

Rapport

Bremselengder i stoppsikt

Evaluering av endrede krav til stoppsikt i retningslinjer for vegutforming

Forfatter

Trond Foss



Fra testområdet på Dagali flyplass
Foto: Trond Foss

Rapport

Bremselengder i stoppsikt

Evaluering av endrede krav til stoppsikt i retningslinjer for vegutforming

EMNEORD:

Veg
Vegutforming
Stoppsikt
Bremselengde

VERSJON

1,0

FORFATTER

Trond Foss

DATO

2015-06-19

OPPDRAUGSGIVER

Statens vegvesen Vegdirektoratet

OPPDRAUGSGIVERS REF.

Randi Eggen/Terje Giæver

PROSJEKTNR

102009880

ANTALL SIDER:

28 inkl. 2 vedlegg

SAMMENDRAG

Statens vegvesen Vegdirektoratet har utarbeidet forslag til nye krav til stoppsikt i retningslinjene for vegutforming. Vegdirektoratet har i den forbindelse bedt SINTEF om å bistå med gjennomføring og rapportering av bremselengdemålinger. Målingene skulle demonstrere at de nye kravene til stoppsikt er realistiske og at de har en god nok sikkerhetsmargin for den dimensjonerende (gjennomsnittlige) trafikanten. Stoppsikt er summen av reaksjonslengden og bremselengden. Denne rapporten beskriver hvordan bremselengdemålingene ble gjennomført og resultatene fra målingene. Rapporten inneholder også en vurdering av resultatene i forhold til forslaget til nye krav til stoppsikt.

Rapporten konkluderer med at de nye kravene til stoppsikt er både realistiske og at de har en tilfredsstillende sikkerhetsmargin for den dimensjonerende trafikanten.

UTARBEIDET AV

Trond Foss

KONTROLLERT AV

Marianne E. Nordtømme

GODKJENT AV

Roar Norvik

RAPPORTNR

SINTEF A27005

ISBN

9788214059588

GRADERING

Åpen

SIGNATUR**SIGNATUR****SIGNATUR****GRADERING DENNE SIDE**

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
0,9	2015-06-15	Ikke komplett versjon oversendt til intern kvalitetssikring og til oppdragsgiver for eventuelle kommentarer
1,0	2015-06-17	Endelig versjon etter intern kvalitetssikring og kommentarer fra oppdragsgiver

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	5
Summary	7
1 Innledning	9
2 Stoppsikt	9
3 Gjennomføring av bremselengdemålinger	10
3.1 Sted og tid	10
3.2 Overordnet beskrivelse av bremselengdemålinger	10
3.3 Friksjonsforhold	12
3.4 Værforhold	13
3.5 Bilførere, kjøretøyer og testscenario	13
3.6 Måling av bremselengde og hastighet	14
3.7 Kalibrering av speedometer	16
4 Bruk av målt og registrert bremselengde	16
5 Avvik mellom ønsket testhastighet og kjørt hastighet	17
6 Metodikk	19
6.1 Statens vegvesens beregningsmetodikk for nye stoppsikt	19
6.2 Sammenligning av målte stoppsikt med nytt forslag til stoppsikt	20
7 Resultater	20
7.1 Gjennomsnittlige stoppsikt for de ulike testhastighetene	20
7.2 Forholdet mellom krav til stoppsikt og observerte stoppsikt	21
7.3 Resultater for beregningshastighetene 70 og 85 km/t	21
7.4 Resultater for beregningshastighetene 95, 110 og 120 km/t	21
8 Konklusjoner	22
9 Referanser	22
Vedlegg A: Reaksjonslengder	23
Vedlegg B: Målinger og beregnede verdier	24

Sammendrag

Statens vegvesen Vegdirektoratet har utarbeidet forslag til nye krav til stoppsikt i retningslinjene for vegutforming. Vegdirektoratet har i den forbindelse bedt SINTEF om å bistå med gjennomføring og rapportering av bremselengdemålinger. Målingene skulle demonstrere at de nye kravene til stoppsikt er realistiske og at de har en god nok sikkerhetsmargin for den dimensjonerende (gjennomsnittlige) trafikanten. Stoppsikt er summen av reaksjonslengden og bremselengden. Denne rapporten beskriver hvordan bremselengdemålingene ble gjennomført og resultatene fra målingene. Rapporten inneholder også en vurdering av resultatene i forhold til forslaget til nye krav til stoppsikt.

Prosjektet som er dokumentert i denne rapporten er finansiert og eid av Statens vegvesen Vegdirektoratet representert ved Randi Eggen (Vegdirektoratets prosjektleder) og Terje Giæver. Fra SINTEF Transportforskning har Odd Andre Hjelkrem og Trond Foss (SINTEFs prosjektleder) deltatt.

Bremselengdemålingene ble gjennomført den 20. og 21. mai 2015 på Dagali flyplass ca. 30 km sørøst for Geilo. Flyplassen er 1.800 meter lang og er dimensjonert for ordinære passasjerfly. Dette gjorde det mulig for bilførerne å komme opp i nødvendige hastigheter (120 – 130 km/t) og gjennomføre en kontrollert nedbremsing på en sikker måte.

Målingene ble gjennomført med fire bilførere som benyttet tre ulike kjøretøyer. Det ble kjørt bremsetester i hastighetene 70, 80, 90, 100, 110 og 120 km/t og tilsammen ble det samlet inn data fra 56 nedbremsinger. Bremselengdene ble målt på to måter, - ved bruk av et vanlig målehjul og ved bruk av en høyfrekvent GPS sensor. En sammenligning av de to målemetodene viste at det var liten forskjell på de to metodene og i dette tilfellet hadde den manuelle målingen vært tilstrekkelig mht. den nøyaktigheten som krevdes i dette prosjektet.

De GPS registrerte bremselengdene ble korrigert for de gode friksjonsforholdene på Dagali flyplass. Friksjonen på flyplassen ble målt med vegvesenet sin sertifiserte friksjonsmåler og målingene viste friksjonsforhold som var vesentlig bedre enn gjennomsnittet for norske veier. De friksjonskorrigerte bremselengdene ble deretter korrigert for kjørehastigheter som var lavere enn den ønskede testhastigheten. GPS sensoren kunne f.eks. registrere en bremselengde på 25 meter i en bremsetest hvor kjøretøyet hadde kjørt 67 km/t i stedet for 70 km/t ved start nedbremsing. På grunn av veldig gode friksjonsforhold ble den friksjonskorrigerte bremselengden 36 meter. Denne bremselengden ble deretter justert ytterligere fordi kjøretøyet hadde holdt en hastighet som 3 km/t lavere enn ønsket testhastighet på 70 km/t. Den endelige bremselengden på 39 meter ble da sammenlignbar med de bremselengdene som er beregnet i det nye forslaget til stoppsikt.

I underkant av 30 % av testkjøringene hadde 0 km/t avvik fra ønsket testhastighet. Dette skyldes at bilføreren enten har vært meget dyktig til å holde riktig hastighet eller at bilføreren har kjørt litt over ønsket hastighet slik at dette har blitt kompensert ved registrering av bremselengde. Tilsammen har ca. halvparten av kjøringene 0 – 1 km/t avvik og ca. 80 % av kjøringene har et avvik som er mindre eller lik 4 km/t.

Beregningshastighetene¹ 70 og 85 km/t tilsvarer tillatt hastighet 70 og 80 km/t. Av de 24 målingene som er gjort for stoppsikt for hastigheter i dette intervallet ligger 20 av målingene mellom 4 og 11 % *lavere* enn forslaget til nye krav. Fire av målingene ligger mellom 4 og 13 % *over* forslaget til nye krav. Oppsummert ligger altså 83 % av de utførte nedbremsingene innenfor de foreslåtte nye verdiene for stoppsikt. De fire målingene, hvor de utførte nedbremsingene ligger inntil 13 % utenfor de nye kravene til stoppsikt, utgjør til sammen 17 % av de 24 målingene for tillatt hastighet 70 og 80 km/t. Alle de fire målingene er blant de 7 første målingene som ble utført og alle er knyttet til tillatt hastighet på 70 km/t. Vi tror disse fire målingene i stor grad kan tilskrives bilførernes tilpasning både til bil og testopplegg og at alle observasjonene som ble gjort for de andre 20 testkjøringene er en god indikasjon på at de nye kravene til stoppsikt er realistiske.

