samme registreringsområdet der fartsgrensen og vintervedlikeholdet kan varieres. F. eks bruk av vinterfartsgrenser. Dette vil gjøre det mulig å studere fartsgrensens påvirkning på fartsvalget ved ulike føreforhold
- Automatisk klassifisering av føreforhold utfra f. eks målt friksjon
- Varsling til trafikantene om glatte føreforhold. En fartsreduksjon, som en følge av varsling, vil kunne være med på å redusere det fremtidige behovet for vegsalt.

## 7.4 Konklusjon

I løpet av mars 2013 ble det gjennomført 10 registreringer langs Utleirvegen i Trondheim. Fart og friksjon har blitt målt samt at hver registrering inneholder en førebeskrivelse. Hovedformålet har vært å se på om trafikantene tilpasser farten når friksjonen på vegen reduseres, og om trafikantene har mer, mindre eller tilsvarende fartstilpasning i kurvaturer som på rette strekninger.

De målte friksjonsverdiene på ulike føreforhold virker rimelige sammenliknet med tidligere undersøkelser, deriblant Vinterfriksjonsprosjektet. Høyest friksjon ( $\mu=0,72$ ) er målt på tørr, bar veg, mens førebeskrivelsene is ( $\mu=0,30$ ) og hard snø ( $\mu=0,34$ ) har målt lavest friksjonskoeffisient.

Fartsmålingene viser at trafikantene tilpasser farten til føreforholdene når friksjonen reduseres. Denne fartsreduksjonen er derimot ikke tilstrekkelig for å opprettholde samme sikkerhetsmargin (operasjonalisert i dette prosjektet som bremselengde på rett strekning og minste sirkelradius gjennom kurve) som ved kjøring på tørr, bar veg.

Resultatene viser at trafikantene i gjennomsnitt kjører med en 3-9 % lavere hastighet langs rett strekning på synlig vinterføre (hard snø, bart i spor osv.) sammenliknet med på tørr, bar veg. Denne fartsreduksjonen innebærer at trafikantenes relative fartstilpasning på vinterføre i gjennomsnitt er 0,76 langs rett strekning. Dette betyr at den tilpassede farten (på det aktuelle føreforholdet) i gjennomsnitt kun er 76 % av trafikantenes valgte kjørefart på vinterføre.

Fartstilpasningen er noe større like foran kurven der trafikantene i gjennomsnitt reduserer farten med ca. 10-15 % på vinterføre sammenliknet med på tørr, bar veg. Resultatene viser også forskjeller i trafikantenes grad av fartstilpasning i kurvaturer og på rette strekninger. De manuelle registreringene viser at den relative fartstilpasningen er like stor, eller større, like før kurve og i kurven sammenliknet med på rett strekning. På bart i spor og glatt i spor er relativ fartstilpasning hhv 7 og 9 % større like før kurve sammenliknet med rett strekning. I gjennomsnitt er trafikantenes relative fartstilpasning like før, og gjennom, kurven i overkant av 0,80 på vinterføre.

Radarmålingene viser den samme tendensen. Radar 2, der referansen har vært våt, bar veg, gir hhv en 9 og 5 % større relativ fartstilpasning på føreforholdene glatt i spor og hard snø enn radar 1.

Kort oppsummert viser altså resultatene fra dette forsøket en større, eller like stor, relativ fartstilpasning like før og gjennom kurven sammenliknet med relativ fartstilpasning på rett strekning på vinterføre. Fortsatt er ikke fartstilpasningen stor nok til å kompensere for mindre tilgjengelig friksjon, men resultatene gir indikasjoner på at den vil være større enn tidligere antatt basert på undersøkelser gjennomført kun på rette strekninger.



## Referanser

Alger, R. G., Adams, E. E. & Beckwith, E. P., 1994. *Anit-Icing Study: Controlled Chemical Treatments*, Michigan: Michigan Technological University.

Amundsen & Bjørnskau, 2003. *Utrygghet og risikokompensasjon i transportsystemet*, Oslo: TØI rapport 622/2003.

Assum, T., 2007. *Evaluering av Nullvisjonsprosjektet på Lillehammer*, Oslo: TØI-rapport 894/2007.

Backer-Grøndal, 2009. *Fartsvalg i trafikken: holdninger, kunnskap og atferd*, Oslo: TØI-rapport 1005/2009.

Bjørnskau, T., 2011. *Sikkerhetseffekter av salting*, Oslo: TØI-rapport 1171/2011.

Bjørnskau & Vaa, 2002. Oslo: TØI-rapport 607/2002: *Fart, følelser og risiko*.

Deicing fact sheets, 2009. *Deicing Practies*, s.l.: Airport Cooperativ Research Program.

Elert, G., 2011. *The Physics Hypertextbook*. [Internett]  
Available at: <http://physics.info/friction/summary.shtml>  
[Funnet 25 januar 2013].

Elvik, Christensen & Amundsen, 2004. *Evaluering av Potensmodellen*, Oslo: TØI-rapport 740/2004.

Fridstrøm, L. & Elvik, R., 2011. *Sikkerhetseffekter av salting*, Oslo: TØI-rapport 1171/2011.

Giæver, T., Lindland, T. & Vaa, T., 2006. *Vinterdrift/TS Lillehammer Sluttrapport*, Trondheim: SINTEF.

Google, 2013. *Googlemaps*. [Internett]  
Available at: <http://maps.google.com/>  
[Funnet 8 mars 2013].

Hjälmdahl, 2004. *In-vehicle speed adaptation*, Lund: Lunds tekniska högskola.

Horvli, I., Mork, H. & Lerfald, B. O., 2006. *Forsøksfelt på E6 ved Klett*, Trondheim: SINTEF.

Høye, A., Elvik, R. & Sørensen, M. W., 2011. *Trafikksikkerhetsvirkninger av tiltak*, Oslo, Transportøkonomisk institutt: TØI-rapport 1157/2011.

Inside racing technology, 2004. *Inside racing technology*. [Internett]  
Available at: <http://insideracingtechnology.com/tirebkexerpt1.htm>  
[Funnet 28 januar 2013].

Johnsen, J., 2012. <http://www.flickr.com>. [Internett]  
Available at: <http://www.flickr.com/photos/joranjohnsen/7450233486/>  
[Funnet 28 februar 2013].

- Klein-Paste, 2012a. *Overview of winter maintenance*, Trondheim: NTNU.
- Klein-Paste, 2012b. *Strategies for winter maintenance*, Trondheim: NTNU.
- Klein-Paste, 2012c. *Road Salting Theory*, Trondheim: NTNU.
- Klein-Paste, 2012d. *Tire-Pavement Friction*, Trondheim: NTNU.
- Klein-Paste & Nonstad, 2011. *Kapittel 5 Friksjon*, Trondheim: Statens vegvesen.
- Larsen, Ø. et al., 2011. *Kapittel 12 Vinterdrift*, Trondheim og Island: Statens vegvesen og Vegsyn (Island).
- Nonstad, B., 2007. *Test av Dynatron Road friksjonsmåler*, Trondheim: Statens vegvesen.
- Norem, H., 2009. *Selection of Strategies for Winter Maintenance of Roads Based on Climatic Parameters*, Trondheim: NTNU.
- OECD, 1990, side 14. *Behavioural adaptations to changes in the road transport system*, s.l.: OECD scientific expert group.
- OECD, 1990. *Behavioural adaptations to changes in the road transport system*, s.l.: OECD scientific expert group.
- Radar449, 2003. *Brukerveiledning ver.3.0*, s.l.: s.n.
- Ragnøy, A., 2008. *Fart, føre og friksjon*, Oslo: Statens vegvesen.
- Ragnøy, A. & Fridstrøm, L., 1999. *Vinterfartsgrenser*, Oslo: TØI rapport 462/1999.
- Sagberg et al., 2002. *Faktorer som påvirker bilisters kjørefart*, Oslo: TØI-rapportutkast 601/2002.
- Sagberg, F., 2003. *Påvirkning av bilførere gjennom utforming av vegsystemet*, Oslo: TØI-rapport 648/2003.
- Sakshaug, K., Moltumyr, T., Rennemo, O. M. & Vaa, T., 2006. *Sammenheng mellom ulykkesfrekvens, skadekostnad og føre- og friksjonsforhold*, Trondheim: Sintef.
- Sierzega Elektronik GmbH, 2006. *SierZega product manual*, s.l.: Sierzega Elektronik GmbH.
- Sikker trafikk, 2009. [www.sikkertrafikk.no](http://www.sikkertrafikk.no). [Internett]  
Available at: <http://www.sikkertrafikk.no/Ung-Skrens.htm>  
[Funnet 15 februar 2013].
- Statens vegvesen, 2008. *Håndbok 265: Linjeføringsteori*, Oslo: Vegdirektoratet, Teknologiavdelingen.
- Statens vegvesen, 2009. *Håndbok 281: Veileder i trafikkdata*, Oslo: Statens vegvesen teknologiavdelingen.

Statens vegvesen, 2011. *Håndbok 281*, Trondheim/Oslo: Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen.

Statens vegvesen, 2012a. *Standard for drift og vedlikehold av riksveger*, Oslo: Statens vegvesen.

Statens vegvesen, 2012b. *Fart etter forholdene*. [Internett]

Available at: <http://www.fotball.no/Kretser/haalogaland/Trafikk-og-Fotball/2012/Fart-etter-forholdene/>

[Funnet 2 mai 2013].

Trafikksikkerheshåndboken, 2000a. *Definisjoner og ordforklaringer*, Oslo: Transportøkonomisk institutt.

