

Udvalgte landbrugskøretøjers påvirkning af mindre veje

Rapport om praktiske forsøg

Indholdsfortegnelse

| | |
|---|-----------|
| Indholdsfortegnelse | 2 |
| Resume | 3 |
| Indledning | 5 |
| Problemformulering | 11 |
| De gennemførte praktiske forsøg | 12 |
| Køretøjerne | 12 |
| Strækningerne | 16 |
| Måling af køretøjernes aksellaster og kontaktryk | 19 |
| Formål | 19 |
| Måleudstyr | 19 |
| Aksel- og dæktryk | 19 |
| Kontaktryk | 22 |
| Kantmålinger | 24 |
| Delkonklusion om måling af køretøjernes aksellaster og kontaktryk | 32 |
| Udmattelsesforsøg | 33 |
| Måleudstyr | 33 |
| Formål | 33 |
| Måleudstyr | 34 |
| Forholdene på dagen | 34 |
| Udmattelsesforsøg på Kristinelundsvej | 35 |
| Forlæns kørsel på "Langet" | 42 |
| Langet felt 8 | 43 |
| Vrid | 45 |
| Delkonklusion af udmattelsesforsøg | 47 |
| Måling af trykket i dybden af vejen/vejkassen | 48 |
| Formål | 48 |
| Måleudstyr | 48 |
| Forholdene på dagen | 48 |
| Forsøgsopstilling | 49 |
| Udførelse | 49 |
| Jordtryk under køretøjer | 51 |
| Delkonklusion om målinger af trykket i dybden af vejen/vejkassen | 61 |
| Forsøgets samlede konklusioner | 62 |
| Måling af trykket i dybden af vejen/vejkassen | 63 |
| Målinger af køretøjernes aksellaster og kontaktryk | 63 |
| <u>Bilag A – Dynatest afrapportering</u> | |
| <u>Bilag B – Mean stress measurements beneath a road</u> | |
| <u>Bilag C – Samlet trykmåling for runde</u> | |
| <u>Bilag D – Udstyr til dybdemåling</u> | |
| <u>Bilag E – Kontaktryksmålinger</u> | |
| <u>Bilag F – Køretøjsspecifikationer</u> | |
| <u>Bilag G – Dynatest måling 6. september 2018</u> | |
| <u>Bilag H – Haenni vægte / måleudstyr</u> | |

Resume

Landbrugserhvervet har, som et led i den øgede anvendelse af tungere køretøjer, over en årrække udtrykt ønske om en generel lempelse af reglerne om vægte og akseltryk, således at nye, større landbrugskøretøjer ikke er nødt til at blive transporteret på sættevogn/blokvogn til og fra marken, men i stedet selv kan køre på vejnettet.

Landbrugets ønsker drejer sig, på nuværende tidspunkt, hovedsageligt om lempelser for to typer af køretøjer: 1) Landbrugskøretøjer monteret helt eller delvist med gummibælter (bæltekøretøjer) og 2) landbrugskøretøjer med brede lavtryksdæk (fx gyllevogne). For begge køretøjstyper gælder det, at erhvervet ønsker lempelser, som betyder at disse kan køre efter samme regler på hele vejnettet, dvs. at der er ens praksis over hele landet.

På baggrund af erhvervets ønsker har Færdselsstyrelsen og Vejdirektoratet (i dialog med erhvervet) tidligere undersøgt mulighederne for at imødekomme nogle af disse. I 2010 vurderede Vejdirektoratet således, at der kunne udstedes dispensation til forhøjet akseltryk for visse typer gyllevogne og visse typer bæltekøretøjer til kørsel på statsvejnettet, men at der på det kommunale vejnet kan være forhold, der gør, at det ikke er fornuftigt at give dispensation, da det ikke kan udelukkes, at kørsel med tungere landbrugskøretøjer medfører forøgede udgifter til vejvedligeholdelsen af de mindre godt befæstede kommuneveje og broer.

Vejdirektoratet har derfor i et bredt samarbejde med KL, landbrugsbranchen, asfaltindustrien og Færdselsstyrelsen gennemført en række praktiske forsøg med kørsel med visse tunge landbrugskøretøjer på vejnettet. Målet med forsøgene har været at undersøge disse køretøjers eventuelle vejslidseffekter samt tillige påvirkningen fra "lovlige" alternativer (lastbilvogntog) på en typisk kommunal vejstrækning, hvor disse køretøjer hovedsageligt kører.

Forsøgene blev gennemført i dagene 1.-5. maj 2018 og omfattede tre delforsøg med fokus på henholdsvis:

- Udmattelsesforsøg – eventuelle skader på vejens overflade og kanter med særligt fokus på revnedannelse og sporkøring
- Måling af trykket i dybden af vejen/vejkassen
- Måling af køretøjernes aksellaster og kontaktryk

Forsøget omfattede seks forskellige køretøjer/maskiner:

- *Grimme Maxtron* roeoptager (på dispensation)
- *Ploeger EPD540* ærtehøster (på dispensation)
- Blokvogsvogntog belæsset med en *Grimme Maxtron* roeoptager (særtransport)
- Sættevogsvogntog på 56 t
- Traktor med gyllevogn med 3 aksler på hver 10 ton akseltryk (på dispensation)
- Traktor med gyllevogn med 3 aksler på hver 8 ton akseltryk

Det er vigtigt at understrege, at forsøgene kun er et skridt på vejen til at øge viden om bæltekøretøjers påvirkning (af en enkelt type kommunevej). Et mere fuldstændigt billede vil kræve en mere omfattende analyse. Det har således også, overfor parterne i forsøget, været understreget, at disse praktiske forsøg ikke nødvendigvis vil føre til en ændret dispensationspraksis/lovgivning på området.

Forsøget har givet følgende umiddelbare konklusioner:

Udmattelsesforsøget

- Udkommet af forsøget viser mere om belægningstypen og dæktype end om køretøjernes aksel- og kontaktryk. Ribbedæk og ribber på bælter forårsager indtryksmærker og svedning på veje med overfladebehandling. Hjul efterlod ingen indtryksmærker under kørsel. Fra forsøg på en forsøgsstrækning med overflade af varmblandet asfalt, opstod ingen indtryksmærker og svedning under bælter.
- Grimme roeoptageren var umiddelbart det køretøj der gav de værste indtryksmærker på OB-belægningen på Kristinelundsvej. Dog var indtryksmærker efter ærtehøsteren også meget tydelige.
- Høj aksellast betyder større påvirkning af vejen, og særligt for blokvognen opstod der sporkøring. Landbrugskøretøjerne blev stoppet efter 200 kørsler, på grund af overfladesvedning. Det kan derfor ikke vurderes, om der også ville opstå sporkøring, hvis de havde kørt mere end 200 kørsler.
- To køretøjer blev undersøgt med hensyn til vrid. Forsøget viste at hverken blokvognen med læs eller Grimme roeoptageren beskadigede vejen. Vridforsøget blev udført på en vej med belægningen af varmblandet asfalt.

Måling af trykket i dybden af vejen/vejkassen

- Der er ingen køretøjer der udmærker sig ved markant højere tryk i dybden end andre.
- Der måles lavere tryk i dybden under ærtehøsteren end under Grimme roeoptageren.
- Det giver højere tryk i dybden at sætte bæltekøretøjet på en blokvogn end at lade den køre selv.

Måling af køretøjernes aksellaster og kontaktryk

- Bælter giver ikke højere enkelt værdier for kontaktryk end hjul. Blokvogsvogntoget og sættevogsvogntoget giver det højeste middeltryk over kontaktarealet. Bæltekøretøjerne giver de laveste middeltryk over kontaktarealet.
- Målinger på bælterne viser at det primært er ribberne under rullerne der belastes. Trykket er meget lavt eller ikke eksisterende mellem rullerne.
- Det vigtigste for om asfaltkanten er udsat for at knække er den samlede vægt der hviler på kanten. Her er bagbogien på blokvognstrækkeren og Grimme-bæltet dem der hviler tungest på kanten.

KL, Danske Maskinstationer & Entreprenører, Landbrug & Fødevarer, Dansk Maskinhandlerforening, Dansk Agroindustri, Danske Sukkerroedyrkere, Seges, Asfaltindustrien og Færdselsstyrelsen har alle bidraget med input i forbindelse med udarbejdelsen af denne rapport.

Indledning

Vejdirektoratet har i et bredt samarbejde med KL, Danske Maskinstationer & Entreprenører, Landbrug & Fødevarer, Dansk Maskinhandlerforening, Dansk Agroindustri, Danske Sukkerroedyrkere, Seges, Asfaltindustrien og Færdselsstyrelsen gennemført en række praktiske forsøg med kørsel med visse tunge landbrugs-køretøjer på vejnettet. Målet med forsøgene har været at undersøge disse køretøjers eventuelle vejslidseffekter samt tillige påvirkningen fra "lovlige" alternativer (lastbilvogntog) på en typisk kommunal vejstrækning, hvor disse køretøjer hovedsageligt kører.

Forsøgene blev gennemført i dagene 1.-5. maj 2018 og omfattede tre delforsøg med fokus på henholdsvis:

- Udmattelsesforsøg – eventuelle skader på vejens overflade og kanter med særligt fokus på revnedannelse og sporkøring
- Måling af trykket i dybden af vejen/vejkassen
- Måling af køretøjernes aksellaster og kontaktryk

Forsøget omfattede seks forskellige køretøjer/maskiner:

- *Grimme* Maxtron roeoptager på gummibælter for og hjulaksel bag
- *Ploeger* EPD540 ærtehøster på gummibælter for og hjulaksel bag
- 3-akslet blokvognstrækker med 3-akslet bloksættevogn, belæsset med en Grimme Maxtron roeoptager
- 7-akslet sættevognsvogntog, bestående af 3-akslet sættevognstrækker med 4-akslet tanksættevogn
- Traktor med 3-akslet gyllevogn på brede lavtryksdæk, 10 ton akseltryk
- Traktor med 3-akslet gyllevogn på brede lavtryksdæk, 8 ton akseltryk.

De to bæltekøretøjer har de seneste år fået dispensation til at køre på statsvejnettet og nogle kommuners veje, men skal efter de gældende regler (uden en dispensation) transporteres på en blokvogn, når færdslen foregår på vejnettet. Dette er både omkostningstungt og ufleksibelt for landbrugserhvervet og spørgsmålet er, om transport på blokvogn er mere skånsomt for vejene? Og er kørsel med bæltekøretøjer mon mindre eller mere vejvenligt end alternativet – transport på blokvogn?

For gyllevogne med tre aksler gælder, at det højest tilladte akseltryk i dag er 8 ton. 3-akslede gyllevogne med 10 ton akseltryk har dog i mange år haft en generel dispensation til kørsel på statens vejnet og i mange kommuner. Dog med en række tilknyttede krav til dæktryk, dækbredde, tvangsstyring mm. Men er den lidt "tungere" gyllevogn meget værre end den "lette", og medfører 3*10 ton aksellast større belastning end det lovlige alternativ – det 7-akslede sættevognsvogntog (med gylletrailer) med en totalvægt på 56 ton?

Disse spørgsmål er ikke umiddelbart lette at svare på. Vejdirektoratet har tidligere vurderet, at på statsvejnettet, hvor der er dimensioneret med høj bæreevne, bør kørsel med hovedparten af disse køretøjer ikke give anledning til problemer. Men for veje med lavere bæreevne, så som kommunale veje og broer, hvor hovedparten af kørslen med landbrugskøretøjer finder sted, er spørgsmålet mere åbent. Vejmyndighedernes viden herom er meget begrænset.

Baggrund

Den generelle samfundsudvikling med større landbrug og stigende produktivetskrav betyder, at landbrugserhvervet benytter større landbrugsmaskiner. Endvidere har generelt mere nedbør givet anledning til at benytte gummibælter i stedet for hjul på nogle af de store maskiner for at skåne jorden. Landbrugserhvervet har derfor, som et led i den øgede anvendelse af tungere køretøjer, over en årrække udtrykt ønske om en generel lempelse af reglerne om vægte og akseltryk, således at nye, større landbrugs-køretøjer ikke er nødt til at blive transporteret på sættevogn/blokvogn til og fra marken, men i stedet selv kan køre på vejnettet.

Landbrugets ønsker drejer sig, på nuværende tidspunkt, hovedsageligt om lempelser for to typer af køretøjer: 1) Landbrugskøretøjer monteret helt eller delvist med gummibælter (bæltekøretøjer) og 2) landbrugskøretøjer med brede lavtryksdæk (fx gyllevogne). For begge køretøjstyper gælder det, at erhvervet ønsker lempelser, som betyder at disse kan køre efter samme regler på hele vejnettet, dvs. at der er ens praksis over hele landet.

På baggrund af erhvervets ønsker har Færdselsstyrelsen og Vejdirektoratet (i dialog med erhvervet) tidligere undersøgt mulighederne for at imødekomme nogle af disse. I 2010 vurderede Vejdirektoratet således, at der kunne udstedes dispensation til forhøjet akseltryk for visse typer gyllevogne og visse typer bæltekøretøjer til kørsel på statsvejnettet, men at der på det kommunale vejnet kan være forhold, der gør, at det ikke er fornuftigt at give dispensation – det kan nemlig ikke udelukkes, at kørsel med tungere landbrugskøretøjer medfører forøgede udgifter til vejvedligeholdelsen af de mindre godt befæstede kommuneveje og broer. Men da Vejdirektoratets viden om det kommunale vejnet er meget begrænset, er dette meget usikkert.

Dispensationerne åbner også mulighed for kørsel på det kommunale vejnet under forudsætning af, at den kommunale vejmyndighed (de enkelte kommuner) forudgående også har meddelt tilladelse hertil.

Generelt om vejslid

Manglende viden om eventuelle vejslidseffekter og brobelastninger i forbindelse med tunge landbrugskøretøjers kørsel på vejnettet har igennem mange år givet udfordringer i forhold til overvejelse om at ændre reglerne på området. Køretøjer på bælter og/eller med ribbedæk kan ikke uden videre sammenlignes med almindelige lastbiler og andre hjulkøretøjer, hvor metoderne til beregninger af vejslidseffekter og brobelastninger er velkendte.

Analysen af problemstillingerne omkring tunge landbrugskøretøjer er således komplicerede. Det kræver viden om komplekse samspil mellem de forskellige køretøjer, deres opbygning samt det forventede kørselsomfang- og mønster. Det kræver også viden om vejnettet og vejnettets tilstand (inkl. broer), særligt i forhold til de små kommuneveje, hvor langt den største del af kørslen med landbrugskøretøjer finder sted.

Gældende regler og dispensationer

De gældende regler om landbrugskøretøjers tilladelige bredde, vægte og akseltryk findes i dimensionsbekendtgørelsen. Reglerne er fastsat under hensyntagen til belastning af vejnettet og vejnettets broer, trafiksikkerheden samt hensynet til fremkommeligheden for den øvrige trafik. Reglerne i dimensionsbekendtgørelsen er løbende blevet revideret. Dette gælder dog ikke vægtgrænserne for bæltekøretøjer, som har været uændrede i over 40 år (bekendtgørelse nr. 330 21/06/1977 - Bekendtgørelse om køretøjers største bredde, længde, højde, vægt og akseltryk).

Dimensionsreglerne medfører, at såfremt et køretøj overskrider grænserne angivet i dimensionsbekendtgørelsen, må køretøjet ikke færdes, der hvor færdselsloven er gældende (offentlige veje, broer mv.). I stedet skal køretøjet enten have dispensation til den ønskede kørsel, eller fragtes på blokvogn eller et lignende køretøj fra gården/maskinstationer til marken og retur, efter reglerne i særtransportbekendtgørelsen. Dette betyder dels ekstra omkostninger for de landbrug, som ønsker at benytte sådanne landbrugsmaskiner, dels opleves det som ufleksibelt i forhold til landbrugets behov for smidig planlægning. Det antages normalt, at kørsel med blokvogn mv. er mindre belastende for veje og specielt broer, idet sporvidden mindskes og akseltrykkene på de enkelte aksler nedsættes, når vægten fordeles over flere aksler og en større længde. Herudover kan det ofte være muligt at køre hurtigere med en blokvognstransport.

Dispensationsmuligheder for gyllevogne

Efter en hård vinter i 2010-2011 udstedte Trafikstyrelsen/Vejdirektoratet i 2011 dispensation til at køre med forhøjet akseltryk og totalvægt på gylleudbringningskøretøjer. Dispensationen gjaldt kørsel på statsveje i de kommuner, der forud havde meddelt accept af dispensationen for kørsel med de nedennævnte køretøjer. Tilladelsen er fortsat midlertidig og *gælder indtil der er udstedt nye regler om akseltryk for lavtryksdæk.*

Gældende lovgivning tillader 10 tons akseltryk på 2-akslede gyllevogne (idet akslerne har en afstand, så de regnes som enkelt-aksler), mens der på 3-akslede gyllevogne tillades 8 ton akseltryk (på et påhængskøretøj må det største samlede akseltryk i en akselgruppe ikke overstige 24 tons).

Dispensationen betyder, at der for gyllevogne (traktorpåhængsvogn/ -redskab) tillades 10 tons akseltryk på op til 3 aksler på betingelse af, at køretøjet er monteret med mindst 65 cm brede dæk hvor arealet af dækribberne udgør mindst 1/3 af dækkets overflade, og dæktrykket højst er 3 bar. For gyllevogne med 3 styk 10 tons aksler, er det desuden en betingelse, at 1. og 3. aksel er tvangsstyrede. Vogntogtotalvægten tillades op til 48,0 t.

For selvkørende gyllenedfældere (motorredskab) tillades under dispensationen 11,5 t akseltryk, på betingelse af, at køretøjet er forsynet med mindst 1,0 m brede dæk hvor arealet af dækribberne udgør mindst 1/3 af dækkets overflade, og dæktrykket højst er 3 bar. For selvkørende gyllenedfældere (motorredskab) tillades totalvægt op til 23 t på to-akslede, og op til 34,5 t på tre-akslede (vogntog).

Dispensation forudsætter, at den kommune, på hvis veje det konkrete køretøj ønskes anvendt, forudgående har meddelt accept af dispensationen for så vidt angår kørsel på kommunens veje. Kørsel på offentlig vej skal under alle omstændigheder reduceres til det absolut nødvendige af hensyn til vejbelægningens svækkelse i tøbrudsperioden. Kopi af tilladelsen samt kommunens accept skal medbringes under kørsel og på given foranledning forevises for politiet.

På tidspunktet for udarbejdelse af denne rapport, oplyste Landbrug & Fødevarer, at størstedelen af landets kommuner (67 ud af 72 adspurgte) har givet dispensation til kørsel med højere akseltryk i forbindelse med gylletransport. Der er pt. givet 52 dispensationer for denne type i 2019 (mod 50 stk. i 2018).

Dispensationsmuligheder for bæltekøretøjer

De gældende grænser for køretøjers akseltryk og bæltetryk, herunder for køretøjer helt eller delvist på bælte, findes i dimensionsbekendtgørelsens kapitel 5 og 6. I nedenstående skema er de gældende vægtregler for bæltekøretøjer oplistet sammen med de nuværende muligheder for dispensation (dispensationspraksis):

| | Gældende regler | Dispensationspraksis |
|----------------------|---|---|
| Totalvægt | Max 16.000 kg | Max 32.000 kg |
| Bæltetryk | Max 4.000 kg/m af afstanden ml. forreste og bagerste løberulle/aksel. | Max 8.000/7.000/6.000 kg/m ^{b)} - dog max 6.400 kg/m af afstanden ml. forreste og bageste løberulle/aksel. |
| Løberulletryk | Max 1.500 kg ^{a)} | Intet krav |

a) Er bæltets bredde mindre end 0,35 m nedsættes det tilladte tryk efter forholdet mellem bæltets faktiske bredde og bredde på 0,35 m.

b) Bestemmelsen om maksimalt bæltetryk på 8.000/7.000/6.000 kg pr. m skal forstås således, at bæltetrykket (sum af højre og venstre) ikke må overstige:
 - 8.000 kg pr. m, hvis afstanden mellem forreste og bagerste løberulle er op til 1,0 m og
 - 7.000 kg pr. m for den del af afstanden mellem forreste og bagerste løberulle, som overstiger 1,0 m men ikke 2,0 m.
 - 6.000 kg pr. m for den del af afstanden mellem forreste og bagerste løberulle, som overstiger 2,0 m.

Som tidligere nævnt er reglerne for bæltekøretøjer ikke blevet ændret siden 1977. Vejdirektoratet udstedte dog i 2011 en midlertidig dispensation til kørsel med Grimme Maxtron roeoptager til kørsel på statsvejnettet, ud fra den på daværende tidspunkt tilgængelige viden. Dette køretøj har en totalvægt på 32 ton og et bælte-tryk per bælte over 1,825 bæltmeter på mindst 11,750 ton, hvorved den ikke ville kunne køre efter gældende regler. Grimme Maxtron ville ligeledes ikke kunne opnå tilladelse efter Vejdirektoratets nuværende dispensationspraksis (som dog først blev udarbejdet efterfølgende i 2013/2014). Det er imidlertid besluttet ikke at annullere dispensationen som derfor fortsat er gældende. Ligeledes har en række kommuner fortsat meddelt dispensation til kørsel med Grimme Maxtron.

EU-godkendelse af bæltekøretøjer

Der er i EU vedtaget en forordning (nr. 167/2013) om typegodkendelse og markedsovervågning af landbrugs- og skovbrugstraktorer, samt traktorpåhængsvogne og redskaber som kan spændes efter traktorer. Denne forordning gælder også bæltetraktorer. De bæltekøretøjer som er testet i forbindelse med nærværende rapport, er imidlertid ikke klassificeret som traktorer men som motorredskaber, og derfor ikke omfattet af en fælleseuropæisk godkendelsesordning.

Ifølge forordningen må EU-landene ikke forbyde, begrænse eller forhindre markedsføring og ibrugtagning af køretøjer som opfylder kravene i forordningen. Med andre ord må EU-landene hverken forbyde salg eller brug af køretøjer som er EU-typegodkendte. Forordningen tillader desuden, at EU-landene udsteder nationale godkendelser for enkelte køretøjer. EU-lande som udsteder sådanne nationale godkendelser, skal acceptere enhver EU-typegodkendelse i stedet for en national godkendelse. EU-landene må altså ikke kræve yderligere godkendelser af allerede EU-godkendte køretøjer.

EU-forordning 167/2013 handler kun om selve godkendelsesprocessen, og ikke om de tekniske krav til landbrugs- og skovbrugstraktorer. De tekniske krav som traktorer og påhængsredskaber skal opfylde, findes i EU-forordning (nr. 2015/208). Af EU-forordning 2015/208 fremgår, at landbrugskøretøjer, som helt eller delvist kører på bælter, kan godkendes med en tilladt totalvægt på op til 32 ton. Der er dog nogle tekniske krav til største belastning på bælteerne:

- Det gennemsnitlige kontaktfladetryk mellem gummibælte og vej må ikke overskride 0,5 MPa, beregnet som den lodrette belastning på bæltet (akseltryk gange tyngdeacceleration) delt med det samlede overfladeareal af de gummiklodser, der er i kontakt med vejen.
- Den maksimale belastning pr. bælte rulle må ikke overstige 2.250 kg, beregnet ved at dividere den tilladte belastning på bæltet i kg med det samlede antal bælte ruller, der overfører belastning direkte til vejbanen.

Dansk national godkendelse af bæltekøretøjer

Bæltedrevne landbrugskøretøjer tilhører i praksis en af to grupper - bæltedrevne traktorer og bæltedrevne motorredskaber.

- Traktorer kan godkendes og registreres i Danmark, ved fremstilling til syn i en synsvirksomhed på baggrund af en EU-overensstemmelseserklæring (i daglig tale et CoC-dokument) eller ved udstedelse af en dataerklæring fra fabrikanten, dennes repræsentant, eller en godkendt prøvningsinstans.
- Bæltedrevne motorredskaber kan godkendes ved syn på baggrund af køretøjsfabrikantens erklæring vedrørende opfyldelse af danske krav til køretøjets tilladte vægte, samt oplysninger om køretøjets bremsesystem.

Bæltekøretøjer som godkendes på en dansk national godkendelse, skal opfylde følgende krav:

- Det tilladte tryk på en løberulle må ikke overstige 1.500 kg. Hvis bæltets bredde er mindre end 0,35 m, nedsættes det tilladte tryk efter forholdet mellem bæltets bredde og en bredde på 0,35 m.
- Tilladt totalvægt må ikke overstige 4.000 kg pr. m af afstanden mellem forreste og bageste løberulle, og må højst være 16.000 kg.

De danske tekniske krav til bæltekøretøjer er således skrapere end de EU-regler, der gælder for typegodkendelser af bæltekøretøjer. Men danske krav gælder kun bæltekøretøjer, der skal benyttes på færdselslovens område.

Traktorer, der overvejende anvendes uden for vejene som træk- eller drivkraft for arbejdsredskab, skal ikke registreres og have nummerplader, hvis de kun anvendes på vejene i forbindelse med transport til og fra arbejdssted, transport til og fra reparatør, eller i forbindelse med prøvekjørsel eller lignende tidsbegrænset kørsel efter tilladelse fra politiet. Traktorer må desuden anvendes på vejene uden registrering, hvis de anvendes til vejarbejde på områder som er begrænset ved afspærring eller afmærkning, eller til renholdelse, snerydning el.lign.

Motorredskaber skal kun registreres, hvis de er indrettet og benyttes til befordring af gods, der ikke er nødvendig for motorredskabets funktion. Desuden er motorredskaber som bruges på privat område, på havneområde eller på terminalområde undtaget fra registreringspligt.

Overvejelser om regelændringer

Med henblik på at sikre en mere tidssvarende regulering udarbejdede Trafikstyrelsen (Færdselsstyrelsen) og Vejdirektoratet i henholdsvis foråret 2013 og foråret 2014 udkast til nogle lempede regler om bl.a. landbrugskøretøjer. Med forslagene var det bl.a. formålet at hæve de generelle vægtgrænser for gyllevogne og bæltekøretøjer og at give kommunerne større frihedsgrader til at kunne beslutte regler for kørsel på de kommunale veje. For bæltekøretøjerne handlede det blandt andet om at øge den mulige totalvægt fra 16 til 32 ton og at øge bæltetrykket fra 4.000 kg pr. meter til 7.500/5.500 kg pr. meter.

Imidlertid fandt hverken kommunerne eller landbrugserhvervet (både i 2013 og 2014) at forslagene ville være en hensigtsmæssig løsning, hvilket afspejledes i de modtagne høringssvar. Eksempelvis fremførte KL, at ændringerne ville kræve økonomisk kompensation (DUT) til kommunerne for øget vejslid, og at kommunerne i øvrigt ofte ikke er besiddelse af den nødvendige vejfaglige viden til at vurdere landbrugets ansøgninger. Landbruget fandt bl.a. forslagene utilstrækkelige ift. behovet. Begge parter pegede samtidig igen på, at der er behov for generelle regler eller retningslinjer for forskellige landbrugskøretøjer og vejtyper, som landbruget og kommunerne kan forholde sig til. De foreslåede ændringer af reglerne er derfor ikke blevet gennemført.

Efterfølgende gennemførte Vejdirektoratet og COWI i samarbejde med hele branchen i stedet en foranalyse, med det formål at skitsere en omfattende analyse af de specielle forhold, der er karakteristiske for landbrugskøretøjers kørsel på vejnettet. Med foranalysen blev der opnået enighed med alle parterne om en fremgangsmåde og omfang, herunder hvilke køretøjer, vejopbygninger, klimatiske forhold, kørselssituationer mv., der burde analyseres. Imidlertid blev det vurderet, at en gennemførelse af selve analysen vil beløbe sig til ca. 12 mio. kr. og tage op til 3 år at gennemføre. Der udestår fortsat at blive fundet finansiering til gennemførelse af denne analyse.

Forsøgsordninger med bæltekøretøjer

Foranlediget af et vådt efterår i 2015 og en forespørgsel fra landbrugserhvervet gennemførtes i 2015 og 2016 to forsøg med forhøjede vægte for bæltekøretøjer. Under forsøgsordningerne blev afstandskravet i bæltetrykket på max 8.000/7.000/6.000 kg/m i dispensationspraksis fraveget. Målet hermed var, at en mindre restgruppe (men ikke alle) af køretøjer, herunder Ploeger ærtehøster, som ikke kan leve op til netop dette afstandskrav, kunne få kørselstilladelse, og at Vejdirektoratet med forsøget kunne blive klogere på kørselsomfang og behov.

Forsøget blev imidlertid kun anvendt af fire ærtehøstere, så det var på baggrund heraf svært at udlede klare konklusioner om effekterne af disse køretøjers kørsel og behovet herfor. Transport-, Bygning-, og Boligministeren opfordrede derfor endnu en gang branchen til at sætte sig sammen med vejmyndighederne og drøfte mulighederne.

Praktiske forsøg

Foranlediget af Transportministerens opfordring har KL, medlemmerne af Trafikgruppen for Primær Færdsel (tidligere Færdselsgruppen), Asfaltindustrien, Færdselsstyrelsen og Vejdirektoratet mødtes flere gange i løbet af 2017 og 2018 for at drøfte udfordringerne med specielt bæltekøretøjer. Resultatet har i første omgang været gennemførelsen af denne rapportes praktiske forsøg.

Der har ikke været tale om at gennemføre foranalysens forslag til hovedanalyse (som er meget mere omfattende), men nogle mindre forsøg i praksis som, forhåbentligt, kunne være med til at vise nogle af de vejslids-effekter, der er ved kørsel med disse køretøjer. Håbet har været, at forsøgene kan be- eller afkræfte nogle af de hidtidige diskussionspunkter mellem Landbrugserhvervet, Asfaltindustrien, KL og Vejdirektoratet og hjælpe til med at verificere (eller afkræfte) Vejdirektoratets hidtidige beregningsmetoder/vurderingskriterier.

Forbehold / ikke undersøgte forhold

De gennemførte forsøg beskrevet i denne rapport har udelukkende haft fokus på de faktorer som har indflydelse på vejsliddet. I det samlede billede er det vigtigt, at også forhold omkring effekterne ved kørsel med tunge landbrugskøretøjer for trafiksikkerheden, fremkommeligheden, trafikafviklingen og ikke mindst broer/bygværkers bæreevne også tages i betragtning.

Det er vigtigt at understrege, at forsøgene kun er et skridt på vejen til at øge viden om bæltekøretøjers påvirkning (af en enkelt type kommunevej). Det fulde billede fås først den dag hele hovedanalysen er gennemført. Det har således også, overfor parterne i forsøget, været understreget, at disse praktiske forsøg ikke nødvendigvis vil føre til en ændret dispensationspraksis/lovgivning på området.

Belastning og skiltning af broer

I forbindelse med foranalysen blev udfordringerne i forhold til broernes og bygværkernes bæreevne, samt skiltning heraf undersøgt nærmere. I forslag til hovedanalyse, *"Vejslid fra tunge landbrugskøretøjer - Forslag til hovedundersøgelse, COWI 2015"*, er der således udarbejdet en beskrivelse af hvordan broerne belastes af trafiklast. Herunder er det beskrevet, hvordan der foretages klassificering og skiltning af broer på det danske vejnet.

Situationen for broer og bygværker i forhold til tunge køretøjer er generelt mindre komplicerede end på vejene, idet det må antages at broens befæstning ikke har samme udfordringer med brokanten som vejkanterne har. For bygværkers vedkommende, kan der dog være tale om udkragede dele eller fortov med mindre bæreevne end arealet under selve kørebanen, hvilket i forhold til landbrugskøretøjer kan have en betydning, da køretøjerne som oftest er bredere end almindelige køretøjer.

I nærværende undersøgelse er der ikke foretaget yderligere undersøgelser/forsøg på broer. Dog er det vigtigt at være opmærksom på, at der kan være en udfordring med skiltning ved broer for bæltekøretøjer, da akseltryk for konventionelle køretøjer på dæk og bæltekøretøjer ikke umiddelbart kan sammenlignes direkte.

Problemformulering

Landbrugsbranchen har et ønske om dels at landbrugskøretøjerne skal kunne køre på offentlig vej på gummi-bælter i stedet for traditionelle dæk, da bælter har større greb i det typisk våde og ujævne underlag – dvs. en bedre bæreevne og friktion ved anvendelse af bælter. Denne begrænsning harmonerer ikke med branchens ønske om større og i realiteten mere produktive køretøjer, som det i øvrigt er en del af samfundsudviklingen. Årsagen til begrænsningen ligger i en tilgang, der ud fra de nuværende regler, rækker over 40 år tilbage, hvor bælter vurderes at forårsage større vejslid end dæk. Tidligere var landbrugsbælter lavet af stål. I de sidste årtier har alle landbrugsbælter været lavet af gummi. Lovgivningen er ikke ændret ift. denne udvikling. Dels har branchen et ønske om at de begrænsninger, der gælder for akseltryk lempes, for så vidt angår gyllevogne.

Argumenterne for ikke at ændre på lovgivningen og dermed de begrænsninger, der er særligt gældende for de undersøgte køretøjer, er delvis manglende kendskab til køretøjernes påvirkning af veje og dermed vejslidet.

Denne rapport har til hensigt, igennem et dog begrænset forsøg, alene at undersøge hvor påvirkningen af vejen for henholdsvis bælte-køretøjernes og gyllevognenes alternativer niveaumæssigt ligger i forhold til de i dag tilladte køretøjer, herunder særtransporter.

Rapporten skal ikke anwise forslag til ændringer af regelsættet for de undersøgte køretøjer på baggrund af forsøget og dens resultater. Men rapporten skal give en indikation om hvilke forhold der skal undersøges nærmere for at kunne anwise ændringsforslag.

De gennemførte praktiske forsøg

Målet med de gennemførte praktiske forsøg har været at undersøge disse køretøjers eventuelle vejslidseffekter på en typisk kommunal vejstrækning, hvor disse køretøjer hovedsageligt kører.

Forsøgene omfattede tre delforsøg med fokus på henholdsvis:

- Udmattelsesforsøg – eventuelle skader på vejens overflade og kanter med særligt fokus på revnedannelse og sporkøring
- Måling af trykket i dybden af vejen/vejkassen
- Måling af køretøjernes aksellaster og kontaktryk

Til forsøgene blev udvalgt en række køretøjer, vejstrækninger og øvrige forhold/forudsætninger, som skulle være på plads ved forsøgenes gennemførelse.

Køretøjerne

Udgangspunktet for de praktiske forsøg var at vurdere påvirkningen fra bæltekøretøjer, der i dag kører på vejene på en tidsbegrænset eller ubegrænset dispensation. Der har været forskellige opfattelser af hvor hårdt de påvirker vejen, og hvordan de skal vurderes.

Derfor indgår roeoptageren Grimme Maxtron, der i dag kører på en tidsbegrænset dispensation, men pt er ét af de tungeste bæltekøretøjer. Ploeger ærtehøster har de seneste par år kørt på en tidsbegrænset dispensation (givet for ét år ad gangen), men er lettere end roeoptageren, og bør derfor vurderes separat. Bæltekøretøjerne har i praksis tidligere været sammenlignet med det "værste" lovlige køretøj, som er et 7-akslet 56 ton sættevognstog. I forsøget er også medtaget en blokvognstrækker med en bloksættevogn med et bæltekøretøj på ladet, da det er et sådant blokvognsvogntog, der ville køre i stedet for et bæltekøretøj, når dette ikke har dispensation til at køre på vejen selv.

Der har tidligere været diskussioner om hvorvidt det er nødvendigt med dispensation for gyllekøretøjer med gyllevogne med akseltryk på 10 ton. Det er lovligt at køre med 8 ton akseltryk på gyllevogne. Derfor blev det besluttet også at medtage to gyllevogne, på hhv. 8 ton og 10 ton akseltryk i forsøget.

Køretøjerne i testen:

- Sættevognstog bestående af tre-akslet sættevognstrækker og fire-akslet tanksættevogn
- Blokvognstog bestående af tre-akslet sættevognstrækker og tre-akslet bloksættevogn, læsset med en 32 ton Grimme Maxtron roeoptager
- Traktor med gyllevogn på 3 * 8 ton akseltryk
- Traktor med gyllevogn på 3 * 10 ton akseltryk
- 2 stk. 32 ton roeoptager (den ene på blokvognen)
- Ploeger ærtehøster, model EPD540

Køretøjsspecifikationer og testfakta fremgår af bilag 1. De teoretiske specifikationer for køretøjerne vises oversigtligt herunder.

Sættevognsvogntog – 7 akslet 56 ton

Benævnes sættevognstog eller lastvogn i rapporten



| Type: | Dæktryk: | Opbygning: | Mål: |
|---------------------------------------|--|--|---|
| 56 ton fuldt læsset sættevognsvogntog | Maximalt efter dækfabrikantens oplysninger: Sættevognstrækker: foraksel: 9,0 bar bagaksler: 8,5 bar Tanksættevogn: alle aksler: 9 bar | Tre-akslet 26 ton trækker med 30 tons fire-akslet tanksættevogn med følgende akselkonfiguration: -0--00 + -----0000-. | Sættevognstrækker med 7,5-8,0 ton foraksel og 18,0-18,5 ton bagbogiede indbyrdes akselafstand på ca. 1.350 mm. Sættevogn med fire 7,5 tons aksler og en indbyrdes akselafstand på ca. 1.350 mm |

Blokvognsvogntog med Grimme roeoptager

Benævnes blokvognstog eller blokvogn i rapporten



| Type: | Dæktryk: | Opbygning: | Mål: |
|---|--|---|--|
| Type: Blokvognsvogntog til transport af fx roeoptager | Maximalt efter dækfabrikantens oplysninger: Blokvognstrækker: foraksel: 9,0 bar bagaksler: 8,5 bar Bloksættevogn: alle aksler: 9,0 bar | 33-ton tre-akslet blokvognstrækker med 44 ton tre-akslet bloksættevogn med følgende akselkonfiguration: -0--00 + ----- 000-. | Blokvognstrækker med 7,5-8,0 tons foraksel og en 18,0-18,5 ton bogiede indbyrdes akselafstand på ca. 1.350 mm. Bloksættevogn med tre otte tons aksler med 17,5 tommer tvillingedæk og en indbyrdes akselafstand på ca. 1.350 mm |

Traktor med gyllevogn, 8 ton og 10 ton akseltryk på påhængsvognen
Traktorvogntoget benævnes traktor eller gyllevogn i rapporten



| Type: | Dæktryk: | Opbygning: | Mål: |
|-----------------------------|---|---|---|
| Type: Traktor med gyllevogn | Maximalt efter dækfabrikantens oplysninger: 3 bar | To-akslet traktor med 24 ton tre-akslet gyllevogn med følgende akselkonfiguration: -o-- + -OOO-. | En 8 tons foraksel med ca. 5.200 mm afstand til 10 ton bagaksel, gyllevogn med tre 8 tons aksler med ballondæk og en indbyrdes akselafstand på ca. 1.800 mm |

Grimme Maxtron roeoptager

Benævnes Grimme eller roeoptager i rapporten



| Type: | Dæktryk: | Opbygning: | Mål: |
|-------------------|--|------------|------|
| 32 ton roeoptager | Maximalt efter dækfabrikantens oplysninger. Variabel pga. forskellige dækdimensioner | | |

Ploeger ærtehøster

Benævnes Ploeger eller ærtehøster i rapporten



| Type: | Dæktryk: | Opbygning: | Mål: |
|--------------------------|--|------------|------|
| 1 stk. 24 ton ærtehøster | Maximalt efter dækfabrikantens oplysninger. Bælter spændt efter fabrikantens forskrifter | | |

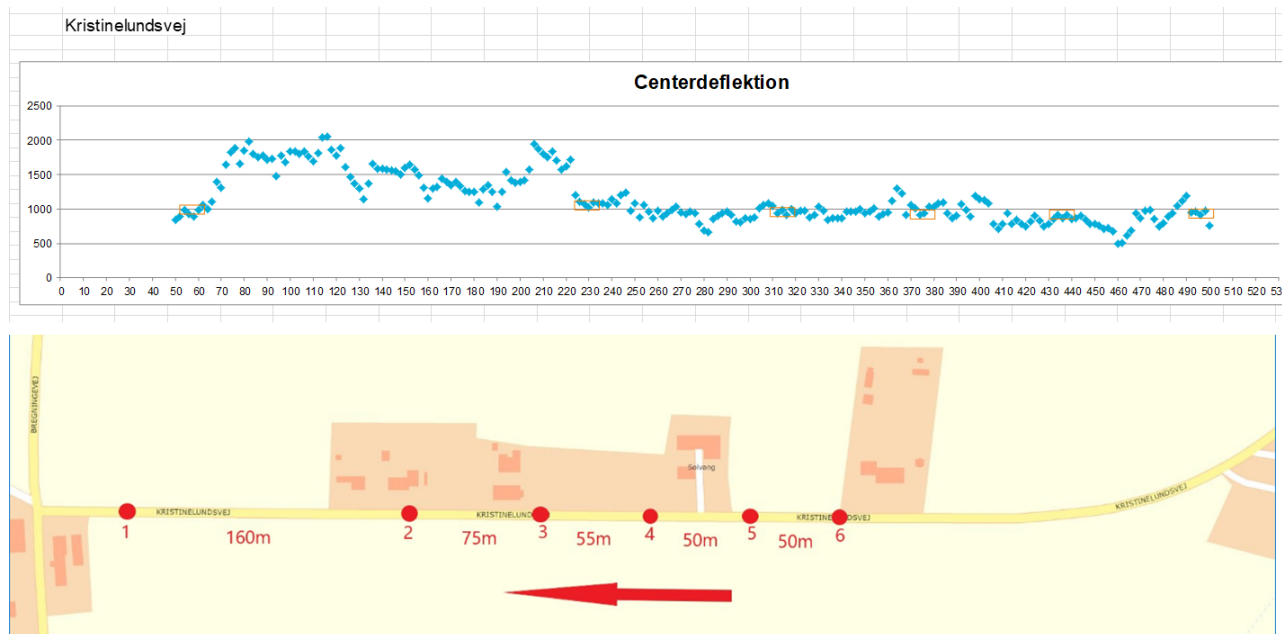
Strækningerne

Til forsøget blev der udvalgt to vejstrækninger. Disse blev udvalgt ud fra en række faktorer, hovedsageligt at disse skulle repræsentere en typisk kommunal vejstrækning hvor landbrugskøretøjerne må formodes at køre mest på; typisk smalle dårligt befæstede veje på landet. Ligeledes skulle vejstrækningerne gerne ligge på Lolland, da Døllefjelde Maskinstation (DM Contractor) stillede mange af køretøjerne til rådighed for forsøget, og det derfor var hensigtsmæssigt at finde strækninger i umiddelbar nærhed hertil. Derudover gjaldt der for de enkelte delforsøg, yderligere en række krav til vejstrækningerne. Kravene blev sat dels for at sikre at alle køretøjer havde ens forhold og for at sikre de bedste forudsætninger for senere analyse, og dels af rent praktiske årsager. Kravene til strækning for henholdsvis udmattelsesforsøget og dybdeforsøget er nævnt herunder.