¹ Tillatt hastighet med tillegg for at mange kjører litt fortere enn fartsgrensen. Tillegget varierer mellom 0 km/t for tillatt hastighet 70 km/t til 10 km/t for hastigheter lik eller over 100 km/t.

Beregningshastigheter for 95, 110 og 120 km/t tilsvarer tillatt hastighet 90, 100 og 110 km/t. Av de 32 målingene som er gjort for stoppsikt for disse hastighetene ligger alle målingene mellom 15 og 44 % *lavere* enn forslaget til nye krav til stoppsikt. Differansen mellom målt stoppsikt og kravene til stoppsikt øker for økende hastigheter og dette skyldes trolig at både fartstillegget og sikkerhetsfaktorene for friksjonsverdier øker med hastigheten. Oppsummert ligger altså 100 % av de utførte nedbremsingene godt innenfor de foreslåtte nye verdiene for stoppsikt, hvilket er en god indikasjon på at de nye kravene til stoppsikt er realistiske. Differansene for de høyeste hastighetene er så store at det kanskje bør vurderes å senke kravene til sikkerhetsfaktorene på friksjon slik at kravene til stoppsikt kan reduseres noe.

Summary

The Norwegian Public Roads Administration (NPRA) has prepared a set of new requirements for stopping sight distances. NPRA has requested the assistance of SINTEF for carrying through testing and measuring retardation distances (as part of stopping sight distances) as well as preparing a report on the results of the tests. The objective of the measurements is to demonstrate that the new requirements are sufficient and that they provide a certain safety margin for the average driver. This report describes how the tests were carried out and the results from the tests. The report also includes an evaluation of the results compared to the new set of requirements.

The project described in this report is financed and owned by NPRA who has been represented by their project leader Randi Eggen and Terje Giæver. SINTEF Transport research, represented by Odd Andre Hjelkrem and Trond Foss as the project leader, has been responsible for the tests and the report.

The stopping sight distance tests took place at Dagali airport in the southern part of Norway on May 20 and 21, 2015. The runway is 1.800 meter and has been built to provide airport services for ordinary passenger airplanes. The runway enabled the drivers to achieve the required maximum speeds of 120 – 130 km/h and perform a controlled and safe retardation.

The retardation distances measurements were carried through by four drivers using three different vehicles (a BMW 116 2014, a VW Caddy 2006 and a Volvo V60 2015 model). The testing speeds were 70, 80, 90, 100, 110 and 120 km/h and all together data from 56 retardations were collected. The retardation distances were measured in two different ways, - by the use of an ordinary metering wheel and by a high frequency GPS sensor. A comparison of the two methods showed that the difference between the two methods was rather small and in this case the manual measuring using the metering wheel would have been sufficient in relation to the accuracy required in this project.

The GPS registered retardation distances were adjusted for the runway friction condition. The runway friction was measured by the NPRA certified friction measurement equipment and the measurements showed that the friction conditions were far better than the average for Norwegian rural and urban roads. The friction adjusted retardation distances were then adjusted for testing speeds that were different from the required testing speeds 70, 80, 90, 100, 110 and 120 km/h. The GPS sensor could for instance register a retardation length of 25 meters in a test where the driver had been driving 67 km/h instead of 70 km/h. Due to the very good friction conditions the adjusted retardation distance was adjusted to 36 meter making it comparable with the average friction conditions. The retardation distance was then adjusted for the speed that was 3 km/h lower than the requested test speed on 70 km/h. The final retardation distances then became 39 meter and this was the distance that could be compared with the new requirements for stopping sight distances

Less than 30 % of the tests had 0 % deviation from the requested test speed. This was caused by either the cleverness of the driver keeping the requested speed or that the driver had been driving a little bit faster than the requested test speed. The second case was handled through the manual handling of registered retardation data collected by the GPS sensor. About half of the tests had a deviation between 0 and 1 km/h and about 80 % of the tests had a deviation that was equal to or less than 4 km/h.

The calculation speeds² of 70 and 85 km/h correspond to the speeds limits of 70 and 80 km/h. Of the 24 retardation distance measurements for stopping sight distances in the 70 and 80 km/h interval altogether 20 of the 24 were between 4 and 11 % *lower* than the new stopping sight distance requirements. The remaining 4 measurements showed retardation distances that were 4 and 13 % *above* the new requirements. The four measurements belong to the first 7 tests that took place and an assumption is that some or all of the four tests results are influenced by the drivers adapting to the cars and the test script and circumstances. *However, a clear majority of the tests indicates that*

² A speed limit with an addition due to the fact that several drivers are exceeding the speed limit. The addition differs between 0 km/h for speed limits of 70 km/h and 10 km/h for speed limits equal to or more than 100 km/h

the new stopping sight distance requirements are realistic and that they provide a certain safety margin for special conditions not taken into account in the new model for calculating stopping sight distance requirements.

The calculation speeds for 95, 110 and 120 km/h correspond to the speed limits 90, 100 and 110 km/h. Of the 32 retardation distance measurements for stopping sight distances in the 90 – 120 km/h intervals all of the measurements were between 15 and 44 % *lower* than the new requirements. The difference between the measured retardation distance and the new requirements increases with increasing speed. This is most probably caused by the fact that both the speed addition and the safety factors for friction conditions increase with the speed. *In summary 100 % of the tests are within the new requirements which is a rather reliable indication on that the new requirements are realistic. The differences between the measured retardation distance and the new requirements for the highest speeds are up to about 40 % of the new requirements. It should be considered whether the security factors for the friction conditions should be somewhat reduced enabling a certain reduction of the stopping sight distance requirements for the high speeds that are tested and analysed.*

1 Innledning

Statens vegvesen Vegdirektoratet har utarbeidet forslag til nye krav til stoppsikt i retningslinjene for vegutforming. Vegdirektoratet har i den forbindelse bedt SINTEF om å bistå med gjennomføring og rapportering av bremselengdemålinger. Målingene skal demonstrere at de nye kravene til stoppsikt er realistiske og at de har en god nok sikkerhetsmargin for den dimensjonerende (gjennomsnittlige) trafikanten. Denne rapporten beskriver hvordan bremselengdemålingene ble gjennomført og resultatene fra målingene. Rapporten inneholder også en vurdering av resultatene i forhold til forslaget til nye krav til stoppsikt.

Prosjektet som er dokumentert i denne rapporten er finansiert og eid av Statens vegvesen Vegdirektoratet representert ved Randi Eggen (Vegdirektoratets prosjektleder) og Terje Giæver. Fra SINTEF Transportforskning har Odd Andre Hjelkrem og Trond Foss (SINTEFs prosjektleder) deltatt.

2 Stoppsikt

Stoppsikt er beskrevet i Statens vegvesens Håndbok V120 Premisser for geometrisk utforming av veger:

Stoppsikt er nødvendig sikt lengde fram til et objekt for at bilføreren skal kunne oppdage objektet, reagere, vurdere om han skal bremse og bremse kjøretøyet til stopp.

Stoppsikt (L_s) er sammensatt av to deler: Reaksjonslengde (L_r) og Bremselengde (L_b), se Figur 1.

Reaksjonslengden er den strekningen som tilbakelegges i løpet av reaksjonstiden – det vil si den tiden det tar bilføreren å oppfatte situasjonen, vurdere den og ta en beslutning om å bremse ned. Reaksjonstid på 2 sekunder brukes som fast verdi for alle forhold og reaksjonslengden kan derfor beregnes ut i fra skiltet hastighet eller beregningshastigheten. Reaksjonslengdene beregnet ut i fra skiltet hastighet er vist i Vedlegg A: Reaksjonslengder.

Bremselengden er den lengden som trengs for å bremse et kjøretøy til full stopp.