Trafikksikkerheshåndboken, 2000b. *Trafikksikkerheshåndboken kapittel 4*, Oslo: tØi.

Vaa, Berge, Glad & Sagberg, 2001. *Utvikling av en modell for bilførerers atferd*, Oslo: TØI-rapport 503/2000.

Vaa, T., 1995. *Salting og trafikksikkerhet. Del 2: Sammenligning av ulykkesfrekvens på saltet og usaltet vegnett. Saltingens effekt på kjørefart.*, Trondheim: Statens vegvesen.

Vaa, T. et al., 2002. *Faktorer som påvirker kjørefart*, Trondheim: TØI-rapport 601/2002.

ViaTech, u.d. *ViaFriction winter*, Kongsberg: ViaTech-Friksjonsmålesystem.

Waal, R. & Haugen, T., 2005. *Dynamiske Informasjonstjenester for Transportsektoren*, Trondheim: SINTEF Teknologi og samfunn.

Wikipedia, 2012. [www.wikipedia.no](http://www.wikipedia.no). [Internett]

Available at: <http://nn.wikipedia.org/wiki/Slaps>

[Funnet 28 februar 2013].

Wilde & Trimpop, 1994. *Challenges to accident prevention*, Groningen: Styx publications.



## Vedlegg

### Vedlegg 1: Oppgavetekst masteroppgave

#### BAKGRUNN

Vegtrafikklovens paragraf 3 sier at enhver skal ferdes hensynsfullt og være aktpågivende og varsom så det ikke kan oppstå fare eller voldes skade og slik at annen trafikk ikke unødig blir hindret eller forstyrret. Dette innebærer blant annet at valg av fart må tilpasses friksjonsforholdene på vegen (fartstilpasning).

Flere studier har blitt utført hvor fartstilpasning har blitt undersøkt på rette stekninger. Disse studiene viser at trafikanten reduserer farten noe når friksjonen på vegen reduseres, men på langt nær tilstrekkelig til å opprettholde den samme bremsestrekning dersom man må foreta en bråbrems.

Fartstilpasning i kurvaturer er derimot langt mindre forsket på. Forskjellen mellom en rett strekning og en kurve er at i en kurve trenger kjøretøyet alltid friksjon, mens på en rett strekning trenger man kun friksjon når man skal bremse eller akselerere. Det vitenskapelige spørsmålet som kommer opp nå er om trafikanten har mer, mindre eller tilsvarende fartstilpasning i kurvaturer som på rette strekninger.

#### OPPGAVE

Kandidaten skal i denne oppgaven studere føreres fartsvalg under ulike friksjonsforhold på både rette strekninger og i kurver. Kandidaten skal:

- Gjennomføre et litteraturstudium for å få en oversikt over relevant forskning knyttet til vinterforhold, vinterdrift, friksjonsforhold, fartsvalg og ulykker.
- Planlegge og gjennomføre en studie for å kartlegge ulike friksjonsforhold og føreres fartsprofil langs en strekning som består både av en rett strekning og en kurve.
- Analysere de innsamlede data for å se hvorvidt førere foretar fartstilpasning ut fra friksjonsforholdene, og videre for å se om fartstilpasningen er ulik på rett strekning og i kurve.
- Diskutere funnene ut fra et kombinert trafikksikkerhetsmessig og vinterdriftsmessig perspektiv.
- Diskutere metodebruken og komme med anbefalinger knyttet til videre studier innen dette feltet.

## GENERELT

Oppgaveteksten er ment som en ramme for kandidatens arbeid. Justeringer vil kunne skje underveis, når en ser hvordan arbeidet går. Eventuelle justeringer må skje i samråd med faglærer ved instituttet.

Ved bedømmelsen legges det vekt på grundighet i bearbeidningen og selvstendigheten i vurderinger og konklusjoner, samt at framstillingen er velredigert, klar, entydig og ryddig uten å være unødig voluminøs.

Besvarelsen skal inneholde

- standard rapportforside (automatisk fra DAIM, <http://daim.idi.ntnu.no/>)
- tittelside med ekstrakt og stikkord (mal finnes på siden <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>)
- sammendrag på norsk og engelsk (studenter som skriver sin masteroppgave på et ikke-skandinavisk språk og som ikke behersker et skandinavisk språk, trenger ikke å skrive sammendrag av masteroppgaven på norsk)
- hovedteksten
- oppgaveteksten (denne teksten signert av faglærer) legges ved som Vedlegg 1.

Besvarelsen kan evt. utformes som en vitenskapelig artikkel for internasjonal publisering. Besvarelsen inneholder da de samme punktene som beskrevet over, men der hovedteksten omfatter en vitenskapelig artikkel og en prosessrapport.

Instituttets råd og retningslinjer for rapportskrivning ved prosjektarbeid og masteroppgave befinner seg på <http://www.ntnu.no/bat/studier/oppgaver>.

### Hva skal innleveres?

Rutiner knyttet til innlevering av masteroppgaven er nærmere beskrevet på <http://daim.idi.ntnu.no/>.

Trykking av masteroppgaven bestilles via DAIM direkte til Skipnes Trykkeri som leverer den trykte oppgaven til instituttkontoret 2-4 dager senere. Instituttet betaler for 3 eksemplarer, hvorav instituttet beholder 2 eksemplarer. Ekstra eksemplarer må bekostes av kandidaten/ ekstern samarbeidspartner.

Ved innlevering av oppgaven skal kandidaten levere en CD med besvarelsen i digital form i pdf- og word-versjon med underliggende materiale (for eksempel datainnsamling) i digital form (f. eks. excel). Videre skal kandidaten levere innleveringsskjemaet (fra DAIM) hvor både Ark-Bibl i SBI og Fellestjenester (Byggsikring) i SB II har signert på skjemaet. Innleveringsskjema med de aktuelle signaturene underskrives av instituttkontoret før skjemaet leveres Fakultetskontoret.

Dokumentasjon som med instituttets støtte er samlet inn under arbeidet med oppgaven skal leveres inn sammen med besvarelsen.

Besvarelsen er etter gjeldende reglement NTNUs eiendom. Eventuell benyttelse av materialet kan bare skje etter godkjenning fra NTNU (og ekstern samarbeidspartner der dette er aktuelt). Instituttet har rett til å bruke resultatene av arbeidet til undervisnings- og forskningsformål som om det var utført av en ansatt. Ved bruk ut over dette, som utgivelse og annen økonomisk utnyttelse, må det inngås særskilt avtale mellom NTNU og kandidaten.

**(Evt) Avtaler om ekstern veiledning, gjennomføring utenfor NTNU, økonomisk støtte m.v.**

Oppgaven gjennomføres i samarbeid med Statens vegvesen Vegdirektoratet og støttes med standardbeløp.

**Helse, miljø og sikkerhet (HMS):**

NTNU legger stor vekt på sikkerheten til den enkelte arbeidstaker og student. Den enkeltes sikkerhet skal komme i første rekke og ingen skal ta unødige sjanser for å få gjennomført arbeidet. Studenten skal derfor ved uttak av masteroppgaven få utdelt brosjyren "Helse, miljø og sikkerhet ved feltarbeid m.m. ved NTNU".

Dersom studenten i arbeidet med masteroppgaven skal delta i feltarbeid, tokt, befarings, feltkurs eller ekskursjoner, skal studenten sette seg inn i "Retningslinje ved feltarbeid m.m.". Dersom studenten i arbeidet med oppgaven skal delta i laboratorie- eller verkstedarbeid skal studenten sette seg inn i og følge reglene i "Laboratorie- og verkstedhåndbok". Disse dokumentene finnes på fakultetets HMS-sider på nettet, se <http://www.ntnu.no/ivt/adm/hms/>. Alle studenter som skal gjennomføre laboratoriearbeid i forbindelse med prosjekt- og masteroppgave skal gjennomføre et web-basert TRAINOR HMS-kurs. Påmelding på kurset skjer til [sonja.hammer@ntnu.no](mailto:sonja.hammer@ntnu.no)

Studenter har ikke full forsikringsdekning gjennom sitt forhold til NTNU. Dersom en student ønsker samme forsikringsdekning som tilsatte ved universitetet, anbefales det at han/hun tegner reiseforsikring og personskadeforsikring. Mer om forsikringsordninger for studenter finnes under samme lenke som ovenfor.

**Oppstart og innleveringsfrist:**

Oppstart og innleveringsfrist er i henhold til informasjon i DAIM.

