

Identifisering av sprekker i vegflaten ved 3D laserskanning

Erlend Andreas Melhus

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2015

Hovedveileder: Inge Hoff, BAT

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



Oppgavens tittel: Identifisering av sprekker i vegflaten ved 3D laserskanning	Dato: 02.06.2015 Antall sider (inkl. bilag): 194
Navn: Erlend Melhus	Masteroppgave <input checked="" type="checkbox"/> Prosjektoppgave <input type="checkbox"/>
Veileder: Professor dr. Ing. Inge Hoff (NTNU)	
Eksterne faglig kontakt: Torleif Haugødegård (Vegdirektoratet)	

<p>Ekstrakt:</p> <p>Vegnettet representerer store verdier som krever kontinuerlig overvåking og vedlikehold for å opprettholde ønsket kvalitet. Etter som vegholder ofte har begrensede ressurser er det viktig å prioritere tiltak der disse gir størst samfunnsøkonomisk nytte. I vegforvaltningen gjøres tilstandsanalyser av vegnettet ved bruk av databaserte forvaltningssystem (PMS), som inkluderer jevnlig innsamling, analyse og bruk av informasjon for utvalgte parametere. En parameter som kan inngå i et slike system er sprekker i vegflaten. Formålet med oppgaven er å se på hvordan 3D laserskanning av sprekker i vegflaten kan brukes ved tilstandsanalyse av vegnettet.</p> <p>Første del av oppgaven inneholder et litteratursøk hvor det ses på metoder for innsamling, analyse og bruk av data fra 3D laserskanning. Innsamling av data ble opprinnelig gjort manuelt, og deretter gradvis erstattet av automatiske system med 2D fotodeteksjon, før en i senere tid er begynt å gå over til system med 3D laserskanning. Analyse av data gjøres ved bruk av algoritmer, hvor sprekker kan identifiseres, klassifiseres og deles inn i ulike alvorlighetsgrader. Ferdig behandlet data brukes til å vurdere nåværende og fremtidig tilstand for vegnettet, og danner grunnlaget for å prioritere rett tiltak til rett tid.</p> <p>Andre del av oppgaven inneholder et feltstudie av Statens vegvesens målesystem ViaPPS, hvor det ses på variabilitet, kapasitet og nøyaktighet for 3D laserskannere. Studiet innebærer en sammenligning av nåværende (Cargoscan) og ny (ZF) laserskanner. Analysene utføres ved bruk av parameteren sprekkearealgrad, hvor det brukes et rutenett med ruter på 25*25 cm for å kvantifisere andelen sprekker i vegflaten.</p> <p>Siste del av oppgaven inneholder konklusjon og anbefalinger. Feltstudiet viser flere forbedringer for det nye systemet fra ZF, samtidig som det fortsatt eksisterer betydelige avvik mellom måleserier. Ingen av systemene klarte å identifisere tversgående sprekker ved en hastighet på 60 km/t. For langsgående sprekker ble 80% identifisert av ZF, og 50% av Cargoscan. Det er særlig grunne og smale sprekker som er utfordrende å måle, etter som disse krever høy nøyaktighet på laseren. Oppgaven konkluderer med at 3D laserskanning av sprekker i vegflaten har et stort potensiale, samtidig som kvaliteten på data fra dagens målesystem ikke er god nok for detaljerte analyser. Det mangler også tilpassede rammeverk og metoder for automatiske analyser av sprekker. Etter som teknologien for laserskanning i stadig utvikling vil kvaliteten på måledata sannsynligvis forbedres betraktelig de kommende årene.</p>

Stikkord:

1. 3D laserskanning
2. Sprekker i vegflaten
3. Pavement Management System (PMS)
4. ViaPPS

(sign.)

Forord

Denne oppgaven er skrevet vårsemesteret 2015 ved Institutt for Bygg, anlegg og transport, faggruppe Veg- og Transport, og utgjør siste del av sivilingeniørstudiet i Bygg- og Miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.

Gjennom arbeidet med denne oppgaven har jeg hatt god nytte av støtte fra veileder, bransjefolk og fagpersoner. Jeg vil takke Torleif Haugødegård fra Vegdirektoratet for både faglig veiledning og god hjelp til organisering og gjennomføring av feltarbeidene i Fredrikstad. Videre rettes en takk til ansatte i firmaet ViaTech, som har hjulpet med både fagkunnskap, programvare og data fra feltforsøkene. Jeg vil også takke alle de hyggelige sjåførene av bilene med ViaPPS, som lot meg bli med på kjøretur så vel som lunsj på Veikroa i Fredrikstad. Til slutt vil jeg takke professor Inge Hoff ved NTNU for hjelp og veiledning gjennom semesteret, og for å ha satt meg i kontakt med de rette fagpersonene ved oppstart av oppgaven.

På et mindre faglig plan, men vel så viktig for oppgavens gjennomføring, vil jeg takke alle mine hyggelige medstudenter på lesesalen på Lerka. Vaffel og Quiz-torsdag, heftige dueller i Achtung, Slime og Fun Run samt ufaglige diskusjoner har bidratt til mye trivsel og hygge under arbeidet med oppgaven.

Trondheim, juni 2015



Erlend Melhus

Sammendrag

Vegnettet representerer store verdier som krever kontinuerlig overvåking og vedlikehold for å opprettholde ønsket kvalitet. Etter som vegholder ofte har begrensede ressurser er det viktig å prioritere tiltak der disse gir størst samfunnsøkonomisk nytte. Et sentralt verktøy i dette arbeidet er databaserte vegforvaltningssystem (PMS), hvor en samler inn, analyserer og bruker informasjon om vegnettets tilstand. Dette krever et godt datagrunnlag, hvor årlige målinger av utvalgte nøkkelparametere er en viktig kilde til data. En av parameterne som kan inngå i datagrunnlaget er sprekker i vegflaten. Formålet med oppgaven er å se hvordan 3D laserskanning av sprekker i vegflaten kan brukes ved tilstandsanalyse av vegnettet.

Denne oppgaven er delt inn i 5 hoveddeler, med tilhørende underkapitler og avsnitt.

Første del gir en innledning til oppgavens tema og oppbygging, og gir blant annet en beskrivelse av mål, struktur og avgrensninger.

Andre del består av et litteratursøk hvor det ses på utviklingen av måleteknologi, analysemetoder og forvaltningssystem.

Opprinnelig ble sprekker i vegflaten registrert ved manuelle inspeksjoner. Etter hvert ble det utviklet mobile målesystem basert på 2D foto- og videoteknologi. Dette reduserte både tidsbruk, kostnader og risiko. I tillegg kan data samles inn i et større omfang og mer systematisk enn før. Resultatet av fotodeteksjon er en flate hvor identifiserte sprekker angis med 2D koordinater (x,y). 2D teknologien byr også på utfordringer, hvor blant annet skygger og oljeflekker feilaktig identifiseres som sprekker. Den siste tiden har 2D målesystem blitt gradvis erstattet av system som benytter 3D laserskanning.

3D laserskanning er en aktiv, ikke-destruktiv målemetode. De nyeste skannerne baseres på prinsippet *time of flight*, hvor en måler tiden mellom utsendelse og registrering av refleksjoner fra lysstråler. Skanning av vegflaten gjøres av en bil påmontert en roterende laser som registrerer tversgående profil langs vegbanen. Økt hastighet gir større avstand mellom hvert profil, og dermed en lavere langsgående oppløsning. Tversgående oppløsning avhenger av skannerens frekvens. Hvert målepunkt angis med romlige koordinater (x,y,z), samt en verdi for intensitet. Resultatet av målingene er en punktsky som kan brukes til å lage en 3D modell av vegflaten. Teknologien for laserskanning er svært avansert, noe som gjør systemet følsomt for støy i målingene. Både optisk, mekanisk og elektronisk støy kan bidra til unøyaktigheter i datagrunnlaget.

Når data er samlet inn er neste steg automatisk analyse, som kan deles inn i de tre stegene *identifisering, klassifisering og vurdering av alvorlighetsgrad*.

Identifisering av sprekker gjøres ved bruk av algoritmer, og utføres i to steg. Først finner en alle ujevnheter i vegflaten, før en ser på geometriske relasjoner mellom disse for å avgjøre om ujevnhetene til sammen utgjør en sprekk. For 2D målinger finnes ujevnheter ved å analysere intensiteten på piksler, hvor mørke piksler indikerer dybdeavvik. For 3D målinger analyseres flatens geometri direkte.

Klassifisering utføres med bakgrunn i identifiserte sprekker. Sprekkene kan skilles fra hverandre ved å bruke en eller flere av de følgende kvantitative parameterne: sprekkenes plassering, orientering, lengde, bredde og dybde.

Inndelingen i ulike klasser kan gjøres mange måter, for eksempel ut fra sprekkenes geometri, plassering i vegbanen eller bakenforliggende skadeårsak. Automatisk klassifisering av sprekker er i noen grad omtalt i litteraturen, men foreløpig lite brukt i dagens vegforvaltning.

Vurdering av alvorlighetsgrad kan gjøres med utgangspunkt i klassifiserte sprekker, ved å bruke grenseverdier for kvantitative parametere. For eksempel kan et økende antall parallelle sprekker representere en økning av alvorlighetsgraden. Automatisk vurdering av alvorlighetsgrad er foreløpig ikke tatt i bruk i dagens vegforvaltning.

Resultater fra analysene brukes deretter i vegforvaltningssystem, ofte i form av en indeks eller en annen kvantitativ størrelse. Indekser brukes for å gi et bilde av vegens tilstand, og behov for vedlikehold. Ved å sammenligne indekser fra årlige målinger kan en følge skadens utvikling over tid. Historisk data kan også brukes til å predikere fremtidig skadetilstand. Kunnskap fra prediksjonsmodeller kan danne grunnlag for bedre samfunnsøkonomiske analyser, og øke sannsynligheten for å prioritere riktig tiltak til rett tid. Data fra skanning av sprekker brukes ikke i vegforvaltningen i Norge i dag, men planlegges innført etter hvert.

Tredje del av oppgaven består av et feltstudie av data fra målesystemet ViaPPS, som brukes av Statens vegvesen til årlige målinger av riks- og fylkesveier. Feltarbeidet ble utført på en vegstrekning i Fredrikstad, hvor 6 biler med laserskannere utførte 3 måleserier hver. Halvparten av bilene var utstyrt med det nåværende systemet fra Cargoscan, mens den andre halvparten brukte det nye systemet fra ZF. Studiet gir en indikasjon på kapasitet, variabilitet og nøyaktighet for disse to systemene. Analyser ble utført ved bruk av parameteren *sprekkarealgrad*. Sprekkarealgrad finnes ved å dele vegflaten inn i ruter, og deretter beregne andelen ruter med sprekker i vegbanens lengderetning.

Fjerde del av oppgaven presenterer resultatene fra feltstudiet. Førsøkene viste at ZF har kapasitet til å registrere omtrent halvparten av alle sprekker i vegflaten, noe som er 3-4 ganger så mye som Cargoscan. På grunn av manglende oppløsning registreres ikke tversgående sprekker i normal kjørehastighet ved 60 km/t. Grunne og smale langsgående sprekker krever høy nøyaktighet, og er dermed også utfordrende å identifisere. Når det gjelder variabilitet i målingene ble det funnet betydelige variasjoner i måleresultatet mellom ulike måleserier, målebiler og målesystem. Variasjonene skyldes trolig en kombinasjon av systematiske og tilfeldige avvik, forårsaket av blant annet støy i måleutstyret, bevegelser under selve målingen, samt variasjoner ved beregning av sprekkarealgrad. Det ble også funnet at det nye ZF-systemet sannsynligvis kan forbedres ved ytterligere kalibreringer. Forsøkene viser at dagens teknologi for laserskanning kan brukes til å indikere hvor sprekker finnes, samt hvor stor andel disse utgjør av vegflaten. Samtidig mangler foreløpig nøyaktigheten som kreves for mer detaljerte analyser.

Femte del av oppgaven inneholder diskusjon, anbefalinger og konklusjon. Oppsummert kan en si at datagrunnlaget fra 3D laserskanning i teorien er godt egnet til å inngå i tilstandsanalyser av vegnettet. I praksis begrenses bruken av kvaliteten på datagrunnlaget. Desto bedre grunnlag en har, desto mer detaljerte vurderinger kan gjøres. For målinger fra 3D laserskanner er det kun automatisk identifisering av sprekker som til en viss grad er tatt i bruk i dag. Automatisk klassifisering og vurdering av alvorlighetsgrad krever et bedre datagrunnlag, samt utvikling av tilpassede rammeverk og analysemetoder. Feltstudiet viser at det nye målesystemet fra ZF representerer en rekke forbedringer, samtidig som det fortsatt eksisterer noen utfordringer før teknologiens fulle potensiale kan utnyttes. Det er sannsynlig at utviklingen av 3D laserskanning vil fortsette i et høyt tempo, med stadig økende kvaliteten på målingene. Økt kvalitet vil også øke nytteverdien for bruk av data fra 3D laserskanning i vegforvaltningen.

Summary

The road network represent a great value that requires continuous monitoring and maintenance to prevent deterioration. Due to budget limitations, it is important to prioritize measures where these provides the overall greatest economic benefit. A key tool in this work is Pavement Management Systems, where one collects, analyzes and uses information about road network condition. This requires a good database, where annual surveys of selected key parameters is an important component. One of the parameters that may be included are cracks in the road surface. The main goal of this thesis is to take a look at how 3D laserscanning of cracks in the pavement can be used in the overall condition survey of the road network.

This thesis is divided into 5 main sections, with associated sub-chapters and paragraphs.

The first part provides an introduction to the thesis' theme and structure. The overall objective of the thesis is to investigate how 3D laser scanning can be used to identify cracks in road surfaces, and how this information can be analyzed and used by road owners.

The second part consists of a literature review, which investigates the development of road crack measuring technology, methods for analyzing data and system used in the management of the road network.

Originally, cracks in road surfaces were registered by manual inspections. Eventually mobile measurement system based on 2D photo and video technology were developed. This reduces both the time spent, costs and risks involved in measuring cracks. In addition, data are now collected on a larger scale and more systematically than before. The result of photo-detection is a surface where the identified cracks are indicated by 2D coordinates (x, y). 2D technology also represent some challenges, including shadows and oil stains which sometimes are identified as cracks. Lately 2D measurement system has been gradually replaced with system using 3D laser scanning.

3D laser scanning is an active, non-destructive measurement method. The latest scanners are based on the principle called time of flight, where one measures the time between transmission and recording of light rays' reflections. Scanning of the road surface is done by a customized car, equipped with a rotating laser which detects transverse profiles along the roadway. Increased speed also increases the distance between each profile, and thus lower the longitudinal resolution of the data. The transverse resolution depends on the scanner frequency. Each registration consists of a point with spatial coordinates (x, y, z) and a value for intensity. The final result is a point cloud, which can be used to create a 3D model of the road surface.

The technology of laser scanning is very advanced, making the system sensitive to noise in the measurements. Both optical, mechanical and electronic noise contributes to inaccuracies in the data.

Once data is collected, the next step is automatic analysis, which can be divided into the steps of *identification*, *classification* and *assessment of severity*.

Identification of cracks is based on algorithms, and is performed in two operations. First one identifies all the irregularities in the road surface, and then uses geometric relationships to determine whether irregularities is part of a crack. For 2D measurements the irregularities are identified by analyzing the intensity of pixels, where dark pixels indicates depth deviations. For 3D measurements the road surface geometry is analyzed directly.

Classification is performed based on the identified cracks. The cracks can be distinguished from each other using one or more of the following parameters: crack location, orientation, length, width and depth. The division into classes can be done many ways, for example based on the crack geometry, position on road surface, or from the underlying cause of damage. Automatic classification of cracks are to some extent discussed in the literature, but not used in today's Pavement Management Systems.

Assessment of severity can be done by assessment of the classified cracks, using limits for quantitative parameters. For example, an increasing number of parallel cracks could represent an increase in severity. Automatic assessment of severity is not yet implemented in today's Pavement Management Systems.

The results from the road crack assessment can then be used in Pavement Management System, as an index or other quantitative parameter. Indexes says something about the road's condition, indicating the need for maintenance measures. By comparing indexes based on annual measurements of cracks, one can assess the development of cracks over time. By using historical data one can also attempt to predict future damage development. Knowledge from prediction models can be a useful supplement for the cost-benefit assessment, and increase the likelihood of prioritizing the right measures at the right time. Pavement crack data are not used by the road administration in Norway today, but are planned implemented in the future.

The third part of the thesis consists of a field study of data obtained from the ViaPPS measuring system, used by the Norwegian Public Road Administration to do annual surveys of the road network. Laser scanning was done over a 1 kilometer long road in Fredrikstad, where 6 cars performed 3 series of measurement each. Half of the cars were equipped with the current

Cargoscan system, while the other half used the new ZF system. The study provides an indication of capacity, variability and accuracy for these two systems. Analyses were performed using a parameter called sprekkarealgrad. Sprekkarealgrad is found by first dividing the road surfaces into squares, and then calculate the percentage of the squares containing cracks in the longitudinal direction.

The fourth part presents the results of the field study. These show that ZF has the capacity to register about half of all cracks in the road surface, which are 3-4 times as much as Cargoscan. Due to lack of resolution, transverse cracks can not be identified at normal driving speed. Shallow longitudinal cracks requires high accuracy and is thus more difficult to identify, especially for Cargoscan. When it comes to the variability of the measurements, it was found relatively large deviations both between different measuring series, between cars and between measuring system. The deviations is probably due to a combination of systematic and random deviations, caused by noise measurement equipment, movements during the measurement and inaccuracies in the calculation of sprekkarealgrad. The new ZF system can probably be improved by performing additional calibration. The current system for laser scanning can be said to be suitable to indicate whether cracks exist, as well as the amount of cracks on the road surface, but not yet accurate enough for more extensive analyzes.

Part five contains discussion, recommendations and conclusion. In summary, the data from 3D laser scanning is in theory very well suited for analysis and use in Pavement Management Systems. In practice however, use is limited by the quality of the data. The better quality, the more detailed the analysis can be. Today only automatic identification of cracks is to some extent used. Automatic classification and assessment of severity requires better data, as well as the development of new frameworks and analytical methods. The field study shows that the new scanner represents a considerable improvement. However, it still exist some challenges that must be solved before the technology can be considered mature. It is likely that the development of 3D laser scanning will continue at a fast pace, and constantly improve the data quality. Improved quality will increase the usefulness of crack data used in Pavement Management Systems.

Innholdsfortegnelse

FORORD	3
SAMMENDRAG	5
SUMMARY.....	8
INNHOLDSFORTEGNELSE	11
FIGURLISTE	14
TABELLISTE	18
DEL 1 - INNLEDENDE DEL	1
KAPITTEL 1 - OM OPPGAVEN	2
1.1 Mål	2
1.2 Struktur.....	3
1.3 Avgrensninger.....	4
1.4 Definisjon av sentrale begrep.....	5
KAPITTEL 2 - METODIKK	7
2.1 Utførelse av litteratursøk.....	8
2.2 Utførelse av feltarbeid	9
2.3 Utførelse av etterarbeid.....	10
DEL 2 – LITTERATURSØK OG TEORI	11
KAPITTEL 3 – INNLEDNING OG BAKGRUNN.....	12
KAPITTEL 4 - KRAV OG RAMMEVERK	15
4.1 Drift, vedlikehold og forvaltning av vegkapital	15
4.2 Tilstandsanalyse av vegnettet.....	17
4.3 Krav for tilstand på vegnettet	18
KAPITTEL 5 - INNSAMLING AV DATA	20
5.1 Måleteknologi.....	20
5.2 Mobile målesystem.....	30

5.3 <i>Behandling av data</i>	34
KAPITTEL 6 - ANALYSE AV DATA	44
6.1 <i>Klassifisering av sprekker</i>	45
6.2 <i>Vurdering av alvorlighetsgrad</i>	48
KAPITTEL 7 - BRUK AV DATA	50
7.1 <i>Pavement Management System</i>	50
7.2 <i>Tilstandsindekser</i>	52
7.3 <i>Bruk av tilstandsindekser</i>	53
7.4 <i>Prediksjonsmodeller</i>	54
KAPITTEL 8 - INNSAMLING, ANALYSE OG BRUK AV DATA FRA VEGNETTET I NORGE	56
8.1 <i>Innsamling av data - ViaPPS</i>	56
8.2 <i>Analyse av data</i>	60
8.3 <i>Bruk av data – PMS og NVDB</i>	66
8.4 <i>Rammeverk – Håndbok V261</i>	69
KAPITTEL 9 - ÅRSAKER TIL SKADER I VEGFLATEN	71
DEL 3 - FELTARBEID	73
KAPITTEL 10 - UTFØRELSE AV FELTARBEIDET	74
10.1 <i>Laserskanning av strekning på 200 meter</i>	76
10.2 <i>Fotografering av flate på 8 meter</i>	77
KAPITTEL 11 - BEARBEIDING AV DATA	78
11.1 <i>Analyse av strekning på 200 meter</i>	78
11.2 <i>Analyse av flate på 8 meter</i>	81
DEL 4 – RESULTATER FRA FELTARBEIDET	89
FELTARBEID DEL 1 - ANALYSE AV STREKNING PÅ 200 METER.....	90
FELTARBEID DEL 2 - ANALYSE AV FLATE PÅ 8 METER.....	99

DEL 5 – DISKUSJON, ANBEFALINGER OG KONKLUSJON.....	111
KAPITTEL 12 - DISKUSJON	112
12.1 Usikkerheter og feilkilder i feltarbeidet	113
12.2 Teknologi for identifisering av sprekker	121
12.3 Metodikk for identifisering av sprekker.....	142
12.4 Bruk av data i vegforvaltningen.....	145
KAPITTEL 13 - ANBEFALINGER.....	147
KAPITTEL 14 - KONKLUSJON	150
KAPITTEL 15 - VIDERE ARBEID	154
REFERANSELISTE	156
VEDLEGG OG BILAG.....	158

Figurliste

Figur 1 Oversikt over tema i oppgaven	13
Figur 2 Kurve som viser optimal samfunnsøkonomisk forvaltning av vegkapitalen	16
Figur 3 Oversikt over bruksområder for data fra laserskanning.	22
Figur 4 Skisse av konseptet bak triangulering (Hentet fra: intechopen.com)	23
Figur 5 Skisse av konsept bak pulsmålinger	24
Figur 6 Illustrasjon av hvordan støy påvirker målinger av en laserpuls	25
Figur 7 Skisse av konsept bak faseskiftmålinger	26
Figur 8 Illustrasjon av faseskift hos reflektert bølge	26
Figur 9 Skisse av to prinsipp for flerfaseskanning	28
Figur 10 Bruk av georadar for identifisering av sprekker i vegflaten	29
Figur 11 Bruk av varmekamera for identifisering av sprekker i vegflaten	29
Figur 12 Illustrasjon av en målebil ViaPPS og laser fra Cargoscan	30
Figur 13 Prinsipp for laserskanning av vegflate med et mobilt målesystem.....	32
Figur 14 Identifisering av sprekker fra foto (Hentet fra ej.iop.org)	35
Figur 15 Oversikt over metoder for analyse av 2D målinger av vegflaten	35
Figur 16 Bruk av histogram for identifisering av områder med sprekker	36
Figur 17 Detaljert intensitetsanalyse	37
Figur 18 Prinsipp for en seed-growing algoritme	38
Figur 19 Sprekker identifisert ved bruk av seed-growing algoritme	38
Figur 20 Korrigering av storskalavariasjoner for 3D lasermålinger	39
Figur 21 En geometrisk NURBS-overflate (Hentet fra: grayholland.com)	40
Figur 22 Metode for identifisering av langs- og tversgående sprekker ved 3D laserskanning	41
Figur 23 Identifisering av ujevnheter i skanneprofil	42
Figur 24 Resultat av sprekke-deteksjon for 3D flate	43
Figur 25 Inndeling av vegbanen i 5 soner etter metode fra World Road Association	45
Figur 26 Eksempel på klassifisering av en alligatorsprekk fra Distress Identification Manual	47

Figur 27 Vurdering av alvorlighetsgrad i Distress Identification Manual	49
Figur 28 Illustrasjon av PCI skalaen (Hentet fra fulltext.koreascholar.com).....	52
Figur 29 Illustrasjon av prediksjonsmodell (Hentet fra fulltext.koreascholar.com)	54
Figur 30 Foto av en ViaPPS målebil med Cargoscan-laser	57
Figur 31 Foto av den gamle Cargoscan-laseren og den nye ZF-laseren	58
Figur 32 Illustrasjon av et 360 skann gjort med ZF-laser	58
Figur 33 Skjerm bilde av brukergrensesnittet i ViaPPS Desktop	60
Figur 34 Utsnitt av grafisk fremstilling målepunkt fra et skanneprofil.....	61
Figur 35 Skjerm bilde av en sprekkrapport åpnet i ViaPPS Analyse.....	62
Figur 36 Skannet flate med ujevnheter fra ViaPPS Desktop	63
Figur 37 Skannet flate med identifiserte sprekker fra ViaPPS Desktop	63
Figur 38 Inndeling av vegen i 5 langsgående soner	64
Figur 39 Illustrasjon av prinsipp for beregning av sprekkarealgrad og sprekkgrad.....	65
Figur 40 Dataflyt for det norske PMS	66
Figur 41 Brukergrensesnitt for PMS 2010	67
Figur 42 Grenseverdier for ujevnheter (IRI) gitt i håndbok R610	68
Figur 43 Tilstandsutvikling for spor, jevnhet og tverfall langs en PMS-parsell	68
Figur 44 Gjennomsnittlig tilstandsutvikling for spor, jevnhet og tverfall for en PMS-parsell	69
Figur 45 Geografisk plassering av vegstrekninger brukt i feltarbeidet	75
Figur 46 Foto av ViaPPS målebil med laser fra Cargoscan under feltarbeidet.....	76
Figur 47 Individuelle foto av vegflaten til bruk for detaljert analyse	77
Figur 48 Oversikt over aggregeringsnivå brukt ved analyse av målinger.....	79
Figur 49 Fargekoding av ulike type sprekker.....	81
Figur 50 Manuell identifisering av sprekker i vegflaten	82
Figur 51 Rutenett brukt ved beregning av sprekkarealgrad for flaten	83
Figur 52 Etablering av referanseverdier for sprekkarealgrad for langsgående sprekker	84
Figur 53 Etablering av referanseverdier for sprekkarealgrad for tversgående sprekker	85

Figur 54 Beskrivelse av metode for beregning av sprekkarealgrad	86
Figur 55 Utsnitt av Excel-ark brukt ved manuell beregninger av sprekkarealgrad.....	87
Figur 56 Eksempel på utregning av gjennomsnittlig sprekkarealgrad for 3 måleserier.....	90
Figur 57 Gjennomsnitt av 3 måleserier for bil P12 - Cargoscan.....	91
Figur 58 Gjennomsnitt av 3 måleserier for bil VTI - Cargoscan	92
Figur 59 Gjennomsnitt av 3 måleserier for bil P15 - Cargoscan.....	93
Figur 60 Gjennomsnitt av 3 måleserier for bil P16 - ZF	94
Figur 61 Gjennomsnitt av 3 måleserier for bil P14 - ZF	95
Figur 62 Gjennomsnitt av 3 måleserier for bil P09 - ZF	96
Figur 63 Gjennomsnittlig sprekkarealgrad for alle biler	97
Figur 64 Gjennomsnittlig sprekkarealgrad for ZF og Cargoscan	98
Figur 65 Identifiserte langsgående sprekker - P12 – Cargoscan	99
Figur 66 Identifiserte langsgående sprekker - P15 – Cargoscan	100
Figur 67 Grafisk fremstilling av sprekkarealgrad for P12 og P15 – Langsgående totalt.....	101
Figur 68 Identifiserte langsgående sprekker - P14 – ZF	102
Figur 69 Identifiserte langsgående sprekker - P16 – ZF	103
Figur 70 Grafisk fremstilling av sprekkarealgrad for P14 og P16 – Langsgående totalt.....	104
Figur 71 Grafisk fremstilling av sprekkarealgrad for P14 og P16 – Langsgående dype	105
Figur 72 Grafisk fremstilling av sprekkarealgrad for P14 og P16 – Langsgående grunne	106
Figur 73 Total sprekkarealgrad for alle automatiske beregninger fra ViaPPS Desktop	107
Figur 74 Manuelt og automatisk beregnet sprekkarealgrad for P 12	108
Figur 75 Manuelt og automatisk beregnet sprekkarealgrad for P15	108
Figur 76 Manuelt og automatisk beregnet sprekkarealgrad for P14 - ZF	109
Figur 77 Manuelt og automatisk beregnet sprekkarealgrad for P16 - ZF	109
Figur 78 Sammenligning av resultat fra laserskanning med ZF og Cargoscan	110
Figur 79 Illustrasjon av posisjonsavvik i måleserier fra samme bil	113
Figur 80 Hastighet for målebil P16 ved skanning av flaten på 8 meter	114

Figur 81	Illustrasjon av langsgående forlengelse av skannepunkt ved akselerasjon	115
Figur 82	Avvik på grunn av støy fra asfaltkant og vegskulder	116
Figur 83	Avgrensning av område til bruk ved beregning av sprekkarealgrad	116
Figur 84	Usikkerhet ved identifisering av ruter med sprekker.....	117
Figur 85	Usikkerhet ved manuell klassifisering av sprekker	118
Figur 86	Avvik ved automatisk sprekkdeteksjon for ulike måleserier.....	119
Figur 87	Kurve for normalfordeling med standardavvik (Hentet fra: mathwarehouse.com)	120
Figur 88	Gjennomsnittsverdi og standardavvik for sprekkarealgrad for alle 6 biler	122
Figur 89	Relativt standardavvik for biler med ZF.....	125
Figur 90	Relativt standardavvik for biler med Cargoscan	125
Figur 91	Plott av absolutt standardavvik for biler med ZF	126
Figur 92	Plott av relativt standardavvik for biler med ZF.....	126
Figur 93	Sammenligning av gjennomsnittlig sprekkarealgrad for ZF og Cargoscan	127
Figur 94	Absolutt og relativt standardavvik for biler med ZF og Cargoscan	128
Figur 95	Absolutt avvik for gjennomsnittlig sprekkarealgrad for ZF og Cargoscan	129
Figur 96	Relativt avvik for gjennomsnittlig sprekkarealgrad for ZF og Cargoscan	129
Figur 97	Fargekoding av ulike kategorier for sprekker.....	131
Figur 98	Sprekkarealgrad for referanseflaten.....	132
Figur 99	Gjennomsnittlig sprekkarealgrad for alle langsgående sprekker for ulike målinger	133
Figur 100	Referanse for alle langsgående dype og grunne sprekker	134
Figur 101	Gjennomsnittlig sprekkarealgrad for langsgående dype sprekker for ZF	135
Figur 102	Gjennomsnittlig sprekkarealgrad for langsgående grunne sprekker for ZF	135
Figur 103	Sammenligning sprekkarealgrad ved automatisk og manuell analyse for ZF.....	136
Figur 104	Sprekkarealgrad ved automatisk og manuell analyse for Cargoscan	137
Figur 105	Automatisk og manuell beregning av sprekkarealgrad for bil P14	138

Tabelliste

Tabell 1 Inndeling i 4 tilstandsgrader fra NS 3424	17
Tabell 2 Grunnparametere brukt ved beregning av tekniske parametere for lasersystemene..	59
Tabell 3 Tekniske parametere for ZF og Cargoscan	59
Tabell 4 Oversikt over skadetyper- og årsaker fra håndbok V261.....	70

Del 1 - Innledende del

Kapittel 1 - Om oppgaven

I dette kapitlet følger en presentasjon av oppgavens mål, struktur og avgrensinger. En liste med definisjoner av sentrale begrep er også inkludert.

1.1 Mål

Målet med oppgaven har bakgrunnen i behovet vegmyndigheter har for innsamling og analyse av data fra vegnettet. For å få en oversikt over vegens tilstand kan en samle inn data for utvalgte nøkkelparametere, blant annet sprekker i vegflaten.

Etter som utviklingen av 3D laserskanning åpner for mobil registrering av sprekker er det ønskelig å se nærmere på muligheter og utfordringer ved denne teknologien.

Rammene for oppgaven defineres av problemstillingen, og er videre konkretisert i form av tre forskningsspørsmål som vil danne den røde tråden i denne oppgaven.

Problemstilling

«Hvordan kan målinger av sprekker i vegflaten med 3D laserskanner brukes ved tilstandsanalyse av vegnettet?»

Forskningsspørsmål

- 1. Hvilken teknologi finnes for å samle inn data om sprekker fra vegflaten, og hvilke muligheter og utfordringer har denne?*
- 2. Hvilke metoder finnes for bearbeiding av data? Hvordan kan en automatisk identifisere, klassifisere og vurdere sprekkenes alvorlighetsgrad?*
- 3. Hvordan kan informasjon fra skanning av sprekker brukes i vegforvaltningen?*

1.2 Struktur

Oppgaven er delt i 5 hoveddeler, hvor hver del består av underkapitler med tilhørende avsnitt.

Oppgavens 5 deler vises under.

- **Del 1 – Innledende del**
- **Del 2 – Litteratursøk og teori**
- **Del 3 – Feltarbeid**
- **Del 4 – Resultater**
- **Del 5 – Diskusjon, anbefalinger og konklusjon**

Del 1 gir en oversikt over oppgaven, og definerer overordnede rammer og struktur.

Del 2 inneholder en beskrivelse teorien bak teknologi og metodikk for innsamling, analyse og bruk av data fra skanning av sprekker i vegflaten. Det anbefales å lese teorikapittelet først for å sikre en god forståelse av de påfølgende kapitlene.

Del 3 beskriver den praktiske utførelsen av feltarbeidet, inkludert metoder som er brukt ved bearbeiding av rådata.

Del 4 inneholder resultatene fra feltarbeidet, presentert som grafer ved bruk av parameteren sprekkarealgrad.

Del 5 inneholder diskusjon, anbefalinger og konklusjon hvor teori fra litteratursøket ses i sammenheng med resultatene fra feltarbeidet.

Det kan også nevnes at prosessen som inngår i begrepet *tilstandsanalyse* er presentert kronologisk gjennom hele oppgaven, hvor det brukes en inndeling i de tre stegene (1) innsamling av data, (2) analyse av data og (3) bruk av analysert data.

1.3 Avgrensninger

For å sikre at oppgaven holdes innenfor problemstillingens rammer er det valgt å gjøre noen avgrensninger når det gjelder beskrivelse av teknologi, analysemetoder og bruk av data i PMS.

- **Beskrivelse av teknologi:** Teknologien bak laserskanning og mobile målesystem er svært avansert, og inkluderer bruk av en rekke tekniske system. Det er i oppgaven lagt vekt på å gi en overordnet presentasjon av relevant teknologi, og i noen tilfeller en noe mer dyptgående beskrivelse der dette anses som nødvendig for forståelse av oppgavenes innhold.
- **Beskrivelse av analysemetoder:** Det tatt sikte på å gi en overordnet presentasjon av analysemetoder til bruk ved identifisering og klassifisering sprekker, supplert med noen eksempler på enkelte metoder. Detaljerte beskrivelser av algoritmer og alle de ulike metodene anses å være utenfor oppgavens rammer.
- **Beskrivelse av vegforvaltningssystem (PMS):** PMS er en samlebetegnelse for alle system som brukes i vegforvaltningen, og kan dermed inkludere en rekke undersystem avhengig av hvor detaljert en ønsker å dykke ned i det teoretiske grunnlaget. Det er i denne oppgaven valgt å gi en overordnet beskrivelse av PMS, for deretter å fokusere på de delene av systemet som er mest relevant for bruk av data fra 3D laserskanning av sprekker.
- **Beskrivelse av årsaker bak sprekker:** Det er fokusert på identifisering av sprekker slik disse fremstår i vegflaten. De bakenforliggende skadeårsakene er bare kort omtalt.

1.4 Definisjon av sentrale begrep

For å sikre entydig forståelse av sentrale begrep brukt i denne oppgaven gis en liste med definisjon under.

- **Tilstandsanalyse:** I oppgaven brukes en definisjon gitt i standarden NS3424: «*samlet analyse med definering av oppgavens formål, omfang og referansenivå, planlegging, registrering, vurdering og rapportering av tilstand samt beskrivelse av tiltak*». Tilstandsanalyse inkluderer dermed både innsamling, analyse og bruk av data.
- **Vegflate:** Dette er den synlige overflaten av vegen, også kalt slitelag. Vegflaten som omtales i denne oppgaven forutsettes å bestå av asfalt, selv om mye av teorien også vil kunne gjelde for betongdekke.
- **Skade:** Dette er en felles betegnelse på avvik i vegflaten sett i forhold til ny tilstand. En skade kan eksempelvis være ujevnheter, et hull eller sprekker.
- **Sprekk:** En sprekk er en skade i vegflaten, og kan defineres ut fra parametere som plassering, lengde, bredde, orientering og dybde. Sprekker kan videre deles inn i ulike kategorier, som langsgående, tversgående, alligatorsprekker, etc.
- **Data:** Med data menes det innsamlet rådata i ubehandlet form, slik denne lagres direkte fra sensorer. Rådata må behandles før informasjonen kan brukes til videre analyser.
- **PMS:** PMS er en forkortelse for Pavement Management System. PMS brukes som et samlebegrep for alle komponenter som inngår i et vegforvaltningssystem, fra innsamling av data til analyse og bruk.
- **Sprekkarealgrad:** En kvantitativ parameter som beskriver andelen sprekker på en vegflate, gitt som prosentvis areal for et definerte intervall i vegens lengderetning.

- **ViaPPS:** Dette er betegnelsen på det norske målesystemet for 3D laserskanning utviklet av det norske selskapet ViaTech i samarbeid med Statens vegvesen.
- **Cargoscan og ZF:** Navnene refererer til to ulike typer laserskannere som brukes i ViaPPS-målesystemene i Norge. Cargoscan er produsenten av den nåværende/gamle laserskanneren, mens ZF (Zoller + Fröhlich) er produsenten av den nye laserskanneren som fases inn i 2015. I oppgaven brukes ZF og Cargoscan som samlebegrep for hele målesystemet, inkludert målebil med tilhørende tekniske komponenter.
- **Kapasitet** (for laserskanner): Beskriver målesystemets evne til å identifisere sprekker, og kan uttrykkes ved antall registrerte sprekker / andel areal med sprekker. Desto flere sprekker som identifiseres, desto større kapasitet.
- **Nøyaktighet** (for laserskanner): Beskriver målesystemets evne til å identifisere ulike typer sprekker. Større nøyaktighet gir mulighet til å identifisere sprekker som er «vanskeligere» å oppdage, eksempelvis grunne og smale sprekker.
- **Variabilitet** (for laserskanner): Beskriver variasjoner for identifiseringen av sprekker ved ulike målinger over samme strekning. Økende grad av variasjon av identifiserte sprekker / verdien for sprekkearealgrad mellom ulike måleserier for samme strekning gir økende variabilitet. Variasjoner skyldes en kombinasjon av systematiske og tilfeldige avvik.

Kapittel 2 - Metodikk

Valg av metoder bestemmes av oppgavens problemstilling, samt hvilken informasjon som er nødvendig å for å svare på denne. Et litteraturstudie kan være nyttig for å skaffe oversikt over tidligere arbeid innen samme område. Egne forsøk kan gi dypere innsikt i forhold som ikke omtales i litteraturen. Forsøk kan utføres på mange måter, for eksempel som laboratorieforsøk, spørreundersøkelser eller feltarbeid. Data fra egne eller andres forsøk kan danne grunnlaget for videre analyser og diskusjon.

I denne oppgaven er følgende tre metoder valgt:

- 1. Litteratursøk**
- 2. Feltarbeid**
- 3. Etterarbeid**

Litteratursøket gjennomføres i forkant av feltarbeidet. Hensikten er å innhente kunnskap rundt oppgavens tema i et bredt perspektiv, som et teoretiske grunnlag for videre arbeid. Viktig teori studeres detaljert, mens mindre viktig teori studeres mer overordnet.

Feltarbeidet utgjør den praktiske delen av oppgaven. Teori fra litteratursøket brukes som grunnlag for planlegging og utforming av testopplegget. Hensikten med feltarbeidet er å få en bedre forståelse av hvordan teknologi og metoder brukes i praksis.

Etterarbeidet innebærer bearbeiding, vurdering og drøfting av resultater fra feltarbeidet. Bearbeiding går ut på å klargjøre data og utføre analyser. Deretter vurderes resultatene ved å sammenligne analysene med eksisterende teori. Til slutt drøftes konsekvensene av resultatene, samt hvilke muligheter og utfordringer disse innebærer.

I dette kapitlet følger en kort beskrivelse av hvordan disse tre metodene ble brukt i arbeidet med oppgaven.

2.1 Utførelse av litteratursøk

Oppgavens tema handler om 3D laserskanning, som er en relativt ny teknologi i stadig utvikling. Dette gjør at eksisterende litteratur rundt bruk og erfaring er begrenset, og i mange tilfeller utdatert. Av den grunn har den primære kilden til litteratur vært forskningsartikler og rapporter av nyere dato. Nettbaserte databaser er et viktig verktøy i dette arbeidet.

Databasene som er brukt omfatter flere store internasjonale samlinger som NTNU abonnerer på. Dette inkluderer fulltekstdatabaser som *Science Direct* og *ASCE Library*, samt siteringsdatabaser som *SCOPUS* og *Compendex*. De fleste databasene har gode søkeverktøy hvor en kan tilpasse søket for å få sikre presise resultat. Litteratur publisert ved norske universitet ble funnet gjennom søketjenesten *BIBSYS Ask*.

I tillegg til direkte søk i de ulike databasene ble mye litteratur funnet ved bruk av søketjenesten *Google Scholar*. Fordelen med Google Scholar er at en kan søke i flere ulike databaser samtidig. I tillegg til forskningsartikler ble det også søkt etter rapporter, veiledere og standarder publisert av norske og internasjonale myndigheter.

Ved utvelgelse av litteratur ble det gjort en vurdering basert på *TONE-prinsippet*, hvor en vurderer kriterier som troverdighet, objektivitet, nøyaktighet og egnethet (Universitetsbiblioteket, 2015). Faktorer som tas med i disse vurderingene er blant annet utgivelsesår, antall siteringer, hvor litteraturen er publisert, hvem som har skrevet den og hvor god den faglige kvaliteten er. Litteratur fra de store databasene har dessuten gjennomgått en kvalitetskontroll før publisering.

Programvaren *EndNote* benyttet for å organisere informasjonen som ble funnet.

