# STØJSVAGE PROFILEREDE VEJSTRIBER - LYSTEKNISKE EGENSKABER, STØJ OG TEST MED SNEPLOV

Kai Sørensen, 2. november 2018

EUROSTAR
a SAFEROAD company

**Støjsvage profilerede vejstriber – lystekniske egenskaber, støj og test med sneplov**

Kai Sørensen, 2. november 2018

## 1. Sammenfatning og konklusion

Dette notat angår lystekniske målinger, støjmålinger og test med sneplov på otte vejstriber udlagt på en vej på den militære del af Tirstrup lufthavn. Stedet giver gode forhold til måling af støj, men til gengæld er der stort set ingen trafik og slid på vejstriberne.

### Vejstriberne

Vejstriberne omtales i afsnit 2. Der er to plane vejstriber, én vejstribe af typen Longflex og to varianter af denne type, én vejstribe af typen Multidot og to varianter af denne type.

Hensigten med varianterne er at afprøve om de er mindre støjende ved overkørsel end hovedtyperne, og samtidig har acceptable lystekniske egenskaber. Det vigtigste kriterium er synlighed i vådt føre i belysning fra billygter om natten. Måleparameteren er luminanskoefficienten for retroreflekteret luminans i våd tilstand, $R_L$(våd).

### Vejstribernes lystekniske egenskaber

Vejstribernes lystekniske egenskaber omtales i afsnit 3, som har underafsnit om måleparametre og instrumenter, udførelse af målinger, måleværdier og kommentarer til måleværdierne.

Kommentarerne angår vejstribernes geometriske udformninger og lystekniske egenskaber.

Specielt for $R_L$(våd) gælder at værdierne er så høje at de ikke kan forklares af almindelig refleksion i strukturernes forkanter. Der må derfor være væsentlige og i nogle tilfælde dominerende bidrag fra glasperler i overfladen. Det tilskrives at der er anvendt store glasperler, og måske at vejstriberne ikke har været udsat for et væsentligt slid.

Målingerne af luminanskoefficienten for retroreflekteret luminans i tør og våd tilstand, henholdsvis $R_L$(tør) og $R_L$(våd) er gennemført to gange – først under hovedmålinger i august 2018 og cirka 2 måneder senere under supplerende målinger i oktober 2018. En sammenligning af disse målinger viser at $R_L$(tør) i gennemsnit er aftaget med 13 % og $R_L$(våd) med 29 %. Der er en diskussion af årsagen til det relativt store fald i $R_L$(våd).

Til måling af $R_L$(tør) og $R_L$(våd) blev der benyttet en LTL-X.

Desuden blev Vejdirektoratets LTL-M benyttet til måling af $R_L$(tør), så der er mulighed for sammenligning mellem de to instrumenter. Måleværdierne omtales i Bilag A, hvor der omtales en god repeterbarhed og en forskel i værdierne af $R_L$(tør) på cirka 10 %. Imidlertid peges der også på usikkerheder ved en sådan sammenligning.

### Støjmålinger

Støjmålingerne omtales i afsnit 4, som har underafsnit om udførelse af målingerne, resultater af målingerne, kommentarer til støjniveauer og kommentarer til frekvensspektre.

Der anføres at vejstriben af typen Longflex er klart den mest støjende, og at den i tidligere udførelser formentligt var endnu mere støjende. Støjniveauet er lavere for de to varianter, som er kaldt Safeflex.

Der er et lignende mønster for Multidot og dens to varianter, men på et lavere støjniveau. Støjniveauet er meget lavt for de to varianter, som er kaldt Longdot.

Desuden peges der på at overkørsel af en profileret vejstribe skaber lyd med toner, som er overlejret hvid støj. Frekvensspektrene viser disse toner for Multidot og dens to varianter, men omfatter ikke de dybere toner fra Longflex og dens varianter.

**Test med sneplov**

Test med sneplov omtales i afsnit 5. Tre forskellige plovskær, et gummiskær, et stål/keramikskær og et hårdmetalskær, er anvendt til hver 10 kørsler. Gummiskæret fører ikke til nogen synlig påvirkning af vejstriberne, hvorimod de to andre skær giver afskrabning af materiale fra vejstriberne – kraftigst for hårdmetalskæret.

Samlet set passerede alle vejstriberne testen med et gennemsnitligt fald i $R_L$(våd) på 23 %.

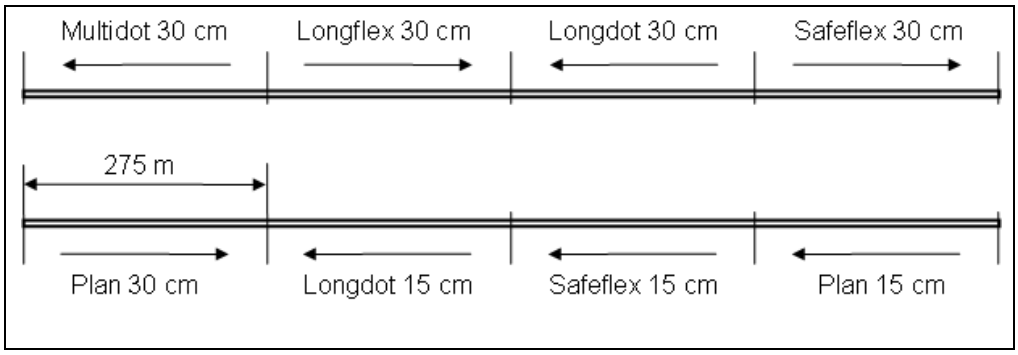
**Konklusion**

De to Longdot er lovende på grund af deres meget lave støjniveauer og samtidigt gode værdier af $R_L$(våd).

Note:
Modstandsdygtigheden over for hjulpassager indgår ikke i de omtalte målinger, men en Longdot blev udlagt i august 2018 på den danske prøvestrækning ved Gørlev, hvor "P-klassen" vil blive bestemt.

## 2. Udlagte vejstriber

Der er udlagt otte vejstriber på en vej på den militære del af Tirstrup lufthavn. Vejstriberne findes i to baner som vist i figur 1, der også med pile viser køreretningerne under udlægning. Højre og venstre i figuren er omtrent henholdsvist øst og vest. Figur 2 viser nærfotos af vejstriberne.




**Figur 1: Udlagte vejstriber i to baner med pile, der angiver retningen for udlægning.**

To af vejstriberne er plane med bredder på 15 og 30 cm, mens seks er profilerede. Tabel 1 viser de profilerede vejstribers geometriske forhold, der er bestemt ved omtrentlig udmåling på fotos.

**Tabel 1: De profilerede vejstribers geometriske forhold.**

| Type | Modul | Heraf gab | Antal rækker | Forskydning mellem rækker |
|---|---|---|---|---|
| Longflex 30 cm | 20 cm | 5 cm | 1 | |
| Safeflex 15 cm | 17 cm | 7 cm | 3 | 5 cm |
| Safeflex 30 cm | 37 cm | 24 cm | 6 | 5 cm |
| Multidot 30 cm | 6 cm | 3 cm | 12 | 3 cm |
| Longdot 15 cm | 10 cm | 2 cm | 6 | 5 cm |
| Longdot 30 cm | 8 cm | 2 cm | 12 | 4 cm |

Longflex 30 cm er af den type, der sædvanligvis benyttes til profilerede vejstriber i Danmark. I tidlige anvendelser udgjorde gabet 50 % af modulet, men gabet er gradvist reduceret til for eksempel 25 % for at øge holdbarheden og retrorefleksionen.

Safeflex 15 cm er i princippet tre Longflex vejstriber af bredden 5 cm, der er forskudt i længderetningen i forhold til hinanden. På samme måde er Safeflex 30 cm i princippet seks Longflex vejstriber af bredden 5 cm, der er forskudt i længderetningen i forhold til hinanden. Vejstriberne adskiller sig imidlertid fra hinanden, og fra Longflex 30 cm, ved gabenes andele af modulerne. Det bemærkes at Safeflex 30 cm er udlagt med et langt større gab end tilsigtet på grund af computer problemer.

Multidot 30 cm er af en type, der i en periode blev benyttet en del i Danmark. Den har "toppe" af materiale udlagt i et antal rækker, der er forskudt i længderetningen.

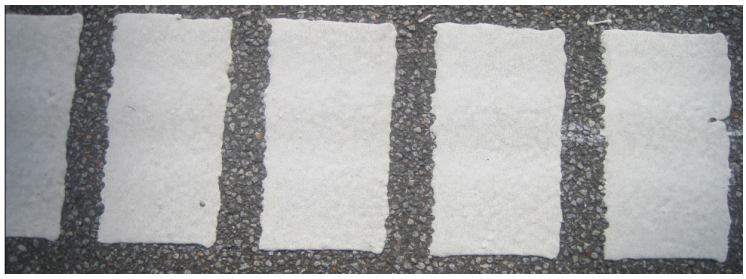
Longdot 15 cm og Longdot 30 cm er i familie med Multidot 30 cm, men adskiller sig ved at "toppene" er langstrakte. Desuden adskiller de tre vejstriber sig fra hinanden ved at gabene udgør forskellige andele af modulerne.

Endvidere har Multidot 30 cm "toppe", som overlapper i bredderetningen, så vejbelægningen mellem "toppene" ikke er synlig i den normale måleretning. "Toppene" i Longdot 15 cm og Longdot 30 cm overlapper derimod ikke, hvorved en del af vejbelægningen mellem "toppene" er synlig i den normale måleretning. Alt andet lige betyder det et tab i både $R_L$ og Qd værdier.