**Faglærer ved instituttet:** Eirin Ryeng og Alex Klein-Paste (medveileder)

**Veileder(eller kontaktperson) hos ekstern samarbeidspartner:** Kai Rune Lysbakken, Statens vegvesen Vegdirektoratet, Avdeling for trafikksikkerhet, miljø og teknologi, seksjon for vegteknologi

Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU

Dato: 14.01.2013 (evt revidert: dd.mm.åååå)

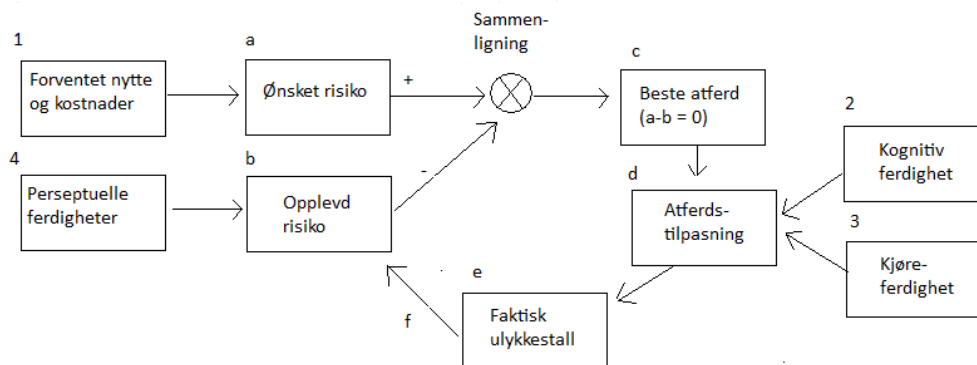
Underskrift

---

Faglærer

## Vedlegg 2: Wildes teori om risikolikevekt

Den kanadiske forskeren Gerald Wilde står bak en av de mest omdiskuterte modellene som kan forklare hvorfor ulykker skjer, og muligheten for å formulere en generell teori til forklaring av ulykker (Wilde & Trimpop, 1994). Wilde lanserte en teori om risikolikevekt, som går utpå at den eneste faktoren som på lang sikt kan redusere antallet ulykker per tidsenhet er at ønsket om sikkerhet i befolkningen forsterkes. Hovedtrekkene fra Wildes teori er vist i figuren under.



Wildes teori om risikolikevekt (Trafikksikkerhetshåndboken, 2000b)

Trafikanten tilpasser sin atferd på grunnlag av en sammenligning av opplevd og ønsket risiko (boks a og b i figur 14) Det Wilde forutsetter er at trafikantene vil bringe den opplevde risikoen i samsvar med sin ønskede risiko gjennom atferdstilpasninger (boks c og d). Eksempler på dette vil være at trafikantene vil senke farten når det snør eller på glatt vegbane, eller øker oppmerksomheten når de nærmer seg kurver eller kryss (Trafikksikkerhetshåndboken, 2000b). Atferdstilpasningene vil så påvirke det faktiske ulykkestallet (boks e), som etter en tid vil ha en innvirkning på opplevd risikonivå.

Av figur 14 ser man at ønsket atferd (c), atferdstilpasning (d), faktisk ulykkestall (e) og opplevd risiko (b) er knyttet sammen i et kretsløp (Trafikksikkerhetshåndboken, 2000b). Dette innebærer at dersom trafikantene opplever at risikoen ved kjøringen senkes, f. eks pga. nye piggdekk, vil de kompensere ved å sette opp farten, eller på en annen måte tilpasse atferden til sitt ønskede risikonivå.

Det ønskede risikonivået (a) er den eneste variabelen som ikke inngår i kretsløpet. Derav Wildes konklusjon om at det eneste som kan redusere antallet ulykker er at det ønskede risikonivå senkes. Med dette påstår dermed Wilde at ethvert samfunn har det ulykkestall som innbyggerne i samfunnet ønsker å ha (Trafikksikkerhetshåndboken, 2000b).



### **Vedlegg 3: Beskrivelse av radarer**

#### **Radar449**

Radar449 er en trafikkanalysator for innsamling og registrering av trafikkdata (Radar449, 2003). Radaren består av en dopplerradar som detektor og en mikrodatamaskin for beregninger og lagring av data.

Radar449 drives av et eksternt 12V batteri, men for å sikre at innsamlede og lagrede data også skal tas vare på er den også utstyrt med et internt batteri (Radar449, 2003). Målerprinsippet baserer seg på doppler-radar. Dette innebærer at kjøretøyet som skal registreres må ha en viss hastighet når det passerer radarstrålen (Radar449, 2003).



**Radar449**

Radar449 vil gi de beste resultatene på en- eller tofeltsveg der trafikken i begge retninger er mindre enn 800 kjt/time (Radar449, 2003). I vintermånedene vil Radar449 være godt egnet sammenlignet med f. eks gummislanger som vil kunne bli ødelagt av piggdekk eller revet i stykker av brøytebiler. Nøyaktigheten til Radar449 er påvist å være god sammenlignet med andre detektorer som f. eks luftslanger og induktive sløyfer, både når det gjelder volumtelling og hastighetsmåling (Radar449, 2003). Nedre registreingsgrense er på ca. 15 km/t.

#### **SierZega**

SierZega er en statistisk trafikkdataenhet som gjør det enkelt å samle inn trafikkinformasjon til analyser. Radarens diskret utseende gjør det mulig å registrere kjøretøy uten at man påvirker den normale trafikkflyten. Radaren drives av et 6V 12Ah batteri, og batteriet har en levetid på opptil en uke avhengig av trafikkvolumet (Sierzega Elektronik GmbH, 2006).

Radaren er primært et måleverktøy for å måle kjøretøyenes hastighet, men man kan også få informasjon om trafikkvolum, kjøretøylengde og tidsluker. Dataen blir komprimert og lagret på et flashminne, og er i stand til å samle inn hele 430 000 individuelle dataposter før det fyller det innebygde dataminnet (Sierzega Elektronik GmbH, 2006).

Når dataen er blitt samlet inn og lagret på minne er det enkelt å overføre det til en eksisterende PC for analyse ved hjelp av bluetooth og SRA analyseprogramvare.



**SierZega**

## Vedlegg 4: Registreringsdagene

I dette vedlegget beskrives de ulike registreringsdagene langs Utleirvegen våren 2013. Her beskrives værforhold, føreforhold og annen relevant informasjon fra de ulike dagene. Alt av bilder er tatt under registreringsdagene av Johan Kristian Kvernland og Bjørn Ove Ofstad (tatt direkte fra ROAR)

### Fredag 1.mars 2013

Hadde en avtale om å møtes for en befaring ved Utleirvegen klokka 10:00 med Bjørn Ove Ofstad og Gerd Vårly. De skulle gjennomføre friksjonsmålinger med ROAR. I tillegg skulle Dynatron kalibreres mot ROAR. Siden det ikke var spesielt glatte forhold ved Utleirvegen måtte vi kjøre til Jonsvatnet for å få kalibrert Dynatron.



Føreforhold 1. mars

Dynatron viste seg ikke å gi målinger hver gang en bremsetest ble gjennomført. Hva dette skyldes er vanskelig å si, men en forklaring kan være at den ikke var festet godt nok i bilen. De resultatene som Dynatron ga stemte ganske bra overens med målinger fra ROAR, og det ble konkludert med at det ikke var nødvendig å gjøre noen kalibrering.

Resultatet fra friksjonsmålingen i Utleirvegen på våt, bar veg ga en friksjonskoeffisient på 0,81 fra ROAR og i området 0,75-0,85 med Dynatron. De manuelle registreringene ble gjennomført i tidsrommet 13:15-15:25, og det ble totalt registrert 99 kjøretøy. Alle radarene fungerte og ga resultater.

Under registreringene var det oppholdsvær og temperaturen var i området 1-3<sup>0</sup> C.

Føreforholdene var stabile gjennom hele registreringsperioden.

**Førebeskrivelse:** Våt, bar veg (100 %)

### Mandag 4.mars 2013

En ny registrering ble gjennomført mandag 4.mars i tidsrommet 11:00-13:50. Totalt ble 100 kjøretøy registrert, og alle de tre radarene ga resultater. Under registreringene var det lett regnvær, og temperaturen var like over 0<sup>0</sup> C.

Det ble ikke i dag gjennomført friksjonsmålinger med ROAR, men etter å ha fått festet Dynatron (med borrelås) i bilen ga den mer stabile resultater når bremsetest ble gjennomført.

Resultatene fra bremsetestene ga en friksjonskoeffisient i området 0,7-0,85, altså tilsvarende forhold som fredag 1.mars.

**Førebekrivelse:** Våt, bar veg (100 %)



Føreforhold 4.mars

### Onsdag 6.mars 2013

Ny registrering gjennomført onsdag 6.mars i tidsrommet 12:00-14:50. Totalt ble det registrert 100 kjøretøy. I dag var det ustabil vær og noe snøvær i luften, men føreforholdene holdt seg nokså konstante. Temperaturen var litt over 0°C.

Det ble ikke gjennomført målinger med ROAR, men bremsetester med Dynatron ga en friksjonskoeffisient i området 0,6-0,7. Dvs. noe glattere forhold enn de foregående dagene, men ingen nevneverdig forskjell. Observert noe mer slaps i vegbanen, spesielt langs sidekanter og mellom hjulspor.

**Førebekrivelse:** Våt, bar veg (100 %)



Føreforhold 6.mars

### Torsdag 7.mars 2013

Våknet torsdag 7.mars til at det hadde kommet noe snø i løpet av natten. Derfor var det bare å kaste seg rundt å få gjennomført nye registreringer.

Registreringene ble gjennomført i tidsrommet 09:45-12:25 og det ble totalt registrert 100 kjøretøy. Temperaturen ved start var ca.  $-2^{\circ}\text{C}$ , mens det ved slutt var ca.  $3^{\circ}\text{C}$ . Været var fint og solen sørget for at forholdene endret seg drastisk i løpet av registreringen. Veggen ble brøytet like før registreringene startet noe som førte til en poleringseffekt på vegoverflaten.



Føreforhold 7.mars ved start

Friksjonsmålingene ble kun gjennomført med bremsetester og Dynatron ga en friksjonskoeffisient på 0,2-0,3 før registreringene og 0,65-0,75 etter registreringene. Siden føreforholdene endret seg vil 70 % av de registrerte kjøretøyene havne i kategorien hard snø, mens 30 % i kategorien slaps.