Figur 1: Stoppsikt

I denne rapporten er følgende begreper brukt om bremselengder og stoppsikt:

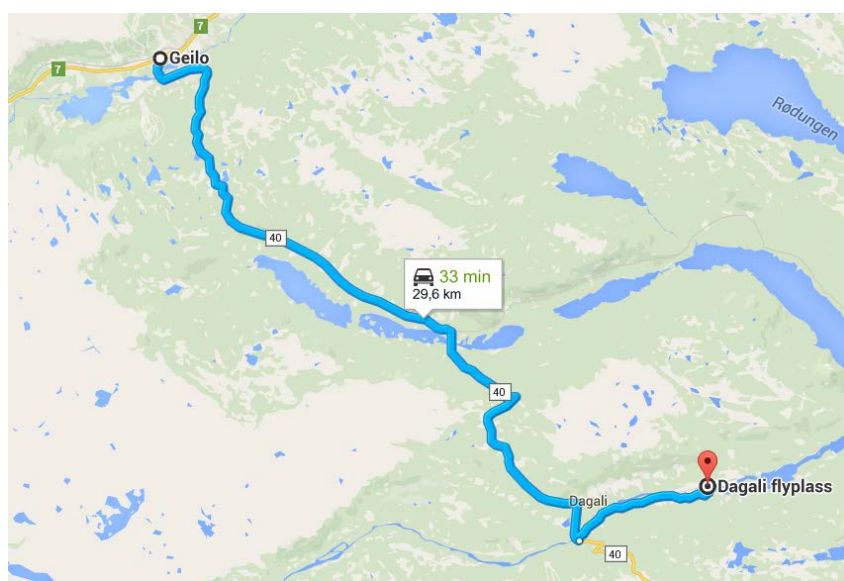
- **Kjørt hastighet:** Den hastigheten som ble registrert ved hjelp av GPS sensor i det kjøretøyet startet nedbremsingen
- **Målt bremselengde:** Bremselengde målt fra kjegler som markerte Start nedbremsing til front stillestående kjøretøy
- **Registrert bremselengde med GPS:** Bremselengde som fremkommer fra knekkpunkt i hastighetsprofil (start nedbremsing) til hastighetsprofilen viser hastighet lik 0 km/t (stillestående kjøretøy)
- **Bremselengde korrigert for friksjonsforhold:** Registrert bremselengde med GPS korrigert for de friksjonsverdiene som ble målt på strekningen for nedbremsing. Friksjonsverdiene på Dagali flyplass var vesentlig høyere enn det som er registrert som landsgjennomsnitt for tilsvarende hastighetsnivå.
- **Bremselengde korrigert for friksjon og hastighet:** Registrert bremselengde korrigert for både friksjonsforhold og hastighetsavvik i forhold til ønsket testhastighet
- **Reaksjonslengde:** Den strekningen et kjøretøy kjører i løpet av 2 sekunder i ønsket testhastighet

- *Registrert stoppsikt:* Summen av Reaksjonslengde og Bremselengde korrigert for friksjon og hastighet
- *Ønsket testhastighet:* Den hastigheten (korrigert for speedometeravvik) som bilførerne ble bedt om å holde ved start nedbremsing

3 Gjennomføring av bremselengdemålinger

3.1 Sted og tid

Bremselengdemålingene ble gjennomført på Dagali flyplass ca. 30 km sørøst for Geilo, se Figur 2. Statens vegvesen hadde leid flyplassen i perioden 18. – 21. mai 2015 for kalibrering av vegvesenets friksjonsmåleutstyr. Bremselengdemålingene ble gjennomført den 20. og 21. mai 2015.



Kilde: Google.no

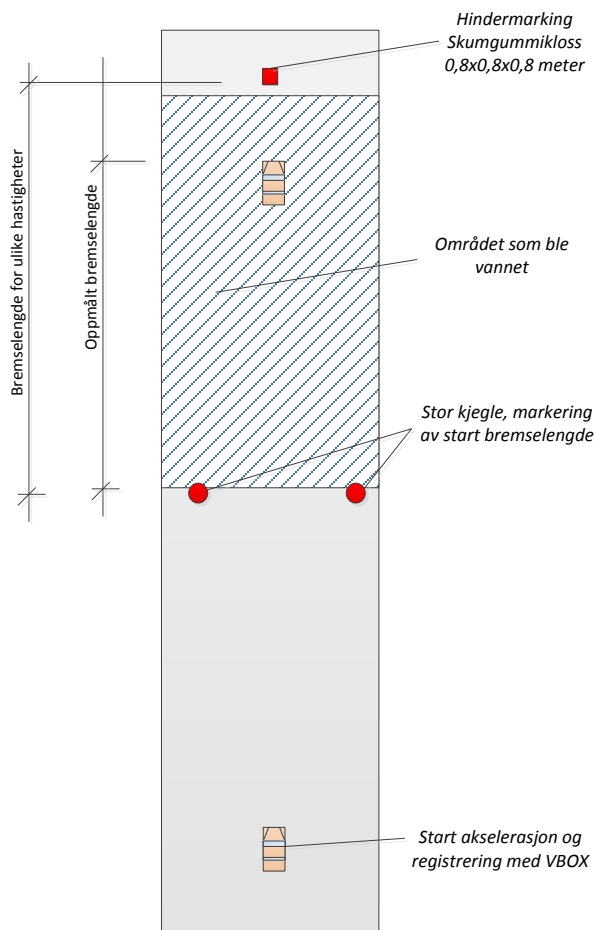
Figur 2: Lokalisering av Dagali flyplass

Flyplassen er 1.800 meter lang og er dimensjonert for ordinære passasjerfly. Dette gjorde det mulig for bilførerne å komme opp i nødvendige hastigheter (120 – 130 km/t) og gjennomføre en kontrollert nedbremsing på en sikker måte.

3.2 Overordnet beskrivelse av bremselengdemålinger

Bremselengdemålingene ble gjennomført på følgende måte:

- Bilføreren oppnådde den nødvendige hastigheten oppstrøms bremsestrekningen, se prinsippskisse i Figur 3.
- To store røde kjegler markerte punktet der bilføreren skulle starte nedbremsingen til full stopp som om bilføreren plutselig så et hinder i kjørebanelen. Disse kjeglene kan sees på bildet i Figur 4.
- Det ble plassert en hindermarkering i en avstand fra kjeglene som samsvarte med de nye forslagene til bremselengde (stoppsikt minus reaksjonslengde), slik at bilføreren fikk en viss opplevelse av en virkelig nedbremsingssituasjon, se bildet i Figur 4.
- Bremselengden ble målt manuelt med målehjul og digitalt med en nøyaktig høyfrekvent GPS-sensor.



Figur 3: Prinsippskisse for bremsemålinger



Figur 4: Bremsestrekning med startkjegler og hindermarkering

3.3 Friksjonsforhold

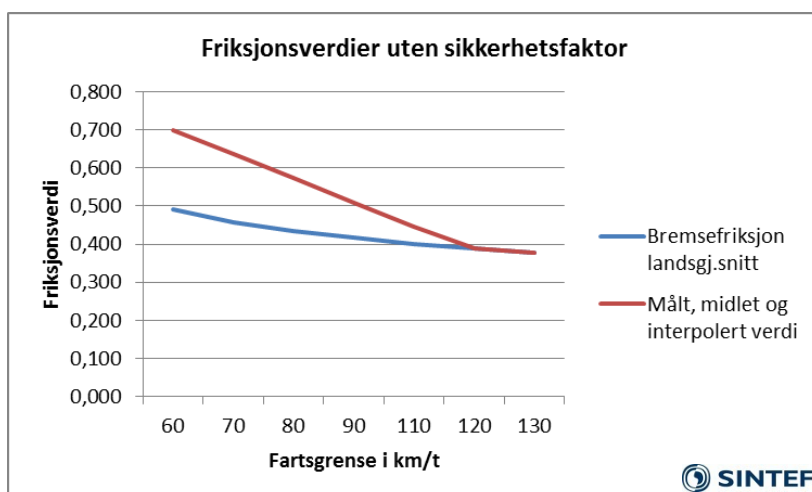
De nye kravene til stoppsikt er basert på dårligere friksjonsforhold enn de som var faktiske friksjonsforhold på Dagali flyplass under testingen. Det ble derfor gjennomført friksjonsmålinger med vegvesenets friksjonsmåleutstyr slik at bremselengdene som ble registrert på Dagali kunne korrigeres iht. de beregningsmessige friksjonsverdiene som skal brukes ved beregning av stoppsikt [1]. Disse friksjonsverdiene varierer mellom 0,588 (40 km/t) og 0,378 (120 km/t).

Det ble gjennomført friksjonsmålinger for 60 km/ og 80 km/t (fire målinger for hver hastighet) med vegvesenets friksjonsmåler, se bildet i Figur 5. Målingene ble gjennomført for den strekningen hvor bremselengdemålingene ble gjennomført. Friksjonsmåleren har egen vanntilførsel slik at friksjonsverdiene gjelder våt vegbane.