2.2 Utførelse av feltarbeid

Feltarbeidet ble gjennomført i forbindelse med en felles samling av biler med system fra ViaPPS i Fredrikstad. Samlingen ble holdt i begynnelsen av april, med gode værforhold for skanning. Hensikten med samlingen var å kontrollere for eventuelle avvik i målinger fra forskjellige biler, etter som disse normalt er utstasjonert over hele landet. Målinger ble gjort på en rekke utvalgte strekninger, hvor hver strekning ble skannet tre ganger av hver enkelt bil. Data fra målingene ble deretter samlet inn for videre analyse. Etter som vegvesenet er i ferd med å fase inn en ny type laserskanner ble det utført tester med både ny og gammel teknologi.

Under forberedelsene til feltarbeidet ble det valgt ut en strekning på 1 kilometer som skulle studeres nærmere i denne oppgaven. Den valgte strekningen inneholdt mange sprekker, og egnet seg dermed godt for å teste ViaPPS systemets egnethet for laserskanning av sprekker.

I denne oppgaven brukes data fra seks ulike målebiler, som hver skannet 3 måleserier av strekningen. Halvparten av bilene var utstyrt med gammelt lasersystem, mens den andre halvparten hadde nytt system.

Det ble også valgt ut en vegflate på 8 meter som ble fotografert ovenfra og ned med et digitalkamera. Hensikten med dette var å skaffe et høyoppløselig bilde av vegflaten som kan sammenlignes med målinger fra bilene.

2.3 Utførelse av etterarbeid

Etter litteratursøk og feltarbeid følger etterarbeidet, hvor data fra felt skal analyseres og vurderes i lys av teorien.

Data fra teststrekningen ble lastet inn i programvarene *ViaPPS Desktop*, som ble brukt til å lage en *sprekkrapport* for hver måleserie. Sprekkrapporten beregner andel identifiserte sprekker per lengdeenhet langs vegstrekningen ved bruk av parameteren sprekkarealgrad. Data fra sprekkrapporten ble importert i regneprogrammet Excel for videre analyser.

I Excel ble data for de 3 måleseriene fra de 6 bilene benyttet til å analysere automatisk beregnet sprekkarealgrad for en 200 meter lang seksjon av vegstrekningen.

ViaPPS Desktop viser også en flate på 4*10 meter estimert fra målingene. Ujevnheter på flaten er markert, hvor en tilstrekkelig stor samling tilliggende punkt vises som sprekker. Disse flatene ble hentet ut for alle målingene for den utvalgte flaten på 8 meter som også ble fotografert.

Foto av vegoverflaten ble deretter satt sammen til et stort foto på 4*8 meter, ved bruk av programmet *Adobe Photoshop*. Det store fotoet ble deretter lastet inn i *Adobe Illustrator*, sammen med bilder av de skannede flatene fra målingene. Ved å bruke det høyoppløselige fotoet som referanse ble det utført en analyse av skannernes nøyaktighet ved bruk av parameteren sprekkarealgrad

Resultatene fra analysene er deretter diskutert og brukt til å vurdere kapasitet, nøyaktighet og variabilitet for nytt og gammelt målesystem.

Del 2 – Litteratursøk og teori

Kapittel 3 – Innledning og bakgrunn

Vegnettet representerer store verdier som krever kontinuerlig overvåking og vedlikehold for å opprettholde ønsket kvalitet. Etter som vegholder ofte har begrensede ressurser er det viktig å prioritere tiltak der disse gir størst samfunnsøkonomisk nytte. For å være i stand til å gjøre samfunnsøkonomiske vurderinger er det nødvendig med et godt datagrunnlag, samt et system for håndtere dette. Verktøyet som benyttes til dette kalles *PMS – Pavement Management System*.

Et godt PMS bør være i stand til å jevnlig samle inn og oppdatere nødvendig data, samt utføre tilstandsanalyser til støtte i beslutningsprosesser for drift, vedlikehold, rehabilitering og oppgradering av eksisterende infrastruktur (Haas et al., 1994). Ved å identifisere og kvantifisere utvalgte tilstandsparametere kan en etablere indekser som sier noe om en vegstreknings nåværende og fremtidig tilstand.

Desto mer avanserte analysemetoder som tas i bruk, desto større krav stilles til innsamlet data, hvor både mengde og kvalitet er viktig. Manuell datainnsamling tar mye tid, innebærer risiko for ulykker og er kostbart. En annen utfordring ved manuelle målinger er stor variabilitet i innsamlet data, noe som gjør det vanskelig å sammenligne og aggregere data fra ulike målserier.

Ny teknologi åpner for å automatisere deler eller hele prosessen som inngår i tilstandsanalyse av vegnettet. Dette gir mange fordeler for vegforvaltere, og flere har allerede tatt i bruk automatiske metoder. En stadig teknologisk utvikling gjør at bruksområdene for databaserte system kontinuerlig utvides til å inkludere flere sider av planlegging, drift og forvaltning.

Denne oppgaven fokuserer på automatisk innsamling, analyse og bruk av data fra laserskanning av sprekker. Til innsamling brukes mobile målesystem, som i praksis er spesialbygde biler utrustet med en rekke sensorer. Bilene kjører jevnlig over vegnettet og samler inn data for en rekke parametere, blant annet sprekker. Målinger kan utføres blant vanlig trafikk, i hastigheter opp til 100 km/t alt etter krav til nøyaktighet på målingene (Sahaf and Rahimi, 2014).

Sprekkdeteksjon basert på 2D teknologi har vært i bruk en god stund allerede. Ved 2D sprekkdeteksjon brukes foto av vegflaten som grunnlag identifisering av sprekker. Sprekker finnes ved å bruke algoritmer som analyserer fotoets piksler, hvor mørkere piksler kan indikere sprekker. Den siste tids utvikling innen 3D måleteknologi har åpnet for nye muligheter når det gjelder sprekkdeteksjon. I motsetning til 2D teknologi kan en ved 3D laserskanning estimere en geometrisk flate av vegflaten, hvor sprekker kan identifiseres direkte som dybdeavvik i flaten.

Desto bedre datagrunnlag en har, desto mer detaljerte analyser kan gjøres. I litteraturstudiet er det sett på hvor langt en er kommet i automatisk innsamling og behandling av data for sprekker i vegflaten. For asfaltdekker anså en innsamling av data, identifisering av sprekker og uthenting av parametere som plassering, orientering, bredde og lengde som fullt mulig å utføre med dagens teknologi (Koch et al., 2015). Kvantifisering av alvorlighetsgrad er delvis mulig, mens en total tilstandsvurdering foreløpig ikke er tatt i bruk. Etter hvert som teknologi og metoder modnes vil flere av disse prosessene kunne inkluderes i vegforvaltningen.

Figuren under viser en oversikt over tema som omtales i teoridelen.



Figur 1 Oversikt over tema i oppgaven

Teoridelen inneholder egne kapitler for *innsamling, analyse og bruk av data* fra laserskanning av vegflaten. Det er også inkludert noe teori rundt *rammeverket* som danner grunnlaget for disse aktivitetene.

I kapittel 4 omtales de overordnede rammende for drift, vedlikehold og rehabilitering av vegnettet i Norge. Det ses videre på hvilke krav som gjelder for standard på norske riks- og fylkesveger. Noen definisjoner av sentrale begrep som drift, vedlikehold, forvaltning og tilstandsanalyse er også gitt.

I kapittel 5 følger en oversikt over teknologi for innsamling av data om sprekker i vegflaten, hvor både 2D og 3D målinger omtales. For 3D laserskanning omtales to ulike tekniske prinsipp, *triangulering* og *time of flight*. Time of flight kan videre deles inn i *pulsmålinger* og *faseskiftmålinger*. Videre følger et avsnitt om mobile målesystems oppbygging og bruk. Deretter presenteres metoder for behandling av data fra målingene, inkludert noen eksempler på metodikk for identifisering av sprekker ved 2D og 3D målinger.

Kapittel 6 handler om analyse av data i form av klassifisering og vurdering av alvorlighetsgrad.

Kapittel 7 tar for seg bruken av innsamlet data. Den generelle teorien rundt PMS presenteres, og bruk av tilstandsindekser og prediksjonsmodeller forklares.

Kapittel 8 handler om innsamling, analyse og bruk av data fra skanning av sprekker i Norge. Dette inkluderer en beskrivelse av målesystemet ViaPPS, samt programvaren ViaPPS Desktop og ViaPPS Analyse. Oppbyggingen av PMS og databasen NVDB er også omtalt.

Kapittel 9 gir en kort oppsummering av årsaker til skader i vegflaten.

Kapittel 4 - Krav og rammeverk

For å sikre akseptabel standard på vegnettet gis det krav og anbefalinger fra myndighetene for drift og vedlikehold av offentlige veger. Et godt og forutsigbart vegnett er en viktig forutsetning for et lands økonomiske velstand.

Kravene fra myndighetene er danner rammebetingelser for en god samfunnsøkonomisk forvaltning av vegkapitalen. I Norge er det Statens vegvesens som gjennom utgivelse av håndbøker sørger for at krav og retningslinjer blir fulgt ved bygging, drift og vedlikehold av vegnettet. For å sette problemstillingen i perspektiv ses det i dette kapitlet litt nærmere på hvilke rammebetingelser som gjelder for den norske vegforvaltningen.

4.1 Drift, vedlikehold og forvaltning av vegkapital

I det følgende defineres de sentrale begrepene drift, vedlikehold og forvaltning av vegkapitalen. Etter planlegging og bygging går alle prosjekter over i en drift- og vedlikeholdsfasen. *Drift og vedlikehold* kan defineres som følger (Aurstad et al., 2011):

«Driften av vegnettet omfatter alle oppgaver og rutiner som er nødvendig for at vegene skal fungere godt for trafikantenes daglige bruk. Dette er aktiviteter som brøyting, strøing med salt og sand, vegoppmerking, vask og rengjøring, oppretting av skilt, skjøtsel av grøntarealer, trafikkstyring og trafikantinformasjon.»

(...)

«Vedlikehold av vegnettet omfatter tiltak for å ivareta den fysiske infrastrukturen. Med dette forstås tiltak for å opprettholde standarden på vegflater, grøfter, bruer, tunneler, vegutstyr og tekniske anlegg/installasjoner i tråd med fastsatte kvalitetskrav.»

En skiller også mellom normalt og tungt vedlikehold, hvor sistnevnte defineres som nødvendig vedlikehold når levetiden er overskredet.

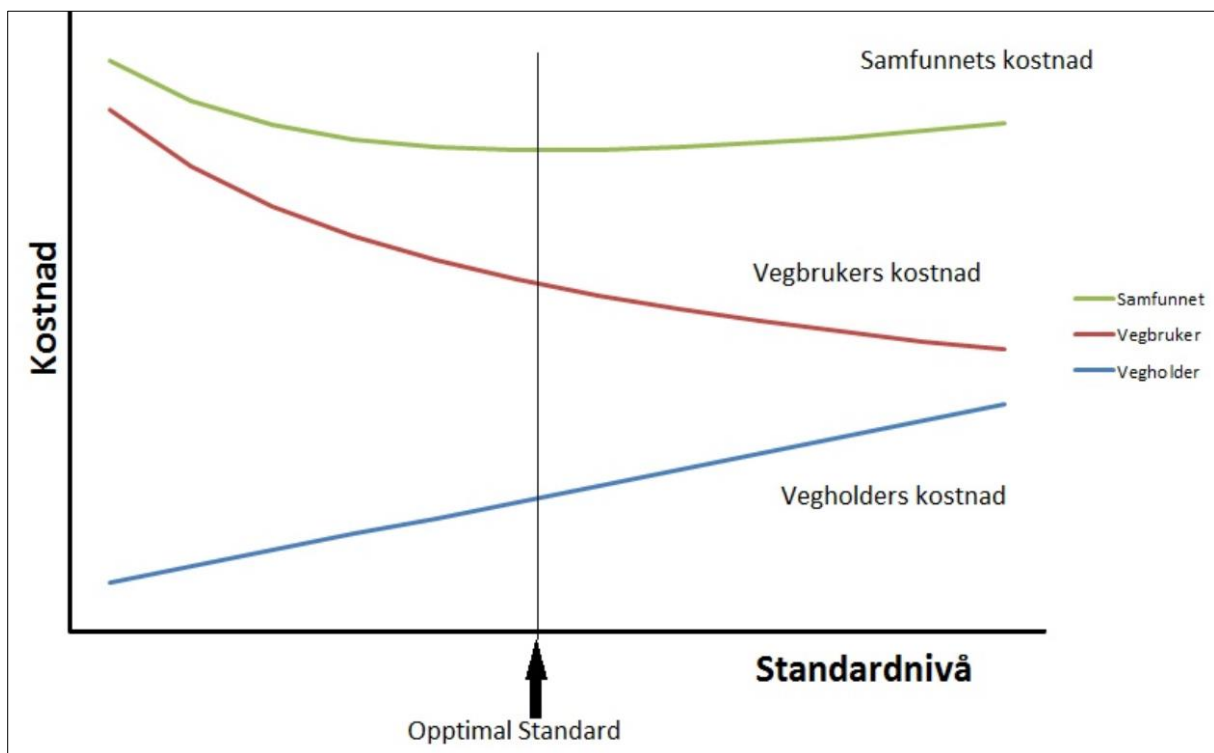
Utskifting av hele slitelaget vil for eksempel regnes som tungt vedlikehold, mens lapping av hull i eksisterende slitelag er normalt vedlikehold.

Samlet sett utgjør drift, vedlikehold og videreutvikling av vegnettet det en kaller *forvaltning av vegkapital* (Aurstad et al., 2011):

«Forvaltning av vegkapital kan defineres som en systematisk fremgangsmåte for drift, vedlikehold og videreutvikling av vegnettet, hvor en kombinerer ingeniørfaget med sunne økonomiske vurderinger av nytte og kostnader. I denne fremgangsmåten tilrettelegger en for å etablere et grunnlag for å ta de beslutningene som på en best mulig måte innfrir brukernes forventninger. Koordinering av investering og drift og vedlikehold er nødvendig for å kunne oppnå best mulig resultat av den samlede innsats så vel økonomisk som fysisk ute på vegnettet.»

God forvaltning av vegkapitalen innebærer en avveining av investeringer og kostnader. Målet er å oppnå en optimal samfunnsøkonomisk kostnad, hvor en får mest mulig nytte per investert krone.

En teoretisk fremstilling av optimal fordeling av kostnader for vegholder og vegbruker vises i figuren under (Aurstad et al., 2011):



Figur 2 Kurve som viser optimal samfunnsøkonomisk forvaltning av vegkapitalen

Som det fremgår av figuren ønsker en å veie opp ulemper for vegbruker, forårsaket av redusert vegstandard i driftsfasen, mot kostnadene som påløper vegholder for vedlikehold og utvikling. Den laveste samfunnsøkonomiske kostnaden definerer dermed en teoretisk optimal standard på vegnettet.

4.2 Tilstandsanalyse av vegnettet

Denne oppgaven handler om hvordan laserskanning av sprekker i vegflaten kan brukes ved tilstandsanalyse av vegnettet. Et rammeverk for tilstandsanalyser er definert i standarden *NS 3420 – Tilstandsanalyse av byggverk*.

En definisjon av begrepet *tilstandsanalyse* gis i standarden som følgende (Standard Norge, 2012):

«en samlet analyse med definering av oppgavens formål, omfang og referansenivå, planlegging, registrering, vurdering og rapportering av tilstand samt beskrivelse av tiltak»

Tilstandsgrad kan brukes ved kvantitativ vurdering av tilstanden, og er definert som følgende (Standard Norge, 2012):

«et uttrykk for tilstanden et byggverk eller en del/komponent har i forhold til referansenivået»

I NS 3424 er det gitt et forslag til en generell inndeling i 4 tilstandsgrader som vist under (Standard Norge, 2012):

Betegnelse for tilstandsgrad, TG	Tilstand i forhold til referansenivå ¹⁾
TG 0	Ingen avvik
TG 1	Mindre eller moderate avvik
TG 2	Vesentlig avvik
TG 3	Stort eller alvorlig avvik
TGIU	Ikke undersøkt

Tabell 1 Inndeling i 4 tilstandsgrader fra NS 3424

Rammeverket i NS 3424 er generelt, og kan dermed også brukes til å beskrive prosessene som inngår i forvaltningen av vegnettet.

Videre i denne oppgaven er begrepet tilstandsanalyse brukt som et samlebegrep for innsamling, analyse og vurdering av data fra 3D laserskanning. Dette inkluderer også bruk av data i PMS for prioritering av drift- vedlikeholdstiltak.

4.3 Krav for tilstand på vegnettet

I Norge er krav og retningslinjer for forvaltning av vegnettet gitt i Statens vegvesens samling av håndbøker. I det følgende gis en kort oversikt over noen av krav som finnes i *Håndbok R610 – Standard for drift og vedlikehold av veger og gater*.

Standardkravene i håndbok R610 er veiledende, og ikke er juridisk bindende for vegholder med mindre dette er spesifisert i kontrakten. I praksis vil den oppnåelige standarden avhenge av tilgjengelige økonomiske midler. Ved utilstrekkelig budsjett må det foretas prioriteringer, hvor målet er å oppnå best mulig samfunnsøkonomisk nytte.

Formålet med håndboken er å tilby ensartede forhold med hensyn til trafikksikkerhet og framkommelighet for alle trafikanter for samme type veg.

I håndbok R610 finner en blant annet generelle krav for vegflate og annet fast dekke (Statens Vegvesen, 2014):

«Vegflate/fast dekke skal sikre trafikantene god framkommelighet kombinert med sikker og komfortabel ferdsel. «

(...)

«Vegflate/fast dekke skal ha jevn overflate, god friksjon, god slitasjemotstand, god lastfordelende evne, god vanntetningsevne og være frostsikkert.»

Det første kravet sier noe om funksjonen vegflaten skal inneha, både med tanke på sikkerhet, framkommelighet og komfort. Neste krav går mer i dybden og spesifiserer mer detaljerte krav for egenskaper i vegflaten.

Som en utdypning av funksjonskravene finner en også spesifikke krav for utvalgte parametere. Dette inkluderer blant annet maksimalverdier for vegens jevnhet (IRI), friksjon, antall sprekker, krakelering, tverrfall, hull, etc.

Under siteres spesifikke krav for vegflatens tilstand fra håndbok R610 for sprekker, hull og krakelering (Statens Vegvesen, 2014).

«Sprekker som er bredere enn 20 mm skal tettes i løpet av 1 uke. Sprekker som er bredere enn 10 mm, skal tettes før 1. juni dersom de registreres i perioden fra 1. oktober til 1. mai, ellers innen 4 uker.»

(...)

«Hull med tverrmål større enn 10 cm skal repareres i løpet av 1 uke. Hull i sykkelfelt med tverrmål større enn 3 cm skal repareres i løpet av 1 uke. Ved hull i vegflate (slitelag) på bru skal omfang og årsak til skaden fastlegges før permanent reparasjon utføres.»

(...)

«Krackelering i kjørefelt inkludert eventuelt sykkelfelt, skulder og kantsteinsklaring: Ingen vilkårlig valgt 100 meters strekning pr kjørefelt skal ha krakelering på mer enn 30 % av arealet. Sperreområde og lommer: Det avgrensede arealet som utgjøres av et sperreområde eller en lomme, skal ikke ha krakelering på mer enn 30 % av arealet.»

Kravene over viser at håndbok R610 i dag bruker 3 kvantitative parametere for vurdering av vegflatens tilstand forårsaket av skader i vegflaten: *bredde* på sprekker, *areal* som er krakelert og *diameter* på hull i vegen.

Parameterne som finnes i håndbok R610 er bare et lite utvalg av flere mulige parametere. Det skilles for eksempel ikke på hvilke type sprekker det er snakk om, eller hvor på vegen skaden er, noe som kan ha mye å si for hvor kritisk skaden er.

Det er sannsynlig at nåværende krav henger sammen med hvilken informasjon det er praktisk mulig å fremskaffe. Mer presise målemetoder kan med andre ord åpne for bruk av mer detaljerte og omfattende krav i fremtidige håndbøker.

Kapittel 5 - Innsamling av data

Data fra vegnettet er en forutsetning for god forvaltning av vegkapitalen. Innsamlet data bør være omfattende nok til å gi tilstrekkelig oversikt, og nøyaktig nok til å gi tilstrekkelig detaljer. God kvalitet på datagrunnlaget er en forutsetning for å treffe riktige beslutninger ved drift og vedlikehold.

Før utviklingen av databaserte løsninger var en avhengig av manuelle metoder for å samle inn data. Registreringer ble utført ved bruk av analoge måleinstrument og visuelle observasjoner, noe som var både tidkrevende, dyrt og forbundet med risiko. Av samme årsaker var mengde og type data som kunne samles inn begrenset, samtidig som kvaliteten var variabel. Innføringen av digitale metoder for registrering og behandling av data har endret mye på av dette.

Fordelen med automatiske målesystemer er muligheten for innsamling av store mengder data på en konsistent måte, samtidig som digital data egner seg godt til videre bearbeiding og analyse. Automatisk innsamling av data fra vegnettet har fått en stadig økende utbredelse de siste årene.

I dette kapittelet gis det gis først en introduksjon av forskjellig måleteknologi som finnes, og hvordan denne kan inngå i mobile målesystem. Deretter forklares det hvordan data fra målingene kan brukes til å identifisere sprekker.

5.1 Måleteknologi

I det følgende beskrives noen ikke-destruktive metoder for automatisk innsamling av data fra vegflaten. De første automatiske metodene var basert på 2D teknologi, mens det i senere tid er også kommet metoder basert på 3D teknologi. Etter som 3D teknologien på mange måter er en videreutvikling av 2D teknologien er det valgt å inkludere begge disse i teoridelen.

Det er lagt vekt på å forklare de grunnleggende prinsippene bak metodene, i et omfang som anses tilstrekkelig for å gi en forståelse av teknologiens muligheter og begrensninger når det gjelder identifisering av sprekker i vegflaten.

2D foto- og videomålinger

For noen år tilbake baserte de fleste automatiske systemene for sprekke-deteksjon seg på 2D teknologi i form av foto- og videodeteksjon. Teknologien utnytter at dybdeavvik i vegflaten er mørkere enn resten av flaten, og dermed kan identifiseres ved analyse av pikslers intensitet (Tsai et al., 2012b).

Foto- og videoteknologi er en *passiv målemetode*, hvor en mottakerenhet registrerer lys fra omgivelsene. Ved 2D foto- og videodeteksjon av sprekker benyttes ett eller flere kamera påmontert et kjøretøy, hvor det tas overlappende bildeserier eller video for å dekke hele vegflaten. Kamerautstyret tar bilder ovenfra og ned, og er montert horisontalt eller litt skrått.

En utfordring ved bruk av 2D målinger er å ta foto med god kontrast mellom sprekker og resten av vegflaten (Tsai et al., 2012b). Flatens refleksivitet kan ha mye å si for hvor godt identifiseringen av sprekker lar seg gjøre. Et vanlig problem er feilaktige identifiseringer, hvor mørke oljeflekker og skygger mistolkes som sprekker. For å løse problemet med skygger er det forsøkt utviklet metoder hvor en bruker kunstig belysning av vegflaten.

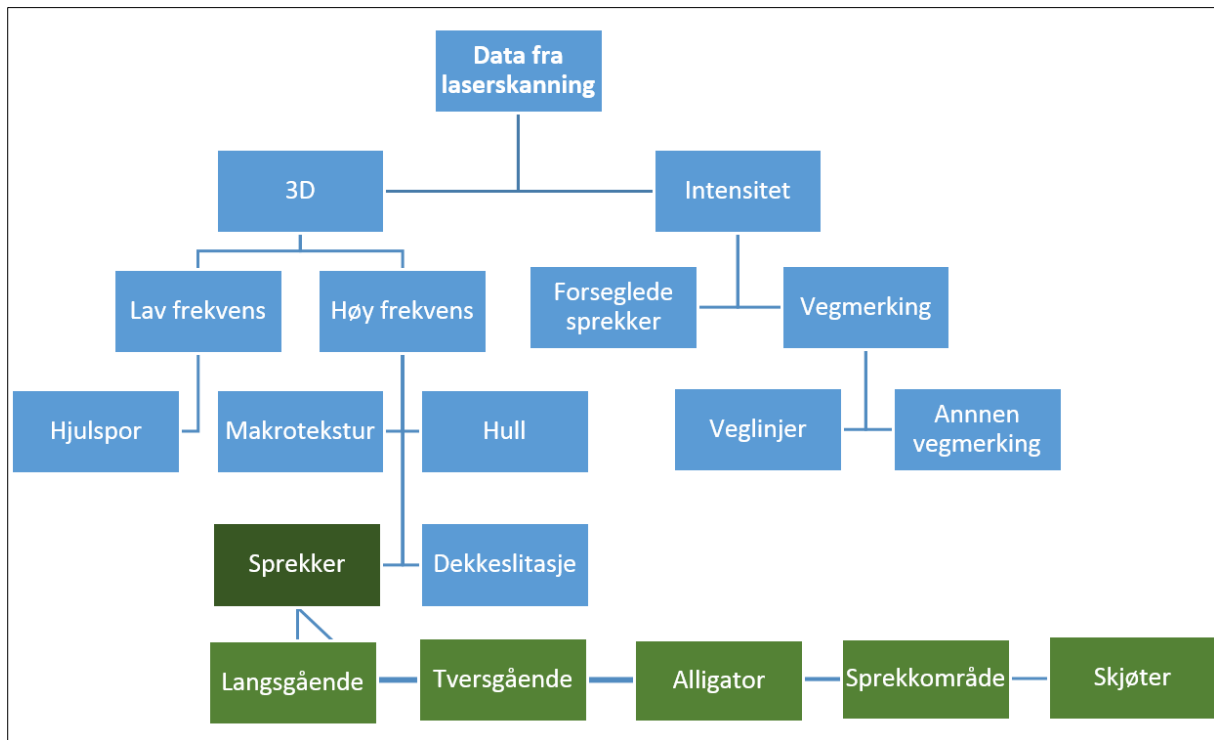
Som en videreutvikling av 2D teknologien er det eksperimentert med *stereoskopiske system*, hvor en bruker bilder fra to skråstilte kameraer til å estimere en 3D flate ved hjelp av matematisk relasjoner (Wang and Gong, 2007). Denne metoden gir en viss mulighet for å hente ut informasjon om dybdeavvik i vegflaten. Den siste tids utvikling av 3D laserteknologi har i midlertid ført til lite interesse for videreutvikling av 2D teknologien.

3D laserskanning

De siste årene har bruk av 3D laserskanning fått stadig økt utbredelse. 3D laserskanning er en *aktiv målemetode*, hvor et optisk signal sendes mot et objekt og reflekteres tilbake. De fleste 3D systemene bruker laser, etter som laserlys har både høy lysstyrke og liten spredning av lysstrålens diameter over avstand (Amann et al., 2001).

En laserskanner kan samle inn data for både *3D geometri* og *intensitet* (materialets refleksjonsgrad). Geometriske målinger kan brukes til å identifisere og analysere parametere som spor i vegbanen, ujevnheter, hull og sprekker. Intensitetsmålinger kan benyttes til å detektere vegmerking og andre overflater som forseglede sprekker, kumlokk, etc. (Sahaf and Rahimi, 2014).

Figuren under viser noen parametere som kan registrere ved 3D laserskanning av vegflaten (Sahaf and Rahimi, 2014).



Figur 3 Oversikt over bruksområder for data fra laserskanning.

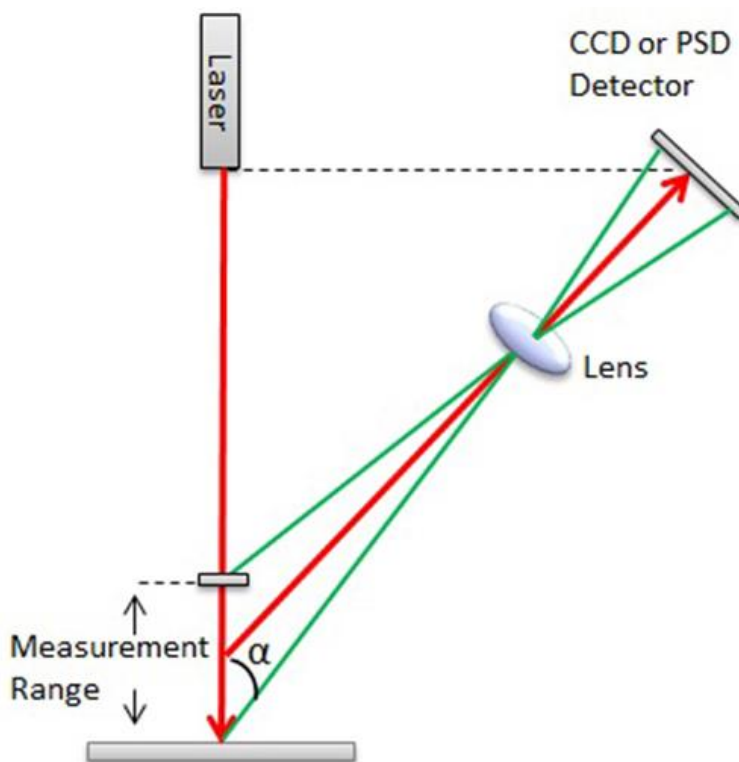
3D teknologi har en rekke fordeler sammenlignet med 2D teknologi. Etter som laserskanning gir informasjon om vegflatens geometri direkte kan en identifisere sprekker ved å bruke informasjon om dybder i stedet for fargeintensitet. Dette fjerner problematikken med oljesøl og skygger som feilaktig identifiseres som ujevnheter. Laserskanning påvirkes i liten grad av lysforhold i omgivelsene, slik at målinger kan utføres gjennom hele døgnet. Etter som 3D målingene gir mer informasjon enn 2D målinger åpner det for mer å gjøre avansert analyser.

Det finnes også noen utfordringer ved bruk av laserskanning. Etter som teknologien er svært avansert vil det kunne oppstå støy og unøyaktigheter i forbindelse med utsendelse og mottak av laserstrålene. Både optiske, elektrisk og mekaniske forhold kan gi problemer, hvor graden av støy varierer etter hvilken laserteknologi som brukes.

Det er utviklet flere tekniske metoder for laserskanning. En kan skille mellom to hovedprinsipp; *triangulering* og *time of flight* (Amann et al., 2001). For hver av disse finnes det også en rekke underkategorier. I det følgende gis en beskrivelse av disse to hovedprinsippene.

Triangulering

Triangulering er en metode som utnytter trigonometriske relasjoner i måleoppsettet. Systemet består av en sender (laserdiode) og en mottaker (kamera), hvor disse sammen med et laserpunkt på veiflaten utgjør et triangel. Triangulering egner seg best over korte distanser, hvor metoden gir svært presise resultat (Blais, 2004). En skisse av konseptet vises under.



Figur 4 Skisse av konseptet bak triangulering (Hentet fra: intechopen.com)

Målinger gjøres ved at en diode sender ut en laserpuls mot et punkt, hvor refleksjonen deretter registreres av et kamera montert i en kjent vinkel i forhold til dioden. I kameraet finnes en sensor (CCD/PSD) hvor den reflekterte laserpuls registreres som et elektrisk signal på sensoren, som deretter brukes til å beregne innfallsvinkelen til pulsen. Ved bruk av enkle trigonometriske relasjoner kan en dermed regne ut avstanden mellom laserdioden og refleksjonspunktet svært nøyaktig.

Innen trianguleringsbasert laserskanning kan en skille mellom *punktlaser*, som sender ut en og en laserpuls, og *stripelaser* som sender en stripe. Punktskanning krever enten mekanisk rotasjon av selve laserdioden, eller ved bruk av roterende speil. Ved stripeskanning slipper en å styre laserstrålens retning, etter som stripen dekker hele skanneområdet kontinuerlig. En ulempe ved stripeskanning er at laserens energi spres over et større område, noe som reduserer kvaliteten på dybdemålingene (Blais, 2004).

Time of flight

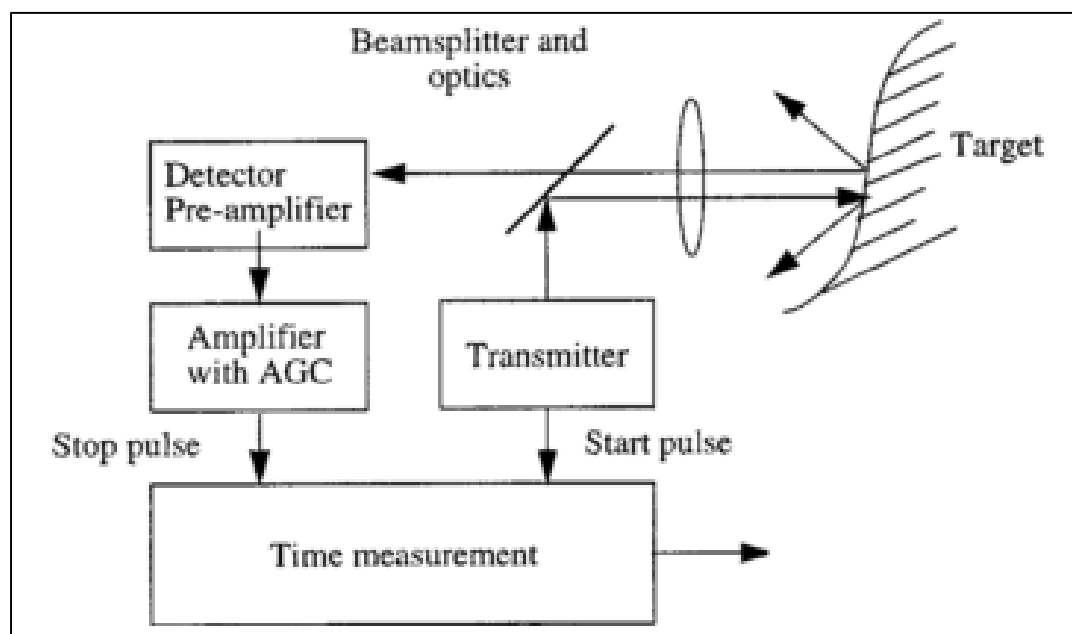
Time of flight – TOF – baseres på målinger av tiden det tar fra en laserstråle sendes ut til den reflekteres tilbake. Presisjonen på TOF målinger varierer lite over distanse, og egner seg derfor godt for målinger over større avstander. Avhengig av type laser kan bruksområdet kan være alt fra under 1 meter til flere kilometer (Blais, 2004).

Laserstrålen som brukes i TOF system sendes ut og reflekteres i rette linjer. For å styre retningen på utsendt puls benyttes roterende speil eller mekanisk rotering av laserdioden. Systemet er utstyrt med instrumenter som måler vinkelen på den mottatte refleksjonen i et polart koordinatsystem. Kombinert med informasjon om avstand til målepunktet gir dette et komplett sett romlige koordinater (x,y,z) for punktet som måles.

To ulike varianter av TOF er *pulsmålinger* og *faseskiftmålinger* (Blais, 2004). Prinsippene bak disse forklares nærmere i det følgende.

Pulsmålinger

Ved pulsmålinger sendes det ut en strøm av laserpulser med varighet på mellom 5 og 50 nanosekunder (10^{-9} s) mot objektet som måles. Prinsippet bak pulsmålinger illustreres under (Amann et al., 2001).



Figur 5 Skisse av konsept bak pulsmålinger

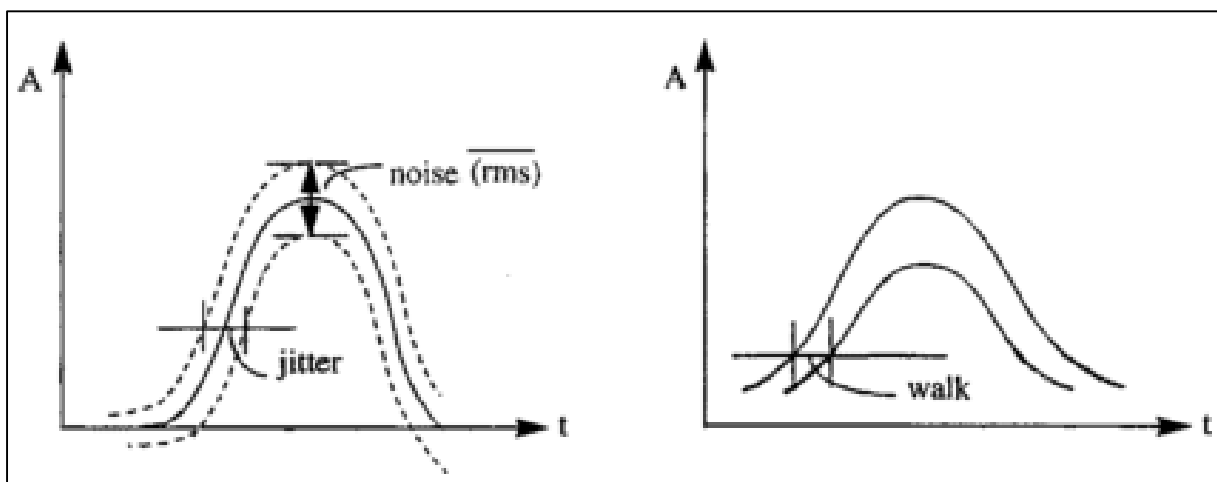
Systemet består av en sender, en mottaker og en tidsmåleenhet. I tillegg brukes det ofte en eller flere signalforsterkere.

Avstanden mellom laserskanneren og punktet som skannes bestemmes ved å måle tiden det tar fra en laserpuls sendes ut til den reflekteres tilbake, hvor halve tiden tilsvarer tidsbruken mellom sender og målepunkt. Den utsendte laserpuls starter en tidtakingsenhet, hvorpå den mottatte refleksjonen stopper den. Avstanden finnes ved å multiplisere tidsbruken med lyshastigheten.

Presisjonen til et TOF system begrenses i praksis ofte av hvor nøyaktig en klarer å måle tiden (Blais, 2004). Blir avstanden svært lang er det derimot den reflekterte laserpulsens synkende intensitet som blir den begrensende faktoren.

Nøyaktigheten på tidsmålingene påvirkes av støy, forårsaket av blant annet bakgrunnsstråling fra omgivelsene, elektroniske forstyrrelser og mekaniske vibrasjoner i måleutstyret.

Skanning over lange avstander vil gi et svakere reflekterte signal, noe som vil redusere nøyaktigheten på målingene. Reflektiviteten til måleobjektet kan også påvirke kvaliteten på det mottatte signalet. For eksempel vil mørk nylagt asfalt gi svakere refleksjoner enn lys asfalt. Figuren under viser hvordan nøyaktigheten av tidsmålingen påvirkes av elektrisk støy og refleksjonsgrad til måleobjektet (Blais, 2004).



Figur 6 Illustrasjon av hvordan støy påvirker målinger av en laserpuls

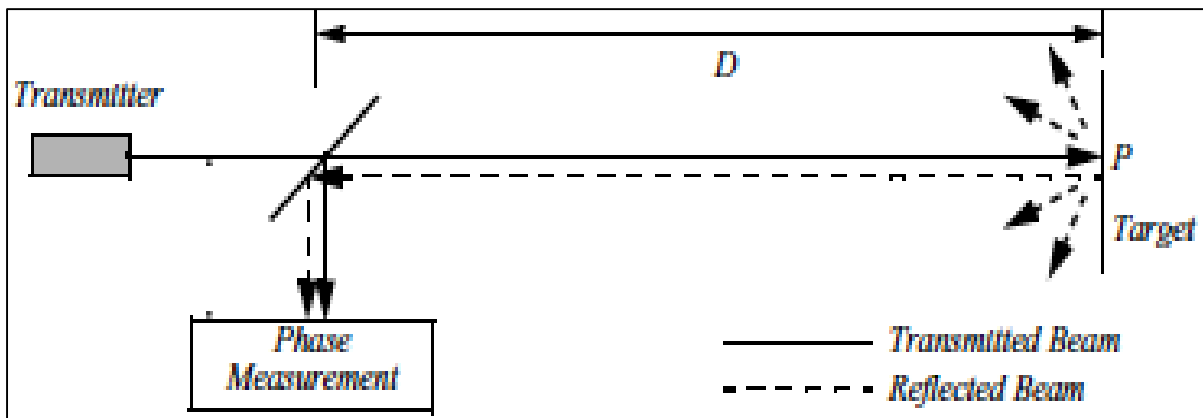
Til venstre vises det hvordan elektrisk støy kan skape unøyaktigheter i målinger av den reflekterte pulsens amplitude (A) og tidspunkt for registrering (t). Til høyre vises det hvordan laserpulsens amplitude og form endres (reduseres) når det reflekterte signalet mister intensitet.

Det finnes flere metoder for å kompensere for unøyaktigheter ved pulsmålinger, både fysisk og matematisk. Disse metodene vil ikke bli nærmere omtalt her. Det er også mulig å benytte gjennomsnitt fra flere målinger for å bedre nøyaktigheten. Med dagens teknologi kan en regne med å oppnå en presisjon på 1 mm, selv over lengre avstander (Blais, 2004).

Faseskiftmålinger

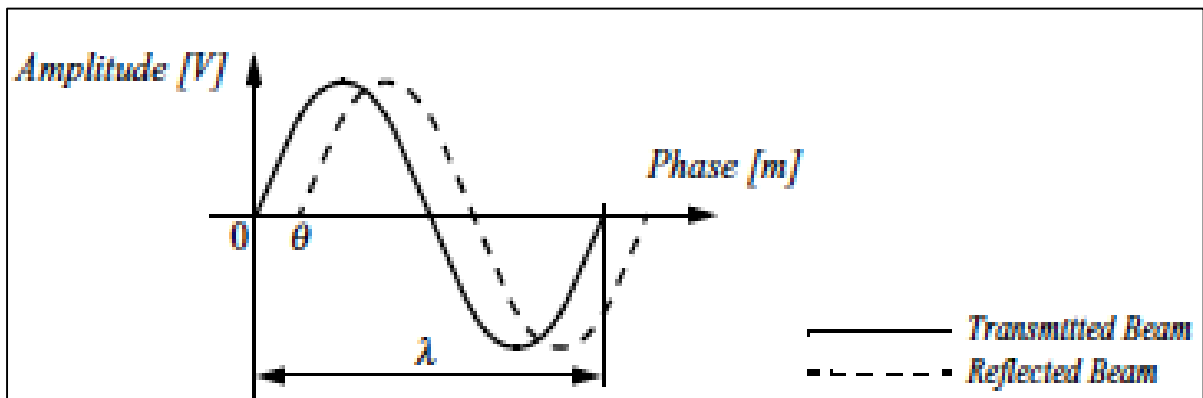
Ved *faseskiftmålinger* sendes det ut en kontinuerlig laserstråle med en sinusmodulert frekvens (Amann et al., 2001). Det reflekterte signalet leses av på en mottakerenhet, hvor avstanden til målepunktet beregnes ut fra faseskiftet i det mottatte signalet. Oppløsningen på målingene vil avhenge av mottakerenhetens registreningsfrekvens.