**Førebeskrivelse:** Ved start: Hard snø (70 %) Ved slutt: Slaps (30 %)



Føreforhold 7. mars ved slutt

### Mandag 11.mars 2013

Sto opp tidlig i håp om at det spådde snøværet skulle slå til. De manuelle registreringene ble gjennomført i tidsrommet 8:40-11:30 uten at de ønskede forholdene var til stede. Totalt ble 100 kjøretøy registrert.

Temperaturen ved start var ca.  $-3^{\circ}\text{C}$ , mens det ved slutt var ca.  $-1^{\circ}\text{C}$ . Fint vær, men siden registreringene ble gjennomført så tidlig på dagen rakk ikke solen å ta like godt, noe som førte til stabile føreforhold gjennom hele registreringsperioden.

**Føreforhold 11.mars**

Friksjonsmålingene ble gjennomført med både bremsetester fra Dynatron og friksjonsmålinger fra ROAR. Bremsetestene ga en friksjonskoeffisient på 0,55-0,65 både før og etter registreringene. Resultatene fra ROAR ga en friksjonskoeffisient på 0,64

**Førebeskrivelse:** Svak issåle som ble fjernet av trafikkbelastningen → Våt, bar veg (100 %).

### Tirsdag 12.mars 2013

Nedbør som var meldt dagen før kom et døgn senere, derfor var det bare å få gjennomført nye målinger. Hadde på forhånd avtalt med Bjørn Ove om at friksjonsmålinger med ROAR skulle bli gjennomført mellom klokka 07:00-08:00. Prøvde derfor å komme i gang med de manuelle målingene klokka 08:00.

Dessverre skulle det vise seg å bli vanskelig å få i gang den ene av de to radar449 (den som står ved inngang til svingen). Etter ca. 30 minutter trodde jeg den fungerte, men det viste seg i ettertid at den bare hadde registrert litt nå og da.

De manuelle registreringene ble gjennomført i tidsrommet 09:00-11:45, og totalt ble 100 kjøretøy registrert.

**Føreforhold 12. mars ved start**

På denne tiden av året vil solinnstrålingen fort ta mye på en delvis bar vegoverflate. Dette var dagen i dag et godt eksempel på. Derfor ble det nokså annerledes føreforhold ved slutten av

registreringene. Figuren under viser føreforholdene etter at de manuelle registreringene var ferdige.



**Føreforhold 12.mars ved slutt**

Det ble som alle andre dager gjennomført bremsetest med Dynatron. Bremsetestene ga en friksjonskoeffisient på 0,3-0,35 før registreringene og 0,55-0,65 etter registreringene. Målingene med ROAR ga en friksjonskoeffisient på ca. 0,2, litt tidligere på morgenen. Det antas at 65 % av de registrerte kjøretøyene havner i kategorien bart i spor, mens 35 % i kategorien slaps.

**Førebeskrivelse:** Ved start: Bart i spor (65 %). Ved slutt: Slaps (35 %).

### **Torsdag 14.mars 2013**

Veldig kaldt vær, hele  $-15^{\circ}\text{C}$  klokka 06:45 ved Utleirvegen. Fikk i dag startet begge de to Radar449, men kom ikke inn i skapet til SierZegaen fra morgenen av pga. at låsen var frosset. Derfor inneholder SierZegaen ingen data fra den første timen av de manuelle registreringene.

De manuelle registreringene ble gjennomført i tidsrommet 07:55-10:40, og totalt ble 100 kjøretøy registrert. Temperaturen klokka 11:00 hadde steget til  $-7^{\circ}\text{C}$ .

I figuren under er det litt dårlig lys på bildene fra starten av registreringsperioden. Dette skyldes at bildene ble tatt så tidlig på morgenen.



**Føreforhold 14. mars ved start**

Figuren under viser føreforholdene etter at de manuelle registreringene var ferdige.



**Føreforhold 14.mars ved slutt**

Det ble som alle andre dager gjennomført bremsetestet med Dynatron. Bremsetestene ga en friksjonskoeffisient på 0,35-0,4 før registreringene. Det ble ikke gjennomført bremsetestet etter at de manuelle registreringene var ferdige pga. at det oppstod problemer med Dynatron. Mottok feilmelding om feil på sensor.

I dag ble det i tidsrommet 9:00-9:30 gjennomført friksjonsmålinger med ViaFriction av Gerd Vårly. Disse målingene ga en friksjonskoeffisient på ca. 0,4-0,45.

**Førebeskrivelse:** Ved start: Hard snø (75 %) Ved slutt: Glatt i spor (25 %)

### **Fredag 15.mars 2013**

Nok en gang kaldt vær, men noe mildere enn dagen før. Ca.  $-10^{\circ}\text{C}$  klokka 7:15 ved Utleirvegen. Ingen problemer med radarene i dag sørget for at de manuelle registreringene kunne starte nokså hurtig.

De manuelle registreringene ble gjennomført i tidsrommet 07:45-10:40, og totalt ble 100 kjøretøy registrert. Temperaturen klokka 11:00 hadde steget til  $-4^{\circ}\text{C}$ .



**Føreforhold 15.mars ved start og slutt**

Dynatron fungerte heller ikke i dag, men det ble gjennomført friksjonsmålinger med ROAR. Resultatene viste en friksjonskoeffisient på ca. 0,7 langs rettstrekningen, mens den var så lav som 0,3 i svingen. Det ble også observert flere kjøretøy som hadde problemer med å komme seg gjennom svingen pga. for høy fart. Figuren under er tatt med for å vise hvordan forholdene var i svingen.





Føreforhold i sving 15. mars

**Førebeskrivelse:** Bart i spor (100 % rett strekning). Is (100 % sving)

### Mandag 18.mars 2013

Stabilt fint vær med en temperatur på ca. 2<sup>0</sup> C hele dagen sørget for stabile kjøreforhold gjennom hele registreringsperioden. Fikk i dag ikke den ene Radar449 til å fungere (den som står ved inngangen til svingen).

De manuelle registreringene ble gjennomført i tidsrommet 11:35-14:05, og totalt ble 100 kjøretøy registrert.



Føreforhold 18.mars

Dynatron fungerte heller ikke i dag, men det ble gjennomført friksjonsmålinger med ROAR litt før de manuelle registreringene ble gjennomført. Disse målingene ga en friksjonskoeffisient på 0,7-0,75.

**Førebeskrivelse:** Tørr, bar veg (vinter)

### Onsdag 20.mars 2013

Omtrent identiske forhold som 18.mars med stabilt fint vær og et par plussgrader. Heller ikke i dag ga den ene radar449 noe resultat (den samme som forrige gang).

De manuelle registreringene ble gjennomført i tidsrommet 10:35-13:10, og totalt ble 97 kjøretøy registrert. Valgte å avslutte registreringen da det ble startet med noe arbeid med det ene kumlokket i svingen som reduserte fremkommeligheten. Varslingsskilt ble bl. a. satt opp.

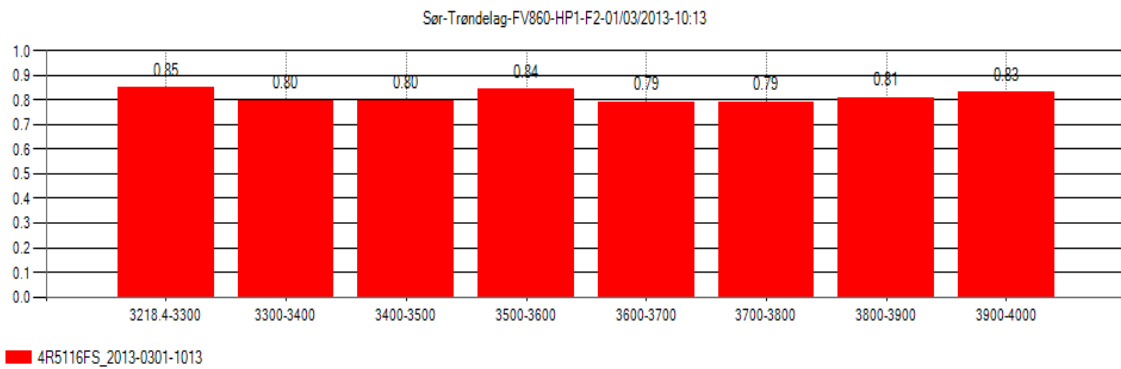
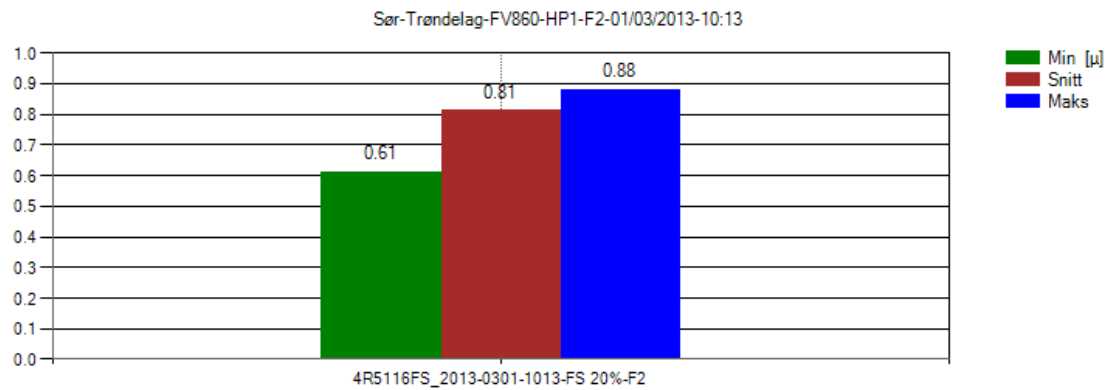
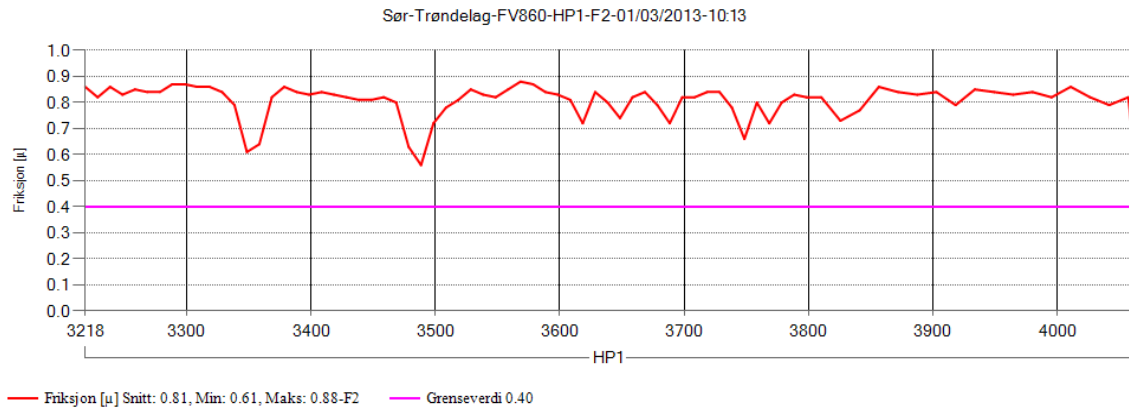