Figur 5: Friksjonsmålinger på bremsestrekning

På bakgrunn av disse målingene er det interpolert for hastighetene 70, 90 og 100 km/t. For de høyeste hastighetene 110 og 120 km/t ga interpolering urimelige lave verdier. Derfor er det i samråd med oppdragsgiver brukt nasjonale gjennomsnittsverdier for disse to hastighetene. Figur 6 viser verdiene for landsgjennomsnittet (blå kurve) og målte og interpolerte friksjonsverdier (rød kurve).



Figur 6: Friksjonsverdier – nye verdier og målte/interpolerte verdier

3.4 Værforhold

Været på de to registreringsdagene var oppholdsvær, delvis skyet og temperaturer i området 5 – 7 varmegrader. Siden det var oppholdsvær og tørr bane måtte bremsestrekningen hele tiden vannes slik at asfalten hadde en vannhinne, se Figur 7.



Figur 7: Vanning av bremsestrekning

3.5 Bilførere, kjøretøyer og testscenario

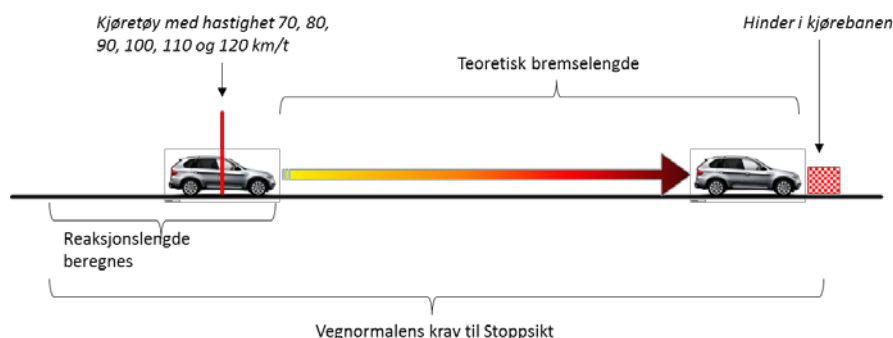
Vegdirektoratet hadde rekruttert fem personer blant nåværende og tidligere ansatte til å være med som bilførere i bremselengdemålingene:

- Kvinne 39 år (dag 2)
- Mann 39 år (dag 1)
- Mann 59 år (dag 1 og 2)
- Mann 67 år (dag 1 og 2)
- Mann 70 år (dag 1 og 2)

Tre 3 ulike kjøretøyer ble brukt til bremselengdemålingene:

- Volkswagen Caddy 2006 modell (eiet av en av bilførerne)
- BMW 116 2014 modell (leiebil)
- Volvo V60 2015 modell (leiebil)

Testscenarioet er vist i Figur 8. Testen skulle gjennomføres ved at testkjøretøyet akselererte opp til testhastigheten og deretter holdt jevn hastighet inn mot den vannede nedbremsingssonen. Ved et tydelig markert punkt (med et kjepter, slik det er beskrevet i kap. 3.2) skulle bilføreren starte nedbremsingen og stoppe helt før hinderet i kjørebane nås. Dette hinderet var plassert i teoretisk bremselengdeavstand fra markeringen som viste hvor bilføreren skulle starte nedbremsing.



Figur 8: Testscenario

Testscenarioet for hver hastighet var at fire bilførere kjørte en gang med alle tre kjøretøyer. Det vil si at for hver hastighet skulle det gjennomføres 12 bremselengdemålinger (4 bilførere x 3 kjøretøyer). Dette ble gjort for hastighetene 70, 80, 100 og 120 km/t. For 90 og 110 km/t ble det bare kjørt fire målinger (fire bilførere med VW Caddy). Det vil si at det totalt ble gjennomført 56 bremselengdemålinger.

3.6 Måling av bremselengde og hastighet

Målingen av bremselengde ble gjort på to ulike måter:

- Måling med målehjul fra kjeglene som markerte start nedbremsing til fronten på kjøretøyet etter full stopp, jfr. Figur 3.
- Måling med nøyaktig og høyfrekvent GPS-sensor (VBOX)

Svakheten ved den første målingen er at det kunne være vanskelig for bilføreren å starte nedbremsingen akkurat ved passering av de to kjeglene som markerte Start nedbremsing. Dette gjaldt spesielt i høye hastigheter. Derfor ble det i tillegg valgt å måle bremselengden med en nøyaktig og høyfrekvent GPS sensor, både for å ha to uavhengige målemetoder og for å sammenligne de to målemetodene.

GPS sensoren var av type VBOX 3i 100 Hz GPS Data logger, se Figur 9. GPS sensoren ble plassert på kjøretøyet tak med magnetfeste.



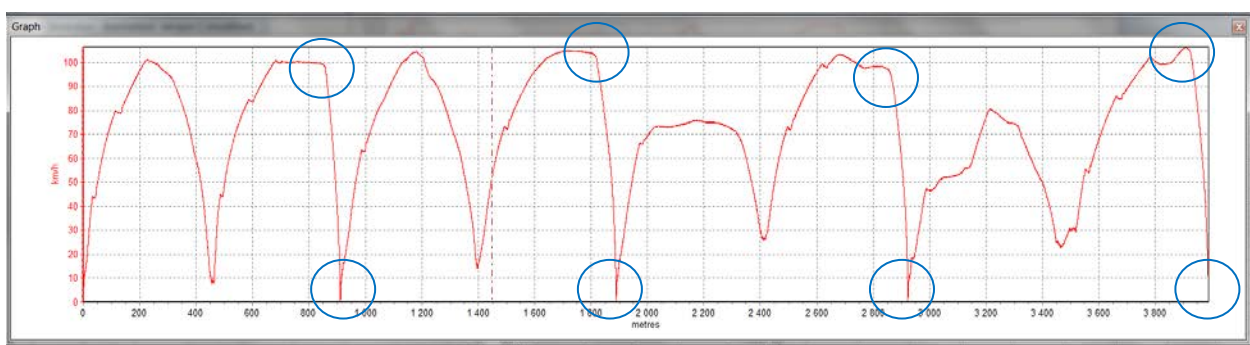
Figur 9: VBOX3i med GPS sensor som ble plassert på biltaket

Måling av bremselengde ved hjelp av dette utstyret krevde manuell etterbehandling av alle innsamlede data. For hver serie av bremsemålinger (fire bilførere og ett kjøretøy) ble det generert en fil som viste hastigheten og posisjonen for kjøretøyet så lenge det beveget seg.

Figur 10 viser det grafiske grensesnittet som ble brukt til å finne bremselengdene. Grafen viser rådata som ble innsamlet for hver bremsemålingsserie. En serie består av fire bilførere som kjører en nedbremsing hver med det samme kjøretøyet. Grafen nedenfor viser følgende prosedyre for hver av de fire bilførerne i en serie:

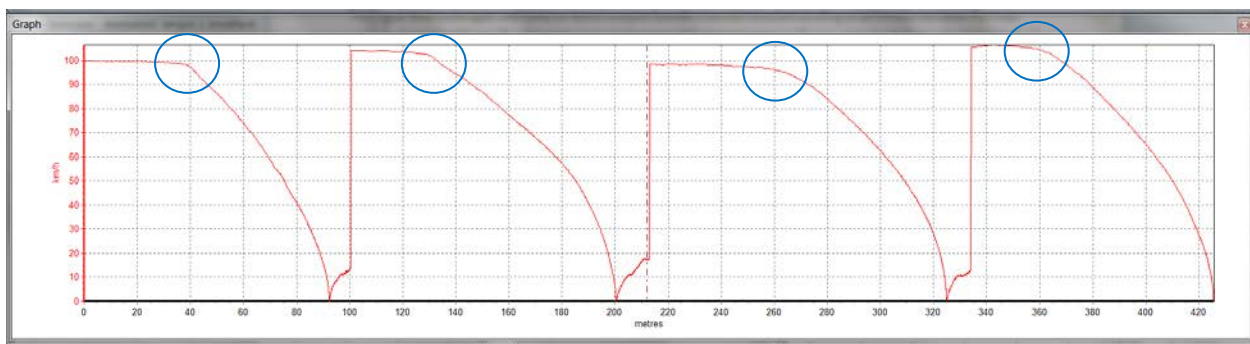
1. Oppstart fra den strekningen hvor nedbremsingen foregikk og bilføreren overtok kjøretøyet fra forrige bilfører
2. Kjøring til andre enden av flyplassen.
3. Snuing av kjøretøyet og akselerering mot bremsestrekningen
4. Kjøring i ønsket testhastighet inn mot bremsestrekningen
5. Start nedbremsing ved passering av de to kjeglene

De blå sirklene viser typiske knekkpunkter på fartskurven, - det øverste der nedbremsingen starter og den nederste der kjøretøyet har stoppet opp etter nedbremsingen. Det nederste punktet der hastigheten er 0 km/t er også det punktet hvor det ble skiftet bilfører.