Prinsippet for faseskiftmålinger illustreres i figuren under (Amann et al., 2001).



Figur 7 Skisse av konsept bak faseskiftmålinger

Metoden fungerer ved at en sinusmodulert laserstråle sendes ut og reflekteres tilbake over en distanse (D), hvor D må være mindre enn en bølgelengde (λ). Et instrument for måling av bølgefase for utsendt og reflektert laserstråle beregner faseskiftet, som vist i figuren under.



Figur 8 Illustrasjon av faseskift hos reflektert bølge

Som vist registreres bølgefase for både utsendt og reflektert laserstråle, hvor på faseforskyvningen (θ) er differansen mellom disse. Faseforskyvningen brukes sammen med kjente verdier for frekvens og lyshastighet til å beregne avstanden (D) mellom måleapparat og målepunkt.

Prinsippet bak faseskiftmålinger forklares i det følgende. Den usendte laserstrålen er modulert med en konstant frekvens (f). Etter som lyshastigheten (c) er kjent kan en regne ut lengden (λ) av en full bølge (2π) som vist under.

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Ved å multiplisere andelen forskyvning ($\Theta/2\pi$) med bølgelengden kan en finne den totale avstanden laserstrålen har tilbakelagt ($2*D$), hvor halvparten av denne avstanden (D) er lengden mellom måleutstyret og målepunktet. Formelen for beregning av lengden D vises under.

$$D = \frac{1}{2} * \frac{\Theta}{2\pi} * \lambda = \frac{\lambda}{2} * \left(\frac{\Theta}{2\pi}\right)$$

Formelen over gir kun et entydig svar dersom faseforskyvningen er under en bølgelengde (λ). For eksempel vil en sendefrekvens på 16,7 MHz gi entydige målinger innenfor en avstand på 9 meter.

Bølgelengden avhenger av sendefrekvensen, hvor lavere frekvens øker bølgelengden. En måte å øke måledistansen på er dermed å benytte lave frekvenser, slik at bølgelengdene spenner over en større distanse. Dette er i midlertid ikke noe god løsning, etter som nøyaktigheten på målinger vil reduseres betraktelig ved lavere frekvenser (Payne et al., 2009).

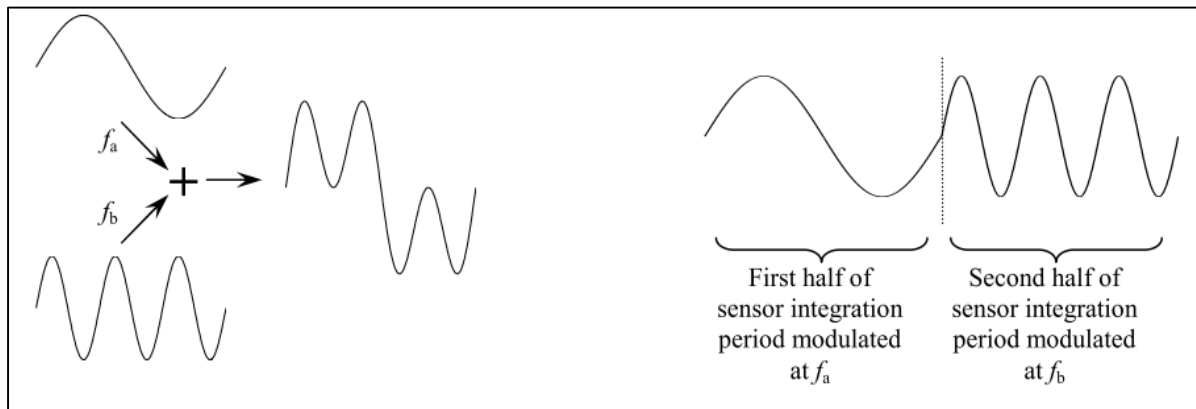
Om en ikke reduserer frekvensen vil målinger ut over en bølgelengde spenne over et ubestemt antall (N) bølgelengder, som vist av formelen under.

$$D = \frac{\lambda}{2} * \left(\frac{\Theta}{2\pi} + 2 * \pi * N\right)$$

For å oppnå entydige målinger er det nødvendig å bestemme hvor mange hele bølgelengder den totale forskyvningen består av. En løsning på dette er å benytte *flerfaseskanning*, hvor en bruker to eller flere frekvenser (Payne et al., 2009).

Flerfaseskanning kan gjøres på forskjellige måter, hvor prinsippet går ut på å benytte en eller flere bølger med ulike frekvenser. En høyfrekvente bølge brukes til nøyaktige målinger, mens en lavfrekvent bølge brukes til å bestemme det ukjente antallet hele bølgelengder (N). Sagt på en annen måte brukes den lavfrekvente bølgen til å gjøre grovmålinger, før den høyfrekvente bølgen brukes til nøyaktige målinger.

En skisse av to ulike prinsipp for flerfaseskanning vises under (Amann et al., 2001):



Figur 9 Skisse av to prinsipp for flerfaseskanning

Til høyre vises et prinsipp hvor en lavfrekvent og en høyfrekvent bølge er satt sammen til en enkeltbølge. Til venstre vises et alternativt prinsipp hvor en alternerer mellom de to frekvensene.

TOF målinger med flerfaseskanning er en svært anvendelig metode for avstandsmåling, og brukes i flere av dagens laserskannere. Dette inkluderer den nye ZF-skanneren som brukes i ViaPPS målesystemet i Norge.

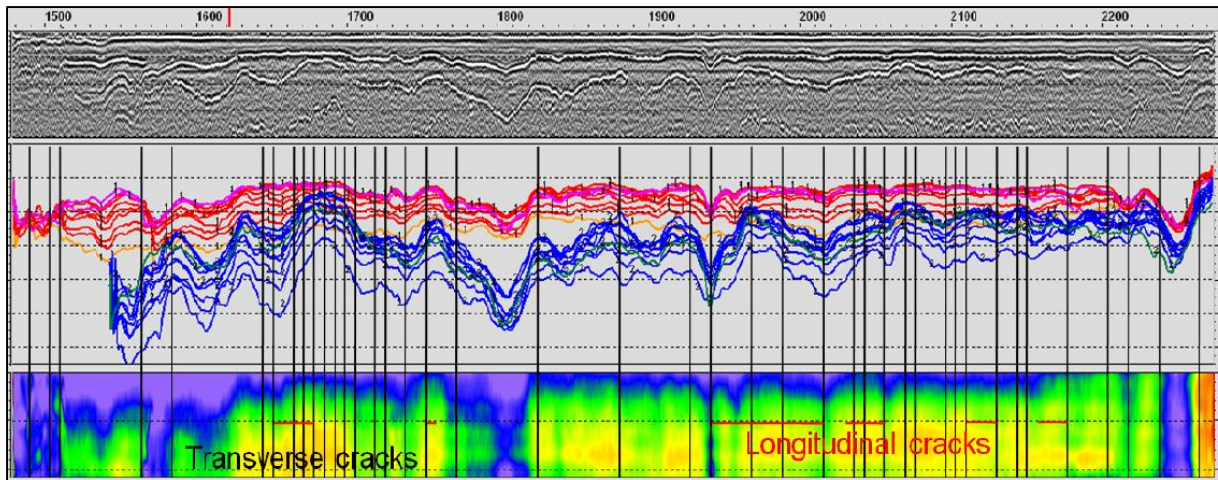
Annen måleteknologi

I tillegg til laserskanning finnes det også andre teknologier som kan brukes til innsamling av data fra vegflaten. To av disse er *varmekamera* og *georadar*, som på samme måte som laserskanning er ikke-destruktive målemetoder som baserer seg på utsendelse og registrering av elektromagnetiske bølger. I det følgende gis en kort beskrivelse av prinsippene bak varmekamera og georadar (Saarenketo et al., 2012)

Georadar er en ikke-destruktiv målemetode som gir informasjon om vegens struktur, og har vært benyttet til målinger av infrastruktur siden midten av 1970-tallet.

Georadar fungerer ved at en elektromagnetiske puls sendes gjennom mediet som skal måles, for eksempel ned i en vegkonstruksjon. Sender og mottaker kan monteres på et kjøretøy, eller på en egen henger. Refleksjonene fra den utsendte pulsen registreres av mottakeren, hvor pulsens amplitude og tidsbruk leses av. Det mottatte signalet påvirkes av elektriske egenskaper (fuktinnhold) hos materialet som måles, slik at grenser mellom ulike lagstrukturer og områder kan identifiseres.

Ved å utføre målinger langs en rett linje dannes et sammenhengende dybdeprofil av det skannede området, som vist under (Saarenketo et al., 2012)



Figur 10 Bruk av georadar for identifisering av sprekker i vegflaten

Figuren viser at sprekker kan finnes ved å se på avvik i tykkelse på slite- og bærelag (blå grafer) i vegkonstruksjonen, hvor sprekker (svarte og røde streker) korresponderer med store avvik.

Utvikling av 3D georadar åpner også for å identifisere sprekker i vegflaten ved å analysere dielektriske verdier for flaten, etter som sprekker skiller seg ut med et høyere fuktinnhold.

Varmekamera måler overflatetemperaturen på vegen, hvor temperaturen rundt sprekker vil avvike fra intakte flater på grunn av et ulikt fukt- og luftinnhold. Sprekker som har sin årsak i dypere lag i vegflaten kan dermed oppdages en tid før disse blir synlige. For eksempel kan en finne områder hvor vann pumpes gjennom vegflaten på grunn av trafikkbelastninger.

Under vises en langsgående sprekke som kun er synlig på varmekamera (Saarenketo et al., 2012)

Foto av vegflaten



Måling med varmekamera



Figur 11 Bruk av varmekamera for identifisering av sprekker i vegflaten

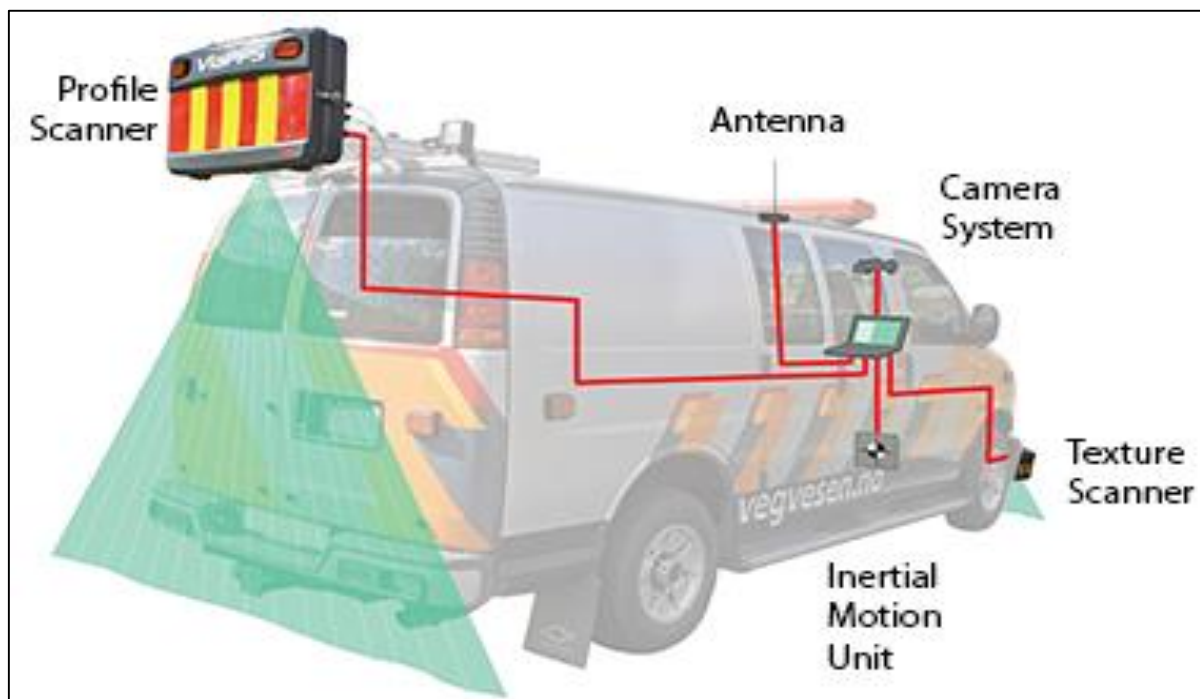
Data fra georadar og varmekamera kan være et godt supplement til laserskanning, og bidra med komplementær informasjon som kan gi større innsikt rundt årsaker til sprekker i vegflaten.

5.2 Mobile målesystem

Bruk av mobile målesystem er en effektiv og fleksibel måte å samle inn data fra vegnettet på. Etter hvert som teknologien har blitt bedre har stadig flere vegforvaltere investert i slike system, hvor spesialbygde kjøretøy brukes til å samle inn data med jevne mellomrom. I det følgende gis en beskrivelse av teknisk utforming og praktisk bruk av mobile målesystem.

Målesystemets komponenter

Et eksempel på et mobil målesystem er bilene med ViaPPS, som brukes for tilstandsregistrering av vegnettet i Norge. Illustrasjonen under viser en slik bil noen av komponentene i denne (Aurstad et al., 2011).



Figur 12 Illustrasjon av en målebil ViaPPS og laser fra Cargoscan

Målebilene er utstyrt med flere ulike sensorer og apparater for innsamling av en rekke parametere. Noe av utstyret som brukes er listet opp under.

- **Laserskanner:** Skanner for registrering av vegflatens geometri i hele kjørebredde.
- **Teksturskanner:** Nøyaktig skanner for registrering av tekstur i en langsgående stripe.
- **Fotosystem:** Kamera som tar bilder (forover) i fastsatte intervall langs veien.
- **Globalt posisjonssystem (GNSS):** Registrering av kjøretøyets globale posisjon.
- **Lokalt posisjonssystem:** Nøyaktig beregning av lokal posisjon, måler akselrotasjon.

- **Bevegelsensensorer:** Registrering av kjøretøyets lokale bevegelser (vertikalt/lateralt).
- **Sentralt kontrollsystem:** System som for synkronisering av bilens sensorer.
- **Lagringsenhet:** Enhet for lokal lagring av all måledata.

Innsamling av data fra vegen og bilens omgivelser gjøres ved bruk av de ulike sensorene; laserskanner, teksturskanner og fotosystem. Den globale posisjonen til bilen registreres ved bruk av satellittmålinger (GNSS), supplert med korreksjonsdata via mobilnettet. GNSS har en nøyaktighet på 1-3 meter, som kan forbedres ved hjelp av korreksjonsdata for DPOS (desimeternøyaktighet) eller CPOS (centimeternøyaktighet) (ViaTech, 2015). I Norge tilbyr *Kartverket* abonnement på tjenester for DPOS og CPOS.

Globale målinger er ikke nøyaktig nok for å gi en tilstrekkelig detaljert posisjonsbestemmelse under selve skanningen. Målebilen er derfor utstyrt med sensorer for lokal posisjonsbestemmelse (ViaTech, 2015). Utkjørt avstand måles ved bruk av en *DMI – Distance Measurement Unit* – som består av sensorer som registrerer rotasjonen til hjulakslene. Videre benyttes en *IMU – Inertial Measurement Unit* – for å måle bilens lokale bevegelser under målingene. IMU inneholder både akselerometer og gyroskop. Data fra disse sensorene kan deretter kombineres og brukes til å korrigere lasermålingene for geometriske avvik.

Data for bilens posisjon brukes for å bestemme skannepunktens laterale plasseringen (x, y). Kombinert med dybdemålingene fra laserskanningen (z) gir dette en punktsky (x,y,z) som definerer den skannede overflaten.

Teksturskanner brukes til å gjøre detaljerte målinger av vegflatens tekstur, etter som laserskanningen foreløpig ikke er detaljert nok til å gjøre slike målinger. For teksturskanning brukes måleprinsippet triangulering, som gir svært høy oppløsning.

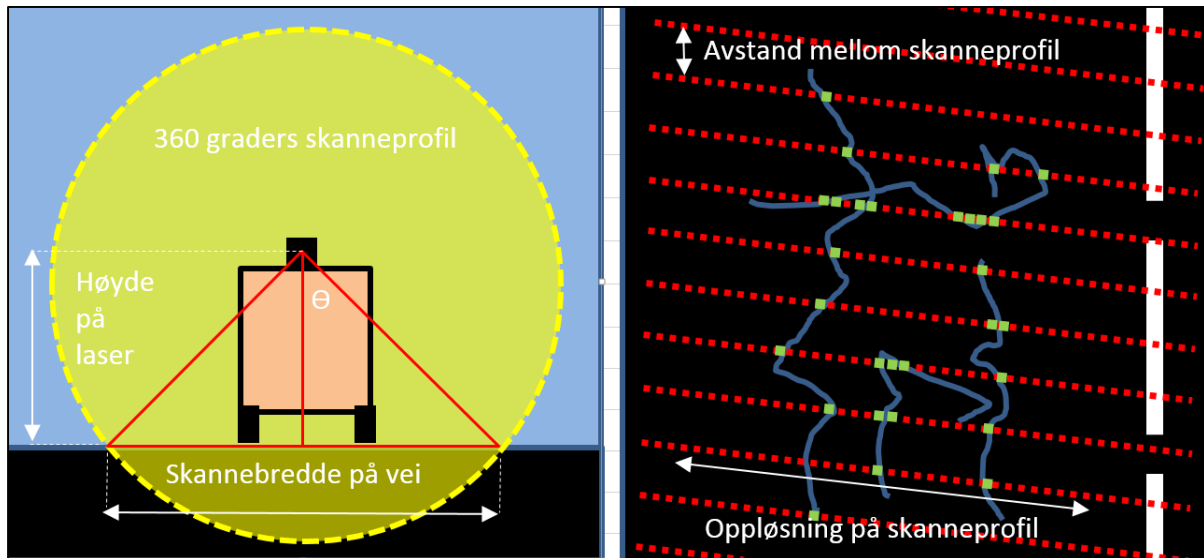
Etter som resultatet fra laserskanningen avhenger av informasjon fra en rekke ulike sensorer er det viktig at disse er nøyaktig synkronisert. Et sentralt kontrollsystem brukes derfor for å sikre samsvar mellom data fra ulike sensorer.

Fotosystem brukes for visuell dokumentasjon av vegstrekningene som måles. All data lagres lokalt i målebilen, og hentes deretter ut av operatøren etter endt kjøretur.

Mobil laserskanning

Nyere lasersystem baseres ofte på måleprinsippet time of flight, hvor en roterende laser brukes til å skanne omgivelsene.

Figuren under illustrerer prinsippet bak laserskanning av en vegflate med et mobilt målesystem.



Figur 13 Prinsipp for laserskanning av vegflate med et mobilt målesystem

Til venstre vises et vertikalt snitt av en bil med en laserskanner montert bak. Skanneren i figuren roterer 360 grader, illustrert med en gul sirkel, og måler vegen innenfor bredden vist med rød trekant. Skannebredden langs vegflaten er vanligvis rundt 4 meter.

Som en ser av figuren avgjør skannerens montasjehøyde hvor stor vinkel (Θ) en får ytterst mot profilene. Monteres laseren for lavt vil en få svært stor vinkel på de ytterste målingene, noe som reduserer kvaliteten på målingene (særlig dybdemålingene). For ViaPPS brukes en montasjehøyde på 2,2 meter (ViaTech, 2015).

Til høyre vises et horisontalt utsnitt av vegflaten påtegnet skanneprofilene. Røde punkter symboliserer de enkelte målepunktene. Det er også tegnet inn noen grå sprekker, hvor grønne punkt viser registrerte dybdeavvik.

Det er flere faktorer som påvirker kvaliteten på data fra laserskanningen. For det første vil avstanden mellom tversgående profil påvirkes av målebilens hastighet og laserens rotasjonsfrekvens. Økende hastighet og lavere rotasjonsfrekvens vil begge bidra til større avstand mellom profilene.

Som en ser av figuren til venstre vil kjørehastigheten kunne påvirke målesystemets kapasitet for sprekke-deteksjon, etter som den langsgående oppløsningen varierer mye med hastigheten.

Det er særlig tversgående sprekker som blir vanskelig å registrere hvis disse ligger mellom to profil.

En annen effekt som øker med bilens hastighet er en svak skråstilling av skanneprofilene. Skråstillingen vil i midlertid ha liten praktisk betydning etter som den vil være konstant ved jevn hastighet.

Det finnes også et lite avvik i den tversgående oppløsning mellom senter og ytterkant av profilene, etter som radiusen fra skanneren vil variere og dermed gi tettere målinger rett under skanneren. Avvikene vil sannsynligvis ikke vil ha mye å si for identifisering av sprekker.

5.3 Behandling av data

Når data er samlet inn er neste steg å identifisere sprekker i vegflaten. Ideelt sett ønsker en seg et automatisk system som identifiserer alle eksisterende sprekker. I praksis styres nøyaktigheten på identifiseringen av to faktorer, nemlig datagrunnlaget og analysemetodene. Metodene må tilpasses det datagrunnlaget en har for å sikre et best mulig resultat. En rekke ulike metoder er beskrevet i litteraturen, som med varierende grad av suksess brukes til å identifisere sprekker.

2D teknologi har eksistert en god stund lengre enn 3D teknologi, noe som gjenspeiles i litteraturen hvor det er en overvekt av artikler som beskriver metoder for identifisering av sprekker ved analyse av 2D foto. Etter som det er flere likheter ved identifisering av sprekker for 2D og 3D målinger er det valgt å inkludere begge prinsippene i dette avsnittet.

3D målinger åpner også for mer avanserte analyser enn hva som er mulig med 2D foto. Potensialet som ligger i 3D målinger er ikke fullt utnyttet enda, delvis på grunn av manglende oppløsning på skannet data. De nyeste lasersystemene gir stadig bedre oppløsning, slik at det sannsynligvis vil utvikles mer avanserte analysemetoder i fremtiden.

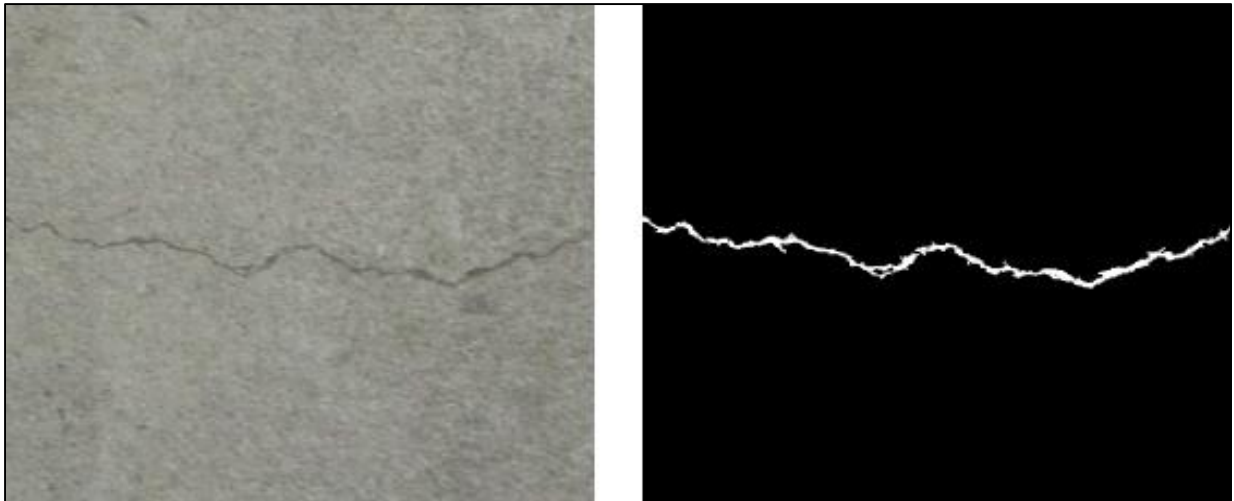
Identifisering av sprekker ved 2D målinger

Til identifisering av sprekker ved 2D målinger benytter en forskjellige algoritmer som analyserer pikslene i foto av vegflaten.

Generell metodikk

Identifisering av sprekker ved 2D målinger kan deles inn i et *forbehandlingssteg* og et *identifiseringssteg* (Koch et al., 2015). Forbehandlingssteget innebærer å først velge ut områder i vegflaten som kan se ut til å inneholde sprekker, før en i identifiseringssteget utfører en mer detaljert analyse av disse områdene. Hensikten med forbehandlingssteget er å unngå å bruke tid og ressurser på detaljerte analyser av områder uten sprekker.

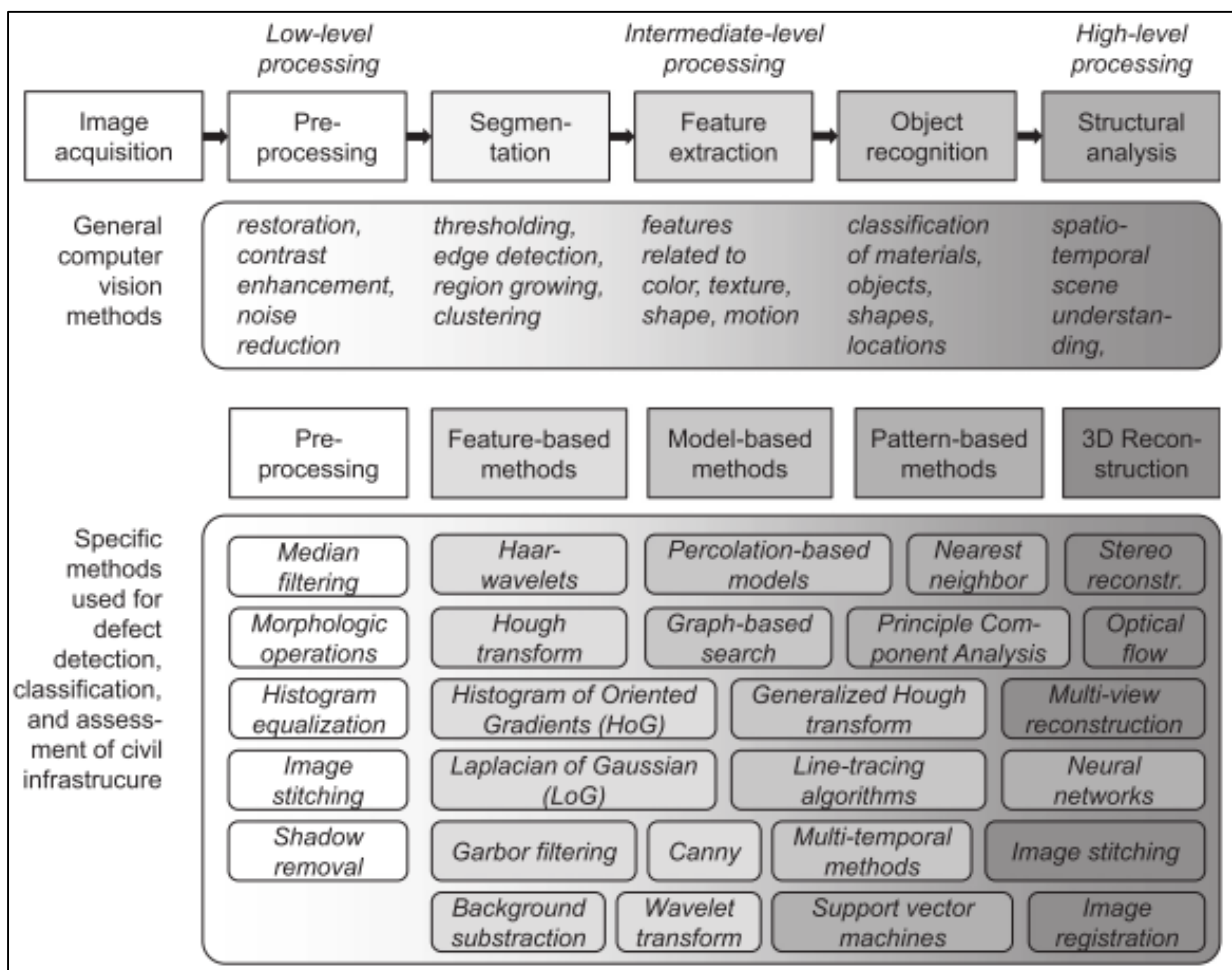
Det grunnleggende prinsippet for identifisering av sprekker fra 2D målinger er bruk av pikslers intensitet, hvor dybdeavvik fremstår som mørkere enn omgivelsene (Oliveira and Correia, 2008). Ved bruk av algoritmer og grensebetingelser vurderes deretter variasjon i intensitet (dybde) mellom nabopikslers for å identifisere sprekker. Et eksempel på en intensitetsanalyse ses under.



Figur 14 Identifisering av sprekker fra foto (Hentet fra *ej.iop.org*)

Til venstre ses et foto av vegflaten, og til høyre vises resultatet fra analysen.

Det er utviklet en lang rekke ulikeanalysemetoder for identifisering av sprekker fra 2D foto. Figuren under viser en oversikt over automatisk analysemetoder (Koch et al., 2015).



Figur 15 Oversikt over metoder for analyse av 2D målinger av vegflaten

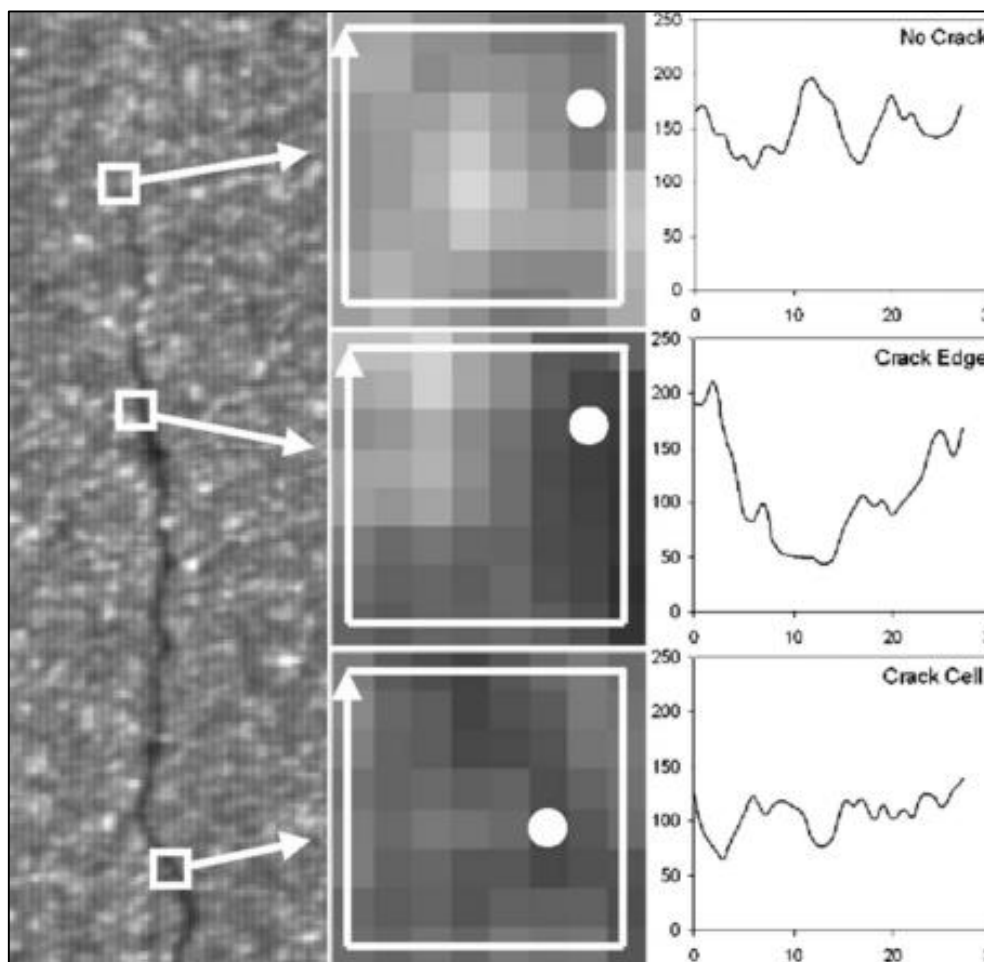
Metodene i figuren er sortert med økende grad av kompleksitet fra venstre mot høyre.

En felles utfordring med 2D fotoanalyse er at resultatet påvirkes av lysforhold og tekstur på vegflaten (Koch et al., 2015). Algoritmer for identifisering av sprekker basert på foto må derfor kalibreres mot lokale forhold for å sikre et best mulig resultat, noe som gjøres ved å justere grenseverdier i algoritmene. Dette vil samtidig skape problemer om en forsøker å sammenligne målinger gjort under ulike lysforhold, eller av overflater med ulike tekstur. Universelle grenseverdier for bruk i 2D analyser er av den grunn svært vanskelig eller umulig å finne.

Eksempel på metode for identifisering av sprekker

I dette avsnittet gis et eksempel på hvordan sprekker kan identifiseres fra 2D foto av vegflaten.

I forbehandlingssteget kan et histogram brukes til å identifisere områder som kan inneholde sprekker. Prinsippet for denne metoden vises i figuren under (Gavilán et al., 2011).



Figur 16 Bruk av histogram for identifisering av områder med sprekker

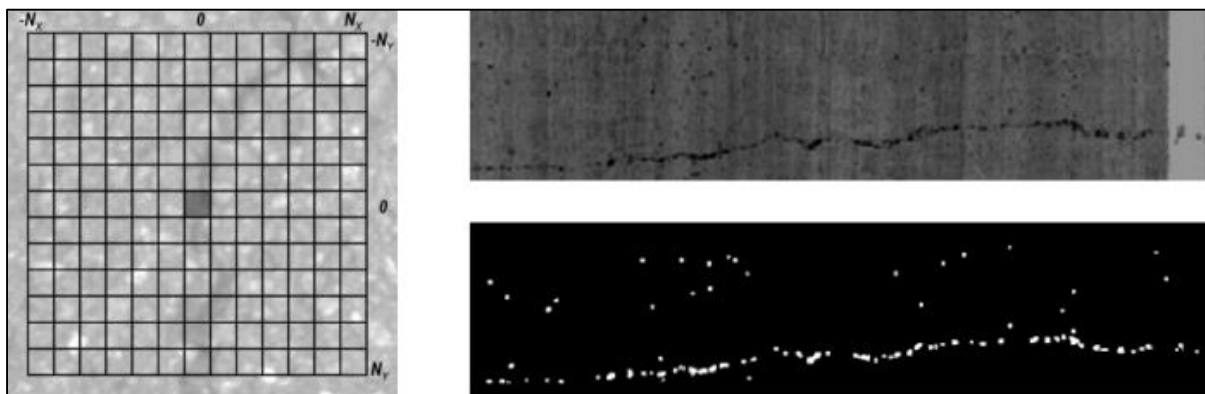
I figuren over ses et foto av vegflaten der hver piksel er gitt en intensitetsverdi på en gråskala fra 0-255, fra mørk til lyst. Et rektangulært filter på 8*8 punkt føres deretter systematisk over fotoet, hvor intensiteten for pikslene innenfor filteret plottes i et histogram.

Et område med sprekker vil ha en høyere andel mørke piksler enn et område uten sprekker. Ved å se på andelen mørke piksler i histogrammet kan en bruke en grenseverdi til å avgjøre om området kan inneholde dybdeavvik eller ikke.

Når et område er funnet til å inneholde dybdeavvik er neste steg å utføre en detaljert analyse.

I den detaljerte analysen er målet å identifisere de enkelte dybdeavvikene fra resten av flaten. Dette gjøres ved å se på intensiteten til en eller flere piksler. For å gjøre analysen enklere kan en velge å aggregere tilliggende piksler for å få frem et tydeligere mønstre. Denne metoden vil i midlertid føre til tap av data i form lavere oppløsning på bildet. På samme måte kan en velge å justere antall intensitetsnivå som brukes i bildet.

Figuren under viser hvordan en analyse av pikslers intensitet kan gjøres (Gavilán et al., 2011).

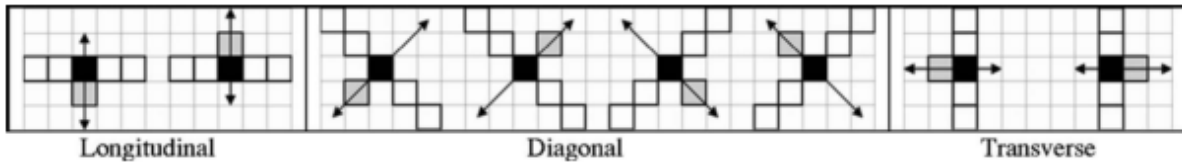


Figur 17 *Detaljert intensitetsanalyse*

Filteret til venstre er benyttet for å aggregere pikslene i fotoet øverst til høyre. Deretter brukes en grenseverdi for intensitet som skiller mellom punkt med dybdeavvik (hvit) og punkt som ikke er dybdeavvik (svart), som vist i bildet nederst til høyre.

Når punkt som representerer dybdeavvik er funnet kan en brukes disse til å identifisere sprekker. En metode for dette er *seed-growing*, hvor en systematisk analyserer relasjoner mellom tilliggende dybdeavvik

Figuren under viser en mal for en *seed-growing* algoritme (Gavilán et al., 2011).

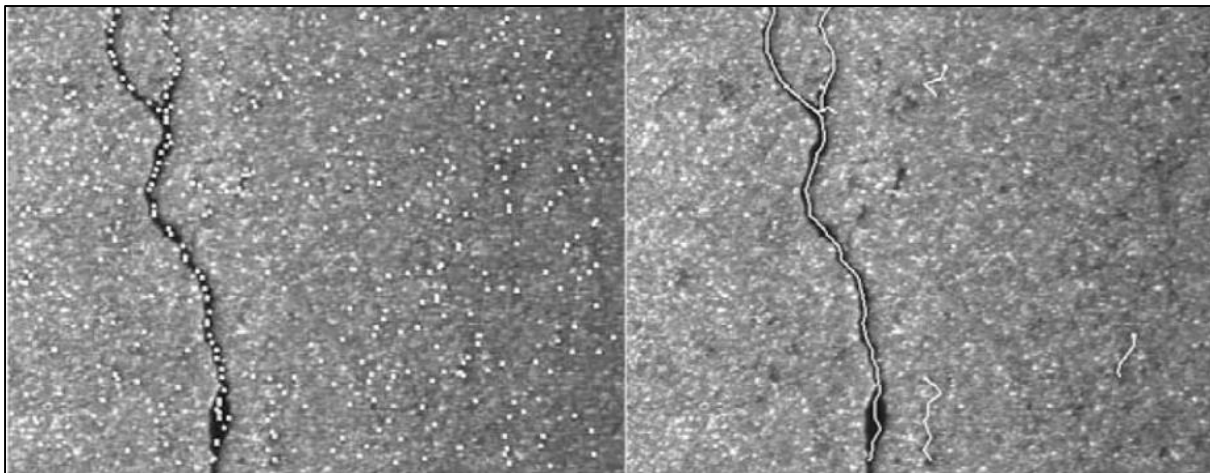


Figur 18 Prinsipp for en *seed-growing* algoritme

Algoritmen tar utgangspunkt i en piksel som indikerer et dybdeavvik (svart), og kontrollerer deretter nabopikslene alle retninger. Grenseverdier kan brukes for å bestemme hvor lang avstand (antall piksler) det skal kontrolleres for i hver retning.

Finner algoritmen en nabopiksel som også indikerer dybdeavvik opprettes en relasjon mellom disse. Etter hvert som tilliggende dybdeavvik kobles sammen vil en få linjer som indikerer sprekker i vegflaten.

Et resultat fra en *seed-growing* analyse vises i figuren under (Gavilán et al., 2011).



Figur 19 Sprekker identifisert ved bruk av *seed-growing* algoritme

Identifisering sprekker ved 3D målinger

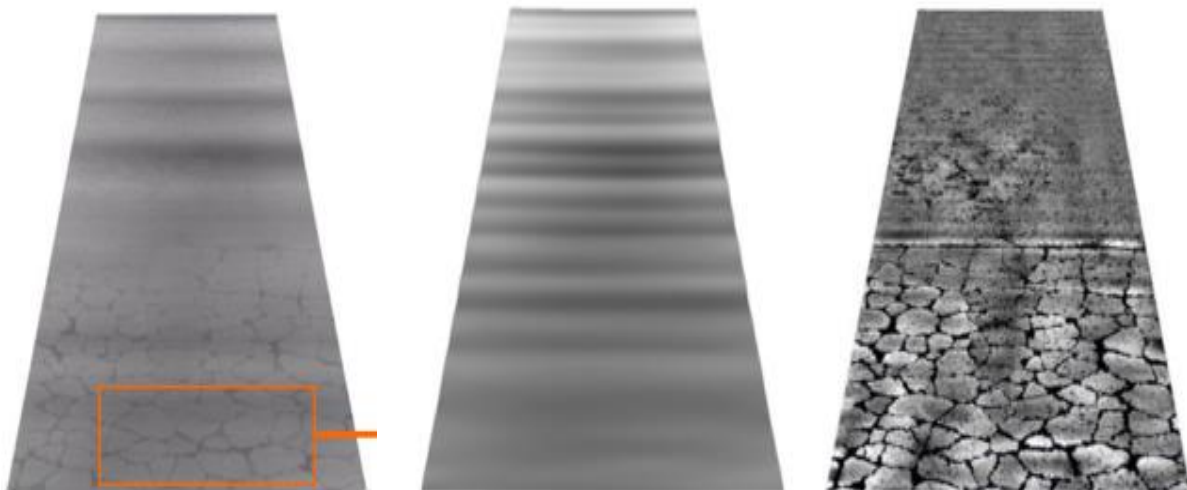
Identifisering av sprekker ved 3D målinger gjøres ved å analysere den geometriske overflaten som er gitt ut fra de enkelte målepunktene.

Generell metodikk

Før datagrunnlaget fra 3D målingene kan brukes til identifisering av sprekker må det utføres en forbehandling for å fjerne støy og unøyaktigheter fra målingene.

Et problem som kan oppstå ved laserskanning basert på time of flight prinsippet er doble refleksjoner fra skarpe kanter, hvor en laserpuls reflekteres tilbake i flere ulike retninger og gir geometrisk avvik (Amann et al., 2001). Matematiske filtre kan brukes til å luke bort disse feilene.