**Føreforhold 20.mars**

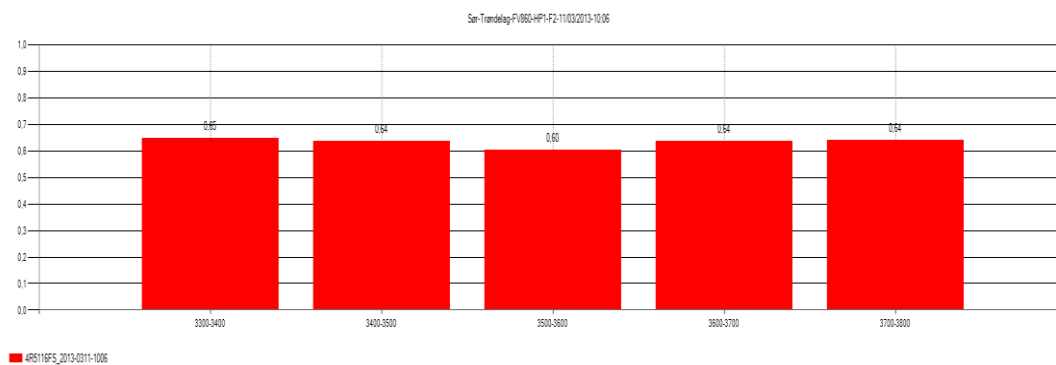
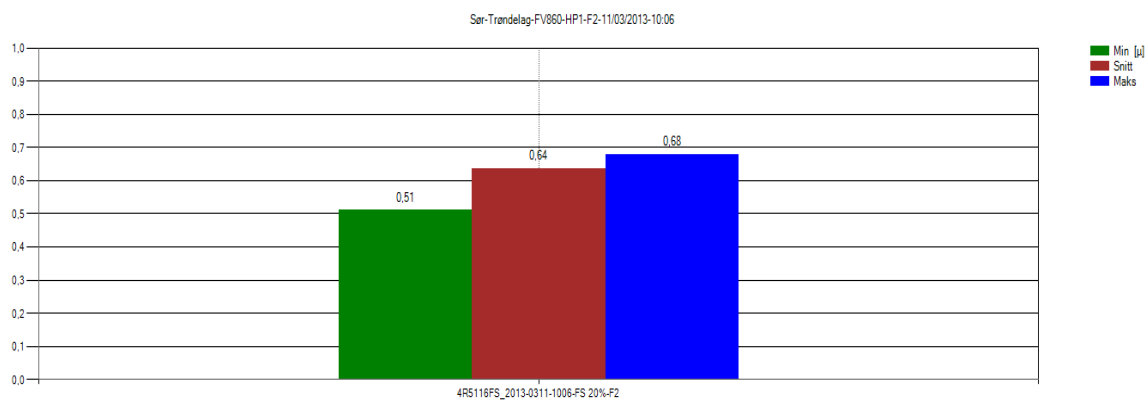
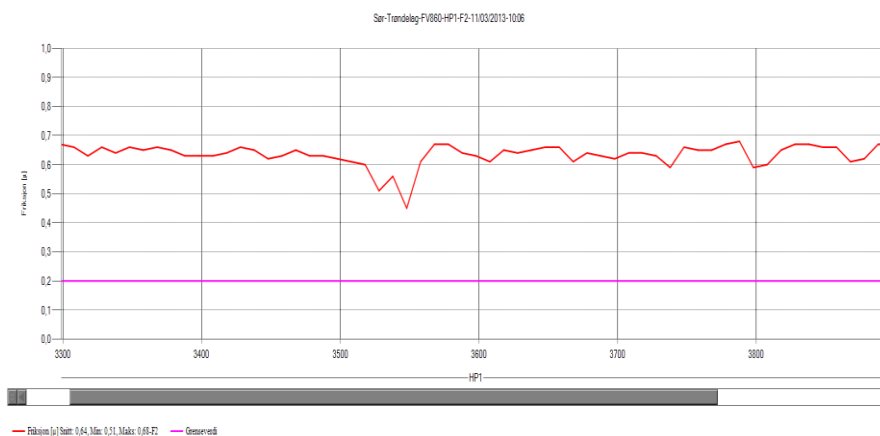
Dynatron fungerte heller ikke i dag, og det ble heller ikke gjennomført friksjonsmålinger med ROAR eller ViaFriction, og dette er dermed den eneste dagen uten noen friksjonsmålinger. Grunnet at værforholdene er så like som forrige gang vil det være naturlig å anta at også friksjonsforholdene er det.

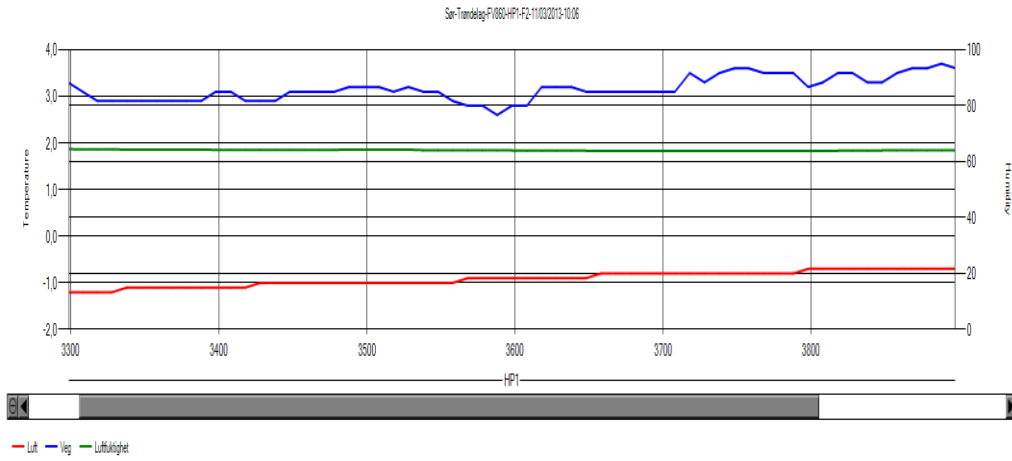
**Førebeskrivelse:** Tørr, bar veg (vinter)