Udmattelsesforsøget:

- Vejen skulle være bredere end 5 m, således at alle køretøjerne kunne køre 1 m fra kanten og dermed ikke være påvirket af uensartede kanter. Formålet var at måle effekten fra køretøj og vej, ikke påvirkningen fra kanterne.
- Vejen skulle helst have en forholdsvis svag bæreevne, så der er størst chance for skader efter én dags kørsel.
- Vejen skulle have ensartet bæreevne, således at det er forskellen mellem køretøjer og ikke forskellen på vejen der måles. Bæreevnen blev vurderet på baggrund af faldlodsmålinger forud for udvælgelsen.
- Overfladen skulle ikke være for grov, idet det skulle være muligt at se revner når/hvis de opstår.
- Vejen skulle kunne afspærres i forhold til øvrig trafik en hel dag, idet køretøjerne ville blokere vejen hele dagen under forsøget.

Efter faldlodsmålinger og en visuel inspektion af flere vejstrækninger blev Kristinelundsvej i Guldborgsund Kommune valgt til udmattelsesforsøget. På denne blev seks felter udpeget som egnede til forsøget (Figur 1).



Figur 1. De 6 forsøgsfelter på Kristinelundsvej. Øverst ses variationen i bæreevne over strækningen. Områderne med forsøgsfelterne er indrammet med røde firkanter. Alle ligger på samme niveau bæreevnemæssigt.

Kristinelundsvej har følgende opbygning:

| Lag | Tykkelse | E-modul |
|--|----------|-----------|
| Asfalt (ukendt type) – øverst overfladebehandling, 1½OB fra 2011, 8/11 + 4/8 skærver, 1,75 kg/m ² Cut back bitumen | 110 mm | 2.115 MPa |
| Grus | 330 mm | 120 MPa |
| Underbund af moræneler | | 40 MPa |

Tabel 1. Vejopbygning for Kristinelundsvej.

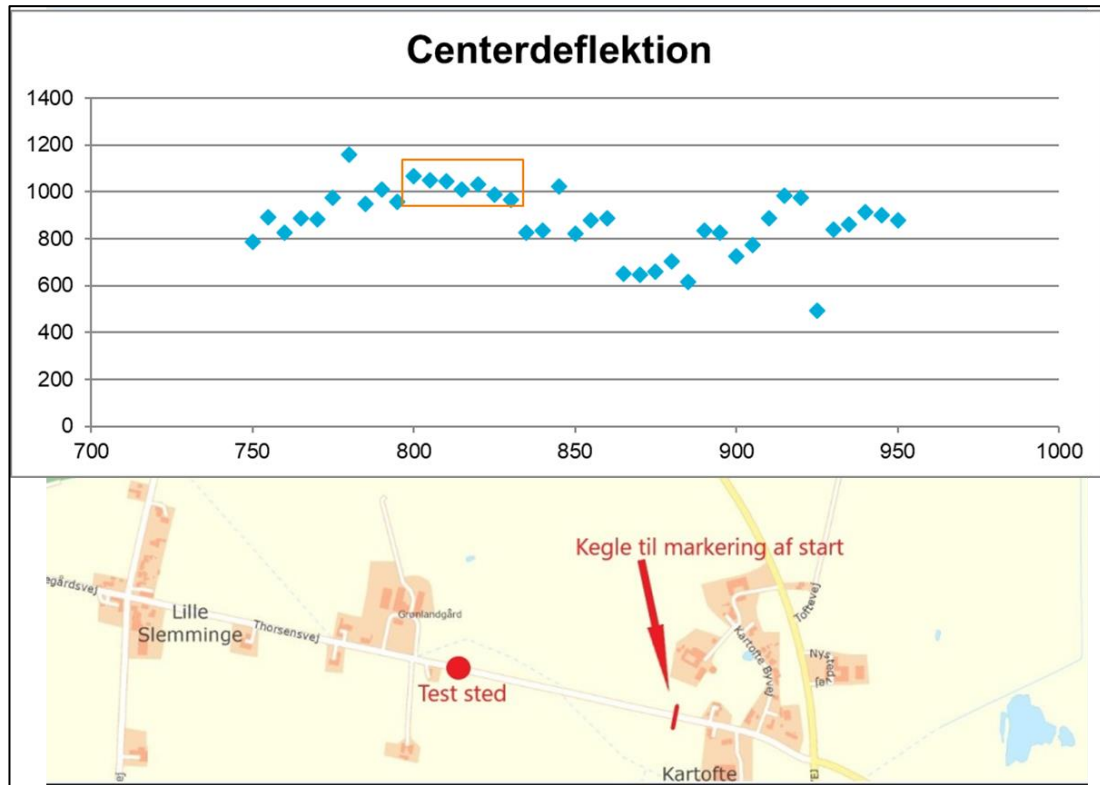
For måling af trykket i dybden af vejen gjaldt følgende krav til vejstrækning:

- Vejen skulle være bredere end 5 m, således at alle køretøjerne kunne køre 1 m fra kanten og dermed ikke være påvirket af uensartede kanter. Formålet var at måle effekten fra køretøj og vej, ikke påvirkningen fra kanterne.
- Vejen skulle helst have en svag bæreevne, således at der kommer udslag på målingerne i dybden.
- Underbunden skulle ikke være stenet, hvilket kunne umuliggøre at instrumenterne kunne bores ind.
- Vejen skulle helst ligge ved en skråning, så der skulle graves så lidt som muligt for at få instrumenterne ind i vejen.
- Køretøjerne skulle gerne kunne køre en – helst kort – runde, for at komme tilbage til startstedet igen i samme rækkefølge.

På baggrund af kravene blev et område på Thorsensvej i Guldborgsund Kommune lokaliseret. Forsøgsstedet har følgende opbygning:

| Lag | Tykkelse | E-modul |
|---|----------|-----------|
| Asfalt (ukendt type) – øverst overfladebehandling, OB fra 2007, 4/8 skærver Ca. 1,4 kg/m ² Cut back bitumen | 130 mm | 1.370 MPa |
| Grus | 330 mm | 110 MPa |
| Underbund af moræneler | | 70 MPa |

Tabel 2. Vejopbygning for Thorsensvej.



Figur 2. Variationen i bæreevne over strækningen. Området for forsøgsfeltet er indrammet med rød firkant.

For at vurdere jorden under vejen ved det udvalgte test-sted, blev der udført en prøvegravning. Her blev det vurderet at det ville være muligt at få måleinstrumenter ind under vejen.



Figur 3. Udgravning ved forsøgsstrækningen på Thorsensvej.

Måling af køretøjernes aksellaster og kontaktryk

Formål

- At skaffe grundlæggende viden om de enkelte køretøjer og dæk/bælter; akseltryk, kontaktryk, dæktryk. Resultater kan bruges til at forklare målingerne på vejen
- Vurdering af skadevirkning på asfaltkanter. Alle køretøjer vurderes i forhold til langsgående påvirkning (altså kørsel hvor dæk/bælte svæver halvt ud over rabatten). Bæltekøretøjer vurderes også i forhold til "tværgående" påvirkning (kørsel fra vej ned på marken).

Måleudstyr

- Akseltrykvægte betjent af Autoconsult (bilag H viser verifikation af vægtene)
- Kontaktrykplader Tekscan I-scan system betjent af CA Måtsystem.
- Manometer

Aksel- og dæktryk

Akseltrykmålinger blev udført i samarbejde med Preben Egelund fra Autoconsult. Alle aksler på hvert køretøj blev vejjet, samt dæktryk målt.

De målte akselvægte for hjulkøretøjerne er vist i Tabel 3. Her er aksel 1 den forreste aksel på køretøjet. Det betyder for traktoren med gyllevognen at aksel 1 og 2 er på traktoren og aksel 3 til 5 på gyllevognen. Det var ikke muligt at veje det inderste hjul i tvillingmontage, derfor er vægten for inderste hjul estimeret til at være den samme som vægten for det yderste hjul.

| [kg] | Blokvogn | | Lastvogn | | Traktor 8 t | | Traktor 10 t | | |
|-------|----------|-------------|-------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|-------|
| | Aksel | Venstre | Højre | Venstre | Højre | Venstre | Højre | Venstre | Højre |
| 1 | | 5.317 | 5.068 | 4.605 | 4.596 | 2.270 | 2.196 | 2.014 | 1.970 |
| 2 | | 5.560 | 6.814 | 4.406 | 4.278 | 4.790 | 4.590 | 5.650 | 5.550 |
| 3 | | 5.962 | 6.700 | 4.576 | 4.122 | 4.068 | 3.920 | 5.420 | 4.800 |
| 4 | | 2.643/2.643 | 2.770/2.770 | 3.030 | 2.190 | 4.446 | 3.856 | 5.860 | 4.850 |
| 5 | | 2.782/2.782 | 2.644/2.644 | 4.176 | 3.102 | 3.980 | 3.886 | 5.690 | 4.900 |
| 6 | | 2.916/2.916 | 2.782/2.782 | 3.540 | 3.580 | - | - | - | - |
| 7 | | - | - | 4.324 | 3.408 | - | - | - | - |
| Total | | 68.495 | | 53.933 | | 38.002 | | 46.704 | |

Tabel 3. Målte akselvægte i kg. Henholdsvis ydre/indre. Vægt estimeret for indre hjul.

Dæktrykket for alle køretøjer blev ligeledes målt ved hjælp af Preben Egelund fra Autoconsult.

Tabel 4 viser de målte dæktryk. Det var ikke muligt at måle trykket i alle hjul ved tvillingmontage.

| [Bar] | Blokvogn | | Lastvogn | | Traktor 8 tons | | Traktor 10 tons | | |
|-------|----------|-----------|-----------|-----------|----------------|---------|-----------------|---------|-------|
| | Aksel | Venstre | Højre | Venstre | Højre | Venstre | Højre | Venstre | Højre |
| 1 | | 8,75 | 8,58 | 8,75 | 8,85 | 2,41 | 2,36 | 2,41 | 2,36 |
| 2 | | 8,25/- | 8,2/- | 8,48/8,43 | 8,40/8,53 | 2,39 | 2,27 | 2,39 | 2,27 |
| 3 | | 8,25/- | 8,35/- | 8,65/8,50 | 7,75/8,52 | 2,99 | 2,98 | 3,05 | 3,06 |
| 4 | | 8,12/8,13 | 8,02/8,20 | 8,60 | 8,50 | 2,98 | 3,00 | 3,05 | 3,08 |
| 5 | | 8,00/8,25 | 8,42/- | 9,00 | 8,70 | 2,96 | 2,97 | 3,00 | 3,05 |
| 6 | | 8,33/8,30 | 8,70/8,20 | 8,65 | 8,90 | - | - | - | - |
| 7 | | - | - | 8,75 | 8,54 | - | - | - | - |

Tabel 4. Målt dæktryk henholdsvis ydre/indre ved tvillingmontage.

Tabel 5 viser data for hjul monteret på de enkelte køretøjer.

| Aksel | Blokvogn | | Lastvogn | | Traktor 8 tons | | Traktor 10 tons | |
|-------|--------------|-------|--------------|-------|----------------|-------|-----------------|-------|
| | Venstre | Højre | Venstre | Højre | Venstre | Højre | Venstre | Højre |
| 1 | 385/65 R22,5 | | 385/65 R22,5 | | 600/65 R34 | | 600/65 R34 | |
| 2 | 315/80 R22,5 | | 315/80 R22,5 | | 800/70 R38 | | 800/70 R38 | |
| 3 | | | | | | | | |
| 4 | | | | | 710/55 R34 | | 710/55 R34 | |
| 5 | 285/70 R19,5 | | 385/65 R22,5 | | | | | |
| 6 | | | | | - | | - | |
| 7 | - | | | | - | | - | |

Tabel 5. Hjul dimensioner.

Dækpåskrift: Dækkets bredde/Dækkassens højde i % af bredden og Rxx fælgens diameter i tommer.

For de to bæltekrøretøjer blev vægten af hver enkelt rulle i bæltet vejret, samt vægten for de to hjul på bagakslen. Tabel 6 viser de målte vægte.

| [kg] | Grimme | | Ploeger | | |
|----------|--------|---------|---------|---------|-------|
| | Rulle | Venstre | Højre | Venstre | Højre |
| 1 | | 3.660 | 4.410 | 2.304 | 2.440 |
| 2 | | 2.076 | 1.864 | 2.434 | 3.026 |
| 3 | | 2.856 | 2.686 | 2.082 | 2.318 |
| 4 | | 3.254 | 3.736 | 2.616 | 2.870 |
| Bagaksel | | 4.000 | 4.238 | 4.760 | 4.704 |
| Total | | 32.780 | | 29.554 | |

Tabel 6. Målt vægt under ruller på bæltet og bagaksel for bæltekrøretøjer.

Trykket i baghjul på bæltekrøretøjer blev målt.

| [Bar] | Grimme | | Ploeger | |
|----------|------------|-------|-------------|-------|
| | Venstre | Højre | Venstre | Højre |
| Bagaksel | 1,9 | 1,9 | 2,58 | 2,63 |
| | 900/60 R32 | | 800/45 26,5 | |

Tabel 7. Tryk og dimensioner for baghjul på bæltekrøretøjer. Bæltebredde 890 mm.

Generelt svarer målingerne til de forventede aksellaste. Det blev dog konstateret at trækkerens skammel burde have været rykket, idet blokvognstrækkeren kører med overlast på 1. aksel. Dvs. at blokvogntoget belastet vejen en smule mere end den ville have gjort i korrekt lastet tilstand. Derudover blev det også konstateret at Ploeger ærtehøsteren vejer 29,5 tons, og ikke 25,8 tons som angivet i dispensationen.

Vurdering af måleusikkerhed

Måletolerancen for de anvendte vægte er +/-20 kg. Ser vi på de faktiske målinger viser de at de fundne vægte afviger mere end 20 kg fra side til side. Dette kan henføres til at ingen køretøjer er 100% symmetrisk opbyggede, samt mindre ujævnheder i underlaget da køretøjerne blev vejret, kan have forårsaget at især bæltekrøretøjerne har "balanceret på 2 eller 3 hjul" under målingen. Som det ses på målingerne, er forskellen fra højre til venstre side i de flest tilfælde mindre end 200 kg. Det vurderes på den baggrund at den samlede usikkerhed pr. måling er mindre end 100 kg.

Da køretøjernes samlede vægt findes ved at addere de enkelte akseltryk, kan der således være en mindre usikkerhed på den samlede vægt af de forskellige køretøjer. Vi finder at:

| Køretøj | Antal målinger | Usikkerhed pr. måling | Største afvigelse | Største afvigelse |
|-------------------|----------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| Blokvognsvogntog | 18 | 100 kg | 1.800 kg | 2,6 % |
| Sættevognsvogntog | 14 | 100 kg | 1.400 kg | 2,6 % |
| Traktorvogntog 1 | 10 | 100 kg | 1.000 kg | 2,6 % |
| Traktorvogntog 1 | 10 | 100 kg | 1.000 kg | 2,1 % |
| Roeoptager | 10 | 100 kg | 1.000 kg | 3,0 % |
| Ærtehøster | 10 | 100 kg | 1.000 kg | 3,4 % |

Tabel 8. Maksimal anslået måleusikkerhed på akseltrykmålinger.

Disse målinger har således en ganske god præcision, og vi har valgt at anvende AutoConsults akseltrykmålinger i nærværende analyse.

Kontakttryk

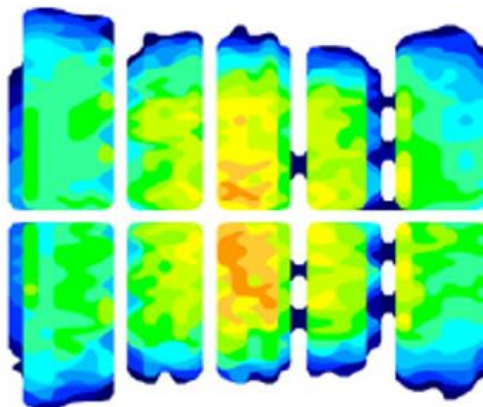
På baggrund af akseltrykmålinger blev de tungeste aksler for hvert køretøj valgt til kontaktrykmålinger. Kontaktrykmålinger blev udført af det svenske målefirma CA Mätssystem.

Figur 4 viser opstilling af kontaktrykmålinger. Målingerne blev udført ved at en særlig målefilm blev monteret på en tynd aluminiumsplade. Hjulene på køretøjet blev løftet med donkraft hvorefter pladen med filmen blev skubbet indunder hjulet. Herefter blev køretøjet sænket igen, så hjulets aftryk kunne registreres ved hjælp af målefilmen.



Figur 4. Kontaktrykmåling på blokvognhænger aksel 7 venstre.

Ved kontaktrykmålingerne ses hvordan trykket er fordelt under de enkelte hjul. Herunder på Figur 5 er vist kontaktrykmåling for blokvognens venstre fordæk. Alle målinger er vist i bilag E. Her er det muligt at se at arealet under blokvognens venstre fordæk er ca. 56.000 mm².



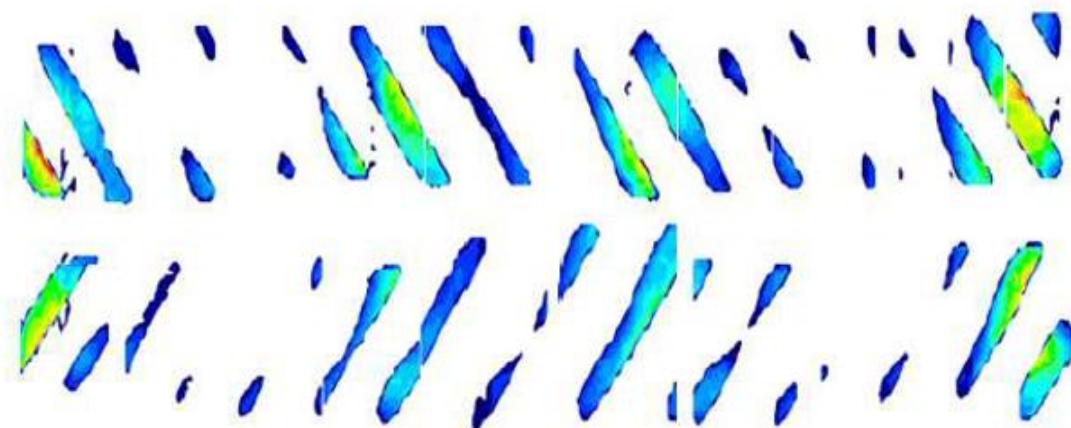
Figur 5. Kontaktrykmåling under blokvognens venstre fordæk
Kontaktareal ca. 56.000 mm².

Sammenholdt med de målte vægte, Tabel 3, er det muligt at beregne et middeltryk under dæk eller bælter. I er der vist middeltryk for et hjul eller bælte under alle 6 køretøjer. Arealet under bælter er ikke det totale ribbeareal, men det areal som er i kontakt med pladen under måling, se eksempel i Figur 6.

| Køretøj | aksel og hjul/bælte | Kontaktareal [mm ²] | Vægt [kg] | Tryk [MPa] |
|---------------|-----------------------------|------------------------------------|--------------|---------------|
| Blokvogn | forreste aksel venstre hjul | 56.000 | 5.317 | 0,93 |
| 56 t lastvogn | forreste aksel venstre hjul | 50.000 | 4.605 | 0,9 |
| 8 t traktor | anden aksel venstre hjul | 65.000 | 4.790 | 0,72 |
| 10 t traktor | anden aksel venstre hjul | 79.000 | 5.650 | 0,7 |
| Grimme | bælte højre | 233.000 | 12.696 | 0,54 |
| Ploeger | bælte venstre | 180.000 | 8.950 | 0,49 |

Tabel 9 Middeltryk under dæk eller bælter

Ved at se middeltryk angivet i Tabel 9 Middeltryk under dæk eller bælter, kan det konstateres at blokvognen har det højeste middeltryk og ærtehøsteren det laveste. Den relative forskel mellem kontaktarealet for Grimme og Ploeger skyldes en forskel på 1. og 4. rullens bredde samt at vægtforskellen bevirker et større tryk idet gummibæltets bredde er ens på de to bæltekøretøjer.



Figur 6. Højre bælte under Grimme Maxtron roeoptager, kontaktareal ca. 233.000 mm².

Kontakttrykmålinger viser ligeledes hvor der er højest tryk (rød farve) og mindst tryk (blå farve). Heller ikke ved peak tryk har bæltekøretøjerne tydeligt højeste værdier. Se bilag E for kontakttrykmålinger for alle køretøjer.

Kontakttrykmålingerne viser udelukkende de vertikale kræfter, derfor er det ikke muligt at vurdere de horisontale kræfter. De horisontale kræfter kan også påvirke vejoverfladen. Disse kræfter kan ikke måles med udstyret benyttet i forsøget.

EU-typegodkendte bæltekøretøjer godkendes i dag på baggrund af gennemsnitligt kontaktfladetryk, som ikke må overstige 0,5 MPa. Denne regel fremgår af EU-forordning EU/2015/208 (punkt 3.3.2.1). Dette tryk beregnes ved at dividere køretøjets totalmasse med det samlede klodsareal som er i kontakt med vejen. På baggrund af kontakttrykmålinger foretaget ved dette forsøg er det tydeligt at ribberne ikke belastes ensartet. Men derimod er det kun ribber under de fire ruller der er påvirket, hvor resten af ribberne stort set er uden belastning.

Kantmålinger

Til at vurdere påvirkninger på kanter blev der benyttet to akseltrykvægte; én til at registrere vægten på "asfaltkanten", som i forsøget blev repræsenteret af to træplader, og én til at registrere vægten i rabatten.

Figur 7 viser opstilling for forhjulet på sættevognstrækkeren. Målingerne fra de to vægte angiver hvordan hjulet fordeler vægten på hhv. asfaltkanten og rabatten. Den reelle fordeling afhænger selvfølgelig af højden på asfaltkanten, men opstillingen giver en relativ bedømmelse af hvor stive de forskellige dæk og bælter er, og dermed hvor meget af vægten der "hænger" på asfaltkanten. Jo større vægt på asfaltkanten, des større risiko for at den knækker. Opstillingen blev justeret sådan at køretøjet kørte med hhv. halvdelen og $\frac{1}{4}$ af dækbredden på "asfaltkanten".



Figur 7. Foto af kantforsøg for venstre forhjul på sættevognstrækkeren for sættevognsvogntoget. Her vist forsøg med en kvart del af hjulet på kanten



Figur 8. Foto af kantforsøg for bagbogien på sættevognstrækkeren til sættevognsvogntoget. Her vist med det ene hjul af tvillingehjulet på kanten.



Figur 9. Foto af kantforsøg for forreste hjul på gyllevogn. Her vist med halvdelen af hjulet på kanten.



Figur 10. Bæltekøretøj på vej op på plader under kant forsøg.

Vurdering af måleusikkerhed

Tabel 10 viser den samlede vægt vejet under kantforsøget, dvs. at vægten i kanten og rabatten er lagt sammen. Tabel 10 giver et billede på måleusikkerheden i forsøget. Ideelt burde den samlede vægt være ens for akslen, uanset om den kører halvt eller kvart på kanten, men på grund af forsøgets opstilling omfordeles noget af vægten under vejning. Således er der heller ikke fuld overensstemmelse mellem de målte akselvægte i Tabel 3 og vægte vist i Tabel 10. For alle køretøjer på nær Ploeger vurderes målingerne dog troværdige, da der er forholdsvis lille forskel mellem totalvægten ved $\frac{1}{2}$ hhv. $\frac{1}{4}$ opstilling. For Ploeger er der 1200 kg mindre totalvægt under bæltet ved kvart i forhold til halv opstilling. Senere i dette kapitel er det begrundet at der fæstes mest lid til målingen hvor halvdelen af bæltet kører på kanten.

| Køretøj | Total i [kg] | |
|---------------------------------------|--------------|-------|
| | 1/2 | 1/4 |
| Traktorvogntoget 8 t 2. aksel Single | 4.668 | 4.400 |
| Traktorvogntoget 8 t 3. aksel Single | 4.258 | 4.310 |
| Traktorvogntoget 10 t 2. aksel Single | 5.220 | 4.908 |
| Traktorvogntoget 10 t 3. aksel Single | 5.584 | 5.512 |
| Sættevognsvogntoget 1. aksel Single | 4.602 | 4.650 |
| Sættevognsvogntoget 3. aksel Tvilling | 5.006 | 4.974 |
| Blokvognsvogntoget 3. aksel Tvilling | 7.600 | 7.566 |
| Blokvognsvogntoget 6. aksel Tvilling | 6.298 | 6.298 |
| Grimme Bælte | 6.074 | 5.800 |
| Ploeger Bælte | 4.432 | 3.236 |

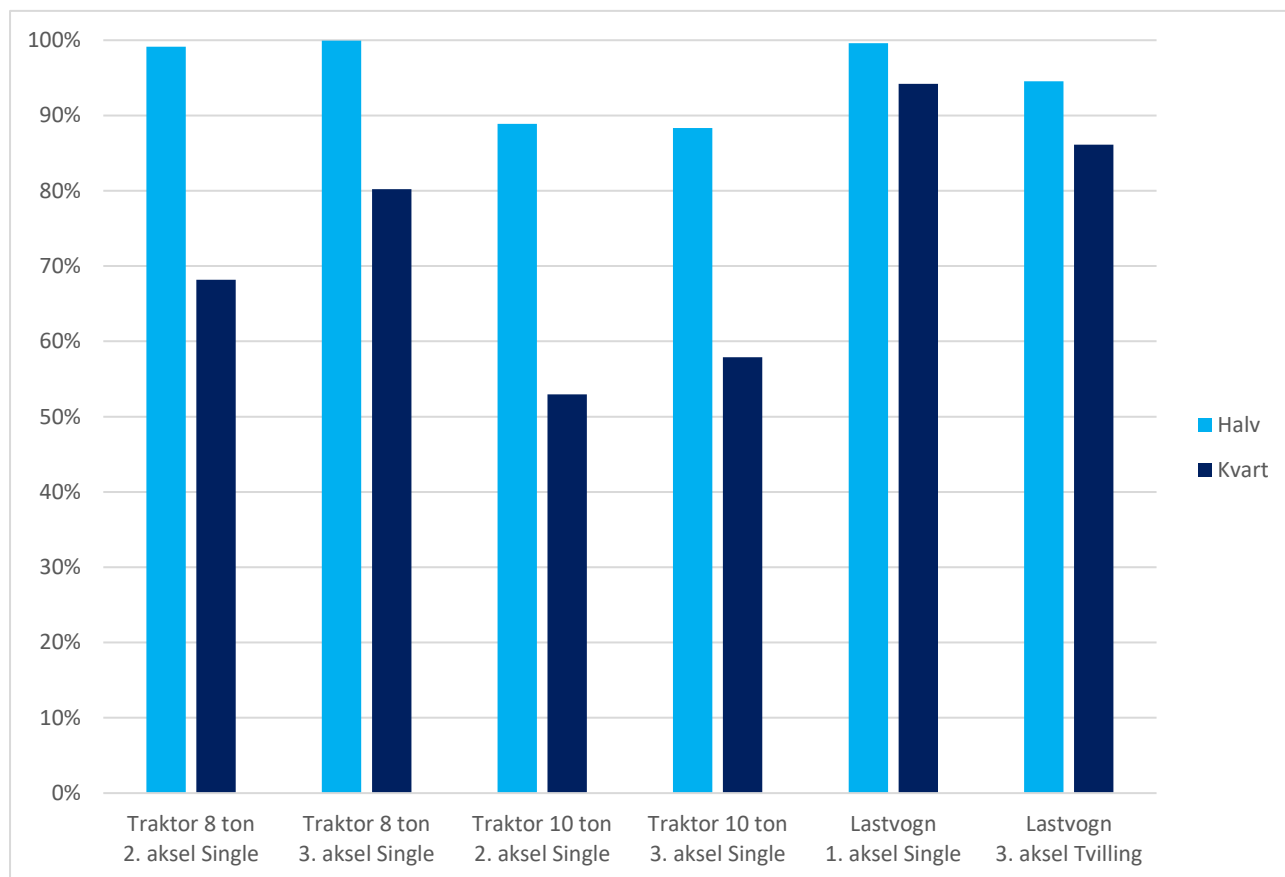
Tabel 10. Målte vægte under kantforsøg. Total i kg er vægten for kant og rabat lagt sammen.

Resultater

Resultaterne er vist i to forskellige diagrammer; procentvis og absolut, i figurerne nedenfor:

- Procentvis diagram: Viser hvor stor en procentdel af hjulsættets eller bæltets samlede vægt der hviler på kanten. Den procentvise fordeling giver et godt billede af hvor stift eller fleksibelt dækket/bæltet er.
- Absolut diagram: Viser den absolutte vægt der hviler på kanten og rabatten. Diagrammet viser hvor tungt kanten belastes. Jo højere last, des større risiko for knækkede kanter.

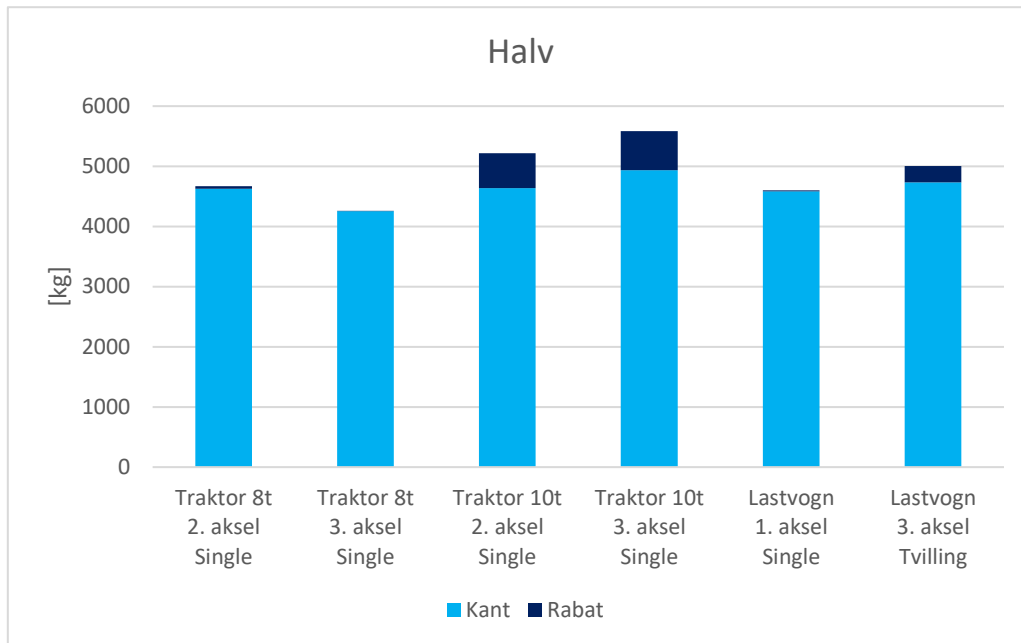
Ved at se på Figur 11 er det muligt at se kantpåvirkninger for traktoren og gyllevognen sammenholdt med sættevognstrækkeren til sættevognsvogntoget. Sættevognstrækkerens to målte aksler viser høj procentvis kant påvirkning både ved halv og kvart opstilling. Således placerer sættevognstrækkerens 1. og 3. aksel over 85 % af vægten på kanten. Traktorens dæk, som begge er single monteret, udviser større fleksibilitet i forhold til at fordele vægten. Ved opstilling med en kvart kantkørsel er der således ingen traktordæk som placerer mere end 80% af vægten på kanten.



Figur 11. Kantbelastning ved halv og kvart placering, for traktor sammenlignet med sættevognstrækkeren. Figuren viser ikke hvilket køretøj der er værst for kanten, blot hvordan hjulvægten fordeles mellem kant og rabat.

Figur 11 viser at traktoren fordeler en mindre andel af vægten på kanten ved øget total vægt. Således har traktoren med 10 ton aksellast en mindre andel af vægten på kanten ved både ½ og ¼ kørsel på kant.

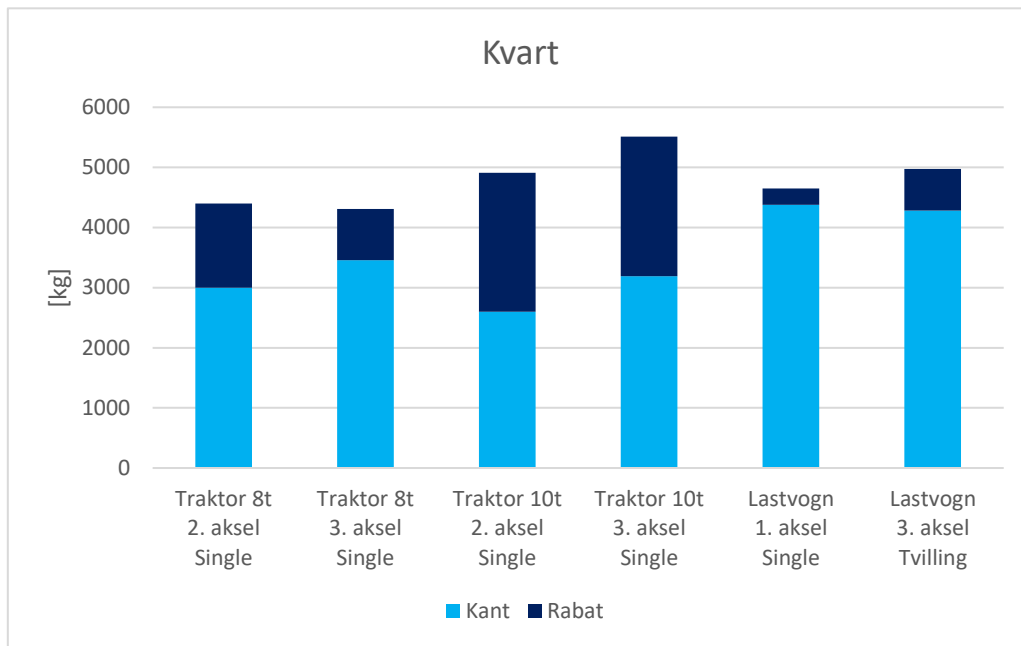
På kontaktrykmålinger ses at traktoren med 10 ton aksellast har et større kontaktareal end traktoren med 8 ton aksellast. Derfor vurderes det at årsagen til at traktoren med 10 ton aksellast har mindre andel af vægten på kanten end traktor med 8 ton aksellast skyldes at arealet øges ved højere last. Derfor er mere af dækket i kontakt med rabatten og således er mere af vægten fordelt til rabatten ved 10 ton aksellast.



Figur 12. Fordeling af vægt vist i kg ved halv kantkørsel for traktor sammenlignet med sættevognstrækkeren.

Figur 12 og Figur 13 viser de faktiske vægte fordelt på kanten og i rabatten. Ved halv kørsel på kanten er der målt omtrentlig samme vægt på kanten for traktor med 10 tons aksellast som for sættevognstrækkeren og lidt lavere vægt for traktoren med 8 ton aksellast.

Traktoren med 10 ton akseltryk fordeler vægten mere til rabatten end ved 8 ton akseltryk, som også vist ved Figur 11. Ved kvart kørsel på kanten har traktoren med 10 ton aksellast mindre vægt på kanten end for traktoren med 8 ton akseltryk.

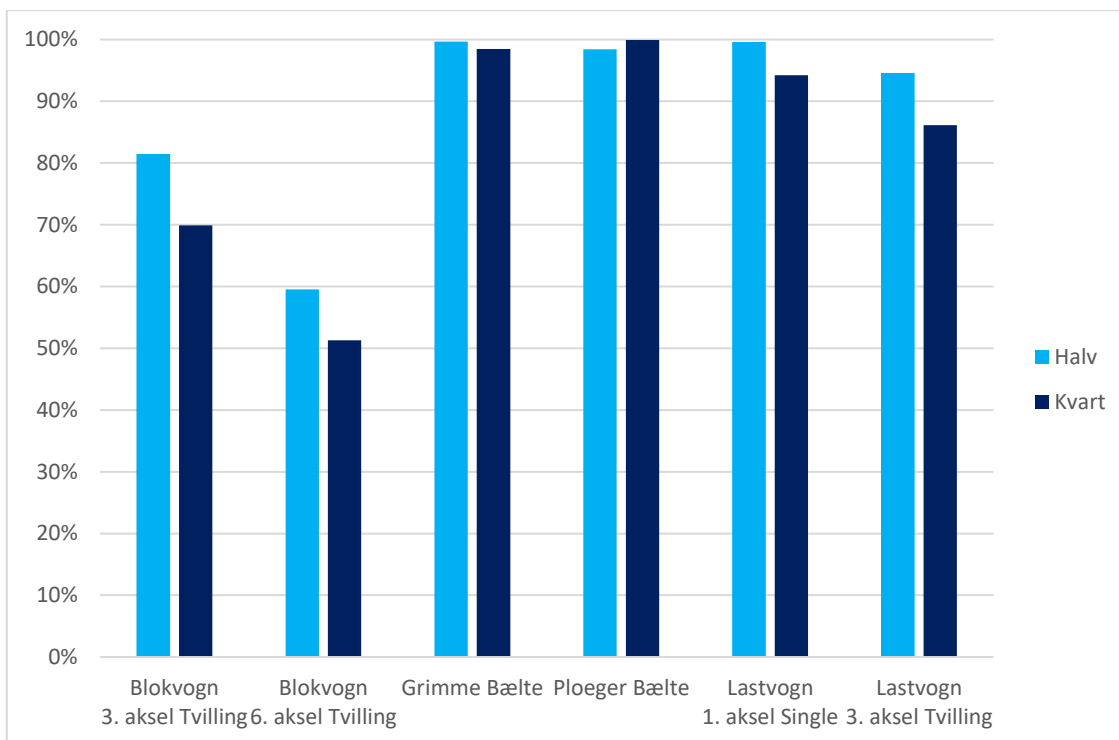


Figur 13. Fordeling af vægt vist i kg ved kvart kantkørsel for traktor sammenlignet med sættevognstrækkeren.

Der er ikke udført forsøg ved forskellige dæktryk men udelukkende ændret aksellast, derfor kan det ikke vises hvorledes et traktordæk fordeler vægten ved lavere dæktryk. Således kan det ikke vurderes om lavere dæktryk kan være med til at beskytte vejkanterne.

Kantforsøget viser at dæk på traktor og gyllevognen optræder anderledes ved øget vægt.

Det må antages at yderligere undersøgelser kan klarlægge om vægt og dæktryk kan optimeres så der opnås mindre belastning på kanter.

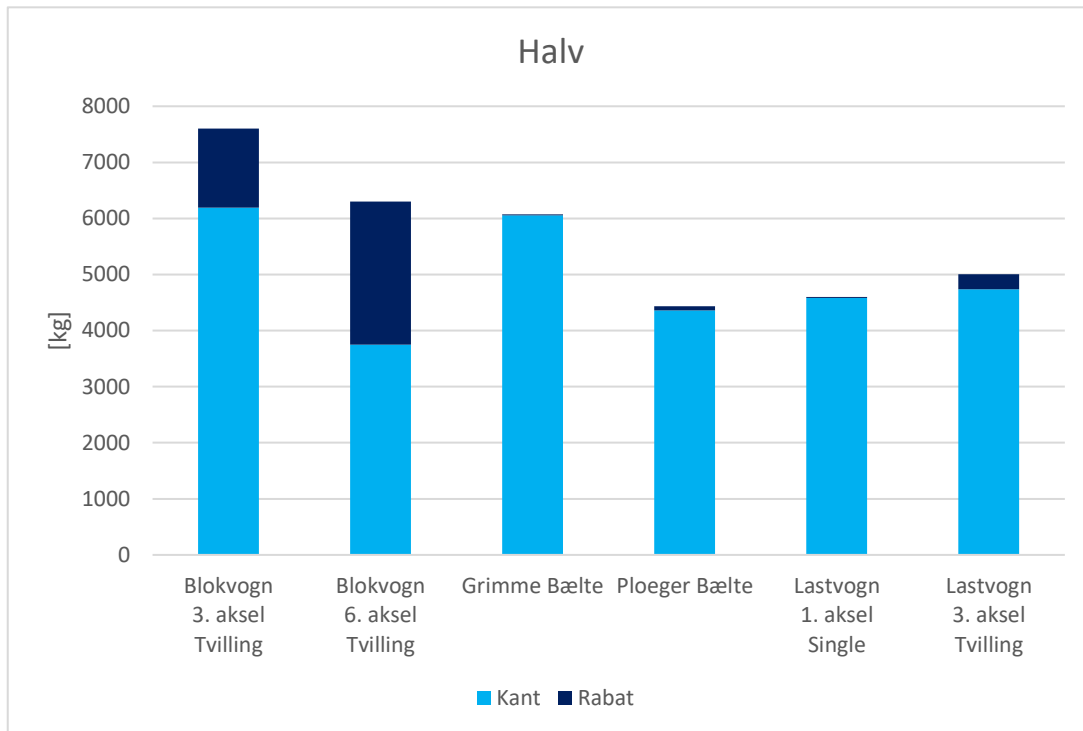


Figur 14. Kantbelastning ved halv og kvart placering, for bæltekøretøjer sammenlignet med blok- og lastvogn. Figuren viser ikke hvilket køretøj der er værst for kanten, blot hvordan hjulvægten fordeles mellem kant og rabat.

Ved både halv og kvart kørsel på kant ses at bælteerne i undersøgelsen er meget uflexible i forhold til at fordele vægten ud i rabatten.

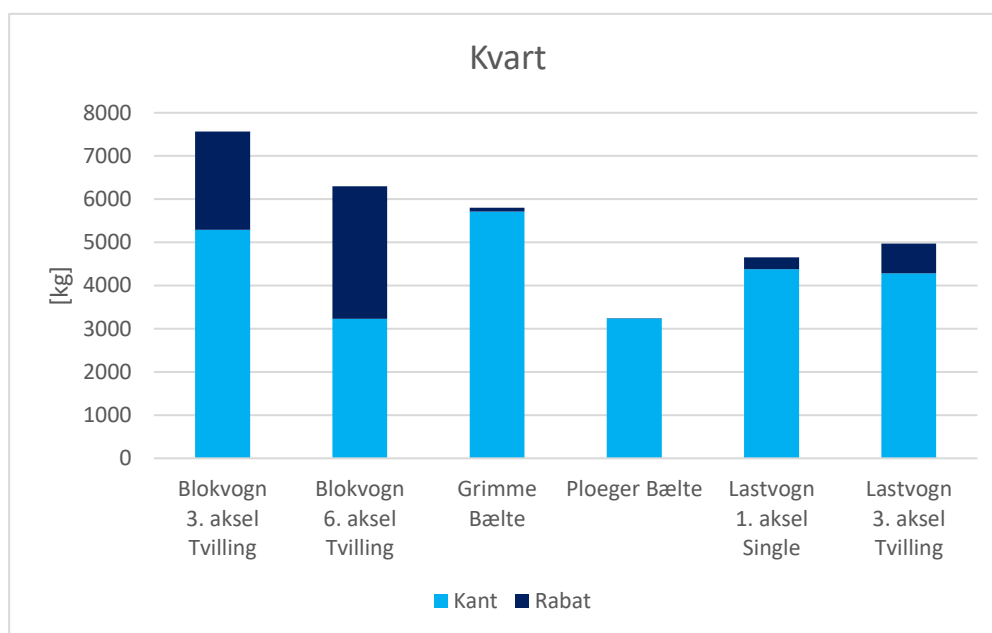
En sættevognstrækker med singleaksel er også dårlig til at fordele vægten, men er dog en smule bedre end bæltekøretøjet. For sættevognstrækkeren er det lidt overraskende at tvillingmontagen på 3. aksel ikke er bedre til at fordele vægten, men næsten lægger al vægten på kanten. Sættevognstrækkerens forhjul er omtrent ligeså stift som Grimme bæltet og fordeler næsten ingen vægt til rabatten under forsøget.