En annen utfordring ved bruk av mobile målesystem er ujevnheter i målingene forårsaket av bilens vertikale bevegelser under skanning. Slike bevegelser kan blant annet gi høydevariasjoner (storskalavariasjoner) mellom tilliggende skanneprofil. For å rekonstruere vegflatens reelle geometri må disse variasjonene fjernes, uten at det går på ut over småskalavariasjoner som angir vegens ujevnheter. En metode for korreksjon av unøyaktigheter som skyldes bilens vertikale bevegelser illustreres i figuren under (Ouyang and Xu, 2013).

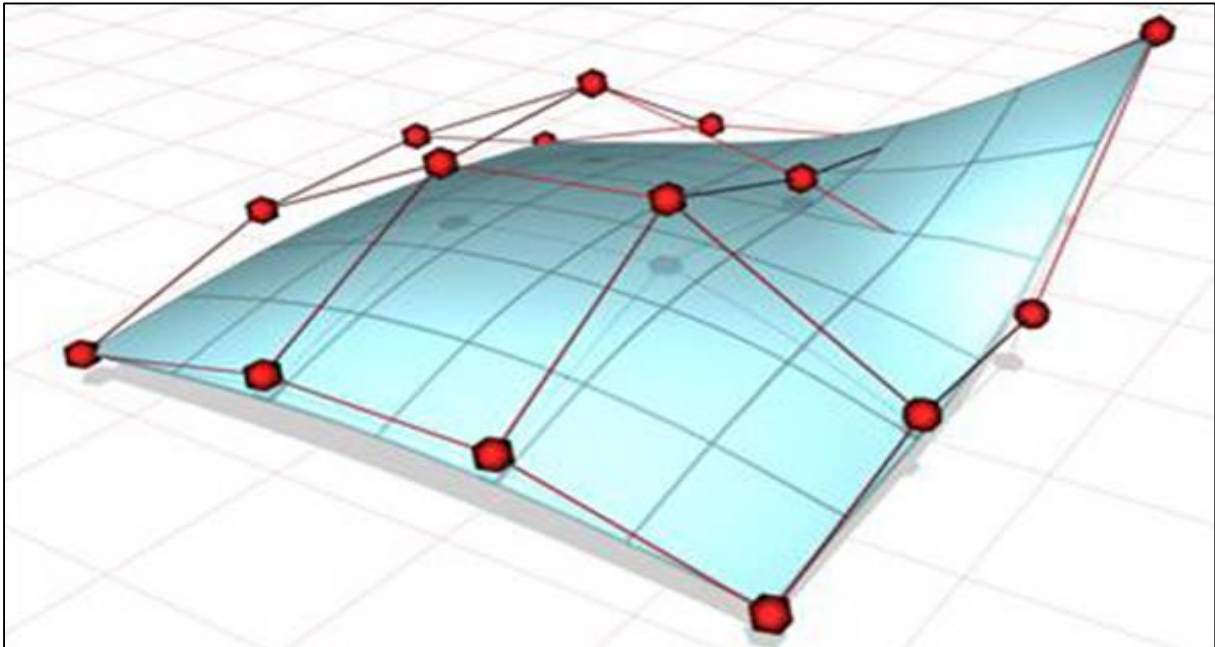


Figur 20 Korrigering av storskalavariasjoner for 3D lasermålinger

Figuren viser hvordan en kan fjerne storskalavariasjoner samtidig som småskalavariasjoner beholdes. Til venstre vises den originale flaten med både stor- og småskalavariasjoner. I midten vises en overflate hvor kun storskalavariasjonene fra flaten til venstre er hentet ut.

Ved å subtrahere flaten med storskalavariasjoner fra den opprinnelige flaten vil en sitte igjen med en flate som kun inneholder småskalavariasjoner, som vist i figuren til høyre.

Proessen beskrevet over bygger på bruk av *non-uniform rational B-splines* – *NURBS* – som er en metode for matematisk beskrivelse av en flate estimert fra enkelt punkt fra laserskanningen. Figuren under viser et eksempel på en NURBS-flate.



Figur 21 En geometrisk NURBS-overflate (Hentet fra: grayholland.com)

De røde kontrollpunktene er målinger fra laserskanningen, som brukes til å estimere flaten.

Ved å variere antall kontrollpunkt kan en justere hvor detaljert den estimerte flaten skal være; velges få kontrollpunkt vil flaten representere storskalavariasjoner, mens flere kontrollpunkt vil inkludere småskalavariasjoner.

Når en har korrigert data for støy og unøyaktigheter er neste steg å identifisere sprekker.

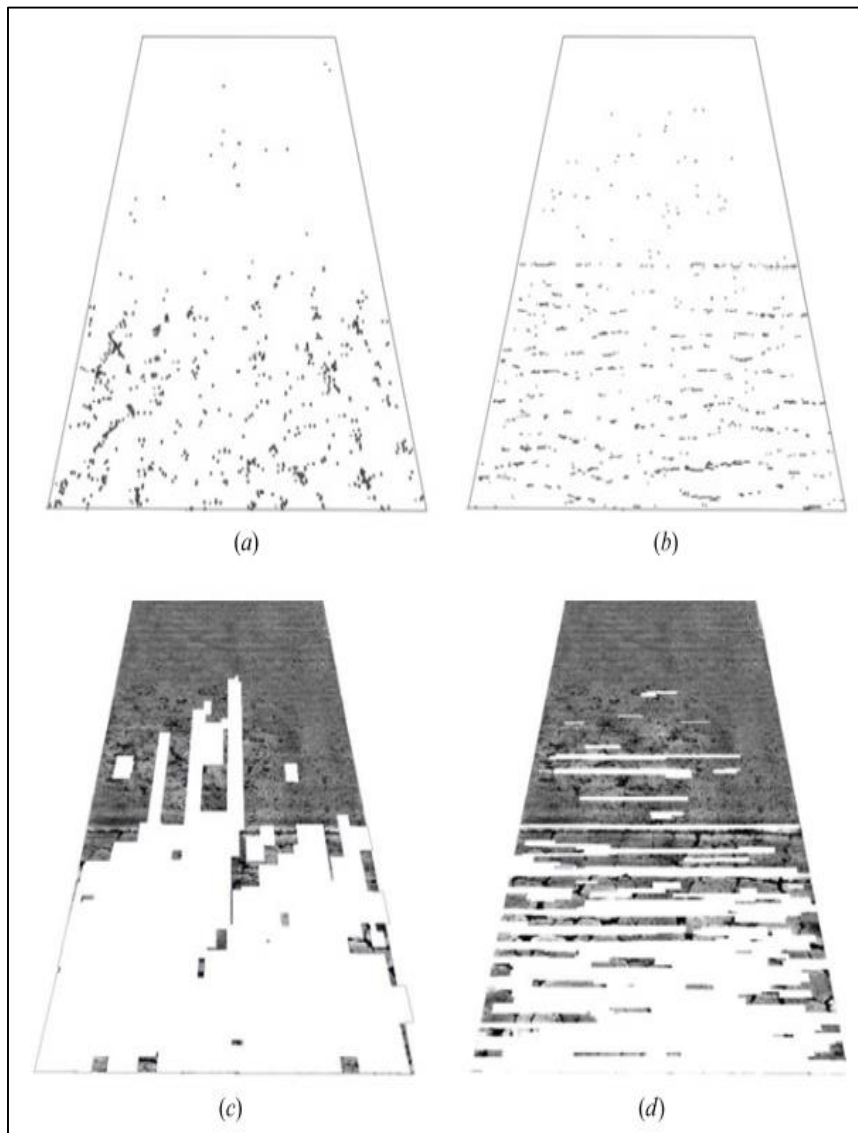
Eksempel på identifisering av sprekker

I det følgende beskrives en metode for identifisere av sprekker basert på 3D målinger. Metoden er hentet fra et studie utført ved *University of Texas* i 2013 (Ouyang and Xu, 2013) .

Identifiseringen av sprekker innebærer først et forbehandlingssteg, og deretter et identifiseringssteg.

I forbehandlingssteget gjøres et grovsøk for å finne områder med dybdevariasjoner, før det i identifiseringssteget gjøres et finere søk for å finne sprekker.

Metoden brukt ved grovsøket illustreres i figuren under (Ouyang and Xu, 2013).



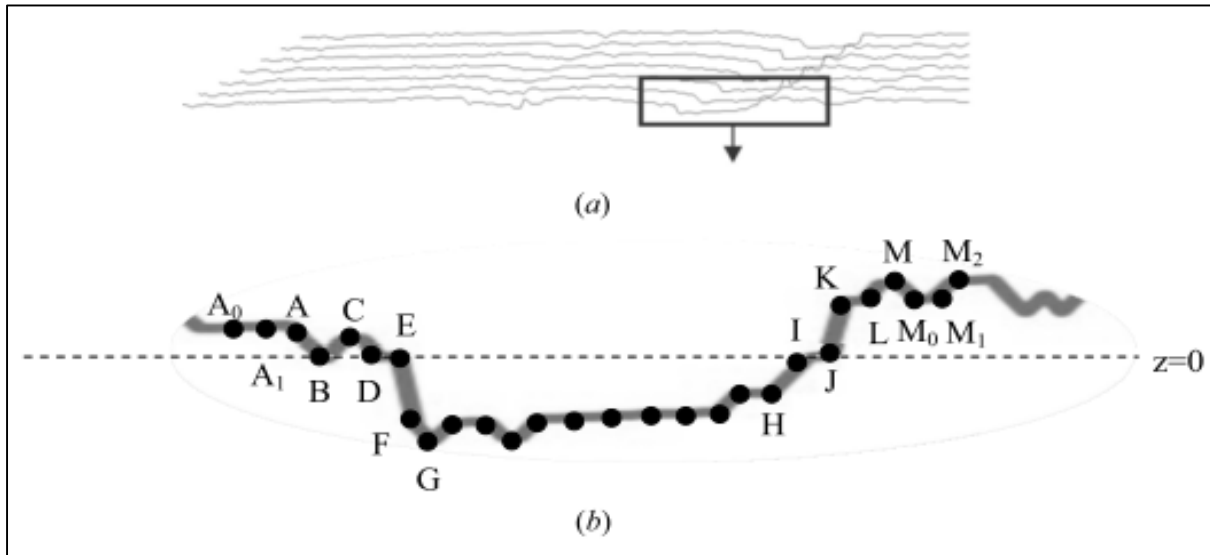
Figur 22 Metode for identifisering av langs- og tversgående sprekker ved 3D laserskanning

For grovsøket deles data fra den skannede flaten inn i to matriser, en for analyse av langsgående og en for tversgående sprekker. Matrisene inneholder plassering og høydevariasjonene til de individuelle skannepunktene. Et matematisk filter i form av en *Haar transformasjon* benyttes for å aggregere tiliggende punkt i begge matrisene, for danne et tydeligere bilde av høydevariasjoner. Deretter benyttes en grenseverdi for å identifisere punkt som representerer ujevnheter i vegflaten. Resultatet fra denne prosessen vises i figur a og b.

Et filter benyttes deretter til å fjerne ujevnheter som ligger alene, og som dermed ikke kan være en del av en sprekke. Ujevnhetene som ikke lukes bort definerer senter i et rektangulært område på 30×10 punkt, hvor det i neste steg gjøres et finsøk. De utvalgte flatene vises i figur c og d.

I finsøket analyseres punktene i de utvalgte områdene både vertikalt og horisontalt for hvert skanneprofil. Søket utføres fra venstre mot høyre.

Figuren under viser en grafisk fremstilling av et profil med punkt (Ouyang and Xu, 2013).



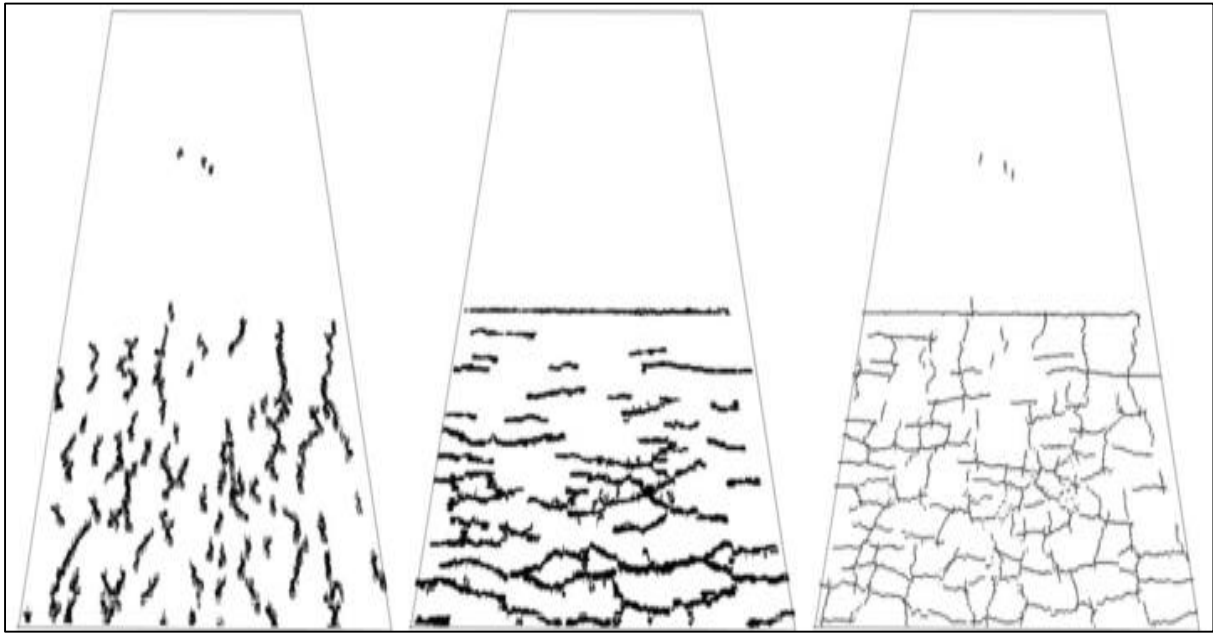
Figur 23 Identifisering av ujevnheter i skanneprofil

Identifiseringen av sprekker baseres på en algoritme som analyserer høydeforskjellen mellom tiliggende punkt i profilene, hvor 4 betingelser sjekkes:

- **Kant:** En sprekke har to kanter (gradienter) i et tversgående profil. Når en algoritme søker gjennom punktene fra venstre mot høyre vil en ujevnheter først ha en nedadgående helning, med en påfølgende oppadgående helning.
- **Dybde:** Dybden av ujevnheten må være over en grenseverdi (3 mm) for å kunne regnes som en del av en sprekke.
- **Bredde:** Avstanden mellom ujevnhetens endepunkt må være under en grenseverdi (40 mm) for å regnes som sprekke. Ujevnheter med bredde større enn grenseverdien regnes som hull.
- **Utstrekning:** Ujevnheter i tiliggende profil kan danne langsgående sprekker dersom disse maksimalt er forskjøvet 5 mm (mot venstre eller høyre) i forhold til ujevnheten i naboprofilet (se figur a).

Ujevnhetene som oppfyller alle de 4 betingelsene kobles sammen til vertikale og horisontale sprekker. Ved å kombinere disse to sprekktypene er det også mulig å identifisere alligatorsprekker.

Figuren under viser et resultat fra metoden beskrevet i dette eksemplet.



Figur 24 Resultat av sprekkdeteksjon for 3D flate

Som vist over er resultatet en identifisering av 3 kategorier sprekker.

Metoden beskrevet over er validert i en feltstudie, hvor en kontrollerte den automatiske analysen mot en manuell registrering av sprekker i vegflaten (Ouyang and Xu, 2013).

Målingene ble gjort med en fart på 30 km/t. Skanneren ga en tversgående oppløsning på 1,56 mm og en langsgående oppløsning på 1,67 mm. Feltstudiet viste at 96,6% av alle tversgående sprekker og 93,7% av alle langsgående sprekker ble oppdaget av det automatiske systemet.

Utførelse av 3 like måleserier viste et avvik på under 2% for både tvers- og langsgående sprekker.

En test av ulike kjørehastigheter ble gjort også gjort. Forsøket viste at en økning av hastigheten fra 25 til 50 km/t ga en reduksjon i identifiserte tversgående sprekker på 4,2 %. Tester ble også utført under ulike værforhold med både sol og skyer, hvor dette ikke ga noe betydelig avvik i resultatene.

Konklusjonen på studiet er at automatiske målinger kan sies å holde minst like god kvalitet som manuelle målinger.

Kapittel 6 - Analyse av data

Etter identifisering av sprekker kan en forsøke å si noe mer om hvilke type sprekker en har, og hvor alvorlig skadene er. Desto mer informasjon en kan trekke ut fra målingene, desto større vil nytteverdien være.

Noen parametere som kan brukes til å beskrive sprekker i vegflaten er følgende (Brekke, 2011):

- **Lengde:** Lengden av sprekken
- **Bredde:** Gjennomsnittlig bredde av sprekken
- **Dybde:** Gjennomsnittlig dybde av sprekken
- **Orientering:** Skille mellom langsgående, tversgående, og skrå sprekker
- **Plassering:** Hvor i vegbanen sprekken er

Ved å bruke parameterne over vil en kunne klassifisere ulike typer sprekker, og deretter vurdere alvorlighetsnivå.

Det finnes i dag ingen universelle rammeverk for klassifisering og vurdering av alvorlighetsgrad for sprekker. Ulike vegmyndigheter benytter derfor ulike metoder.

Litteratursøket avdekket få eksempler på automatisk klassifisering og vurdering av alvorlighetsgrad for sprekker. Et studie beskriver hvordan en kan forsøke å skille mellom langsgående, tversgående og alligatorsprekker (Ouyang and Xu, 2013). Et annet viser til en metode for kvantifisering av areal i vegflaten som inneholder sprekker (Brekke, 2011).

Ingen av de nåværende metodene nærmer seg full utnyttelse av det teoretiske potensiale som ligger i klassifisering og vurdering av sprekkers alvorlighet. En årsak til dette kan være at det er utfordrende å utvikle automatiske algoritmer for å dele sammensatte sprekkemønstre inn gjensidig utelukkende kategorier (Tsai et al., 2012a). En annen årsak kan være manglende kvalitet på målinger med dagens teknologi.

I det følgende presenteres eksempler på noen rammeverk for klassifisering og vurdering av sprekkers alvorlighetsgrad.

6.1 Klassifisering av sprekker

Klassifisering av sprekker kan blant annet gjøres med utgangspunkt i geometri, plassering eller den bakenforliggende skadeårsaken. Målet med klassifiseringen er å strukturere informasjon om sprekker for å kunne dra bedre nytte av denne.

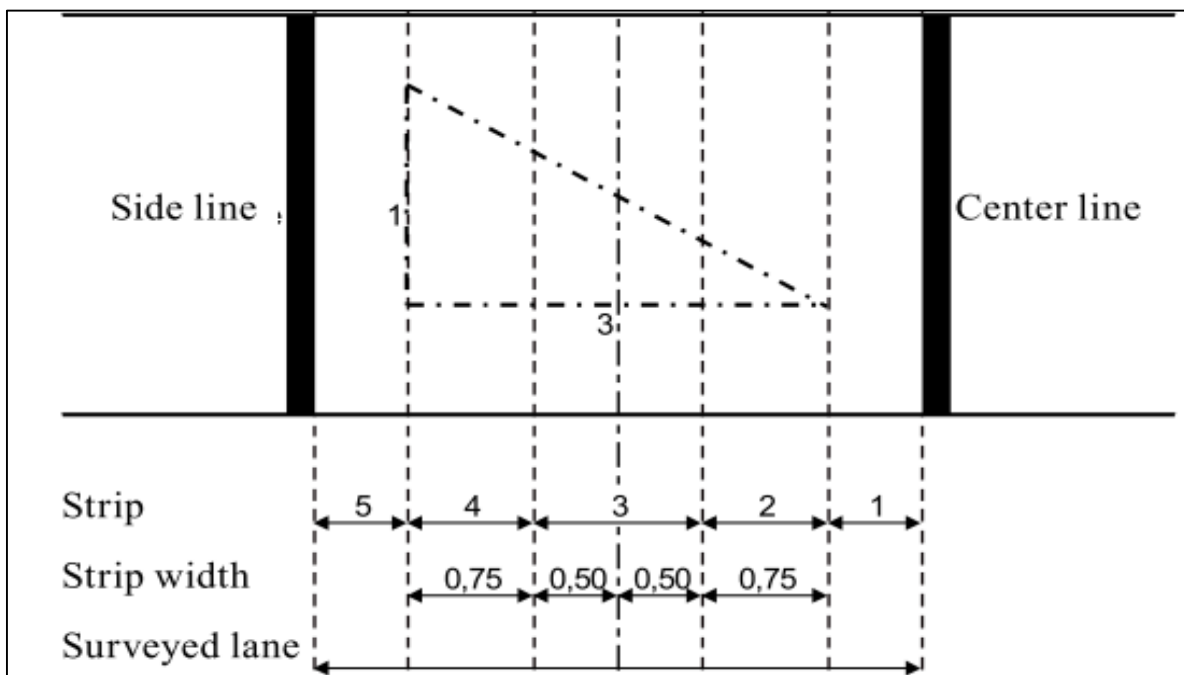
I det følgende presentert to klassifiseringsmetoder funnet i litteratursøket, en fra *World Road Association* og en fra *US Department of Transportation*.

Eksempel på klassifisering – World Road Association

I det følgende presenteres en metode for kvantitativ klassifisering av sprekker utarbeidet av World Road Association (PIARC, 2012).

Metoden bygger på en inndeling av vegbanen i 5 soner. Hensikten bak dette er at sprekkenes plassering i vegbanen kan ha noe å si for hvor alvorlig skaden er.

Figuren under viser inndelingen som brukes i rammeverket (PIARC, 2012).



Figur 25 Inndeling av vegbanen i 5 soner etter metode fra World Road Association

For å kunne regnes som en sprekke er et minstekrav at ujevnheten er større enn 15 cm i lengderetning og bredere enn 1 mm.

Sprekker klassifiseres i 6 ulike kategorier, basert på grensebetingelser for geometriske parametere:

- **Tversgående sprekker:** Sprekker som strekker seg mer enn 3 ganger så langt på tvers av vegen som i lengderetning. Videre må sprekken være registrert i minst 2 av 5 soner for å ikke regnes som langsgående.
- **Langsgående sprekker:** Sprekker som strekker seg 3 ganger så langt i lengderetning som i bredderetning og/eller kun registreres i 1 sone.
- **Kantsprekker:** Langsgående sprekker som ligger 25 cm eller nærmere veikanten.
- **Alligatorsprekker:** Rutenettverk av sprekker, med 3 eller flere ruter i hver lengderetning. Ruter over 30 cm i diameter regnes som selvstendige sprekker.
- **Sprekkområde:** Samling av parallelle langsgående sprekker maksimalt 30 cm fra hverandre. Blir avstanden større regnes disse som selvstendige sprekker.
- **Hull:** Skade med en diameter større enn 5 cm, hvor all asfalten i midten er borte.

Denne klassifiseringen er basert på enkle geometriske parametere, og burde være mulig å ta i bruk med datagrunnlaget fra dagens skannerteknologi.

Eksempel på klassifisering – US Department of Transportation

US Department of Transportation har utformet en veileder for entydig innsamling og klassifisering av skader i vegdekket basert seg på kvantitative parametere.

Veilederen ble utviklet gjennom det svært omfattende programmet *Long-Term Pavement Performance Program – LTPP* – som ble utført i USA i 1987 (Miller and Bellinger, 2003).

I løpet av en periode på 20 år utførte flere stater i USA sammen med 15 andre land en rekke tester på over 1000 vegstrekninger for å utvikle metoder for å beskrive sprekker, hull, ujevnheter og avskalling i vegflaten.

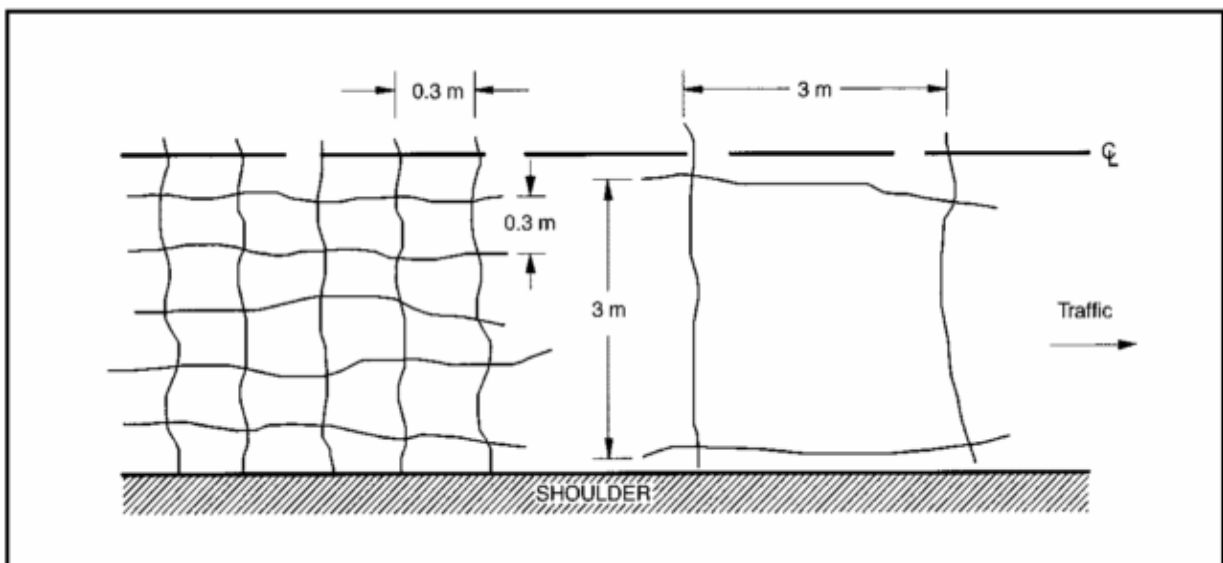
Resultatet fra studiene danner grunnlaget for rammeverket *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Program*.

Distress Identification Manual klassifiserer sprekker i 7 kategorier (Miller and Bellinger, 2003).

- 1) **Utmattingsprekker**
- 2) **Alligatorsprekker**
- 3) **Kantsprekker**
- 4) **Langsgående sprekker**
 - a) i hjulspor
 - b) utenfor hjulspor
- 5) **Refleksjonssprekker**
 - a) ved skjøter
 - b) langsgående
 - c) tversgående
- 6) **Tversgående sprekker**

For hver klasse er det beskrevet en metode for kvantifisering av type og alvorlighetsgrad.

Under viser et eksempel på beskrivelse av en alligatorsprekk fra manualen (Miller and Bellinger, 2003).



Figur 26 Eksempel på klassifisering av en alligatorsprekk fra Distress Identification Manual

Som figuren viser definerer manualen blant annet grenseverdier for rutenes størrelse, som kan brukes ved klassifisering.

De kvantitative størrelsene som er benyttet i Distress Identification Manual kan sannsynligvis også brukes ved analyser utført av automatiske algoritmer.

6.2 Vurdering av alvorlighetsgrad

Når en har klassifisert sprekker kan det være nyttig å også si noe om alvorlighetsgraden. Sprekker utvikles over tid, og kan etter hvert gi en akselerert skadeutvikling om forebyggende tiltak ikke iverksettes i tide.

Generell metodikk

Sprekkes alvorlighetsgrad kan deles inn i ulike nivå alt etter hvor mye skaden har fått utvikle seg. En måte å gjøre dette på er å først klassifisere sprekken, for så å vurdere alvorlighetsgraden ut fra grenseverdier for karakteristiske parametere, som størrelse, bredde, dybde, etc.

En utfordring når det gjelder inndeling i alvorlighetsgrader er den flytende overgangen fra enkle til stadig mer komplekse skademønstre. Automatiske system vil kreve presise kvantitative parametere for å beskrive ulike alvorlighetsgrader. Dette stiller krav til nøyaktighet for både måleutstyret, analyseprosedyrer og det teoretiske rammeverket.

Det var gjennom litteratursøket ikke mulig å finne eksempler på rammeverk tilpasset automatisk vurdering av alvorlighetsgrad.

Eksempler på manuell vurdering av alvorlighetsgrad

Et eksempel på manuell vurdering av alvorlighetsgrad for sprekker finnes i *Distress Identification Manual*. Her deler en ulike kategoriene inn i 3 alvorlighetsgrader: lav, moderat og høy. Alvorlighetsgradene defineres av kvantitative parametere.

Et eksempel på kvantitativ vurdering av alligatorsprekker basert på sprekkenes bredde gis under (Miller and Bellinger, 2003).

Severity Levels
LOW Cracks with a mean width ≤ 6 millimeters (mm); or sealed cracks with sealant material in good condition and with a width that cannot be determined.
MODERATE Cracks with a mean width > 6 mm and ≤ 19 mm; or any crack with a mean width ≤ 19 mm and adjacent low severity random cracking.
HIGH Cracks with a mean width > 19 mm; or any crack with a mean width ≤ 19 mm and adjacent moderate to high severity random cracking.

Figur 27 Vurdering av alvorlighetsgrad i Distress Identification Manual

Et annet eksempel kommer fra Georgia, hvor en bruker et system kalt *Pavement Condition Evaluation System – PACES* - for årlig analyse av vegnettet (Tsai et al., 2012a).

I PACES deles skader inn i 4 alvorlighetsgrader. I stedet for å basere vurderingene på ulike kategorier av sprekker bruker en her den bakenforliggende skadeårsaken som referanse. På denne måten kan en skade utvikle seg på tvers av kategorier.

For eksempel kan en sprekk forårsaket av hjulslitasje utvikle seg fra en enkelsprekk, via en alligatorsprekk til et åpent hull. Hvert av disse stadiene vil representere en øking i alvorlighetsgraden.

De ovenstående eksemplene viser at det finnes flere mulige metoder som kan brukes til vurdering av sprekkeres alvorlighet.

Kapittel 7 - Bruk av data

Etter identifisering og klassifisering av sprekker sitter igjen med mye informasjon som kan brukes til å evaluere vegens tilstand. Nesten steg blir å aggregere og analysere denne informasjonen ulike deler av vegnettet.

Et sentralt verktøy i forvaltningen av vegnettet er *Pavement Management System – PMS* – et system hvor informasjon om vegnettets nåværende og fremtidig tilstand samles og brukes som grunnlag for samfunnsøkonomiske analyser. Analysene brukes deretter for å vurdere hvilke tiltak som bør utføres.

For å gjøre tilstandsanalyser i PMS er det vanlig å bruke kvantitative tilstandsindekser som baseres på innsamlede parametere, som vegens jevnhet, spordybde og sprekker. Det finnes ulike typer tilstandsindekser, alt fra spesifikke indekser for utvalgte skadetyper til generelle samleindekser. Indeksene kan også inngå i prediksjonsmodeller, for prediksjon av fremtidig tilstand.

I dette kapittelet gis en kort beskrivelse av PMS, tilstandsindekser og prediksjonsmodeller.

7.1 Pavement Management System

I sin videste betydning inkluderer PMS alle aktiviteter i et vegsystems livsløp, inkludert planlegging, drift, vedlikehold og rehabilitering (Haas et al., 1994). Det overordnede målet med PMS er å gi vegforvalteren et solid beslutningsgrunnlag. Dette innebærer blant annet å analysere konsekvenser av ulike løsninger, samordne aktiviteter innad i organisasjonen og sikre god koordinering.

Det finnes flere definisjoner på PMS, hvor to av disse gis under (Haas et al., 1994):

«A PMS provides decision makers at all management levels with optimum strategies derived through clearly established rational procedures. A PMS evaluates alternative strategies over a specified analysis period on the basis of predicted values of quantifiable pavement attributes, subject to predetermined criteria and constraints. It involves an integrated, coordinated treatment of all areas of pavement management, and it is a dynamic process that incorporates feedback regarding the various attributes, criteria and constraints involved in the optimization procedure.»

(...)

«A PMS is a set of tools or methods that assist decision-makers in finding optimum strategies for providing, evaluating, and maintaining pavements at a serviceable condition over a period of time»

Analysene som gjøres i PMS kan deles inn i et *nettverksnivå* og et *prosjektnivå*.

Nettverksnivå er en overordnet betraktning, hvor en ser på hele vegnettet under ett. Dette inkluderer all bygging, drift, vedlikehold og rehabilitering, som planlegges ut fra et mål om maksimal samfunnsøkonomisk nytte.

Prosjektnivå er en mer detaljert betraktning, hvor fokuset er på et spesifikt prosjekt eller en utvalgt vegstrekning.

PMS kan videre sies å bestå av 3 delsystem (Taddesse, 2010):

1. **Innsamling:** Et system for å jevnlig innsamling av tilstandsdata fra vegnettet.
2. **Database:** Et databasesystem for sortering og lagring av innsamlet data.
3. **Analyse:** Et analysesystem for evaluering av strategier for drift, vedlikehold og rehabilitering.

Et effektivt PMS krever tilstrekkelig informasjon for hvert beslutningsnivå. Det er derfor viktig at all nødvendig data samles inn og oppdateres jevnlig for å sikre at analysene til enhver tid gjenspeiler den gjeldende situasjonen.

Etter innsamling må data bearbeides. Et databasesystem for effektiv sortering og lagring er en viktig del av et PMS. Etter bearbeiding kan en kontrollere tilstandsindekser mot grenseverdier for å vurdere om tiltak er nødvendig. Predikasjon av fremtidig tilstand basert på historisk data kan også inngå her.

Med bakgrunn i analyseresultatene kan en identifisere ulike strategier for hva som bør gjøres. Strategiene bør vurderes i lys av samfunnsøkonomisk nytte, på både prosjekt- og nettverksnivå. Når en har funnet en optimal strategi er det viktig å sørge for at denne gjennomføres på en god måte.

7.2 Tilstandsindekser

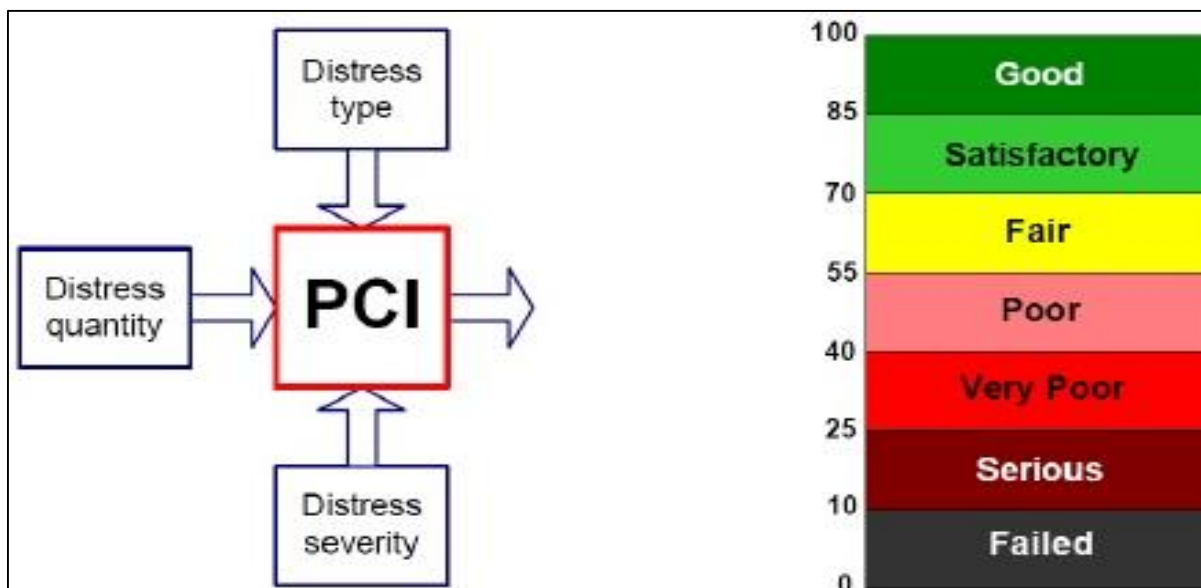
En tilstandsindeks kombinerer informasjon om vegens tilstand ved å aggregere denne til et kvantitativt tall (Alkire, 2009).

Tilstandsindekser kan brukes på nettverksnivå i et PMS for å definere nåværende tilstand, identifisere når tiltak er nødvendig, rangere og prioritere ulike strekninger, samt predikere fremtidig tilstand. Indekser kan representere en enkelt skadetype, eller kombinere flere skadetyper i en samleindekser. Samleindekser kan også inkludere informasjon om trafikknivå, vegklasser, klima, etc.

En av de første indeksene for tilstandsvurdering av veger ble utviklet i USA under programmet *AASHO Road Test* på 1960-tallet. Denne indeksen ble kalt *PSR – Present Serviceability Rating*. Kvantifisering av vegens PSR-verdi ble opprinnelig gjort av et panel med testpersoner som ga en subjektiv vurdering av en vegstrekningens komfortnivå etter en eller flere kjøreturer.

Etter hvert ble det utviklet en objektiv rangeringsmetode kalt *PSI - Present Serviceability Index*. PSI bruker den samme poengskalaen som ble utviklet for PSR, og knytter denne til objektive målinger av fysiske parametere for jevnhet, slitasje og sprekker.

PSI dannet grunnlaget for videre utvikling av tilstandsindekser. I 1976 etablerte *U.S. Army Corps of Engineers* en indeks kalt *PCI - Pavement Condition Index* – som egner seg godt for bruk i PMS. PCI brukes fortsatt av mange vegforvaltere i dag. Bildet under viser komponentene som inngår i beregning av PCI-verdi, med tilhørende kvantitativ og kvalitativ poengskala.



Figur 28 Illustrasjon av PCI skalaen (Hentet fra fulltext.koreascholar.com)

7.3 Bruk av tilstandsindekser

I takt med at PMS utvikles øker også kravene til tilstandsindeksene som brukes. For å beregne livsløpskostnader i PMS har en behov for å vite hvilke tiltak som bør settes inn i ved ulike skadetilstander. Som grunnlag for mer detaljert vurdering er det derfor utviklet egne indekser for ulike skadekategorier, og i noen tilfeller for individuelle skadetyper.

Tilstandsindekser kan deles inn i 3 bruksområder (Alkire, 2009):

- **Etablere terskelverdi:** Bestemme terskelverdi for vedlikehold
- **Estimere kostnader:** Bergene livsløpskostnader
- **Overordnet evaluering:** Evaluere vegens tilstand på nettverksnivå

Terskelverdier for relevante parametere kan benyttes for å vurdere når det er hensiktsmessig å gjennomføre vedlikeholdstiltak. Indeksen fungerer dermed som en hjelp til prioritering av vedlikeholdsarbeid.

Livsløpskostnader kan planlegges ut fra tilstanden på veien, og hvilke kostnader en regner vil påløpe for ulike strategier og tiltak. Spesifikke indekser kan brukes til å estimere mengden materialer som er nødvendig for ulike tiltak.

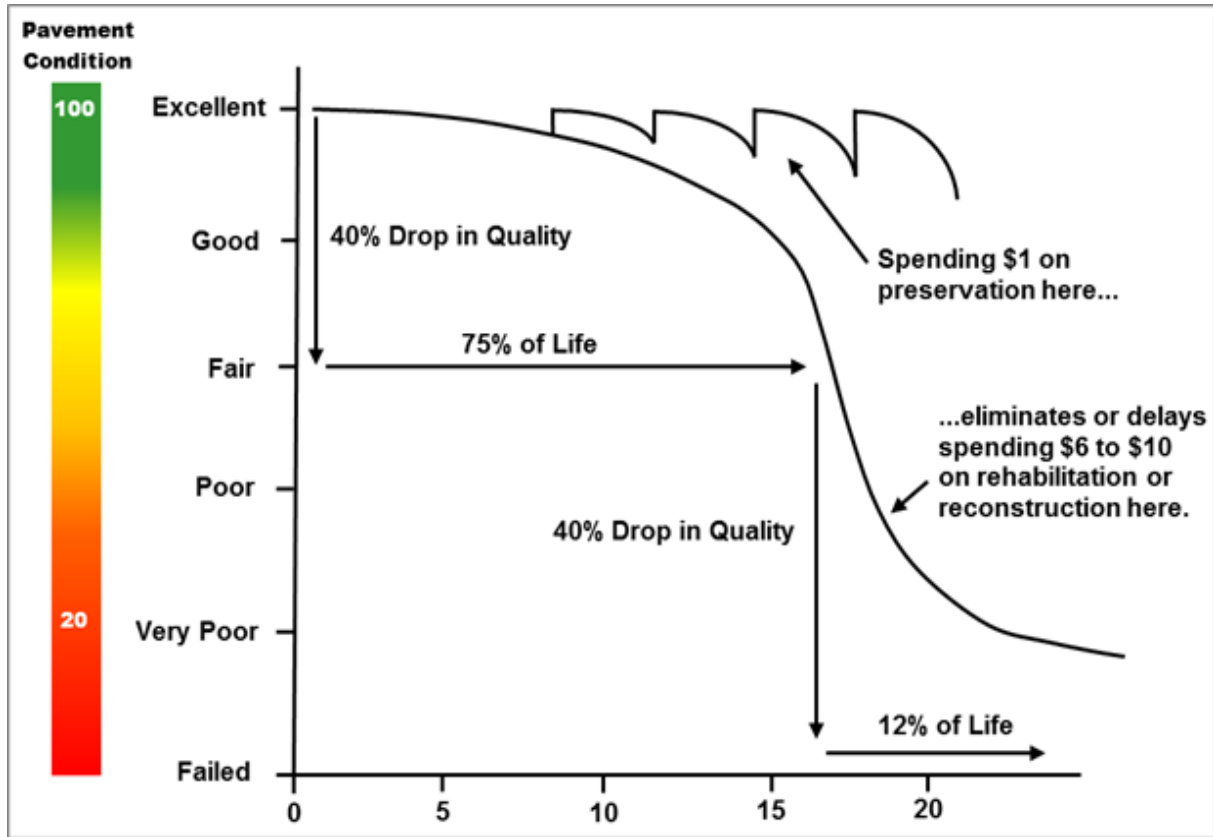
Evaluering av vegens tilstand på nettverksnivå kan gjøres ved hjelp av samleindekser, som kombinerer all relevant data. Samleindekser gir en overordnet evaluering av vegnettet, og gjør det mulig å sammenligne tilstanden mellom ulike vegstrekninger uavhengig av hvilke skademekanismer disse er berørt av.

For å etablere tilstandsindekser må en avgjøre hvilke parametere som skal være med, og hvordan disse best kan transformeres til en indeks. En metode er å først etablere et referansenivå for parameteren som skal måles, for så å relatere dette nivået til ulike avvik. For eksempel kan en bruke et nylagt vegdekke som referanse for full score, for så å trekke fra poeng avhengig av opptredende skaders omfang og alvorlighetsnivå.