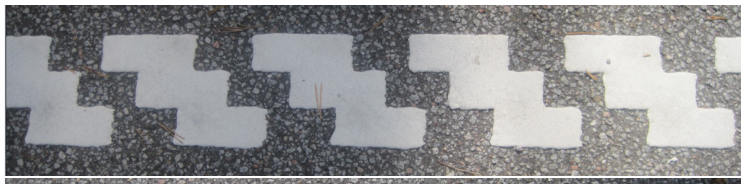
**Plan 15 cm**

**Plan 30 cm**

**Longflex 30 cm**

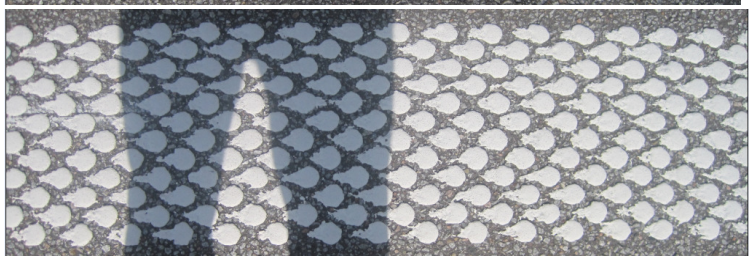


Safeflex 15 cm

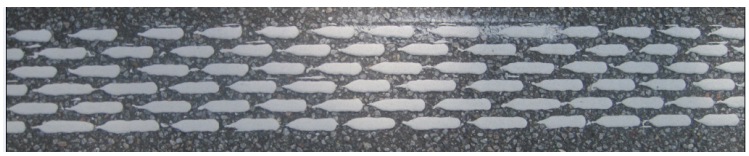


**Safeflex 30 cm**

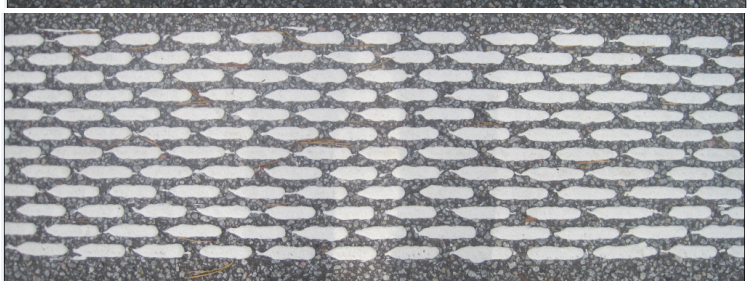
**Multidot 30 cm**



**Longdot 15 cm**



**Longdot 30 cm**



**Figur 2: Fotos af vejstriberne.**

## 3. Vejstribernes lystekniske egenskaber

### 3.1 Lystekniske måleparametre og instrumenter

DS/EN 1436 Vejafmærkningsmateriale – "Funktionskrav til vejafmærkning samt prøvningsmetoder" benytter følgende mål for en vejstribes lystekniske egenskaber:

- Refleksion i belysning fra billygter: koefficienten for retroreflekteret luminans $R_L$
- Refleksion i dagslys: koefficienten for refleksion i diffus belysning, Qd
- Refleksion og farve i dagslys: luminansfaktoren β og farvekoordinaterne (x,y).

$R_L$ og Qd måles begge i en 30 m standard geometri. Den fulde måleenhed er $cd \cdot m^{-2} \cdot lx^{-1}$, men for at opnå bekvemme talstørrelser bruges den 1000 gange mindre enhed $mcd \cdot m^{-2} \cdot lx^{-1}$.

$R_L$ kan bestemmes for både tør og en standard våd tilstand – som fremkommer 60 sekunder efter rigelig påføring af vand. De to værdier betegnes $R_L$(tør) og $R_L$(våd).

Luminansfaktoren β beskriver overfladens refleksion på en skala fra 0 til 1, mens farvekoordinaterne (x,y) angiver overfladens farve.

Der er benyttet to forskellige LTL-X til måling af $R_L$(tør) og $R_L$(våd), en Qd30 til måling af Qd og en Gardner color-guide 45°/0° til måling af β og (x,y). Samtlige instrumenterne er i overensstemmelse med EN 1436 og var kalibrerede til lejligheden.

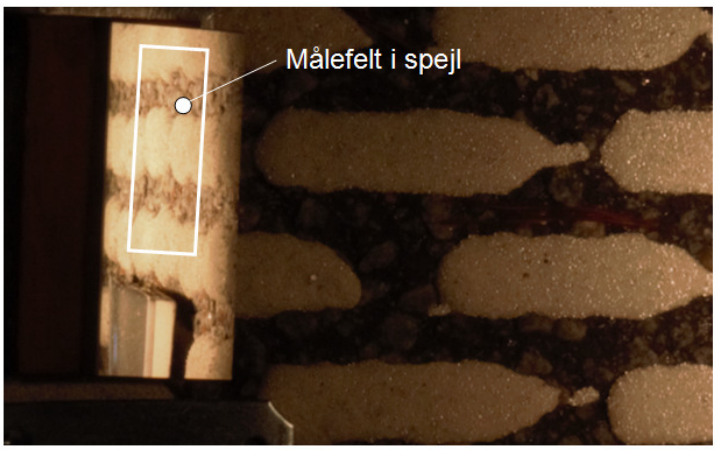
Desuden er der benyttet en målekasse til bestemmelse af vejbelægningers lystekniske egenskaber, som er udviklet i det nordiske NMF samarbejde. Målekassen er beskrevet i notatet "A box for the measurement of road surface reflection properties" som findes på nmfv.dk.

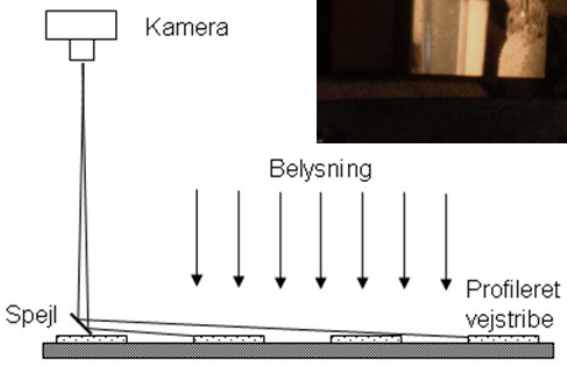
Målekassen leverer en værdi af Qd, og er på det punkt et alternativ til Qd30. Desuden bestemmer målekassen værdien af en spejlingsfaktor S1, der er et udtryk for en overflades grad af spejling i modlys.

Note: Målekassen virker som vist herunder.

En måleværdi udledes som middelværdien over et målefelt. Der er to belysninger og dermed to måleværdier, hvoraf Qd og S1 udledes.

Billedet er fra måling af en Longdot og viser at vejbelægningen i mellemrummene indgår i målingen.



## 3.2 Udførelse af lystekniske målinger

### 3.2.1 Hovedmålinger

Der blev udført hovedmålinger den 20. august 2018 af Karsten Houmann Henneberg, Vejdirektoratet og undertegnede. Vejret var udmærket til lejligheden – det vil sige tørt.

Hovedmålingerne omfatter $R_L$(tør), $R_L$(våd), Qd, β, (x,y) og S1. Den LTL-X, der blev benyttet til måling af $R_L$(tør) og $R_L$(våd) og den Qd30, der blev benyttet til måling af Qd, var begge udlånt af DELTA Lys & Optik.

Det blev bemærket at de profilerede vejstribers kanter er tydeligt mere stejle på forsiderne end på bagsiderne, hvorfor måleværdier af $R_L$ og Qd må forventes at afhænge af måleretningen. Da udlægning af vejstriber for det meste sker i køreretningen, blev det besluttet at målinger af $R_L$ og Qd udføres i samme retning som under udlægningen. Dette er enten fra øst mod vest eller omvendt, se figur 1.

Desuden blev det bestemt at udføre målingerne af $R_L$ og Qd i områder på midten af de 275 m lange vejstriber og til gengæld dække arealer af tilstrækkelig størrelse for at opnå pålidelige værdier. Til forklaring kræves der et antal målinger for at opnå pålidelige værdier af $R_L$ og Qd, da målefelterne af LTL-X og Qd30 kun er 5 cm i bredden og 20 cm i længden, mens vejstriberne er 15 eller 30 cm brede og i nogle tilfælde har lange moduler.

Der blev derfor udført et antal målinger i forskudte positioner i det omfang, det blev skønnet nødvendigt for de enkelte vejstriber. Dette var 6 til 12 for $R_L$(tør) og Qd. Under måling af $R_L$(våd) viste det sig at der kun var kort tid med stabile værdier til rådighed, hvorfor antallet af måleværdier kun blev 4 til 6.

Målekassen blev benyttet i kun to forskudte positioner.

I alle tilfælde angives der kun en middelværdi, som er bestemt med en usikkerhed på op til 10 % for $R_L$(tør) og $R_L$(våd) og 5 % for Qd.

### 3.2.2 Supplerende målinger

Der blev udført supplerende målinger af $R_L$(tør) og $R_L$(våd) den 25. oktober 2018, ligeledes af Karsten Houmann Henneberg, Vejdirektoratet og undertegnede. Der blev benyttet en LTL-X, som findes hos Vejdirektoratet, men som blev kalibreret med en normal udlånt fra DELTA Lys & Optik.

Målingerne blev udført om eftermiddagen, hvor det blev skønnet at vejstriberne var tørret op af sol og vind efter nogle småbyger om formiddagen. For en sikkerheds skyld blev målefelterne i nogle tilfælde flyttet til steder med direkte sol.

Ved denne lejlighed blev $R_L$(tør) og $R_L$(våd) målt i begge retninger – fra øst mod vest og omvendt – for at afklare betydningen af måleretningen i forhold til udlægningsretningen.

Der blev igen udført et antal målinger i forskudte positioner i det omfang, det blev skønnet nødvendigt for de enkelte vejstriber. Dette var 7 til 10 for både $R_L$(tør) og $R_L$(våd), idet der var længere tid med stabile værdier af $R_L$(våd) til rådighed.

Det sidstnævnte forhold kan nok forklares med at vejstriberne stadig var let vandskyende under hovedmålingerne, men ikke under de supplerende målinger – hvis værdier af $R_L$(våd) derfor nok er de mest troværdige.

### 3.3 Lystekniske måleværdier

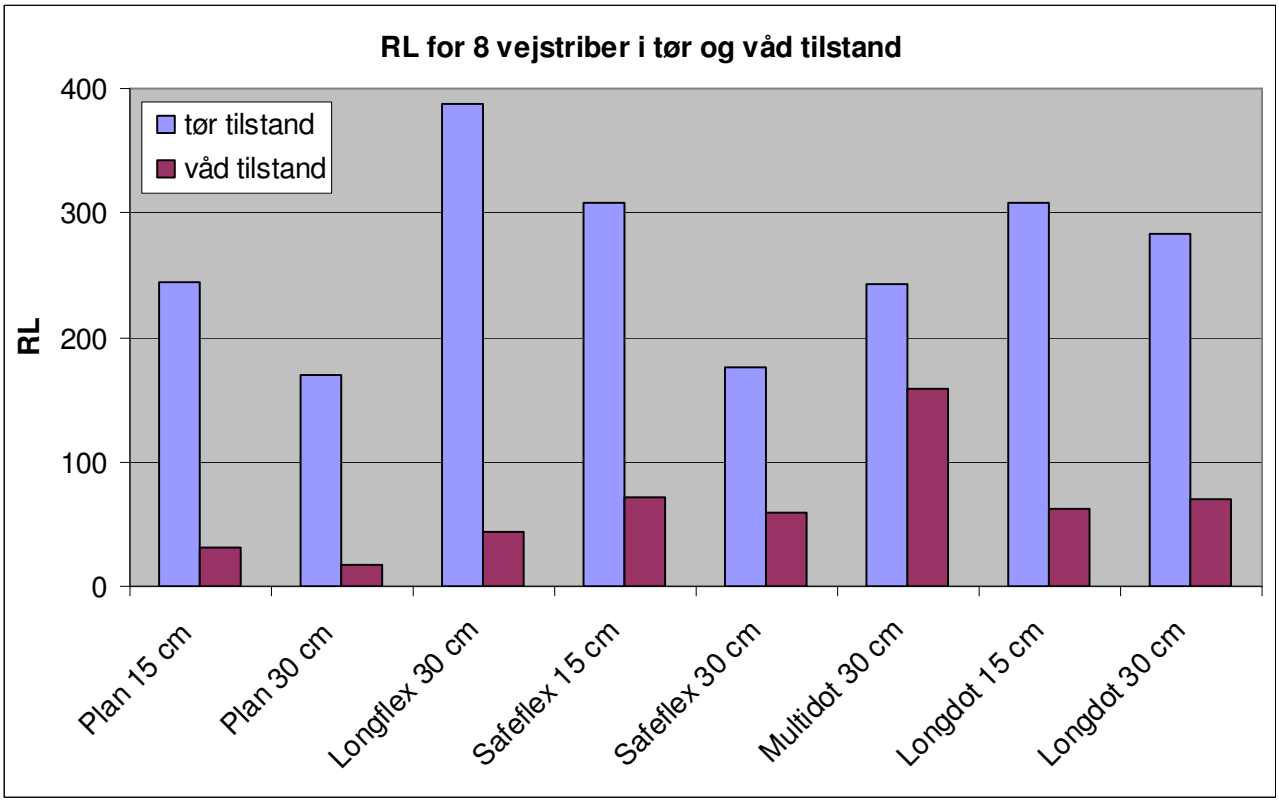
#### 3.3.1 Hovedmålinger

Samtlige måleværdier for hovedmålingerne er anført i tabel 2. Desuden er $R_L$(tør) og $R_L$(våd) vist i figur 3, Qd målt Qd30 i figur 4, luminansfaktoren β i figur 5 og farvekoordinaterne (x,y) i figur 6. Endelig er der vist en sammenligning af Qd værdier målt med Qd30 og målekasse i figur 7 og værdierne af spejlingsfaktoren S1 er vist i figur 8.