**Vedlegg 5: Resultater friksjonsmålinger ROAR og ViaFriction  
Fredag 1.mars 2013**

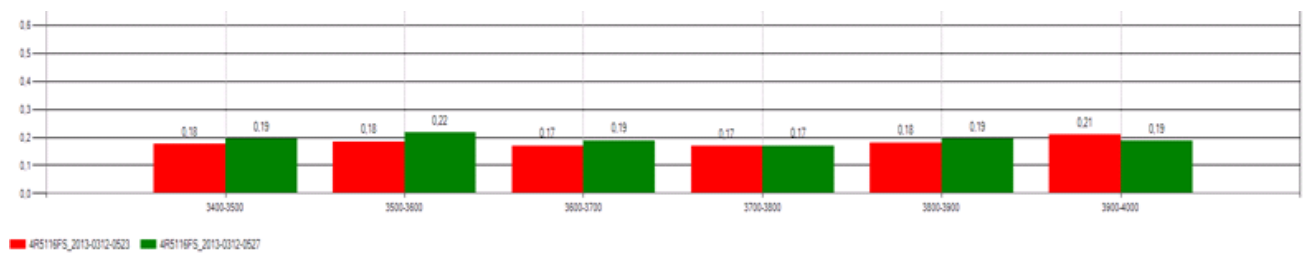
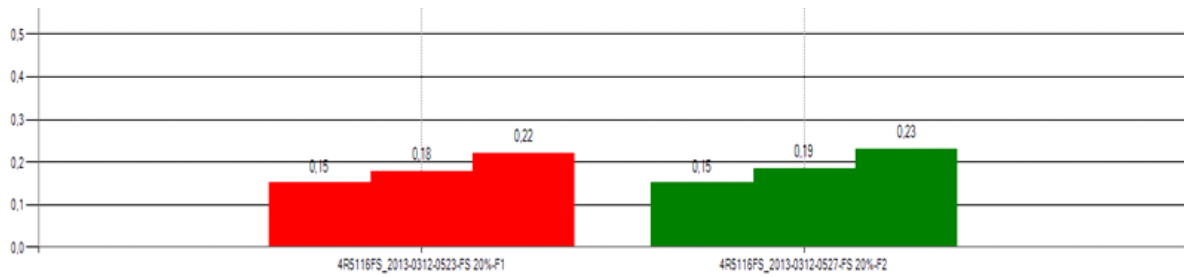
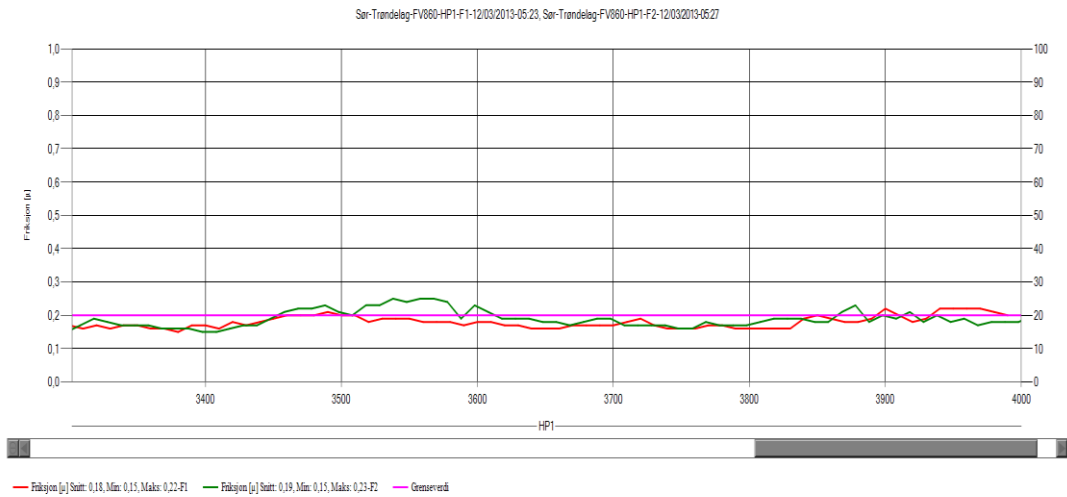


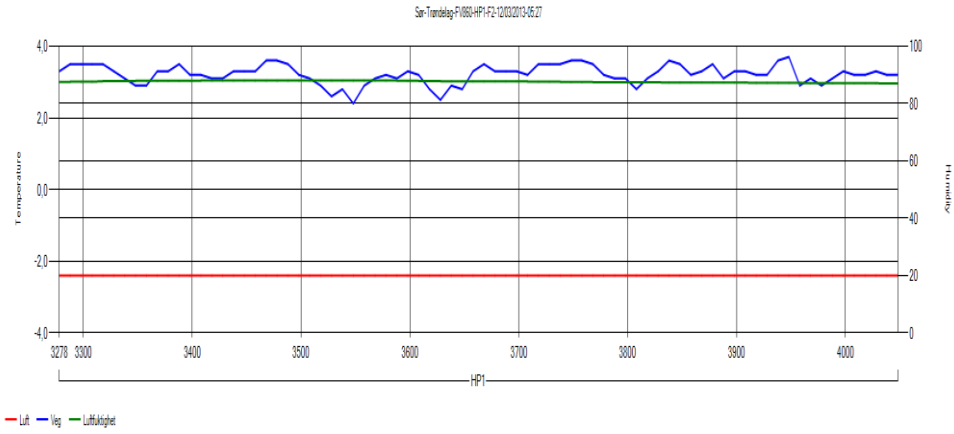
**Mandag 11.mars 2013**



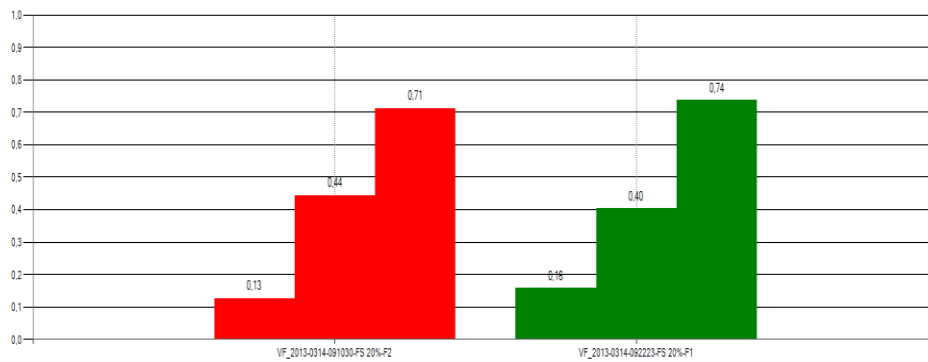
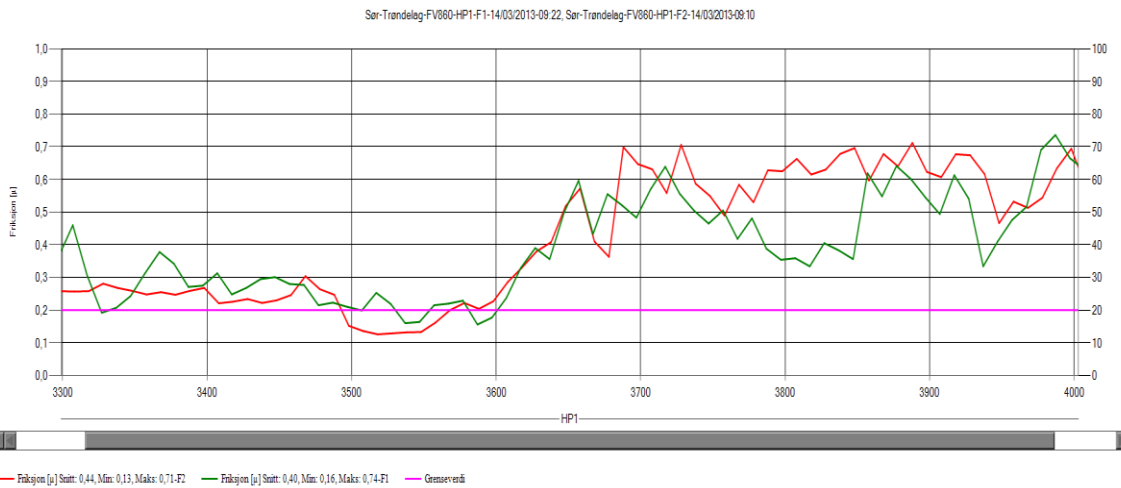


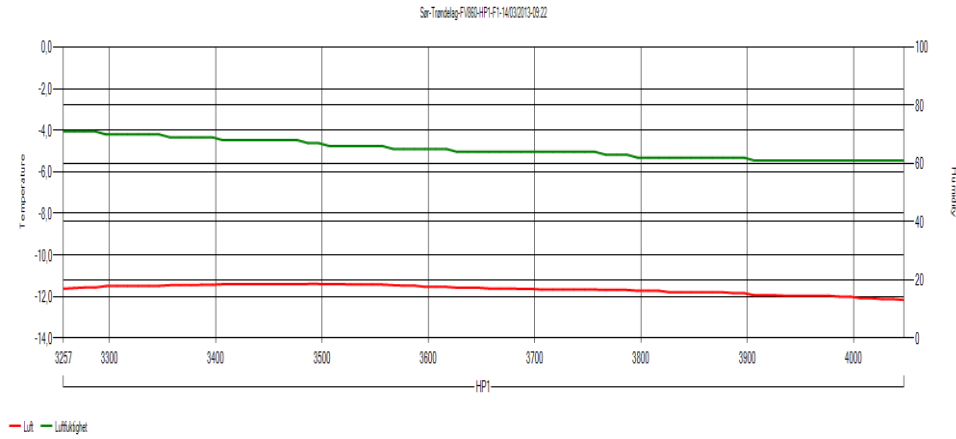
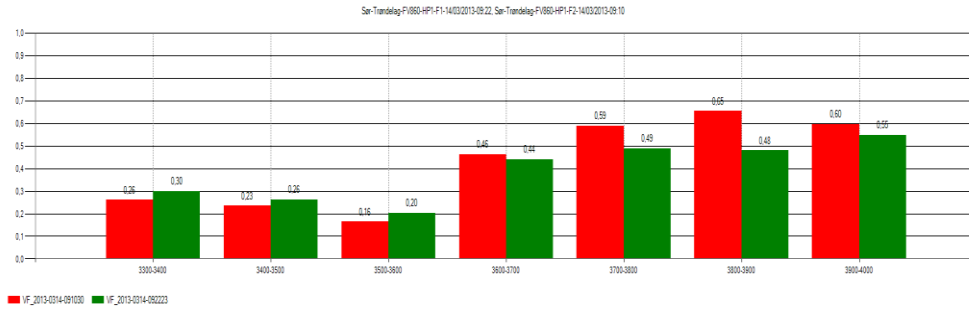
Tirsdag 12.mars 2013