For å sikre entydige resultat er det nødvendig med kvantitative indekser som består av parametere som måles ut fra klare definisjoner. Videre kan en benytte parametriske kurver til vektning av ulike indekser for å ta hensyn til spesielle forhold, for eksempel akselerert skadeutvikling over tid.

7.4 Prediksjonsmodeller

En viktig funksjon i PMS er predikasjon av behov for fremtidig vedlikehold. Figuren under viser hvordan kvaliteten til en vegflate endres over tid, uttrykt ved en tilstandsindeksindeks.



Figur 29 Illustrasjon av prediksjonsmodell (Hentet fra fulltext.koreascholar.com)

Kurven i figuren illustrerer et predikert forløp for tilstanden til en vegflate, og viser hvordan kvaliteten avhenger av valgt strategi for vedlikehold.

Dersom en utelater å gjøre noe vil tilstanden etter hvert forringes. Ved en kritisk grense (satt til 15 år i figuren) ser en at tilstanden forverres kraftig om ingenting gjøres. Når nedbrytningen er kommet langt vil det være betraktelig dyrere å rehabilitere eller bygge ny veg enn det ville vært å utføre mindre kostbare vedlikeholdsarbeid tidligere.

I prediksjonsmodeller forsøker en å relatere tilstandsindekser til forklaringsvariabler. Formen på kurven vil derfor variere alt etter hvilke forklaringsvariabel en bruker, som type veg, trafikkbelastning og påvirkninger fra omgivelser.

Det finnes en ulike typer prediksjonsmodeller, hvor en grovt sett kan dele disse inn i *deterministiske, probabilistiske og intelligente* modeller (Taddesse, 2010).

Deterministiske modeller predikerer verdien på en avhengig variabel ved å relatere denne til en eller flere uavhengige variabler. Modellene kan være empiriske, eller i varierende grad bruke parametere knyttet til mekaniske egenskaper. Rent empiriske modeller krever kalibrering mot lokale forhold, mens mekaniske modeller forutsetter detaljert kunnskap om blant annet materialeegenskaper, klima og trafikk.

Probabilistiske modeller estimerer sannsynlighet for et utfall basert på sannsynlighetsdistribusjonen til enkelthendelser. Denne type modeller er ikke særlig utbredt, etter som en trenger omfattende datagrunnlag for å bestemme sannsynlighetsdistribusjoner.

Intelligente modeller har de siste årene fått en større utbredelse i en rekke fagfelt, og kan også brukes i predikasjon av skader i vegflaten. Modellene baserer seg på algoritmer som kan «trenes opp» til å finne mønstre i historiske datasett. Ulempen med intelligente modeller er at disse ikke gir brukeren innsyn i analyseprosessen, slik at årsak-virkning sammenhenger er vanskelig eller umulig å avdekke. Dette gjør det også vanskelig å validere resultatene.

Kapittel 8 - Innsamling, analyse og bruk av data fra vegnettet i Norge

I det foregående er det presentert teori hentet fra internasjonal litteratur. I dette kapitlet ses det nærmere på hvordan vegforvaltningen i Norge er bygd opp, og hvilke metoder som benyttes til drift og vedlikehold av norske riks - og fylkesveier.

Ansvar for vegforvaltningen i Norge ligger hos Statens vegvesen, som benytter et eget PMS knyttet opp mot en nasjonal vegdatabank. Det foretas årlig registrering av data fra vegnettet med blant annet det mobile målesystemet ViaPPS, som inkluderer 3D laserskanning av vegflaten. Data fra vegnettet brukes til enkle analyser, og danner informasjonsgrunnlaget for drift og vedlikehold i Norge.

I det følgende gis en nærmere beskrivelse av systemer og metoder som brukes i Norge for innsamling, analyse og bruk av data om vegnettets tilstand.

8.1 Innsamling av data - ViaPPS

I Norge samles det inn data for en rekke parametere fra vegnettet. Noen parametere overvåkes jevnlig, mens andre registreres ved behov.

Noen av målemetodene og parameterne som brukes i dag er listet under (Aurstad et al., 2011):

- **ViaPPS:** Årlig måling av spor, jevnhet, tverrfall
- **ViaPhoto:** Vegbilder pr. 20 meter
- **Inspeksjoner:** Visuelle kartlegginger
- **Fallodd:** Vegens bæreevne (nedbøyning)
- **Georadar/oppgravinger:** Dekke- og grunnforhold
- **ROAR:** Friksjonsmålinger, slipp

Målinger av vegnettet gjøres av biler med målesystem fra ViaPPS, som vist under.



Figur 30 Foto av en ViaPPS målebil med Cargoscan-laser

Statens vegvesen har i dag 17 operative målebiler utplassert over hele landet, som utfører årlige målinger langs alle riks- og fylkesveier (ViaTech, 2015). Bilene registrerer i dag følgende parametere fra vegflaten (Aurstad et al., 2011):

- **Tverrprofil** (spordybder, tverrfall, vegmerkingslinjer, sprekker)
- **Lengdeprofil** (jevnhet/IRI, kurvatur)
- **Tekstur** (ruhet)

Det nåværende ViaPPS systemet med laserskanner fra Cargoscan har vært i bruk siden det overtok for det eldre målesystem *ALFRED* (Statens Vegvesen, 2014). I 2015 pågår det et arbeid med å fase inn en ny laserskanner for alle bilene med ViaPPS.

Den nye laserskanneren er utviklet av det tyske selskapet *Zoller + Frohlich* (ViaTech, 2015).

En illustrasjon av laserne fra ZF og Cargoscan vises under.

ZF



Cargoscan



Figur 31 Foto av den gamle Cargoscan-lasernen og den nye ZF-lasernen

Den nye skanneren gir mulighet for 360 graders målinger, og dermed innsamling av data også utenfor vegflaten. Dette åpner for å registrere informasjon om blant annet tunellprofiler, skilt, bruer, etc. Et eksempel fra et 360 graders skann med ZF vises under (Zoller+Frohlich, 2015):



Figur 32 Illustrasjon av et 360 skann gjort med ZF-laser

For å gi en indikasjon på systemenes nøyaktighet er det utført et enkelt regneeksempel for langs- og tversgående oppløsningen med utgangspunkt i en kjørehastighet på 60 km/t. En oversikt over oppløsning og andre tekniske detaljer for de 2 laserskannerne gis i tabellene under.

Grunnparameter	Verdi	Enhet
Målebredde på vegflate	4	m
Høyde på lasersensor	2,2	m
Kjørehastighet	60	km/t
Skannevinkel fra laser mot vegflate	95,5	grader

Tabell 2 Grunnparametere brukt ved beregning av tekniske parametere for lasersystemene

Tekniske parametere vises under (Zoller+Frohlich, 2015), (Værnes, 2006), (ViaTech, 2015):

Tekniske parametere	Cargoscan	Z+F Profiler 9012	Enhet
Registreringsfrekvens for 360 grader (maks)*	250 000	1 000 000	Hz
Registreringsfrekvens mot vegflate (maks)**	66 300	265 150	Hz
Rotasjonsfrekvens (maks)*	140	200	Hz
Punkt pr tverrprofil**	470	1 320	punkt
Oppløsning på langs (avstand tverrprofil)**	120	80	mm
Oppløsning på tvers**	8,4	3,0	mm
Grenser for måleavstand*	3 – 5 m	0,3 – 116 m	m

* Verdier hentet fra kilder, ** Verdier beregnet i Excel

Tabell 3 Tekniske parametere for ZF og Cargoscan

ZF representerer en forbedring på flere områder, blant annet når det gjelder oppløsning og nøyaktighet. Med utgangspunkt i regneeksempelet ser en at ZF skanneren gir en økning i oppløsningen på tvers fra 8,4 mm til 3 mm, og på langs fra 120 mm til 80 mm. Oppløsningen på dybdemålingene er ikke kjent, men det kan antas forbedringer også her.

Nøyaktigheten på målingene skal også være forbedret med det nye systemet (ViaTech, 2015). Cargoscan har blant annet problemer med en økende grad av signalstøy i ytterkantene av profilene, noe som reduseres med ZF. Det samme gjelder støy forårsaket av lav refleksivitet på vegflaten, hvor ZF også skal være bedre.

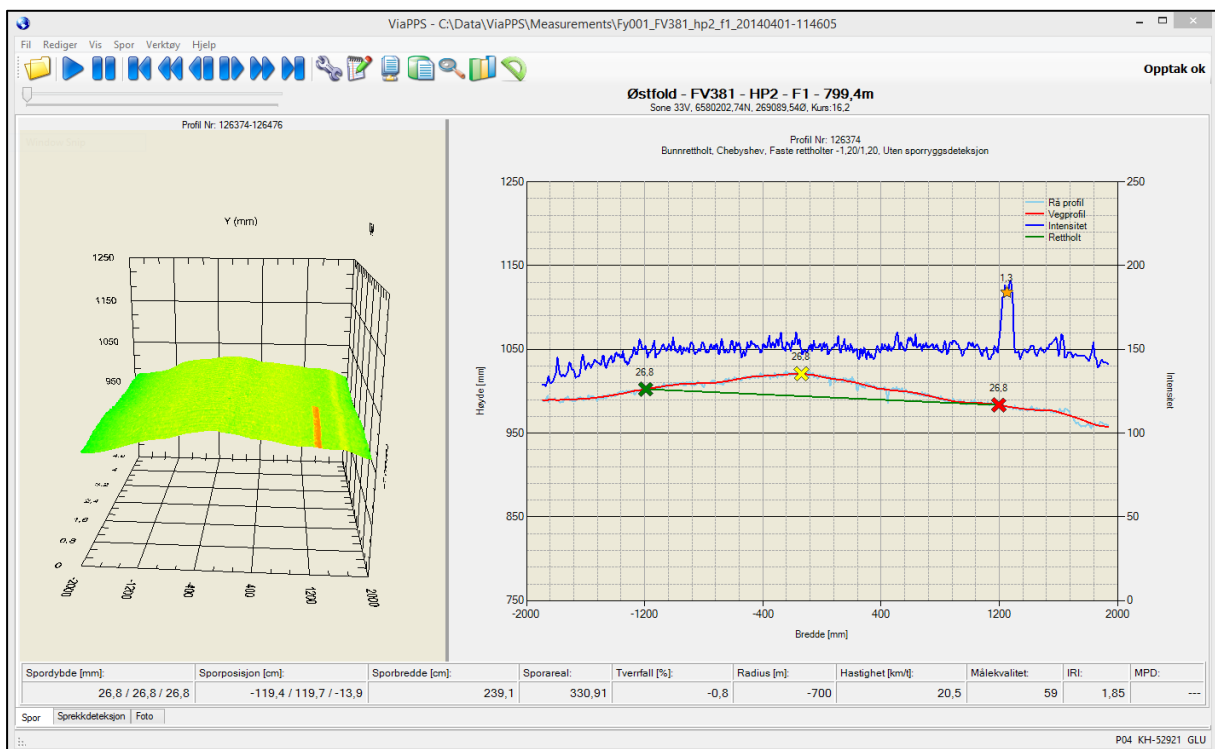
I tillegg til selve laserskanneren inkluderer ZF-systemet også en oppgradering av sensorer for posisjonsbestemmelse, hvor det gamle posisjonssystemet fra *Septentrio* erstattes av et nytt fra *Applanix* (ViaTech, 2015). For global posisjonsbestemmelse mottar *Septentrio* korreksjonsdata på desimeternivå (DPOS), mens *Applanix* kan mottar korreksjonsdata på centimeternivå (CPOS). Systemet fra *Applanix* inkluderer også nye sensorer for akselrotasjon (DMI) og lokale bevegelser (IMU). *Applanix* sin IMU består av tre akselerometer og tre gyroskop (*Applanix*, 2015). Forbedringene ved det nye systemet vil gi en mer detaljert og nøyaktig sprekkdeteksjon.

8.2 Analyse av data

Data fra lasermålinger fra ViaPPS kan leses inn og analyseres ved bruk av tilhørende programvare utviklet av ViaTech. Innlesning og behandling av data i programmet *ViaPPS Desktop*, mens visuell kontroll av behandlet data kan gjøres i *ViaPPS Analyse*. I det følgende ses det nærmere på funksjonaliteten i disse to programmene.

ViaPPS Desktop og Analyse

ViaPPS Desktop brukes for innlesning og behandling av data. Programmet gir brukeren tilgang til en rekke nøkkeldata, og presenterer disse ved hjelp av figurer og grafer. Brukergrensesnittet vises under.

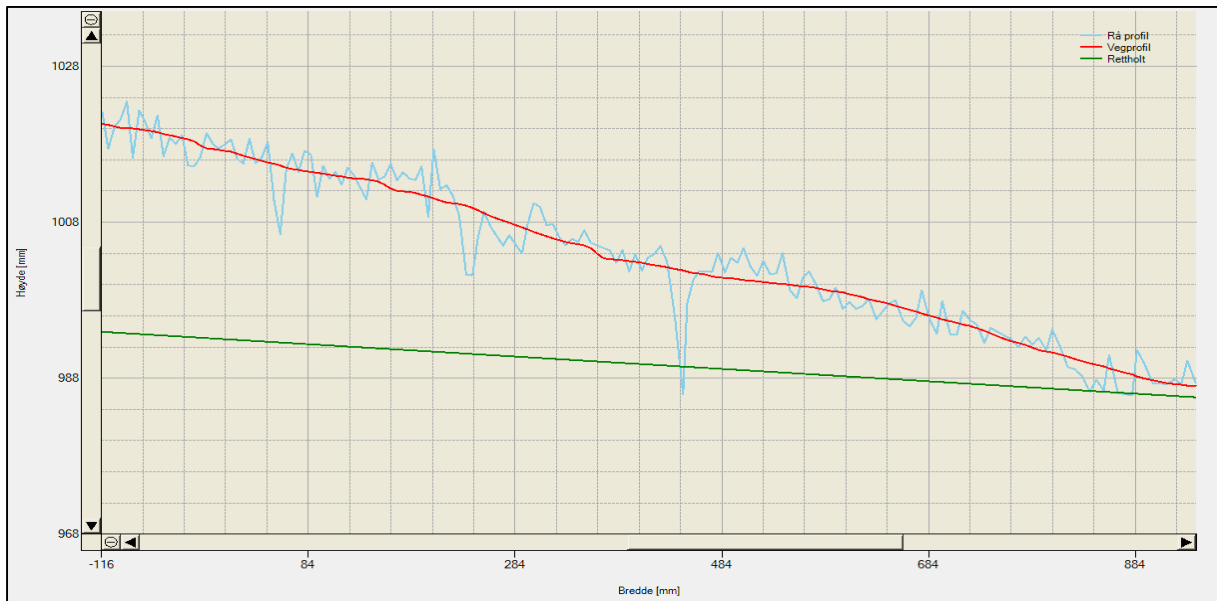


Figur 33 Skjerm bilde av brukergrensesnittet i *ViaPPS Desktop*

Til venstre ses et 5 meter langt utsnitt av en flate estimert fra de skannede punktene. Programmet viser også data for intensitet på den samme flaten, som blant annet kan brukes til å identifisere vegmerking (ses som en oransje stripe i flaten over).

Til høyre vises et vertikalt snitt av vegflaten. Snittet består av et estimert vegprofil (rød kurve), i tillegg til data fra intensitetsmålingene (blå kurve). Automatisk identifisert vegmerking er markert med en gul stjerne på intensitetskurven. Vegens helning er beregnet mellom to punkt (grønt og rødt kryss), som indikerer posisjonen til kjøretøyets hjul. Det høyeste punktet mellom hjulene er markert med et gult kryss.

Hvis en zoomer inn på det vertikale snittet kan en også se de individuelle målepunktene, som er grunnlaget for estimeringen av vegprofilet. Dette er vist i figuren under.



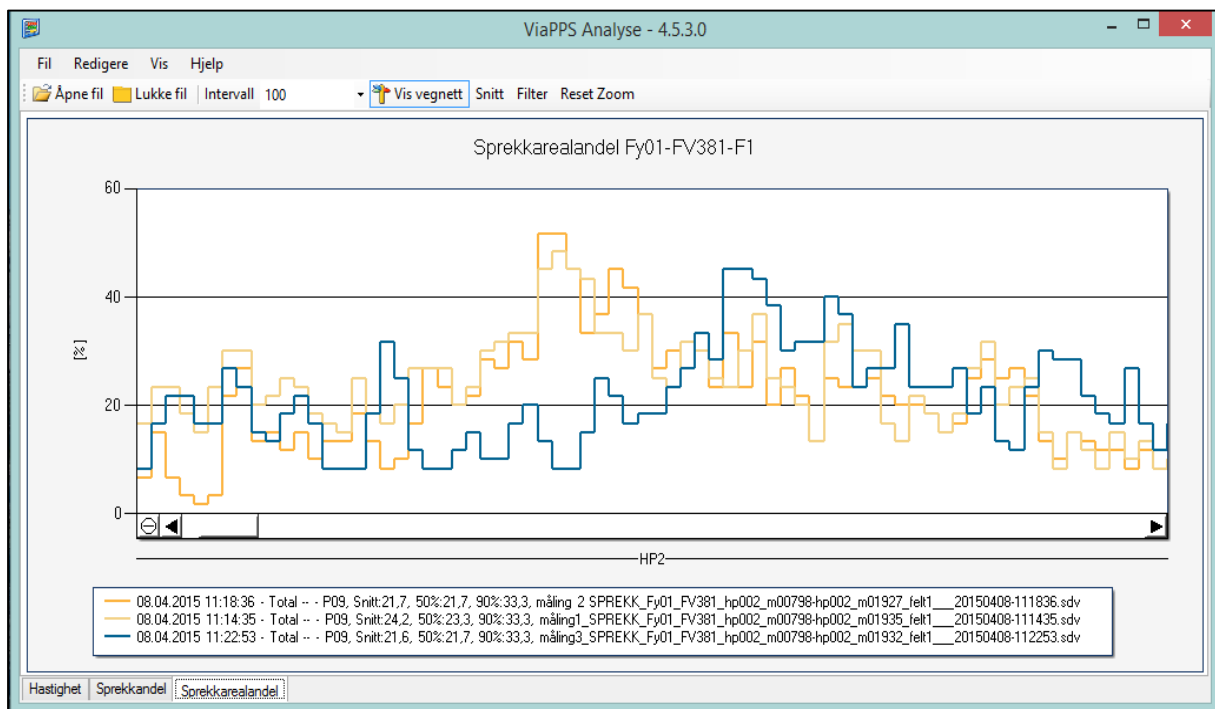
Figur 34 Utsnitt av grafisk fremstilling målepunkt fra et skanneprofil

Den lyseblå kurven viser en graf beregnet fra de individuelle skannepunktene i det tversgående profilet. Det estimerte vegprofilet (rød kurve) er et vektet gjennomsnitt av skannepunktene. Legg merke til dybdeavviket på omtrent 10 mm midt i figuren, som kan indikere en sprekk.

ViaPPS Desktop har også mulighet for å produsere en rekke ulike rapporter med bakgrunn i innlest data. Dette inkluderer blant annet *PPS Rapport*, *Initialrapport*, *Rosita / NVDB Rapport*, *Sprekkrapport*, *Prosjekteringsrapport* og *Kurvaturrapport*.

Hver rapport inkluderer nøkkeldata fra utvalgte parametere, og lagres som en tekstfil. Tekstfilen kan deretter åpnes med ulike programmer, for eksempel ViaPPS Analyse eller MS Excel.

En sprekkrapport åpnet i ViaPPS Analyse vises under.



Figur 35 Skjerm bilde av en sprekkrapport åpnet i ViaPPS Analyse

I figuren over er det lastet inn tre ulike sprekkrapporter, hvor grafen viser verdier for sprekkarealgrad langs en utvalgt strekning. ViaPPS Analyse brukes for å skaffe seg en rask og enkel oversikt over målinger utført med ViaPPS.

Sprekkdeteksjon i ViaPPS Desktop

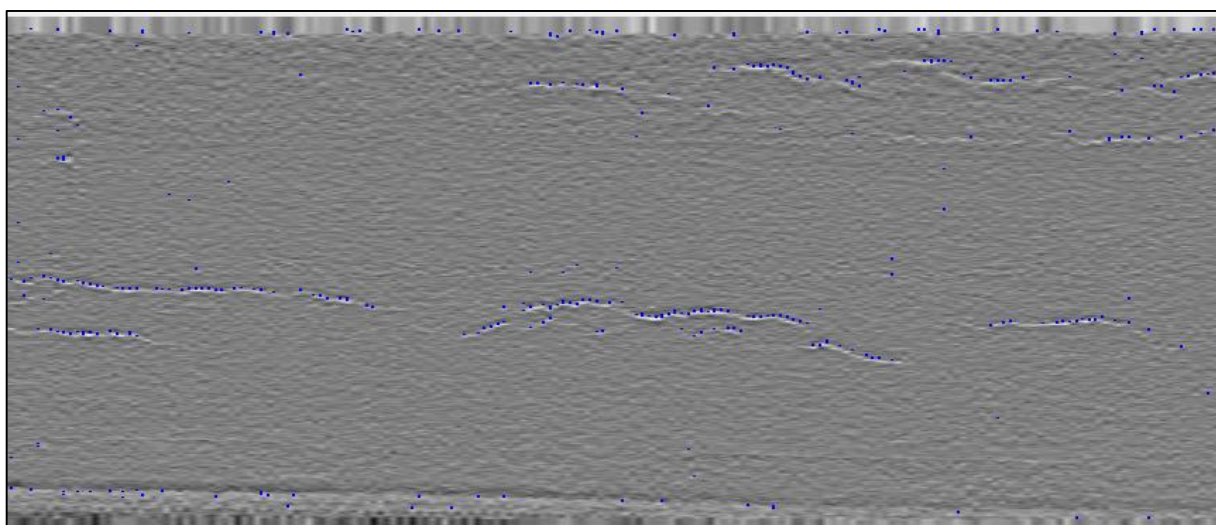
ViaPPS Desktop inneholder også funksjoner for identifisering og kvantifisering av sprekker i vegflaten.

Identifisering av sprekker baserer seg på en algoritme som analyserer dybdeavvik i punkt skyen fra laserskanningen. Grenseverdier for dybdeavvik brukes til å kalibrere sensitiviteten på algoritmen. ViaPPS Desktop benytter en adaptiv algoritme, hvor grenseverdiene justeres etter hvor mye støy målingene inneholder (ViaTech, 2015). Graden av støy varierer med den skannede flatens refleksivitet.

I den siste utgaven av ViaPPS Desktop er algoritmene for sprekkdeteksjon kalibrert for å utnytte at målingene fra det nye ZF-systemet er mer detaljerte enn fra Cargoscan (ViaTech, 2015).

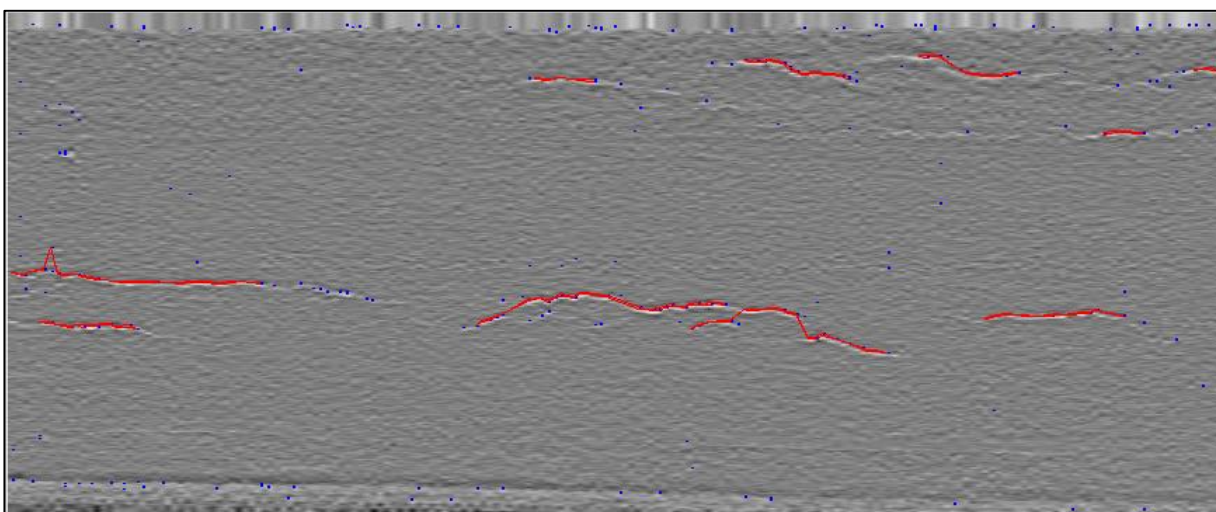
Etter hvert som en opparbeider seg mer erfaring med det nye systemet er det sannsynlig at ytterligere forbedringer kan gjøres i algoritmene.

I ViaPPS Desktop vises ujevnheter som blå punkt på den skannede flaten, som vist under.



Figur 36 Skannet flate med ujevnheter fra ViaPPS Desktop

Figuren viser at algoritmen har markert en rekke langsgående ujevnheter, hvor punkt som ligger etter hverandre kan indikere sprekker. Algoritmen kontrollerer deretter relasjonene mellom tilliggende ujevnheter, og kobler sammen punkt som antas å være sprekker. Under vises et resultat av algoritmen for indentifisering av sprekker i flaten.



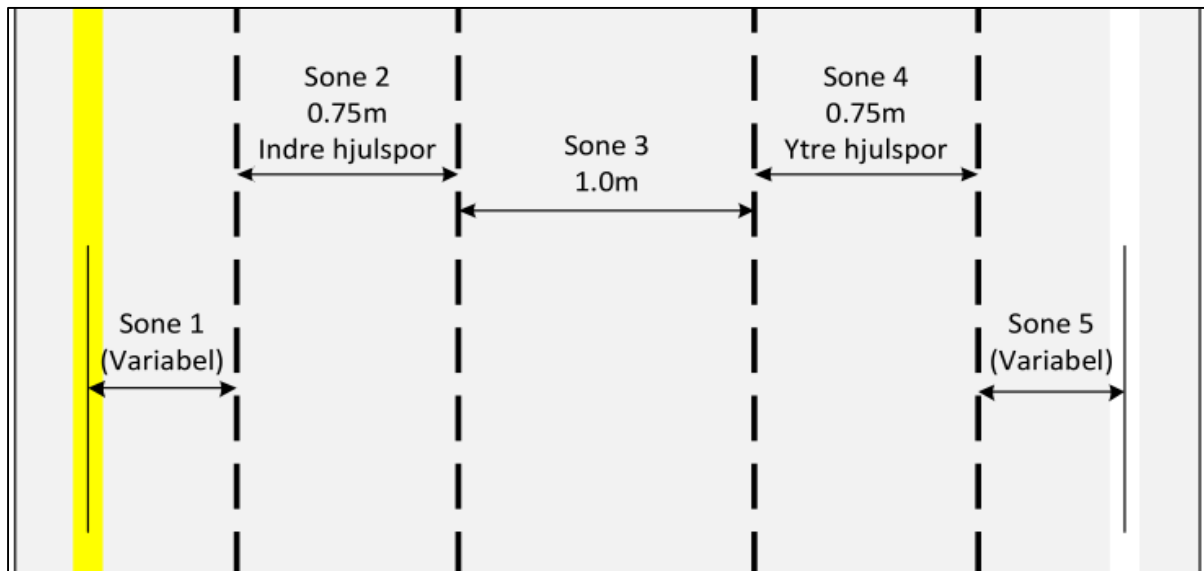
Figur 37 Skannet flate med indentifiserte sprekker fra ViaPPS Desktop

Som bildet viser er det funnet flere sprekker i vegflaten, samtidig som det også er tydelig at ikke alle punkt resulterer i sprekker. Dette skyldes grensebetingelsene, som avgjør hvor sensitiv algoritmen skal være. Sensitiviteten bør være slik at en identifiserer flest mulig reelle sprekker, og samtidig unngår feilidentifiseringer. Hvor denne grensen går avhenger blant annet av kvaliteten på datagrunnlaget.

Identifiserte sprekker kan brukes som grunnlag for kvantifisering av andel sprekker i vegflaten.

I siste utgave av ViaPPS Desktop (versjon 8.5.6) er det tatt i bruk to parametere for å kvantifisere andel sprekker i vegflaten; *sprekkgrad* og *sprekkarealgrad* (Brekke, 2011). Parameterne sier noe om den prosentvise mengden sprekker per veglengde, og er basert på et rammeverk utarbeidet av *World Road Association* (PIARC, 2012).

Både sprekkgrad og sprekkarealgrad beregnes for 5 soner i vegbanen, som vist under.



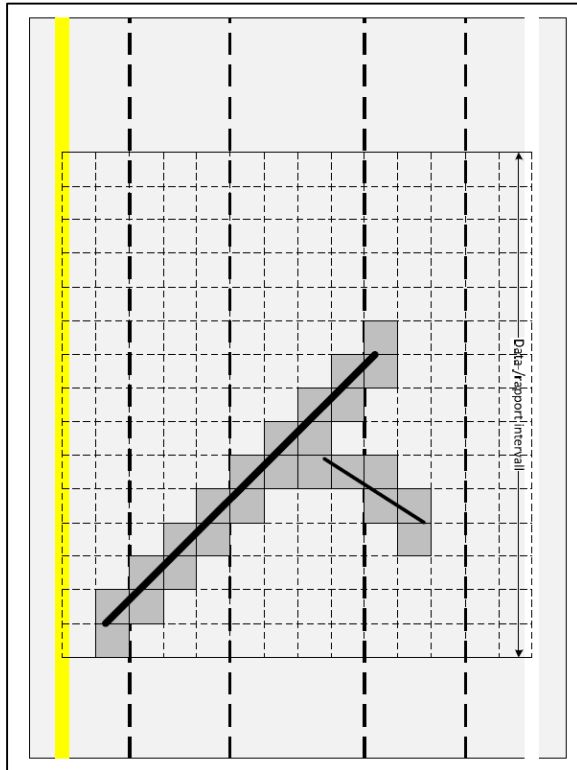
Figur 38 Inndeling av vegen i 5 langsgående soner

De 5 sonene består av to hjulsporsoner (sone 2 og 4), et område mellom hjulsporene (sone 3), samt to områder på utsiden av hjulsporene (sone 1 og 5).

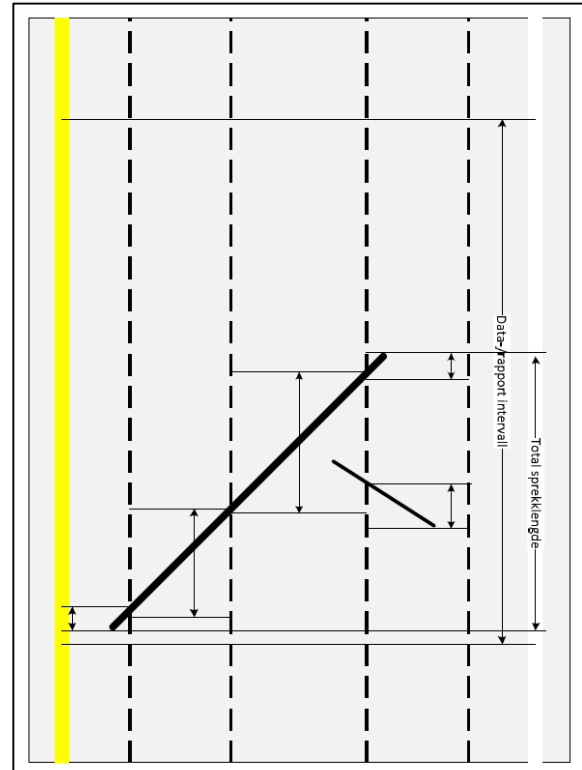
Bakgrunnen for inndelingen i soner er at alvorligheten av skadene antas å avhenge av hvor sprekken befinner seg. For eksempel vil ujevnheter i hjulsporsone kunne være til større ulempe for kjøretøy enn tilsvarende ujevnheter midt mellom hjulsporene.

Prinsippene som brukes til beregning av sprekkandel og sprekkarealgrad illustreres under (Brekke, 2011).

Beregning av sprekkarealgrad



Beregning av sprekkgrad



Figur 39 Illustrasjon av prinsipp for beregning av sprekkarealgrad og sprekkgrad

Sprekkgrad angir den prosentvise andelen av en vegstrekning som inneholder sprekker. Det skiller ikke på antall eller type sprekker, kun på om området inneholder sprekker eller ikke.

Sprekkarealgrad angir den prosentvise andelen av vegflatens areal som inneholder sprekker. Et rutenett brukes til å dele opp et definert areal i rektangulære segment på 25*25 cm, hvor hver rute defineres til å enten inneholde sprekk(er) eller ikke (Brekke, 2011). Det prosentvise arealet av ruter som inneholder sprekker angir sprekkarealgraden.

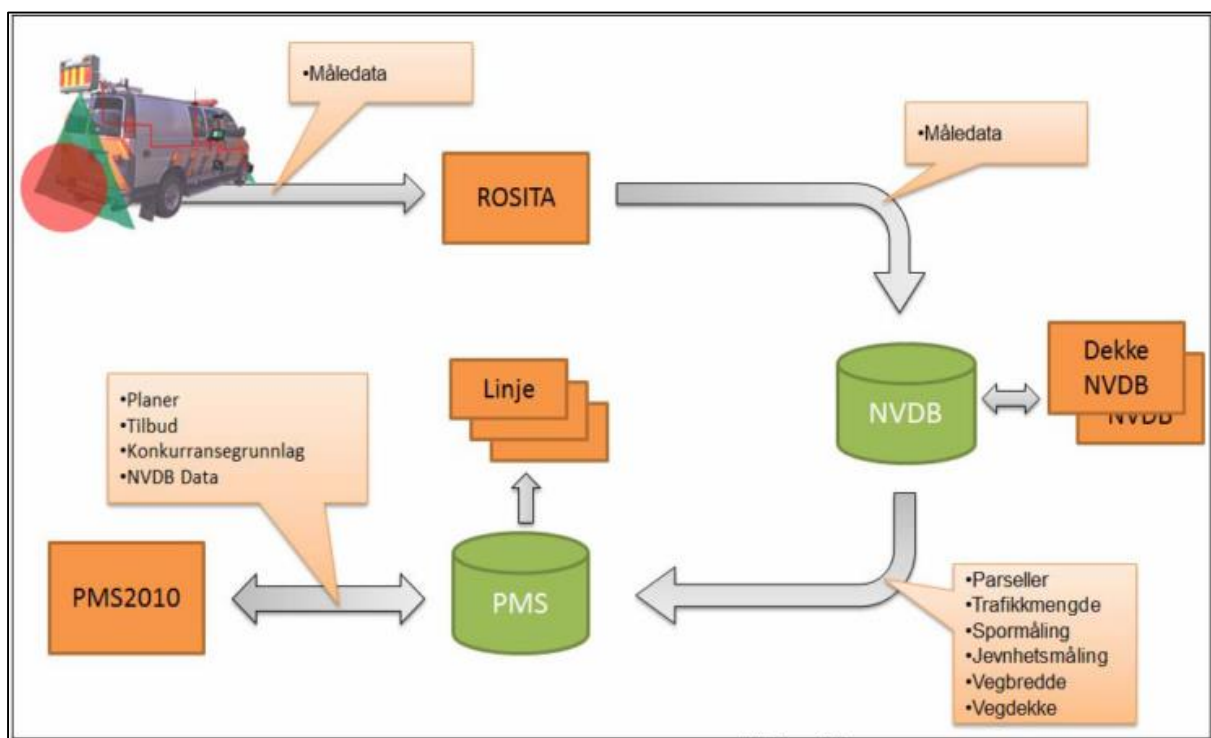
Disse to parameterne egner seg godt for plotting langs vegens lengderetning, og viser dermed områder med særlig mye sprekker. Sprekkgrad og sprekkarealgrad brukes ikke i det norske PMS i dag, men planlegges implementert i NVDB i løpet av 2015 (ViaTech, 2015).

8.3 Bruk av data – PMS og NVDB

Det norske PMS er et dataverktøy til bruk ved planlegging, utlysninger og tilbud for vedlikehold av riks- og fylkesvegnettet (Vegdirektoratet, 2010). PMS er en landsdekkende database som erstatter tidligere lokale databaser, og har følgende hovedfunksjoner (Aurstad et al., 2011):

- **Tilstandsovervåkning:** Gir oversikt over tilstanden på PMS-parseller (vegstrekkninger)
- **Planlegging av tiltak:** Opprette tiltaksstrekkninger med tiltak og kostnader for disse
- **Kontrahering:** Planleggeren lager konkurransegrunnlag og utlyser kontrakter
- **Tilbud:** Entreprenøren kan hente konkurransegrunnlag elektronisk og legge inn tilbud
- **Tilbudsanalyse:** Planleggeren analyserer innkomne tilbud, prisnivå, etc.

Figuren under viser hvordan PMS brukes i vegforvaltningen i Norge (Aurstad et al., 2011).



Figur 40 Dataflyt for det norske PMS

Som en ser av figuren er første steg innsamling av data ved bruk av målebiler. I det norske PMS systemet overvåkes årlig verdier for jevnhet, tverrfall og spor for hele vegnettet (Aurstad et al., 2011).

For spor og jevnhet strekker målingene seg helt tilbake til 1988.

Data fra målingene sendes til forvaltningssystemet *Road Surface Condition Database – ROSITA*, hvor målingene bearbejdes og aggregeres til nøkkeldata som sendes videre til *NVDB – Nasjonal veidatabank*.

I *NVDB* er vegnettet delt inn i *PMS*-parseller, hvor hver parsell inneholder opplysninger om blant annet en vegstreknings tilstand, dekketype, trafikkmengde, etc. Informasjonen i *NVDB* utgjør grunnlaget for det norske *PMS*, som henter informasjon fra databasen hver uke. Det norske *PMS* er tilgjengelig over internett gjennom brukergrensesnittet *PMS 2010*.

PMS 2010 brukes for å planlegge vedlikeholdsarbeid, og danner konkurransegrunnlaget som sendes fra byggherre til aktuelle entreprenører. Etter prising sendes et tilbudet tilbake og vurderes, før en eventuell kontrakt undertegnes. Figuren under viser grensesnittet i *PMS 2010*.

The screenshot shows the 'PMS 2010 - Planleggingsystem for vegdekkevedlikehold' interface. The title bar indicates 'PMS 2010' and '2.4.0.1514'. The main header includes the Norwegian coat of arms and the text 'Statens vegvesen' and 'PMS-parseller Antall Parseller: 528'. Below the header is a navigation menu with options like 'PMS-parseller', 'Tiltaksretninger', 'Tilbud/kontrakter', 'Rapporter', 'Verktøy', 'Etterslep', 'Hjelp', and 'Logg ut'. The main content area is a data table with columns for various parameters. The table has a header row with columns: R, Fy, K., KS, Nr, Fra..., FraM, TilHp, TilM, Kgf, Lengde, Pf, Sted fra-til, Måleår, IRI90, Spor90, DkT..., Krit.ÅrSpor, Spor..., Spor..., IRI90, Krit..., IRI..., DkÅr, M. f., S..., Dk..., ÅDT. The table contains multiple rows of data for different road sections, including details like 'KLETT RUNDKJØRING - KL.', 'Klett - vjembaneundergang', and 'Klettbakkan - Sandmoen'. At the bottom, there is a 'Prognoseår: 2016' dropdown and buttons for 'Standard sortering', 'Fjern filter', and 'Eksport til Excel'.

Figur 41 Brukergrensesnitt for *PMS 2010*

Som figuren over viser er det tilgjengelig en rekke data for hver *PMS* parsell, hvor bildet viser noen parseller fra Sør-Trøndelag. For hver parsell vises både historiske og estimerte fremtidige verdier for spor, jevnhet, tverrfall og dekkelevetid. I tillegg oppgis måleår, dekketype, masseforbruk ved dekkelegging og *ÅDT*.

Detaljert informasjon for tilstandsutvikling av årlig målte parametere er også tilgjengelig for de enkelte *PMS*-parsellene. Tilstandsutviklingen presenteres både som en gjennomsnittsverdi for hver 20. meter langs en vegstrekning, og som et gjennomsnitt for hele strekningen.

Sammen med estimerte verdier for de målte parameterne vises grenseverdier for maksimalt akseptert avvik hentet fra *Håndbok R610 – Standard for drift og vedlikehold av riksveger*.

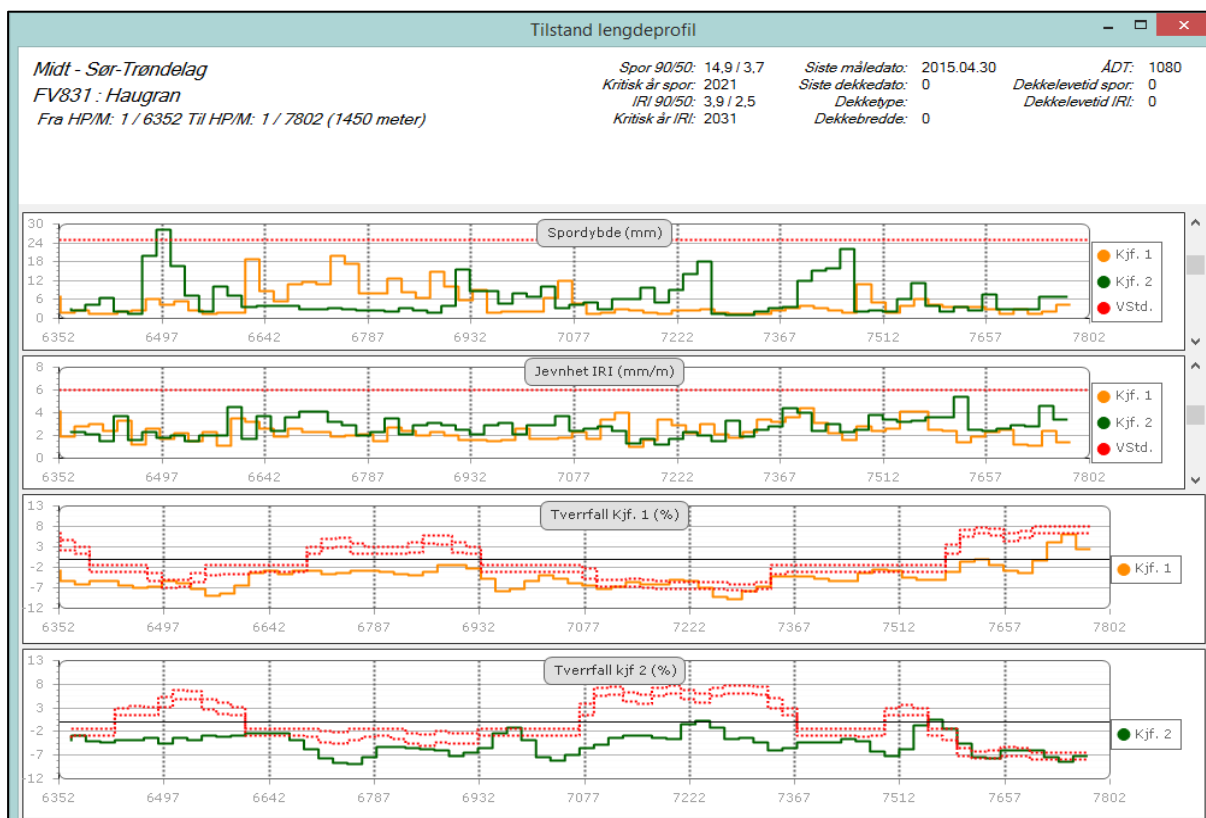
Et eksempel på grenseverdier for ujevnheter i vegbanen vises under (Statens Vegvesen, 2014).