Figur 10: Grafisk grensesnitt for etterbehandling av data fra VBOX3i

For å gjøre avlesingen så nøyaktig som mulig ble alle data som ikke hadde relasjon til nedbremsingen fjernet ved en manuell behandling av data gjennom det grafiske grensesnittet. Figur 11 viser hvordan kurven i Figur 10 så ut etter en slik manuell behandling. Den første nedbremsingen har et markert knekkpunkt der nedbremsingen startet. Den andre nedbremsingen starter litt over 100 km/t som var testhastigheten og det er lett å se hvor fartskurven krysser 100 km/t. Den tredje nedbremsingen har et mindre markert startpunkt for nedbremsing, mens den fjerde nedbremsingen også har et relativt tydelig knekkpunkt på fartskurven.



Figur 11: Behandlet data for fartskurve

For de aller fleste nedbremsingene var det relativt enkelt å finne knekkpunktene på fartskurvene. I noen tilfeller, slik som ved den tredje nedbremsingen i Figur 11, var det imidlertid litt mer usikkert hvor knekkpunktet lå. Dette kunne i verste fall medføre en usikkerhet på 3 - 4 meter i begge retninger.

Det hadde vært mulig å måle mer nøyaktig når nedbremsingen startet ved hjelp av en VBOX bremsepedalsensor montert på bremsepedalen. Slike tester ble ikke valgt gjennomført av følgende årsaker:

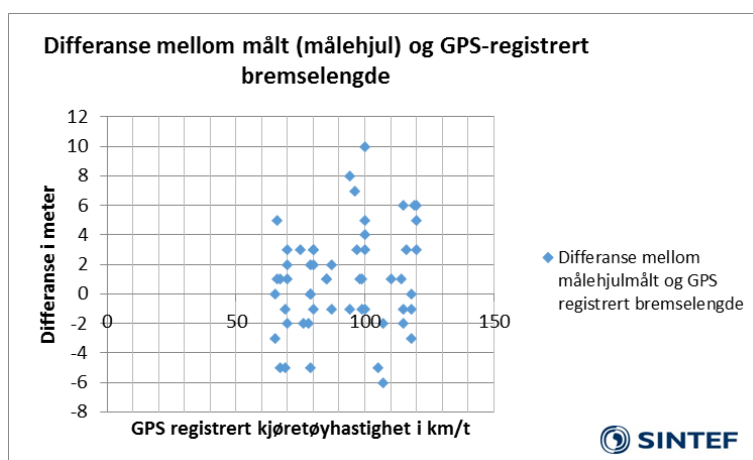
- Sensoren måtte demonteres/monteres hver gang det ble skiftet kjøretøy
- Sensoren er relativt stor og ble vurdert til å kunne skape uheldig situasjoner ved rask flytting av foten fra gasspedal til bremsepedal
- Kravet til nøyaktighet mht. måling av bremselengde ble oppfylt gjennom de to valgte metodene

3.7 Kalibrering av speedometer

Speedometeret på kjøretøyet viser nødvendigvis ikke korrekt hastighet. Det er vanlig at speedometeret viser litt for mye og tillatt avvik er 10 % pluss 4 km/t. En undersøkelse gjort på nye biler viser at misvisningen på mange biler kan være 7 – 10 % ved 100 km/t. Misvisningen er mindre på biler med sommerdekk enn biler med vinterdekk. Ved hjelp av nøyaktig GPS sensor kan speedometrene på testkjøretøyene kalibreres og dette ble gjort for de to av de tre kjøretøyene som ble brukt i bremsemålingene. Det tredje kjøretøyet (VW Caddy) hadde allerede et kalibrert digitalt speedometer. Kalibreringen viste at speedometrene viste 3 – 5 km/t for mye i forhold til VBOX registrert hastighet. Bilførerne ble derfor bedt om å holde tilsvarende høyere hastigheter slik at hastigheten ved start nedbremsing lå så nært som mulig til det 10 km/t intervallet som ble testet (70, 80, 90, 100, 110 og 120 km/t).

4 Bruk av målt og registrert bremselengde

Alle bremselengder ble målt/registrert på to forskjellige måter, - fysisk måling med målehjul og registrering ved hjelp av GPS-sensor. Det er sett på hvordan de to målemetodene forholder seg til hverandre. Figur 12 nedenfor viser forskjellene på målt og registrert bremselengde for de ulike hastighetene som kjøretøyene hadde når de passerte de to kjeglene som markerte Start nedbremsing. De differansene som ligger over 0 indikerer at bilføreren har startet nedbremsingen etter å ha passert kjeglene som markerte hvor nedbremsingen skulle starte. Største forskjell mellom målemetodene er 10 meter, men de fleste ligger mellom 0 og 5 meter. Tatt i betraktning at kjøretøyet beveger seg 33 meter i sekundet i 120 km/t viser figuren at bilførerne har vært dyktige til å treffe riktig med start nedbremsing. Tilsvarende viser de differansene som ligger under 0 at bilføreren har startet nedbremsingen før kjeglene, men her ligger de fleste differansene mellom kun 0 og 2 meter.



Figur 12: Differanse mellom målt og registrert bremselengde

Hvis alle målte og registrerte bremselengder summeres hver for seg så blir summen for målte bremselengder 2783 meter og summen for registrerte bremselengder blir 2730 meter. Forskjellen mellom summene er altså 53 meter, hvilket vil si at de registrerte bremselengdene er 1,9 % kortere enn de målte. Denne forskjellen er så liten at de to målemetodene i dette tilfellet kan regnes som like gode, spesielt tatt i betraktning de feilkildene som ligger i målingene og registreringene:

- Måleresultatet med målehjul ble avrundet til nærmeste meter
- Ut i fra noen av de registrerte fartskurvene var det vanskelig å plukke ut det knekkpunktet som beskrev nøyaktig punkt for start nedbremsing

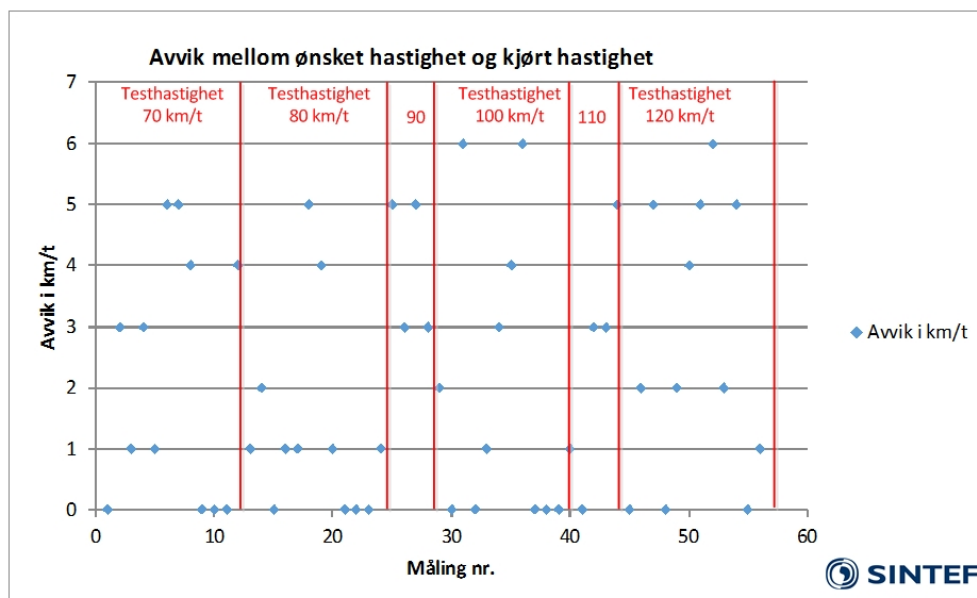
Vår konklusjon mht. målemetoder er derfor at det i dette tilfellet ikke hadde vært nødvendig å registrere bremselengder med GPS-sensor, sett i forhold til de krav til nøyaktighet som var nødvendig for å vurdere forslaget til nye krav til stoppsikt. Dette var imidlertid ikke kjent på forhånd. Kunnskapen om den lille forskjellen på måling og registrering er imidlertid interessant i seg selv og kan komme til nytte i senere og tilsvarende prosjekter. Det var tidkrevende å etterbehandle de registrerte dataene og i ettertid ser man at for dette prosjektet sto ikke den medgåtte tiden i forhold til kravene til nøyaktighet. Det var imidlertid nødvendig å bruke GPS-sensoren til å registrere hastigheter i testene, for å kontrollere kjørt hastighet og korrigere for avvik til ønsket testhastighet.