Bloksættevognen er med dens pendelaksler på 6. aksel særlig god til at fordele vægten og er det køretøj i forsøget der bedst kan fordele vægten væk fra kanten og ud til rabatten. Det skal dog bemærkes, at pendelaksler ikke er standard for bloksættevogne, så hvorvidt en bloksættevogn med en anden opbygning vil vise samme resultater kan forsøget her ikke vise.



Figur 15. Fordeling af vægt vist i kg ved halv kantkørsel for bæltekøretøjer sammenlignet med sættevognstrækkeren.

Figur 15 og Figur 16 viser de målte vægte for bæltekøretøjer sammenlignet med sættevognsvogntoget og blokvojnsvogntoget. Grimme-bæltet og blokvojnstrækkerens 3 aksel er de aksler, der er værst for kanten. Blokvojn er god til at fordele vægten, men den har stadig en meget høj vægt, der gør den alvorlig. Målingerne for Ploeger er ikke konsistente, da der er en forskel i totalvægt på ca. 1200 kg fra halv til kvart opstilling. Målingen hvor bæltet hænger halvt på kanten vurderes mest troværdig. Her svarer den totale vægt til vægten af to ruller fra Tabel 6. Grimme bæltet påvirker også kanten med en totalvægt der svarer til vægten under to ruller.



Figur 16. Fordeling af vægt vist i kg ved kvart kantkørsel for bæltekøretøjer sammenlignet med sættevognsvogntog og blokvognsvogntog.

Delkonklusion om måling af køretøjernes aksellaster og kontaktryk

Aksel- og kontaktrykmålinger er foretaget for at skaffe grundlæggende viden, der kan bruges i tolkningen af øvrige målinger. Akseltrykmålingerne gav alligevel mindre overraskelser, såsom at blokvognsvogntoget var lastet forkert til forsøget og havde et overlæs på 32 % på blokvognstrækkerens foraksel. Ligeledes blev ærtehøsterens totalvægt vejjet til 29 ton mod forventet 25,8 ton.

Kontaktrykmålingerne viser udover tryk, også det reelle kontaktareal. Bælter giver ikke højere enkelt værdier for kontaktryk end hjul. Blokvognsvogntoget og sættevognsvogntoget giver det højeste middeltryk over kontaktarealet. Bæltekøretøjerne giver de laveste middeltryk over kontaktarealet. Målinger på bælterne viser at det primært er ribberne under rullerne der belastes. Trykket er meget lavt eller ikke eksisterende mellem rullerne. Denne viden er relevant at inddrage når der sættes grænseværdier for middeltryk.

Målingerne, der skal simulere kørsel på asfaltkanter, viser at der er stor forskel på, hvor stive bælter eller dæk er, og dermed hvor gode de er til at fordele noget af vægten ned på rabatten. Bloksættevognens pendelaksler (som dog ikke nødvendigvis er standard på en blokvogn) er klart de aksler, der bedst fordeler vægten, efterfulgt af traktor og gyllevognen. Lastbildæk og bælter er meget stive og vægten bæres stort set alene på asfaltkanten. Det vigtigste for om asfaltkanten er udsat for at knække er dog den samlede vægt. Og her er bagbogen på blokvognstrækkeren og Grimme-bæltet de tungeste akselkonfigurationer.

På kontaktrykmålinger ses at traktoren med 10 ton aksellast har et større kontaktareal end traktoren med 8 ton aksellast. Derfor vurderes det at årsagen til at traktoren med 10 ton aksellast har mindre andel af vægten på kanten end traktor med 8 ton aksellast skyldes at arealet øges ved højere last. Derfor er mere af dækket i kontakt med rabatten og således er mere af vægten fordelt til rabatten ved 10 ton aksellast.

Udmattelsesforsøg

Veje dimensioneres og vedligeholdes på baggrund af mange faktorer. Herunder indgår blandt andet omfanget af kørsel (eller det forventede omfang) på den pågældende strækning med forskellige køretøjstyper og vægte (akseltryk/totalvægt). En vej der udsættes for mange tunge køretøjer bør derfor dimensioneres mere "solid" end fx en villavej med meget lidt trafik. I den forbindelse er det vigtigt at se på de effekter kørsel afstedkommer, både på vejens overflade og de tryk som køretøjer afsætter længere nede i vejen.

For vejoverfladen vil typiske skader være bl.a. revnedannelser (ex i Figur 17) og sporkøring (ex i Figur 18). Disse skader udvikler sig proportionalt med antallet af tunge køretøjer på vejen. Forskellige køretøjer vil dog påvirke forskelligt. Overfladeforsøgene havde derfor til formål;

- At undersøge hvordan og hvor meget de enkelte køretøjer skader vejens overflade, med særligt fokus på revnedannelse og sporkøring (Udmattelsesforsøg)
- At undersøge hvordan de enkelte køretøjer skader vejen når der vrides/drejes skarpt ud på vej. (Vridning)



Figur 17 Revnedannelse



Figur 18 Sporkøring bliver her målt manuelt

Normalt vil eventuelle skader på vejene opstå over længere tid. Men under visse omstændigheder kan en enkelt overkørsel dog også være nok til at "skade" vejen, fx et meget tungt køretøj på en meget sommervarm belægning (bl.a. derfor kan der indføres varmespærringer for tunge transportere). De gennemførte forsøg i denne rapport må dog karakterisere som værende ekstreme (et accelereret forsøg), idet køretøjerne blev sendt over samme vejstrækning flere hundrede gange i løbet af blot et par timer.

Måleudstyr

Til overfladeforsøget blev anvendt en "MFV" (Multi Functional Vehicle) fra firmaet Dynatest. Dette er en målebil der "fotograferer" vejens overflade vha. laserudstyr og derved kan se/registrere revner og andre skadestyper på vejens overflade. Samtidig måles sporkøring.

Formål

- At undersøge hvordan og hvor meget de enkelte køretøjer skader vejens overflade, med særligt fokus på revnedannelse og sporkøring (udmattelsesforsøg)
- At undersøge hvordan de enkelte køretøjer skader vejen når der vrides/drejes skarpt ud på vej. (Vridning)

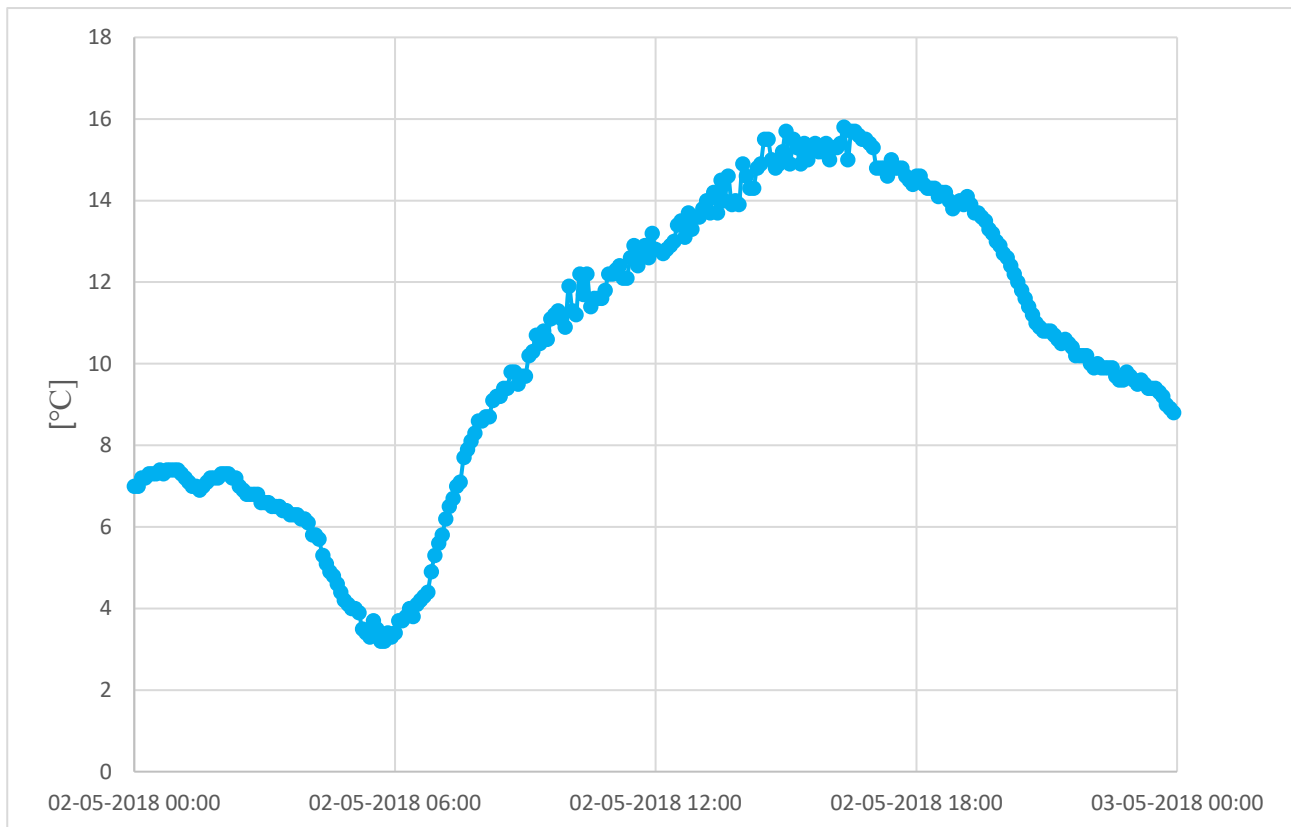
Måleudstyr

"MFV" (Multi Functional Vehicle) fra Dynatest. En målebil der "fotograferer" vejens overflade vha. laserudstyr og derved kan se revner og andre skadestyper på vejens overflade. Samtidig måles sporkøring.

Forholdene på dagen

MFV målevognen kørte målinger på to datoer. Dels under forsøgets udførelse onsdag d. 2. maj, og dels en genmåling d. 6. september. Forholdene på forsøgsdagen er beskrevet herunder. Det er også relevant at påpege at perioden fra maj til august 2018 var usædvanlig varm, med blød og "medgørlig" asfalt til følge.

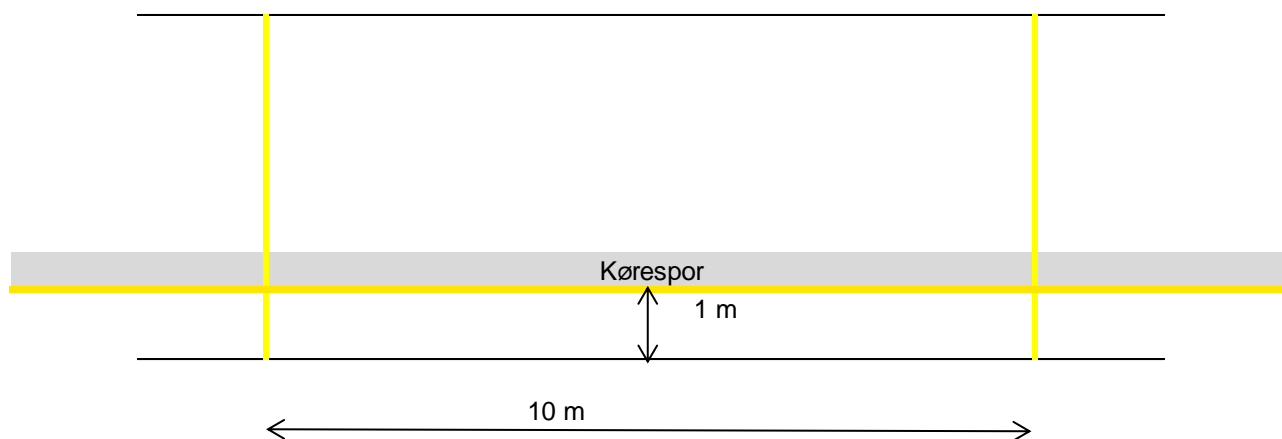
Figur 19 nedenfor viser temperaturer målt ved Sakskøbing onsdag d. 2. maj. Overfladetemperaturen på Kristinelundsvej blev ikke registreret, dog vurderes det at vejens temperatur har været højere end luften da solen skinnede fra en klar himmel hele dagen.



Figur 19. Temperatur onsdag d. 2. maj målt ved afkørsel 46 Sakskøbing.

Udmattelsesforsøg på Kristinelundsvej

Til selve forsøget blev der etableret forsøgsfelter af 10 m til udmattelsesforsøg, hvert felt som vist i Figur 20. Her kørte køretøjerne frem og tilbage i forsøgsfelterne et aftalt antal gange. Hvert forsøgsfelt har markering af start og stoplinje i hele vejens bredde, samt en kørelinje, der blev benyttet som sigtelinje for forhjul eller bælte. Kørelinjen blev benyttet som grænselinje til hjul, dvs. kanten af dæk/bælte ramte linjen. Køretøjer hvor hjul og bælte ikke følger samme linje, sigtede efter at få dæk/bælte på bredeste akse til at ramme kørelinjen.



Figur 20 : Skematisk visning af forsøgsfelter for udmattelsesforsøg

Skaderne på vejen blev registreret med MFV køretøjet, før kørsel med landbrugsforsøg og dernæst efter aftalt antal passager. Da det aftalte antal passager var opnået, parkerede køretøjerne så tæt på asfalkanten som muligt, uden at få dæk/bælte i rabatten. Herefter blev MFV køretøjet sendt ned ad vejen for at udføre måling.

Der blev på Kristinelundsvej oprettet syv forsøgsfelter til udmattelsesforsøg.

Køretøjerne blev i første omgang fordelt på felt 1-6 hvor et felt, felt 5, ikke blev benyttet.

| | | |
|----------|-------------------------------------|-------------|
| - Felt 1 | Blokvognsvogntog | 400 kørsler |
| - Felt 2 | 7 akslet sættevognsvogntog | 400 kørsler |
| - Felt 3 | Grimme roeoptager | 200 kørsler |
| - Felt 4 | Ploeger ærtehøster | 200 kørsler |
| - Felt 5 | Intet køretøj | 0 kørsler |
| - Felt 6 | Traktor med gyllevogn 10t aksellast | 200 kørsler |
| - Felt 7 | Grimme roeoptager | 200 kørsler |

Observationer/resultater

Efter 200 kørsler med Grimme roeoptager og Ploeger ærtehøster opstod der svedning i vejens overfladebelægning (OB-belægningen) der medførte tydelige indtryksmærker. Det blev derfor besluttet at indstille kørslen i felt 3 og 4 ved 200 kørsler. Traktoren i felt 6 blev ligeledes indstillet, da svedning var ved at blive opbygget.

Roeoptageren blev flyttet til et ny oprettet felt 7, også på Kristinelundsvej, da det blev vurderet at der muligvis var forskel i fedmen af belægningen. Dvs. at der blev kørt 200 kørsler på felt 7, samtidig med at kørslen på felt 1 og 2 fortsatte fra 200 til 400 overkørsler. Det skal understreges, at der for køretøjerne i varierende

grad her er tale om et accelereret/ekstremt forsøg, idet fx ærtehøsteren normalt kun vil komme få antal gange på en given vejstrækning på en sæson.

Indtryksmærker og svedning

Efter 50 overkørsler kom der tegn på bitumensvedning i felt 3 og 4. Denne udvikling fortsatte og førte til tydelige indtryksmærker efter ribbemønstre på bæltet. Figur 21 viser indtryksmærkerne i felt 3 inden der er kørt 150 overkørsler i feltet. Indtryksmærkerne var værst i felt 3 men var også synlige i felt 4 hvor ærtehøsteren kørte. Felt 6 viste ikke samme bitumensvedning, men mindre tegn på ribbemønstre blev synlige i feltet efter 200 overkørsler.



Figur 21. Indtryksmærker i felt 3 imellem 50 og 150 kørsler.

Efter 200 overkørsler blev kørsel i felt 3, 4 og 6 indstillet pga. de meget synlige indtryksmærker som følge af bitumen svedningen. Da der var tvivl om hvorvidt overfladebehandlingen i felt 3 var federe end andre steder på Kristinelundsvej, blev der oprettet et nyt felt som Grimme roeoptageren skulle køre i. Dette felt blev nummer 7.

I felt 7 opstod der meget hurtigt svedning og tydelige indtryksmærker efter ribber. Felt 7 var det felt der efter 200 overkørsler havde de tydeligste indtryksmærker. En væsentlig årsag var at forsøget startede efter middag og solen på det tidspunkt havde varmet vejen op, med blødere bitumen til følge.



Figur 22. Foto af overfladen i felt 3, 4 og 7 efter 200 overkørsler fra Dynatest MFV køretøj.

Figur 22 viser, for felt 7, tegn på at indtryksmærkerne har fået en dybere dybde end for felt 3 og 4. Ved overkørsel med personbil, efter forsøg var afsluttet, fornemmedes indtryksmærkerne i felt 7 som rumleriller og kunne høres og mærkes ved overkørsel. Dette var ikke lige så kraftigt i felt 3 og 4.

Målebilen registrerer indtryksmærkerne som om der mangler noget af belægningen, svarende til et stentab. I den resulterende rapport fra Dynatest bliver skaden derfor kaldt stentab. Jo dybere indtryk, des alvorligere "stentabskategori".

| Felt 3 Overkørsler | Areal [m ²] | Stentabskategori | | |
|-----------------------|----------------------------|------------------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 150 | 4,125 | 0,0% | 56,1% | 43,9% |
| 200 | 7,063 | 0,0% | 31,0% | 69,0% |

Tabel 11. Registrerede skader i felt 3 Grimme roeoptager.

| Felt 4 Overkørsler | Areal [m ²] | Stentabskategori | | |
|-----------------------|----------------------------|------------------|--------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 150 | 0,438 | 0,0% | 85,7% | 14,3% |
| 200 | 0,125 | 0,0% | 100,0% | 0,0% |

Tabel 12. Registrerede skader i felt 4 Ploeger ærtehøster.

| Felt 7 Overkørsler | Areal [m ²] | Stentabskategori | | |
|-----------------------|----------------------------|------------------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 50 | 2,375 | 0,0% | 55,3% | 44,7% |
| 150 | 15,375 | 0,0% | 37,4% | 62,6% |
| 200 | 11,625 | 0,0% | 25,3% | 74,7% |

Tabel 13. Registrerede skader i felt 7 Grimme roeoptager.

Tabellerne ovenfor viser det skadede areal i felt 3, 4 og 7. Der er ikke leveret resultater for stentab på øvrige køretøjer, fordi intet stentab er registreret. Det skadede areal er minimalt i felt 4 (ærtehøster) og størst i felt 7 (roeoptager, eftermiddag). Dernæst viser tabellen hvor alvorlige/dybe indtryksmærkerne er. Felt 7 har størst mængde i kategori 3. Dvs. at felt 7 har både størst areal af indtryksmærker og de er også dybest. Næsten ligeså alvorlige mærker er konstateret i felt 3, som også er Grimme Roeoptageren, blot fra formiddagens kørsler.

Brugere af vejen rapporterede kort efter forsøgets udførelse at indtryksmærkerne var forsvundet. Almindelige dæk har sandsynligvis masseret belægningen, sådan at den er kørt jævn igen. For at dokumentere dette blev MFV-målevognen sendt til forsøgsvejen igen d. 6. september. Resultater er vist i Tabel 14. Der kunne ved målingen ikke længere konstateres stentab i felt 3, 4 og 7. Der blev nu registreret skader i felt 6 men vi mener ikke disse skader kan tilskrives forsøget d. 2. maj. Skaderne må være kommet efterfølgende.

| Overview | | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Felt 1 | Felt 2 | Felt 3 | Felt 4 | Felt 5 | Felt 6 | Felt 7 |
| - | - | - | - | - | X | - |

Tabel 14. Skadesregistrering af Dynatest på Kristinelundsvej 6. september.

Før og efter billeder af Kristinelundsvej er vist i Figur 23. På billedet taget efter forsøget er ses tydelig sort markering hvor Grimme har kørt i felt 7. Udover den sorte markering var indtryksmærker tydelige i overfladen. Disse indtryksmærker er senere jævnet ud.



Figur 23. Før og efter billede af Kristinelundsvej. Foto til højre er taget lige efter forsøget.

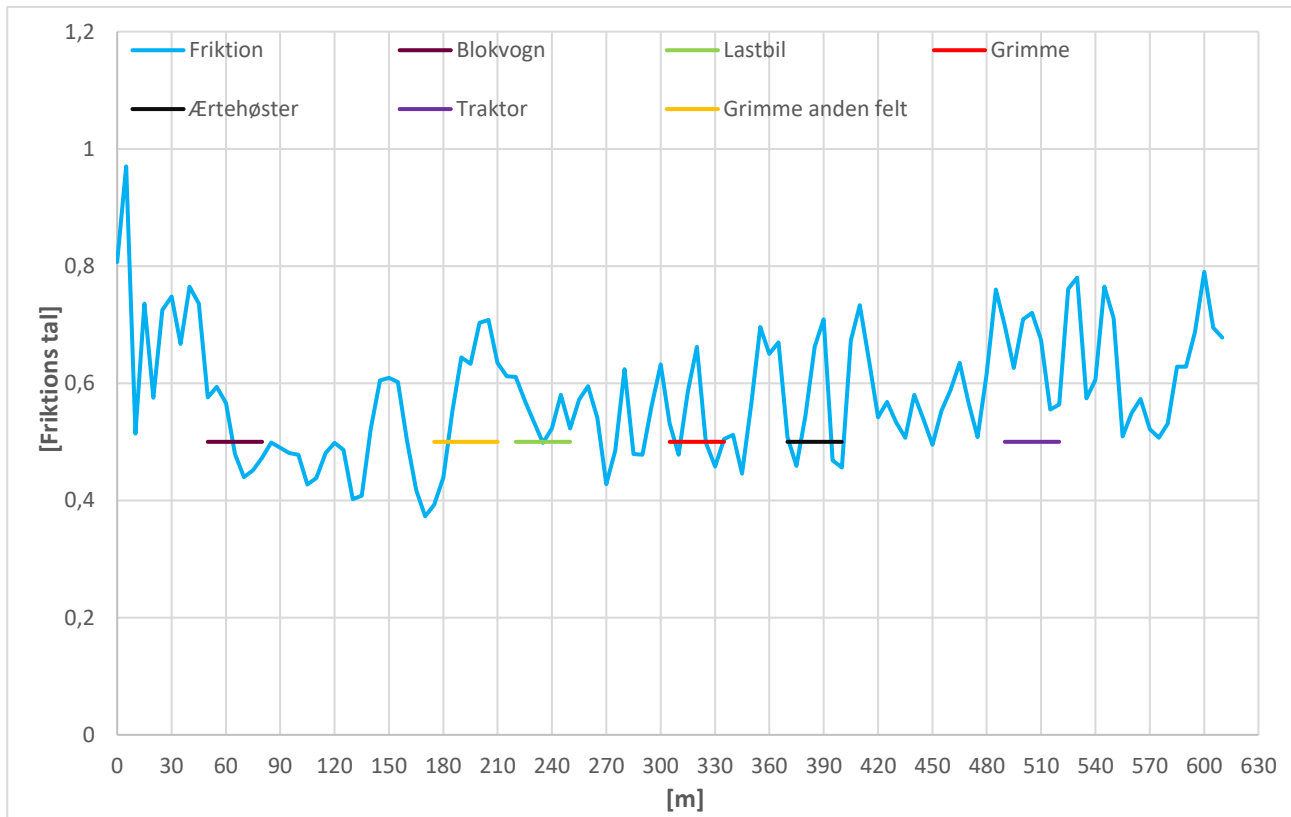
Det skal pointeres at selvom generne ved indtryksmærkerne kan forsvinde ved at blive udjævnet af efterfølgende trafik, vil belægningen stadig være i dårligere stand end før ribbedækkene har kørt på strækningen. Stenene der ligger øverst på en overfladebelægning er blevet masseret ned i bitumenen, sådan at overfladen nu primært består af bitumen. Man kan se på billedet i Figur 23 at belægningen er mere sort efter kørslerne. Der er ingen friktion i bitumen, særligt ikke når overfladen er våd. Vejbestyrelsen står efterfølgende med en mere glat vej, der bør udbedres med ekstra sten eller anden behandling, for at hindre at motorcykler skrider eller at bremselængder forøges.



Figur 24. Foto af felt 3 fra d. 6. september.

Friktionsmåling

For at se, hvorvidt svedningen på belægningen på Kristinelundsvej kunne måles, udførte Vejdirektoratets friktionsmåler d. 12. november 2018 en måling på strækningen.

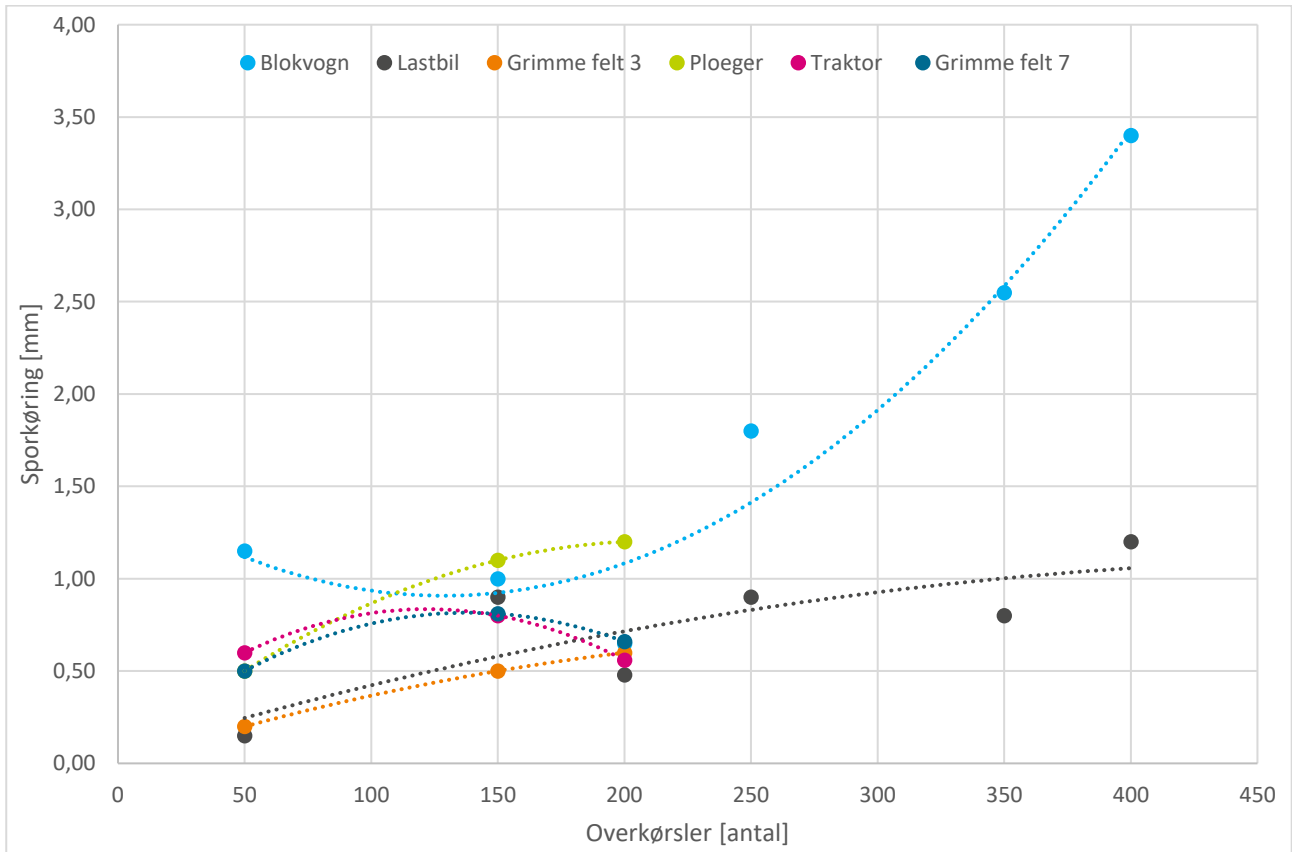


Figur 25. Friktionsmåling på Kristinelundsvej. Vandrette streger er afmærkning af felter efter GPS-koodinator på måling.

Resultaterne for målingen er præsenteret i Figur 25. En vej anses for glat når friktionstallet ligger under 0,4. Målingerne kan ikke påvise at felter hvor der opstod svedning er mere glatte end andre steder på vejen. Dette kan måske skyldes, at Guldborgsund Kommune kort efter forsøget fik stenmateriale nedtromlet for igen at sikre vejgreb på Kristinelundsvej, som netop gøres i tilfælde af bitumensvedning på OB-belægninger.

Sporkøring

MFV målevognen målte sporkøring på Kristinelundsvej både før, under og efter forsøget. Udviklingen i sporkøring fra de enkelte køretøjer er vist i Figur 26. Før-målingerne er ikke medtaget i figuren, da Dynatest anser dem for at være fejlbehæftede.



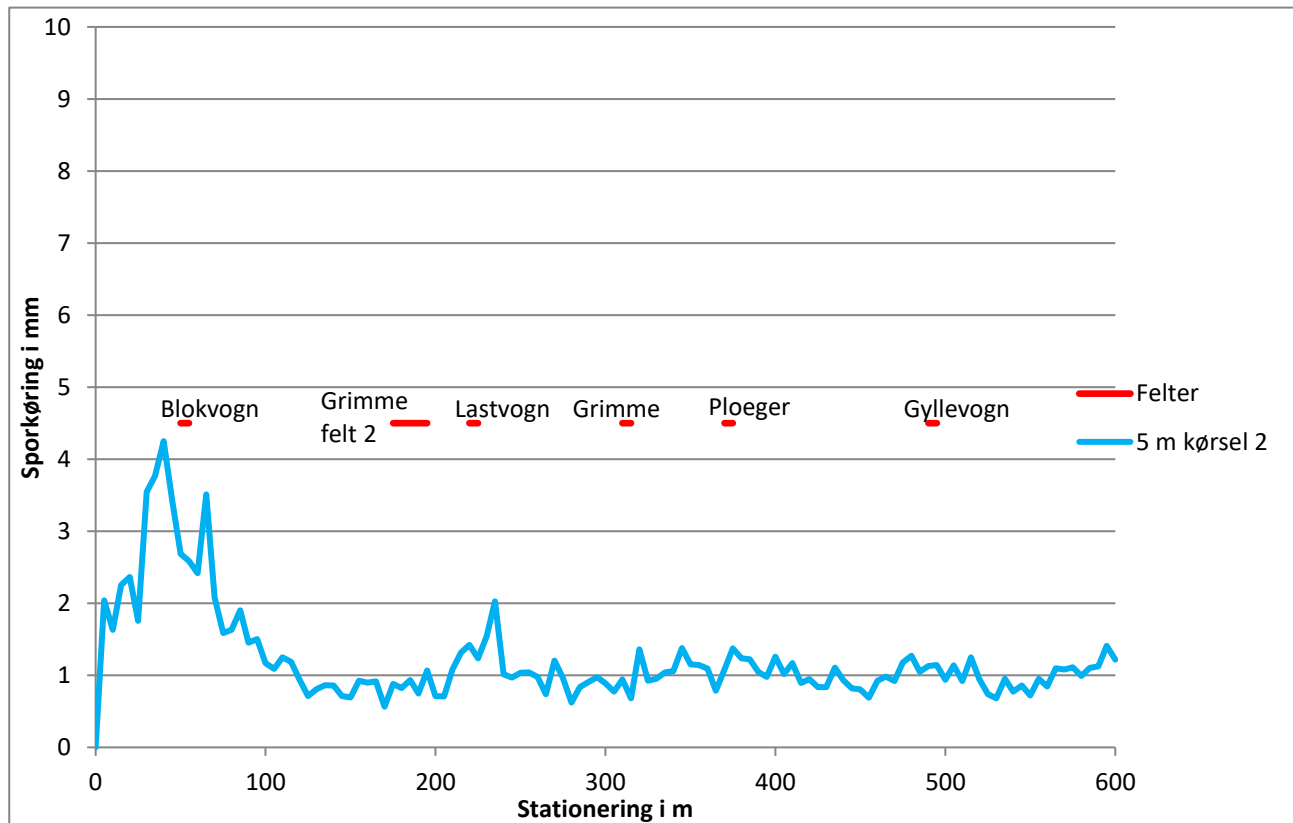
Figur 26. Sporkøring målt på Kristinelundsvej. Der er indtegnet tendenslinjer for de enkelte punktmålinger.

Dynatest har ligeledes senere konstateret at sporkøringsmålingerne har været påvirket af at MFV køretøjet skulle køre udenom de store køretøjer (og derfor måske ikke har "ramt" præcis samme målested). Derfor er sporkøringsmålinger for alle felter, undtaget felt 1 hvor blokvognsvogntoget kørte, usikre og der kan således kun vurderes sporkøring i felt 1. Det må samtidig noteres at den målte sporkøring, særligt indtil de første 200 overkørsler, er meget lille og at forskellene ligger indenfor måleusikkerheden. Måleusikkerheden er på baggrund af referencemålingerne på Kristinelundsvej vurderet til at der kan være en forskel på op til 1,5 mm mellem enkeltmålinger.

Ud fra Figur 26 kan det dog med sikkerhed siges at blokvognen giver anledning til sporkøring af vejen, særligt efter 200 overkørsler.

For at få en efter-måling af sporkøring der ikke er influeret af zig-zag kørsel udenom køretøjerne, blev der efterfølgende målt sporkøring — med Vejdirektoratets sporkøringsmålevogn. Der har kørt trafik på strækningen i perioden mellem forsøget og denne måling, så sporkøringen kan være større end umiddelbart efter forsøget. Men det vurderes at denne trafik i så fald har påvirket forsøgsfelterne ensartet, da der ikke er mulighed for at dreje af til andet end private indkørsler og marker.

Figur 27 viser spordybden i „sigtelinjen“ på 600 m af Kristinelundsvej. Målingen understøtter MFV-målevognens resultater fra forsøgsdagen. Der ses ikke sporkøring under landbrugskøretøjerne, men kun for sættevognstog og blokvognstog, som kørte dobbelt så mange gange over forsøgsfeltet som landbrugskøretøjerne.



Figur 27. Vejdirektoratets sporkøringsmåling.

Målingerne er i tabellen herunder sammenlignet med MFV-målingerne. Tallet angivet for Vejdirektoratets målinger er et middeltal over 20 m omkring feltet, da der er lidt usikkerhed på stationeringen.

| Målefelt | MFV-måling start | MFV-måling slut | VD Måling efterfølgende |
|-------------------|------------------|-----------------|-------------------------|
| Felt 1: Blokvogn | < 1 mm | 3,5 | 2,8 |
| Felt 7: Grimme | < 1 mm | < 1 mm | 0,9 |
| Felt 2: Lastbil | < 1 mm | 1,2 | 1,6 |
| Felt 3: Grimme | < 1 mm | < 1 mm | 1,0 |
| Felt 4: Ploeger | < 1 mm | 1,2 | 1,2 |
| Felt 6: Gyllevogn | < 1 mm | < 1 mm | 1,1 |

Tabel 15. Sammenligning af målinger. VD og Dynatest.

Forlæns kørsel på "Langet"

For at vurdere om svedning også vil opstå når bæltekedetøjer kun kører forlæns, blev ærtehøsteren sendt til vejstrækningen "Langet" (foran Døllefjælde Maskinstation) for at udføre et tilsvarende forsøg, dog kun med forlæns kørsel. Dette kunne lade sig gøre ved at køre rundt om laden på maskinstationen. Her var vejens belægning varmblandet asfalt.

Efter ærtehøsteren havde kørt ca. 55 gange rundt på Langet blev dette forsøg indstillet da der ikke var det mindste tegn på at svedning ville opstå.

Tabel 16 og Tabel 17 viser målinger med MFV-målevognen. Den registrerer heller ikke svedning/stentab, men derimod revner.

Der er af Dynatest anvendt følgende definition af revnekategorier, baseret på revnebredder: kat. 1: < 3 mm kat. 2: 3 - 6 mm, kat. 3: >6 mm.

| Overkørsel [nr.] | Langet (før overkørsler) | | | |
|---------------------|--------------------------|---------------|--------------|--------------|
| | Revner [m] | Revnekategori | | |
| | | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 51,792 | 2,11% | 72,02% | 25,87% |
| 2 | 46,805 | 0,56% | 75,11% | 24,33% |
| 3 | 56,767 | 1,23% | 66,02% | 32,76% |
| Gns. | 51,8 | 1,3% | 71,1% | 27,7% |

Tabel 16. Registrerede skader på Langet inden forlæns kørsel med ærtehøster. Dynatest rapport tabel 3-5.

| Overkørsel [nr.] | Langet (efter overkørsler) | | | |
|---------------------|----------------------------|---------------|--------------|--------------|
| | Revner [m] | Revnekategori | | |
| | | 1 | 2 | 3 |
| 4 | 56,731 | 0,33% | 65,84% | 33,83% |
| 5 | 45,012 | 0,00% | 46,14% | 53,86% |
| Gns. | 50,9 | 0,2% | 56,0% | 43,8% |

Tabel 17. Registrerede skader på Langet efter forlæns forsøg med ærtehøster. Dynatest rapport tabel 3-6.

Da der er stor variation mellem resultaterne for gennemkørsler med MFV er det svært at lave en troværdig konklusion. Umiddelbart viser resultaterne at længden af revner ikke stiger, men at de bliver bredere, idet der sker en flytning fra revnekategori 2 til 3.

Langet felt 8

Grunden til at der ikke opstod svedning ved kørslen "Forlæns Langet", kunne skyldes belægningstypen og ikke blot kørselsretningen. Derfor blev felt 8 etableret tilsvarende forsøgsfelterne på Kristinelundsvej. MFV-målevognen kørte før og efter forsøget for at måle skadesudviklingen.

Forsøget blev indstillet efter 67 kørsler frem og tilbage, da der ikke var tegn på at der ville opstå svedning.

Revner

Dynatest udførte før målinger på Langet ved felt 8.

Konsekvensen ved øget revnebredde er at der er større sandsynlighed for at revnen går hele vejen igennem belægningen. Jo dybere revne, des svagere asfalt og des mere vand kan sive ned og blødgøre underbunden.

| Langet felt 8 (før overkørsler) | | | | |
|---------------------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| Overkørsel [nr.] | Revner [m] | Revnekategori | | |
| | | <3mm | 3-6mm | >6mm |
| 1 | 9,774 | 0,00% | 54,27% | 45,73% |
| 2 | 6,704 | 0,00% | 44,97% | 55,03% |
| Gns. | 8,2 | 0,0% | 49,6% | 50,4% |

Tabel 18. Registrerede skader Langet felt 8 før overkørsler. Dynatest rapport tabel 3-9.

Efter de 67 overkørsler frem og tilbage med ærtehøsteren blev vejens tilstand registreret igen af Dynatest.

| Langet felt 8 (efter overkørsler) | | | | |
|-----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Overkørsel [nr.] | Revner [m] | Revnekategori | | |
| | | <3mm | 3-6mm | >6mm |
| 3 | 10,676 | 0,00% | 37,15% | 62,85% |
| 4 | 5,17 | 0,00% | 28,62% | 71,37% |
| Gns. | 14,9 | 0,0% | 32,89% | 67,11% |

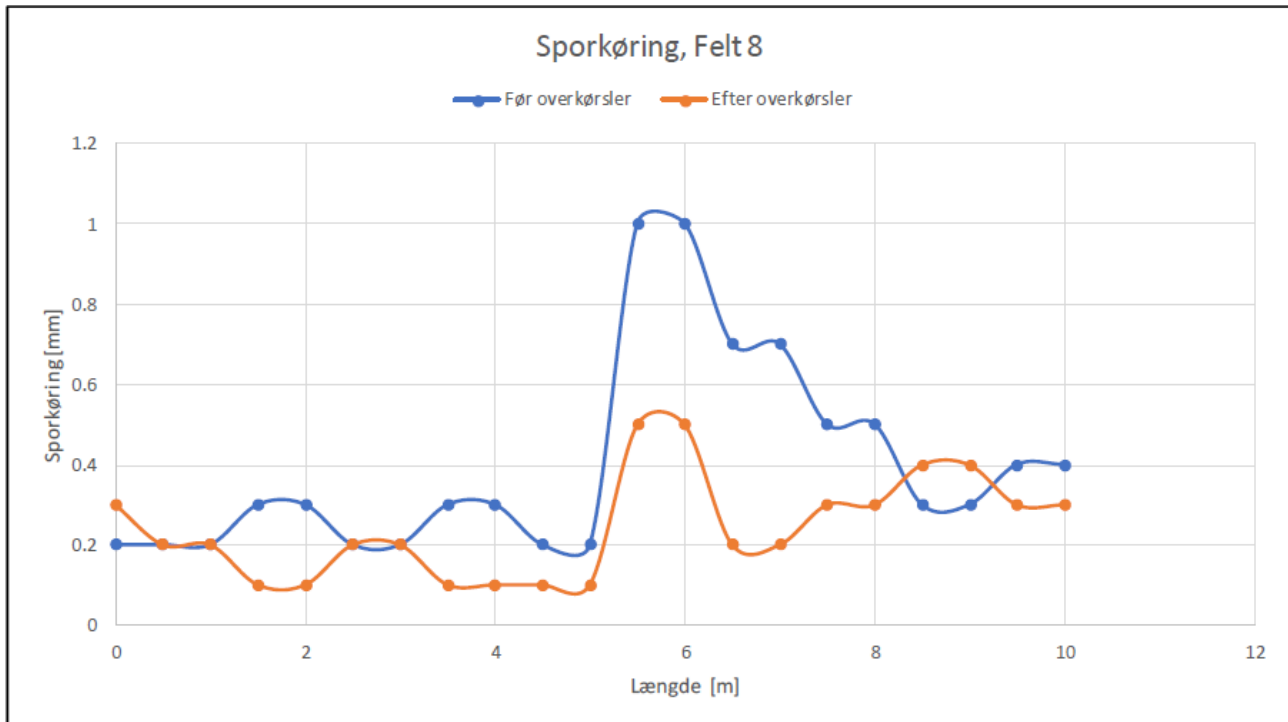
Tabel 19. Registrerede skader Langet felt 8 efter overkørsler. Dynatest rapport tabel 3-10.