ÅDT	Ujevnheter på langs/IRI 90 %-verdi IRI (mm/m)	
	Vegdekkeklasse 1 (skal benyttes for riksveger)	Vegdekkeklasse 2
0 – 300	5,0	7,0
301 – 1500	5,0	6,0
1501 – 5000	4,5	5,0
5001 – 10000	4,0	4,5
> 10000	3,5	4,0

Figur 42 Grenseverdier for ujevnheter (IRI) gitt i håndbok R610

En ser at grenseverdiene varierer for ulik ÅDT og standard på vegdekket,

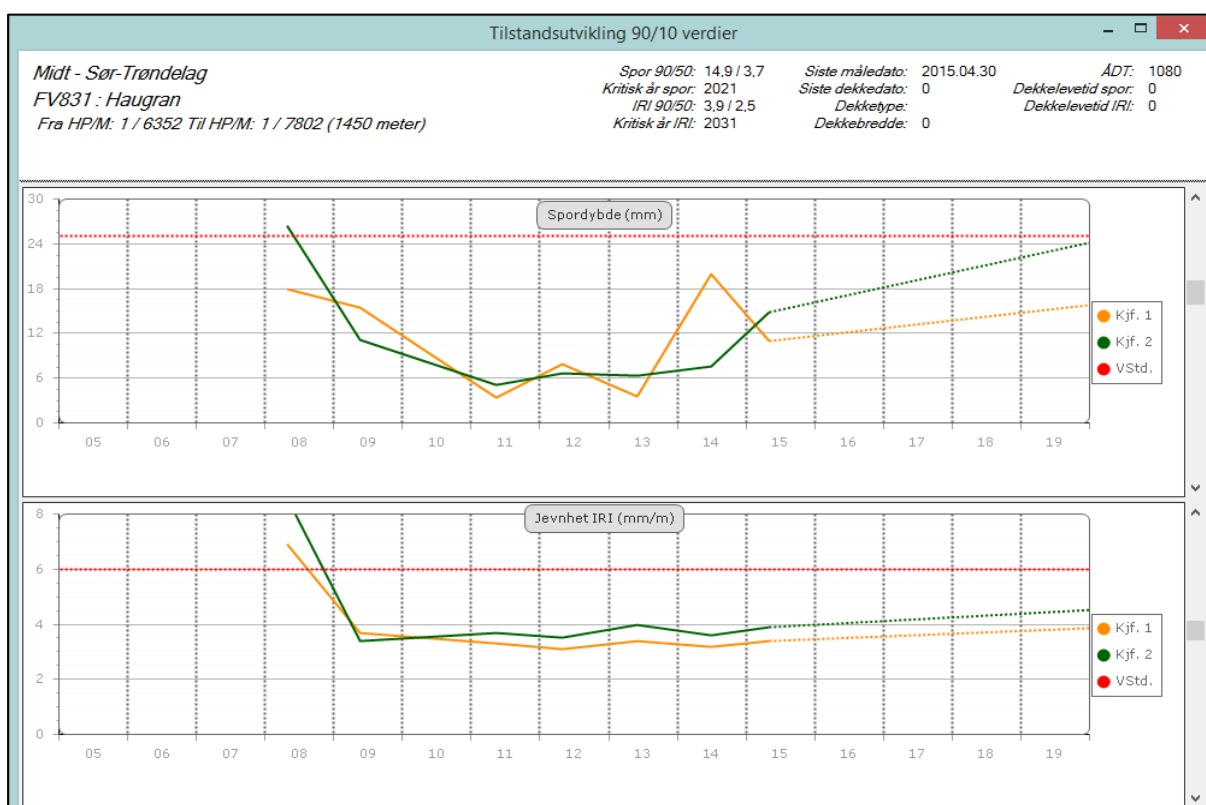
Under vises data for tilstand og tilstandsutvikling for FV831 i Sør-Trøndelag fra PMS 2010.



Figur 43 Tilstandsutvikling for spor, jevnhet og tverrfall langs en PMS-parsell

Figuren viser målte verdier per 20. meter langs vegbanen for spordybde, jevnhet og tverrfall. Tilhørende grenseverdier er indikert med en rød stiplet linje.

Gjennomsnittlig verdi for årlige målinger av de enkelte PMS-parsellene er også tilgjengelig.



Figur 44 Gjennomsnittlig tilstandsutvikling for spor, jevnhet og tverfall for en PMS-parsell

I tillegg til årlige målinger ser en at det gis et estimat av fremtidige verdier for spordybde og jevnhet, forutsatt at tiltak ikke iverksettes.

8.4 Rammeverk – Håndbok V261

Vegvesenet har et eget rammeverk for vurdering og klassifisering av skader i vegflaten gitt i *Håndbok V261 – Skadekatalog for bituminøse vegflater* (Vegdirektoratet, 1996). Hensikten med skadekatalogen er å legge til rette for en systematisk og konsistent skadevurdering.

Håndboken deler skader inn i 6 hovedgrupper, som deles videre inn i undergrupper basert på ulike karakteristiske parametere. Det gis videre retningslinjer for å vurdere skadens alvorlighetsgrad og utbredelse.

Alvorlighetsgraden til en skade klassifiseres i 3 nivå: lav, middels og høy. Skalaen angir konsekvensene skaden kan ha for vegens videre nedbrytning, trafiksikkerhet og fremkommelighet.

Skadens utbredelse registreres enten i lengderetning, på tvers eller som hyppighet innenfor et område. Utbredelsen deles inn i 3 nivå.

Under følger en oversikt over skadetyper og tilhørende årsaker beskrevet i håndboken.

Skadetyper	Skadeårsaker
<i>Langsgående sprekker</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Langsgående telesprekker • Kantsprekker • Sprekker ved breddeutvidelse • Andre langsgående sprekker 	<ul style="list-style-type: none"> • Telehiv • Svake kanter/smål skulder • Dårlige dekkskjøter • Ujevnt bærelag ved breddeutvidelse
<i>Tversgående sprekker</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Tversgående svinnsprekker • Tversgående telesprekker • Andre tversgående sprekker 	<ul style="list-style-type: none"> • Telehiv • Svinn, refleksjoner fra underliggende sprekker
<i>Krakelering</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Smårutet krakelering • Storrutet krakelering • Slaghull 	<ul style="list-style-type: none"> • Ustabil bærelag • Svikt i bæreevne • For tynt dekke
<i>Overflateskader</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Ujevn overflatetekstur • Åpen lengdeskjøt • Blødning • Steinslipp • Mekaniske skader 	<ul style="list-style-type: none"> • Dårlig utførelse • Dårlig materialkvalitet • Mekaniske skader • Dårlig opptørkingsforhold • Aldring
<i>Ujevnheter</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Lokalt ujevnt telehiv • Lokale setninger • Kantdeformasjoner • Ujevnt lengdeprofil 	<ul style="list-style-type: none"> • Telehiv • Setninger • Etterkomprimering
<i>Spor</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Piggdekkslitasje • Deformasjon 	<ul style="list-style-type: none"> • Piggdekkslitasje • Ustabil dekke/bære/forsterkningslag • Svak undergrunn

Tabell 4 Oversikt over skadetyper- og årsaker fra håndbok V261

Håndbok V261 er av eldre dato, og tar ikke hensyn til nyere målemetoder som 3D laserskanning. Det kan i midlertid tenkes at rammeverket kan brukes som grunnlag om det skal utvikles automatiske algoritmer for klassifisering og vurdering av sprekkers alvorlighet en gang i fremtiden.

Kapittel 9 - Årsaker til skader i vegflaten

Nedbrytning av vegen avhenger både av vegens konstruksjon og eksterne påkjenninger. En beskrivelse av nedbrytningsmekanismer finnes i håndbok V261 – *Skadekatalog for bituminøse vegflater* (Vegdirektoratet, 1996).

Skademekanismene deles inn i kategoriene *trafikkpåkjenninger*, *klimapåkjenninger* og *andre påkjenninger*. En kort oppsummering av noen skadeårsaker gis under.

Trafikkpåkjenninger

Utmattingsprekker er forårsaket av deformasjoner i asfaltdekket på grunn av gjentatte kjøretøypasseringer.

Krakelering (alligatorsprekker) er en indikasjon på trafikkrelatert nedbrytning, hvor det oppstår sprekker i rutemønstre.

Kantskader kan være forårsaket av skjærdeformasjoner i vegens lengdeprofil, på grunn av manglende sideveis skjærstyrke.

Plastisk deformasjon kan skyldes høy temperatur og/eller stor belastning fra trafikk, særlig ved sakte eller stillegående trafikk som ved lyskryss, busslommer, etc.

Piggdekkslitasje kan føre til hjulspor i veibanen. Piggdekk sliter først bort mørtelen (bindemiddel/finstoff) i vegflaten, før kvaliteten på det grove steinmaterialet blir bestemmende for den videre slitasjemotstanden.

Klimapåkjenninger

Høyt vanninnhold kan påvirke vegkonstruksjonens slitasjemotstand ved å redusere den mekaniske styrken til granulære materialer, samtidig som faren for tele- og isdannelse øker. I teleløsningen kan det frigjøres store mengder vann i konstruksjonen, noe som gjør vegen sårbar for deformasjoner.

Telehiv er en av de vanligste skadeårsakene på lavtrafikkerte norske veier, og skyldes dannelse av islinser i telefarlig materiale. Islinser dannes av vann som suges opp til frysefronten av kapillærkrefter i vegkonstruksjonen. Variasjoner i grunnforhold og overbygningmaterialer kan bidra til ujevnt telehiv, som kan gi både langs- og tversgående høydevariasjoner på vegflaten.

Lavtemperatursprekker skyldes hurtig eller kraftig temperaturfall som gir strekkspenninger som overgår vegflatens motstandsevne. Sprekkene er ofte tversgående, og opptrer ved jevne intervall.

Aldring av asfalt grunnet sollys skyldes herding av bindemiddelet over tid, og redusere dekkets evne til å holde på steinmaterialet. Særlig tynne asfaltdekker er utsatt for denne effekten. Også nedbør og fryse/tine sykluser kan bidra til at asfalten endrer egenskaper over tid.

Andre påkjenninger

Etterkomprimering og konsolidering av vegkonstruksjonen kan føre til deformasjoner og dermed sprekker i vegflaten.

Utglidning av fyllinger vil også kunne føre til deformasjoner, hvor hastighet og størrelse på utglidningen vil bestemme skadens omfang.

Smal veiskulder kan gi høy trafikkbelastningene i ytterkant av vegflaten, noe som kan føre til deformasjoner og sprekker.

Del 3 - Feltarbeid

Kapittel 10 - Utførelse av feltarbeidet

Feltarbeidet ble utført i forbindelse med en samling for ViaPPS målebiler i Fredrikstad 7.-9. april, arrangert av Vegdirektoratet. Det var i alt 16 deltakende målebiler, hvor 6 av disse var utstyr med ny ZF-laser. I feltarbeidet brukes data fra 3 biler med system fra ZF, og 3 biler med system fra Cargoscan. Feltarbeidet består av to deler, hvor det analyseres en vegstrekning på 200 meter og en vegflate på 8 meter.

Vegstrekningen på 200 meter brukes som grunnlag for analyse i variabilitet ved beregning av sprekkarealgrad for ulike måleserier, målebiler og lasersystem.

Vegflaten på 8 meter brukes som grunnlag for en detaljert analyse av systemenes kapasitet for identifisering ulike typer sprekker i vegflaten.

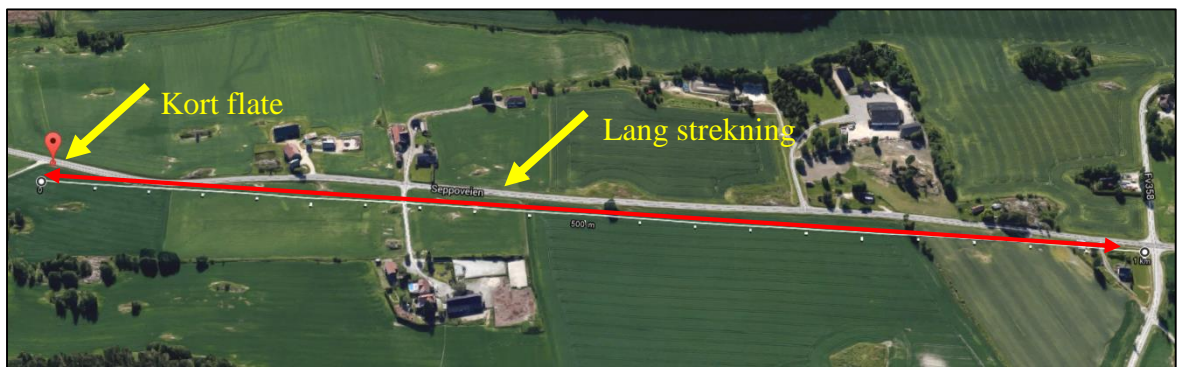
Alle målinger i dette feltarbeidet ble gjort på *fylkesvei 381* i Fredrikstad for en utvalgt strekning på 1 kilometer. I det følgende beskrives den praktiske utførelsen av feltarbeidet.

Figuren under viser lokaliseringen av strekningen hvor feltarbeidet ble utført.

Kartutsnitt FV 381 i Fredrikstad



FV 381 Hele målestrekningen HP2 800 - 1800



Lang strekning på 200 m HP2 1150 - 1350



Kort flate på 8 m HP2 800 - 808



Figur 45 Geografisk plassering av vegstrekninger brukt i feltarbeidet

10.1 Laserskanning av strekning på 200 meter

Målingene i feltarbeidet ble utført av 6 ulike målebiler med skannersystem fra ViaPPS. Under vises en målebil med laser fra Cargoscan ved starten av målestrekningen.



Figur 46 Foto av ViaPPS målebil med laser fra Cargoscan under feltarbeidet

Hver målebil er nummerert, hvor all data relateres til bilens nummer. I dette arbeidet er det benyttet data fra følgende målebiler:

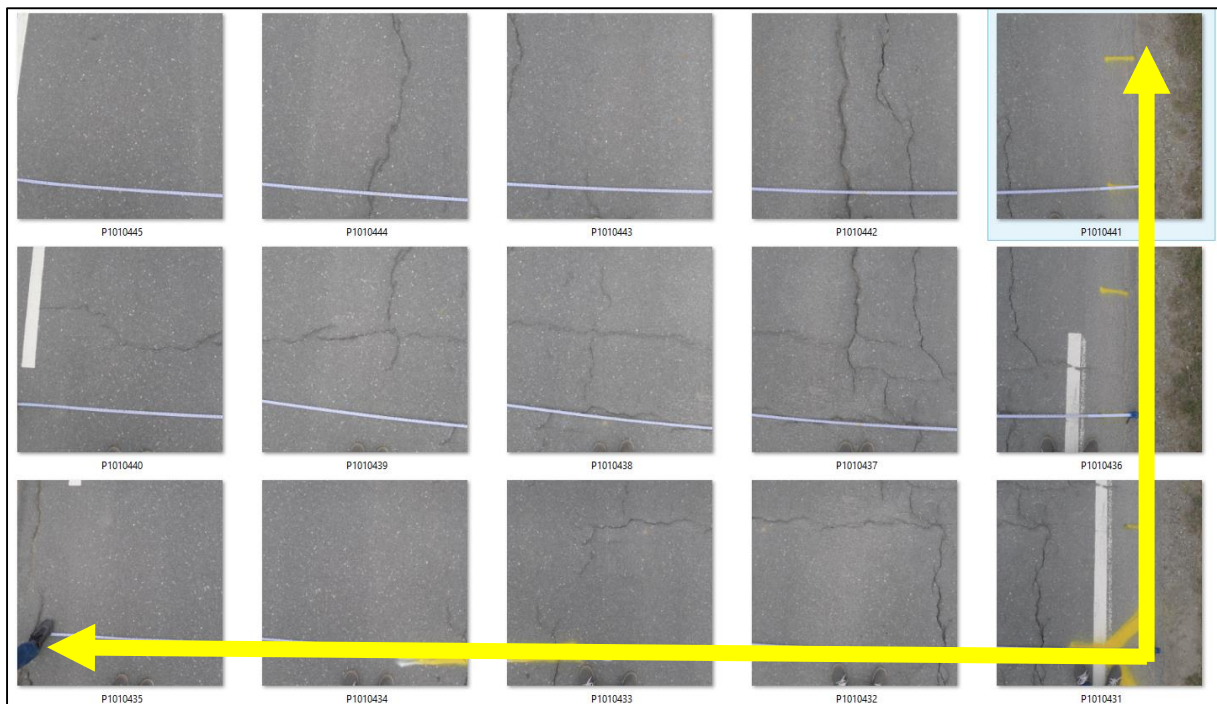
- **P 09** (ZF)
- **P 14** (ZF)
- **P 16** (ZF)
- **P 12** (Cargoscan)
- **P 15** (Cargoscan)
- **VTI** (Cargoscan), tilhørende Vegteknisk Institutt

Data fra målingene lagres lokalt i de enkelte bilene. Når alle målingene er utført lastes data over på en bærbar pc ved bruk av arbeidsstasjoner som finnes i målebilene.

10.2 Fotografering av flate på 8 meter

Under feltarbeidet ble et område på 5*8 meter fotografert med et digitalkamera av typen *Panasonic Lumix DMC-GF2*, med en oppløsning på 12 megapiksler. Hensikten med fotograferingen var å produsere et høyoppløselig bilde av vegflaten, hvor alle sprekker deretter kan identifiseres visuelt.

For å dekke hele vegflaten ble det tatt 50 overlappende bilder, 5 i bredden og 10 i lengden. Det ble benyttet et målebånd på tvers av vegbanen for å indikere bildenes målestokk. Noen av bildene som ble tatt vises i figuren under.



Figur 47 Individuelle foto av vegflaten til bruk for detaljert analyse

Som en ser varierer både grad av rotasjon og avstanden mellom kamera og vegflaten for de individuelle bildene. Dette skyldes at fotograferingen foregikk på en trafikkert vegstrekning, slik at arbeidet måtte utføres så hurtig som mulig.

Både rotasjon og høydeavvik ble forsøkt utjevnet i etterkant under arbeidet med å lappe sammen de individuelle bildene. Programvaren *Adobe Photoshop* ble benyttet til dette.

Kapittel 11 - Bearbeiding av data

I etterkant av feltarbeidet ble innsamlet data bearbeidet og analysert.

For strekningen på 200 meter ble det produsert sprekkrapporter fra programmet ViaPPS Desktop, som ble videre bearbeidet og analysert i MS Excel.

For flaten på 8 meter ble det hentet ut tilsvarende skannede flater fra ViaPPS Desktop, som deretter ble sammenlignet med fotoet av vegflaten.

11.1 Analyse av strekning på 200 meter

Analysene av målesystemenes variabilitet og kapasitet baseres på automatiske genererte *sprekkrapporter* fra programmet ViaPPS Desktop. Det ble laget en rapport for hver av de 18 individuelle måleseriene for den 200 meter lange strekningen.

En sprekkrapport inneholder følgende informasjon (med en verdi per utkjørte meter):

- **Utkjørt meter [m]**
- **Fra hovedparsell / til hovedparsell []**
- **Fra vegmeter / til vegmeter [m]**
- **Tid [ms]**
- **Hastighet [km/t]**
- **Breddegrad / Lengdegrad [°]**
- **Pause [av/på]**
- **Sprekkgrad [%]**
- **Sprekkarealgrad [%]**

Data for automatisk beregnet sprekkarealgrad importeres til Excel for videre analyse.

Figuren under gir en oversikt over ulike aggregeringsnivå brukt ved analysen av strekningen på 200 meter.

	<i>Sammenligning av måleserier</i>	<i>Sammenligning av målebiler</i>	<i>Sammenligning av målesystem</i>
ZF	Måleserie 1 – P 16	Snitt av målinger utført av bil P 16	Snitt av målinger utført av alle biler med ZF
	Måleserie 2 – P 16		
	Måleserie 3 – P 16		
	Måleserie 1 – P 14	Snitt av målinger utført av bil P 14	
	Måleserie 2 – P 14		
	Måleserie 3 – P 14		
	Måleserie 1 – P 09	Snitt av målinger utført av bil P 09	
	Måleserie 2 – P 09		
	Måleserie 3 – P 09		
Cargoscan	Måleserie 1 – P 12	Snitt av målinger utført av bil P 12	Snitt av målinger utført av alle biler med Cargoscan
	Måleserie 2 – P 12		
	Måleserie 3 – P 12		
	Måleserie 1 – VTI	Snitt av målinger utført av bil VTI	
	Måleserie 2 – VTI		
	Måleserie 3 – VTI		
	Måleserie 1 – P 15	Snitt av målinger utført av bil P 15	
	Måleserie 2 – P 15		
	Måleserie 3 – P 15		

Figur 48 Oversikt over aggregeringsnivå brukt ved analyse av målinger

Figuren over illustrerer 3 aggregeringsnivå brukt i analysene:

- **Måleserier:** Grunnlaget for analysene er 3 måleserier fra hver bil. En måleserie representerer en gjennomkjøring av den utvalgte strekningen.
- **Målinger for samme bil:** Snittet av 3 måleserier for samme bil kan brukes til å si noe om variabilitet for hver enkelte bil.
- **Målinger for samme lasersystem:** Ved å aggregere målinger for de 3 bilene med samme lasersystem kan en si noe om variabilitet mellom systemene.

For hvert aggregeringsnivå kan en beregne gjennomsnittlig verdi av sprekkarealgrad med tilhørende standardavvik. Excels innebygde funksjon for estimering av standardavvik for et populasjonsutvalg er brukt i disse beregningene. Dette innebærer en antakelse om at avvikene mellom ulike måleserier er normalfordelt.

Under bearbeiding av data var det nødvendig å gjøre noen valg ved metodebruk. Disse kan betydning for resultatet fra analysene, og beskrives derfor under.





- **Justering av måleserier:** For å sikre at hver måleserie hadde identisk posisjonering ble data for utkjørt vegmeter i sprekkrapporten benyttet som et felles utgangspunkt. Deretter ble sprekkarealgrad for hver enkelt måleserie plottet grafisk langs vegstrekningen. Ved visuell kontroll viste det seg at noen grafer var forskjøvet i forhold til hverandre (de fleste mellom 1-3 meter, og i et tilfelle 13 meter). For å sikre korrespondanse mellom grafene ble avvikene korrigert manuelt før videre analyser.
- **Detaljnivå for sprekkarealgrad:** Ved sammenligning av sprekkarealgrad langs vegstrekningen på 200 meter er det benyttet en gjennomsnittsverdi for hver 10. meter, beregnet som et snitt av data for hver meter. Hensikten med dette er å oppnå et bedre sammenligningsgrunnlag mellom måleserier, etter som usikkerheten ved sammenligninger vurderes å være for stor om en skulle benyttet høyere oppløsning.
- **Detaljnivå for måleserier:** Som grunnlag for analyser av variabilitet mellom ulike målebiler og målesystem ble snittet fra 3 måleserier for hver enkelt bil benyttet. Dette innebærer en viss usikkerhet i analysene, etter som en ideelt sett burde hatt flere enn 3 målinger for å beregne nøyaktige standardavvik.

11.2 Analyse av flate på 8 meter

Analyse av målesystemenes nøyaktighet gjøres ved å se på en flate på 8 meter. I analysen brukes et stort foto bestående av 50 enkeltfoto, hvor ulike typer sprekker er manuelt identifisert. Deretter beregnes sprekkearealgraden langs flaten, og brukes som referanse ved sammenligning mot automatiske resultater fra skanninger med de to målesystemene.

Identifisering av sprekker

Sprekkene i flaten ble delt inn i to ulike kategorier for langsgående og tversgående sprekker. Videre ble det delt inn i to underkategorier for dype og grunne sprekker. En oversikt over kategoriene med tilhørende fargekoder vises under.

Type sprekke	Farge
Langsgående dype	
Langsgående grunne	
Tversgående dype	
Tversgående grunne	

Figur 49 Fargekoding av ulike type sprekker

I tillegg til fargekoder er dype sprekker indikert med tykkere streker enn grunne.

Ved å skille mellom tvers- og langsgående sprekker kan en analysere målesystemenes kapasitet til å oppdage disse to sprekktypene. Etter som oppløsningen langs vegbanen er høyere enn oppløsningen på tvers vil det sannsynligvis være mer utfordrende å identifisere tversgående sprekker.

Oppdelingen i dype og grunne sprekker gjøres for å analysere målesystemenes nøyaktighet. I denne oppgaven brukes begrepet dype sprekker som en samlebetegnelse på sprekker som er både dype og/eller brede. Tilsvarende gjelder for grunne sprekker, som er en samlebetegnelse på sprekker som er både grunne og/eller smale.

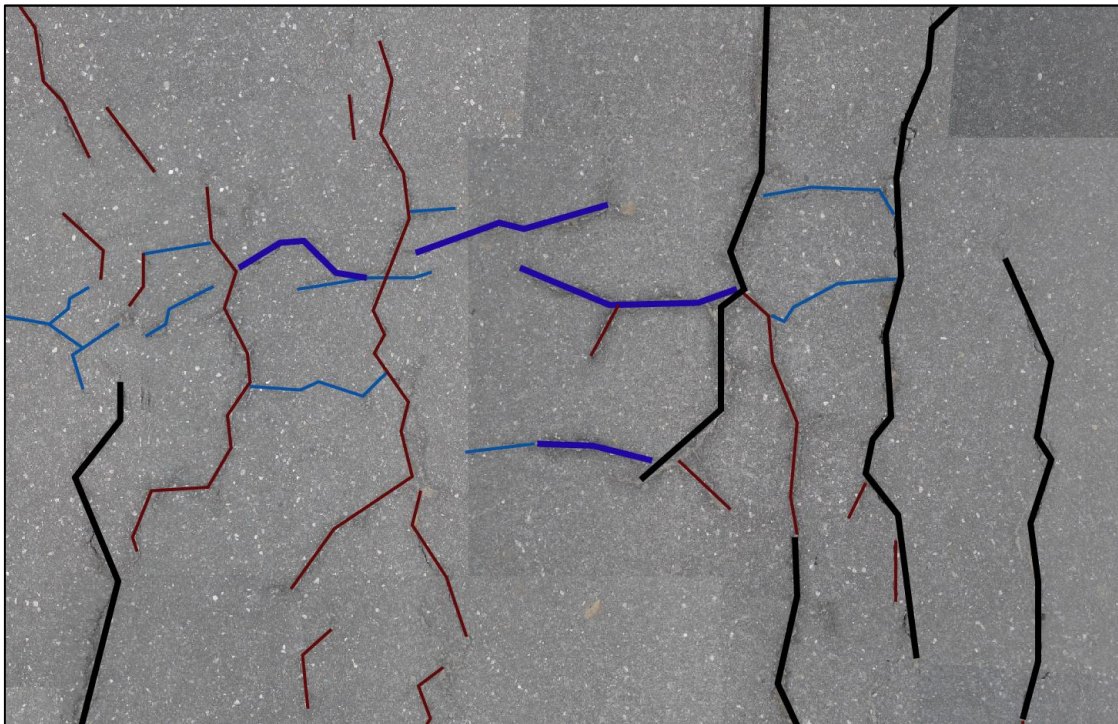
Identifisering av de ulike sprekkeene i referanseflaten gjøres manuelt ved visuell bedømmelse av det sammensatte fotoet.

Figuren under viser et utsnitt av flaten før og etter manuell identifisering av sprekker.

Før - Foto av vegflate



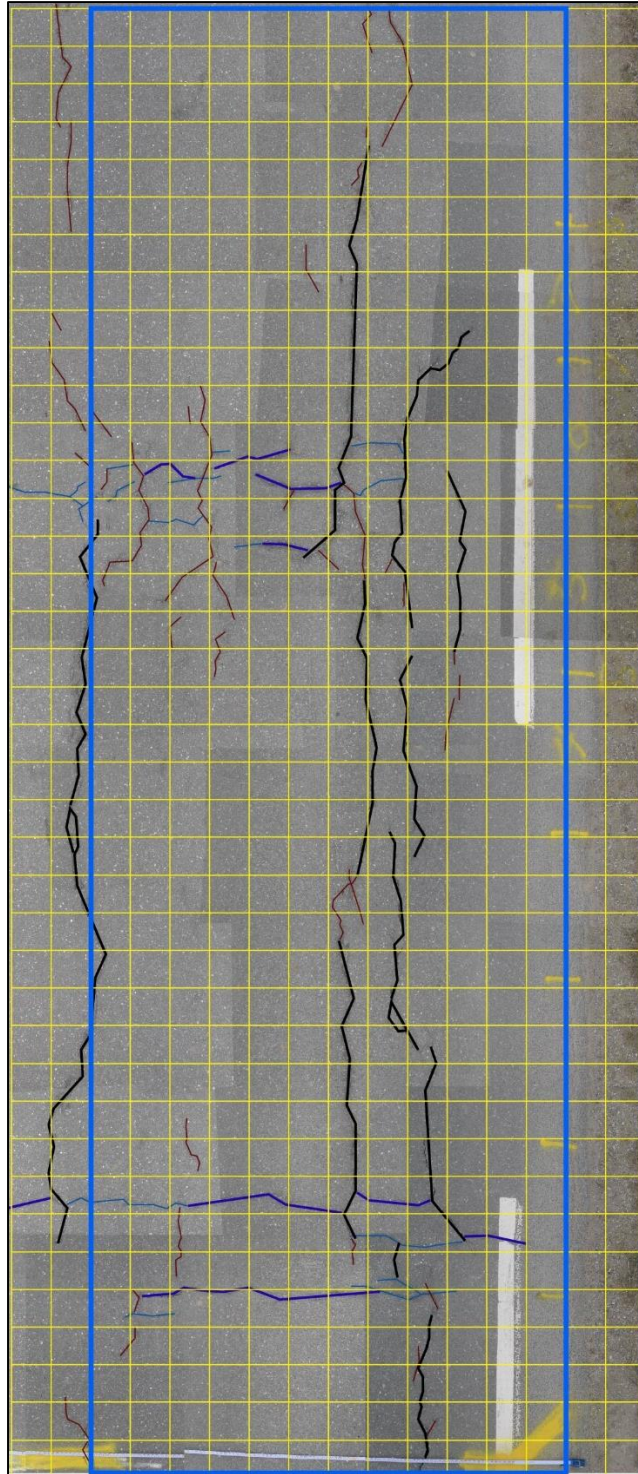
Etter - Foto av vegflate påtegnet manuelt identifiserte sprekker



Figur 50 Manuell identifisering av sprekker i vegflaten

Rutenett for manuell beregning av sprekkarealgrad

Når sprekkene er identifisert og markert på flaten legges det over et rutenett som vist under.



Figur 51 Rutenett brukt ved beregning av sprekkarealgrad for flaten

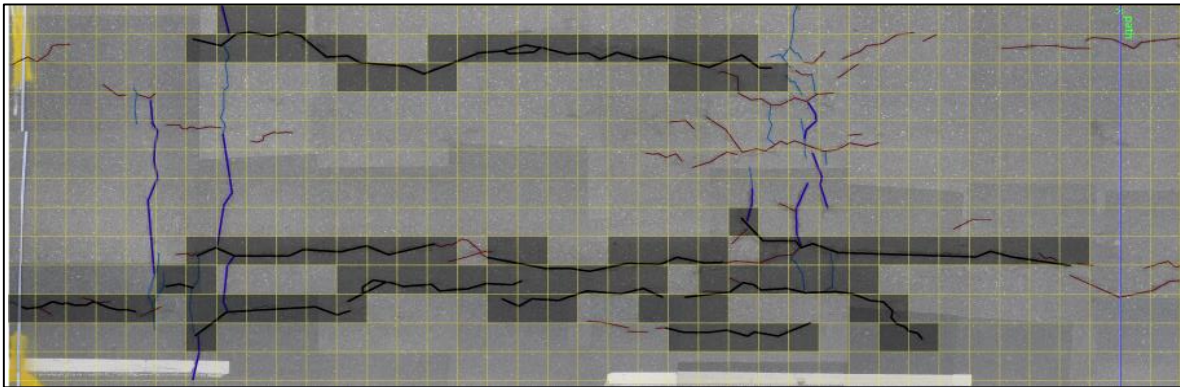
Rutene som tegnes inn er på 25*25 cm, som er samme størrelse som brukes ved beregning av sprekkarealgrad i programvaren ViaPPS Desktop. Det blå rektangelet indikerer på samme måte området som brukes ved beregninger i ViaPPS Desktop (med en bredde på 3 meter).

Etablering av referanseverdier for sprekkarealgrad

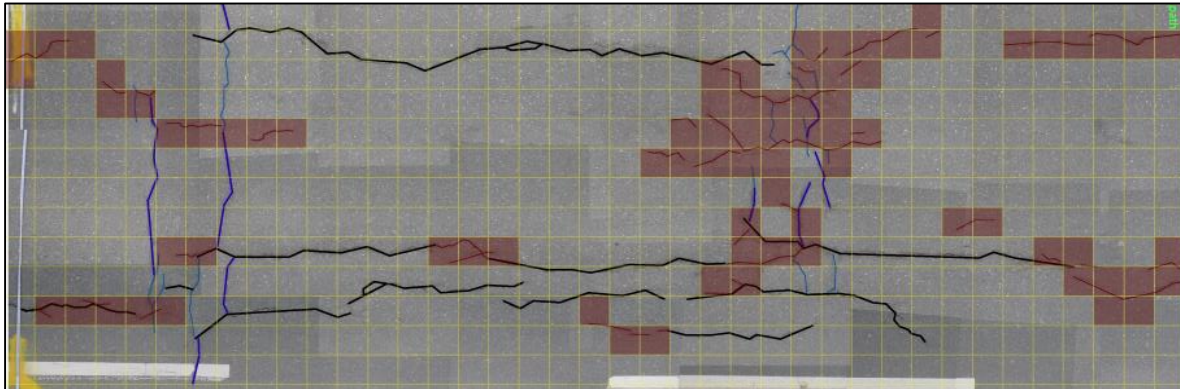
Med bakgrunn i referanseflaten med påtegnet rutenett markeres det for ruter som inneholder sprekker for hver av de 4 kategoriene. Resultatet brukes til å beregne en verdi for sprekkarealgrad for hver kategori, og danner referanseflater ved sammenligning mot automatisk identifiserte sprekker fra lasermålingene.

Figuren under viser markeringer av dype og grunne langsgående sprekker, samt alle langsgående sprekker.

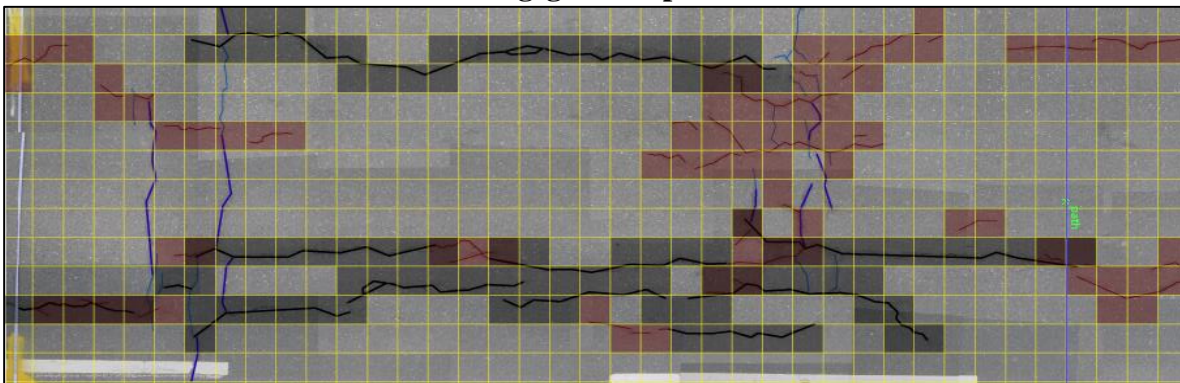
Dype langsgående sprekker



Grunne langsgående sprekker



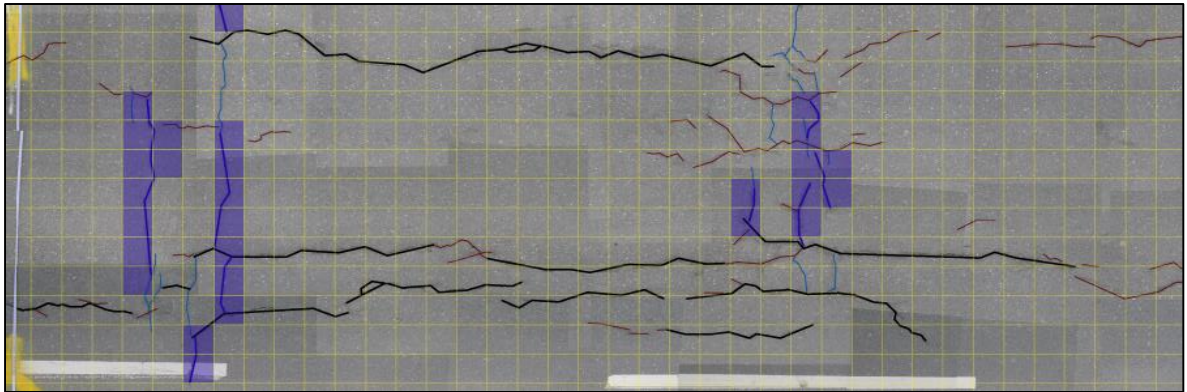
Alle langsgående sprekker



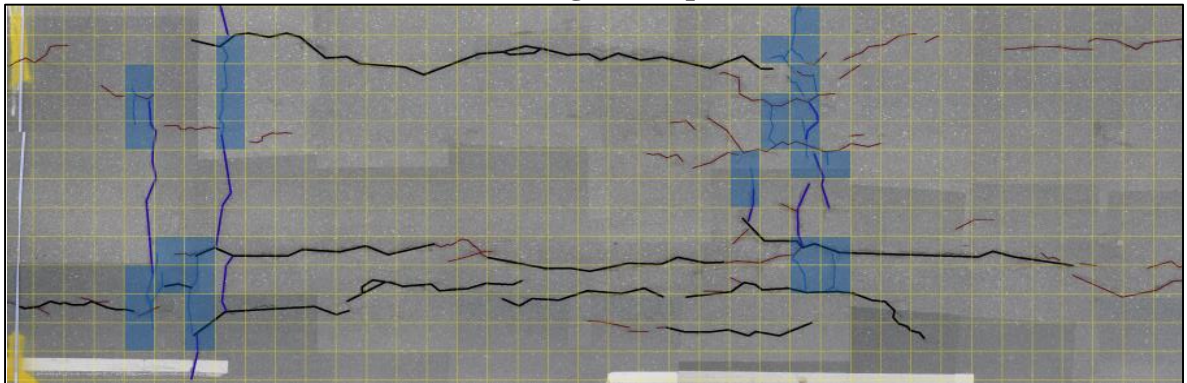
Figur 52 Etablering av referanseverdier for sprekkarealgrad for langsgående sprekker

På samme måte det beregnet areal av tversgående dype og grunne sprekker.