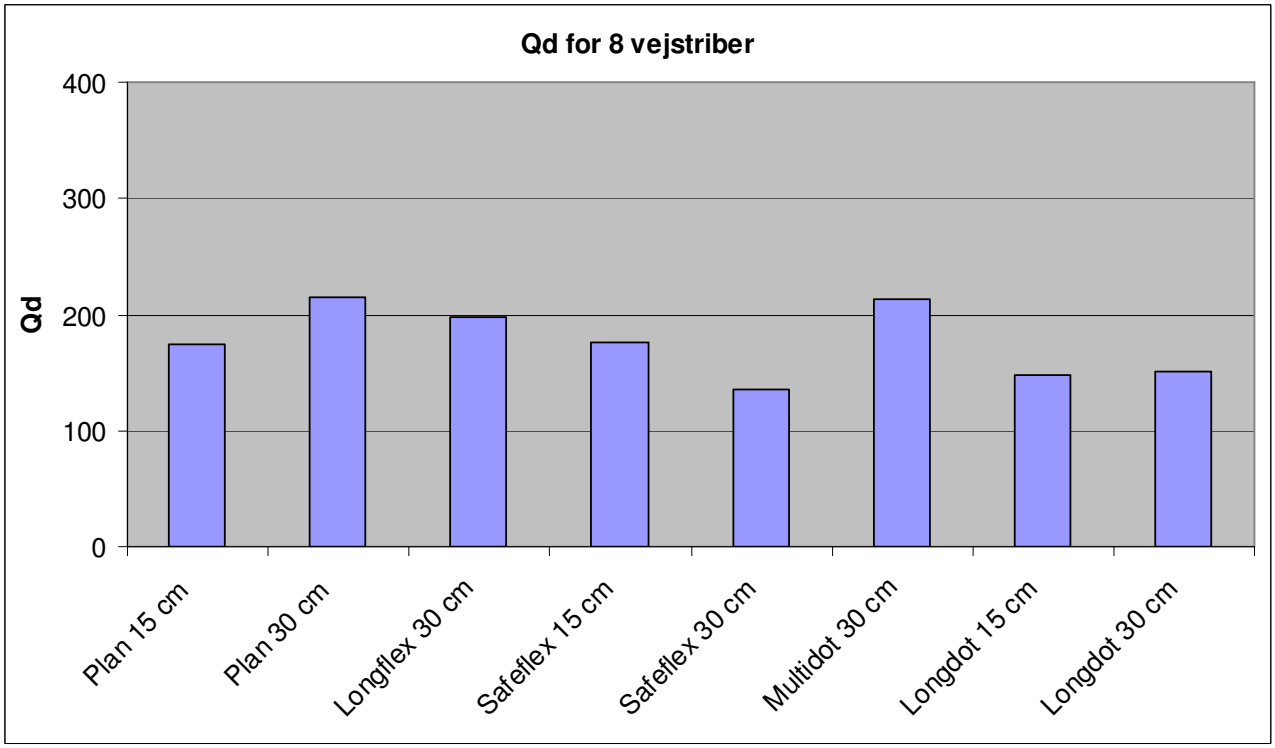
.

**Tabel 2: Lystekniske måleværdier for hovedmålinger.**

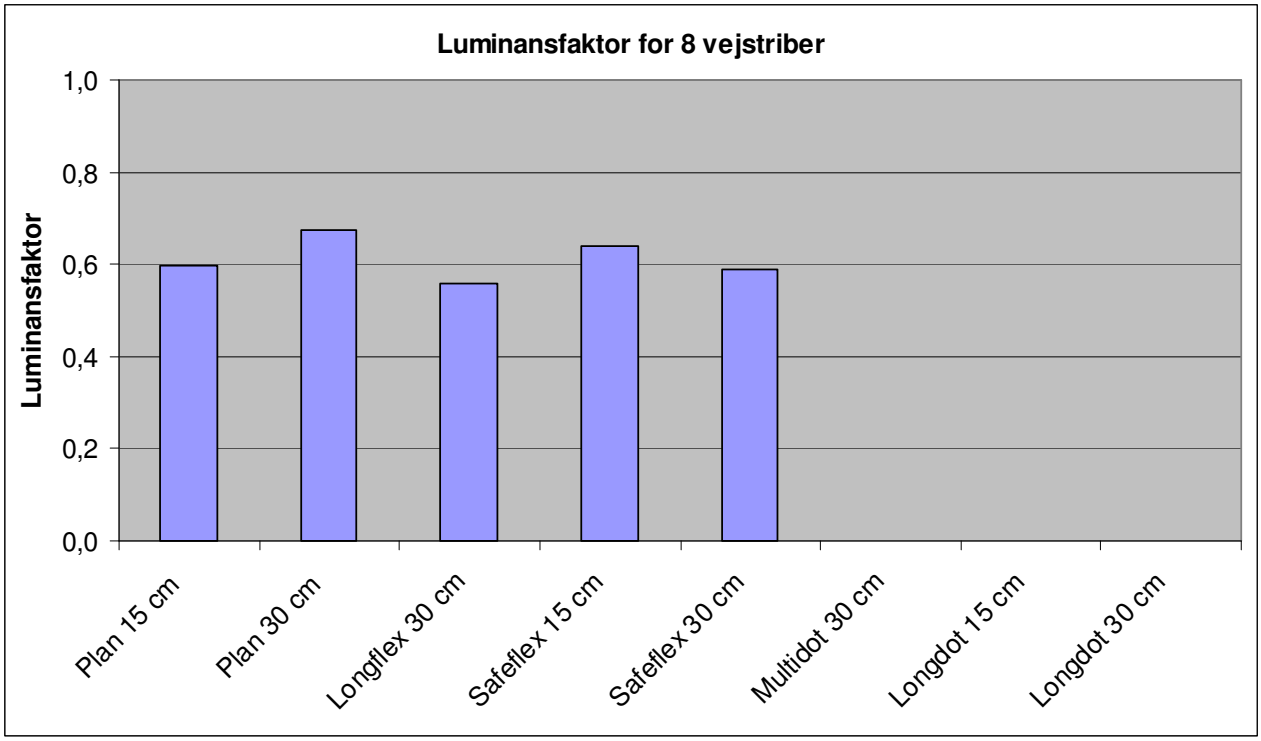
| Måleudstyr og parameter | LTL-X | | Qd30 | Gardner color-guide | | | Målekasse | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $R_L$(tør) | $R_L$(våd) | Qd | β | x | y | Qd | S1 |
| Vejstribe | | | | | | | | |
| Plan 15 cm | 245 | 31 | 175 | 0,595 | 0,331 | 0,351 | 166 | 0,38 |
| Plan 30 cm | 170 | 17 | 215 | 0,675 | 0,328 | 0,347 | 240 | 0,70 |
| Longflex 30 cm | 387 | 43 | 197 | 0,559 | 0,328 | 0,349 | 196 | 0,22 |
| Safeflex 15 cm | 309 | 72 | 176 | 0,639 | 0,328 | 0,349 | 158 | 0,26 |
| Safeflex 30 cm | 175 | 59 | 136 | 0,588 | 0,330 | 0,350 | 118 | 0,25 |
| Multidot 30 cm | 243 | 158 | 213 | *) | | | 206 | 0,38 |
| Longdot 15 cm | 308 | 63 | 148 | *) | | | 147 | 0,19 |
| Longdot 30 cm | 283 | 70 | 151 | *) | | | 148 | 0,21 |
| Vejbelægning | ikke målt | | 89 | ikke målt | | | 81 | 0,28 |
| *) kan ikke måles på grund af for lille plant areal | | | | | | | | |