Igen er der stor variation mellem de enkelte målinger, så det kan ikke konkluderes at revnelængden er øget. Derimod er revnebredden øget. Således er to tredjedele af revnerne efter forsøget nu i kategori 3 hvor det før forsøget var halvdelen. Da forsøget blev indstillet, var det ikke med det blotte øje muligt at konstatere revnerne.

Da der ikke er udført samme forsøg med en lastbil eller et lastbilsvogntog, er det ikke muligt at sammenligne resultaterne. Og det kan således ikke vurderes om disse køretøjer ligeledes vil øge revnebredden.

Sporkøring

Sporkøring blev målt i felt 8 før og efter forsøget og resultatet er vist i Figur 28. Umiddelbart bliver sporkøring på vejen udjævnet under forsøget. Igen må det noteres at den målte sporkøring er så lav at den forsvinder i måleusikkerhed.



Figur 28. Sporkøring Langet felt 8, før og efter målinger. Se bilag A - Dynatest rapport (figur 3-7).

Vrid

På Langet blev der også udført et vrid forsøg. Her blev Grimme roeoptageren og blokvognen benyttet. Vist på Figur 29 er roeoptageren der drejer ud på Langet. Blokvognen benyttede feltet til venstre for keglen.



Figur 29. Grimme udfører vridforsøg på Langet. Blokvogn benytter feltet til venstre for keglen.

Forsøget skulle vise om der kunne konstateres skader når tunge køretøjer drejer på en asfaltbelægning og på den baggrund vurdere om der var forskel i alvorligheden af skaderne ved sammenligning mellem et bæltekøretøj og blokvognen. Dette kan dog ikke verificeres ud fra det forsøg udført på Langet.

Der kunne efter knap en times kørsel med vrid forsøget ikke konstateres nogle skader på Langet med det blotte øje.

Tabel 20 og Tabel 21 viser resultatet før- og eftermåling med MFV-målevognen.

| Langet felt 8 (før vrid forsøg) | | | | |
|---------------------------------|--------------------|---------------|--------|--------|
| Overkørsel [nr.] | Rev- ner [m] | Revnekategori | | |
| | | 1 | 2 | 3 |
| Måling 1 - felt 1 | 12,645 | 0,0% | 6,41% | 93,59% |
| Måling 2 - felt 1 | 12,323 | 0,0% | 7,79% | 82,21% |
| Måling 1 - felt 2 | 2,606 | 0,0% | 82,69% | 17,31% |
| Måling 2 - felt 2 | 2,863 | 0,0% | 100,0% | 0,0% |

Tabel 20. Registrerede skader på langet før vridforsøg. I felt 1 kørte Grimme og felt 2 kørte blokvognen. Dynatest rapport tabel 3-7.

| Langet felt 8 (efter vrid forsøg) | | | | |
|-----------------------------------|---------------|---------------|--------|---------|
| Overkørsel [nr.] | Revner [m] | Revnekategori | | |
| | | 1 | 2 | 3 |
| Måling 1 - felt 1 | 11,832 | 0,0% | 7,92% | 90,57% |
| Måling 2 - felt 1 | 14,538 | 0,0% | 0,00% | 100,00% |
| Måling 1 - felt 2 | 1,896 | 0,0% | 62,77% | 37,23% |
| Måling 2 - felt 2 | 0,452 | 0,0% | 0,0% | 100,0% |

Tabel 21. Registrerede skader på langet efter vridforsøg. I felt 1 kørte Grimme og felt 2 kørte blokvognen. Bilag A - Dynatest rapport (tabel 3-8).

Dynatest konkluderer ligeledes på baggrund af deres målinger at der ikke sker nogen vækst i revner eller revnebredde på Langet som følge af vridforsøget.

Delkonklusion af udmattelsesforsøg

Overordnet fortæller udmattelsesforsøgene umiddelbart mere om belægningstypen og dækttype end om effekten af køretøjernes aksel- og kontaktryk. Forsøgene viste, at ribbedæk og ribber på bælter forårsager indtryksmærker og svedning på veje med overfladebehandling. Det sker hurtigere jo varmere, og dermed blødere, overfladen er. Grimme roeoptageren var umiddelbart det køretøj der gav de værste indtryksmærker på Kristinelundsvej. Dog var indtryksmærker efter ærtehøsteren også meget tydelige. Det må derfor vurderes at bæltekøretøjer er værre ved en vejoverflade med OB-belægning end en lastbil er, da lastbilen ikke efterlod indtryksmærker under kørsel. Dog medførte de varme dæk indtryksmærker der hvor lastbilen holdt stille.

Kørselsmønstret ved forsøget er dog ikke repræsentativt for en virkelig situation, og derfor forventes der ikke synlige indtryksmærker ved én passage af et bæltekøretøj før ved høje vejtemperaturer. Eventuelle indtryksmærker kan dog blive udjævnet af efterfølgende trafik, så alene svedningen og en potentielt glat overflade ligger tilbage.

Forsøgene viste ikke umiddelbart en sammenhæng mellem højeste middeltryk og synlige overfladeskader, da bæltekøretøjerne var de køretøjer hvor der var tydelige overfladeskader ved kørsel. Brugere af vejen rapporterede kort efter forsøgets udførelse at indtryksmærkerne var forsvundet – dette blev dokumenteret ved at anvende målevognen.

Traditionelle dæk er designet til at køre på asfalt og efterlader ingen mærker. Høj aksellast betyder større påvirkning af vejen, og særligt for blokvognen opstod der sporkøring. Landbrugskøretøjerne blev stoppet efter 200 kørsler, på grund af bitumensvedning. Det kan derfor ikke vurderes, om der også ville opstå sporkøring, hvis de havde kørt mere end 200 kørsler.

Kun enkelte bæltekøretøjer blev afprøvet på en belægning af varmblandet asfalt. På varmblandet asfalt opstod ikke indtryksmærker og sporkøring, hverken ved forlæns eller baglæns kørsel. Derimod blev det samlede revne antal meter øget og der kom således flere revner, som var det der blev forventet med udmattelsesforsøget. Der indgik ikke kørsel med flere forskellige køretøjer på varmblandet asfalt, så der kan ikke siges noget om hvilke køretøjer, der er værre end andre i den henseende.

Vridforsøget viste at hverken blokvognen med læs eller Grimme roeoptageren beskadigede vejen. Vridforsøget blev udført på en vej med belægningen af varmblandet asfalt.

Måling af trykket i dybden af vejen/vejkassen

Den trykpåvirkning, der opstår i vejkassen under et køretøj, hænger sammen med hvor hurtigt der opstår sporkøring, fordi de højere tryk sammenpresser grus-, sand- og jordlagene i vejen. Trykket afhænger både af køretøjets totalvægt, men også i høj grad af hvordan vægten er fordelt på aksler og dæk. I forbindelse med beregninger af effekten foretages en del antagelser, det er derfor meget relevant at direkte måle den endelige påvirkning fra køretøjerne.

Formål

- At måle den relative forskel i trykket som de forskellige køretøjer påvirker vejen med i dybden.

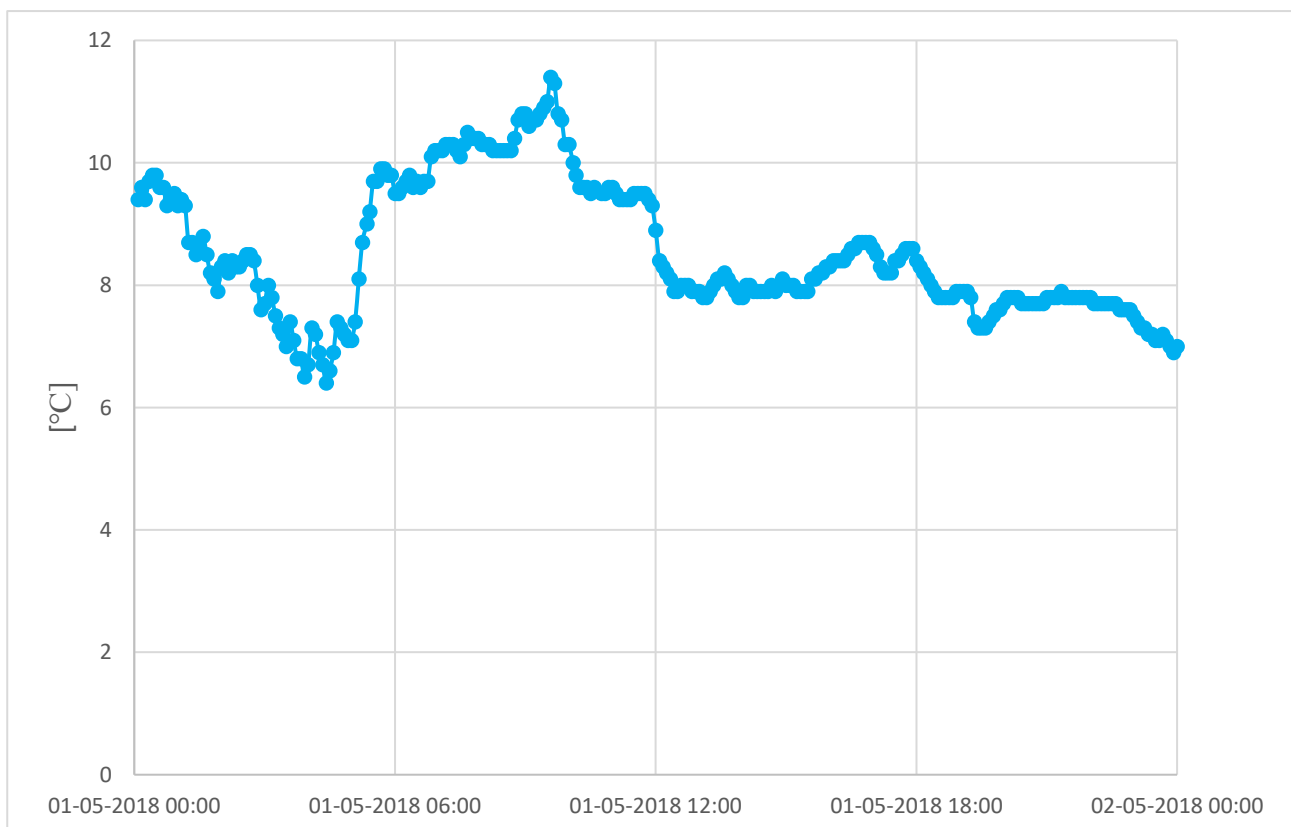
Måleudstyr

Jordtrykmålere af typen Bolling probes, 5 styks, lånt hos Århus universitet, institut for Agro økologi og jordfy-sik. Udstyret benyttes til at måle trykket i markjord når landbrugskøretøjer passerer ovenover.

Jordtrykmåleren er et langt rør med en ballon for enden som føres ind i jorden. I den anden ende sidder en plastsprøjte som benyttes til at øge trykket i røret og herved udvide ballonen så denne slutter tæt til omkringliggende jord. Trykket i røret holdes på omkring 1 bar ved forsøg. Bilag D viser jordtrykmåleudstyr.

Forholdene på dagen

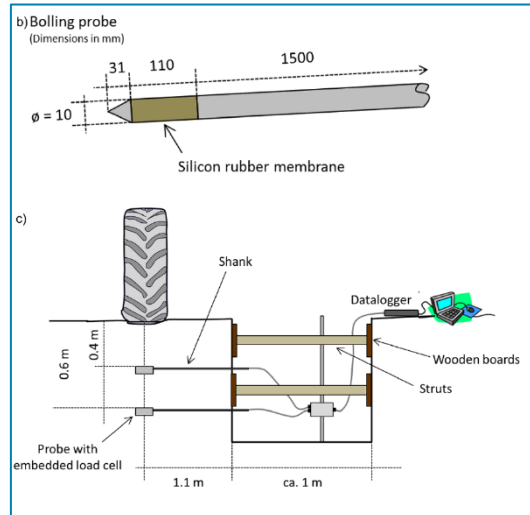
Vejret d. 1. maj 2018 var overskyet og blæsende. Temperaturer målt ved Saksøbing fremgår af Figur 30.



Figur 30. Lufttemperatur tirsdag d. 1. maj målt ved afkørsel 46 Saksøbing.

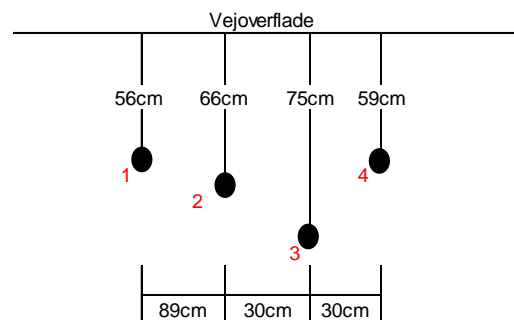
Forsøgsopstilling

På Thorsensvej blev der på udpeget sted gravet et hul lodret ned langs vejkannten, herfra kunne jordtryksmålerne føres vandret ind i jorden. Figur 31 viser skematisk opstilling af forsøget.



Figur 31. Skematisk visning af opstilling for dybde-måling.

Jordtryksmålerne blev ført vandret ind under vejen til en afstand ca. 1 meter ind fra vejkannten. Ud fra den omtrentlige vandrette placering blev der tegnet tre kørelinjer på vejen, som blev benyttet af chaufførerne til at styre efter. Afstanden mellem linjerne var 20 cm og benævnes linje 1 tættest på vejkannten og linje 3 tættest på midten af vejen. Linje 1 var linjen hvor køretøjerne således kørte lige ovenover jordtryksmålerne.



Figur 32. Foto af jordtryksmålere og skematisk visning af placeringer under vejoverflade.

Da selve indførelsen af jordtryksmålerne gav store problemer, pga. sten i jorden, kunne den oprindelige plan for hvor dybt målerne skulle placeres i jorden ikke overholdes. Derfor blev det besluttet at indføre jordtryksmålerne og herefter notere dybden. Figur 32 viser den endelige placering af jordtryksmålerne.

Udførelse

Køretøjerne blev sendt frem i en række med tilpas afstand så måleudstyret kunne nå at komme tilbage til initialtilstanden. Rækkefølgen var med stigende totalvægt: Ærtehøster, roeoptager, traktor med gyllevogn (10 t aksellast), 7-akslet lastvognstog og 6-akslet blokvognsvognstog til sidst. Der blev kørt ved to hastigheder, 20 km/t og 5 km/t både på streg 1 og streg 3. Chaufførerne blev instrueret i at køre således at højre forhjul midte var lige på stregerne. Det var ikke nemt at ramme præcist pga. bredde af dæk eller bælter men også

pga. førerens placering i forhold til hjul. Pga. tidsbegrænsninger og de praktiske udfordringer ved at ramme stregerne præcist blev kørsel på streg 2 undladt.

Da det kun var muligt at have én traktor med gyllevogn til rådighed under forsøget, blev gyllevognen i første omgang lastet til et akseltryk på 10 ton og sendt igennem kørsler. Derefter blev gyllevognen omlæst til et akseltryk på 8 ton, og runderne blev gentaget. Figur 33 viser udførelsen af forsøget.



Figur 33. Traktor med gyllevogn kører efter linje 1.

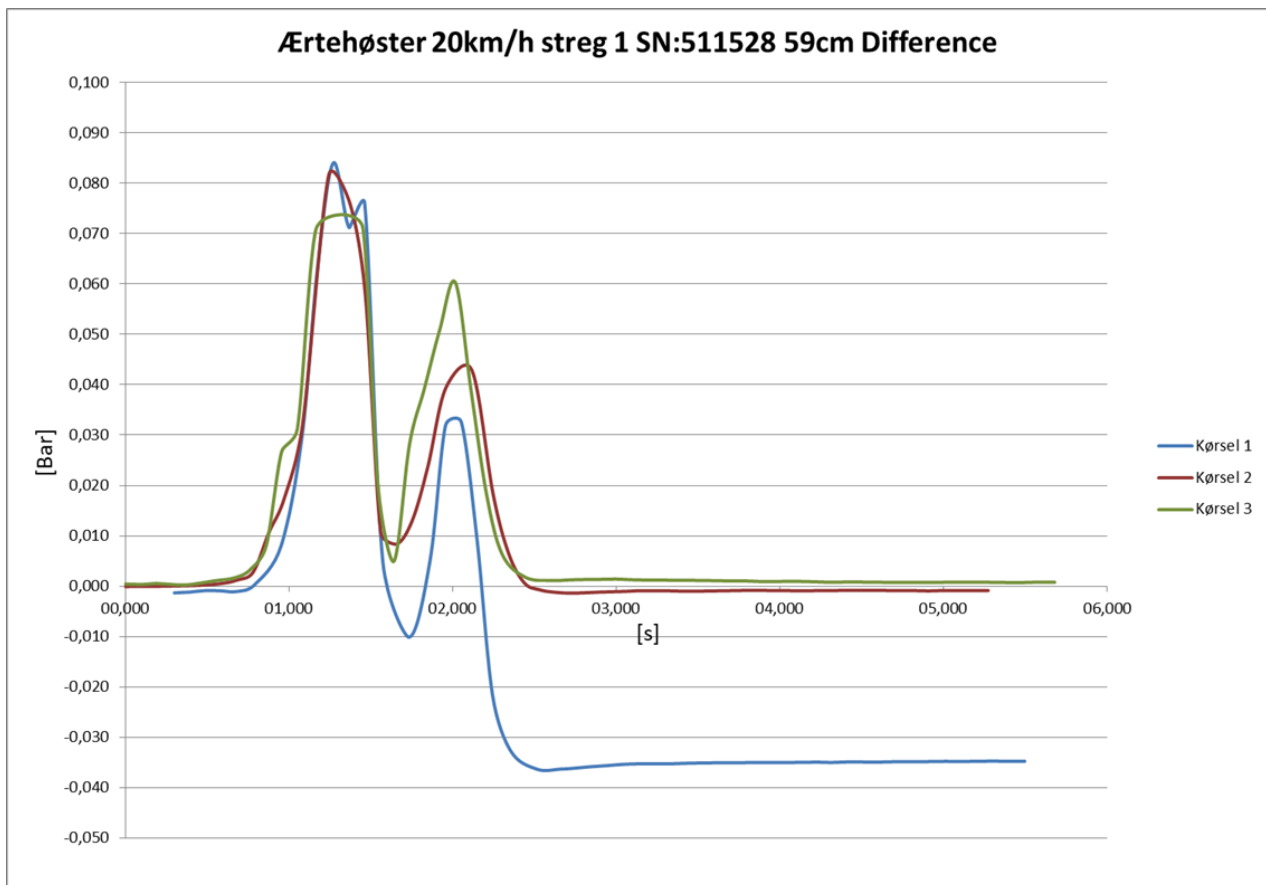
Tabel 22 viser antallet af registrerede kørsler for hvert køretøj. Ved hver måling er der registreret tryk i dybden for 2 jordtrykmålere.

| Køretøj | Streg 1 | | Streg 3 | |
|--------------|---------|--------|---------|--------|
| | 5km/t | 20km/t | 5km/t | 20km/t |
| Ærte høster | 7 | 12 | 8 | 12 |
| Roeoptager | 7 | 12 | 8 | 12 |
| Traktor 8 t | 10 | 8 | 8 | 8 |
| Traktor 10 t | 7 | 12 | 8 | 12 |
| Lastvogn | 7 | 12 | 8 | 12 |
| Blokvogn | 6 | 12 | 4 | 12 |

Tabel 22 Antal (styk) brugbare målinger pr. køretøj

Jordtryk under køretøjer

Hver kørsel blev registreret i en målefil. I Figur 34 herunder er vist en måling for ærtehøsteren ved 20 km/t på streg 1. Værdier i bar viser ændringen i jordtryk, dvs. målingen hvor initialtrykket på ca. 1 bar er fratrukket. På x-aksen vises tiden i sekunder. Figur 34 viser at fra målingen startes, tager det ca. 1 sekund før ærtehøsterens bælte passerer trykmåleren, og efter yderligere 1 sekund passerer ærtehøsterens baghjul.



Figur 34. Målinger for ærtehøsteren ved 20 km/t på streg 1. Resultater er vist som differenceværdier, hvor initialtrykket på ca. 1 bar er fratrukket.

Hver målefil indeholder data fra 2 jordtrykmålere, som har registreret trykket til samme tidspunkt. Det var ønsket at alle fire jordtrykmålere kunne måle samtidig og derved være repræsenteret i en målefil. Det havde givet flere målinger som baggrund for konklusionerne. Men på grund af tekniske problemer var det ikke muligt.

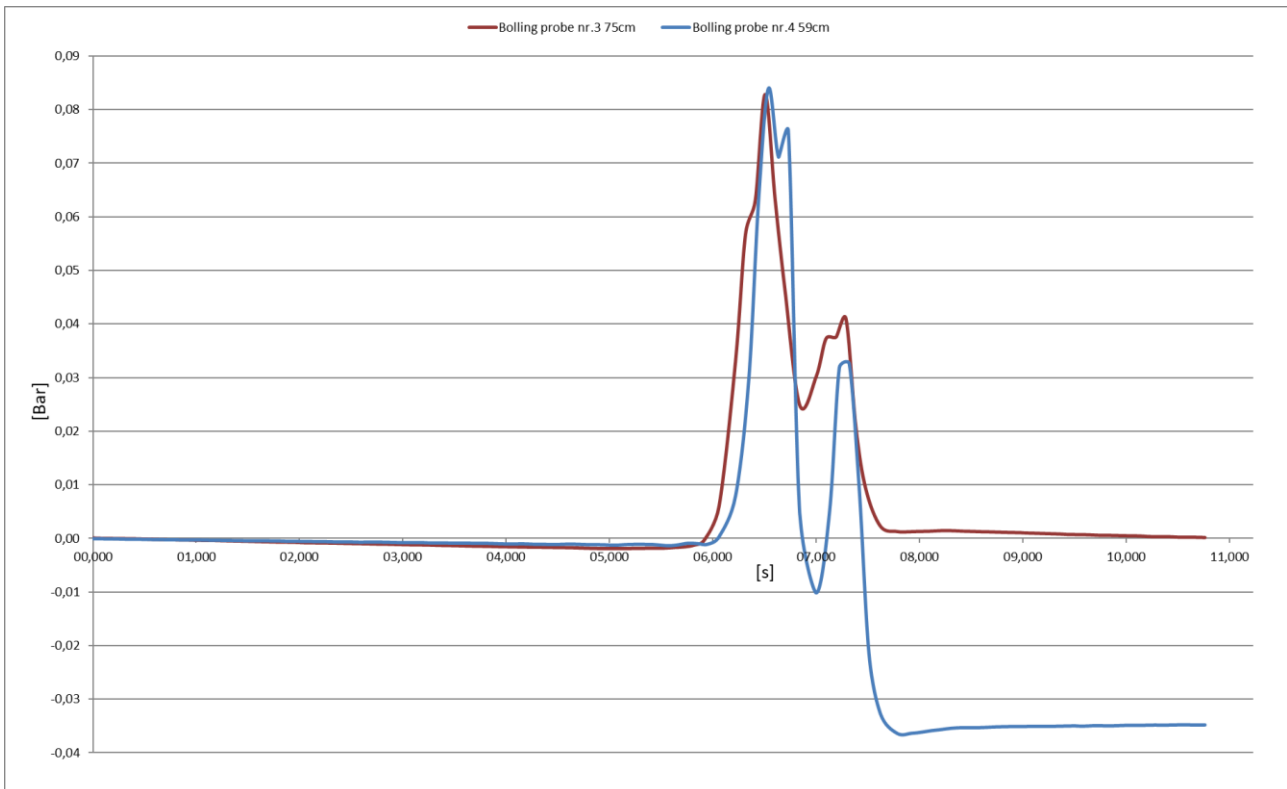
Vurdering af målingernes kvalitet

Til vurdering af hvorvidt det er muligt at benytte middelværdier for maksimalt tryk for de enkelte køretøjer blev de enkelte målinger lagt oven i hinanden for at vurdere ensartetheden. Figur 34 viser tre kørsler for ærtehøsteren. Denne sammenligning er foretaget for alle køretøjer og i bilag C er en hel runde vist med alle køretøjer.

Differenstryk

Som det ses i Figur 34 kan nogle målinger slutte på et andet niveau end initialtilstanden. Oftest lavere, men højere er også tilfældet. Det kan både skyldes at måleudstyret taber tryk og at spændingstilstanden i jorden

ændres pga. blivende deformationer. På baggrund af samtaler med Mathieu Lamandé fra Århus Universitet blev det vurderet at disse trykændringer kan negligeres. Målingerne vurderes meget ensartede i forhold til hvad man kan forvente af måleudstyret. Derfor er der i det følgende arbejdet videre med maksimalværdien for hver måling uden at kompensere for om sluttstanden ligger lavere eller højere. Maksimalværdien for hver enkelt måling bruges til at regne middelværdi for ensartede målesekvenser.



Figur 35. Målefil for overkørsel med ærtehøster 20km/t streg 1. Jordtrykmålere placeret henholdsvis 59cm og 75cm under vejover-fladen. Resultater er vist som difference værdier, hvor initialtrykket på ca. 1 bar er fratrukket.

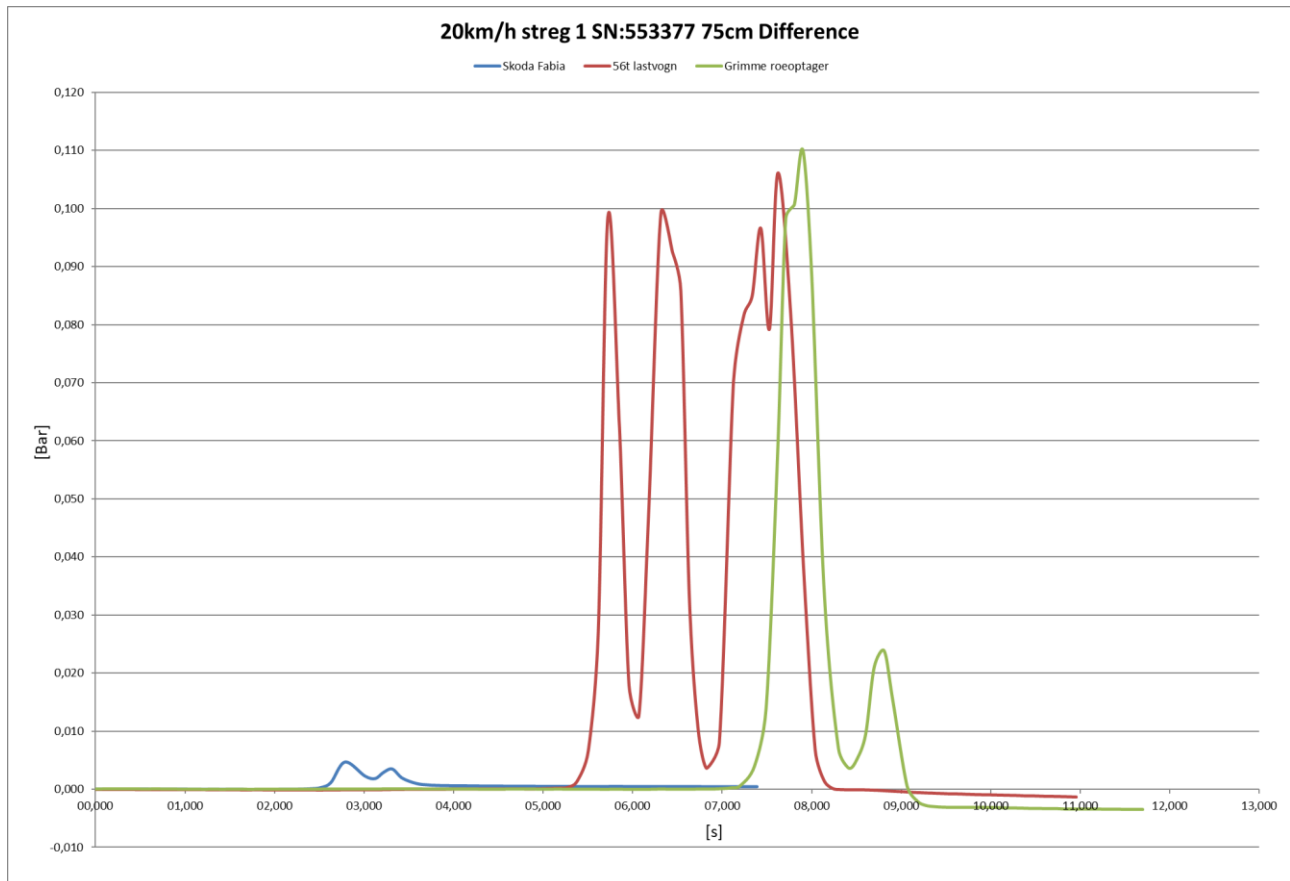
I Figur 35 ses en anden tendens mht. trykket. Her observeres et svagt trykfald ved sensorerne inden køretøjet passerer. Efter 3 sekunder observeres en synlig nedadgående tendens som fortsætter indtil jordtrykmålere påvirkes af trykket fra ærtehøsteren. Det er dog et meget lille trykfald og vurderes ikke at have den store indflydelse på den enkelte måling, men medførte at der over dagen var ændringer i initialtrykket.

Forskel i instrumentdybde er ubetydelig

I Figur 35 er der ikke nævneværdig forskel i trykket ved 2 forskellige dybder. Dette er en generel tendens der ses ved målingerne. For at sammenligne de enkelte køretøjer med hinanden og se den relative påvirkning, antages det derfor at de fire sensorer er placeret i samme dybde. Det vurderes således at forskellen mellem deres indbyrdes placering i dybden er negligerbar og at disse forskelle kan tilskrives andre påvirkninger. Denne antagelse medfører at antallet af kørsler for det enkelte forsøg kommer op på de angivne i Tabel 22.

Følsomhed af målingerne

For at vurdere følsomheden i instrumenterne kørte en Skoda Fabia over forsøgsfeltet og målingen registreret ved 20 km/t på streg 1 er vist i Figur 36, sammen med måling fra 56 tons sættevognsvogntoget og Grimme roeoptageren. Her er det ligeledes muligt at se hvor stor forskel der er i dybde trykket mellem tunge køretøjer og en personbil.



Figur 36. Sammenligning mellem målt tryk ved overkørsel for en personbil, 56 tons sættevognstog og Grimme roeoptager.

På baggrund af forsøgets opstilling er der mange fejlkilder som skal tages i betragtning ved analysen af målingerne. Blandt andet har det stor betydning hvor præcist på linjen køretøjet kørte ligesom hastigheden har betydning for udslaget i målingen. Sammenholdt med det at målingerne er foretaget ved 4 forskellige dybder medfører det at der ikke er nok sande gentagelser til at kunne udelukke fejlkilder.

Fejlkilder relateret til jordforhold som følge af at have indført måleinstrumenter i et boret hul vurderes at være ens for alle køretøjer og negligeres. Ligeledes antages det at ballonen i jordstrykmåleren har været i fuld kontakt med den omkringliggende jord ved alle målinger.

På baggrund af en analyse af måleresultater blev det vurderet at målte maksimumsværdier registreret for hvert køretøj ved hver kørsel var troværdige til at vurdere hvorledes de forskellige køretøjer påvirker i dybden, relativt til hinanden.

Resultater

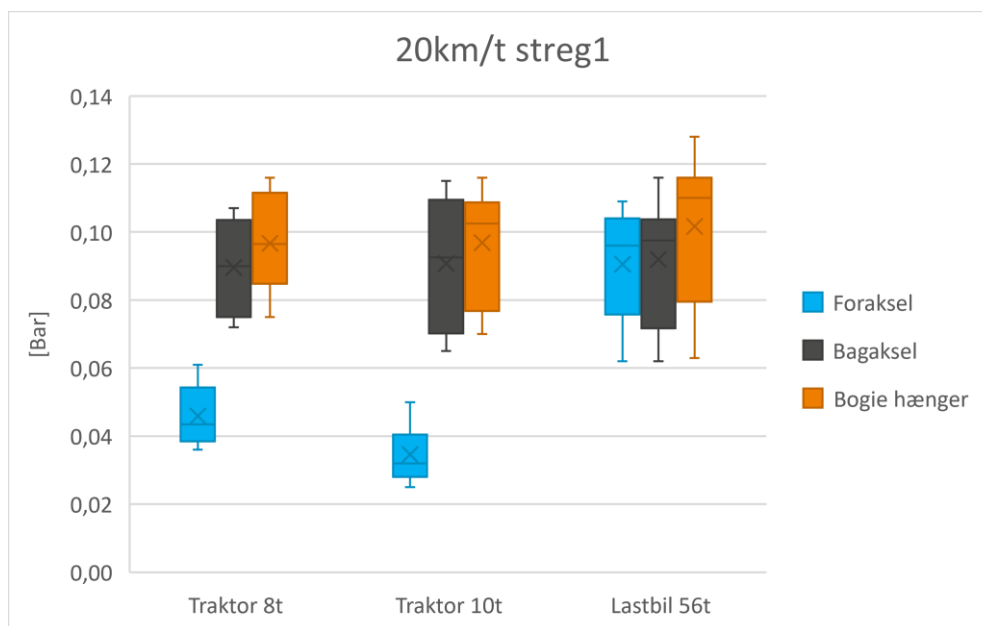
Målinger for de enkelte køretøjer for kørsel på streg 1 bliver i det følgende præsenteret som boksplot. Ligeledes har Mathieu Lamandé fra Århus universitet leveret en kort vurdering af resultater som ligeledes præsenterer data i boksdiagram. Se bilag B.

Målingerne er således præsenteret i boksplot hvor det er muligt at se alle registrerede målinger for det enkelte køretøj. I boksplottet vises middelværdien som X, median som strek i boksen, kvartiler som "boksafgrænsning" og variansen vises ved haler. Eventuelle outliers vises ved prikker uden for boksen.

Boksdiagrammerne i det følgende viser at der er en del spredning på måleværdierne. Det vurderes at variationen skyldes forskelle i hvor præcist kørelinjen er fulgt, forskelle i hastighed, samt måleusikkerheder ved udstyret,

Gyllekøretøjer

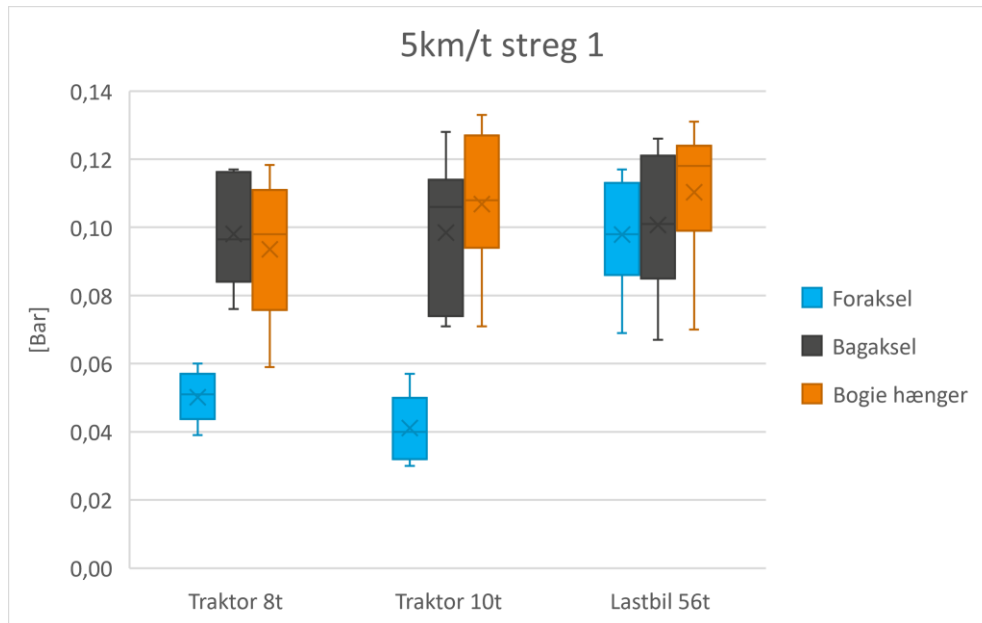
I Figur 37 ses målinger fra de to gyllekøretøjer og sættevognsvogntoget. Disse er grupperet for at få et indtryk af hvor meget værre 10 ton gyllevognen påvirker vejen sammenlignet med gyllevognen med 8 ton akselast. Og hvordan gyllevognene er i forhold til "referencekøretøjet".



Figur 37. Boksdiagram Blokdiagram over målinger ved 20 km/t for traktor med gyllevogn 8 ton og 10 ton akseltryk og sættevognstog 56 ton.

Figur 37 viser således målinger ved 20 km/t på streg 1 for traktor og lastbil sammenlignet relativt. Forakslen for 10 ton gyllevognen ligger lavere end forakslen på 8 ton gyllevognen. Det stemmer overens med akseltrykmålingerne i tabel 3. Bogie hængerens på 8 ton gyllevognen vejer ca. 24 ton mens den vejer ca. 30 ton for 10 ton gyllevognen. Den forøgede vægt giver således også et øget tryk målt i dybden.

Figur 38 viser samme forsøg ved 5 km/t hvor dybdemålingerne som forventet antager lidt højere værdier. Denne hastighedsafhængighed er beskrevet nærmere i den efterfølgende sektion om bælte køretøjer.



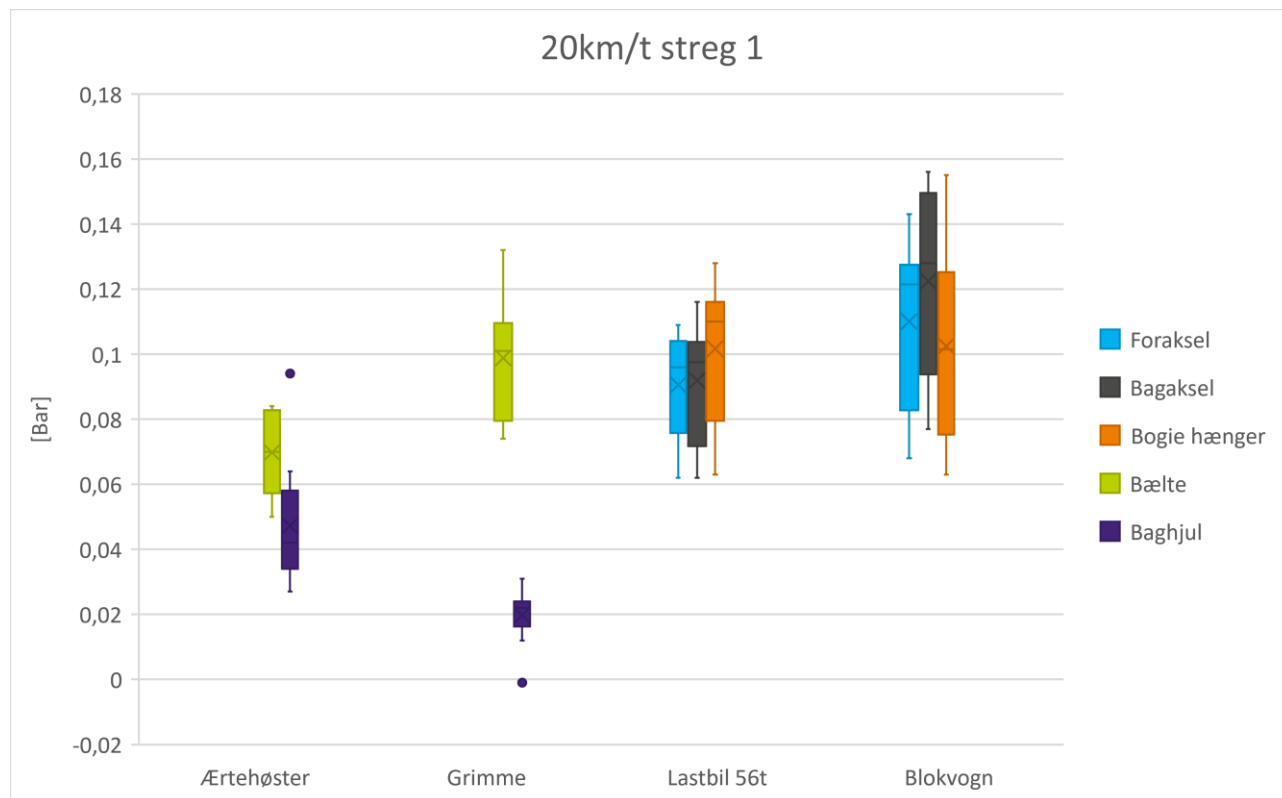
Figur 38. Boksdiagram over målinger ved 5 km/t for traktor med gyllevogn 8 t og 10 t akseltryk og sættevognsvogn 56 ton. Det er sandsynligt at lastbilen har haft svært ved at holde hastigheden på 5 km/t, hvorfor sammenligningen i Figur 37 tillægges større troværdighed.

Ved 20 km/t er forskellen mellem dybdemålinger meget lille de tre køretøjer imellem, dog er der målt de højeste værdier for sættevognsvognen. Denne forskel mellem de tre køretøjer øges en smule ved 5 km/t hvor middelværdien for belastningen fra bogien på gyllevogn med 8 ton akseltryk nu er lavest. Det skal også her bemærkes, at de fundne forskelle på den største dybdepåvirkning fra de tre forskellige køretøjer ligger inden for måleusikkerheden.

Idet den reelle kørehastighed for traktorer med gyllevogn er højst 40 km/t, og altså nærmere 20 end 5 km/t, er det valgt at bedømme køretøjernes dybdevirkning ud fra målingerne foretaget ved 20 km/t. På baggrund af disse målinger registreres der ikke nævneværdig forskel mellem en gyllevogn med 8 t akseltryk og 10 t akseltryk ved almindelig kørselshastighed.

Bæltekøretøjer

Bæltekøretøjerne er i Figur 39 og Figur 40 sammenlignet med "referencekøretøjet", sættevognsvogntoget på 56 ton samt blokvognstrækker og blokvogn lastet med bæltekøretøj, som er alternativet til at bæltekøretøjerne kører selv.