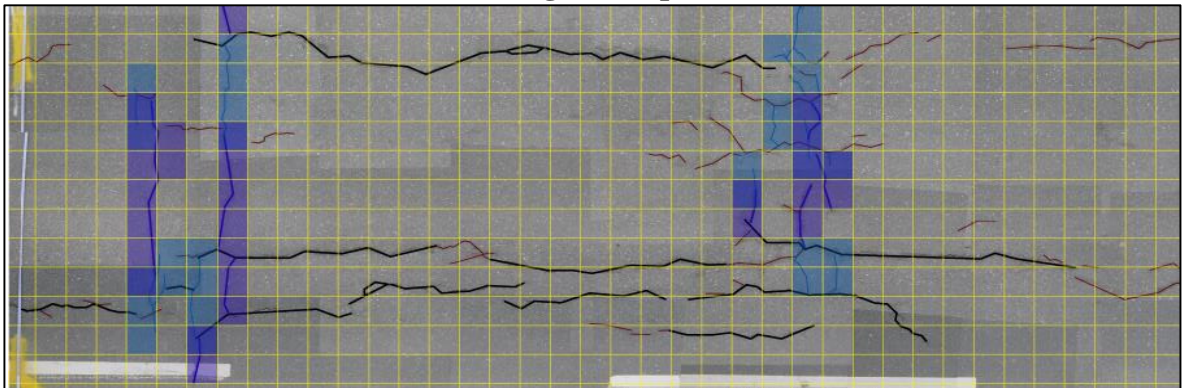
Dype tversgående sprekker



Grunne tversgående sprekker



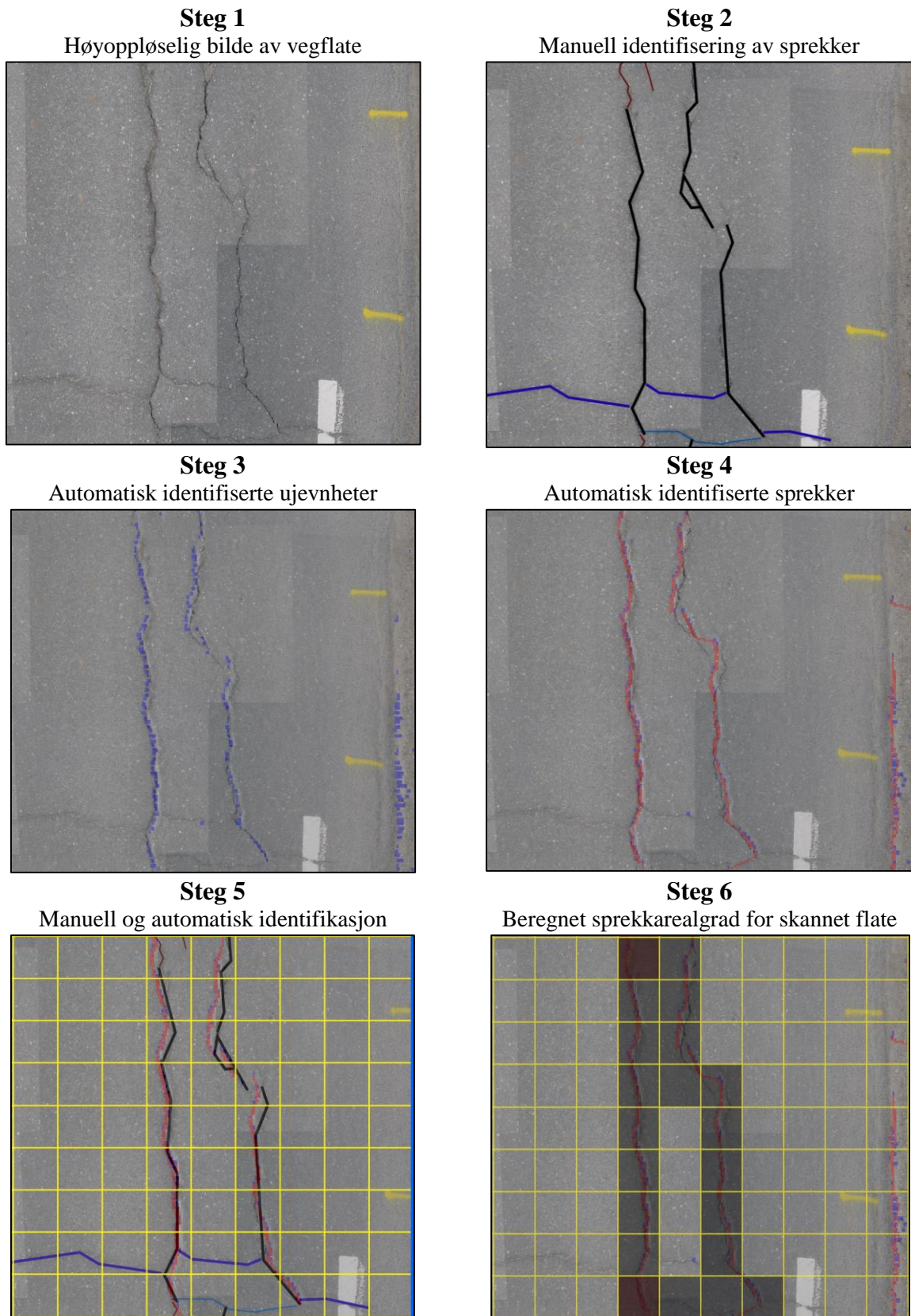
Alle tversgående sprekker



Figur 53 Etablering av referanseverdier for sprekkarealgrad for tversgående sprekker

Metodikk for manuell beregning av sprekkarealgrad

Under følger stegene som brukes for å beregne sprekkarealgrad for flatene fra lasermålingene.



Figur 54 Beskrivelse av metode for beregning av sprekkarealgrad

Stegene i metoden beskrives nærmere under.

1. Et foto av vegbanen danner grunnlaget for å identifisere alle eksisterende sprekker i flaten.
2. Sprekkene identifiseres og deles inn i kategorier (langsgående/tversgående, dype/grunne).
3. Punkt som indikerer ujevnheter i den skannede overflaten hentes ut fra ViaPPS Desktop, gjøres delvis gjennomsliktig, og legges over fotoet av flaten påtegnet manuelt identifiserte sprekker.
4. Identifiserte sprekker fra ViaPPS Desktop legges over fotoet på samme måte som i steg 3.
5. De estimerte sprekkenes fra ViaPPS Desktop sammenlignes med manuelt markerte sprekker. Identifiseringer som åpenbart er feil utelates fra analysen.
6. De automatisk identifiserte sprekkenes markeres som ruter med farge tilhørende sprekkenes kategori. Dette er grunnlaget for beregning av sprekkearealgrad.

Beregning av sprekkearealgrad ble utført ved bruk av MS Excel for 2 målinger utført med system fra ZF, og 2 fra Cargoscan. Et eksempel fra beregningene gjort i Excel vises under.

Profil nr	Automatisk sprekkrapport	Analysert stekning REFERANSE				Analysert stekning fra skannerprofil				Anrall dype	Anrall grunne	Totalt antall
	Spesifiser total	Langsgående dybel	Langsgående grunnne	Langsgående totale	Langsgående dybel	Langsgående grunnne	Langsgående totale	Dype langsgående	Grunne langsgående			
808,5	16,3	0,0	25,0	25,0	0,0	16,7	16,7		0	2	2	
809,25	16,3	0,0	25,0	25,0	0,0	8,3	8,3		0	1	1	
809	16,3	0,0	25,0	25,0	0,0	8,3	8,3		0	1	1	
808,75	21,7	8,3	25,0	25,0	8,3	0,0	8,3		1	0	1	
808,5	21,7	8,3	16,7	16,7	8,3	0,0	8,3		1	0	1	
808,25	21,6	8,3	8,3	16,7	8,3	0,0	8,3		1	0	1	
808	21,7	8,3	8,3	16,7	8,3	0,0	8,3		1	0	1	
807,75	16,7	8,3	8,3	16,7	8,3	0,0	8,3		1	0	1	
807,5	16,7	16,7	16,7	33,3	16,7	0,0	16,7		2	0	2	
807,25	16,7	25,0	8,3	33,3	25,0	0,0	25,0		3	0	3	
807	16,7	25,0	25,0	50,0	25,0	0,0	25,0		3	0	3	
806,75	16,3	16,7	41,7	50,0	16,7	0,0	16,7		2	0	2	
806,5	16,3	25,0	50,0	66,7	16,7	8,3	25,0		2	1	3	
806,25	16,3	33,3	41,7	66,7	16,7	16,7	33,3		2	2	4	
806	16,3	41,7	58,3	75,0	16,7	0,0	16,7		2	0	2	
806,75	16,3	50,0	41,7	75,0	33,3	8,3	41,7		4	1	5	
806,5	16,3	41,7	16,7	58,3	33,3	0,0	33,3		4	0	4	
806,25	16,3	33,3	16,7	50,0	33,3	0,0	33,3		4	0	4	
806	16,3	25,0	8,3	33,3	25,0	0,0	25,0		3	0	3	
804,75	21,7	16,7	8,3	25,0	16,7	0,0	16,7		2	0	2	
804,5	21,7	25,0	0,0	25,0	25,0	0,0	25,0		3	0	3	
804,25	21,7	33,3	0,0	33,3	25,0	0,0	25,0		3	0	3	
804	21,7	33,3	8,3	33,3	25,0	8,3	25,0		3	1	3	
803,75	10,0	16,7	8,3	25,0	16,7	8,3	25,0		2	1	3	
803,5	10,0	33,3	8,3	33,3	33,3	8,3	33,3		4	1	4	
803,25	10,0	25,0	0,0	25,0	25,0	0,0	25,0		3	0	3	
803	10,0	25,0	0,0	25,0	25,0	0,0	25,0		3	0	3	
802,75	20,0	41,7	0,0	41,7	33,3	0,0	33,3		4	0	4	
802,5	20,0	25,0	0,0	25,0	16,7	0,0	16,7		2	0	2	
802,25	20,0	33,3	8,3	41,7	33,3	0,0	33,3		4	0	4	
802	20,0	33,3	8,3	41,7	33,3	0,0	33,3		4	0	4	
801,75	13,3	33,3	8,3	41,7	16,7	0,0	16,7		2	0	2	
801,5	13,3	41,7	16,7	50,0	33,3	8,3	33,3		4	1	4	
801,25	13,3	8,3	25,0	33,3	8,3	0,0	8,3		1	0	1	
801	13,3	8,3	16,7	16,7	0,0	0,0	0,0		0	0	0	
800,75	15,0	8,3	25,0	25,0	0,0	0,0	0,0		0	0	0	
800,5	15,0	8,3	16,7	16,7	0,0	0,0	0,0		0	0	0	
800,25	15,0	8,3	16,7	16,7	0,0	0,0	0,0		0	0	0	
800	15,0	8,3	16,7	25,0	0,0	0,0	0,0		0	0	0	
Gj. snitt	17,3	21,6	16,9	34,8	17,1	2,6	19,0					

Figur 55 Utsnitt av Excel-ark brukt ved manuell beregninger av sprekkearealgrad

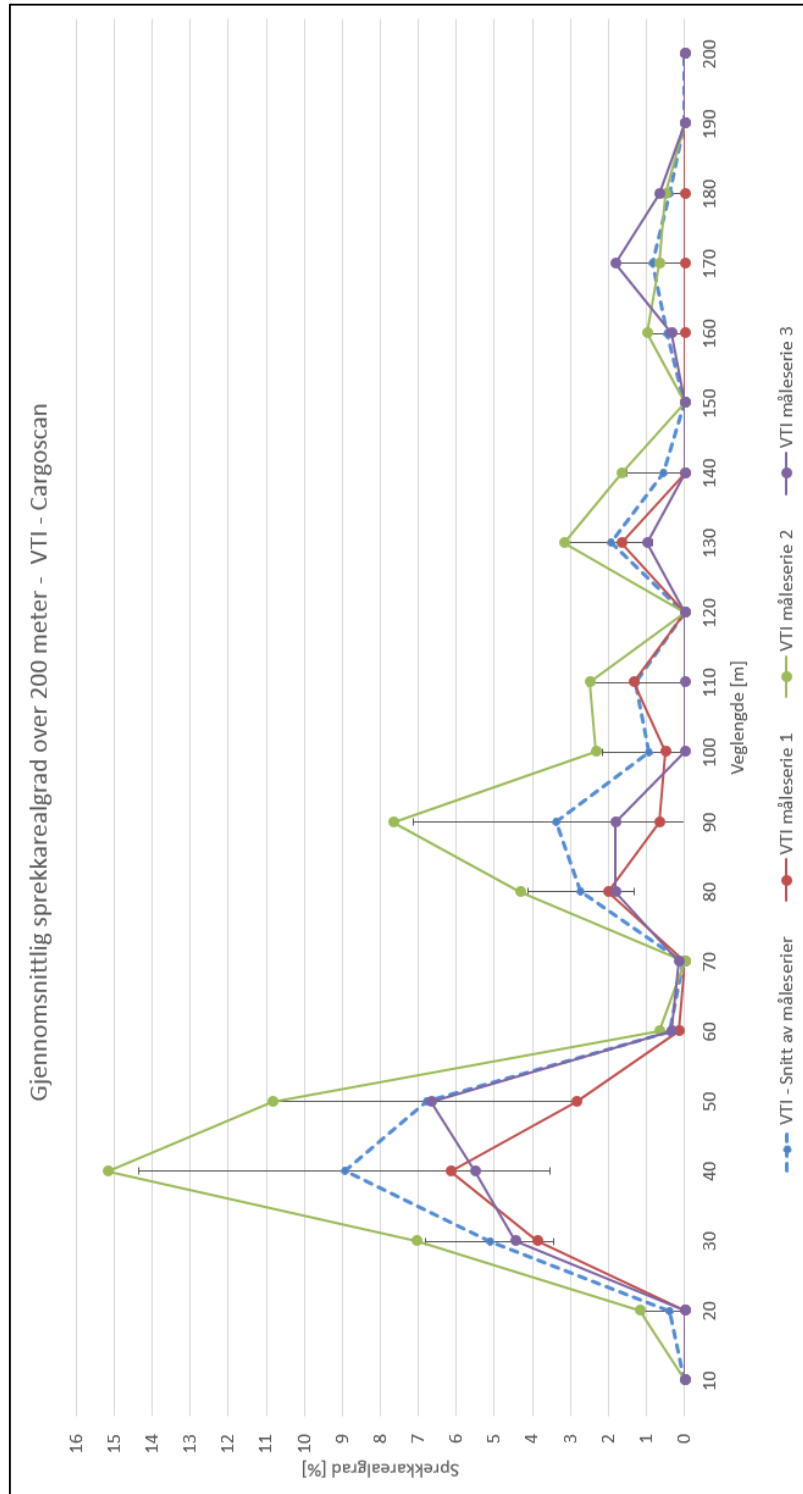
Kvantitative verdier for sprekkearealgrad beregnes manuelt for hver 0,25 meter. Resultatene kan deretter plottes som grafer langs vegflaten. Gjennomsnittsverdier for sprekkearealgrad for de ulike flatene ble også beregnet.

Del 4 – Resultater fra feltarbeidet

Her følger resultater fra feltarbeidene, plottet som gjennomsnittlig sprekkarealgrad med avvik.

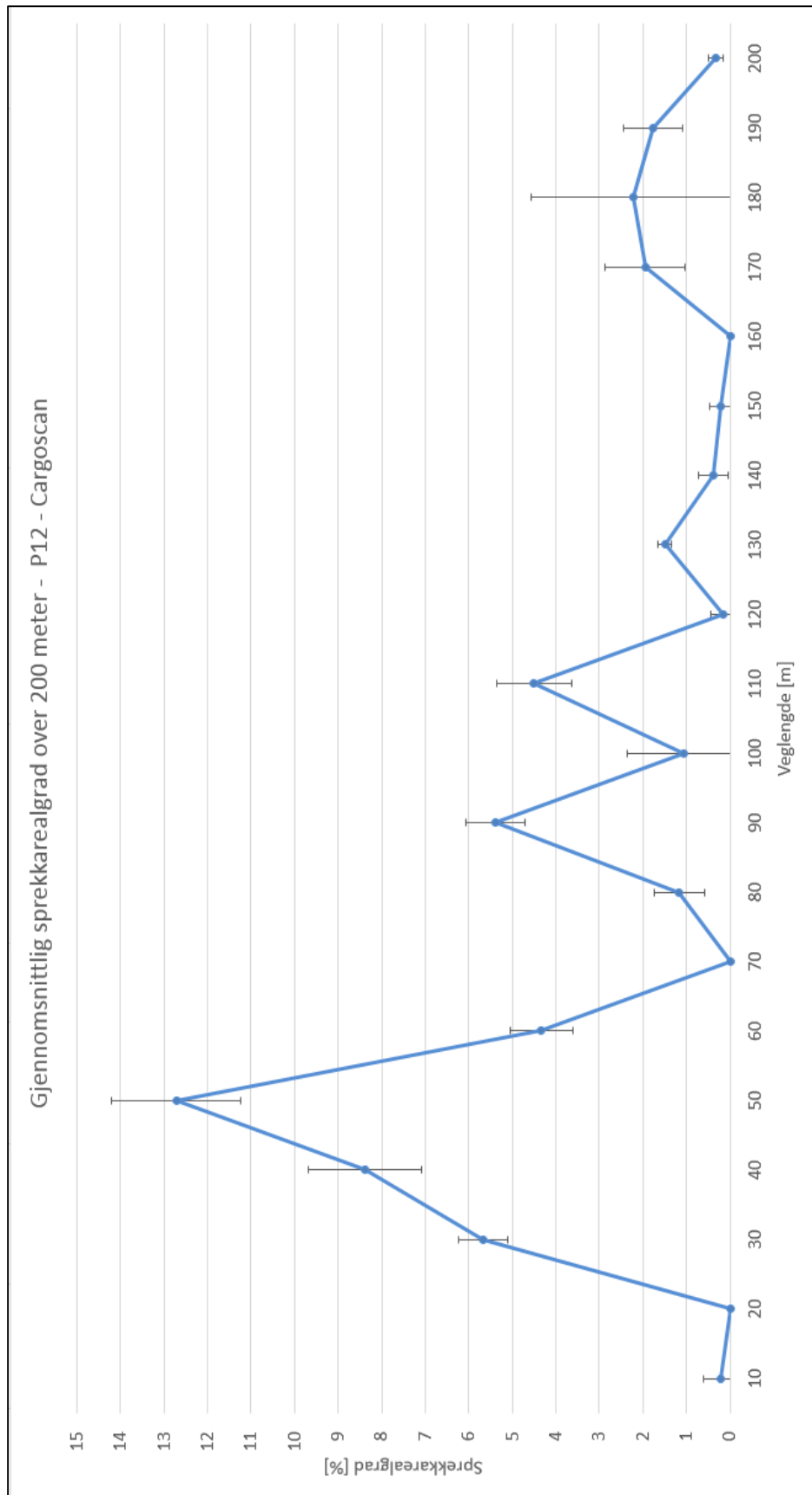
Feltarbeid del 1 - Analyse av strekning på 200 meter

Eksempel på utregning av gjennomsnittlig sprekkarealgrad fra 3 måleserier

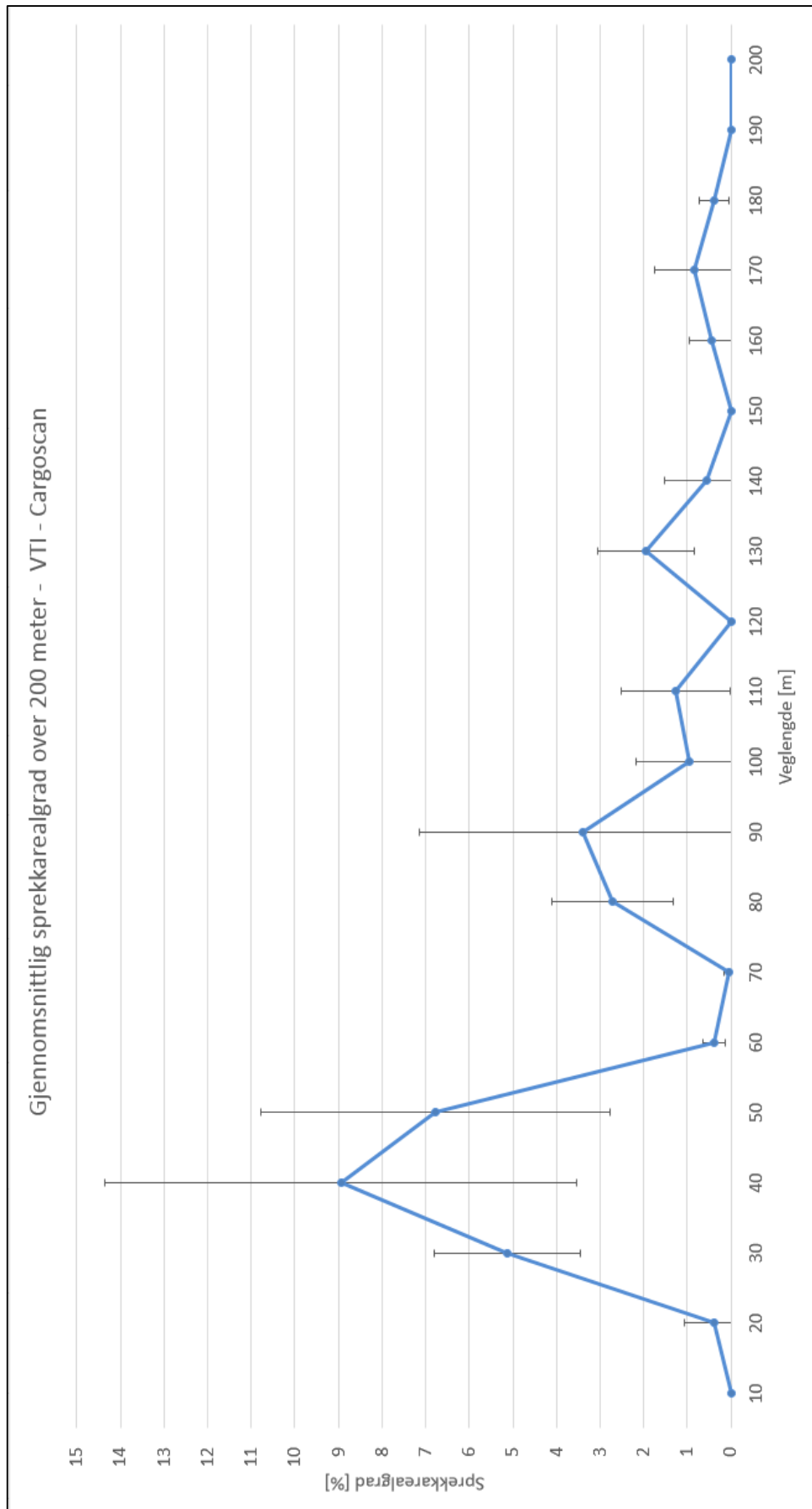


Figur 56 Eksempel på utregning av gjennomsnittlig sprekkarealgrad for 3 måleserier

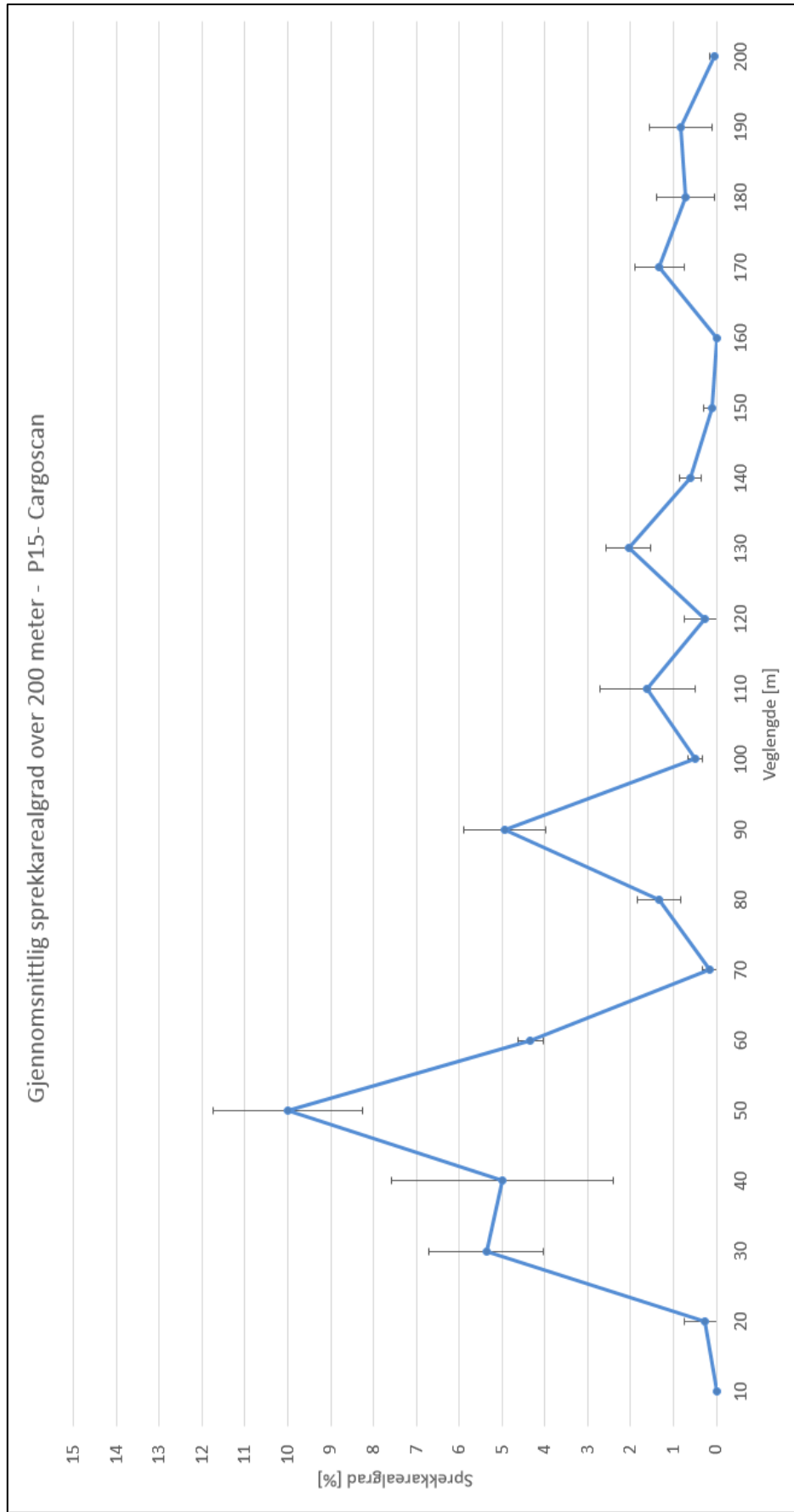
Gjennomsnitt av 3 måleserier for hver enkelt bil med avvik



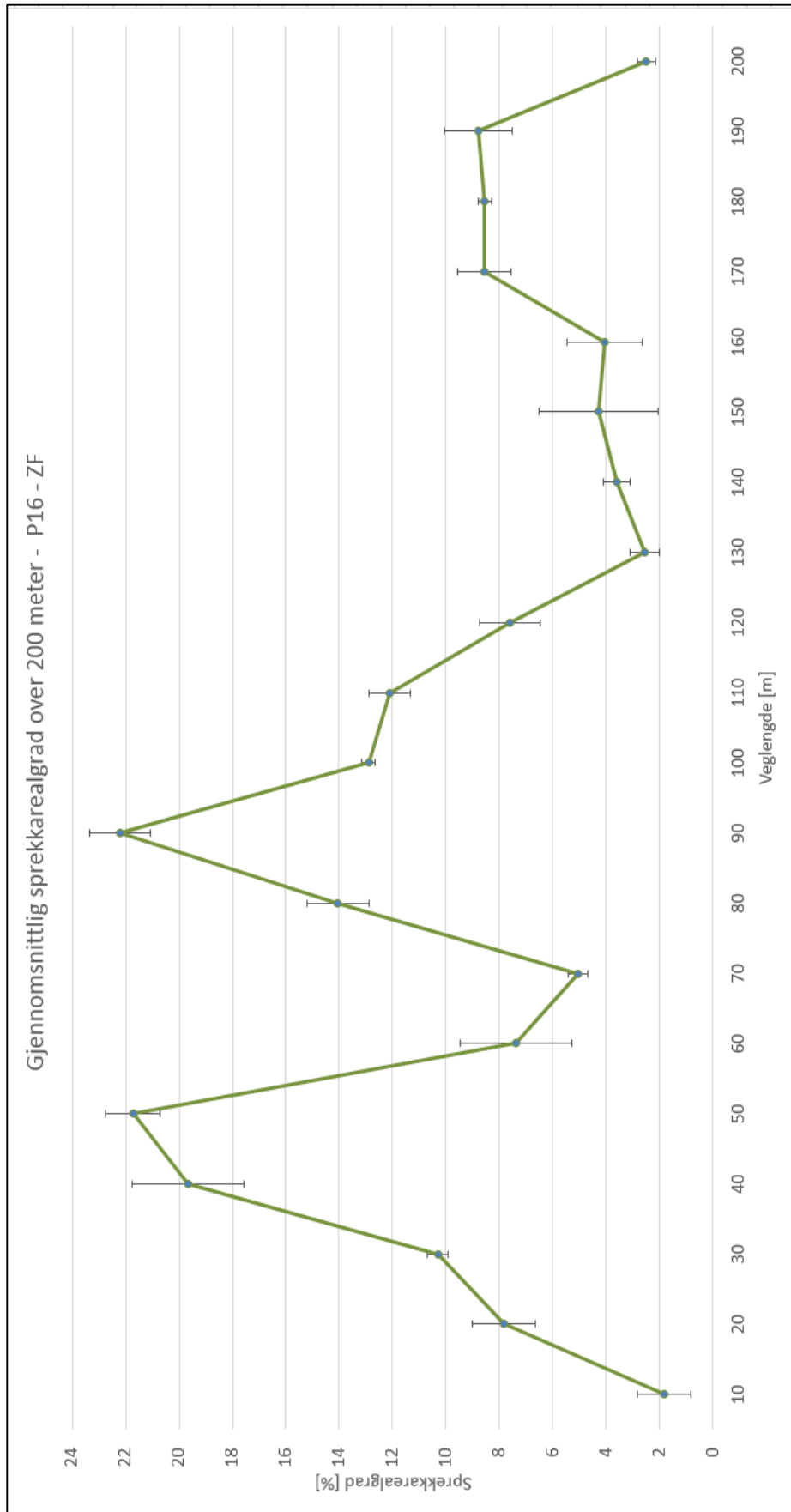
Figur 57 Gjennomsnitt av 3 måleserier for bil P12 - Cargoscan



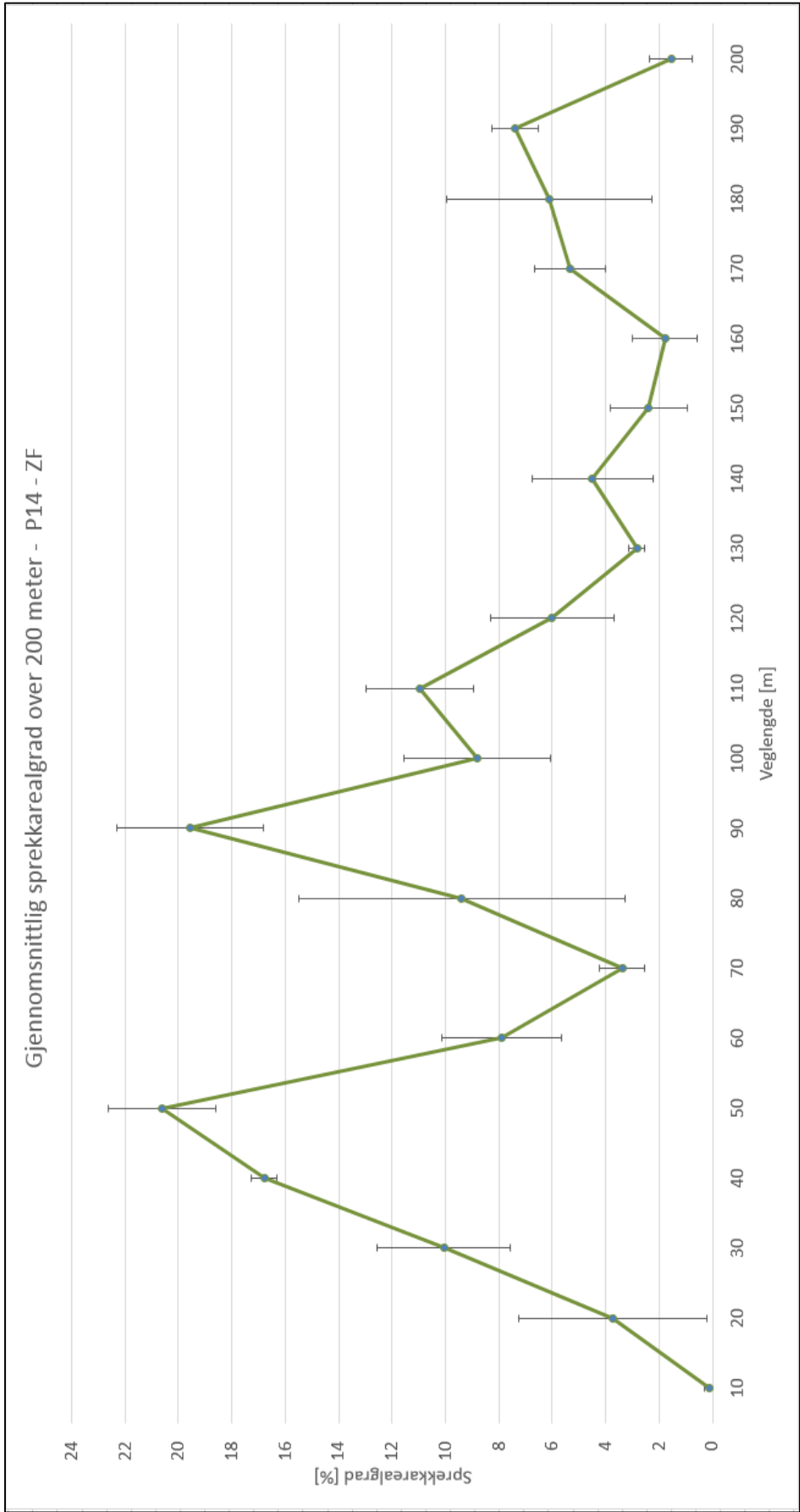
Figur 58 Gjennomsnitt av 3 måleserier for bil VTI - Cargoscan



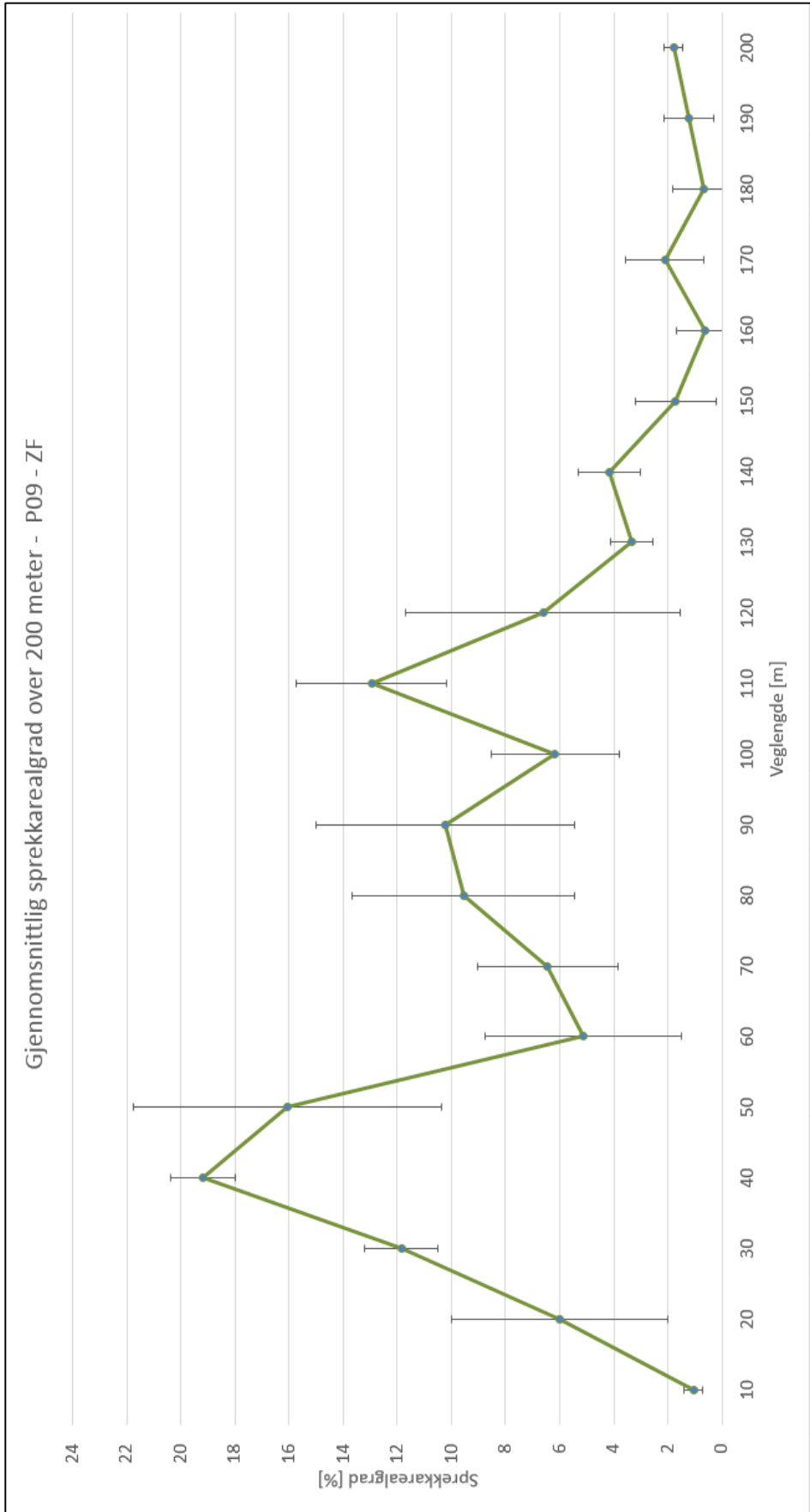
Figur 59 Gjennomsnitt av 3 måleserier for bil P15 - Cargoscan



Figur 60 Gjennomsnitt av 3 måleserier for bil P16 - ZF

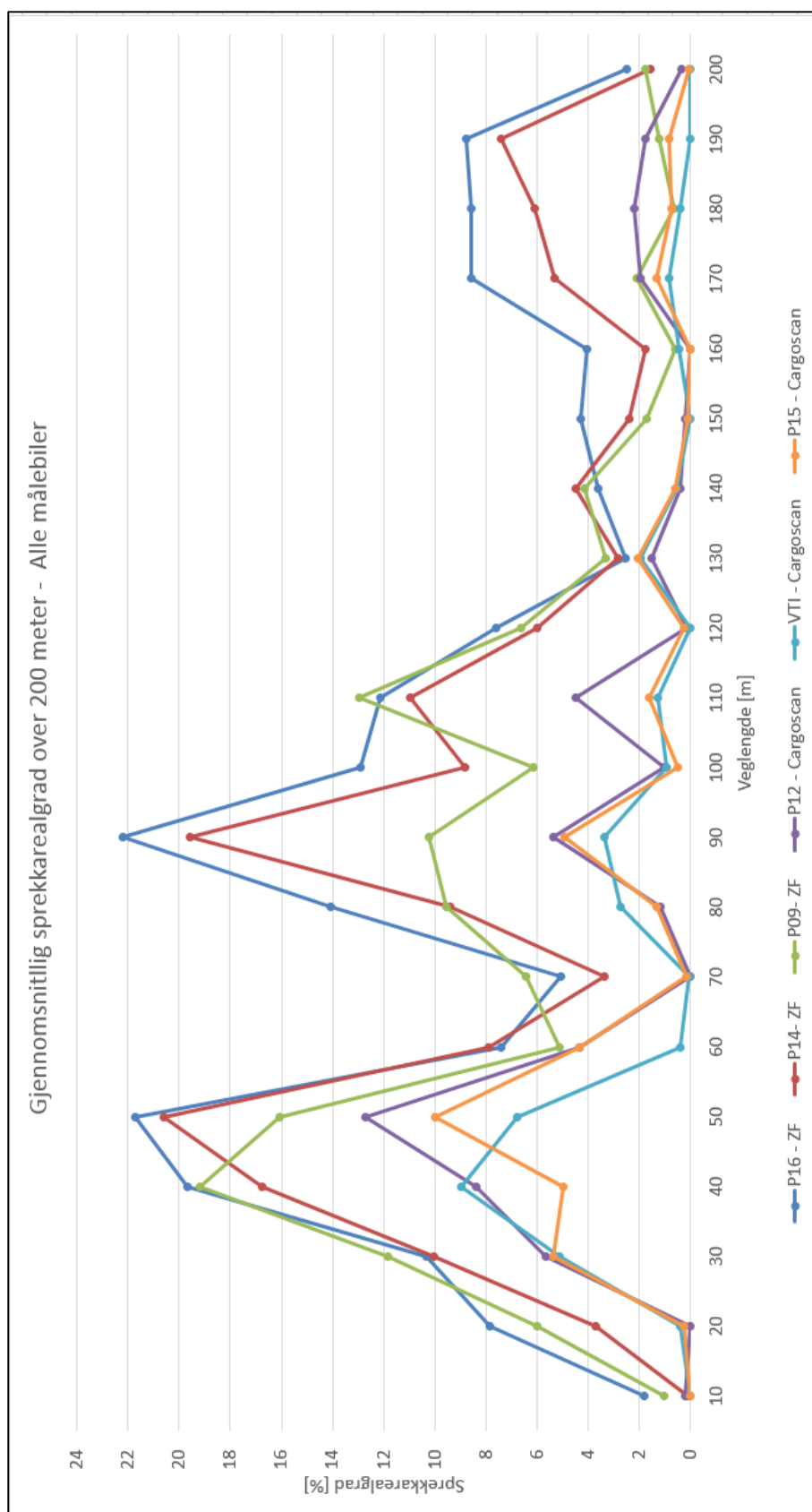


Figur 61 Gjennomsnitt av 3 måleserier for bil P14 - ZF



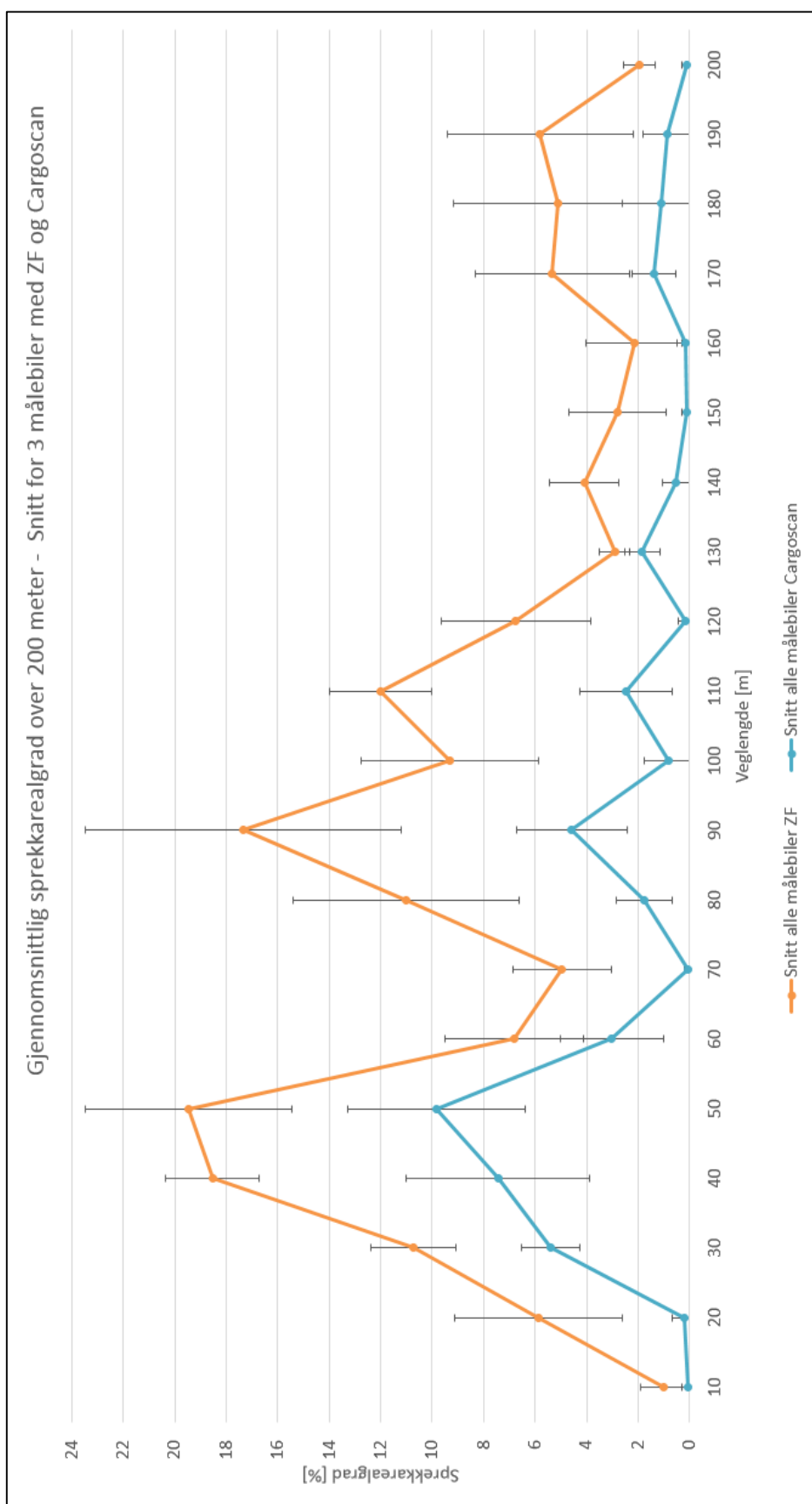
Figur 62 Gjennomsnitt av 3 måleserier for bil P09 - ZF