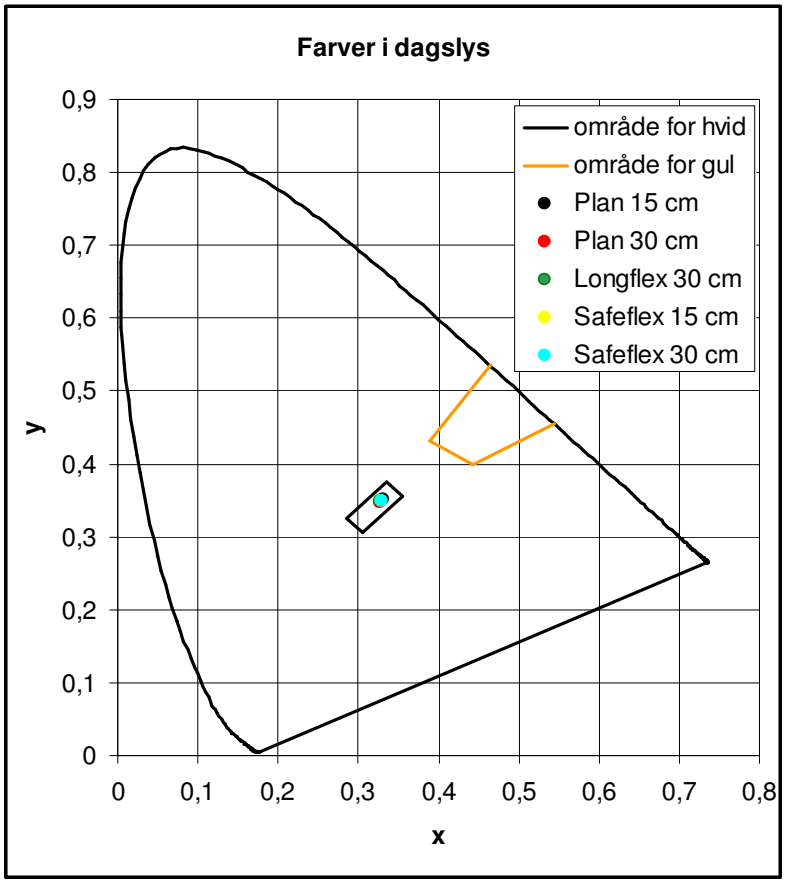

**Figur 3: $R_L$(tør) og $R_L$(våd) for hovedmålingerne.**



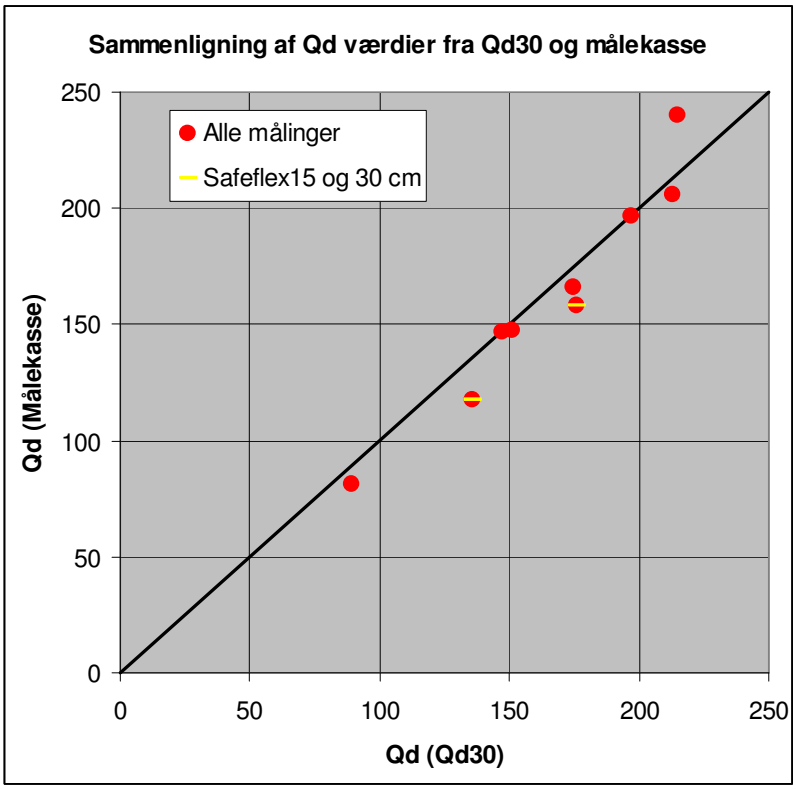

**Figur 4: Qd værdier.**



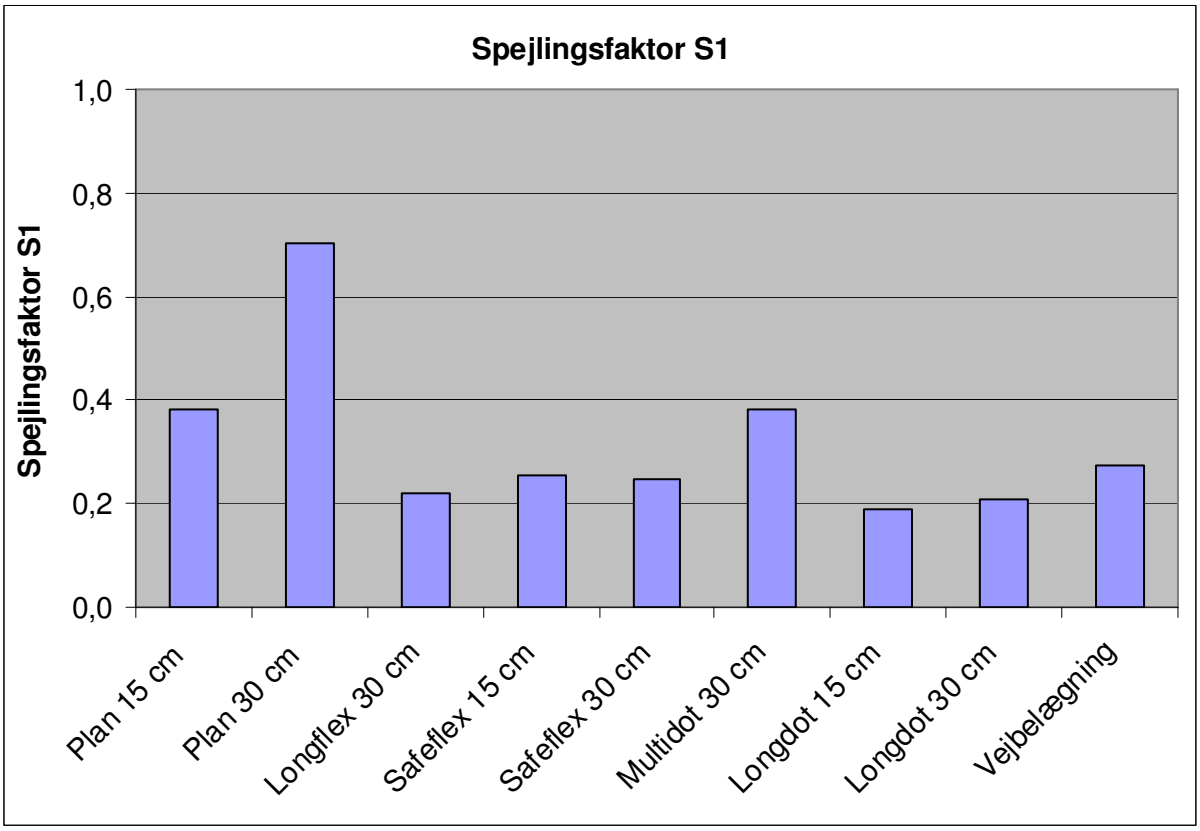

**Figur 5: Værdier af luminansfaktoren β.**




**Figur 6: Farvekoordinater (x,y) (punkterne ligger oven i hinanden og kan ikke skelnes fra hinanden).**




**Figur 7: Sammenligning af Qd værdier målt med Qd30 og målekasse.**




**Figur 8: Spejlingsfaktor S1 målt med målekasse.**

### 3.3.2 Supplerende målinger

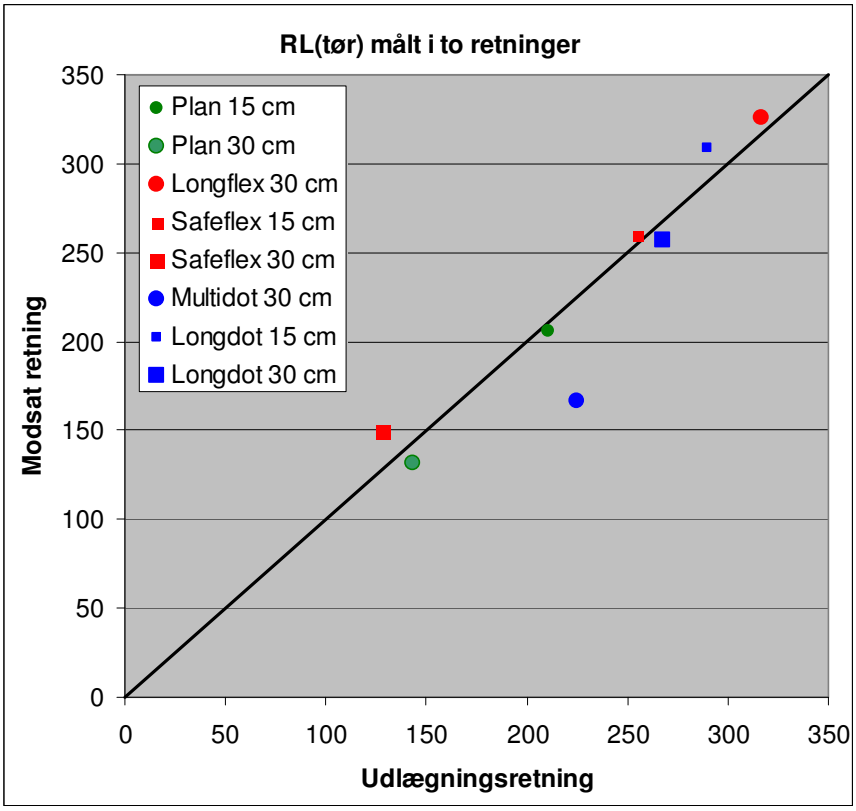
Måleværdierne fra de supplerende målinger er anført i tabel 3, mens $R_L$(tør) for de to måleretninger sammenlignes i figur 9, og $R_L$(våd) for de to måleretninger sammenlignes i figur 10.

Figur 9 viser at for Multidot 30 cm findes den markant største værdi af $R_L$(tør) for måling i udlægningsretningen, mens måleretningen ikke giver store forskelle for $R_L$(tør) af de øvrige vejstriber. Figur 10 viser lidt det samme mønster, men også at de øvrige profilerede vejstriber har de højeste værdier af $R_L$(våd) for måling modsat udlægningsretningen.

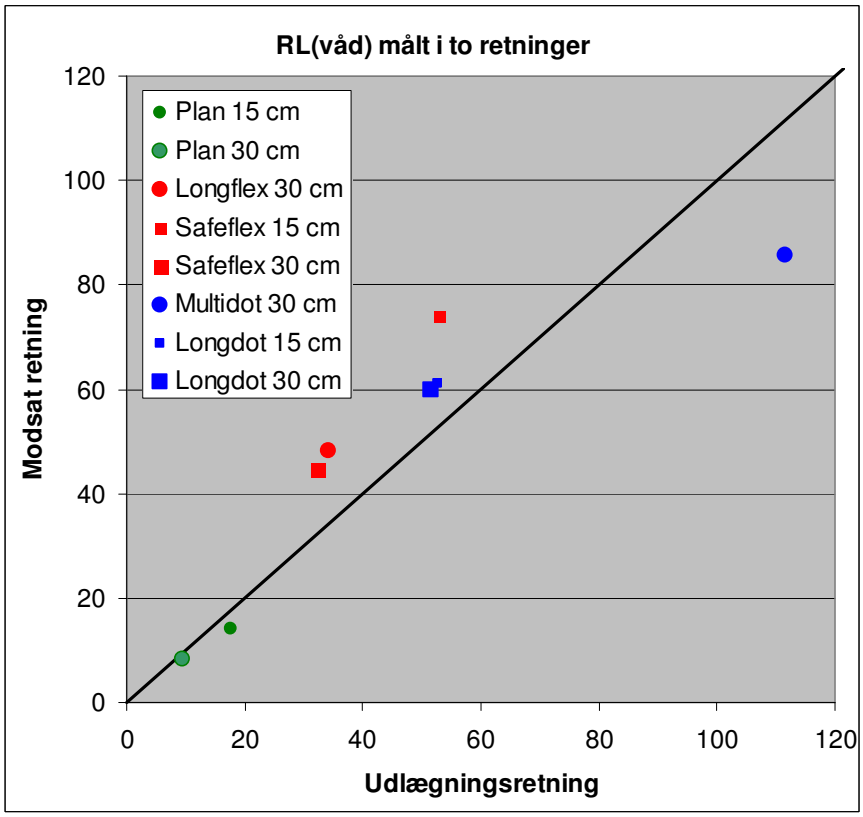
Måleretningen er derfor ikke uden betydning.