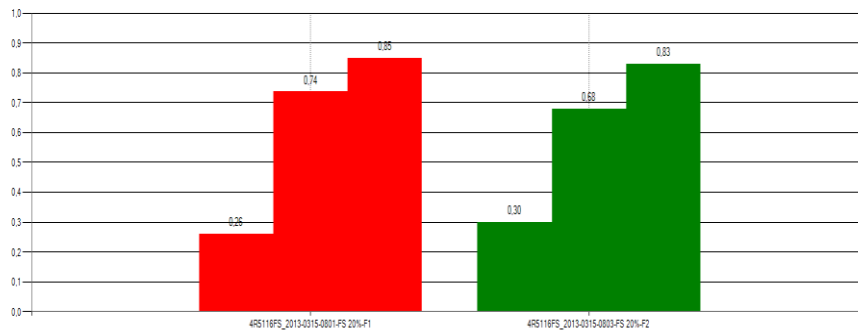
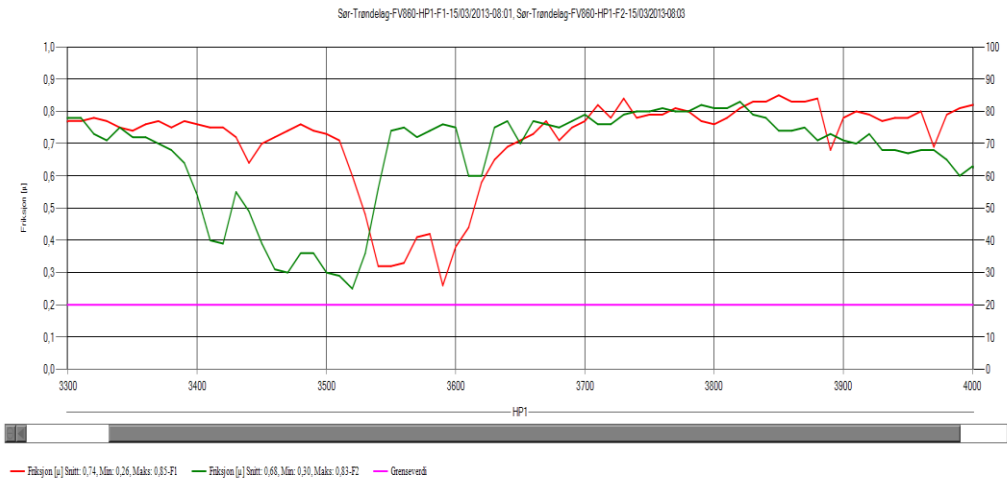


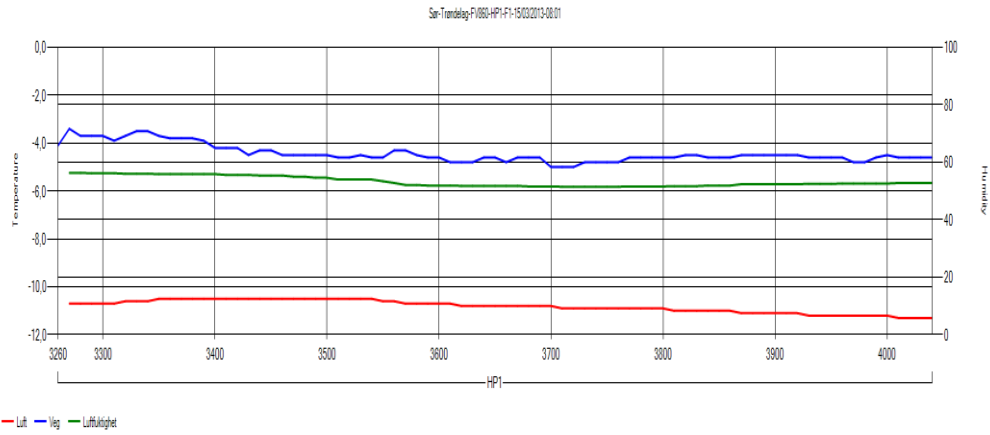
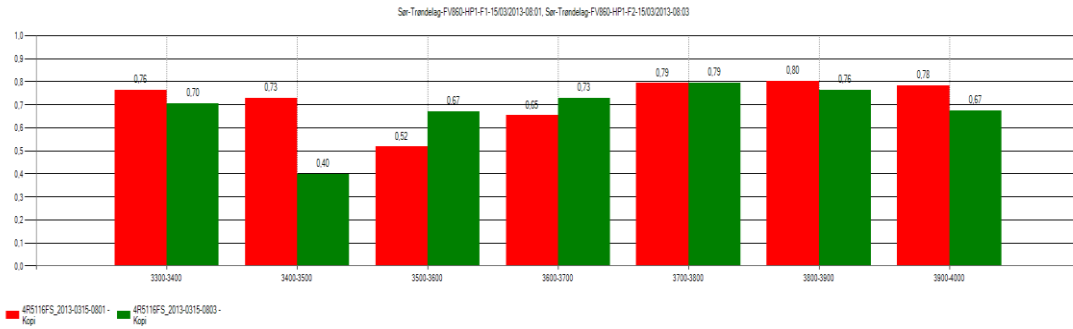
**Torsdag 14.mars 2013**



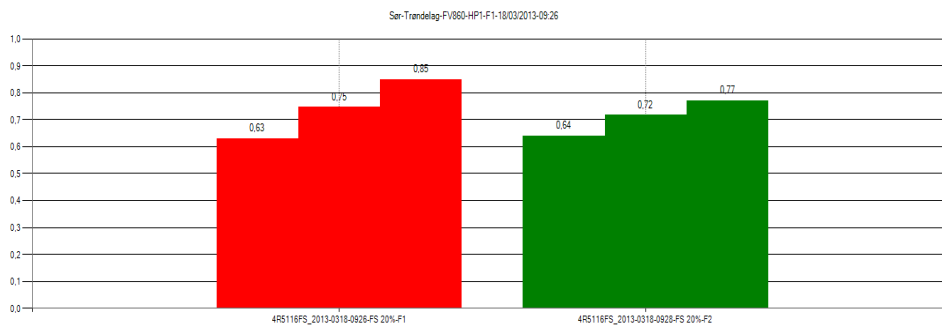
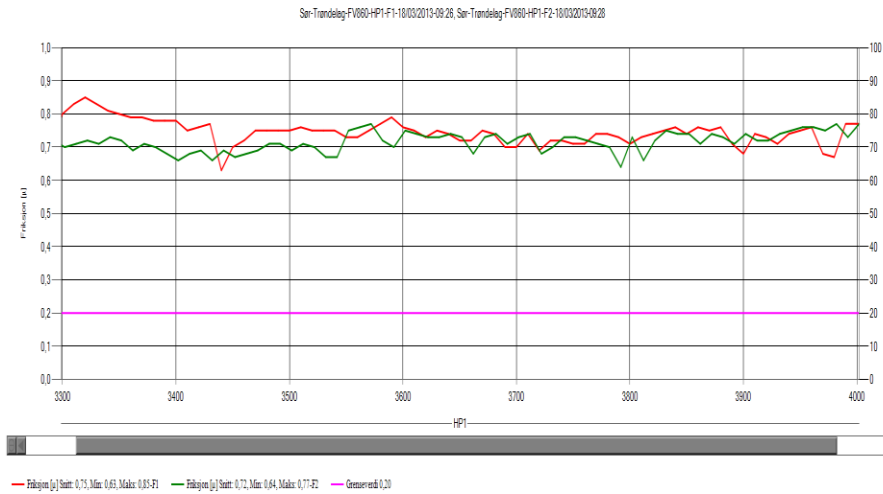


**Fredag 15.mars 2013**

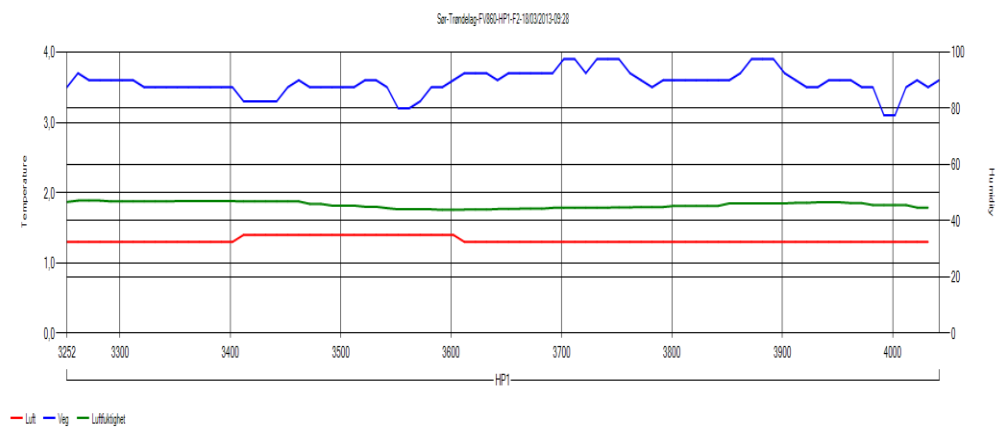
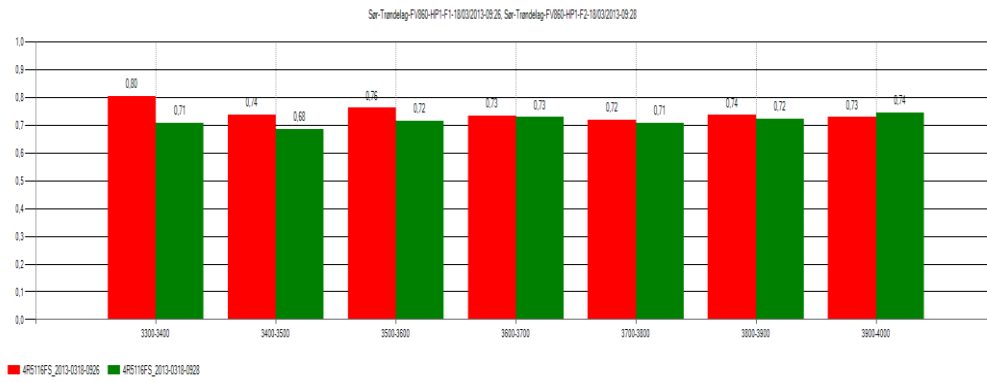




**Mandag 18.mars 2013**









**Vedlegg 7: Boksdiagram**

Vedlegget viser tabeller som danner grunnlaget for boksdiagrammene i kapittel 5.2.