I analysene som er gjort er det benyttet registrert bremselengde.

5 Avvik mellom ønsket testhastighet og kjørt hastighet

Kjøretøyene ble som tidligere beskrevet kalibrert mht. avvik mellom virkelig hastighet og hastigheten som speedometeret viste. Bilførerne ble oppfordret til å holde riktig hastighet basert på kalibreringen for de ulike hastighetsnivåene som ble testet.

I de fleste tilfellene kjørte bilførerne litt saktere enn ønsket testhastighet, men det ble ikke registrert avvik på mer enn 6 km/t, se Figur 13. For de som kjørte litt fortere enn ønsket testhastighet er bremselengden registrert fra punktet hvor fartskurven krysset ønsket testhastighet. Disse vil derfor vises i figuren som en måling med avvik fra ønsket testhastighet lik 0 km/t.



Figur 13: Differanse mellom ønsket testhastighet og kjørt hastighet

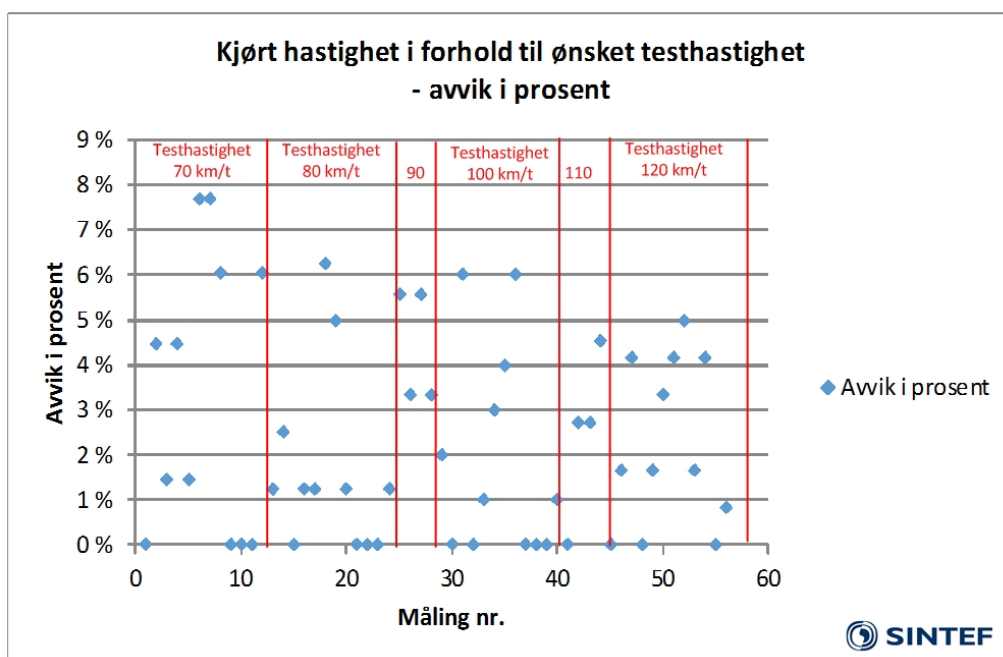
Målingens nummer tilsvarer plassen i det totale antall registreringer slik at de laveste hastighetene (som ble testet først) er til venstre i diagrammet og de høyeste til høyre i diagrammet. Diagrammet viser at differansene fordeler seg relativt jevnt over alle testhastigheter hvilket indikerer at differansene er relativt uavhengig av hastigheten.

Tabell 1 viser fordelingen av differanser mellom ønsket testhastighet og kjørt hastighet. I underkant av 30 % av testkjøringene hadde 0 % avvik fra ønsket testhastighet. Dette skyldes at bilføreren enten har vært meget dyktig til å holde riktig hastighet eller at bilføreren har kjørt litt over ønsket hastighet slik at dette har blitt kompensert ved registrering av bremselengde. Tilsammen har ca. halvparten av kjøringene 0 – 1 km/t avvik og ca. 80 % av kjøringene har et avvik som er mindre eller lik 4 km/t.

Tabell 1: Fordeling av differanser mellom ønsket testhastighet og kjørt hastighet

Avvik	Antall	Andel	Akkumulert andel
0 km/t	17	30 %	30 %
1 km/t	10	18 %	48 %
2 km/t	5	9 %	57 %
3 km/t	7	13 %	70 %
4 km/t	5	9 %	79 %
5 km/t	9	16 %	95 %
6 km/t	3	5 %	100 %

Figur 13 viser som nevnt at fordelingen i avvik er relativt jevnt fordelt over alle hastigheter. Det er imidlertid interessant å se på hvordan avvikene forholder seg til relativt til hastigheten. Figur 14 viser hvordan det registrerte avviket forholder seg til ønsket testhastighet i prosent. De høyeste prosentvise avvikene finnes som ventet på de laveste hastighetene, mens avvikene utgjør maksimum 5 % for de høyeste hastighetene.



Figur 14: Avvik i prosent mellom kjørt hastighet og ønsket testhastighet

Tabell 2 viser fordelingen av prosentvise differanser mellom ønsket testhastighet og kjørt hastighet. Litt under en tredjedel har 0 % avvik, ca. 2/3 har et avvik mellom 0 og 3 % og 84 % har et avvik mellom ønsket testhastighet og kjørt hastighet som er mindre eller lik 5 %.

Tabell 2: Fordeling av differanser mellom kjørt hastighet og ønsket testhastighet

Avvik	Antall	Andel	Akkumulert andel
0 %	17	30 %	30 %
1 - 3 %	18	32 %	63 %
3 - 5 %	12	21 %	84 %
5 - 8 %	9	16 %	100 %

6 Metodikk

6.1 Statens vegvesens beregningsmetodikk for nye stoppsikt

I [1] er det beskrevet hvordan Statens vegvesens forslag til nye stoppsikt fremkommer. Tabellen nedenfor er en oppsummering av metodikken beskrevet i [1].

Det er tatt utgangspunkt i tillatt hastighet (fartsgrense) mellom 70 og 120 km/t. For at beregningen skal gjenspeile det virkelige hastighetsnivået for den dimensjonerende bilføreren er det lagt til et fartstillegg og et fartsprofiltillegg. Det første tillegget er 5 km/t for fartsgrensene 80 og 90 km/t og 10 km/t for fartsgrensene 100 – 120 km/t.

Fartsprofiltillegget er foreløpig satt til 0 km/t for alle fartsgrensene. Dette resulterer i den såkalte beregningsmessige farten som skal brukes ved beregning av stoppsikt.

Bremsefriksjonsverdiene representerer et landsgjennomsnitt. For de høyere hastighetene er det lagt på en sikkerhetsfaktor som reduserer bremsefriksjonsverdiene som skal benyttes i beregningene. Ved å sette inn de ulike parameterne i Formel 1 nedenfor, fremkommer bremselengdene i Tabell 3. Reaksjonslengdene er beregnet med en fartsuavhengig reaksjonstid på 2 sekunder, se Vedlegg A: Reaksjonslengder.

$$\text{Formel 1: Bremselengde} = \frac{\text{Hastighet}^2}{254,3 \times (\text{bremsefriksjon} + \text{stigningsgrad})}$$

Tabell 3: Beregning av stoppsikt – forslag til nye verdier

Fartsgrense km/t	60	70	75	80	85	90	95	100	110	120
Fartstillegg			5	5	5	5	5	10	10	10
Fartsprofiltillegg				0	0	0	0	0	0	0
Beregningsmessig fart (km/t)	60	70	80	85	90	95	100	110	120	130
Nye bremsefriksjonsverdier	0,490	0,456	0,445	0,434	0,425	0,416	0,4085	0,401	0,389	0,378
Sikkerhetsfaktor på friksjon	1	1	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,3	1,3
Justert bremsefriksjonsverdi	0,490	0,456	0,424	0,395	0,370	0,347	0,327	0,308	0,299	0,291
Bremselengde (meter)	29	42	59	72	86	102	120	154	189	229
Reaksjonstid (sek)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Reaksjonslengde (meter)	33	39	44	47	50	53	56	61	67	72
Stopsikt: Reaksjonslengde + bremselengde (m)	62	81	104	119	136	155	176	215	256	301