**Tabel 3: Lystekniske måleværdier for supplerende målinger.**

| | Udlægningsretning | | Modsat retning | |
|---|---|---|---|---|
| Vejstribe | $R_L$(tør) | $R_L$(våd) | $R_L$(tør) | $R_L$(våd) |
| Plan 15 cm | 211 | 18 | 206 | 14 |
| Plan 30 cm | 143 | 9 | 131 | 8 |
| Longflex 30 cm | 317 | 34 | 326 | 48 |
| Safeflex 15 cm | 255 | 53 | 260 | 74 |
| Safeflex 30 cm | 128 | 32 | 149 | 44 |
| Multidot 30 cm | 255 | 112 | 167 | 86 |
| Longdot 15 cm | 289 | 53 | 309 | 61 |
| Longdot 30 cm | 268 | 52 | 257 | 60 |
| Middelværdi | 229 | 45 | 226 | 49 |




**Figur 9: $R_L$(tør) målt i to retninger.**




**Figur 10: $R_L$(våd) målt i to retninger.**

## 3.4 Kommentarer til lystekniske måleværdier

### 3.4.1 Kravværdier

Rimelige kravværdier for en hvid vejstribe på en motorvej er 150 for $R_L$(tør), 35 for $R_L$(våd) af en profileret vejstribe og 130 for Qd.

Der stilles ikke krav til luminansfaktoren β, men farvepunktet angivet ved farvekoordinaterne (x,y) skal ligge inden for det område, der er fastlagt i EN 1436.

I vejregler for vejbelysning forventes at vejbelægningen har en Qd værdi på cirka 78 og at spejlingsgraden svarer til klasse N2, hvor S1 er mellem 0,28 og 0,60.

### 3.4.2 Hovedmålinger

Plane hvide vejstriber ville normalt have de højeste værdier af $R_L$(tør) og Qd. Dette er ikke tilfældet for Plan 15 cm og Plan 30 cm, men i hovedmålingerne opfylder de dog de ovennævnte kravværdier. I de supplerende målinger har Plan 30 en for lav værdi af $R_L$(tør), hvilket tilskrives en samling med lav retrorefleksion midt på vejstriben.

Plane vejstriber har – efter noget slid – normalt meget lave værdier af $R_L$(våd), som regel 0 eller tæt på 0. Plan 15 cm og Plan 30 cm har højere værdier, hvilket tilskrives at der er anvendt store glasperler, og måske også at vejstriberne ikke har været udsat for et væsentligt slid.

For de profilerede vejstriber kan der fremhæves et par forhold.

Ét forhold er at Longflex 30 cm har høje værdier af $R_L$(tør) og Qd, men en forholdsvis lav værdi af $R_L$(våd). Det må skyldes at 75 % af arealet er plant og ikke bidrager væsentligt til $R_L$(våd).

Safeflex 30 cm har derimod lave værdier af $R_L$(tør) og Qd, sikkert fordi gabet er så stort at vejbelægningen tæller med i værdierne. Safeflex 15 cm har mere harmoniske proportioner, der giver rimelige værdier af $R_L$(tør), $R_L$(våd) og Qd.

Forholdene for Multidot 30 cm, Longdot 15 cm og Longdot 30 cm er mere spegede. Der kan dog peges på at værdierne for Longdot 15 cm og Longdot 30 cm nok er reducerede, fordi en del af vejbelægningen indgår i målingerne.

Specielt for $R_L$(våd) gælder at værdierne er så høje at de ikke kan forklares af almindelig refleksion i strukturernes forkanter. Der må derfor være væsentlige og i nogle tilfælde dominerende bidrag fra glasperler i overfladen. Det tilskrives at der er anvendt store glasperler, og måske at vejstriberne ikke har været udsat for et væsentligt slid.

Værdierne af luminansfaktoren β ligger omkring 0,6. Det er pænt høje værdier.

Til farvepunkterne anføres at de ligger inden for det tilladte område for hvid og så tæt på hinanden at de ikke kan adskilles i figur 6.

Sammenligningen af Qd værdier målt med Qd30 og målekasse viser at der er udmærket overensstemmelse. Ved sammenligningen bør det tages i betragtning at der er forøget usikkerhed af Qd værdierne for Safeflex 15 og 30 cm på grund af disse vejstribers store moduler.

De profilerede vejstriber, bortset fra Multidot 30 cm, har værdier af spejlingsfaktoren S1 under den omtalte nedre værdi på 0,28 for klasse N2. Det svarer til lave spejlingsgrader og tilskrives at strukturerne bryder spejlinger i overfladen.

### 3.4.3 Supplerende målinger

De supplerende målinger viser at måleretningen har en nogen betydning for værdierne af $R_L$(tør) og $R_L$(våd).

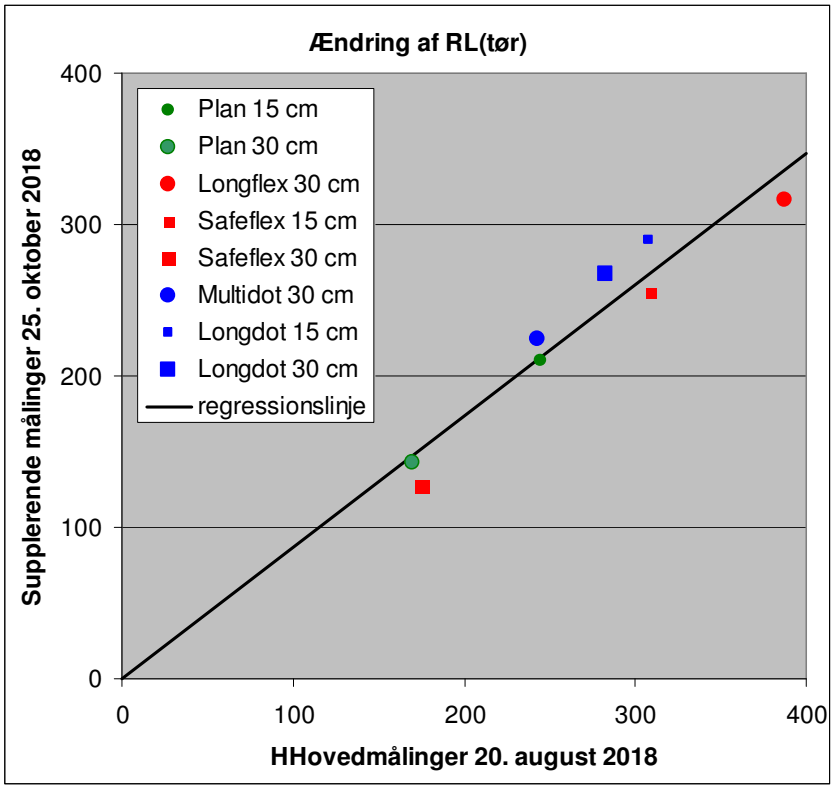
Desuden er der mulighed for sammenligning af $R_L$(tør) værdier fra hovedmålingerne med $R_L$(tør) værdier fra de supplerende målinger i samme retning (udlægningsretningen). En sådan sammenligning er vist i figur 11.

Den regressionslinje, der er indtegnet i figur 11, har en hældning på 0,87, hvilket viser at værdierne af $R_L$(tør) i gennemsnit er aftaget med 13 % i løbet af de cirka 2 måneder, der ligger mellem de to sæt målinger

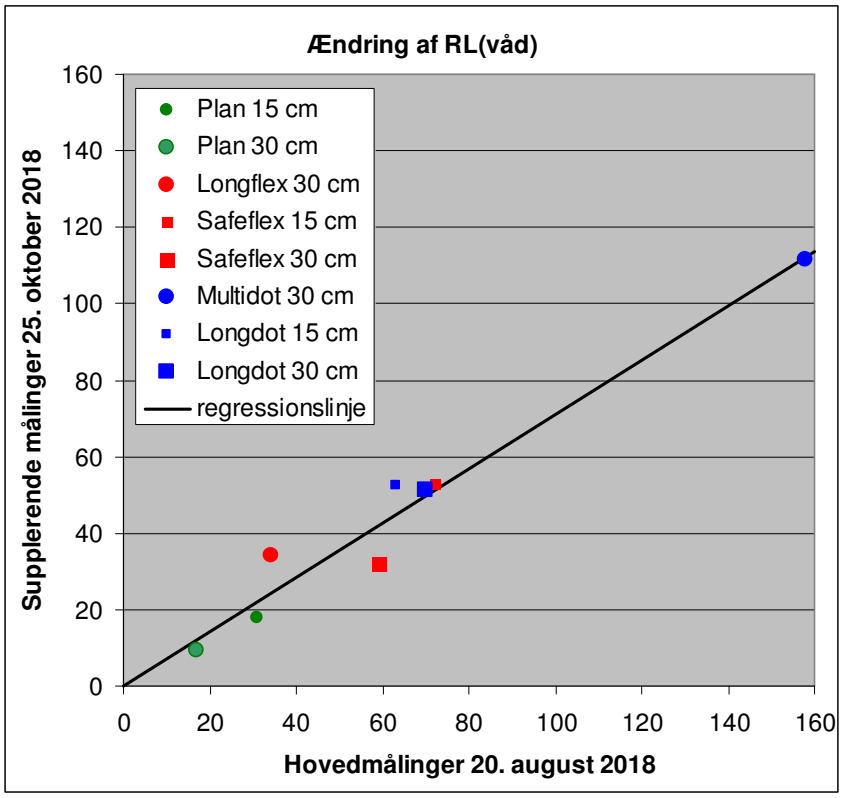
Endvidere er der mulighed for sammenligning af $R_L$(våd) værdier fra de to sæt målinger. Denne sammenligning er vist i figur 12, hvor regressionslinjen har en hældning på 0,71 og viser at værdierne af $R_L$(våd) i gennemsnit er aftaget med 29 % i løbet af de omtalte 2 måneder.

Disse fald må især skyldes vind og vejr – da der formentligt ikke har været nogen væsentlig kørsel på vejstriberne.

Det forhold at $R_L$(våd) viser det største tab skyldes måske at vejstriberne stadigt var lidt vandafvisende under hovedmålingerne og derfor havde kunstigt høje $R_L$(våd) værdier – sådan som det kendes fra nyudlagte vejstriber. En sådan antagelse bestyrkes af at der kun var kort tid med stabile $R_L$(våd) værdier til rådighed under hovedmålingerne, men væsentligt længere tid under de supplerende målinger. I så fald er $R_L$(våd) værdierne fra de supplerende målinger bedst egnet til at karakterisere vejstriberne.