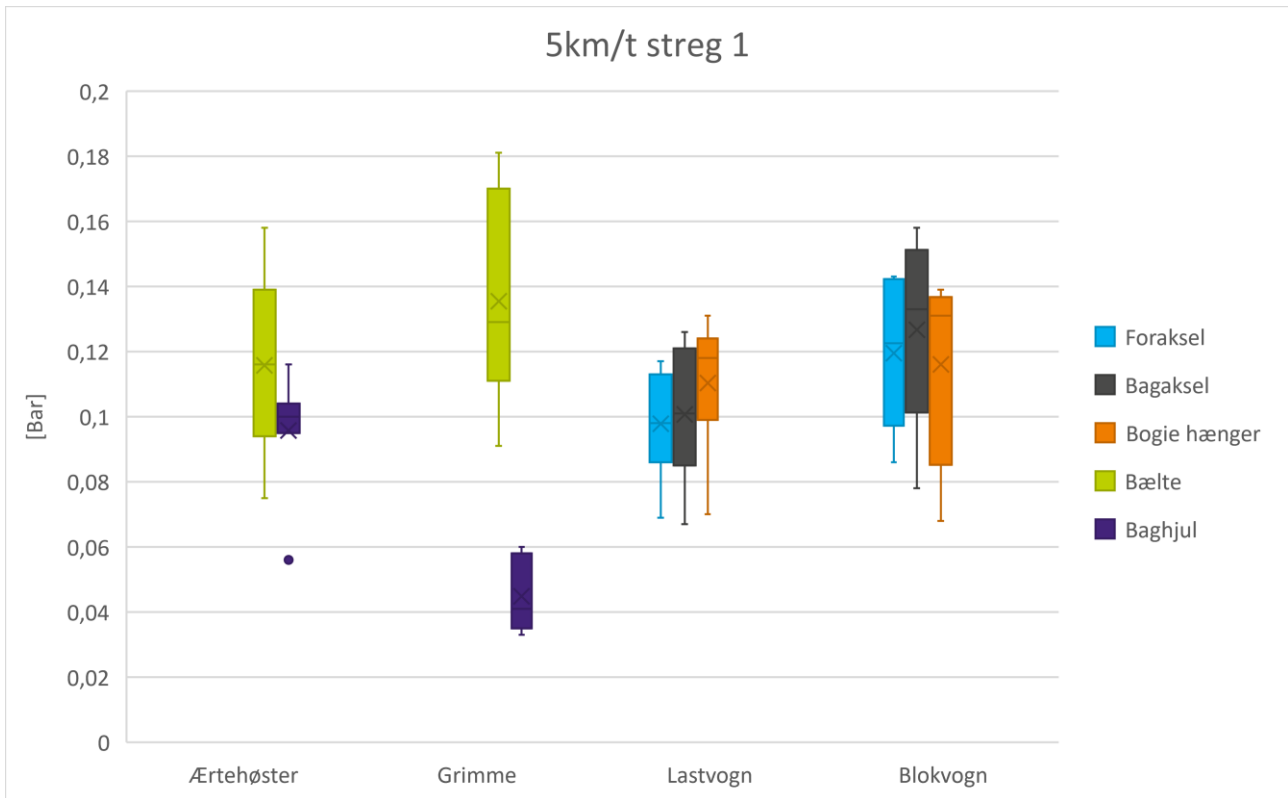


Figur 39. Boksdiaagram over målinger ved 20 km/t for bæltekøretøjer, blokvogn og sættevognstog på 56 ton.

På baggrund af middelværdierne for målesekvenser med 20 km/t på streg 1, viser Figur 39 at bagbogie på blokvognstrækkeren har det højeste tryk i dybden. Blokvognen var forkert læsset hvilket medførte, at blokvognstrækkeren havde overlæs på forakslen. En korrekt læsset blokvogn må derfor forventes at give mindre belastning fra forakslen (svarende til det tryk som er målt fra forakslen på sættevognstog på 56 tons) og større belastning fra bogien på blokvognstrækkeren.

Det lave middeltryk for roeoptagerens baghjul skyldes at baghjulet sidder centralt under maskinen og således længere fra stregen (og dermed måleudstyret) som bæltet kører på. Dette er ligeledes tilfældet for ærtehøsteren, dog i mindre grad, da dennes baghjul ikke sidder lige så langt fra bæltet i tværetningen.

Rækkefølgen stemmer meget godt overens med målingerne af akseltryk vist i bilag A. Blokvognens to bogie aksler vejer hver omkring 12,6 ton, mens blokvognens foraksel vejer 10,3 ton. Grimmes bælte vejer også omkring 12 ton, dog fordelt på 4 ruller. Lastvognens trailer bogie har lavere akselvægte og totalvægt end blokvognens-bogie, så det er lidt overraskende at den ikke ligger lavere end den.



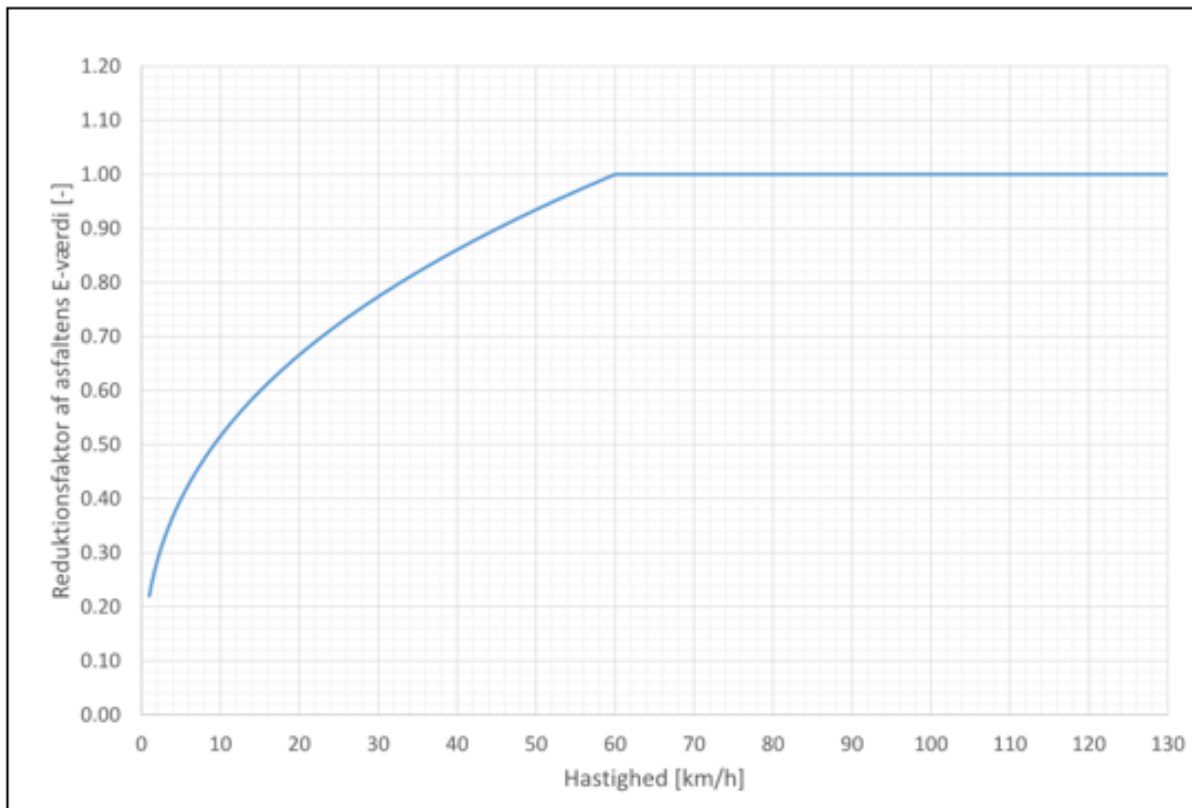
Figur 40. Boksdiagram over målinger ved 5 km/t for bæltekøretøjer, blokvogn og sættevogn på 56 tons.

Det er sandsynligt at lastvogn og blokvogn har haft svært ved at holde hastigheden på 5 km/t, hvorfor sammenligningen i Figur 39 tillægges større troværdighed.

Ved hastigheder på 5 km/t, vist i Figur 40, er bælteerne for roeoptageren og ærtehøsteren blandt de 3 højeste i målingerne. Det ser derfor ud til at de forskellige køretøjer ikke giver ensartet ændring i trykket ved ændret hastighed. Bæltekøretøjerne giver en markant større ændring i jordtryk end de øvrige køretøjer. Det kan eventuelt skyldes at det er nemmere for bæltekøretøjerne at holde en lav hastighed på 5 km/t, hvorimod sættevognsvogntoget og blokvognsvogntoget kan have svært ved at holde hastigheden nede på 5 km/t. Dette er bekræftet af chaufførerne på køretøjerne og således må hastigheden vurderes at være en relativ stor mulig fejlkilde.

Hastighedsafhængighed

Der er en generel forøgelse i det målte jordtryk når hastigheden sænkes fra 20 km/t til 5 km/t, hvilket er som forventet. Figur 41 nedenfor viser hvordan asfaltens styrke forudsættes at ændre sig med hastigheden jf. de danske vejregler. Asfalt er et visko-elastisk materiale og når man kører langsommere, under 60 km/t, får det tid til at "give sig" og optræder derfor blødere. Når asfalten bærer mindre, vil der blive et øget tryk i dybden.



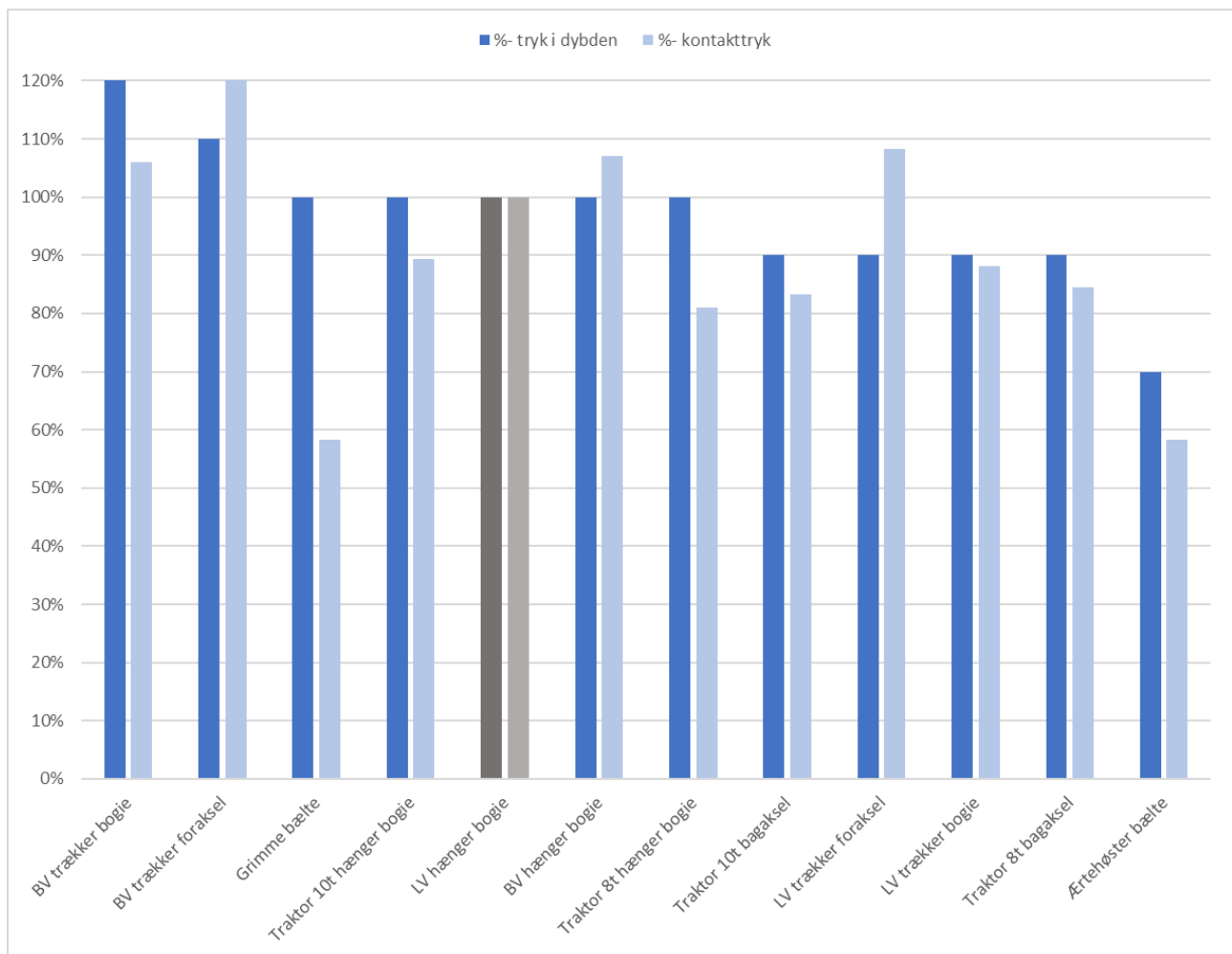
Figur 41. Grafisk visning af reduktionsfaktor for asfaltens E-værdi som følge af hastigheden [kilde: Vejreglernes "Håndbog for Dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger, september 2017].

Der ser ud til at være forskel på om bæltekøretøjer er bedre eller værre end lastvognen afhængig af hastigheden. Som nævnt overfor vurderes det at lastvogn og blokvogn har sværere ved hastighedsforskellen. Det vurderes at hastigheden på 20 km/t sandsynligvis er den hvor køretøjerne reelt alle har kørt 20 km/t. Samtidig er det også den hastighed, der ligner den reelle hastighed for bæltekøretøjer mest, så 20 km-målingerne tillægges mest relevans.

Ud fra 20 km/t-målingerne kan det ses at Grimme roeoptageren kan komme op på påvirkninger, der er en smule værre end dem fra lastvognen, men påvirker dog rimeligt ensartet. Ærtehøster viser mindre tryk i dybden end både lastvognen og roeoptageren. Det kan også ses, at der er målt højere tryk i dybden for bæltekøretøjer på blokvogn end når de kører selv ved 20 km/t. I den vurdering indgår ikke at lastvogn og blokvogn sandsynligvis ville køre med højere hastighed end de øvrige undersøgte køretøjer.

Sammenhæng mellem kontaktryk og tryk i dybden

Middelværdier for målte tryk i dybden er i det følgende sammenlignet, og sammenholdt med køretøjernes beregnede kontaktryk. Der er taget udgangspunkt i tanksættevognens 4 akslede bogie, som er indsat som 100 % i de 2 nedenstående figurer. Ved denne sammenligning er det i Figur 42 muligt at se at bagbogie på trækkeren for bloksættevognen har et 20 % højere målt middeltryk i dybden end sættevognsvogntoget og beregnet kontaktryk er omkring 5% højere end for sættevognsvogntoget. For Grimme roeoptageren er det målte middeltryk det samme som for sættevognsvogntoget, men det beregnede kontaktryk for Grimme er kun ca. 60 % af sættevognsvogntogets kontaktryk

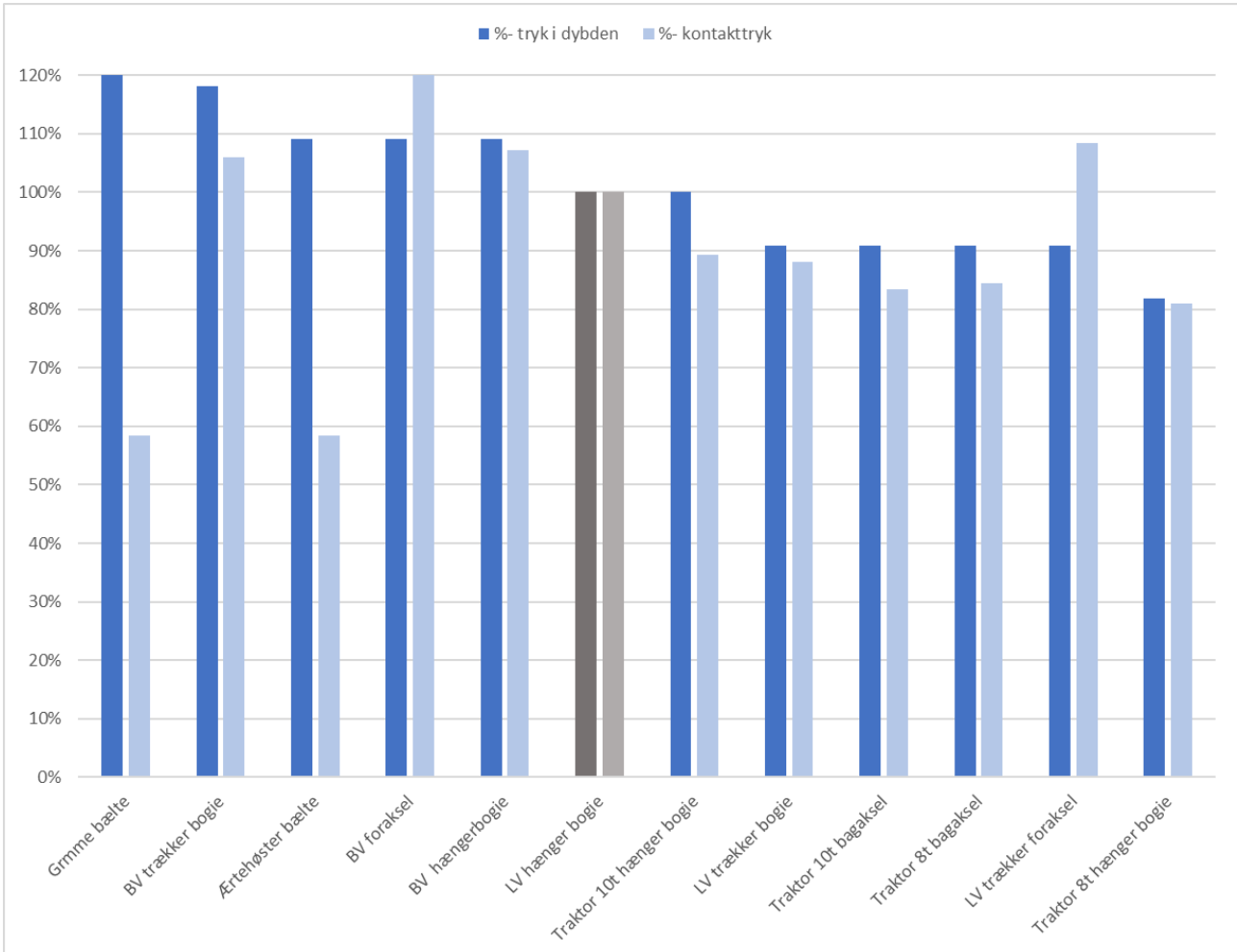


Figur 42. De procentmæssige forskelle mellem køretøjer for gennemsnitligt tryk i dybden og kontaktryk ved 20 km/t.

I Figur 42 og Figur 43 er traktorens foraksel og bælte køretøjernes baghjul udeladt, da de pga. deres sporvidde kørte udenfor de spor, der blev målt.

Sammenligningen er udført på samme måde ved 5 km/t og vist i Figur 43.

Her er det igen muligt at se at bæltekøretøjerne ved 5 km/t ligger blandt de tre højeste i forhold til tryk i dybden. Det er muligt at se at ærtehøsteren nu har et næsten 10 % højere middeltryk end sættevognsvogntoget.



Figur 43. Procentmæssige forskelle mellem køretøjer for gennemsnitligt tryk i dybden og kontaktryk ved 5 km/t.

Samlet set viser forsøgene og Figur 42 og Figur 43 at kontaktryk ikke kan bruges som den eneste parameter til at vurdere vejslid. For bæltekøretøjerne er forholdet mellem kontaktryk og tryk i dybden anderledes end for øvrige køretøjerne. Det bemærkes at der er stor usikkerhed om målingerne, da lastbilerne sandsynligvis ikke kunne reducere hastigheden til 5 km/t.

Delkonklusion om målinger af trykket i dybden af vejen/vejkassen

På baggrund af det udførte forsøg har det været muligt at sammenligne køretøjernes målte tryk i dybden relativt til hinanden.

Der er en del usikkerheder i forsøget, bl.a. ift. måleudstyrets præcision, og ift. at det er svært for chaufførerne at ramme linjen præcist, når man sidder højt over vejen. Dette kommer til udtryk ved en del variation i de målte resultater.

Der er forskel på hvilke køretøjer der giver højest trykværdiafhængig af om man bedømmer ud fra målinger udført ved 5 eller 20 km/t. Hertil skal bemærkes at det sandsynligvis var svært specielt for lastbilerne at ramme den lave hastighed på 5 km/t, hvorfor målingerne på 20 km/t vurderes til at være de mest valide.

- Gyllekøretøjerne med hhv. 10 ton og 8 ton aksellast er sammenlignet med alternativet – et 56 ton sættevognsvogntog bestående af en 3-akslet trækker og en 4-akslet gylletrailer. Ved 20 km/t er forskellen mellem dybdemålinger meget lille de tre køretøjer imellem, dog er der målt de højeste værdier for sættevognsvogntoget. Denne forskel mellem de tre køretøjer øges en smule ved 5 km/t hvor middelværdien for belastningen fra bogien på gyllevogn med 8 tons akseltryk nu er lavest. Det bemærkes, at de fundne forskelle på den største dybdepåvirkning fra de tre forskellige køretøjer ligger indenfor måleusikkerheden.
- Værdierne for bæltekøretøjerne ændrer sig markant mellem de to hastigheder. Ærte høsteren giver generelt som forventet lavere værdier end roeoptageren. Ved 20 km/t ligger Grimme roeoptageren på samme niveau som 56 ton sættevognsvogntoget. Ved 5 km/t er påvirkningen højere for begge bæltekøretøjer end for sættevognsvogntoget.
- Det giver højere tryk i dybden at sætte bæltekøretøjet på en blokvogn end at lade den køre selv.
- Det enkelte køretøj påvirker mindre i dybden jo hurtigere det kører, dog forventes dette at ophøre ved hastighed på 60 km/t og derover. Lastvogne kører ved normal kørehastighed hurtigere end landbrugsmaskiner. Dette er der ikke korrigeret for i denne analyse.

Forsøgets samlede konklusioner

Rapporten indeholder afsnit, der præsenterer resultaterne om:

- Udmattelsesforsøg – eventuelle skader på vejens overflade og kanter med særligt fokus på revnedannelse og sporkøring
- Måling af trykket i dybden af vejen/vejkassen
- Måling af køretøjernes aksellaster og kontaktryk

Herunder delkonklusionerne om de tre emner.

Udmattelsesforsøg – eventuelle skader på vejens overflade og kanter med særligt fokus på revnedannelse og sporkøring

Udkommet af forsøget viser mere om belægningstypen og dæktype end om køretøjernes aksel- og kontaktryk. Ribbedæk og ribber på bælter forårsager indtryksmærker og svedning på veje med overfladebehandling. Det sker hurtigere jo varmere, og dermed blødere, overfladen er. Grimme roeoptageren var umiddelbart det køretøj der gav de værste indtryksmærker på Kristinelundsvej. Dog var indtryksmærker efter ærtehesteren også meget tydelige. Det må derfor vurderes at bæltekøretøjer er værre ved en vejoverflade med OB-belægning end en lastbil er, da lastbilen ikke efterlod indtryksmærker. I situationer hvor et lastbilvogntog holdt stille, sank deres dæk dog synligt ned i asfalten.

Kørselsmønstret ved forsøget er ikke repræsentativt for en virkelig situation og derfor forventes der ikke synlige indtryksmærker ved én passage af et bæltekøretøj før ved højere vejtemperaturer. Eventuelle indtryksmærker kan dog blive udjævnet af efterfølgende trafik, så alene svedningen og en potentielt glat overflade ligger tilbage.

Der er ikke umiddelbart sammenhæng mellem højeste middeltryk og synlige overfladeskader, da bæltekøretøjerne var de køretøjer hvor der var tydelige overfladeskader ved kørsel. Brugere af vejen rapporterede kort efter forsøgets udførelse at indtryksmærkerne var forsvundet. For at dokumentere dette blev MFV-målevognen sendt til forsøgsvejen igen. Der kunne ved målingen ikke længere konstateres stentab.

Traditionelle dæk er designet til at køre på asfalt og efterlader ingen mærker. Det kan dog med sikkerhed siges at blokvognen giver anledning til sporkøring af vejen. Særligt efter 200 overkørsler.

Høj aksellast betyder større påvirkning af vejen, og særligt for blokvognen opstod der sporkøring. Landbrugskøretøjerne blev stoppet efter 200 kørsler, på grund af overfladesvedning. Det kan derfor ikke vurderes, om der også ville opstå sporkøring, hvis de havde kørt mere end 200 kørsler.

Kun enkelte bæltekøretøjer blev afprøvet på en belægning af varmblandet asfalt. På varmblandet asfalt opstår ikke indtryksmærker og sporkøring, hverken ved forlæns eller baglæns kørsel. Derimod blev det samlede revne antal meter øget og der kom således flere revner, som var det der blev forventet med udmattelsesforsøget. Der indgik ikke kørsel med flere forskellige køretøjer på varmblandet asfalt, så der kan ikke siges noget om hvilke køretøjer, der er værre end andre i den henseende.

Vridforsøget viste at hverken blokvognen med læs eller Grimme roeoptageren beskadigede vejen. Vridforsøget blev udført på en vej med belægningen af varmblandet asfalt. Det bemærkes fra erhvervet at vrid aldrig kan undgås. Selv om transporten foretages med blokvogn, skal læsningen foretages på en befæstet vej. Derfor bliver bæltekøretøjet nødt til at køre ud af marken, dreje og hen til blokvognen, for at blive læsset.

Måling af trykket i dybden af vejen/vejkassen

På baggrund af det udførte forsøg har det været muligt at sammenligne køretøjernes målte tryk i dybden relativt til hinanden. Der er en del usikkerheder i forsøget, bl.a. ift. måleudstyrets præcision, og ift. at det er svært at ramme linjen præcist, når man sidder højt over vejen. Dette kommer til udtryk ved en del variation i de målte resultater.

Lastbilerne kunne i praksis sandsynligvis ikke reducere hastigheden til 5 km/t. Det kunne landbrugskøretøjerne, hvilket kan give et forkert sammenligningsgrundlag ved 5 km/t. Der er forskel på hvilke køretøjer der er værst afhængig af om man bedømmer ud fra målinger udført ved 5 eller 20 km/t.

- Gyllekøretøjerne med hhv. 10 ton og 8 ton aksellast er sammenlignet med alternativet – et 56 ton sættevognsvogntog bestående af en 3-akslet trækker og en 4-akslet gylletrailer. Ved 20 km/t er forskellen mellem dybdemålinger meget lille de tre køretøjer imellem, dog er der målt de højeste værdier for sættevognsvogntoget. Denne forskel mellem de tre køretøjer øges en smule ved 5 km/t hvor middelværdien for belastningen fra bogien på gyllevogn med 8 tons akseltryk nu er lavest. Det bemærkes, at de fundne forskelle på den største dybdepåvirkning fra de tre forskellige køretøjer ligger indenfor måleusikkerheden.
- Værdierne for bæltekøretøjerne ændrer sig markant mellem de to hastigheder. Ærtehøsteren giver generelt som forventet lavere værdier end roeoptageren. Ved 20 km/t ligger Grimme roeoptageren på samme niveau som 56 ton sættevognsvogntoget. Ved 5 km/t er påvirkningen højere for begge bæltekøretøjer end for sættevognsvogntoget.
- Det giver højere tryk i dybden at sætte bæltekøretøjet på en blokvogn end at lade den køre selv.
- Det enkelte køretøj påvirker mindre i dybden jo hurtigere det kører, dog forventes dette at ophøre ved hastighed på 60 km/t og derover. Lastvogne kører ved normal kørehastighed hurtigere end landbrugsmaskiner. Dette er der ikke korrigeret for i denne analyse.

Målinger af køretøjernes aksellaster og kontaktryk

Aksel og kontaktrykmålinger er foretaget for at skaffe grundlæggende viden, der kan bruges i tolkningen af øvrige målinger. Akseltrykmålingerne gav alligevel mindre overraskelser, såsom at blokvognsvogntoget var lastet forkert til forsøget og havde et overlæs på 32 % på blokvognstrækkerens foraksel. Ligeledes blev ærtehøsterens totalvægt vejet til 29 ton mod forventet 25,8 ton.

Kontaktrykmålingerne viser udover tryk, også det reelle kontaktareal. Bælter giver ikke højere enkelt værdier for kontaktryk end hjul. Blokvognsvogntoget og sættevognsvogntoget giver det højeste middeltryk over kontaktarealet. Bæltekøretøjerne giver de laveste middeltryk over kontaktarealet. Målinger på bælteerne viser at det primært er ribberne under rullerne der belastes. Trykket er meget lavt eller ikke eksisterende mellem rullerne. Denne viden er relevant at inddrage når der sættes grænseværdier for middeltryk.

Målingerne, der skal simulere kørsel på asfaltkanter, viser at der er stor forskel på, hvor stive bælter eller dæk er, og dermed hvor gode de er til at fordele noget af vægten ned på rabatten. Bloksættevognens pendelaksler er klart de aksler, der bedst fordeler vægten, efterfulgt af traktor og gyllevognen. De øvrige dæk og bælter er meget stive og vægten bæres stort set alene på asfaltkanten. Det vigtigste for om asfaltkanten er udsat for at knække er dog den samlede vægt. Og her er bagbogien på blokvognstrækkeren og Grimmebæltet de tungeste akselkonfigurationer.

På kontaktrykmålinger ses at traktoren med 10 ton aksellast har et større kontaktareal end traktoren med 8 ton aksellast. Derfor vurderes det at årsagen til at traktoren med 10 ton aksellast har mindre andel af vægten på kanten end traktor med 8 ton aksellast skyldes at arealet øges ved højere last. Derfor er mere af dækket i kontakt med rabatten og således er mere af vægten fordelt til rabatten ved 10 ton aksellast.

Bilag A – Dynatest afrapportering



DYNATEST DENMARK A/S

Gladsaxevej 342
DK-2960 Søborg, Denmark
Telephone +45 7025 3355
Telefax +45 7025 3356

Webpage: www.dynatest.com
E-mail: denmark@dynatest.com

Pavement Evaluation and Management Systems
Engineering, Methodology and Equipment

VAT NO. 2001 5632

Udmattelsesforsøg med Landbrugskøretøjer

August 2018

Vurdering af overfladeskader i forbindelse med kørsel af landbrugskøretøjer



Vejdirektoratet

Rapport Status: Version 03 Revision 00 – 08/08/2018

Bilag B – Mean stress measurements beneath a road

Mathieu Lamandé, 5 July 2018

Mean stress measurements beneath a road

Mathieu Lamandé^{1,2}

¹Aarhus University, Research Centre Foulum, Department of Agroecology, P.O. Box 50, DK-8830 Tjele, Denmark

²Norwegian University of Life Sciences, Department of Environmental Sciences and Natural Resources Management, Ås, Norway

Data processing

The raw mean stress measurements cannot be corrected according to the mechanical properties of the surrounding material, as these properties are unknown. The measurements were first converted to SI units (kPa). For a given vehicle, a given axle and a given speed, no pattern could be identified according to the depth. Therefore, the different depths were considered as one depth. Then the reference raw mean stresses were calculated as the mean for the lorry for each driving speeds (5 or 20 km h⁻¹) and for the front and rear axles, giving four values (5.9, 6.2, 6.3 and 6.9 kPa, respectively). I then calculated the difference (in kPa) of the measured mean stress for each pass to these reference mean stresses. According to the data, each mean stress measurement was performed for the front or rear axle of a vehicle at two driving speeds. Front and rear axle could then be a wheel, a boogie, or a track. Due to the experimental design, the statistical analysis of the measurements is not straightforward. The main issues are the lack of true replicates (measurements at four different depths) and the lack of randomisation of the pass of the different vehicles.

Preliminary results

The first important result is that the general level of measured mean stresses is very low, and will probably not lead to a significant deformation of the material at the depths investigated (Figs 1 and 2). However, it should be noted that no measurements of the mechanical properties of the material are available. Given the low level of the mean stress measured, the absolute values of the differences between the vehicles are very small. Figures 3 and 4 present these differences in kPa for the two driving speeds (5 and 20 km h⁻¹, respectively). These differences represent loads of about 50 to 100 grams per square centimetres.

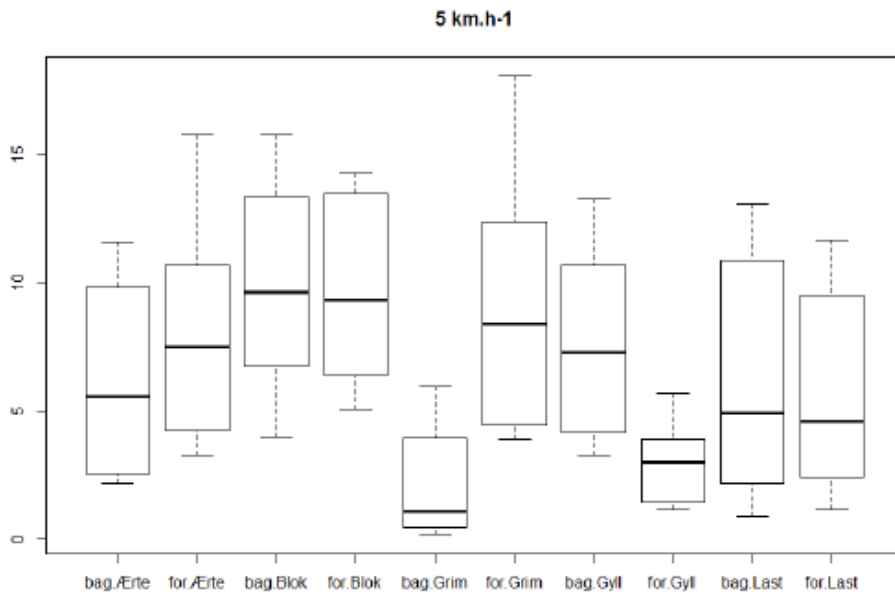


Figure 1

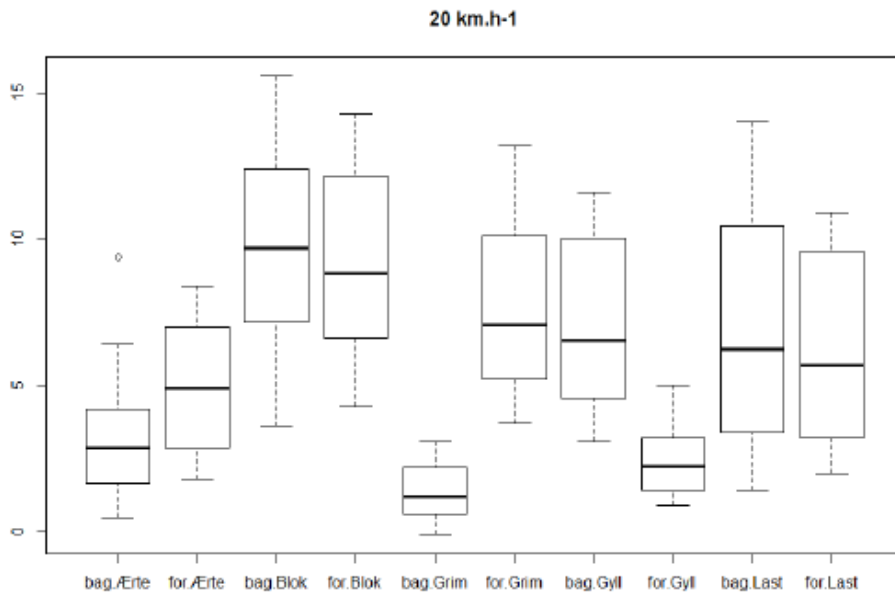


Figure 2

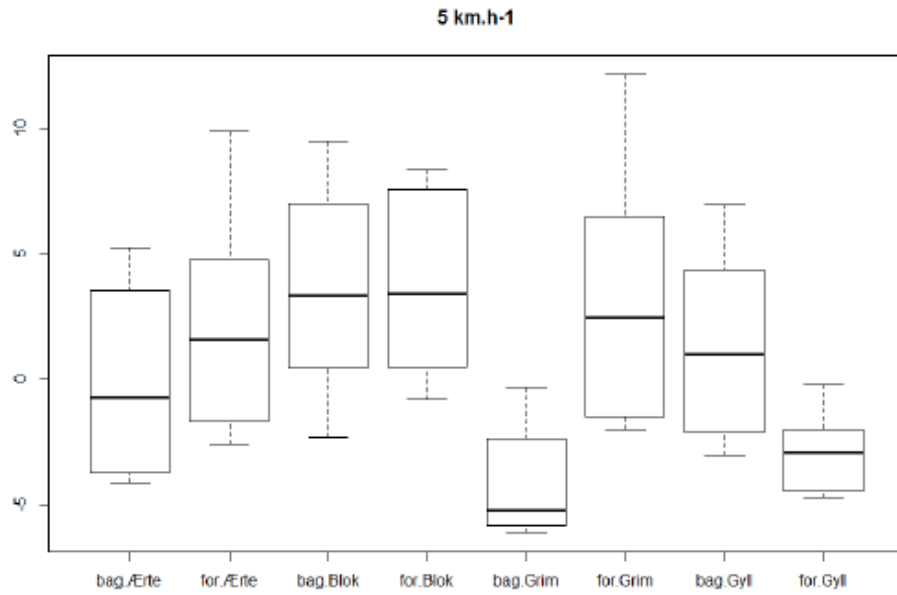


Figure 3

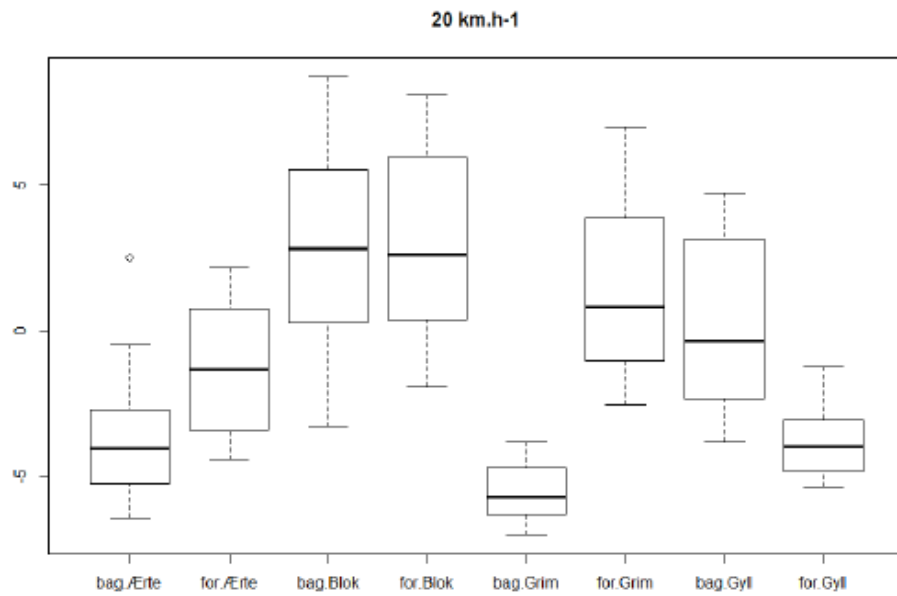
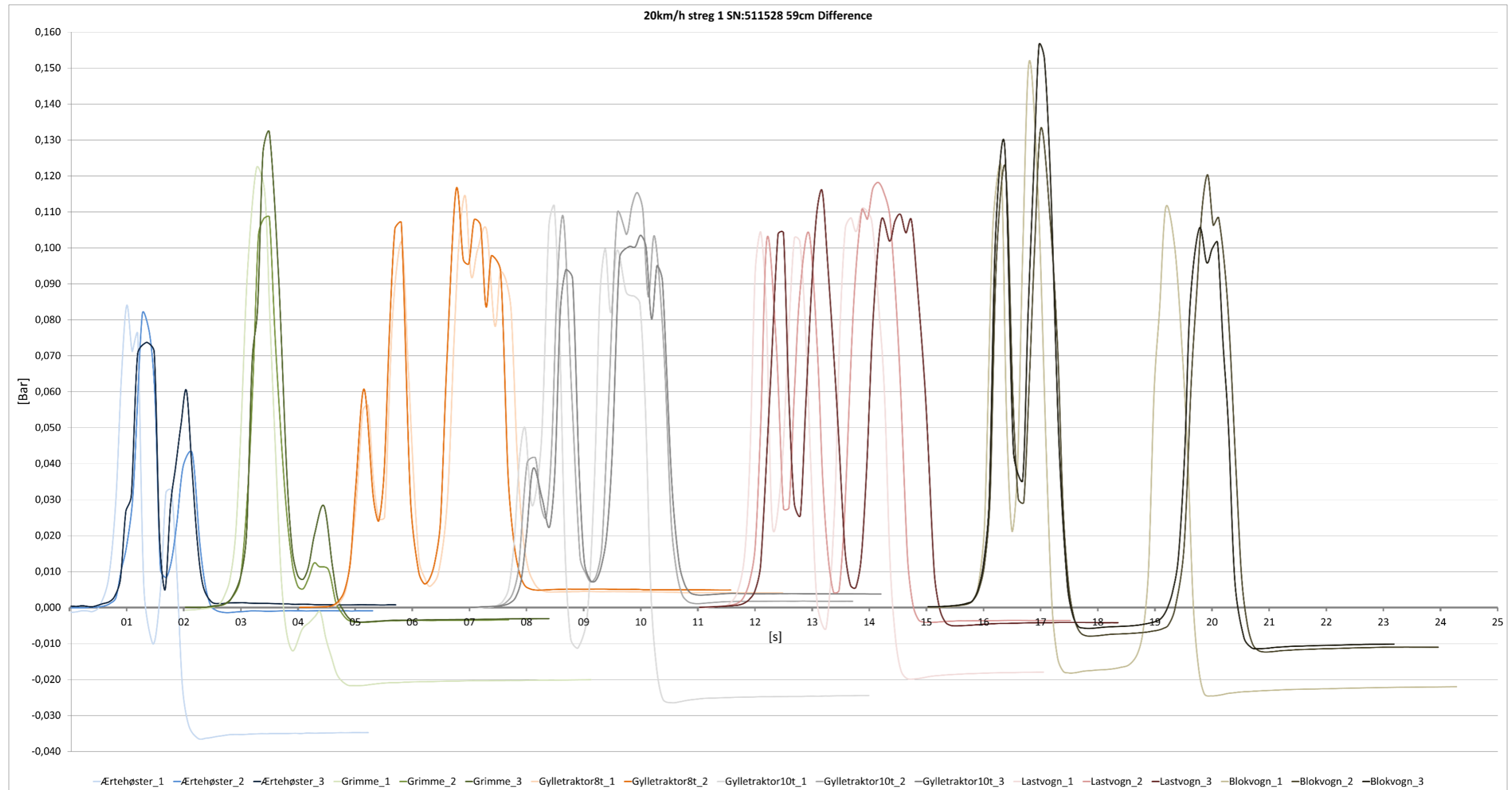
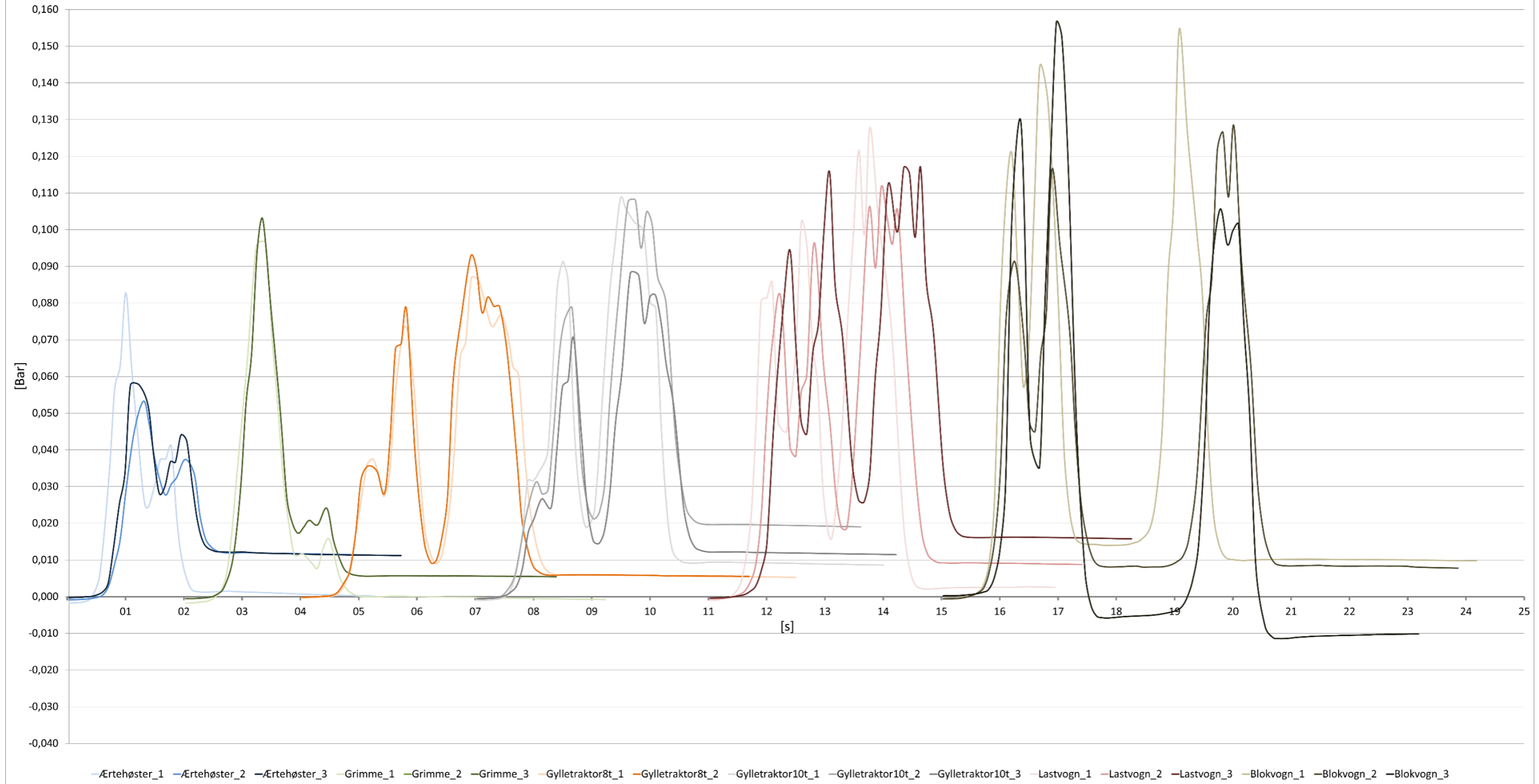


Figure 4

Bilag C – Sammenligning af måleresultater for køretøjer



20km/h streg 1 SN:553377 75cm Difference



Bilag D- Udstyr til dybdemåling

Measurements using Bolling probes

Hardware:

- One long roll with 3 new and 1 old (reserve) tubes (1.5 m long) with Bolling tips.
- One box with 3 new stress sensors (incl. connectors) and my old data bus (cables, converter, multiplier box) to connect up to 5 sensors to a USB port of a PC.
- One rod to be hammered in soil.
- One (long) driver bit to be mounted on a drill.
- Several steel tubes to stabilize the bore hole.