6.2 Sammenligning av målte stoppsikt med nytt forslag til stoppsikt

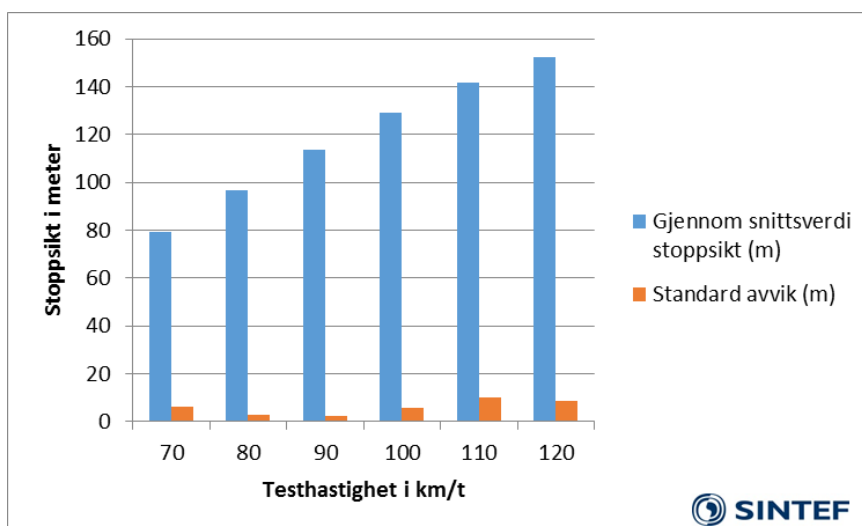
Metodikken for sammenligning av stoppsikt målt i testene med Statens vegvesens nye forslag til stoppsikt er basert på følgende:

- De registrerte bremselengdene ble korrigert for friksjonsforholdene som ble registrert ved bremselengdemålingene. Friksjonen som ble målt på Dagali var vesentlig bedre enn det som er gjennomsnittet på landsbasis og det betyr at de registrerte bremselengdene økte i verdi.
- De friksjonskorrigerte bremselengdene ble korrigert for avvik i hastighet i de tilfellene bilføreren hadde kjørt saktere enn ønsket testhastighet. De fleste av bremselengdene ble derfor lengre.
- Den prosentvise forskjellen på stoppsiktene i nytt forslag til stoppsikt og målt stoppsikt ble lagt inn i et diagram. I dette tilfellet ble kravene til stoppsikt definert som om testkjøretøyet hadde kjørt i beregningsmessig fart. For et kjøretøy som f.eks. kjørte i 80 km/t tilsvarte dette en fartsgrense på 75 km/t. Stoppsikt ved 75 km/t ble funnet ved midling av de sentrale parameterne i 70 og 80 km/t og egen beregning av stoppsikt for 75 km/t (104 meter). Tilsvarende ble gjort for et kjøretøy som f.eks. hadde en testhastighet på 110 km/t. Her er det et fartstillegg på 10 km/t hvilket tilsier at en beregningsmessig fart på 110 km/t tilsvarer en tillatt fartsgrense på 100 km/t. Det betyr at kravene til stoppsikt for 100 km/t (215 meter) ble lagt inn for de testkjøretøyene som hadde kjørt i 110 km/t.
- Diagrammet ble tolket mht. om de nye kravene er realistiske og at de har en god nok sikkerhetsmargin for den dimensjonerende (gjennomsnittlige) trafikanten.

7 Resultater

7.1 Gjennomsnittlige stoppsikt for de ulike testhastighetene

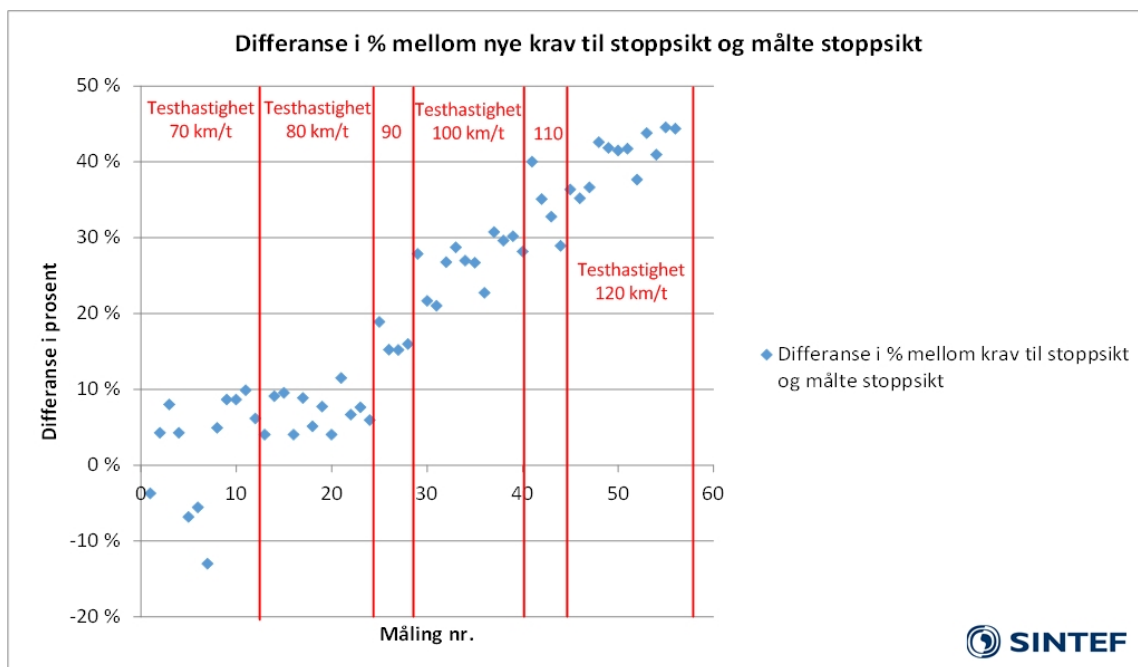
Figur 15 viser gjennomsnittlige bremselengder for de ulike testhastighetene. Spredningen (standardavviket) er størst for 70 km/t, 110 og 120 km/t. Årsaken til den store spredningen på 70 km/t er trolig at dette var den første måleserien som ble kjørt og bilførerne hadde ikke vennet seg helt til testopplegget og kjøretøyene som ble brukt. At spredningen på 110 km/t er litt større enn spredningen på 120 km/t kan skyldes at det bare var 4 målinger på 110 km/t, mens det var 12 målinger på 120 km/t.



Figur 15: Gjennomsnittlige bremselengder for ønsket testhastighet og standardavvik

7.2 Forholdet mellom krav til stoppsikt og observerte stoppsikt

Figur 16 viser forholdet mellom de observerte stoppsiktene (beregnet reaksjonslengde + justert bremselengde) og forslag til nye krav for stoppsikt. Differansen mellom krav til stoppsikt og observert stoppsikt ble beregnet og denne differansen ble sett i forhold til kravene til stoppsikt (i prosent). De laveste hastighetene finnes til venstre i diagrammet og de høyeste til høyre. Differansene øker markert etter måling nr. 25 som er første måling på 90 km/t. Den markerte knekken i resultatene skyldes trolig at det for 90 km/t er lagt inn en sikkerhetsfaktor på 1,2 på friksjonsverdiene og et fartstillegg på 5 km/t.



Figur 16: Differanse i % mellom kravene til stoppsikt og observerte stoppsikt

7.3 Resultater for beregningshastighetene 70 og 85 km/t

Beregningshastighetene 70 og 85 km/t tilsvarer tillatt hastighet 70 og 80 km/t. Av de 24 målingene som er gjort for stoppsikt for hastigheter i dette intervallet ligger 20 av målingene mellom 4 og 11 % *lavere* enn forslaget til nye krav. Fire av målingene ligger mellom 4 og 13 % *over* forslaget til nye krav. Måling nr. 7 skiller seg ut fra de andre og vi har sett spesielt på denne uten at vi fant noen annen årsak enn at den registrerte bremselengden var litt lengre enn de andre tilsvarende bremselengdene. En mulig forklaring kan være at dette var den første bremsemålingen hvor VW Caddy ble brukt og at det var den første målesekvensen hvor alle bilførerne trengte litt tid til å venne seg til både bil og selve opplegget med nedbremsing.