**Figur 11: Ændring af $R_L$(tør) fra hovedmålinger til supplerende målinger.**




**Figur 12: Ændring af $R_L$(våd) fra hovedmålinger til supplerende målinger.**

## 4. Støj fra vejstriberne

### 4.1 Udførelse af støjmålingerne

Støjmålingerne blev udført i juli 2018 af Lykke M. Iversen, Vejdirektoratet, som giver denne forklaring:

> Der blev foretaget fem gennemkørsel på striberne i hver side med 80 km/h, en gang i hver side ved siden af striberne med 80 km/h og en gang i hver side på striberne med 50 km/h. Måleresultaterne er henholdsvist analyseret ved referencefarten 80 km/h og 50 km/h. Striberne er kun målt med højre dæk for at undgå usikkerhed ved sammenligning mellem højre og venstre dæk.
>
> Ved analyserne blev støjniveauet fastlagt for hvert segment à 20 m af strækningen. Segmenter af markeringsmålingerne, hvor dækkene ikke berør striben, er udeladt.
>
> For hvert segment blev måleresultaterne korrigeret fra den aktuelle fart (v) til referencefarten (vref) ved addition af 30•log(vref/v) før bestemmelse af middelværdien for hele strækningen.

Lykke M. Iversen oplyser desuden at støjmålingerne er udført i henhold til ISO/DIS 11819-2 ”Acoustics — Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise — Part 2: Close-proximity method”.

Figur 13 viser et billede fra målingerne.

**Figur 13: Måling af støj med Vejdirektoratets udstyr.**

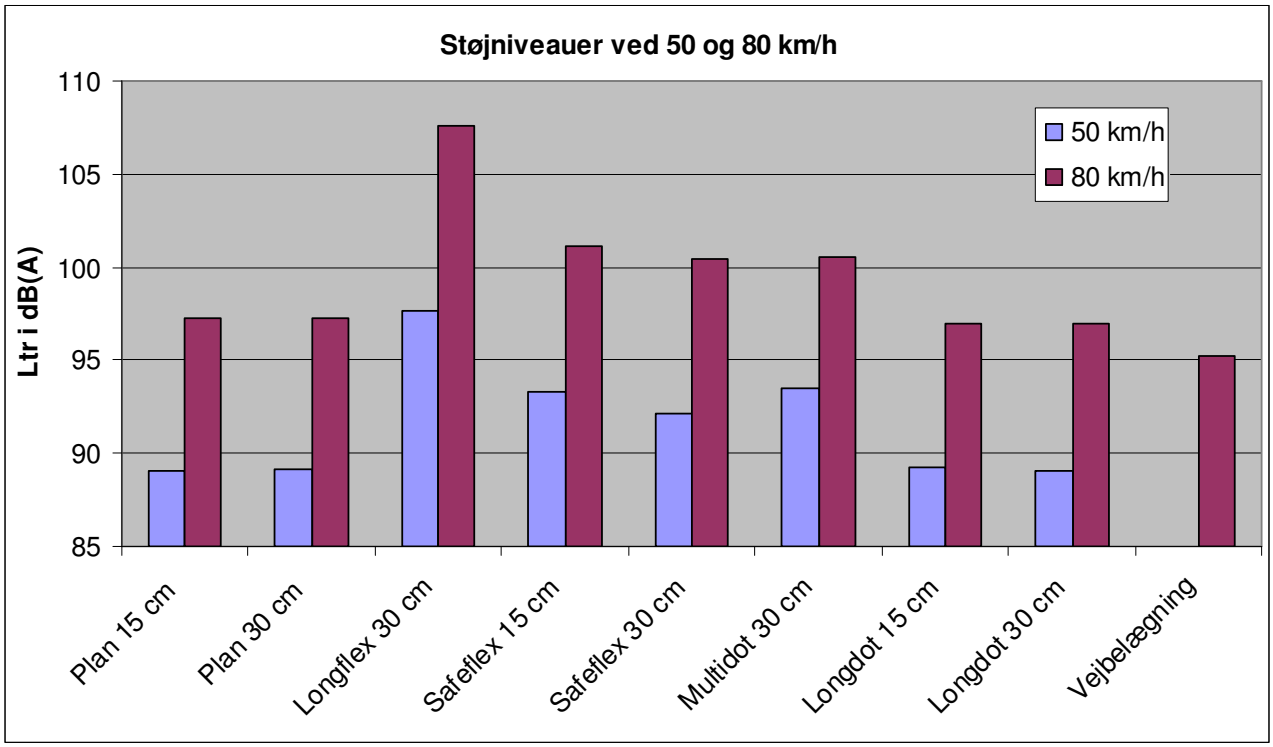
### 4.2 Resultater af støjmålingerne

Tabel 4 viser støj i dB(A) for kørsel ved 50 km/h og 80 km/h. Disse data fremgår yderligere af figur 14.

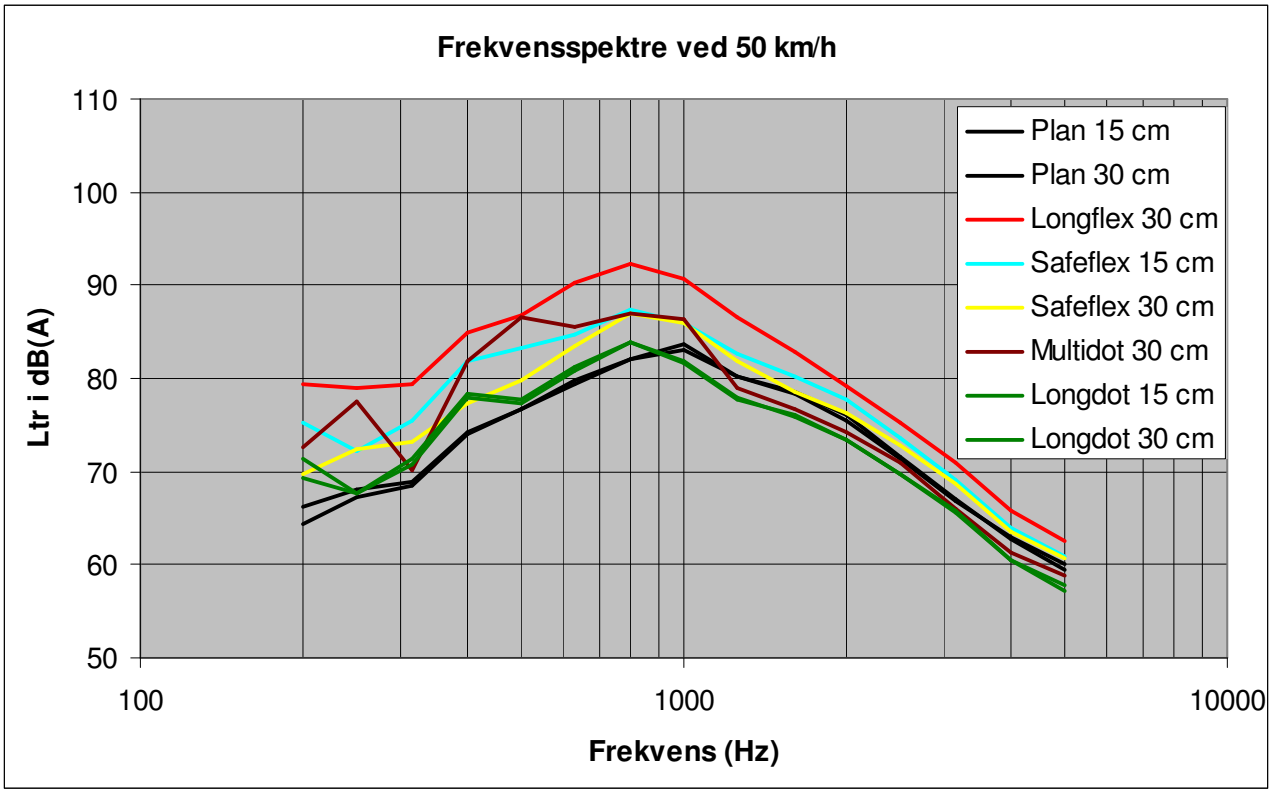
Desuden er støjens frekvensspektre vist i figur 15 og 16 for henholdsvis 50 og 80 km/h. Det bemærkes at spektrene for de to plane vejstriber er næsten ens, hvorfor de begge er vist med farven sort. Det samme gælder for de to Longdot vejstriber, hvis spektre er vist med farven grøn.

**Tabel 4: Støj i dB(A).**

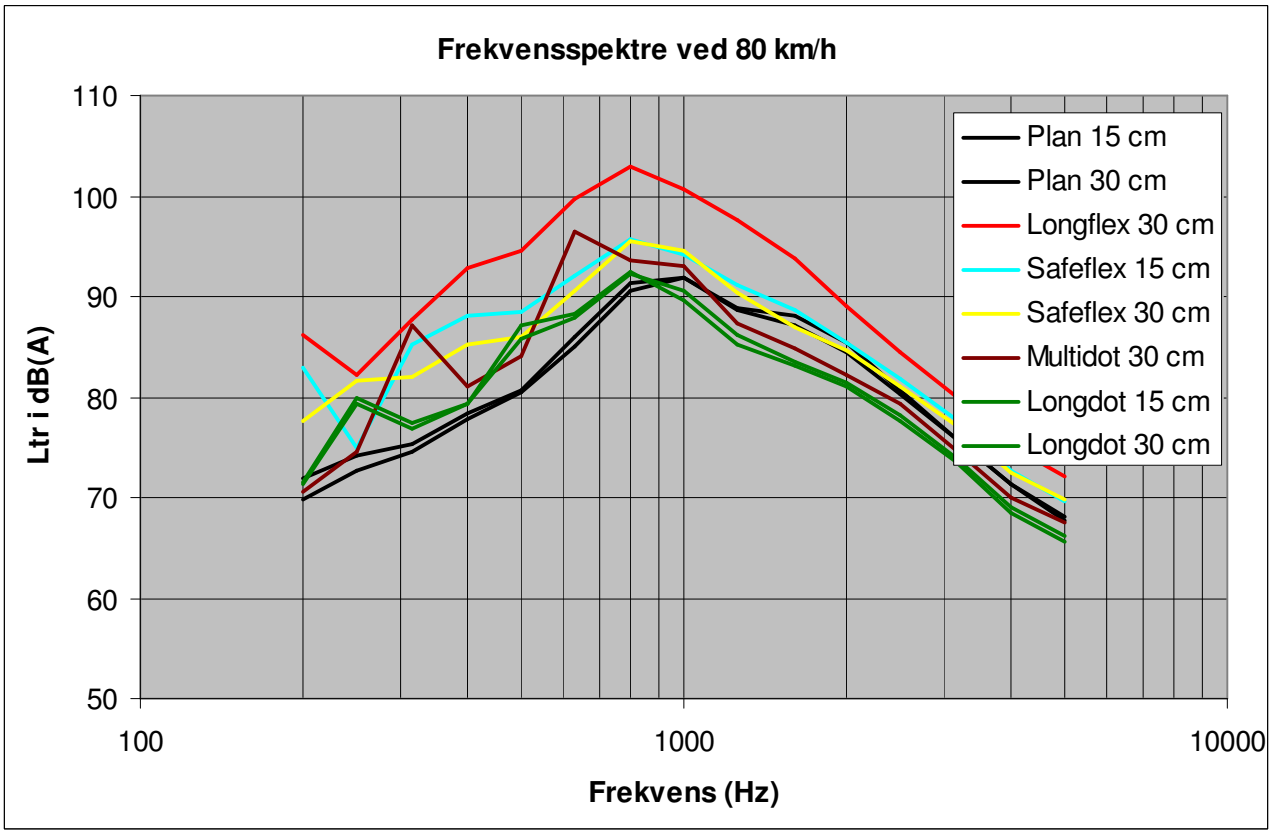
| Vejstribe | 50 km/h | 80 km/h |
|---|---|---|
| Plan 15 cm | 89,1 | 97,3 |
| Plan 30 cm | 89,1 | 97,3 |
| Longflex 30 cm | 97,6 | 107,6 |
| Safeflex 15 cm | 93,3 | 101,1 |
| Safeflex 30 cm | 92,1 | 100,4 |
| Multidot 30 cm | 93,5 | 100,5 |
| Longdot 15 cm | 89,3 | 97,0 |
| Longdot 30 cm | 89,1 | 97,0 |
| Vejbelægning | | 95,2 |