To prepare your PC/Notebook do the following:

1. Download and install "Driver K-104 / K-114" (driver for the RS485-USB converter) from http://www.keller-druck.ch/home_f/paprod_f/software_f.asp
2. Download and install "Installer ControlCenterSeries30" (software to configure the sensors, log, display and export data) from http://www.keller-druck.ch/home_f/paprod_f/software_f.asp

To prepare the Bolling probes do the following:

1. Put together tubes and T-parts with stress sensors, screw tightly.
2. Fill tube with water, avoid inclusion of air, bend tip to the ground, keep T-part with stress sensor downwards, press silicon tip several times until no bubbles are visible anymore.
3. Close valve, put on syringe, screw tightly, fill syringe with water, open valve, let escape air bubbles, close syringe, close valve again

To prepare data transfer, do the following:

1. connect multiplier box with converter box
2. connect cables with Binder connector to the multiplier box
3. connect stress sensors with Binder connectors
4. connect USB cable with PC
5. start Control Centre software (CCS 30)
6. click "Search" (put parameters to "auto")
7. check if every sensor is connected (each sensor already has its address-number, e.g. 28)

Installation in the field:

Figure 1 shows a method of installing the probes in the field from the soil surface.

You can also dig a pit and install them horizontally (Figure 2). To avoid a collapse of the holes in the soil I always use outer tubes (a bit shorter than the probes).

IMPORTANT:

Before starting measuring, open valve, press syringe to fill the silicon tips with water and get in a good contact with the surrounding soil. While pressing, close valve (from my experience you need about 1 bar of "pre-pressure"). Now, the probes are "loaded" and after configuring zero-mode in CCS30, you are ready to measure.

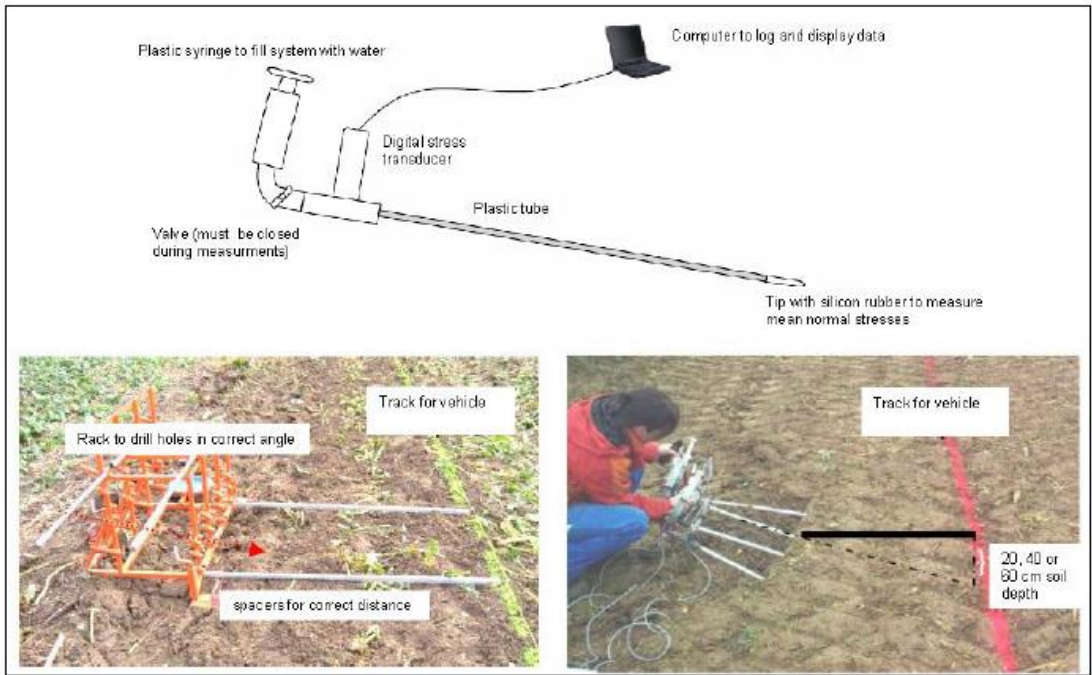


Figure 1



Figure 2

Bilag E – Kontakttryksmålinger

2018-05-14

Mätning på jordbruksmaskiner 2018-05-03

Mätningen beställd av AutoConsult,

Mätningen utförd av RN konsult

Bilag F – Køretøjsspecifikationer

| Køretøj nr.: | Type: | Dæktryk: | Opbygning: | Mål: | Mærke og model | Reg. / stelnummer / godkendelse | Akseltryk (per akselsæt): | | | | | | | | Faktisk dæktryk (per dæk): | | | |
|--------------|--|---|---|--|---------------------------|---------------------------------|---------------------------|------|----------|------|---|------|---------|------|----------------------------|---|-----|-----|
| | | | | | | | faktiske | | tilladte | | differen- | | Overlæs | | | | | |
| 1 | 56 tons fuldt læsset sættevognstog til transport af fx 40" gylletank | Maximalt efter dækfabrikantens oplysninger. Sættevognstrækker: foraksel: 9,0 bar bagaksler: 8,5 bar Sættevogn Alle aksler: 9,0 bar | 26 tons tre-akslet sættevognstrækker med 30 tons fire-akslet sættevogn Samlet akselkonfiguration: -o--oo + ----oo--. | Sættevognstrækker: 7,5-8,0 tons foraksel og 18,0-18,5 tons bogie med indbyrdes afstand på ca. 1350 mm. Sættevogn med fire 7,5 tons aksler og en indbyrdes akselafstand på ca. 1350 mm | Scania R 520 | AW70030 | Foraksel: | 9,3 | tons | 9,0 | tons | 0,3 | tons | 3,3 | % | Trækters foraksel: | 8,7 | bar |
| | | | | | | YS2R6X40002121158T58254 | Bagaksel/bagbogie | 17,6 | tons | 19,0 | tons | -1,4 | tons | | | Trækdæk: | 8,4 | bar |
| | | | | | | | Trækker total: | 26,9 | tons | 26,0 | tons | 0,9 | tons | 3,5 | % | | | |
| | | | | | VM-Tarm Type S | BL8508 | Bogie: | 29,0 | tons | 30,0 | tons | -1,0 | tons | | | Trailerdæk: | 8,4 | bar |
| | | | | | | UH9S1827600VM2276G24080 | | | | | | | | | | På "kolde" dæk: | | |
| | | | | | | | Vogntog totalt: | 55,8 | tons | 56,0 | tons | -0,2 | tons | | | lfm. kørsel blev det konstateret at dæktryk var forøget med ca. 0,5 bar på alle dæk | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Type: Blok-vogn til transport af roe-optager | Maximalt efter dækfabrikantens oplysninger: Blok-vognstrækker: Foraksel: 9,0 bar bagaksler: 8,5 bar Bloksættevogn: Alle aksler: 9,0 bar | 26-tons tre-akslet blok-vognstrækker med 24 tons tre-akslet nedbygget trailer Samlet akselkonfiguration: -o--oo + =-----ooo-. | En 7,5-8,0 tons foraksel og en 18,0-18,5 tons bogie med indbyrdes afstand på ca. 1350 mm. Nedbygget trailer (evt. med aftagelig svane-hals) med tre otte tons aksler med 17,5 tommer tvillingedæk og en indbyrdes akselafstand på ca. 1350 mm | Mercedes-Benz Actros 3351 | AU90599 | Foraksel: | 11,9 | tons | 9,0 | tons | 2,9 | tons | 32,2 | % | Trækters foraksel: | 8,7 | bar |
| | | | | | | WDB9634261L935396 G18132 | Bagaksel/bagbogie | 24,3 | tons | 24,0 | tons | 0,3 | tons | 1,3 | % | Trækdæk: | 8,4 | bar |
| | | | | | | | Trækker total: | 35,6 | tons | 33,0 | tons | 2,6 | tons | 7,9 | % | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | Trailerdæk: | 8,4 | bar |
| | | | | | Nooteboom Euro 82-03 | CK1459XMREUR000G0000068 | Sættevognsbogie: | 32,9 | tons | 36,0 | tons | -3,1 | tons | | | | | |
| | | | | | | | Vogntog totalt: | 68,5 | tons | 69,0 | tons | -0,5 | tons | | | På "kolde" dæk: | | |
| | | | | | | | | | | | lfm. kørsel blev det konstateret at dæktryk var forøget med ca. 0,5 bar på alle dæk | | | | | | | |
| 3a | Type: Traktor med gyllevogn | Maximalt efter dækfabrikantens oplysninger: 3 bar | To-akslet traktor med 30 tons tre-akslet gyllekærre. Samlet akselkonfiguration: -o--O + -OOO-. | En otte 8,0 tons foraksel med ca. 5200 mm afstand til 10,0 tons bagaksel, gyllevognkærre med tre 10,0 tons aksler med ballondæk og en indbyrdes akselafstand på ca. 1800 mm | Fendt 936 | Stelnr. 945211173 | Foraksel: | - | tons | 8,0 | tons | - | tons | - | % | Traktors foraksel: | 1,5 | bar |
| | | | | | | | Bagaksel/bagbogie: | - | tons | 10,0 | tons | - | tons | - | % | Traktors bagdæk: | 1,0 | bar |
| | | | | | | | Traktor total: | 15,5 | tons | 18,0 | tons | -2,5 | tons | | | | | |
| | | | | | Samson PG | Stelnr. 613042 | Gyllevognsbogie: | 30,1 | tons | 30,0 | tons | 0,1 | tons | 0,3 | % | Gyllevogn: | 3,1 | bar |
| | | | | | | | Vogntog totalt: | 45,6 | tons | 48,0 | tons | -2,4 | tons | | | | | |
| 3a | Type: Traktor | | To-akslet traktor med 30 tons | En otte 8,0 tons foraksel | Fendt 936 | Stelnr. 945211173 | Foraksel: | - | tons | 8,0 | tons | - | tons | - | % | Traktors foraksel: | 1,5 | bar |

Bilag G- Dynatest måling 6. september 2018



DYNATEST DENMARK A/S
Gledsøvej 342
DK-2890 Solbjerg, Denmark
Telephone: +45 7025 3355
Telefax: +45 7025 3356
E-mail: denmark@dynatest.com
Pavement Evaluation
and Management
Systems
Engineering,
Methodology and
Equipment
CVR nr. 2001 5832

Kristinelundsvej, MFV Testing

September 2018

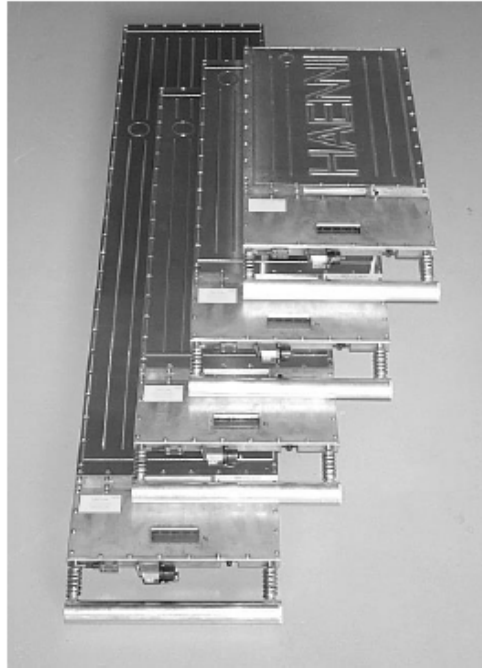


Kristinelundsvej for Vejdirektoratet, Denmark

Report Status: Version 00 Revision 00 – 11/09/2018

Electronic Wheel Load Scale WL 103

| | |
|------------------------------|--|
| Application | Measurement of wheel and axle loads of vehicles with pneumatic tires. |
| Platform Size | Standard size for accommodating easily a dual tyre. Medium size for semi fixed installation. XL for weighing heavy haulage vehicles. |
| Ranges | 0...2t, 0...3t 0...10t, 0...15t |
| Temperature range | -20...+60°C |
| Accuracy | OIML No. 76 Class 4, optionally with HAENNI works test report or intended for official test. |
| Execution | Aluminium alloys, water resistant IP 65 (IEC 144). |
| Supply | Integrated rechargeable power source, for 60h operation. Recharge (and operation) by 12V car battery or AC adapter. |
| Data In- and output | RS 232 C |
| Display | LCD, 18mm, high contrast for a good and safe reading |
| Electrical connection | Robust plug, watertight |
| Weight | 14 kg (0...2t, 0...3t) 17 kg (0...10t, 0...15t, standard) 20 kg (0...10t, 0...15t, medium) 29 kg (0...10t, 0...15t, XL) |
| Platform height | 19 mm (0...2t, 0...3t) 17 mm (0...10t, 0...15t) |



Selection Chart

| | |
|--|---|
| Ordering example: WL 103 / 4 1 1 1 1 / 10Y / | |
| Temperature and Standard | -20 . . . + 60°C 4 OIML No. 76 Cl. 4 1 |
| Division | Standard 1 Smaller ³⁾ 3 |
| Platform Size | Standard (small) 1 Medium 4 Extra Long 9 |
| Ranges | 0 . . . 2t 08Y 0 . . . 3t 19Y 0 . . . 10t 10Y 0 . . . 15t 20Y |
| Options | Heavy duty ground plate with rubber base 802 For official test. The ordering code is determined after the approval procedure |

Operation

Because of its light weight, the wheel load scale WL 103 is easy to transport and can be used at any time without the need of ramps. For efficient measurements, it is recommended to work with at least two units. Measurements should be made on firm and level ground. The scale is placed close to in front of the wheel to be tested and the vehicle is driven onto the platform. The wheel load is indicated directly on the digital liquid crystal display. With a connecting cable, two scales can be used as an axle load scale. Up to 12 scales can be connected serially to a separate processing unit or to a personal computer.

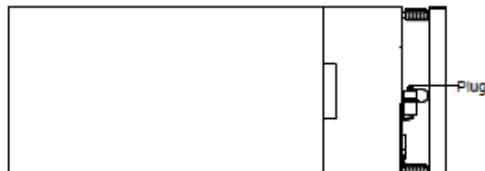
Accessories

For accessories as levelling mats, cables, pads for weighing point loads, carrying cases etc. refer to data sheet W9.100.

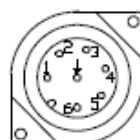
Official Test

In most countries the wheel load scale WL 103 is approved by official test laboratories. The 10t and the 2t range are tested and certified by OIML.

Electrical connection



Plug view



- 1 Code
- 2 Code
- 3 Data output
- 4 V₀
- 5 V₀ 10.8...16V
- 6 Data Input
- ↓ Shield

Udmattelsesforsøg med Landbrugskøretøjer

August 2018

Vurdering af overfladeskader i forbindelse med kørsel af landbrugskøretøjer



Vejdirektoratet

Rapport Status: Version 03 Revision 00 – 08/08/2018

Job Detaljer

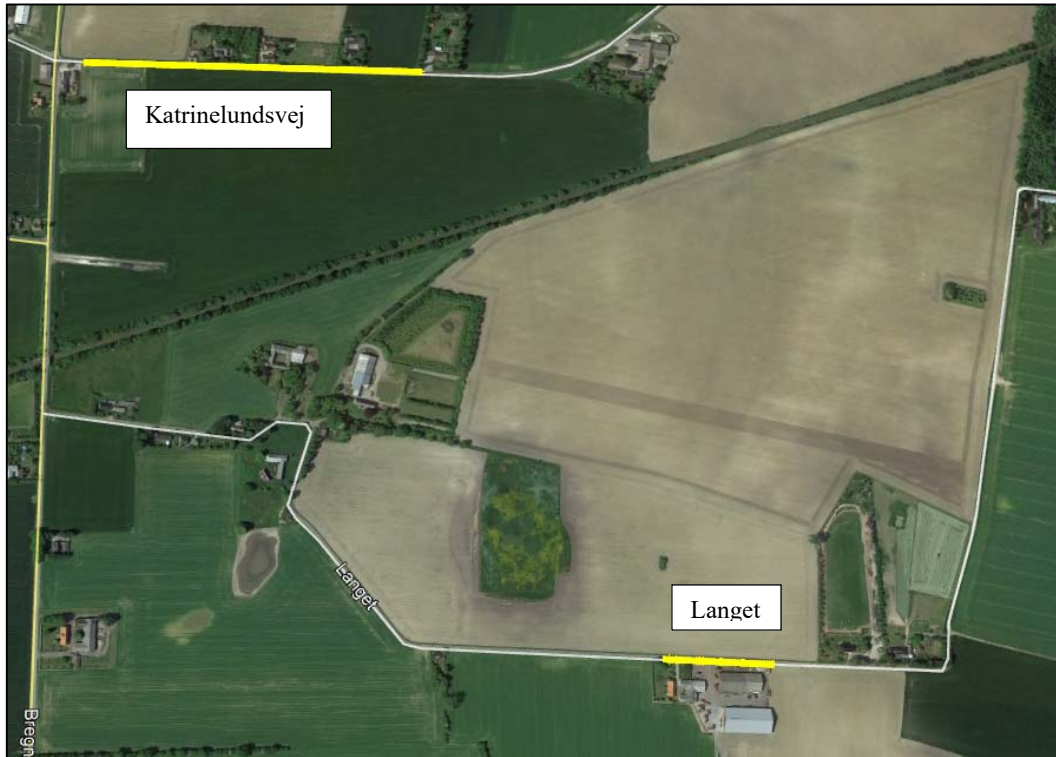
| | | |
|--------------------|---|--|
| Dynatest Job Nr. | : | 2018008 |
| Job navn | : | Udmattelsesforsøg med Landbrugskøretøjer |
| Job beskrivelse | : | Vurdering af overfladeskader i forbindelse med kørsel af landbrugskøretøjer |
| Klient | : | Vejdirektoratet |
| Klient oplysninger | : | Vejdirektoratet Guldalderen 12 2640 Hedehusene Att: Sasanne Baltzer |

Indholdsfortegnelse

| | | |
|-------|--------------------------------|----|
| 1 | Introduktion..... | 4 |
| 1.1 | Forsøgsstrækninger | 4 |
| 2 | Fremgangsmåde | 6 |
| 2.1 | Måleudstyr..... | 6 |
| 2.2 | Databehandling..... | 7 |
| 3 | Resultater | 9 |
| 3.1 | Katrinelundsvej | 9 |
| 3.1.1 | Overfladeskader | 9 |
| 3.1.2 | Jævnhed samt sporkøring..... | 13 |
| 3.2 | Langet..... | 15 |
| 3.2.1 | Overfladeskader | 15 |
| 3.2.2 | Jævnhed og sporkøring | 17 |
| 4 | Konklusion/Sammenfatning | 21 |

1 Introduktion

Dynatest Danmark A/S har efter aftale med Vejdirektoratet foretaget MFV målinger på to forsøgsstrækninger omkring Døllefjælde maskinstation på Lolland. Formålet med målingerne er, at vurdere hvordan og hvor meget forskellige landbrugsudstyr skader vejens overflade.



Figur 1-1 – Overview over målestrækninger.

1.1 Forsøgsstrækninger

Der er udført målinger på 2 målestrækninger:

- Katrinelundsvej
- Langet

Målestrækningen ved Katrinelundsvej er opdelt i 7 forsøgsfelter, hvor forskellige landbrugsudstyr har belastet de forskellige forsøgsfelter.

- | | |
|-----------------|---|
| - Forsøgsfelt 1 | Blokvogn |
| - Forsøgsfelt 2 | Lastvogn |
| - Forsøgsfelt 3 | Grimme (Flyttet til forsøgsfelt 7 efter 200 overkørsler) |
| - Forsøgsfelt 4 | Ærtehøster (Stoppet efter 200 overkørsler) |
| - Forsøgsfelt 5 | Intet køretøj |
| - Forsøgsfelt 6 | Gyllevogn (Stoppet efter 200 overkørsler) |
| - Forsøgsfelt 7 | Grimme (Tilføjet fra forsøgsfelt 3 efter 200 overkørsler) |

Der er udført MFV målinger løbende under forsøget på Katrinelundsvej, som:

- Initialtilstand (0 overkørsler) 4 gennemkørsler med MFV udstyret
- 50 overkørsler 2 gennemkørsler med MFV udstyret
- 100 overkørsler 2 gennemkørsler med MFV udstyret
- 50 overkørsler 2 gennemkørsler med MFV udstyret
- (*Rokering af udstyr*)
- 50 overkørsler 2 gennemkørsler med MFV udstyret
- 100 overkørsler 2 gennemkørsler med MFV udstyret
- 50 overkørsler 2 gennemkørsler med MFV udstyret

Målestrækningen ved Langet er i første omgang én lang strækning, hvor der blev udført udmattelsesforsøg med en ærtehøster. Derefter blev forsøgsfelt 8 tilføjet og der udført forsøg med vrid/sving af tungt landbrugsudstyr samt endnu et traditionelt udmattelsesforsøg i felt 8.

Der er udført MFV målinger løbende under forsøget ved Langet, som:

- Initialtilstand (Før Ærtehøster test) 3 gennemkørsler med MFV udstyret
- Efter Ærtehøster test 2 gennemkørsler med MFV udstyret

- Initialtilstand (Felt 8) 2 gennemkørsler med MFV udstyret
- Efter vrid/sving samt felt 8 2 gennemkørsler med MFV udstyret

2 Fremgangsmåde

2.1 Måleudstyr

Målingerne er foretaget med en Dynatest MFV (Multi-Functional Vehicle), som illustreret nedenfor.



MFV udstyret er påmonteret en "Road Surface Profiler" RSP type III til indsamling af data, som:

- Længdeprofil
 - o Jævnhed (IRI)
- Tværprofil
 - o Sporkøring
- Makrotekstur
 - o Friktion

MFV udstyret er ligeledes påmonteret "Laser Crack Measurering System" (LCMS), som kombinere linie lasere og højhastighedskameraer til at identificere overfladeskader, som:

- Revner
- Krakeleringer
- Rivninger/stentab
- Slaghuller
- Lapper
- M.m.

Ydermere er der påmonteret "Right of Way" (RoW) kameraer som tager billeder af vejen samt omgivelserne under målearbejdet. For at kunne kortlægge skader samt resultater er udstyret påmonteret et avanceret GPS system.

2.2 Databehandling

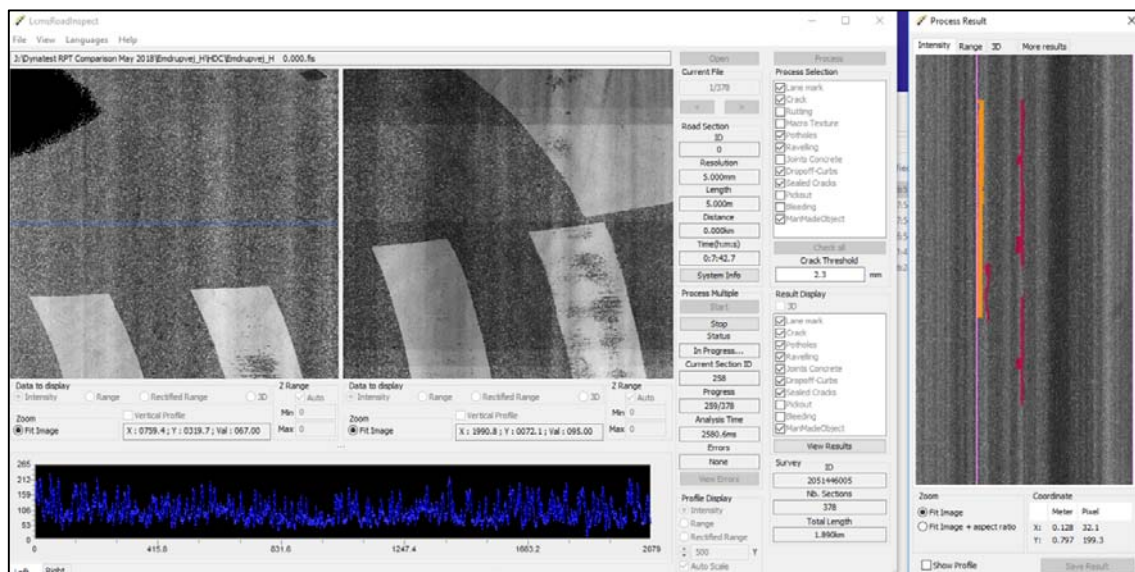
Analyse af data fra MFV målinger foretages vha. to software applikationer.

- LCMSRoadInspect:
 - o Identificering af skader fra ”Laser Crack Measuring System”
- Dynatest Explorer
 - o Klassificering af skader samt manuel kontrol og rating af skader.
 - o Visualisering af resultater fra ”Road Surface Profiler” i form af:
 - Jævnhed
 - Sporkøring

LCMSRoadInspect er en software applikation som er udviklet af Pavemetrics som også producerer selve LCMS systemet. LCMSRoadInspect identificere skader på vejoverfladen i form af:

- Revner
- Stentab/Rivninger
- Sporkøring
- Jævnhed
- M.m.

LCMSRoadInspect identificere ligeledes markeringer, således at disse kan frasorteres automatisk og derved ikke fremgå som revner eller lignende.

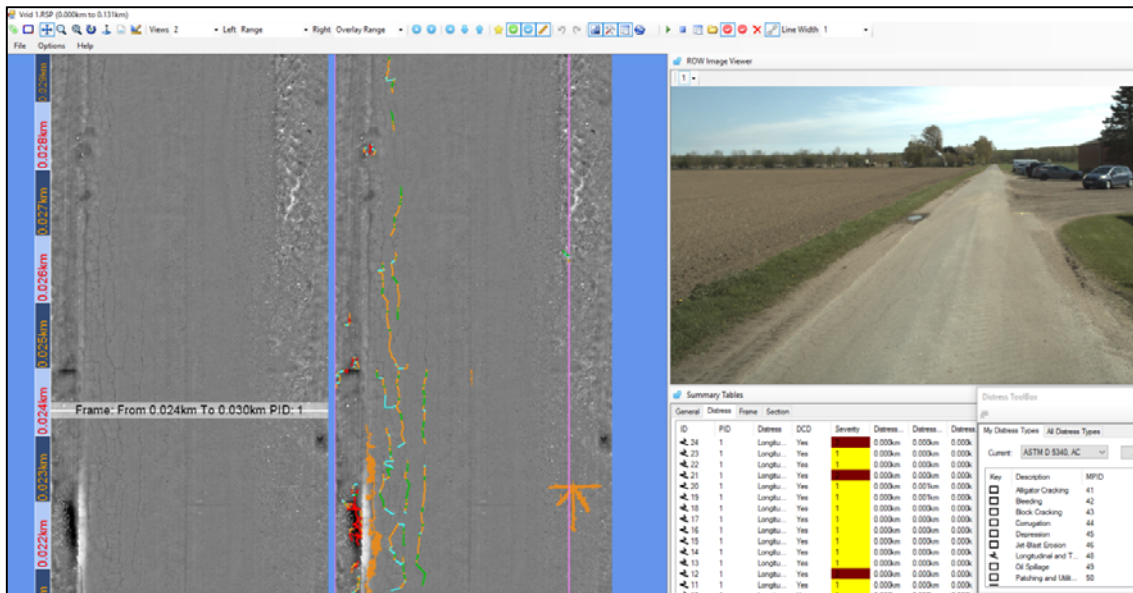


Figur 2-1 – Skærbillede fra LCMSRoadInspect

Dynatest Explorer er en software applikation udviklet af Dynatest til visualisering af alle typer af måledata, herunder også data fra MFV udstyret.

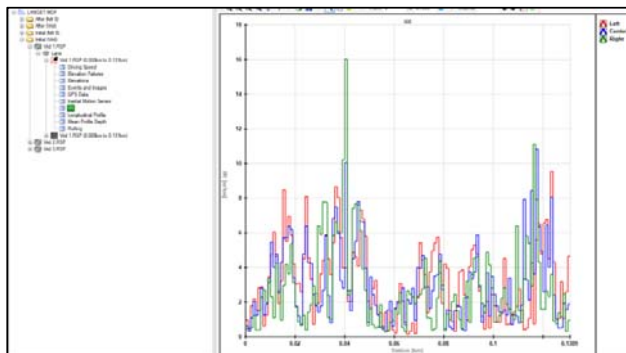
Dynatest har udviklet et rating modul i Dynatest Explorer, som benyttes til at klassificere overfladeskader identificeret med LCMSRoadInspect. Det er ligeledes muligt at tilføje og/eller fjerne automatisk registrerede skader.

Rating modulet i Dynatest Explorer klassificerer skader iht. bruger definerede konfigurationer. Derfor er det muligt for brugeren at definere alvorligheden af de forskellige skadestyper.

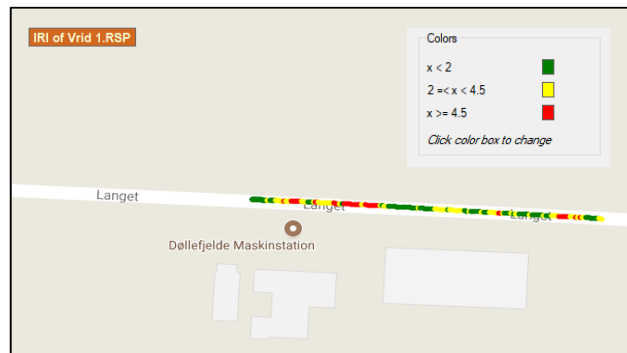


Figur 2-2 – Skærbillede af rating modul i Dynatest Explorer.

Dynatest Explorer er ligeledes et visualisering værktøj, som kan benyttes til at illustrere diverse måleresultater, som:



Figur 2-3 – Jævnhedsresultater



Figur 2-4 – Jævnhedsresultater, 2

3 Resultater

3.1 Katrinelundsvej

3.1.1 *Overfladeskader*

Tabel 3-1 herunder viser en oversigt over de 7 forsøgsfelter på Katrinelundsvej. Tabellen viser hvor og hvornår der er opstået detekterbare skader i hvert af forsøgsfelterne. Som det fremgår af tabellen er der kun detekteret skader i forsøgsfelt 3,4 og 7. For forsøgsfelt 3 og 4 er skaderne detekteret efter 150 overkørsler. For forsøgsfelt 7 er der detekteret skader allerede efter 50 overkørsler.

Tabel 3-1 – Oversigt

| Oversigt | | | | | | | |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Overkørsler | Felt 1 | Felt 2 | Felt 3 | Felt 4 | Felt 5 | Felt 6 | Felt 7 |
| 0 | - | - | - | - | - | - | - |
| 50 | - | - | - | - | - | - | - |
| 150 | - | - | X | X | - | - | - |
| 200 | - | - | X | X | - | - | - |
| 250/50 | - | - | - | - | - | - | X |
| 350/150 | - | - | - | - | - | - | X |
| 400/200 | - | - | - | - | - | - | X |

Fra **Tabel 3-1** er det synliggjort hvor og hvornår der er registreret skader. Tabellen fortæller dog ikke noget omkring typen eller mængden af skader, dette vil blive synliggjort i det følgende.

Forsøgsfelt 3

Tabel 3-2 samt **Billede 3-1** til **Billede 3-5** er fremstillet for at synliggøre mængden af skader, typen af skader samt udviklingen af skader for forsøgsfelt 3. **Billede 3-1** til **Billede 3-3** viser den visuelle forandring af vejoverfladen fra 50 overkørsler til 150 overkørsler og sidst ved 200 overkørsler. Som det ses fra Billederne sker der en væsentlig forandring fra 50 overkørsler til 150 overkørsler, derimod sker der ikke den store forandring fra 150 overkørsler til 200 overkørsler rent visuelt. **Billede 3-4** og **Billede 3-5** viser de automatisk registrerede skader fra MFV udstyret, her fremgår det at skaderne registreres som stentab/rivninger. Selvom der visuelt kan registreres skader efter 50 overkørsler, jf. **Billede 3-1**, så registrerer MFV udstyret ikke skaderne før efter 150 overkørsler, som det fremgår af **Billede 3-4**. Fra **Billede 3-5** ses det tydeligt at mængden af skader er øget ift. **Billede 3-4**. **Tabel 3-2** nedenfor viser udviklingen af skader samt alvorligheden af de registrerede skader. Det ses tydeligt fra tabellen at mængden af skader stiger signifikant fra 150 overkørsler til 200 overkørsler. Ved 150 overkørsler ses det, at 56.1% af skaderne kategoriseres som stentab med alvorlighed 2 og 43.9% kategoriseres med alvorlighed 3. Ved 200 overkørsler er dette billede ændret til 31.0% stentab i kategori 2 og 69.0% i kategori 3. Derved kan det konkluderes at både mængden af skader samt alvorligheden øges ved et stigende antal overkørsler.

Tabel 3-2 – Registrerede skader, Felt 3

| <u>Felt 3</u> | Areal | Stentabskategori | | |
|---------------|-------------------|------------------|-------|-------|
| Overkørsler | [m ²] | 1 [%] | 2 [%] | 3 [%] |
| 150 | 4.125 | 0.0% | 56.1% | 43.9% |
| 200 | 7.063 | 0.0% | 31.0% | 69.0% |



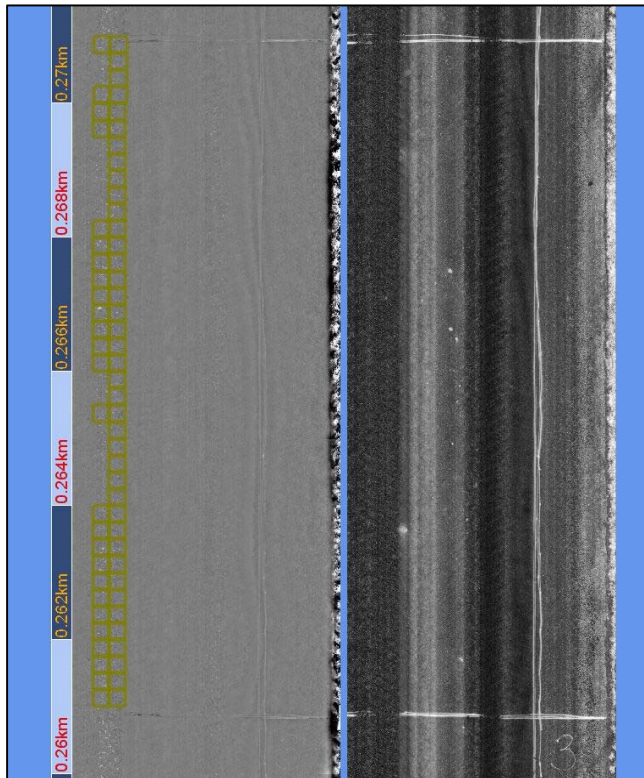
Billede 3-1 - Overflade efter 50 overkørsler, Felt 3



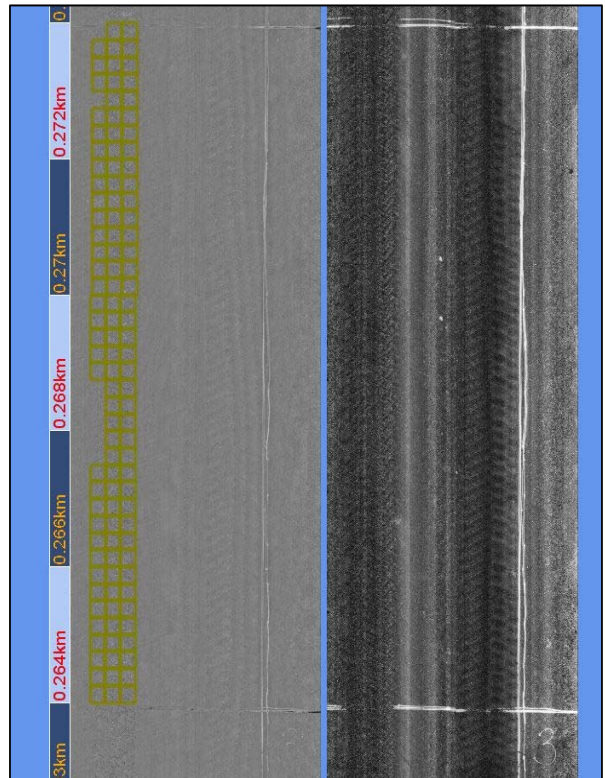
Billede 3-2 - Overflade efter 150 overkørsler, Felt 3



Billede 3-3 - Overflade efter 200 overkørsler, Felt 3



Billede 3-4 - Skader efter 150 overkørsler, Felt 3



Billede 3-5 - Skader efter 200 overkørsler, Felt 3

Forsøgsfelt 4

Tabel 3-3 samt **Billede 3-6** til **Billede 3-8** nedenfor illustrerer mængden af skader, typen af skader samt udviklingen af skader for forsøgsfelt 4. Som det ses fra **Billede 3-6** til **Billede 3-8** ses der tydeligt en visuel udvikling af vejoverfladen ved øget antal overkørsler.



Billede 3-6 – Overflade efter 50 overkørsler



Billede 3-7 – Overflade efter 150 overkørsler



Billede 3-8 – Overflade efter 200 overkørsler

Tabel 3-3 nedenfor viser udviklingen af skader samt alvorligheden af de registrerede skader for forsøgsfelt 4. Selvom der tydeligt ses en udvikling i mængden af overfladeskader fra de ovenstående billeder, har det ikke været muligt at detektere disse med MFV udstyret. Der er kun registreret en meget lille mængde stentab og mængden mindskes fra 150 overkørsler til 200 overkørsler. der er desværre ingen god forklaring på, hvorfor MFV udstyret ikke registrerer skaderne i forsøgsfelt 4.

Tabel 3-3 – Registreret skader, Felt 4

| Felt 4 | Areal | Stentabskategori | | |
|--------------------|-------------------|-------------------------|--------|-------|
| Overkørsler | [m ²] | 1 [%] | 2 [%] | 3 [%] |
| 150 | 0.438 | 0.0% | 85.7% | 14.3% |
| 200 | 0.125 | 0.0% | 100.0% | 0.0% |

Forsøgsfelt 7

Tabel 3-4 samt **Billede 3-9** til **Billede 3-15** er fremstillet for at synliggøre mængden af skader, typen af skader samt udviklingen af skader for forsøgsfelt 7. **Billede 3-9** til **Billede 3-12** herunder viser den visuelle udvikling af overfladeskader i forsøgsfelt 7. Det fremgår tydeligt fra billederne at mængden af skader øges signifikant ved stigende antal overkørsler. Denne forøgning af visuelle skader ses specielt fra 50 overkørsler til 150 overkørsler. fra 150 overkørsler til 200 overkørsler er der ikke den store synlige forskel.