7.4 Resultater for beregningshastighetene 95, 110 og 120 km/t

Beregningshastigheter for 95, 110 og 120 km/t tilsvarer tillatt hastighet 90, 100 og 110 km/t. Av de 32 målingene som er gjort for stoppsikt for disse hastighetene ligger alle målingene mellom 15 og 44 % *lavere* enn forslaget til nye krav til stoppsikt. Differansen mellom målt stoppsikt og kravene til stoppsikt øker for økende hastigheter og dette skyldes trolig at både fartstillegget og sikkerhetsfaktorene for friksjonsverdier øker med hastigheten.

8 Konklusjoner

Konklusjon for beregningshastighetene 70 og 85 km/t

I alt ligger 83 % av de utførte nedbremsingene innenfor de foreslåtte nye verdiene for stoppsikt. De fire målingene, hvor de utførte nedbremsingene ligger inntil 13 % utenfor de nye kravene til stoppsikt, utgjør til sammen 17 % av de 24 målingene for tillatt hastighet 70 og 80 km/t. Alle de fire målingene som ligger utenfor de nye kravene er blant de 7 første målingene som ble utført og alle er knyttet til tillatt hastighet på 70 km/t. Vi tror disse fire målingene i stor grad kan tilskrives bilførernes tilpasning både til bil og testopplegg og at alle observasjonene som ble gjort for de andre 20 testkjøringene er en god indikasjon på at de nye kravene til stoppsikt er realistiske.

Konklusjon for beregningshastighetene 95, 110 og 120 km/t

Alle de utførte nedbremsingene for disse beregningshastighetene ligger godt innenfor de foreslåtte nye verdiene for stoppsikt, hvilket er en god indikasjon på at de nye kravene til stoppsikt er realistiske. Differansene for de høyeste hastighetene er så store at det kanskje bør vurderes å senke kravene til sikkerhetsfaktorene på friksjon slik at kravene til stoppsikt kan reduseres noe.

9 Referanser

- [1] Eggen, R., og Giæver, T., (2014) *Notat om beregning av linjeføringskrav i N100 med nye sikkerhetsfaktorer på fart og friksjon*, Statens vegvesen Vegdirektoratet

Vedlegg A: Reaksjonslengder

Reaksjonslengde er utkjørt distanse i 2 sekunder for skiltet hastighet:

- 60 km/t: 33 meter
- 70 km/t: 39 meter
- 80 km/t: 47 meter
- 90 km/t: 53 meter
- 100 km/t: 61 meter
- 110 km/t: 67 meter
- 120 km/t: 72 meter

Vedlegg B: Målinger og beregnede verdier

Tabellen nedenfor viser:

- *Bil*: Hvilken bil som ble brukt til testkjøringen
- *Kjørt hastighet*: Den hastigheten som ble registrert ved hjelp av GPS sensor i det kjøretøyet startet nedbremsingen
- *Målt bremselengde*: Bremselengde målt fra kjegler som markerte start nedbremsing til front stillestående kjøretøy
- *Registrert bremselengde med GPS*: Bremselengde som fremkommer fra knekkpunkt i hastighetsprofil (start nedbremsing) til hastighetsprofilen viser hastighet lik 0 km/t (stillestående kjøretøy)
- *Bremselengde korrigert for friksjonsforhold*: Registrert bremselengde med GPS korrigert for de friksjonsverdiene som ble målt på strekningen for nedbremsing. Friksjonsverdiene på Dagali flyplass var vesentlig høyere enn det som er registrert som landsgjennomsnitt for tilsvarende hastighetsnivå.
- *Bremselengde korrigert for friksjon og hastighet*: Registrert bremselengde korrigert for både friksjonsforhold og hastighetsavvik i forhold til ønsket testhastighet
- *Reaksjonslengde*: Den strekningen et kjøretøy kjører i løpet av 2 sekunder i ønsket testhastighet
- *Registrert stoppsikt*: Summen av Reaksjonslengde og Bremselengde korrigert for friksjon og hastighet
- *Ønsket testhastighet*: Den hastigheten (korrigert for speedometeravvik) som bilførerne ble bedt om å holde ved start nedbremsing

Bil	Kjørt hastighet km/t	Målt bremselengde (m)	Registrert bremselengde med GPS (m)	Bremse lengde korrigert for friksjons forhold	Reg. bremselengde korr. for friksjon og hast.	Reaksjons lengde meter	Reg. og korr. Stoppsikt
Ønsket testhastighet 70 km/t							
BMW	70	34	33	45	45	39	84
BMW	67	20	25	36	39	39	78
BMW	69	18	23	35	36	39	75
BMW	67	26	25	36	39	39	78
VW Caddy	69	34	35	47	48	39	87
VW Caddy	65	32	32	42	47	39	86
VW Caddy	65	35	38	48	53	39	92
VW Caddy	66	29	24	35	38	39	77
Volvo V60	70	21	23	35	35	39	74
Volvo V60	70	26	23	35	35	39	74
Volvo V60	70	24	22	34	34	39	73
Volvo V60	66	24	23	34	37	39	76
Ønsket testhastighet 80 km/t							
BMW	79	38	38	52	53	47	100
BMW	78	30	32	45	48	47	95
BMW	80	32	33	47	47	47	94
BMW	79	38	38	52	53	47	100
VW Caddy	79	35	33	47	48	47	95
VW Caddy	75	37	34	46	52	47	99
VW Caddy	76	30	32	45	49	47	96

Bil	Kjørt hastighet km/t	Målt bremselengde (m)	Registrert bremselengde med GPS (m)	Bremse lengde korrigert for friksjonsforhold	Reg. bremselengde korr. for friksjon og hast.	Reaksjonslengde meter	Reg. og korr. Stoppsikt
VW Caddy	79	33	38	52	53	47	100
Volvo V60	80	34	31	45	45	47	92
Volvo V60	80	38	36	50	50	47	97
Volvo V60	80	38	35	49	49	47	96
Volvo V60	79	36	36	50	51	47	98
Ønsket testhastighet 90 km/t							
VW Caddy	85	39	38	51	57	53	110
VW Caddy	87	47	45	58	62	53	115
VW Caddy	85	44	43	56	62	53	115
VW Caddy	87	43	44	57	61	53	114
Ønsket testhastighet 100 km/t							
BMW	98	54	53	63	66	61	127
BMW	100	70	67	77	77	61	138
BMW	94	67	59	68	78	61	139
BMW	100	68	58	68	68	61	129
VW Caddy	99	54	53	63	64	61	125
VW Caddy	97	56	53	62	68	61	129
VW Caddy	96	59	52	61	68	61	129
VW Caddy	94	55	56	65	75	61	136
Volvo V60	100	55	51	61	61	61	122
Volvo V60	100	52	53	63	63	61	124
Volvo V60	100	57	52	62	62	61	123
Volvo V60	99	53	54	64	65	61	126
Ønsket testhastighet 110 km/t							
VW Caddy	110	63	62	62	62	67	129
VW Caddy	107	64	66	66	73	67	140
VW Caddy	107	65	71	71	78	67	145
VW Caddy	105	70	75	75	86	67	153
Ønsket testhastighet 120 km/t							
BMW	120	94	91	91	91	72	163
BMW	118	89	89	89	94	72	166
BMW	115	77	78	78	90	72	162
BMW	120	80	75	75	75	72	147
VW Caddy	118	71	72	72	77	72	149
VW Caddy	116	71	68	68	78	72	150
VW Caddy	115	71	65	65	77	72	149
VW Caddy	114	74	73	73	88	72	160
Volvo V60	118	64	67	67	72	72	144

<i>Bil</i>	<i>Kjørt hastighet km/t</i>	<i>Målt bremse lengde (m)</i>	<i>Registrert bremse lengde med GPS (m)</i>	<i>Bremse lengde korrigert for friksjons forhold</i>	<i>Reg. bremse lengde korr. for friksjon og hast.</i>	<i>Reaksjons lengde meter</i>	<i>Reg. og korr. Stoppstikt</i>
Volvo V61	115	65	67	67	79	72	151
Volvo V62	120	76	70	70	70	72	142
Volvo V63	119	74	68	68	70	72	142



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no