**Figur 14: Støj i DB(A).**




**Figur 15: Frekvensspektre ved 50 km/h.**




**Figur 16: Frekvensspektre ved 80 km/h.**

### 4.3 Kommentarer til støjniveauer

Det antages at støjen for en profileret vejstribe ved en given hastighed, 50 eller 80 km/h, skal vurderes ud fra forøgelsen i forhold til det grundniveau, som sættes af støjen fra de plane vejstriber.

Grundniveauerne sættes til 89,1 og 97,3 dB(A) for henholdsvis 50 og 80 km/h. Ved fratrækning findes de forøgelser for de profilerede vejstriber, der fremgår af tabel 5.

**Tabel 5: Forøgelser af støj fra profilerede vejstriber i dB(A).**

| Vejstribe | 50 km/h | 80 km/h | Middel |
|---|---|---|---|
| Longflex 30 cm | 8,5 | 10,3 | 9,4 |
| Safeflex 15 cm | 4,2 | 3,8 | 4,0 |
| Safeflex 30 cm | 3,0 | 3,1 | 3,0 |
| Multidot 30 cm | 4,4 | 3,2 | 3,8 |
| Longdot 15 cm | 0,2 | -0,3 | -0,1 |
| Longdot 30 cm | 0,0 | -0,3 | -0,2 |
| Vejbelægning | | -2,1 | |

Det ses af tabel 5 at forøgelserne af støj er omtrent ens for 50 og 80 km/h, hvorfor de formentligt kan erstattes af de middelværdier, der også er vist i tabel 5.

På det grundlag er den mest støjende vejstribe Longflex 30 cm. Ældre typer Longflex, hvor gabet er længere, er formentlig endnu mere støjende.

De to Safeflex, som er i familie med Longflex, er klart mindre støjende. Det må skyldes at hjulet ikke rammer stribernes forkanter samtidigt over hjulets fulde bredde.

Multidot 30 cm er klart mindre støjende end Longflex 30 cm, hvilket må skyldes at mønstret er mere tæt. De to Longdot, som er i familie med Multidot 30 cm, har tilsyneladende ingen forøgelse af støjen.

Det kunne også vælges at bedømme støjen i forhold til støjen fra vejbelægningen. Denne er imidlertid kun målt for 80 km/h, hvorfor der ikke med rimelighed kan udføres en sådan bedømmelse.

### 4.4 Kommentarer til frekvensspektrene

Til frekvensspektrene i figur 15 og 16 bemærkes at de er nogenlunde ens, bortset fra en forskydning på cirka 8 dB(A).

Der findes dog undtagelser ved lave frekvenser, hvor nogle af de profilerede vejstribers frekvenser slår igennem.

Som et eksempel har Multidot 30 cm et modul på 6 cm. Hastighederne på 50 og 80 km/h svarer til henholdsvis 13,9 og 22,2 m/s, hvorfor frekvenserne er henholdsvis 13,9/0,06 = 231 hertz og 22,2/0,06 = 370 Hertz.

Der skulle derfor være en top i spektret ved cirka 231 Hz ved kørsel med 50 km/h og en top ved cirka 370 Hz ved kørsel med 80 km/h. Sådanne toppe ses da også i figur 15 og 16.

Yderligere bør der være toppe ved den dobbelte frekvens, da rækkerne i Multidot 30 cm er forskudt 3 cm i forhold til hinanden. Sådanne toppe findes også i figur 15 og 16.

Modulerne for Longdot 15 cm og Longdot 30 cm er lidt længere, henholdsvis 8 og 10 cm. Disses frekvensspektre har derfor toppe ved lavere frekvenser – som dog er mest synlige i figur 16 og mindre synlige i figur 15.

Modulerne for Longflex, Safeflex 15 og Safeflex 30 er endnu længere, hvorfor deres frekvenser er lavere end de 200 Hertz, som afgrænser spektrene nedadtil. Deres toppe er derfor ikke synlige i figur 15 og 16.

Pointen er at overkørsel af profilerede vejstriber ikke kun giver hvid støj, men også toner.

## 5. Test af slitage fra plovskær

Testen blev udført den 26. oktober 2018 under vejrforhold, hvor der var let regn fulgt af en gradvis bedring over vådt, fugtigt og til sidst næsten tørt føre.

Testen blev styret af Tine Damkjær, Vejdirektoratet. Øvrige deltagere var Karsten Houmann Henneberg, Vejdirektoratet og undertegnede med henblik på måling af $R_L$ som udtryk for slitage. Der var yderligere deltagelse af Morten Toft Hansen og Steffen Seghart Mortensen, Næstved kommune. Desuden deltog Peter Hauge, SAWO som sagkyndig angående sneplove og en fører af køretøjet fra Kloster A/S.

Der blev benyttet plovskær af de samme tre typer som er omtalt i "Plovtest på Bygholm - Undersøgelse af plovskærs slitage på kørebaneafmærkning", Vejdirektoratet 2015. Dog stål/keramik skæret benyttet uden indbygget forstærkning, da de forstærkede stålskær (Küper-skær) ikke benyttes til glatførebekæmpelse i Vejdirektoratet.

Plovskærene er vist i figur 17, hvor de benævnes A, B og C.

**Figur 17: plovtyper:**
**A: Gummiskær (øverst til venstre),**
**B: Stål/keramikskær (øverst til højre),**
**C: Hårdmetalskær (nederst til højre).**

Det blev aftalt at der udføres 10 kørsler med hvert af de tre plovskær i rækkefølgen A, B og C svarende til stigende grad af slitage på vejstriberne og at der køres med en hastighed på 50 km/h. Desuden blev det aftalt at der indledningsvist måles $R_L$ og at $R_L$ målingerne gentages efter kørsel med hvert af plovskærene, hvor der samtidigt foretages besigtigelse og fotografering af vejstriberne. Figur 18 viser køretøjet under en kørsel med plov.

**Figur 18: Kørsel med plov.**

Der var almindelig enighed om slitagen fra plovskær A er meget lav. Der var heller ikke nogen væsentlig afsætning af gummi på vejstribernes overflader – formentligt fordi der var regn eller vådt føre.

Slitagen fra plovskær B blev vurderet til at være kraftigere, og der var synlig afskrabning i vejstribernes overflader.

Slitagen fra plovskær C var klart den kraftigste – der var en synlig stråle af afskrabet materiale og der blev efterladt afskrabet materiale omkring vejstriberne. Der var også enkelte afrivninger af materiale, men absolut mindre end ved forsøget på Bygholm i juni 2015.

Figur 19 viser vejstribernes overflader efter brug af plovskær A, B og C.

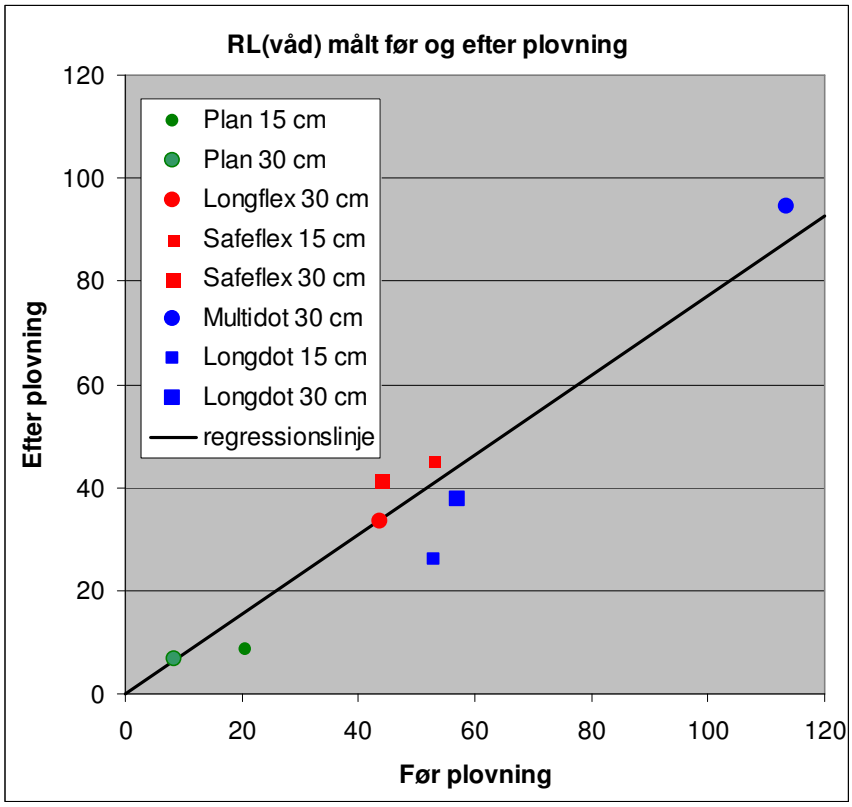
**Figur 19: Vejstribernes overflader efter brug af plovskær A, B og C.**

Figur 19 viser at vejstriberne er stærkere påvirket af plovskær i den ene side end i den anden. Det skyldes at vejen har en ret stor sidekrumning, så at plovskæret især kan nå ned til vejstribernes sider ind mod midten af vejen.

Der blev målt $R_L$ værdier som omtalt, men var i højere grad udtryk for skift i vejret og måske fjernelse af vand i overfladen af plovene, end for vejstribernes tilstand. De indledende $R_L$ værdier var således lave på grund af regn, steg kraftigt efter brug af plovskær A, faldt noget efter brug af plovskær B og steg igen efter brug af plovskær C.