Delstrekning 1	01.mar	04.mar	06.mar	07.mar	11.mar	12.mar	14.mar	15.mar	18.mar	20.mar
Minimum	46	40	35	40	43	41	33	40	39	45
25.percentile	55	51	53	50	52	49	48	52	51	52
Median	60	55	56	54	57	54	51	57	57	58
75.percentile	67	61	60	61	61	57	55	62	61	63
Maksimum	83	76	91	82	83	86	73	75	71	83

Delstrekning 2	01.mar	04.mar	06.mar	07.mar	11.mar	12.mar	14.mar	15.mar	18.mar	20.mar
Minimum	43	33	36	37	39	31	34	36	35	40
25.percentile	51	49	49	45	49	44	42	44	50	48
Median	55	53	54	49	53	48	45	47	54	52
75.percentile	60	58	57	53	58	52	49	52	57	57
Maksimum	84	71	83	78	80	64	59	63	73	70

Delstrekning 3	01.mar	04.mar	06.mar	07.mar	11.mar	12.mar	14.mar	15.mar	18.mar	20.mar
Minimum	32	25	28	27	31	23	26	29	29	28
25.percentile	36	35	35	34	36	33	33	34	37	35
Median	38	38	38	36	38	36	35	36	39	38
75.percentile	41	41	40	39	41	39	38	39	43	41
Maksimum	53	50	49	47	51	50	46	45	48	50

Delstrekning 4	01.mar	04.mar	06.mar	07.mar	11.mar	12.mar	14.mar	15.mar	18.mar	20.mar
Minimum	22	17	20	18	20	20	20	18	19	18
25.percentile	28	26	27	25	26	26	25	23	26	26
Median	29	29	29	27	28	28	26	25	29	28
75.percentile	32	30	30	28	30	29	28	27	31	30
Maksimum	37	36	41	37	35	37	32	31	35	35

Radar449 (RS)	01.mar	04.mar	06.mar	07.mar	11.mar	12.mar	14.mar	15.mar	18.mar	20.mar
Minimum	21	25	36	11	20	26	36	21	23	29
25.percentile	55	53	52	50	52	51	50	51	54	51
Median	59	56	56	55	57	55	54	56	58	56
75.percentile	64	61	61	60	62	60	59	60	62	62
Maksimum	86	83	89	82	85	82	92	76	78	85

<b>Radar449 (IK)</b>	<b>01.mar</b>	<b>04.mar</b>	<b>06.mar</b>	<b>07.mar</b>	<b>11.mar</b>	<b>14.mar</b>	<b>15.mar</b>
<b>Minimum</b>	11	17	10	11	14	10	15
<b>25.percentile</b>	31	30	29	27	29	26	26
<b>Median</b>	34	34	33	30	32	29	29
<b>75.percentile</b>	37	36	36	33	35	31	31
<b>Maksimum</b>	46	50	47	41	46	39	47

<b>SierZega</b>	<b>01.mar</b>	<b>04.mar</b>	<b>06.mar</b>	<b>07.mar</b>	<b>11.mar</b>	<b>12.mar</b>	<b>14.mar</b>	<b>15.mar</b>	<b>18.mar</b>	<b>20.mar</b>
<b>Minimum</b>	15	23	16	10	11	10	15	11	22	10
<b>25.percentile</b>	34	33	33	32	32	32	29	29	32	31
<b>Median</b>	38	36	37	35	36	35	32	32	36	35
<b>75.percentile</b>	40	39	39	38	39	38	34	34	39	39
<b>Maksimum</b>	48	48	51	48	49	49	41	46	46	47

**Vedlegg 8: Klassisk bremsefriksjon og kritisk hastighet**

Vedlegget viser tabellene med resultat for beregning av relativ fartstilpasning for de ulike delstrekningene og radarene.

**Formelverk:**

$$(1) \quad l = \frac{mv^2}{2\mu mg} = \frac{v^2}{2\mu g} \qquad (2) \quad a = \frac{v^2}{R}$$

Bremselengde Sideakselerasjon

$$(3) \quad v_{kr} = \sqrt{(\mu * R * g)}$$

Kritisk hastighet

Rett strekning	Tid(s)	Fart(km/t)	Gjennnitt $\mu$	Bremselengde(m)	Tilpasset fart(km/t)	Relativ tilpasning
<i>Tørr bar</i>	9.02	56.3	0.72	17.31	56.3	1.00
<i>Våt bar</i>	8.94	56.8	0.70	18.13	55.5	0.98
<i>Slaps</i>	9.15	55.5	0.65	18.64	53.5	0.96
<i>Hard snø</i>	9.88	51.4	0.34	30.56	38.7	0.75
<i>Bart i spor</i>	9.25	54.9	0.40	29.63	42.0	0.76
<i>Glatt i spor</i>	9.56	53.1	0.37	29.97	40.4	0.76

Like før kurve	Tid(s)	Fart(km/t)	Gjennnitt $\mu$	Bremselengde(m)	Tilpasset fart(km/t)	Relativ tilpasning
<i>Tørr bar</i>	3.04	52.5	0.72	15.05	52.5	1.00
<i>Våt bar</i>	2.99	53.5	0.70	16.05	51.8	0.97
<i>Slaps</i>	3.21	49.7	0.65	14.96	49.9	1.00
<i>Hard snø</i>	3.46	46.2	0.34	24.64	36.1	0.78
<i>Bart i spor</i>	3.39	47.2	0.40	21.86	39.1	0.83
<i>Glatt i spor</i>	3.60	44.4	0.37	20.95	37.6	0.85

Gjennom kurve	Tid(s)	Fart(km/t)	Sidefriksjon $\mu_s$	$R_{ref}$	Tilpasset fart	Relativ tilpasning
<i>Tørr bar</i>	6.55	38.5	0,72	16,2	38,45	1,00
<i>Våt bar</i>	6.67	37.8	0,70		37,92	1,00
<i>Slaps</i>	6.82	37.0	0,65		36,54	0,99
<i>Hard snø</i>	7.15	35.2	0,34		26,42	0,75
<i>Is</i>	6.94	36.3	0,30		24,82	0,68
<i>Bart i spor</i>	7.13	35.3	0,40		28,66	0,81
<i>Glatt i spor</i>	7.34	34.3	0,37		27,57	0,80

Utgang kurve	Tid(s)	Fart(km/t)	Sidefriksjon $\mu_s$	$R_{ref}$	Tilpasset fart	Relativ tilpasning
<i>Tørr bar</i>	1.95	27.6	0,72	8,34	27,6	1,00
<i>Våt bar</i>	1.91	28.3	0,70		27,2	0,96
<i>Slaps</i>	2.00	27.0	0,65		26,3	0,97
<i>Hard snø</i>	2.04	26.5	0,34		19,0	0,72
<i>Is</i>	2.17	24.9	0,30		17,8	0,72
<i>Bart i spor</i>	1.99	27.1	0,40		20,6	0,76
<i>Glatt i spor</i>	2.16	25.0	0,37		19,8	0,79

Radars 1	Fart(km/t)	Gjennsnitt $\mu$	Bremselengde(m)	Tilpasset fart(km/t)	Relativ tilpasning
<i>Tørr bar</i>	57.3	0.72	17.92	57.3	1.00
<i>Våt bar</i>	57.5	0.70	18.55	56.5	0.98
<i>Slaps</i>	56.5	0.65	19.32	54.4	0.96
<i>Hard snø</i>	53.9	0.34	33.58	39.4	0.73
<i>Bart i spor</i>	55.5	0.40	30.30	42.7	0.77
<i>Glatt i spor</i>	55.7	0.37	32.99	41.1	0.74

Radars 2	Fart(km/t)	Gjennsnitt $\mu$	Bremselengde(m)	Tilpasset fart(km/t)	Relativ tilpasning
<i>Våt bar</i>	32.6	0.70	5.97	32.6	1.00
<i>Slaps</i>	31.9	0.65	6.15	31.4	0.99
<i>Hard snø</i>	28.9	0.34	9.68	22.7	0.78
<i>Is</i>	28.1	0.30	10.33	21.3	0.76
<i>Glatt i spor</i>	28.6	0.37	8.67	23.7	0.83

Radars 3	Fart(km/t)	Sidefriksjon $\mu_s$	$R_{ref}$	Tilpasset fart	Relativ tilpasning
<i>Tørr bar</i>	35.1	27.6	13,48	35,1	1,00
<i>Våt bar</i>	36.1	28.3		34,6	0,96
<i>Slaps</i>	35.8	27.0		33,4	0,93
<i>Hard snø</i>	33.4	26.5		24,1	0,72
<i>Is</i>	31.3	24.9		22,7	0,72
<i>Bart i spor</i>	34.5	27.1		26,2	0,76
<i>Glatt i spor</i>	30.9	25.0		25,2	0,82