Billede 3-9 – Overflade efter 0 overkørsler, Felt 7



Billede 3-10 – Overflade efter 50 overkørsler, Felt 7

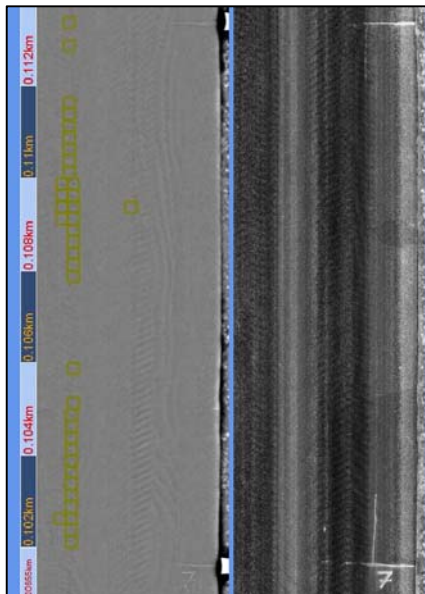


Billede 3-11 – Overflade efter 150 overkørsler, Felt 7

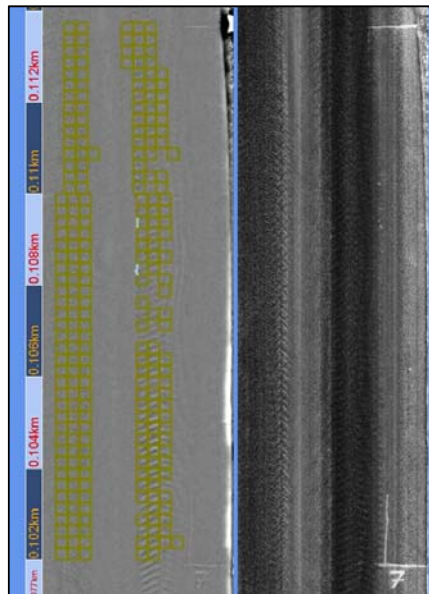


Billede 3-12 – Overflade efter 200 overkørsler, Felt 7

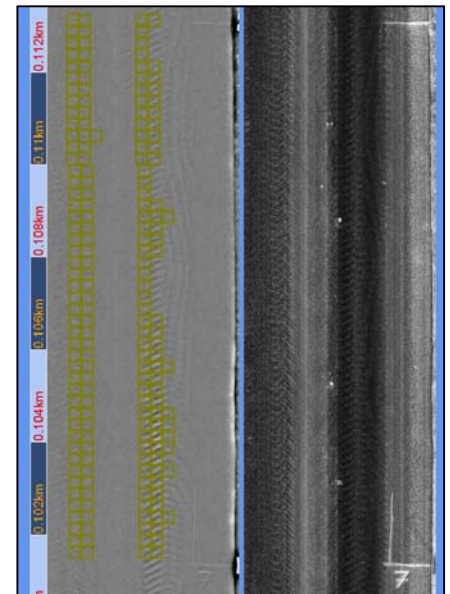
Billede 3-13 til **Billede 3-15** viser de automatisk registrerede skader fra MFV udstyret, her fremgår det at skaderne registreres som stentab/rivninger. Det ses ligeledes at der sker en signifikant forøgelse i mængden af skader fra 50 overkørsler til 150 overkørsler. Fra 150 overkørsler til 200 overkørsler ser det visuelt ud til at mængden af skader faktisk mindske en smule. Dette valideres af resultaterne præsenteret i **Tabel 3-4**.



Billede 3-13 – Skader efter 50 overkørsler



Billede 3-14 – Skader efter 150 overkørsler



Billede 3-15 – Skader efter 200 overkørsler

Tabel 3-4 nedenfor viser udviklingen af skader samt alvorligheden af de registrerede skader for forsøgsfelt 7. Det ses tydeligt fra tabellen at mængden af skader stiger signifikant fra 50 overkørsler til 150 overkørsler, derefter er mindskede mængden af skader faktisk en smule. Ved 50 overkørsler ses det, at 55.3% af skaderne kategoriseres som stentab med alvorlighed 2 og 44.7% kategoriseres med alvorlighed 3. Fra tabellen ses en general tendens i form af stigende alvorlighed af stentabsskaderne for stigende antal overkørsler.

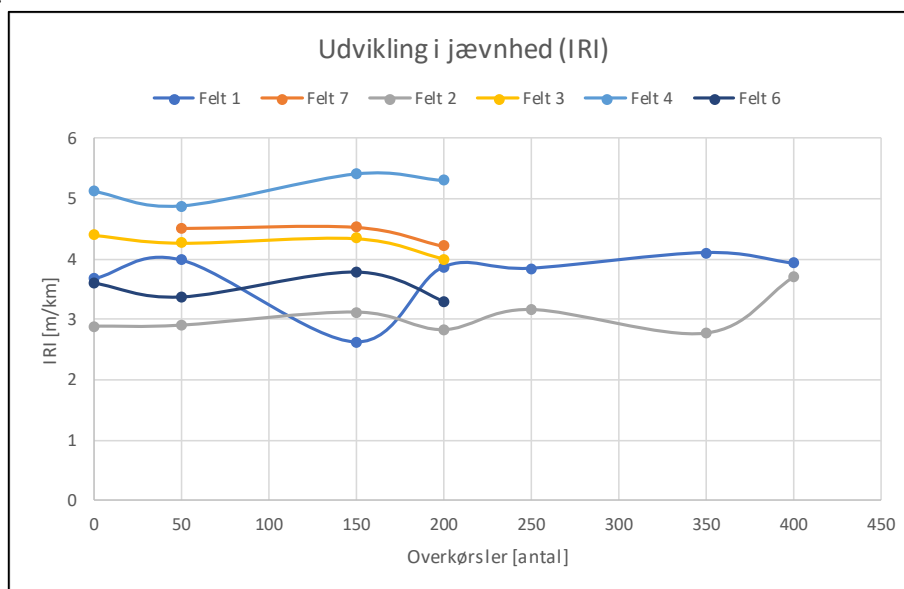
Tabel 3-4 – Registrerede skader, Felt 7

| Felt 7 | Areal | Stentabskategori | | |
|-------------|-------------------|------------------|-------|-------|
| Overkørsler | [m ²] | 1 [%] | 2 [%] | 3 [%] |
| 50 | 2.375 | 0.0% | 55.3% | 44.7% |
| 150 | 15.375 | 0.0% | 37.4% | 62.6% |
| 200 | 11.625 | 0.0% | 25.3% | 74.7% |

3.1.2 Jævnhed samt sporkøring

Med MFV udstyret måles udover overfladeskader også jævnhed og sporkøring. I det nedenstående er der kigget på udviklingen i jævnhed og sporkøring under forsøgene:

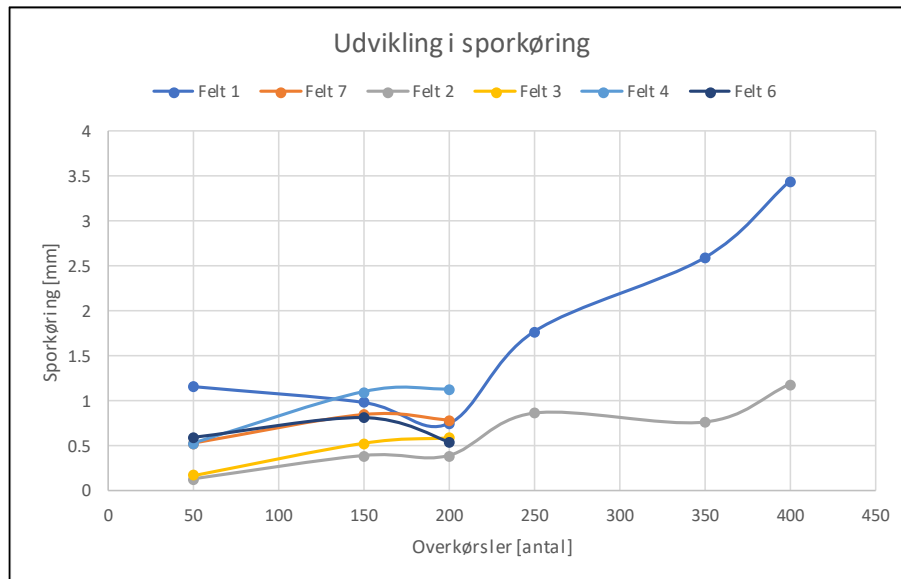
Figur 3-1 nedenfor viser udvikling i jævnhed i form af det International jævnhedsindeks (IRI) for alle forsøgsfelter. Ud fra resultaterne konkluderes det at der er meget lille udvikling i jævnhedsresultaterne. Dette kan skyldes at IRI tallene var temmeligt høje allerede ved start af forsøget.



Figur 3-1 – Udvikling i jævnhed

Figur 3-2 herunder viser udviklingen i den målte sporkøring som funktion af antallet af overkørsler. Der er generelt stor usikkerhed omkring sporkøringsresultaterne, da der er kørt zig-zag omkring landbrugsudstyret og derved kørt i del i rabatten. Derudover er der detekteret meget sporkøring generelt. Dette er også grunden til at der ikke er medtaget sporkøringsresultater for 0 overkørsler. Fra **Figur 3-2** ses der megen lille udvikling i sporkøringsresultaterne. Derudover viser resultaterne generelt meget lidt sporkøring. For test

felt 1 ses der dog en klar tendens med stigende sporkøring for et stigende antal overkørsler, men for de andre forsøgsfelter kan der ikke konkluderes noget ud fra resultaterne.



Figur 3-2 – Udvikling i sporkøring

3.2 Langet

3.2.1 Overfladeskader

Langet (ærtehoster) forsøg

Tabel 3-5 nedenfor opsummerer de automatisk registrerede skader for de 3 gennemkørsler med MFV udstyret inden igangsættelse af ærtehoster forsøget på Langet. Generelt er der ok overensstemmelse mellem resultaterne for de 3 gennemkørsler. Der er derved i gennemsnit registreret **51.8** meter revner på strækninger, hvoraf 1.23% kan kategoriseres med alvorlighed 1, 71.1% med alvorlighed 2 og 27.7% med alvorlighed 3.

Tabel 3-5 – Registrerede skader (Før overkørsler), Langet

| <u>Langet (Før overkørsler)</u> | | | | |
|---------------------------------|-------------|---------------|-------------|-------------|
| Overkørsel | Revner | Revnekategori | | |
| [nr] | [m] | 1 [%] | 2 [%] | 3 [%] |
| 1 | 51.792 | 2.11 | 72.02 | 25.87 |
| 2 | 46.805 | 0.56 | 75.11 | 24.33 |
| 3 | 56.767 | 1.23 | 66.02 | 32.76 |
| Gennemsnit | 51.8 | 1.3 | 71.1 | 27.7 |

Tabel 3-6 nedenfor opsummerer de automatisk registrerede skader for de 2 gennemkørsler efter ærtehoster forsøget. Der er desværre stor variation mellem resultaterne for de 2 gennemkørsler, hvilket gør det svært at lave en troværdig konklusion. Kigger man udelukket på forskellen i gennemsnitsværdier før og efter, ses det at mængden af revner ikke forandre sig. Derimod ses det at mængden af revner i kategori 3 stiger og revner i kategori 2 falder tilsvarende. Dette kan antyde at revnebredde forøges under vrid/sving forsøget.

Tabel 3-6 – Registrerede skader (Efter overkørsler), Langet

| <u>Langet (Efter overkørsler)</u> | | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------------|-------------|-------------|
| Overkørsel | Revner | Revnekategori | | |
| [nr] | [m] | 1 [%] | 2 [%] | 3 [%] |
| 4 | 56.731 | 0.33 | 65.84 | 33.83 |
| 5 | 45.012 | 0 | 46.14 | 53.86 |
| Gennemsnit | 50.9 | 0.2 | 56.0 | 43.8 |

Langet (vrid/sving) forsøg

Tabel 3-7 og **Tabel 3-8** nedenfor opsummerer de automatisk registrerede skader før og efter vrid/sving forsøget på Langet. Fra **Tabel 3-7** ses det at mængden af detekterede revner, samt alvorligheden af disse er meget ensartet for de to gennemkørsler. Sammeliges mængden af revner før og efter forsøget er den generelle konklusion at at der ikke sker nogen vækst i revner eller revnebredden.

Tabel 3-7 – Registrerede skader (Før overkørsler), Langet (vrid/sving)

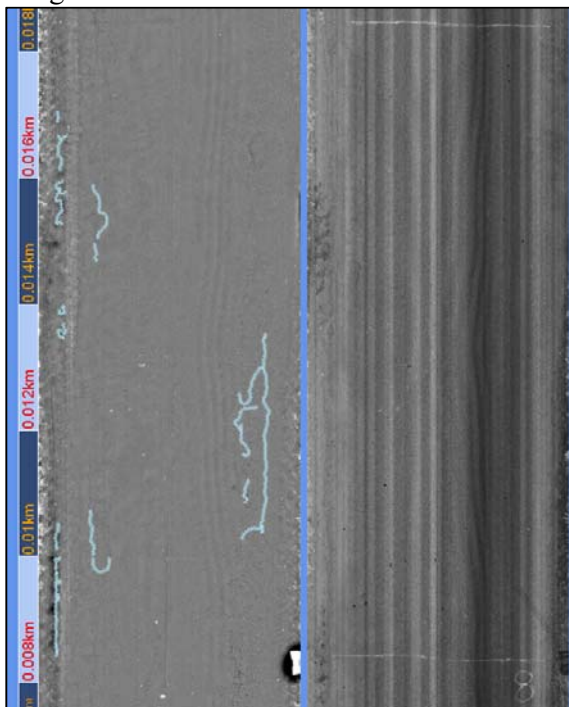
| Betegnelse | Revner | Revnekategori | | |
|-------------------------|--------|---------------|--------|-------|
| | [m] | 1 [%] | 2 [%] | 3 [%] |
| Gennemkørsel 1 – Felt 1 | 12.645 | 0 | 6.41 | 93.59 |
| Gennemkørsel 2 – Felt 1 | 12.323 | 0 | 7.79 | 92.21 |
| Gennemkørsel 1 – Felt 2 | 2.606 | 0 | 82.69 | 17.31 |
| Gennemkørsel 2 – Felt 2 | 2.863 | 0 | 100.00 | 0 |

Tabel 3-8 – Registrerede skader (Efter overkørsler), Langet (vrid/sving)

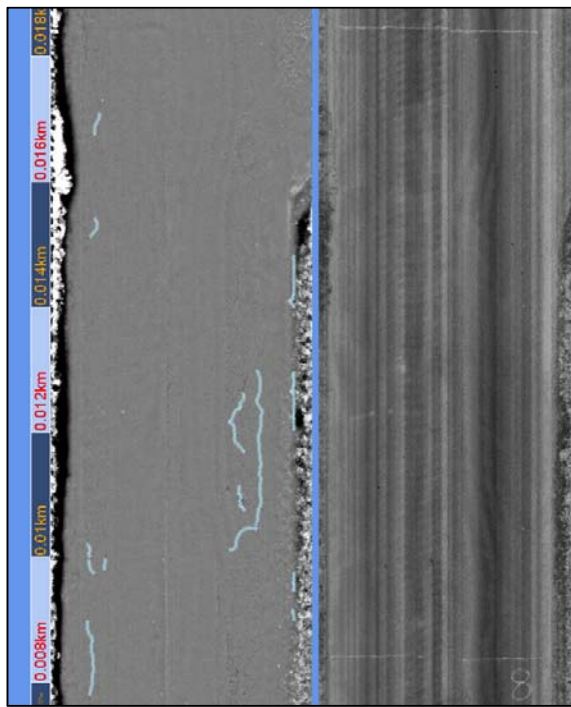
| Betegnelse | Revner | Revnekategori | | |
|-------------------------|--------|---------------|-------|--------|
| | [m] | 1 [%] | 2 [%] | 3 [%] |
| Gennemkørsel 1 – Felt 1 | 11.832 | 0 | 7.92 | 90.57 |
| Gennemkørsel 2 – Felt 1 | 14.538 | 0 | 0 | 100.00 |
| Gennemkørsel 1 – Felt 2 | 1.896 | 0 | 62.77 | 37.23 |
| Gennemkørsel 2 – Felt 2 | 0.452 | 0 | 0 | 100 |

Langet, Felt 8 forsøg

Billede 3-16 og **Billede 3-17** nedenfor viser de automatisk registrerede skader hhv. før og efter forsøget i forsøgsfelt 8 på Langet. Som det fremgår af billederne er de registrerede skader primært i form af revner. Umiddelbart er der visuelt ikke 100% sammenfald mellem de registrerede revner før og efter forsøget. Dette er formentligt en konsekvens af skidt og snavs som er blevet kørt ned i revnerne. Det kan ligeledes skyldes at der ikke er kørt 100% i samme målelinje. Det fremgår dog tydeligt at der ikke er detekteret væsentligt flere revner efter forsøget end før forsøget. Denne konklusion verificeres af resultaterne præsenteret i **Tabel 3-9** og **Tabel 3-10**.



Billede 3-16 – Skader før forsøg



Billede 3-17 – Skader efter forsøg

Tabel 3-9 nedenfor opsummerer de automatisk registrerede skader for de 2 gennemkørsler med MFV udstyret inden igangsættelse af forsøget i felt 8. Generelt er der ok overensstemmelse i resultaterne for de 2 gennemkørsler, der er dog en smule forskel i mængden af revner.

Tabel 3-10 opsummerer de automatisk registrerede skader for de 2 gennemkørsler efter forsøget i felt 8. Der er temmelig dårlig overensstemmelse mellem mængden af revner målt ved de 2 gennemkørsler. Det samme kan dog ikke konkluderes i relation til kategorien for alvorligheden af revnerne, her ses der en god sammenhæng. Fra **Tabel 3-9** og **Tabel 3-10** kan det således konkluderes at der ikke er en entydig tendens i forhold til mængden af revner, men det ser ikke ud som om at mængden af revner er øget. Det er dog ret entydigt at revnebredden er øget under overkørslerne.

Tabel 3-9 – Registrerede skader (Før overkørsler), Felt 8

| <u>Langet, felt 8 (Før overkørsler)</u> | | | | | |
|---|------------|--|---------------|-------------|-------------|
| Overkørsel | Revner | | Revnekategori | | |
| [nr] | [m] | | 1 [%] | 2 [%] | 3 [%] |
| 8.1 | 9.774 | | 0 | 54.27 | 45.73 |
| 8.2 | 6.704 | | 0 | 44.97 | 55.03 |
| Gennemsnit | 8.2 | | 0.0 | 49.6 | 50.4 |

Tabel 3-10 – Registrerede skader (Efter overkørsler), Felt 8

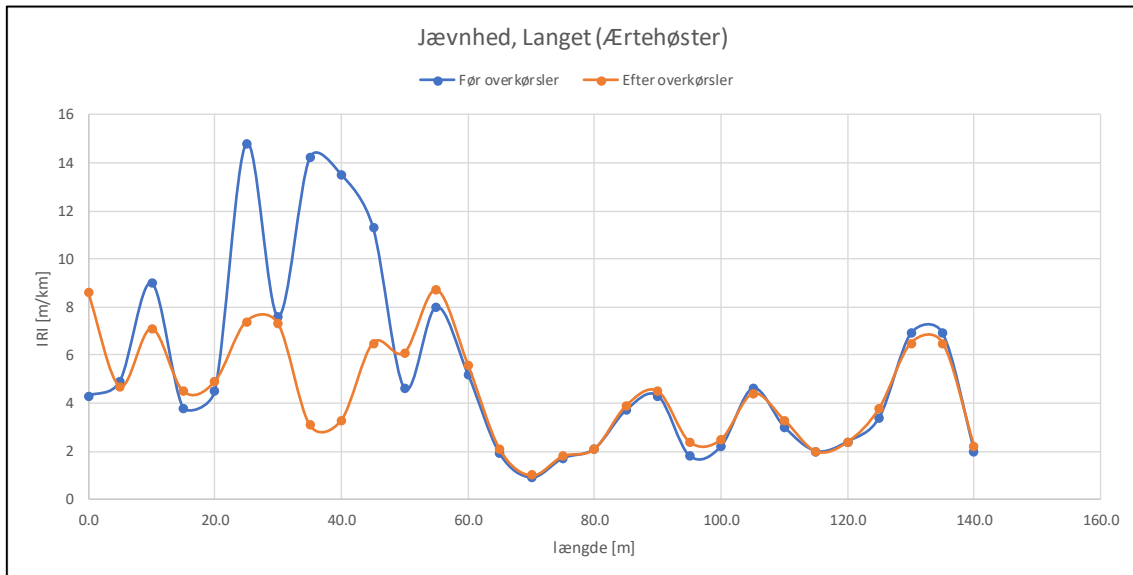
| <u>Langet, felt 8 (Efter overkørsler)</u> | | | | | |
|---|-------------|--|---------------|--------------|--------------|
| Overkørsel | Revner | | Revnekategori | | |
| [nr] | [m] | | 1 [%] | 2 [%] | 3 [%] |
| 6 | 10.676 | | 0 | 37.15 | 62.85 |
| 6 | 5.17 | | 0 | 28.62 | 71.37 |
| Gennemsnit | 14.9 | | 1.3 | 32.89 | 67.11 |

3.2.2 Jævnhed og sporkøring

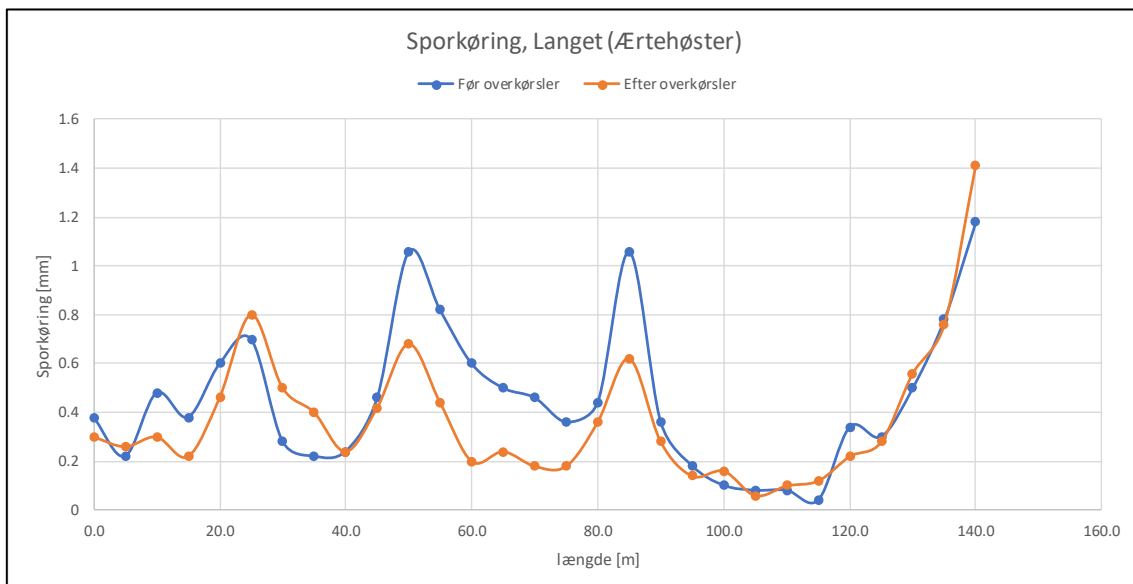
Den målte jævnhed og sporkøring før og efter forsøgene på Langet er ligeledes sammenlignet.

Langet (ærtehoster) forsøg

Figur 3-3 og **Figur 3-4** nedenfor viser hhv. jævnhedsresultater og sporkøringsresultater før og efter vrid/sving forsøget på Langet. Generelt konkluderes det, at der ikke er nogen væsentlig forskel i resultaterne før og efter.



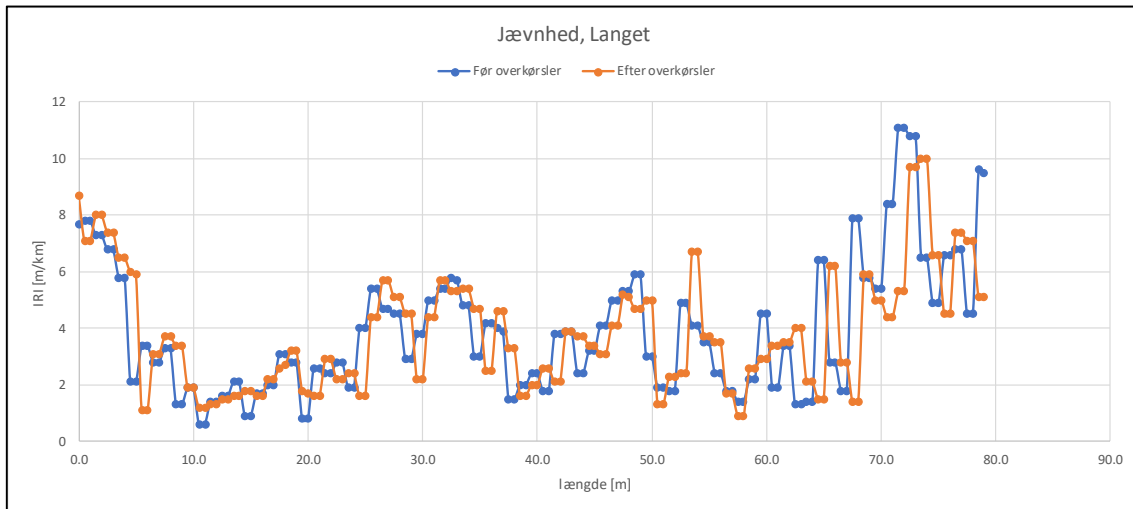
Figur 3-3 – Jævnhedsresultater før og efter (ærtehøster) forsøg



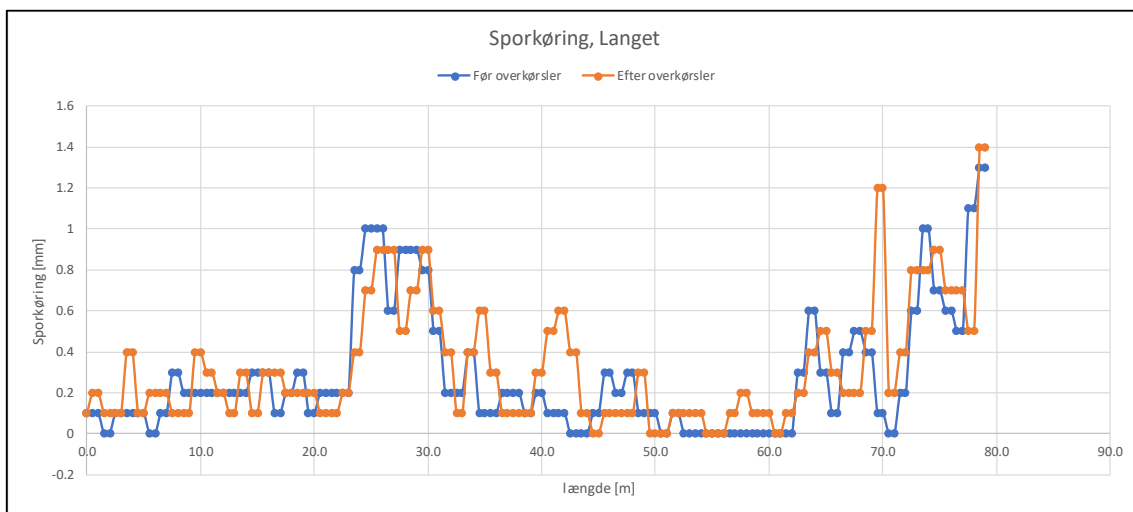
Figur 3-4 – Sporkøringsresultater før og efter (ærtehøster) forsøg

Langet (vrid/sving) forsøg

Figur 3-5 og **Figur 3-6** nedenfor viser hhv. jævnhedsresultater og sporkøringsresultater før og efter vrid/sving forsøget på Langet. Generelt konkluderes det, at der ikke er nogen væsentlig forskel i resultaterne før og efter.



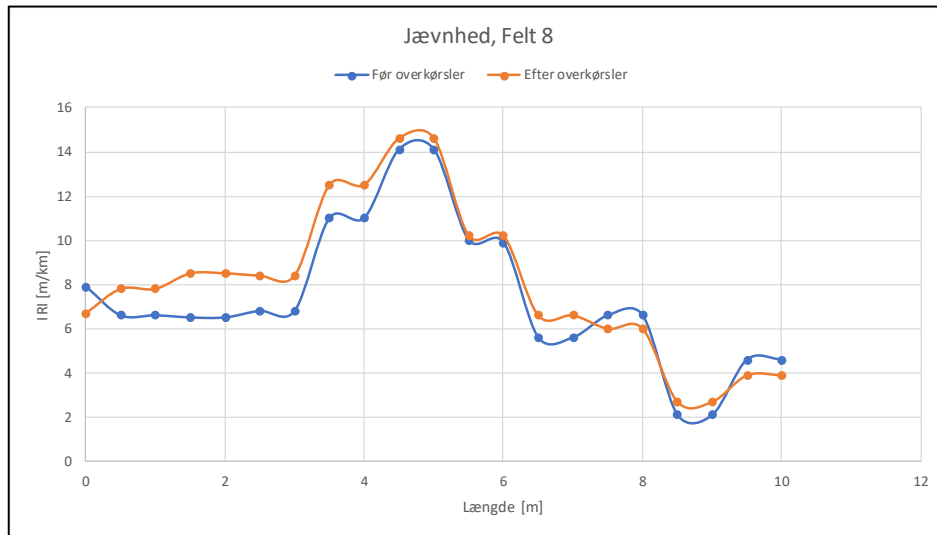
Figur 3-5 – Jævnhedsresultater før og efter (vrid/sving) forsøg



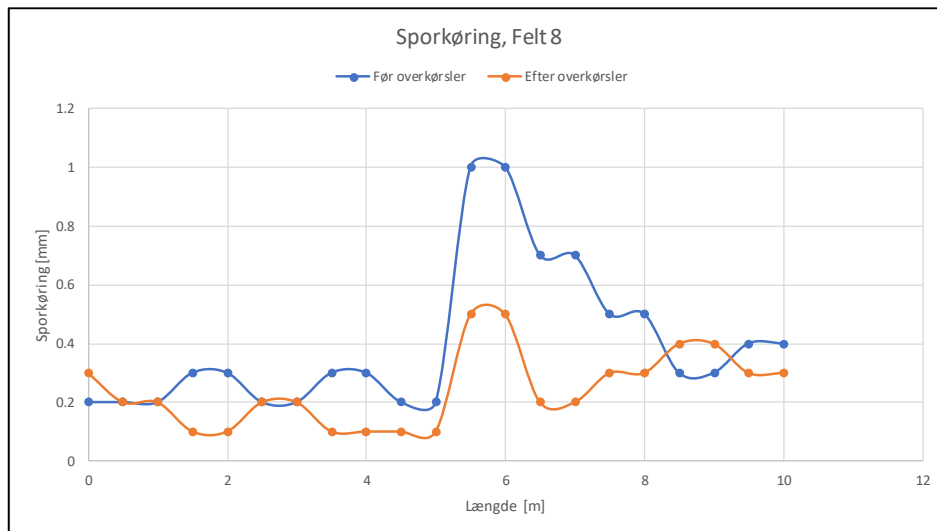
Figur 3-6 – Sporkøringsresultater før og efter (vrid/sving) forsøg

Langet, Felt 8 forsøg

Figur 3-7 og **Figur 3-8** nedenfor viser hhv. jævnhedsresultater og sporkøringsresultater før og efter forsøget i forsøgsfelt 8 på Langet. Generelt konkluderes det, at der ikke er nogen væsentlig forskel i resultaterne før og efter.



Figur 3-7 – Jævnhedsresultater før og efter, felt 8



Figur 3-8 – Sporkøringsresultater før og efter, felt 8

4 Konklusion/Sammenfatning

Dynatest Danmark A/S har efter aftale med Vejdirektoratet foretaget MFV målinger på to forsøgsstrækninger omkring Døllefjelde maskinstation på Lolland. Formålet med målingerne er, at vurdere hvordan og hvor meget forskellige landbrugsudstyr skader vejens overflade.

For forsøgsfelterne på Katrinelundsvej kan det konkluderes at kun Ærtehøsteren samt Grimme udstyret forårsager detekterbare overfladerskader. Skaderne detekteres i form af stentab/rivninger og mængden af skader stiger generelt ved et stigende antal overkørsler med landbrugsudstyret.

Med hensyn til jævnhed og sporkøring er der generelt ikke registreret nogen signifikant udvikling. Kun i forsøgsfelt 1 er der registreret i konstant forøgelse i sporkøring under forsøgene.

For vrid/sving forsøget ved Langet er der ikke den bedste overensstemmelse mellem resultaterne og det er derfor svært at lave en entydig konklusion. Det kan dog konkluderes, at de detekterede skader er revner og der er en generel tendens at revnebredden er forøget efter forsøget.

For forsøgsfelt 8 ved Langet kan er det samme konklusion. der er ingen klar tendens i forhold til revnevækst, der ses dog en meget tydeligt vækst i revnebredden.

Med hensyn til jævnhed og sporkøring er der generelt ikke registreret nogen signifikant udvikling under vrid/sving forsøget eller forsøget i forsøgsfelt 8.

Mätning på jordbruksmaskiner 2018-05-03

Mätningen beställd av AutoConsult,

Mätningen utförd av RN konsult

Genomförande

Mätningen genomfördes 2018-05-03 på 6 olika fordonsuppsättningar.

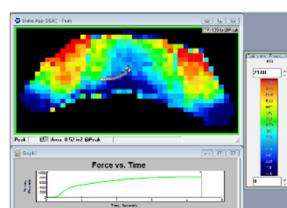
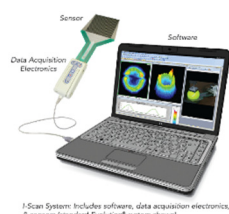
På varje fordon valdes ett antal hjul/hjulpar ut för mätningen. Vi har inte tagit del av varför dessa hjul valdes ut för mätningen, utan vi har endast genomfört mätning på de hjul som vi blev ombudade att mäta på.

Mätningarna har genomförts med statisk mätning och flera bilder är tagna på varje hjulsyttrycksfördelning.

Fordonen lyftes upp med domkraft och hissades sedan ner på Tekscan givarna. Beroende på hjulens storlek så har detta gjorts en gång för de mindre hjulen upp till 12 gånger för att få med hela yttrycksfördelningsavtrycket på de stora banden på de största maskinerna.

Alla mätdata är presenterade med samma färgskala 0 – 14 Bar, där > 0 är blått och 15 är lila,

Den utrustning som använts är Tekscan I-Scan system med 2 givare sammankopplade.



Anmärkning:

Denna rapport visar endast det som faktiskt har uppmäts, den ger inga resultat och tar heller inte någon ställning till vilka maskiner som bör tillåtas eller ej på allmänna vägar.

Det är alltså helt upp till beställarna av mätningen att dra några slutsatser på uppmätt data.

De fordon som vi har gjort mätning på är följande:

Gödselbil

På detta fordon mättes yttrycksfördelningen på hjul 1, 3 och 6

Ploeger

På detta fordon mättes yttrycksfördelningen på vänster band och vänster bakhjul

Maxtron

På detta fordon mättes yttrycksfördelningen på höger band och höger bakhjul

Lastbil med släp och Maxtron på släpet

På detta fordon mättes yttrycksfördelningen på hjul 1, 3 och 7

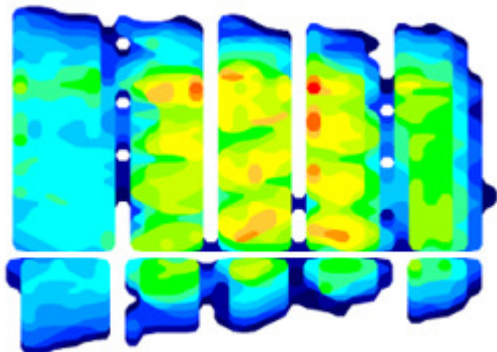
Traktor med släp 10 ton

På detta fordon mättes yttrycksfördelningen på traktorns vänstra stora hjul och hjul 3 på släpet

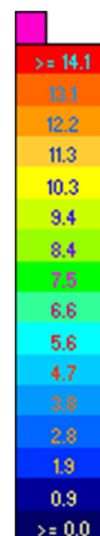
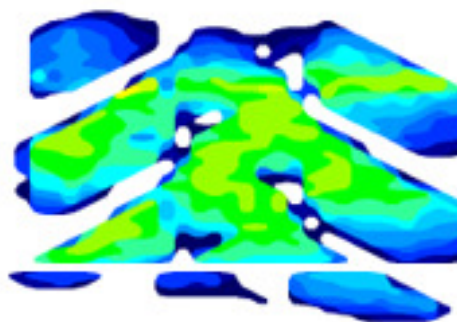
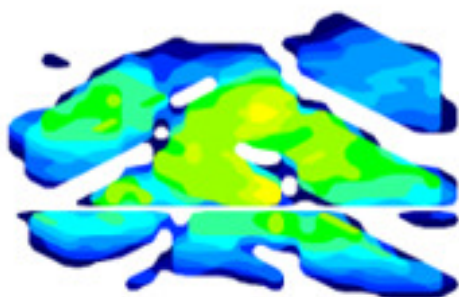
Traktor med släp 8 ton

På detta fordon mättes yttrycksfördelningen på traktorns vänstra stora hjul och hjul 3 på släpet

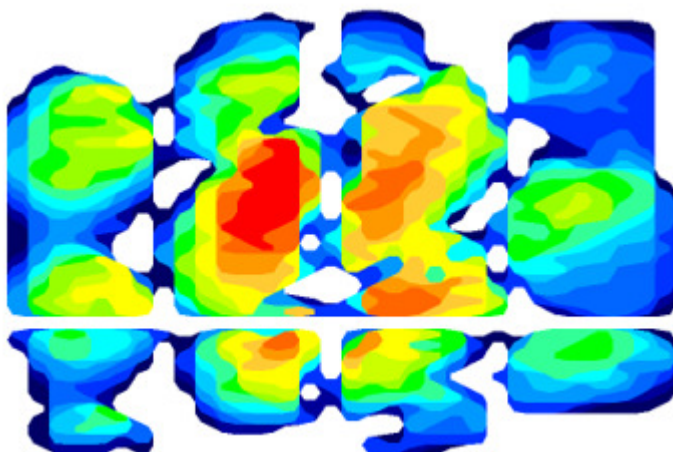
Gödselbil



Vänster fram, Kontaktarea ca 50 000mm²

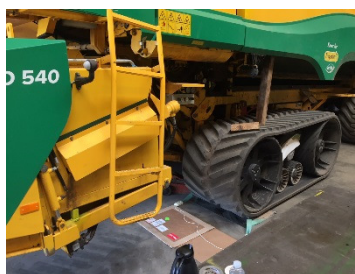
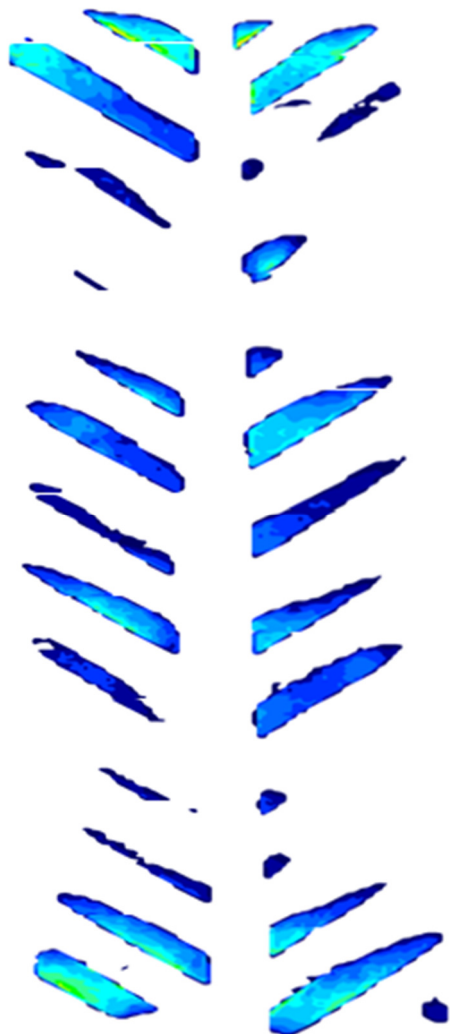


Bakdäck på bilen, kontakt area på ytterdäcket ca 27 000 mm² och på innerdäcket ca 31 000 mm²

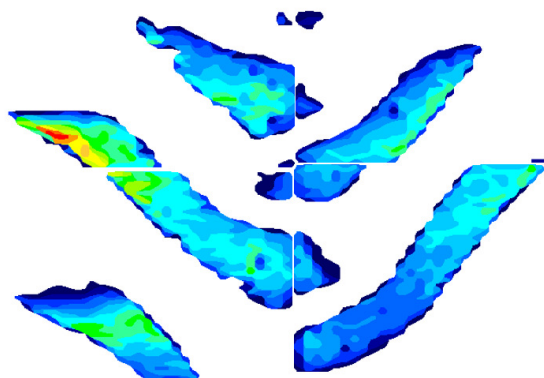


Vänster bakaxel 7, kontaktarea ca 42 500 mm²

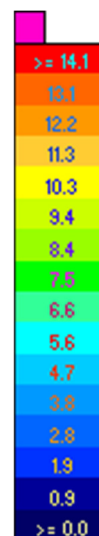
Ploeger



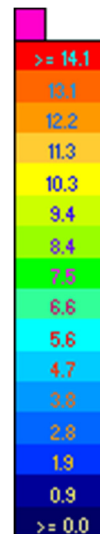
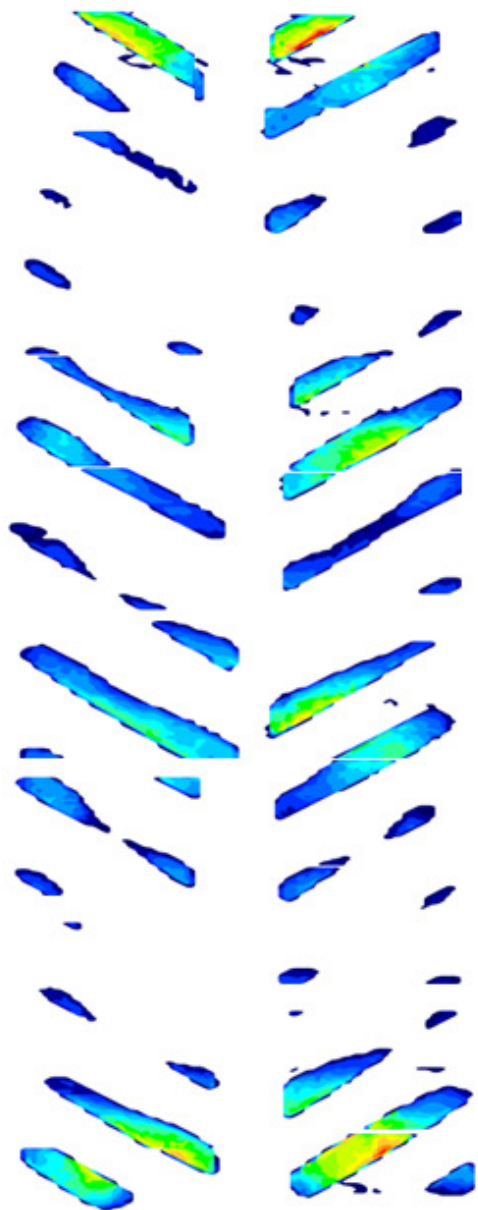
Maxtron larvfot, Kontaktarea total på larvfoten är ca 180 000 mm²