Imidlertid var der målt værdier af $R_L$(våd) den foregående dag, jævnfør de supplerende målinger som omtalt i det ovenstående. Derfor blev der afslutningsvist målt værdier af $R_L$(våd), som kan sammenlignes med værdierne fra den foregående dag og derved føre til et billede af den samlede effekt af plovene.

Denne sammenligning findes i figur 20. Regressionslinjen har en hældning på 0,77 svarende til et gennemsnitligt fald i $R_L$(våd) på 23 %. Dette fald kan tilskrives den samlede effekt af plovene, hvoraf plovskær C nok kan tilskrives det meste af faldet.




**Figur 20: Sammenligning af $R_L$(våd) før og efter plovning.**

NOTE: Det er interessant at $R_L$ værdierne i våd tilstand fra dagen i forvejen er lavere end de indledende $R_L$ værdier under regn. Det viser at den våde tilstand fører til $R_L$ værdier, som måske er på niveau med $R_L$ værdier under ret kraftig regn.

**Bilag A: Målinger med Vejdirektoratets LTL-M**
**A.1 Indledning**

Vejdirektoratets LTL-M er et mobilt instrument til måling af $R_L$(tør), som er i overensstemmelse med DS/EN 1436. Det blev betjent af Finn Larsen, Vejdirektoratet.

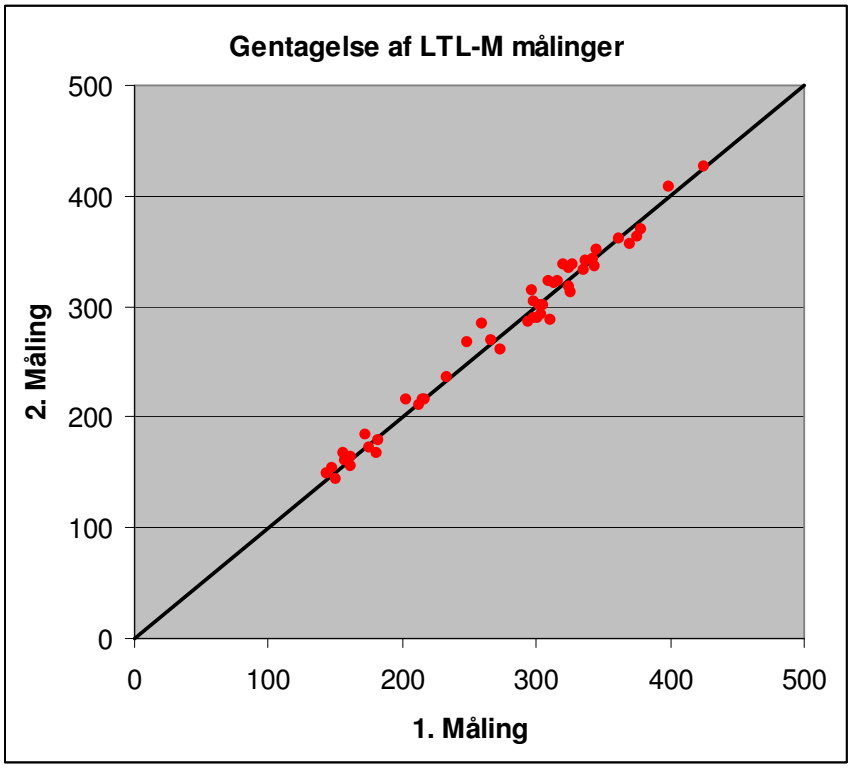
Det blev aftalt at begge baner – henholdsvis mod nord og syd - måles i begge retninger – fra øst mod vest og omvendt. Herved er det muligt at udskille resultater for køreretninger både med og imod retningen for udlægninger. Dette er i modsætning til målingerne med LTL-X, som kun er udført i retningen med udlægningen.

Desuden aftaltes at målingerne udføres to gange, så der kan estimeres en repeterbarhed af målingerne. Herved er der udført i alt 8 kørsler (to baner, begge retninger og to gange). En kørsel starter med et tilløb, hvor målingerne aktiveres ved starten af en bane og forsætter over en banes længde på 4×275 m lig med 1100 m.

Der er leveret 12 måleværdier for hver kørsel ved 0 m, 100 m, 200 m ... 1100 m, hvor hver måleværdi formentligt er et gennemsnit over en vis strækning (en LTL-M udfører 25 målinger i sekundet, hvor hver måling dækker en strækning på cirka 1 m).

**A.2 Repeterbarhed**

Figur A.1 viser en sammenligning af de to sæt måleværdier. Måleværdierne er brugt som leveret; det vil sige 12 måleværdier for hver bane og i begge retninger – i alt 48 par af måleværdier.



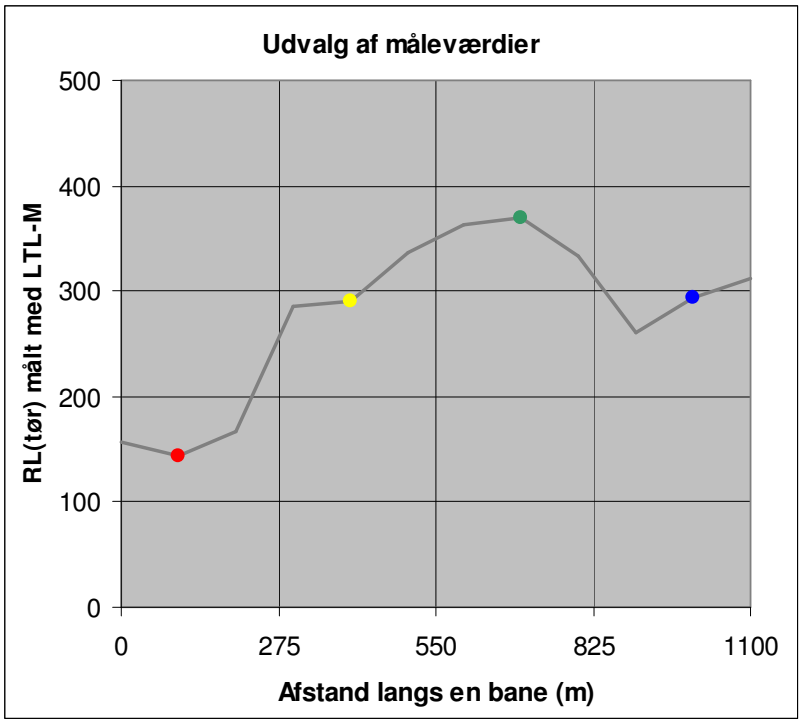

**Figur A.1: Sammenligning af to sæt måleværdier.**

Figur A.1 viser en særdeles god korrelation, hvor repeterbarheden kan beskrives ved en standardafvigelse på cirka 3 %.

### A.3 Udvalg af måleværdier til karakterisering af vejstriberne

De 12 værdier, der er leveret for hver kørsel, kan bruges til optegning af en kurve som vist i figur A.2. En del af værdierne formodes imidlertid at afspejle en middelværdi over en strækning, som griber ind over to vejstriber, hvorfor sådanne værdier ikke er egnede til at karakterisere de enkelte vejstriber.

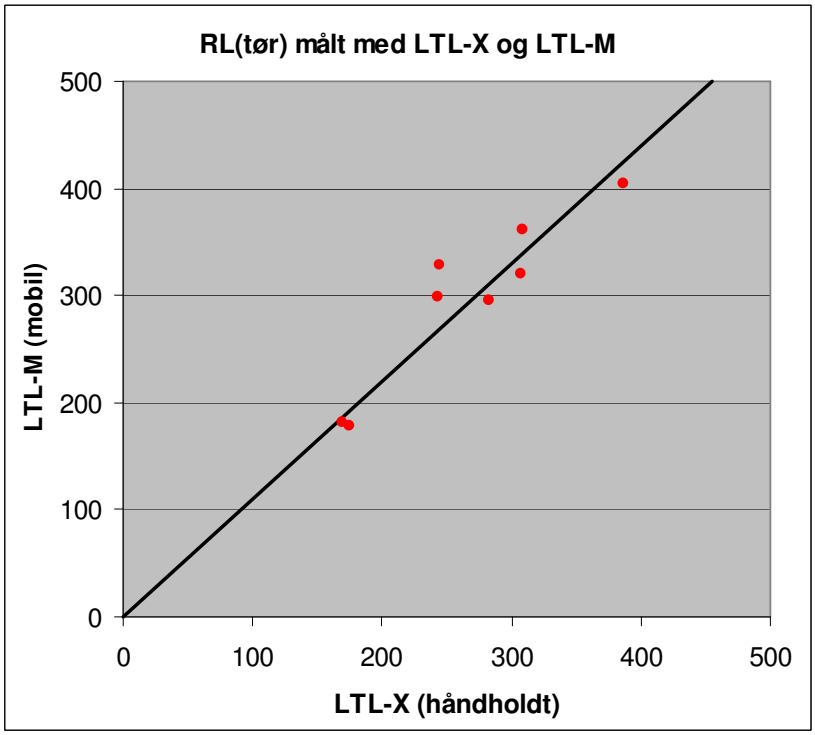
Derfor benyttes der i det følgende kun det mindre udvalg af værdier, der er vist som farvede punkter i figur A.2. Disse punkter ligger omtrent midt på de fire vejstriber, der findes i en bane, og formodes at kunne karakterisere hver sin vejstribe. Bemærk at enheden for længden i figur A.2 er 275 m svarende til længden af en vejstribe.




**Figur A.2: Udvalg af måleværdier til karakterisering af hver af de fire vejstriber i en bane.**

### A.4 Sammenligning mellem LTL-M og LTL-X

Figur A.3 viser en sammenstilling af $R_L$(tør) værdier målt med LTL-X og LTL-M. Der er benyttet det sæt værdier for LTL-M, som svarer til måling i udlægningsretningen, så der bør være sammenlignelighed med værdierne for LTL-X.




**Figur A.3: Sammenstilling af $R_L$(tør) værdier målt med LTL-X og LTL-M.**

Figur A.4 har også indtegnet en regressionslinje, som har hældningen 1,10. Det viser at $R_L$(tør) målt med LTL-M i gennemsnit er 10 % højere end $R_L$(tør) målt med LTL-X. Standard afvigelsen fra regressionslinjen er cirka 9 %.

Det gøres opmærksom på at målingerne omfatter forskellige arealer. LTL-M værdierne er baseret på hele bredden af en vejstribe og formentligt en betydelig længde, mens LTL-X værdierne i princippet er baseret på et lille areal. LTL-X værdierne viser desuden at der er en betydelig variation med målestedet, hvorved usikkerheden på LTL-X værdierne er bedømt til at være 10 %.

Det konkluderes at målingerne ikke er egnede til at påvise systematiske måleforskelle mellem de to måleapparater, og at der næppe bør uddrages konklusioner herom.

**EUROSTAR DANMARK A/S**
**KØGE · ODENSE · AARHUS · AALBORG**
WWW.EUROSTAR.AS · TLF.: 58 36 00 99