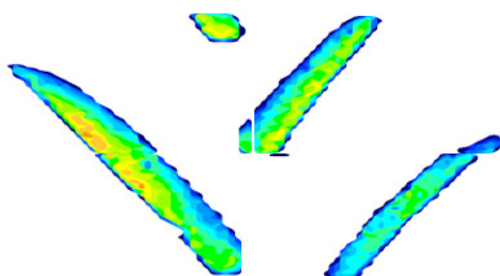
Total kontaktyta vänster bakdäck ca 62 000 mm²



Maxtron



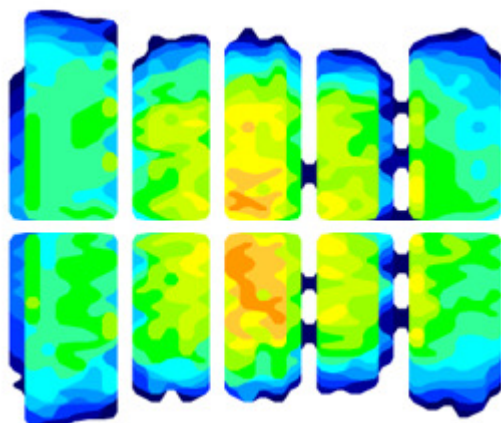
Maxtron larvfot, Kontaktarea total på larvfoten är ca 233 000 mm²



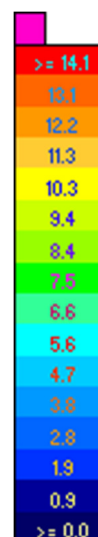
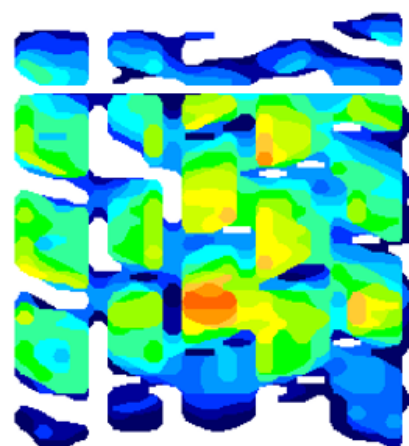
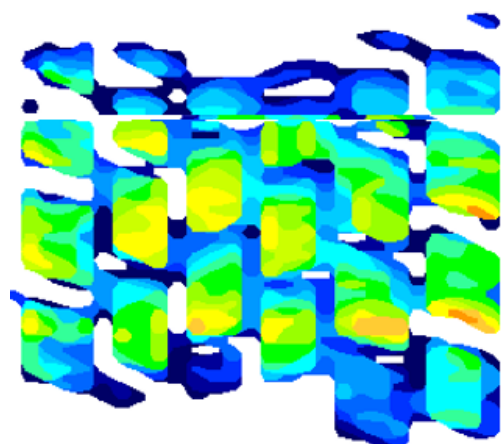
Total kontaktyta höger bakdäck ca 50 000 mm²



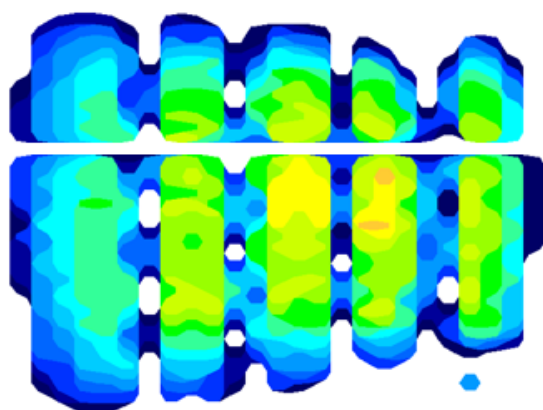
Lastbil med släp och Maxtron



Framdäck vänster, kontaktarea ca 56 000 mm²

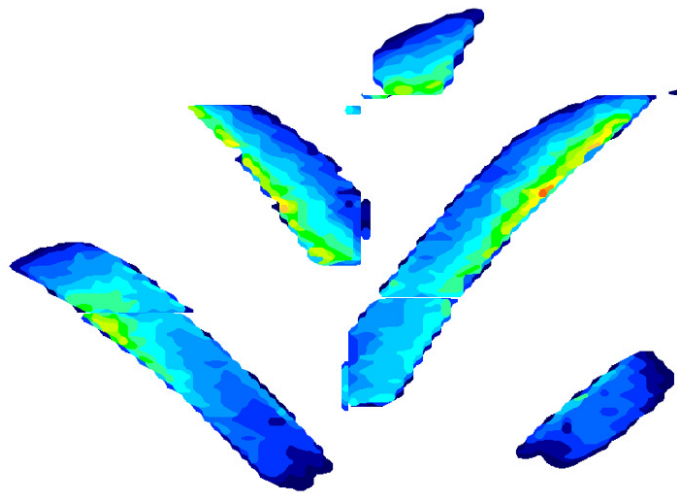


Dragbil hjulpar 2, kontaktarea yttre ca 35 000 mm² och inre däckets kontaktarea ca 32 000 mm²

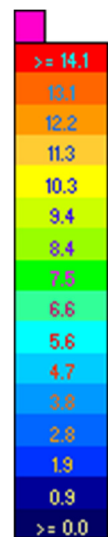
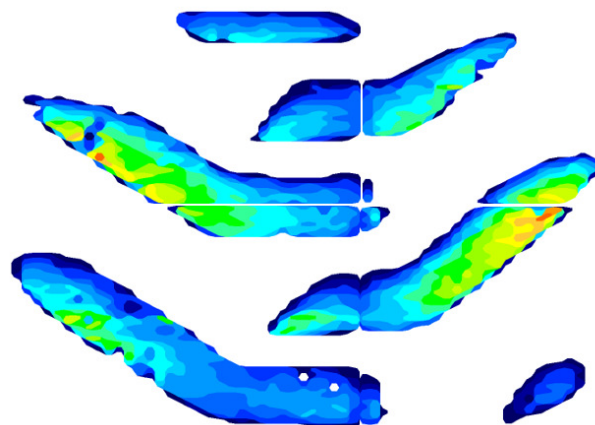


Hjul 6 (släpvagnen), kontaktarea ca 30 000 mm²

Traktor med släp 10 ton

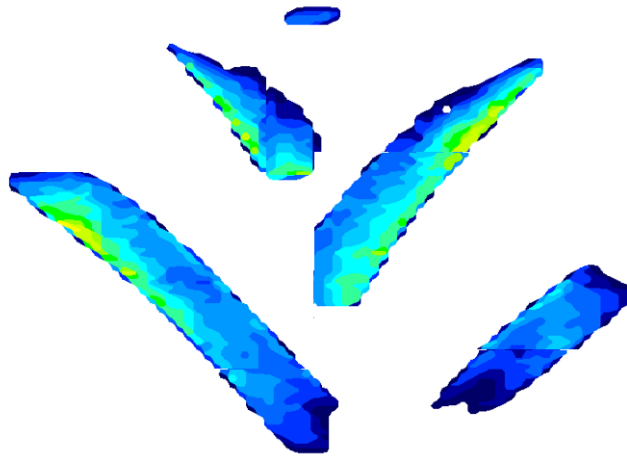


Traktor 10t, kontaktarea ca 79 000 mm²

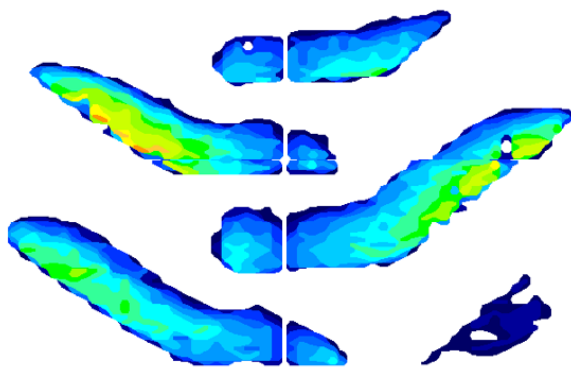


TraktorVagnhjul 10t, kontakt area ca 66 000 mm²

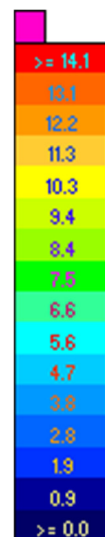
Traktor med släp 8 ton



Traktor 8 t, Kontaktarea ca 65000 mm²



Traktor vagnhjul 8t, kontaktarea ca 58 500 mm²



Kristinelundsvej, MFV Testing

September 2018



Kristinelundsvej for Vejdirektoratet, Denmark

Report Status: Version 00 Revision 00 – 11/09/2018

Job Details

| | | |
|----------------------------|---|--|
| Dynatest Job No. | : | 2018031 |
| Job Title | : | Udmattelsesforsøg med Landbrugskøretøjer |
| Job Description | : | MFV testing to check pavement recover |
| Client Name | : | Vejdirektoratet |
| Client Address and Contact | : | Guldalderen 12, 2640 Hedehusene, Denmark |

Quality Assurance Procedure

| | | | | | |
|--------------------|---|-------------------|------|---|--------------------|
| Field Measurements | : | Edoardo Poggesi | Date | : | September 6, 2018 |
| Prepared by | : | Marco Francesconi | Date | : | September 11, 2018 |
| Checked by | : | Bent Lund | Date | : | September 11, 2018 |

1. Scope of work

Dynatest Denmark A/S was instructed by the Danish Road Directorate to undertake a surface distress survey on Kristinelundsvej, Denmark.

The scope of work is to study the development of raveling after the first test, carried out during the Tractor deterioration test on August 8th.

The last survey has been carried out on September 6th.

The tested road starts from the intersection with Bregningevej for a total length of about 500 meters, as shown in the figure below.



Figure 1.1 – Illustration of the tested area in Kristinelundsvej, Denmark

The test has been carried out in the same way as it was done some weeks before, thus following the same yellow line with the right wheel of the MFV for all the longitudinal direction up to the 500 meters of total length. In this way, the seven sections in which the road had been splint into, will be completely covered.

For the analysis, the same setup has been chosen in order to compare the results following the same concepts.

As the previous test, this pavement evaluation is based on a Multi-Function Vehicles (MFV) for automated pavement data collection and distress surveys, described in detail in the following chapter.

2 Equipment

2.1 The Dynatest Multi-Functional Vehicle (MFV)

The MFV is a sophisticated piece of equipment that incorporates several state-of-the-art technologies in a single vehicle unit. The MFV can deliver all the requirements of the contract specification.

The MFV is equipped with a Class-I Dynatest 5051 Mark-III Laser Road Surface Profiler (RSP) with seventeen laser sensors. Our RSP provides International Roughness Index (IRI) data along with rut depth information encompassing the entire lane width. The MFV is also equipped with a high-definition camera for capturing Right of Way (ROW) images and additional optional cameras for sideways viewed features or panoramic front facing pictures.

To enable accurate locational referencing, the MFV is equipped with an Applanix dGPS system for differential GPS measurements with sub-meter accuracy, as well as a pulse encoded Distance Measuring Unit (DMI). An Inertial Measurement System (IMS) is attached for measurement of longitudinal grade, cross slope and radius of curvature. Lastly, the MFV is equipped with a Laser Crack Measurement System (LCMS) which incorporates laser line projectors, high speed cameras and advanced optics that acquire high resolution 3D profiles of the road. This system permits continuous downward 2D and 3D pavement images in unprecedented detail to be captured and used for performing an automated analysis of visual distresses.

An important feature of the MFV is the “Stop & Go” functionality. In order for the equipment to operate in an efficient manner in urban areas, where traffic lights, stop signs, junctions and roundabouts are prevalent, the profiler has the ability to continue to collect data at speeds down to zero. For a few meters before and after a stop the readings will be affected, but no "run-in" pre-section is needed after the stop.

Following the ASTM 6433 “Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys”, during field inspections 17 distress types can be identified and measured on asphalt pavements (see **Table 1.1**).

Table 1.1 - Asphalt Distress Types

| Code | Distress | Cause |
|------|--------------------------------------|--------------------|
| 41 | Alligator Cracking | Loading |
| 42 | Bleeding | Other |
| 43 | Block Cracking | Climate/Durability |
| 44 | Corrugation | Other |
| 45 | Depression | Other |
| 46 | Jet-Blast Erosion | Other |
| 47 | Joint Reflection Cracking | Climate/Durability |
| 48 | Longitudinal and Transverse Cracking | Climate/Durability |
| 49 | Oil Spillage | Other |
| 50 | Patching and Utility Cut Patching | Other |
| 51 | Polished Aggregate | Other |
| 52 | Raveling and Weathering | Climate/Durability |
| 53 | Rutting | Load |
| 54 | Shoving (adjacent to PCC pavement) | Other |
| 55 | Slippage Cracking | Other |
| 56 | Swell | Other |

2.2 Automated Distress Survey

The automated detection of actual visual distresses such as the different types of cracking, ravelling etc. is increasing fast in popularity due to the limitations and safety issues related to manual walking surveys. The fast developments in Line-Scan camera technology does result in high quality 2D images of the surface of a pavement. These developments have made it possible to analyse these images as well automatically with a high level of reliability. An additional improvement has taken place by use of 3D images instead of 2D, which makes it possible to automatically rate changes in texture making it possible to turn this into severity of cracks and ravelling.

The combination with laser lighting does make it possible to survey pavement surfaces even at night without losing out on the quality of the collected images. The rating of the severity and area of the distresses can be adjusted according to any existing visual distress procedure. Another main advantage is that all collected data is geo-referenced which makes it possible to either link the data to an existing GIS or export the results to Google Earth for optimum visualization of the location of each and any distress types.

2.3 System Description

The LCMS incorporates state-of-the-art Line Laser Projectors, two high speed cameras and advanced optics to acquire both 2D images and high-resolution 3D profiles of the pavement surface. The LCMS system will operate in all types of lighting conditions both during the day and at night and a variety of different pavement types can be measured at survey speeds up to 100 km/h covering a 4m width. Nevertheless, in order to obtain the highest possible longitudinal resolution, the speed should not exceed 40 Km/h. Due to law restrictions and in order to ensure safety on the bridge, the MFV survey was able to be carried out at a minimum speed of 50 Km/h, rather than 80 Km/h allowed by law, thanks to a special permit. The combined cameras can produce an output line of 4096 pixels transversely across the pavement surface with a resolution of 1mm as shown in **Figure 2.1**. They have a depth range of 250 mm (+/- 125mm) and operate at a resolution of 0.5mm. The sensors have a sampling rate of 11,200 profiles per second.

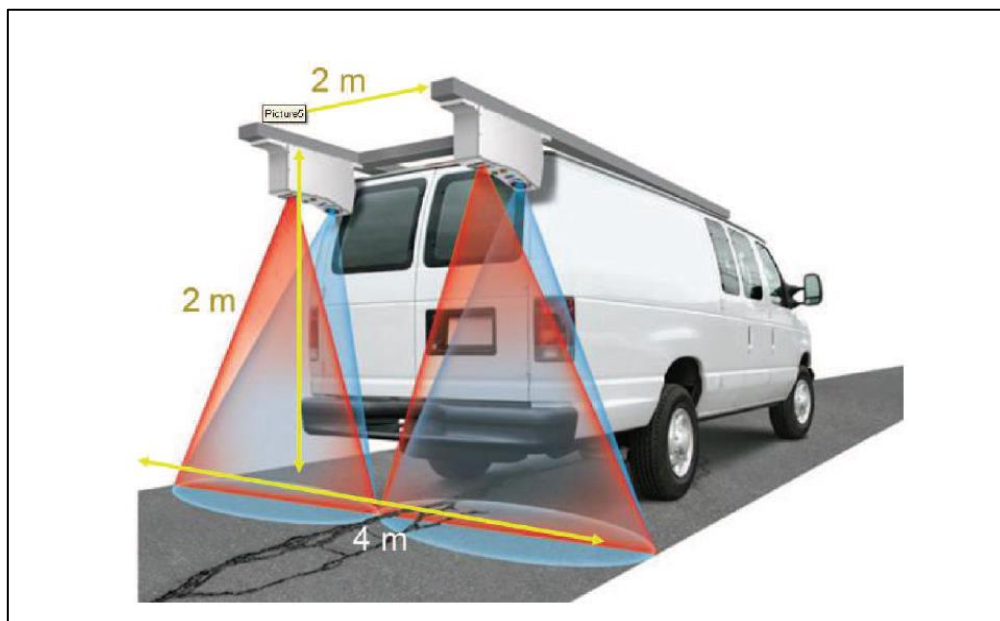


Figure 2.1- Operation of Laser Crack Measurement System (LCMS)

The length of the pavement is acquired by the LCMS using a DMI (Distance measuring Instrument) to synchronize the 3D laser profiler acquisition. In order to get a good quality 3D profile, it is important that the laser line, as seen by the camera, is always bright enough. The data acquisition principle is shown in **Figure 2.2**.

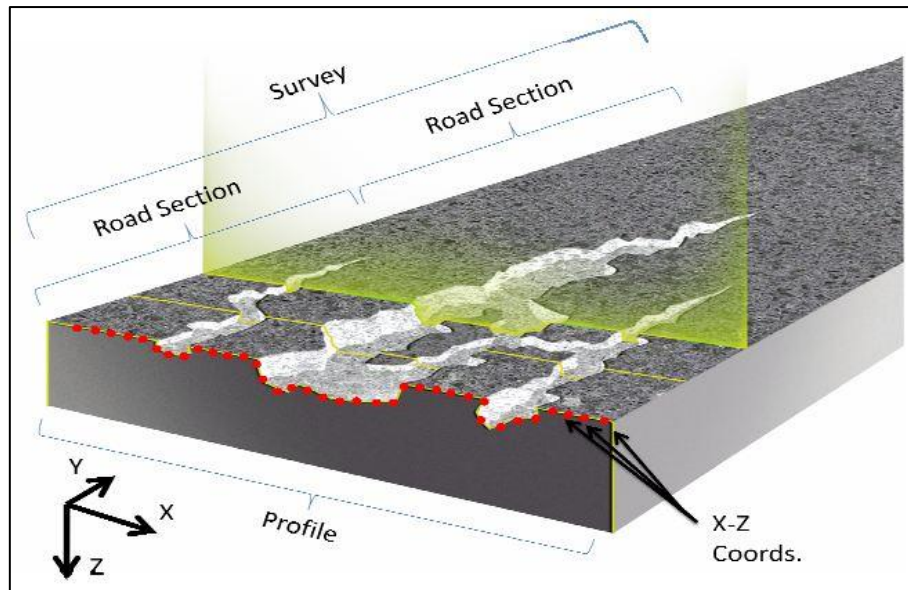


Figure 2.2 - LCMS Principle

Pavemetrics LCMSRoadInspect software is used to analyze the sampled raw data of the pavement surface based on the texture profiles and the Dynatest Explorer (DE) software is used to classify the results into different categories based on the type, length and width of cracks, level of raveling, rutting and roughness. **Figure 2.3** shows the result of the automated crack detecting process. This is the 2-D image where a crack can be seen on the right side.

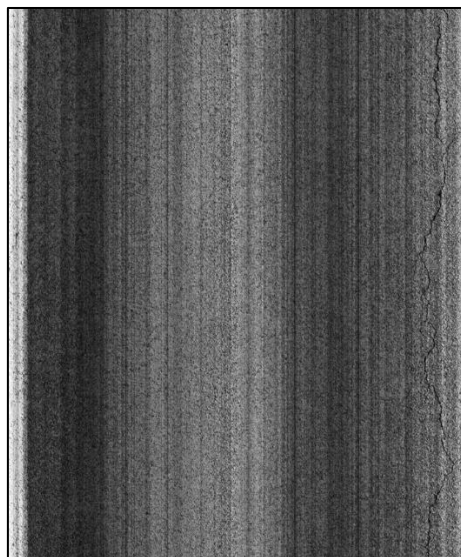


Figure 2.3 - 2D LCMS image of pavement surface

In **Figure 2.4** the 3D image shows the same crack but much clearer now due the grey-scale used to define deviations (cracks) from the horizontal plane.

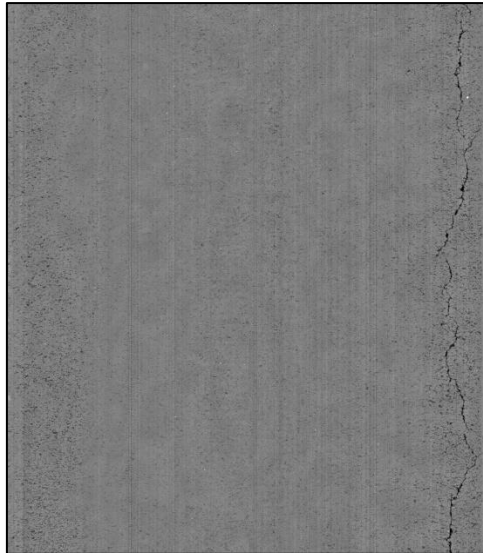


Figure 2.4 - 3D LCMS image of pavement surface

In **Figure 2.5** the result shown is the automated crack detection overlaid on the 2D image. The different colors are related to the width of the cracks which is a linked to the level of severity of L&T cracks (Longitudinal and Transverse).

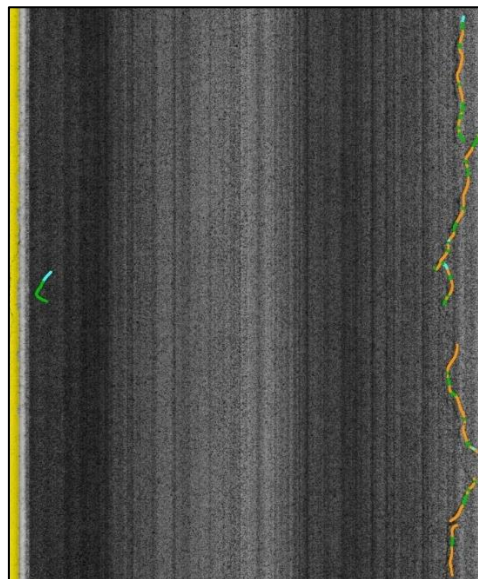


Figure 2.5 - 2D image overlaid with automated analyzed cracking

A major advantage in the use of the LCMS will be that all possible surface distresses will be 100% covered and can be used as a reference of the pavement condition at that time.

2.4 LCMSRoadInspect

The LCMSRoadInspect software is produced by Pavemetrics Inc. and is used to view and analyse the raw data files collected through the LCMS cameras. The available processing modules are:

- Cracking
- Rutting
- Macro-texture
- Lane marking
- Potholes
- Kerbs and Drop-off (optional)
- Ravelling detection
- Sealed cracking (optional)

The software has the capacity to measure the crack width and depth continuously so changes in the crack severity can be captured. This is a significant advantage to other systems in which a single severity level is assigned to each identified crack.

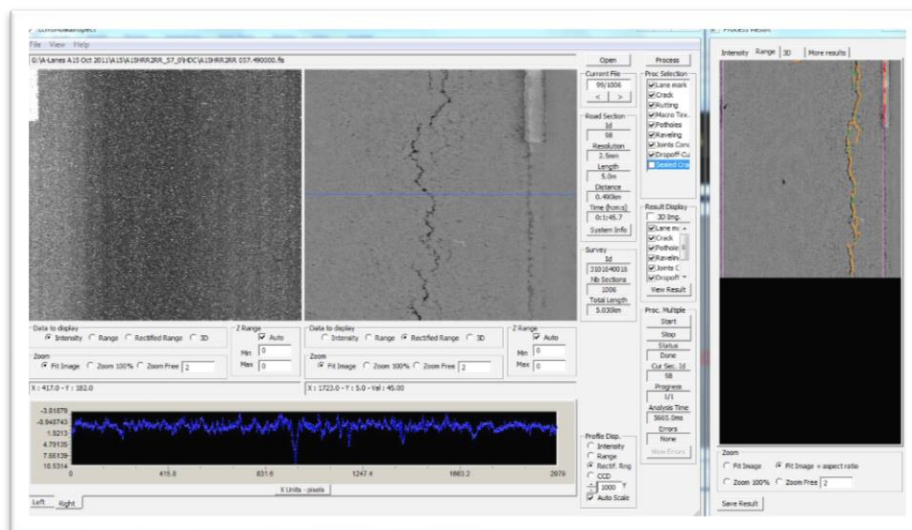


Figure 2.6 - Road Inspect Analysis Screen

The output from the analysis is a xml file type that can be read directly into the Dynatest Explorer software. The following figure shows a selection of the parameters in the program.

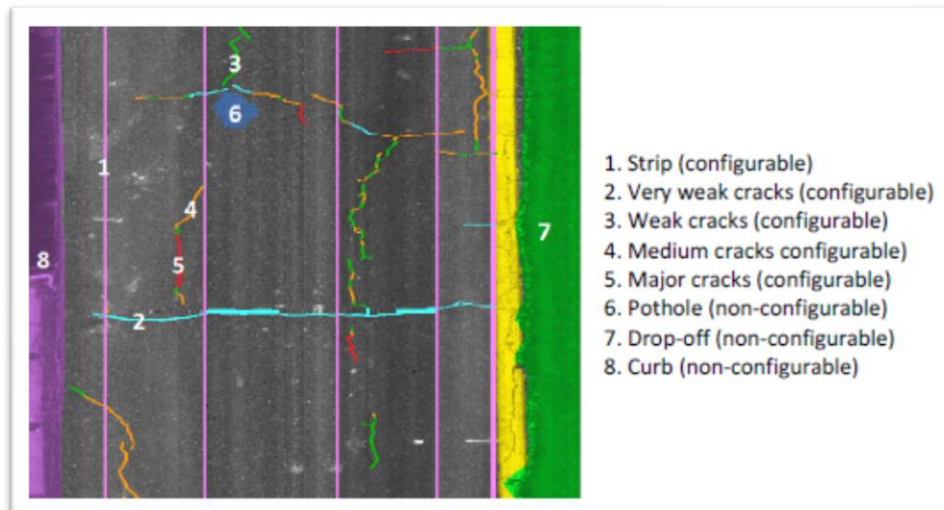


Figure 2.7 - Example of LCMS Road Inspect Parameters

2.5 Dynatest Explorer (DE)

Dynatest Explorer (DE) provides both the analyst and client with a graphical representation and with the ability to view and edit all the data sets collected using the MFV. The data sets, which are collected using various Dynatest pieces of equipment, can be stored and analysed in a single database and exported to different Pavement Management Systems.

Dynatest Explorer also incorporates a mapping module named DTMap which has the capacity to show the survey data as coloured data points which are linked to a condition threshold.

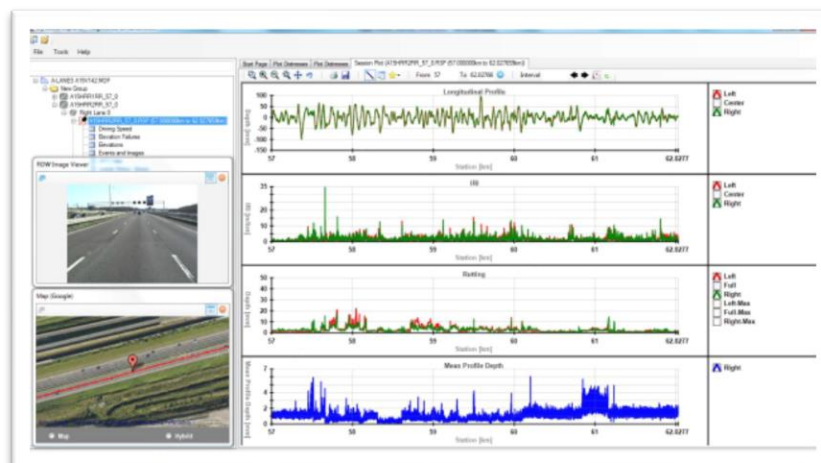


Figure 2.8 - Screenshot of Dynatest Explorer

2.6 Dynatest Rating Module (DRM) and Dynatest Crack Detection (DCD)

The data that is collected through the LCMS can be accessed and organised by DRM, include ROW images, downward facing high definition images, rectified images and data intensity range images. Data can be analysed using user defined parameter sets and exported to either a graphical interface or specific formats.

The DCD Module can import the analysis results of LCMSRoadInspect software and show the results alongside other automatically detected defects. The software also collates the datasets during the import routine which then allows special analysis to be performed on sets of user-defined parameters as shown in the figure below.

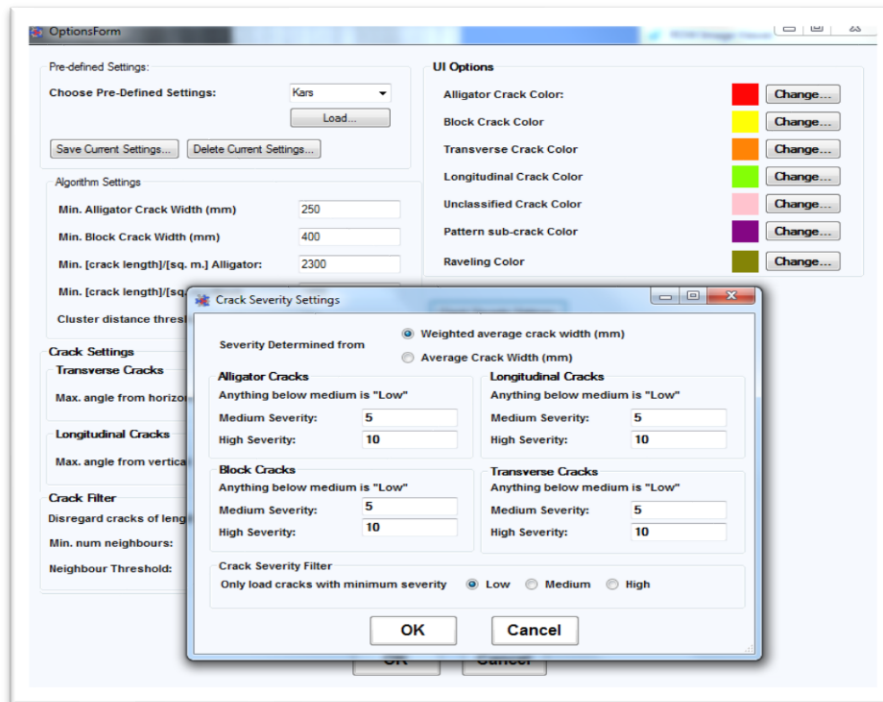


Figure 2.9 - Screenshot of the DCD Crack Severity Settings

A key feature of the DRM/DCD software is the assignment of 250mm by 250mm blocks to areas of ravelling. This functionality then allows different pavement characteristics to be identified transversely across the road width as well as longitudinally. This ability is very important when considering roads that have different pavement types to show lane demarcations between various modes of transport such as cars and bicycles. The following figure shows an example of an area where ravelling has been identified and shown in 250mm by 250mm blocks.

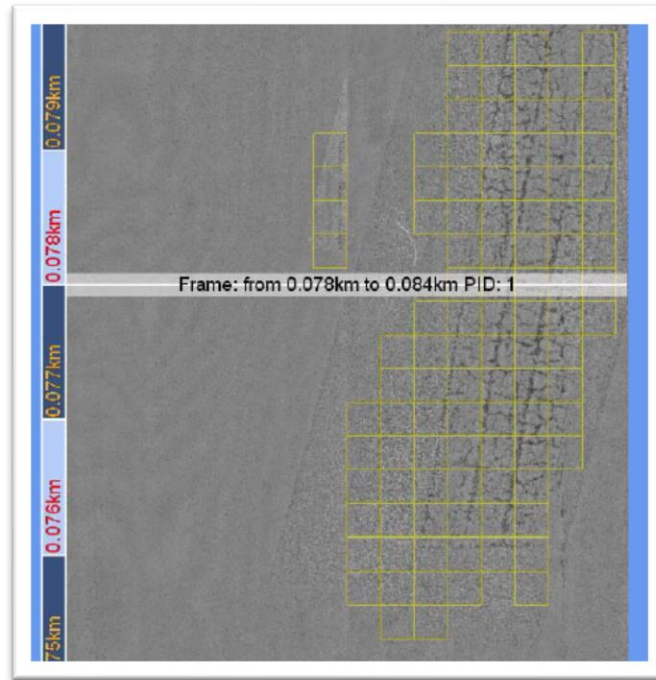


Figure 2.10 - Example DE/DCD Pavement

3 Results

The data from the MFV was passed through the Dynatest suite of analysis programmes as described in the previous chapter.

At the end of the first test, after the passages of the heavy Tractors, only sections 3,4 and 7 showed some area damaged with ravelling.

The results obtained at that time are shown again in **Table 3.1**.

Tabel Fejl! Ingen tekst med den anførte typografi i dokumentet.-1 – Recorded raveling after Tractor Deterioration Test

| Felt | Areal [m ²] | Stentabskategori | | |
|---------------|----------------------------|------------------|--------|-------|
| | | 1 [%] | 2 [%] | 3 [%] |
| Felt 3 | 7.063 | 0.0% | 31.0% | 69.0% |
| Felt 4 | 0.125 | 0.0% | 100.0% | 0.0% |
| Felt 7 | 11.625 | 0.0% | 25.3% | 74.7% |

The total area with Ravelling was therefore computed to be **18.813 m²**.

Evaluating now the results after the last test carried out on September 6th, table **Table 3.2** shows an overview on where ravelling has been recorded after the test carried out September 6th.

Tabel Fejl! Ingen tekst med den anførte typografi i dokumentet.-1 – Recorded Raveling locations after last test

| Overview | | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Felt 1 | Felt 2 | Felt 3 | Felt 4 | Felt 5 | Felt 6 | Felt 7 |
| - | - | - | - | - | X | - |

As it can be noticed in the table above, the only section where Ravelling has been detected is Section 6. This means that the three sections damaged during the Tractor deterioration test have auto recovered during the last weeks.

This could be due to the high temperatures which the asphalt has been subjected to during the summer, but it is not excluded the possibility of seeing some ravelling after the cold season, in case of some passages of heavy vehicles. However, the tested road was subjected in a very limited time to loads which are way higher than the ones expected during its life therefore this effect is not supposed to happen easily.

Moreover, as it will be shown in **Figure 3.1** and **Figure 3.7**, the ravelling detected in Section 6 is probably due to some small rocks on the pavement surface. The automatic detection hasn't been able, in this case, to understand that the rocks were not part of the asphalt mix and has been considered as a loss of aggregate.

In **Table 3.3** is shown the amount and the severity of the recorded ravelling in section 6.

Tabel Fejl! Ingen tekst med den anførte typografi i dokumentet.-3 – Recorded raveling after last test

| Felt | Areal [m ²] | Stentabskategori | | |
|--------|----------------------------|------------------|-------|-------|
| | | 1 [%] | 2 [%] | 3 [%] |
| Felt 6 | 0.562 | 0.0% | 88.9% | 11.1% |

As it can be seen from the table, the total area with Raveling is therefore computed after the last test is **0.562 m²**.

Figure below shows how the automated detection has recorded Ravelling in section 6.

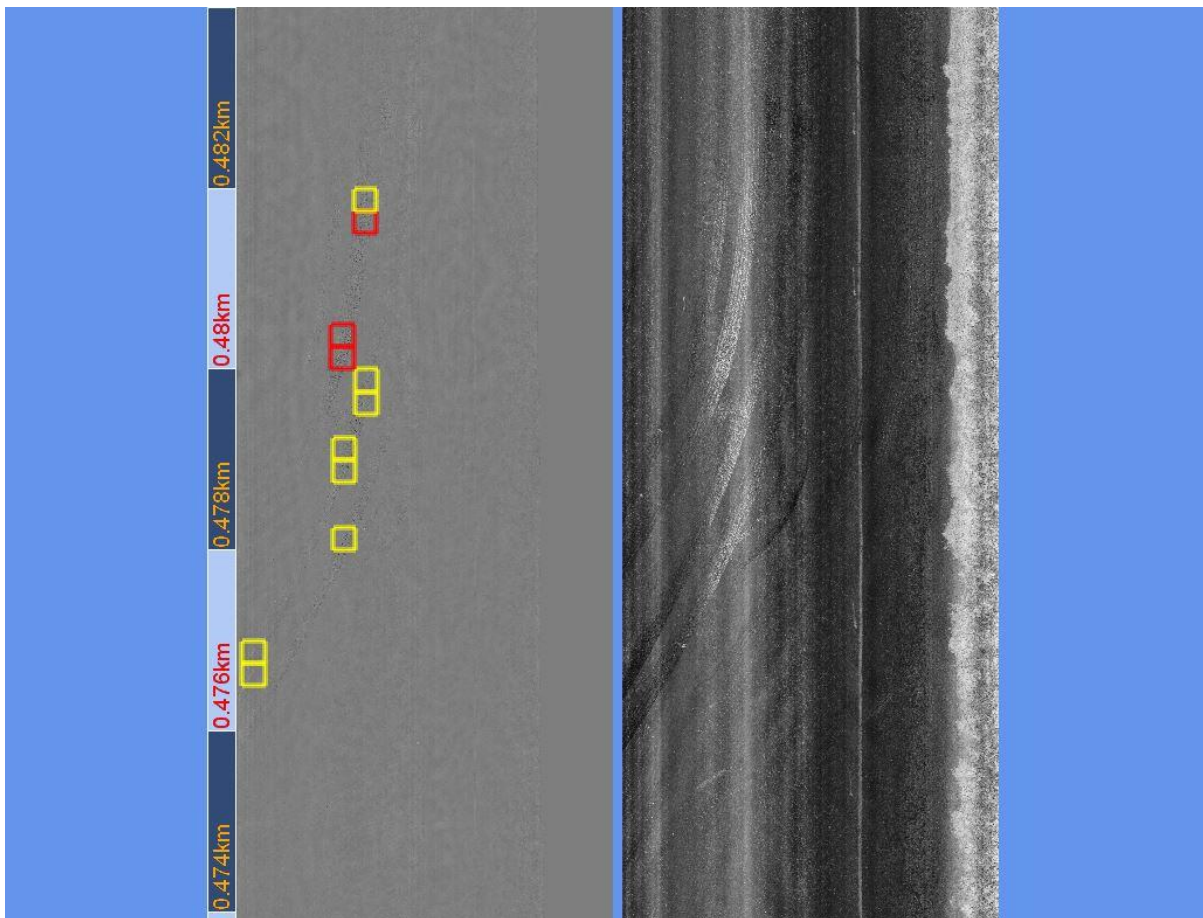


Figure 3.1 – Detection of raveling, Section 6

The following pictures show the condition of the pavement surface in proximity of the seven sections.



Figure 3.2 – Picture from the MFV, Section 1



Figure 3.3 – Picture from the MFV, Section 2



Figure 3.411 – Picture from the MFV, Section 3

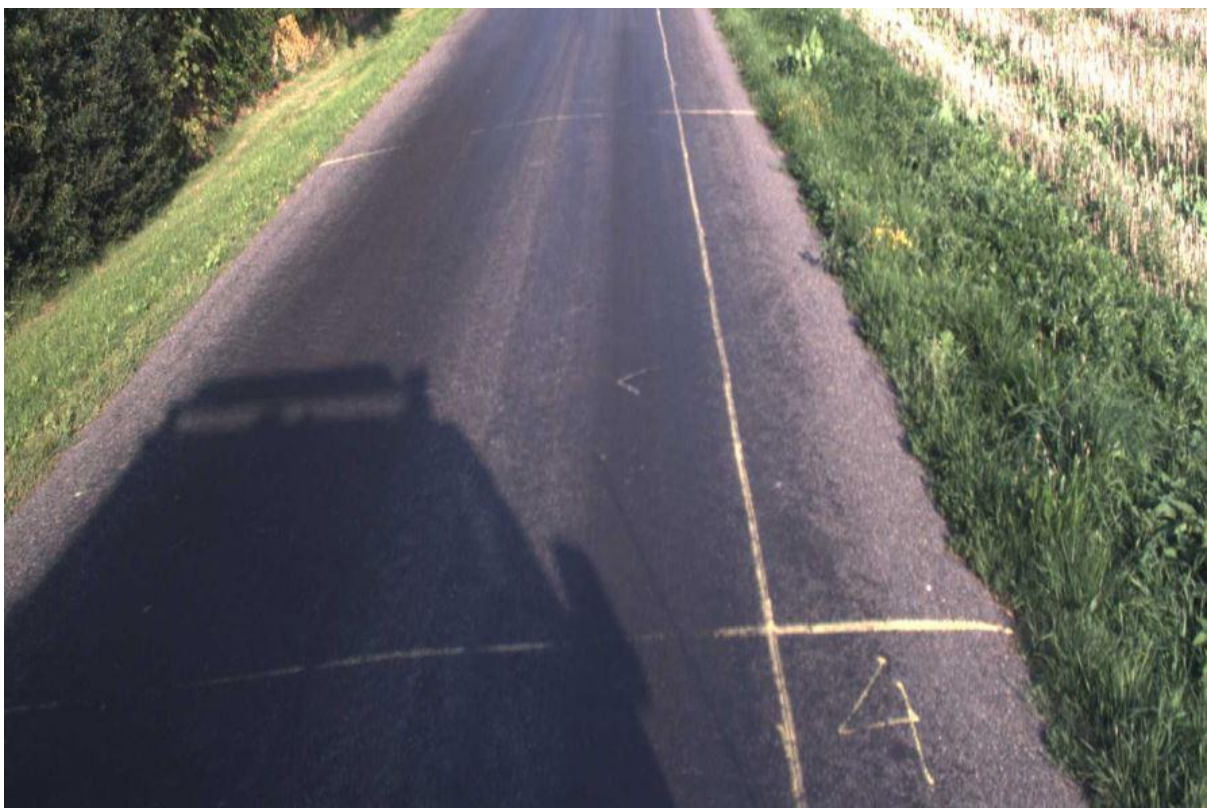


Figure 3.12 – Picture from the MFV, Section 4



Figure 3.6 – Picture from the MFV, Section 5



Figure 3.7 – Picture from the MFV, Section 6



Figure 3.8 – Picture from the MFV, Section 7

4 Conclusions

Dynatest Denmark A/S was instructed by the Danish Road Directorate to undertake a surface distress survey on Kristinelundsvej, Denmark.

The scope of work is to assess how and how much the pavement has recovered after the Tractor deterioration test carried out in early August.

After the test, taken place on September 6th, it can be concluded that the raveling detected after the passages of heavy vehicles hasn't, in case of the last test, been recorded at all.

The same conclusions were expected considering the condition of the pavement surface after a visual inspection.

This could be due to the high temperatures which the asphalt has been subjected to during the summer, but it is not excluded the possibility of seeing some ravelling after the cold season in case of some passages of heavy vehicles.

Only Section 6 has some small indication of ravelling, but this may actually be loose aggregates due to some small rocks on the pavement surface during the Survey.