Sammenligning av gjennomsnittlig sprekkarealgrad for alle 6 biler



Figur 63 Gjennomsnittlig sprekkarealgrad for alle biler

Gjennomsnittlig sprekkarealgrad for ZF og Cargoscan beregnet fra 18 måleserier



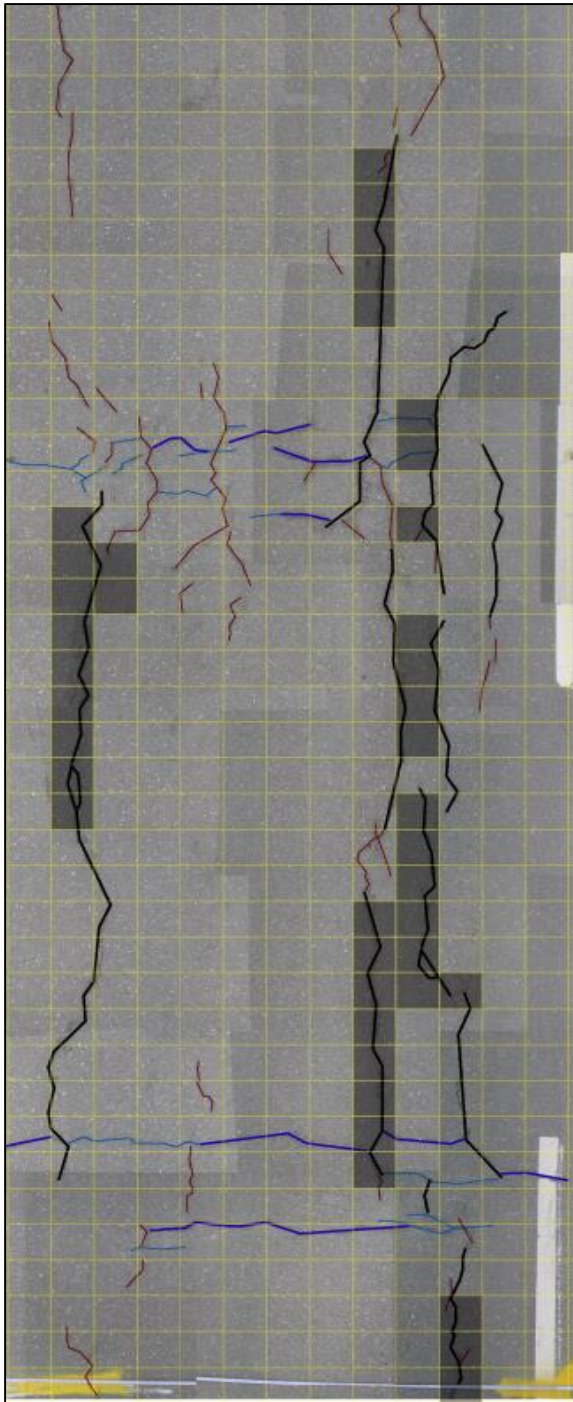
Figur 64 Gjennomsnittlig sprekkarealgrad for ZF og Cargoscan

Feltarbeid del 2 - Analyse av flate på 8 meter

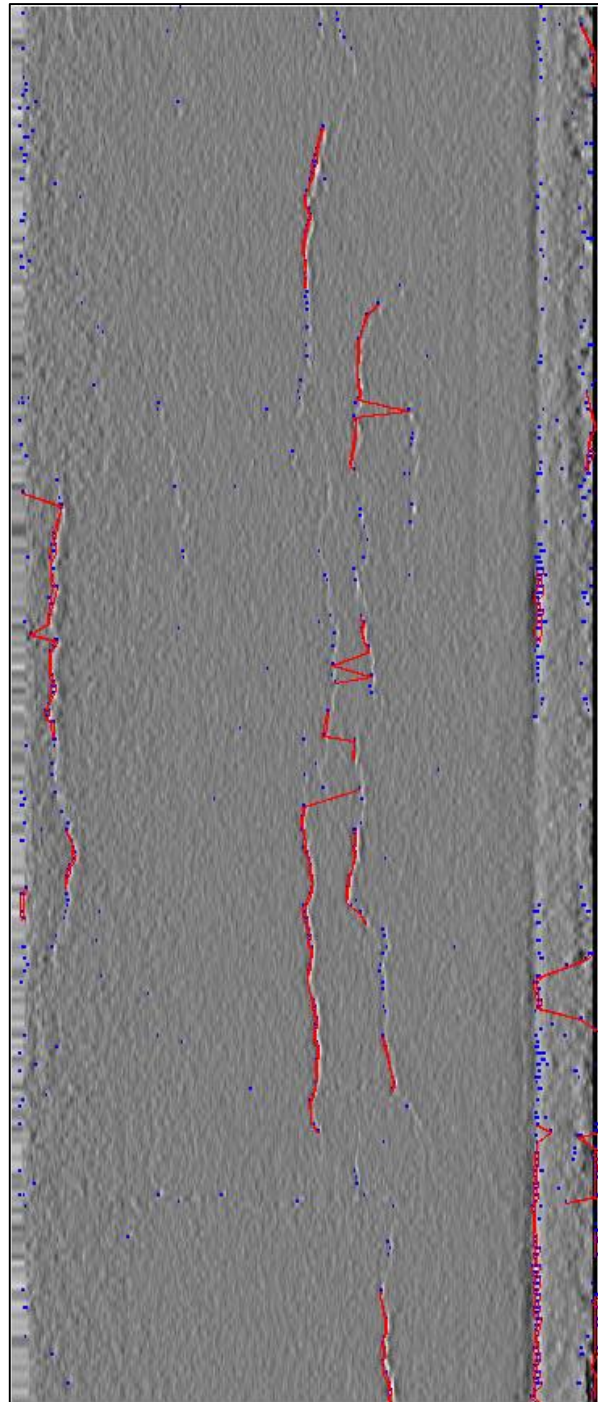
I det følgende vises resultater fra de manuelle beregningene av sprekkarealgrad, basert på automatisk identifiserte sprekker for flaten på 8 meter. Resultatet er også plottet som grafer.

Manuell beregning av sprekkarealgrad for Cargoscan

Manuelt beregnet sprekkarealgrad – P12



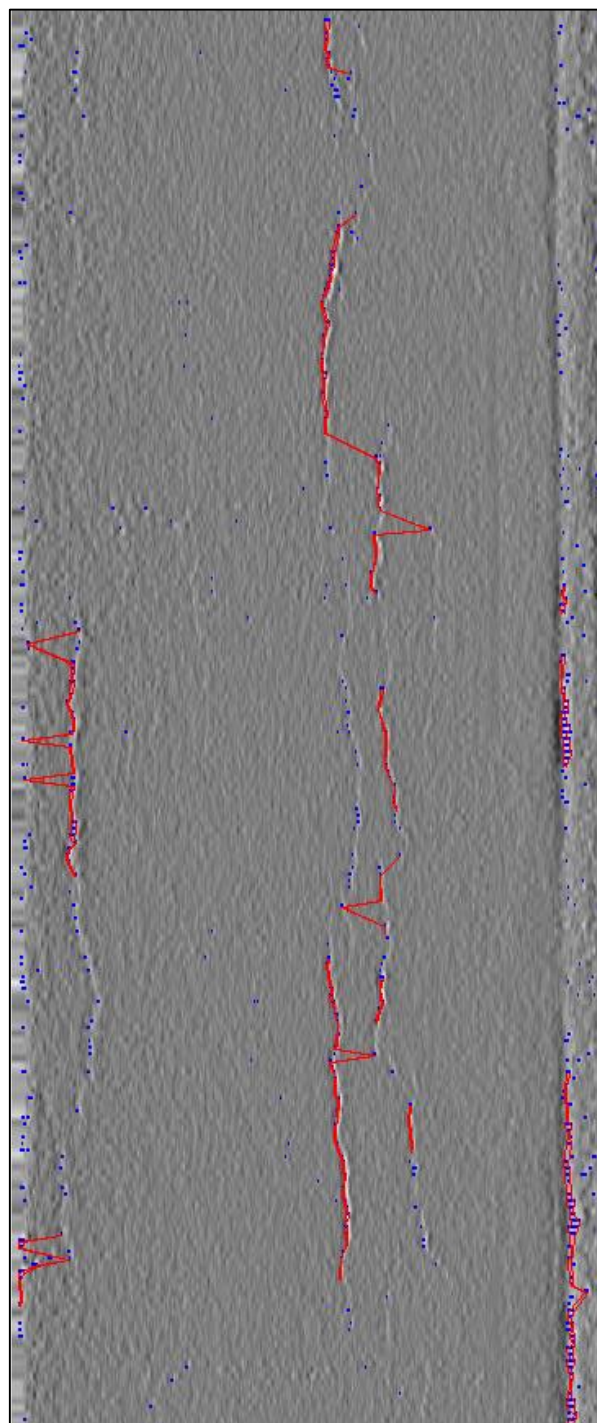
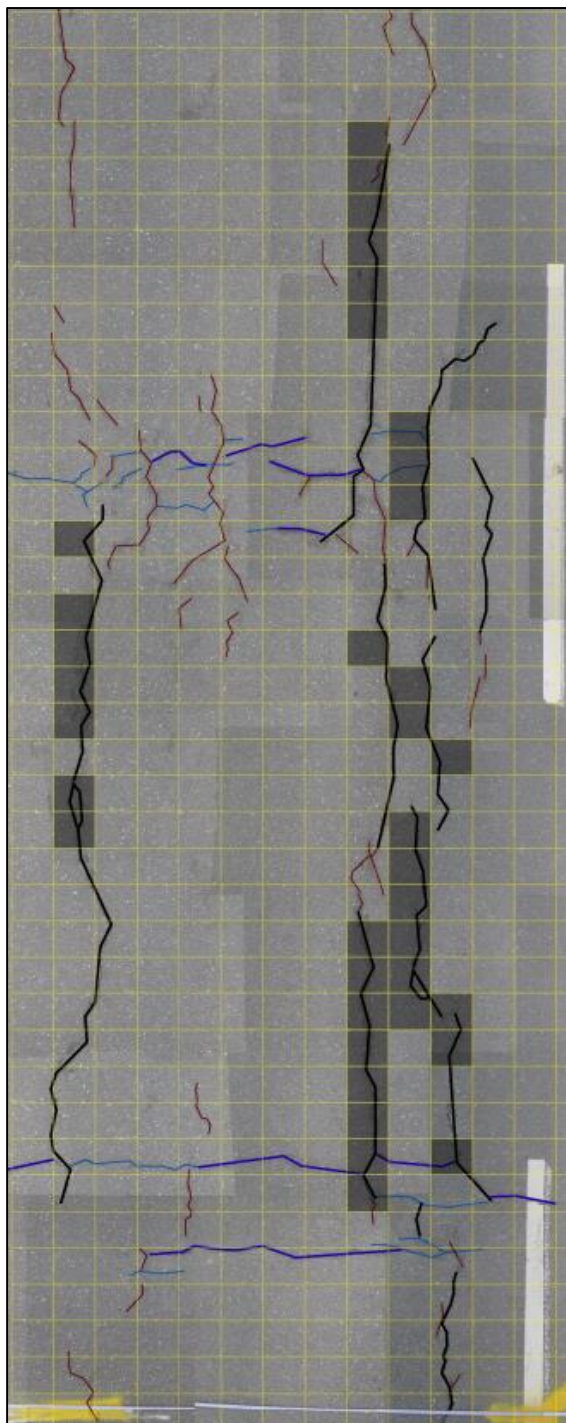
Resultat fra laserskanning – P12



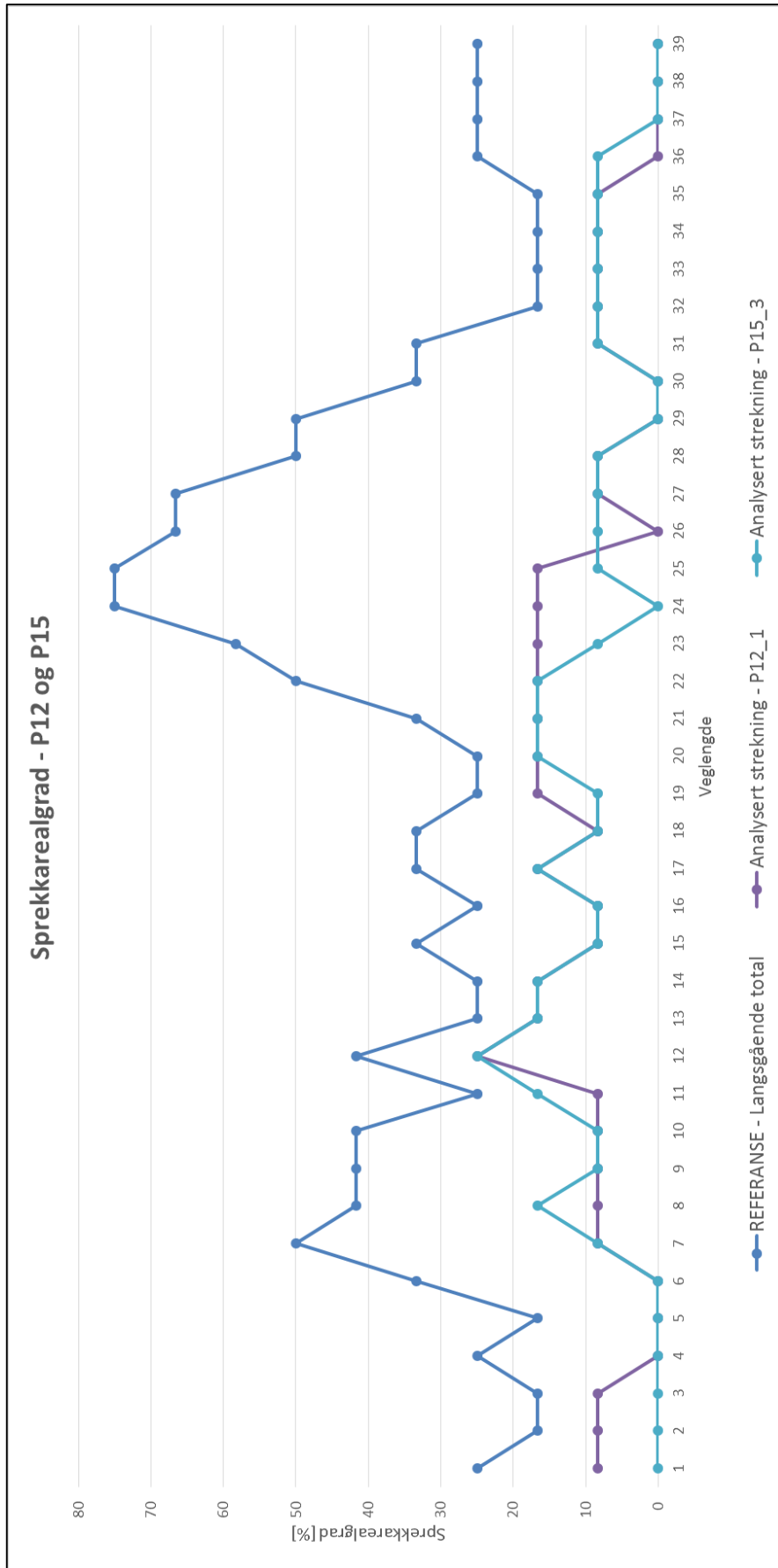
Figur 65 Identifiserte langsgående sprekker - P12 – Cargoscan

Manuelt beregnet sprekkarealgrad – P15

Resultat fra laserskanning – P15



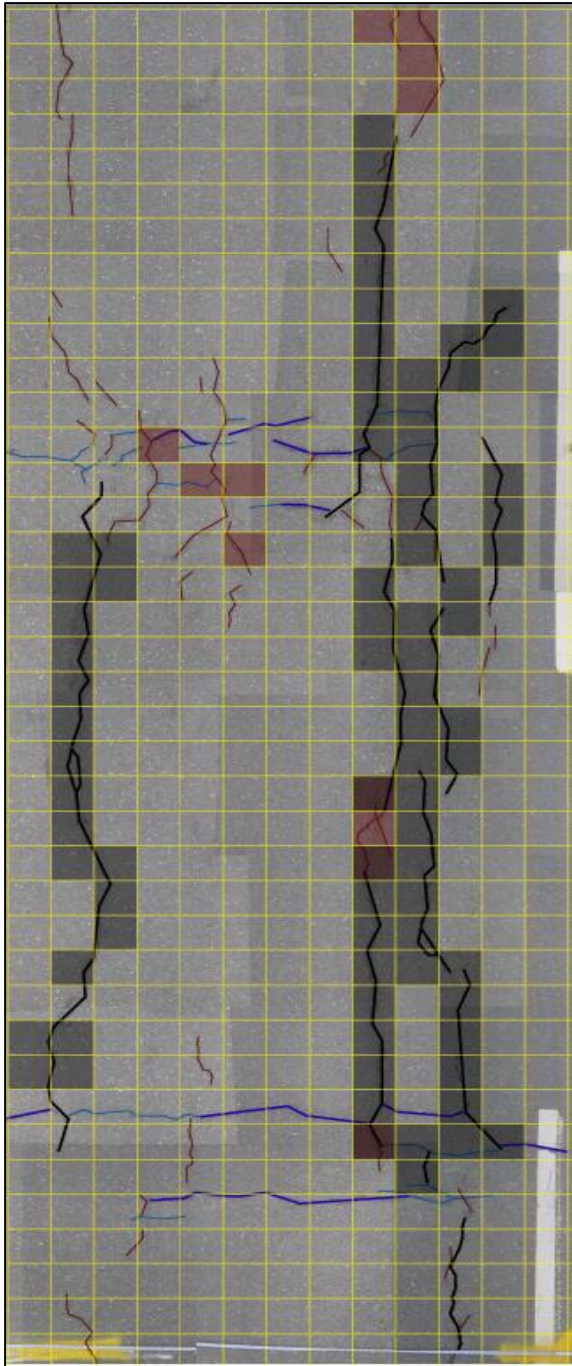
Figur 66 Identifiserte langsgående sprekker - P15 – Cargoscan



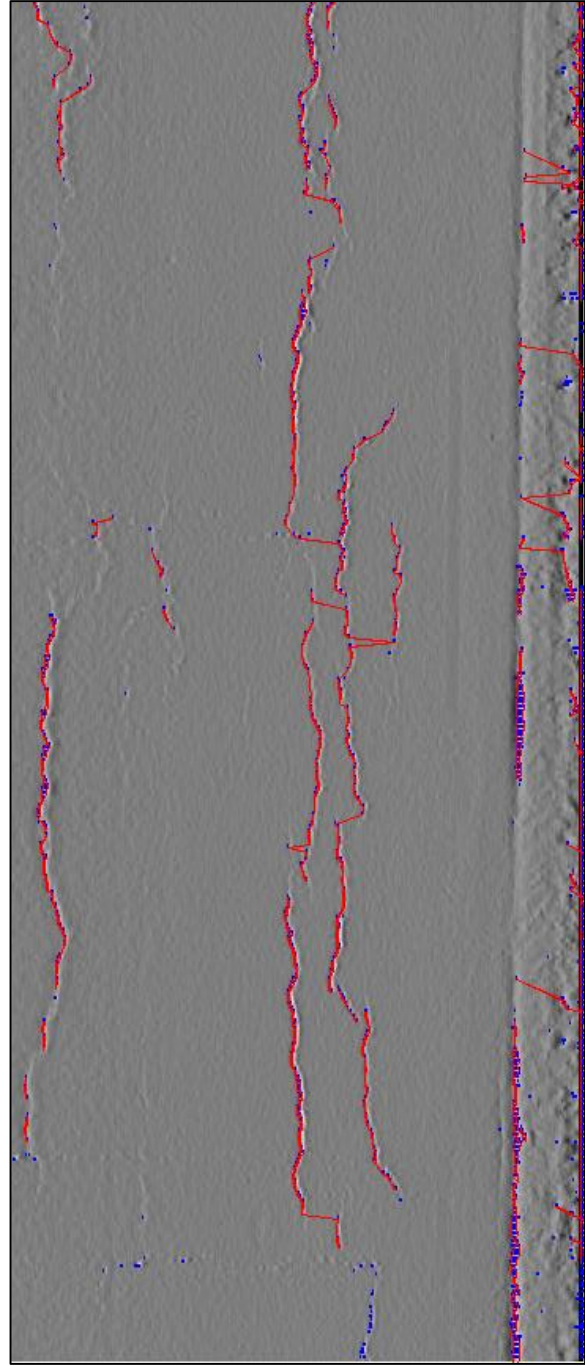
Figur 67 Grafisk fremstilling av sprekkarealgrad for P12 og P15 – Langsgående totalt

Manuell beregning av sprekkarealgrad for ZF

Manuelt beregnet sprekkarealgrad – P14

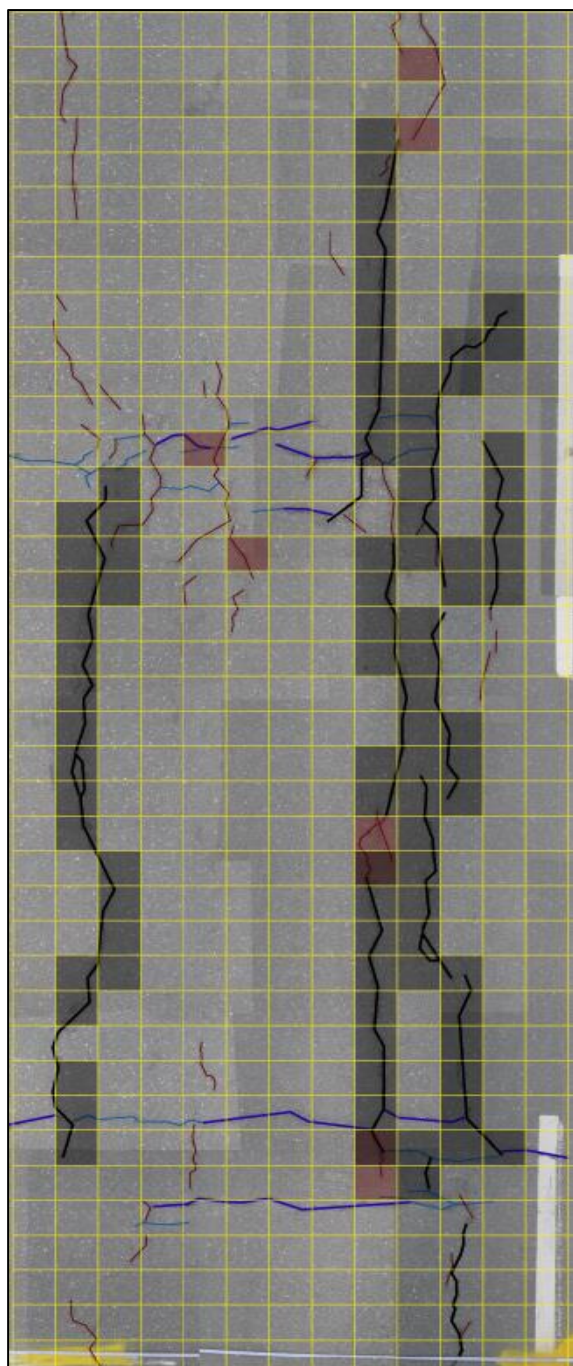


Resultat fra laserskanning – P14

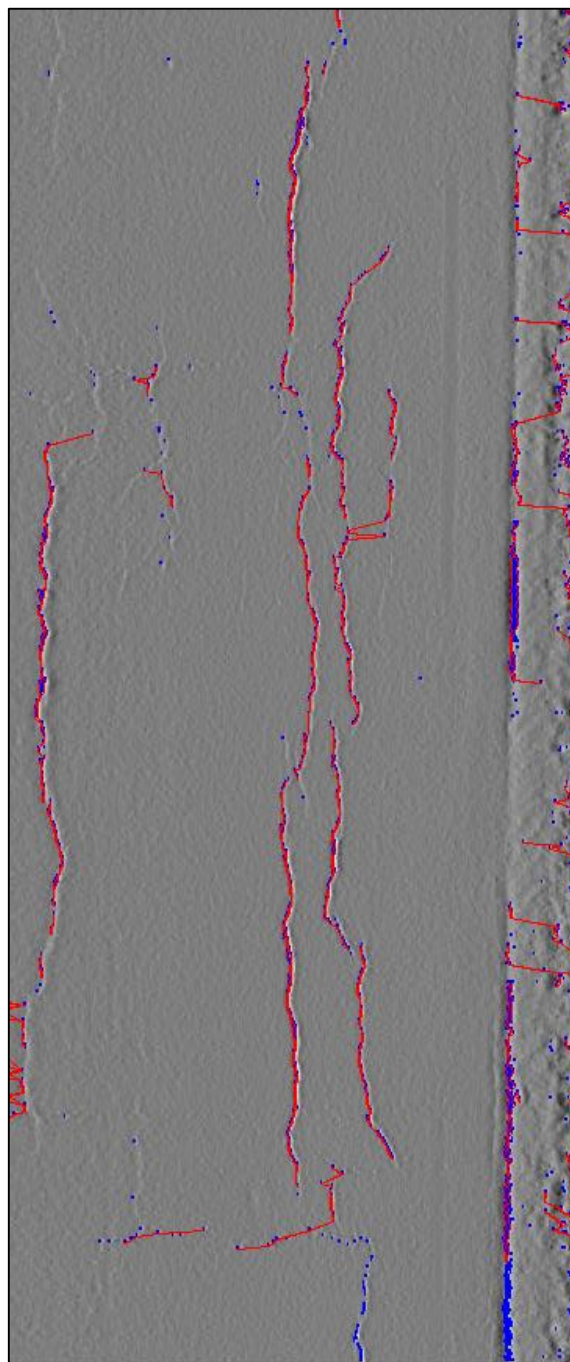


Figur 68 Identifiserte langsgående sprekker - P14 – ZF

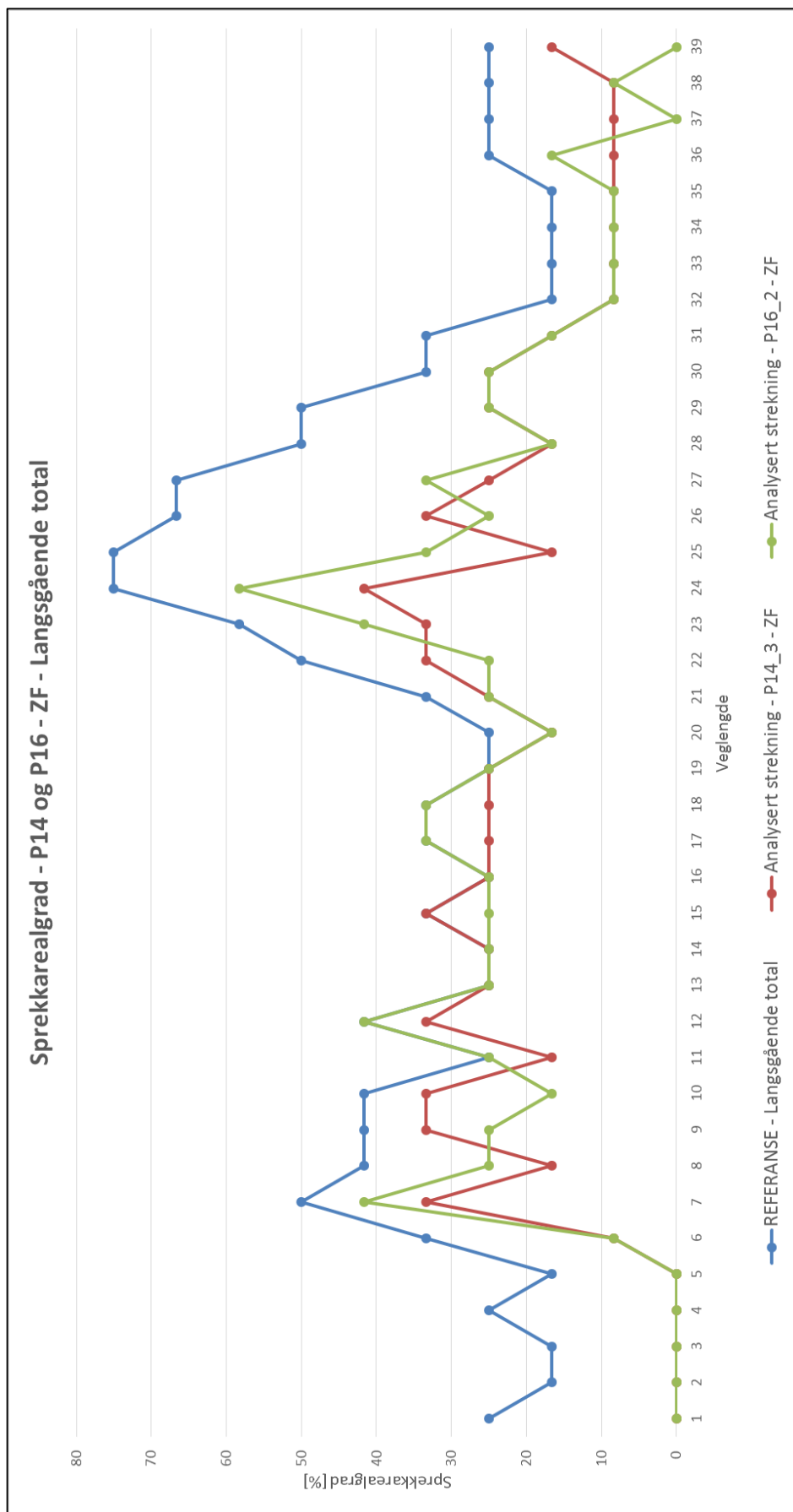
Manuelt beregnet sprekkarealgrad – P16



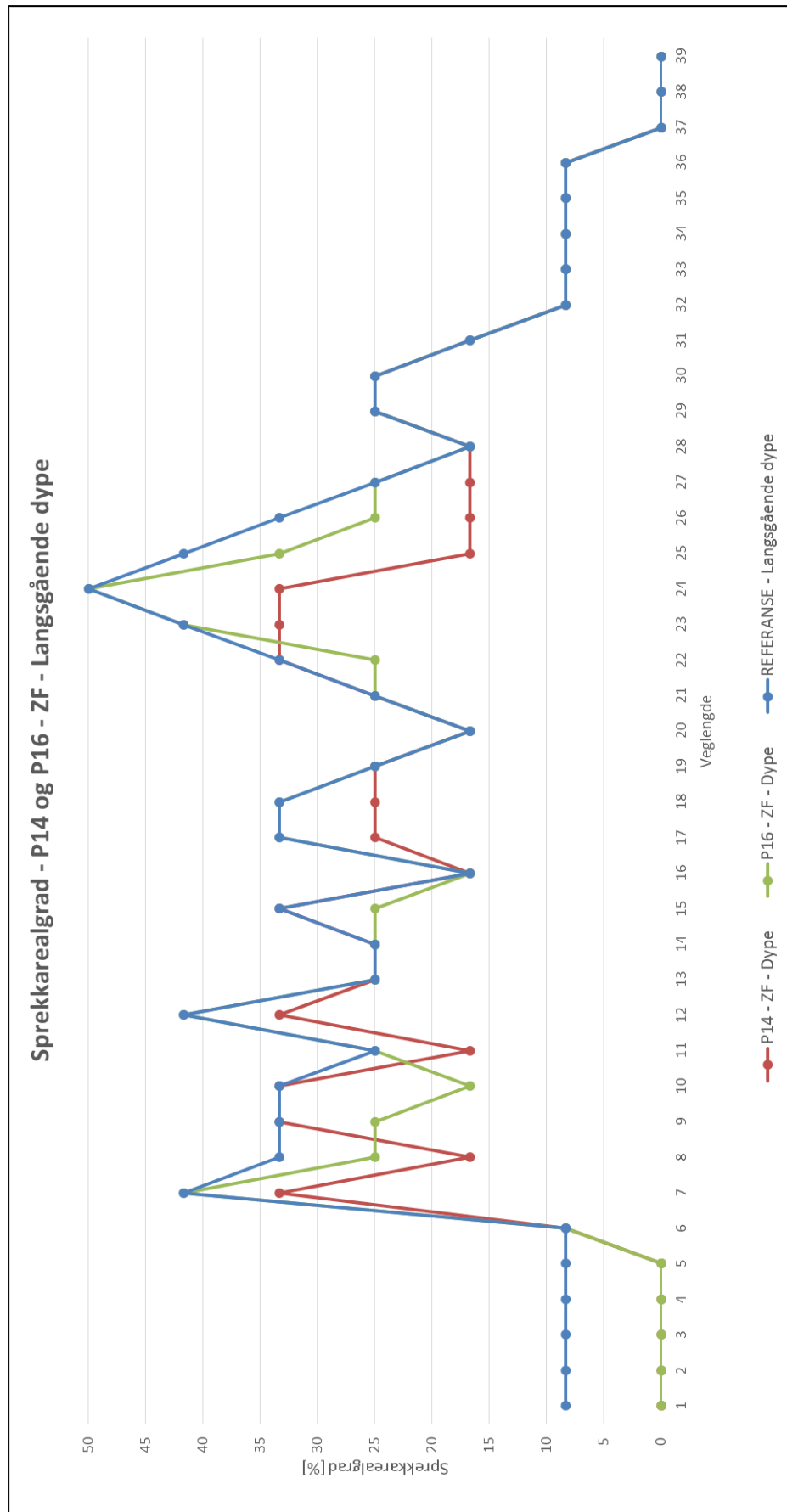
Resultat fra laserskanning – P16



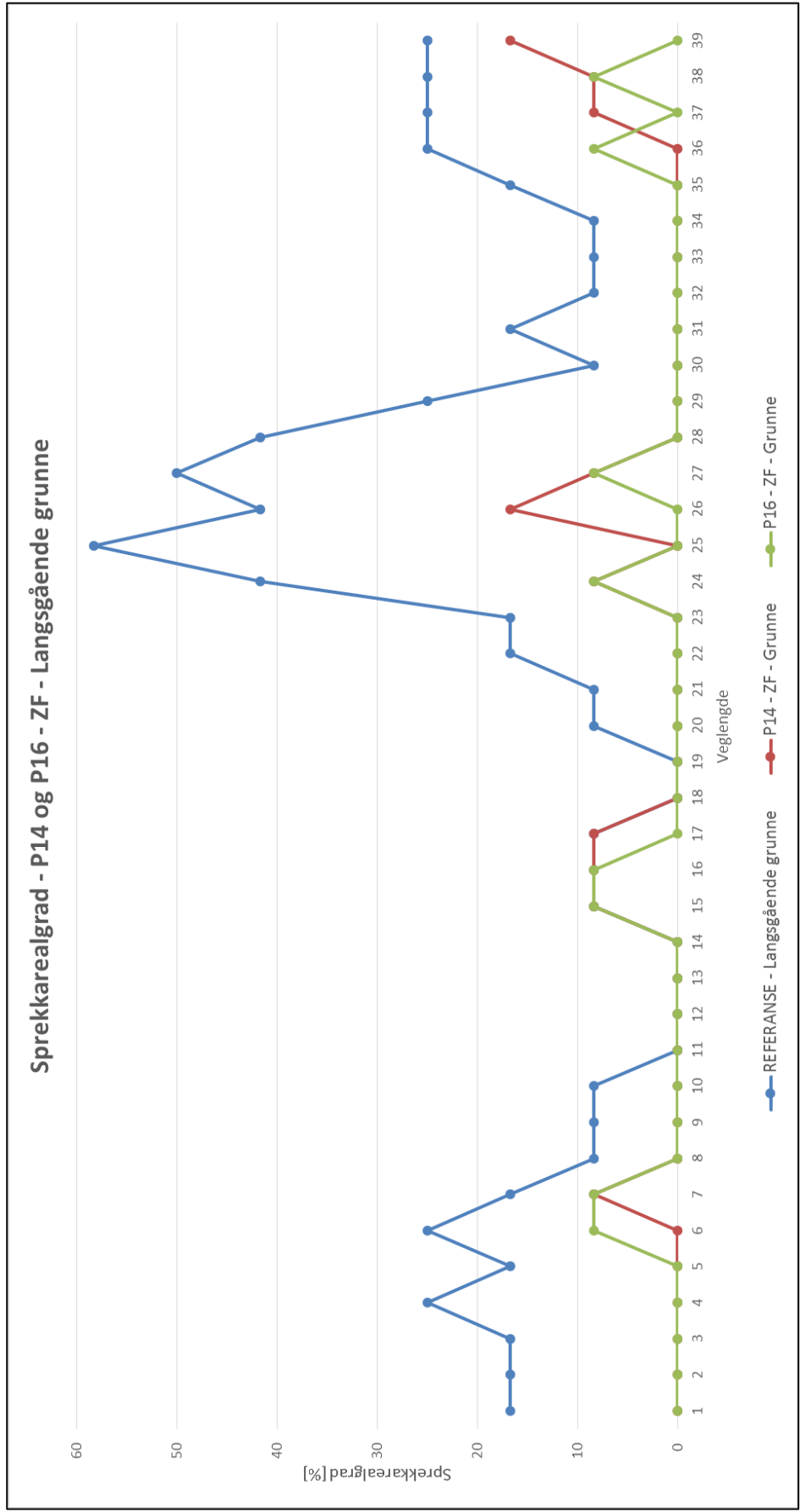
Figur 69 Identifiserte langsgående sprekker - P16 – ZF



Figur 70 Grafisk fremstilling av sprekkarealgrad for P14 og P16 – Langsgående totalt

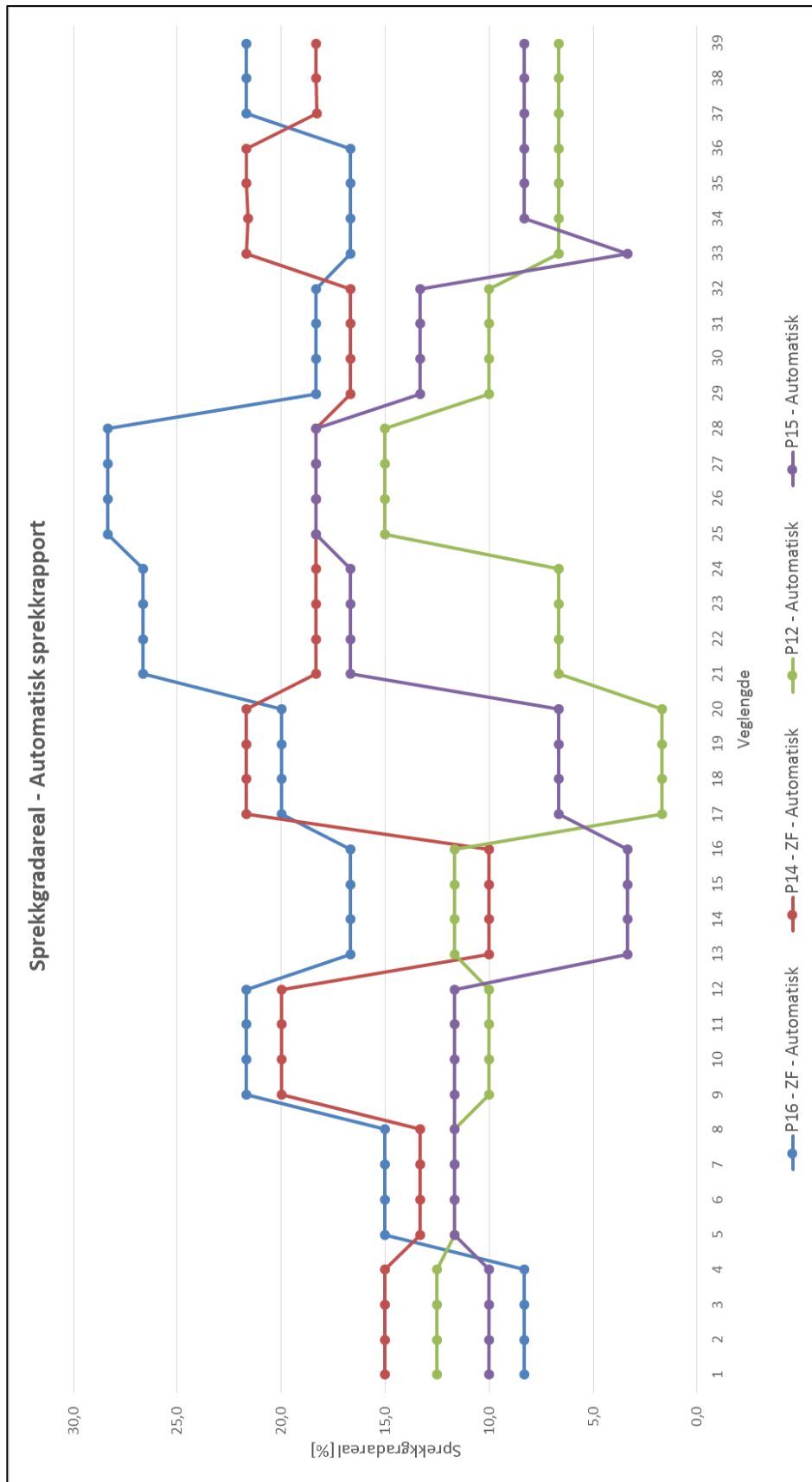


Figur 71 Grafisk fremstilling av sprekkarealgrad for P14 og P16 – Langsgående dype



Figur 72 Grafisk fremstilling av sprekkarealgrad for P14 og P16 – Langsgående grunne

Automatisk beregning av sprekkarealgrad for Cargoscan og ZF fra ViaPPS Desktop

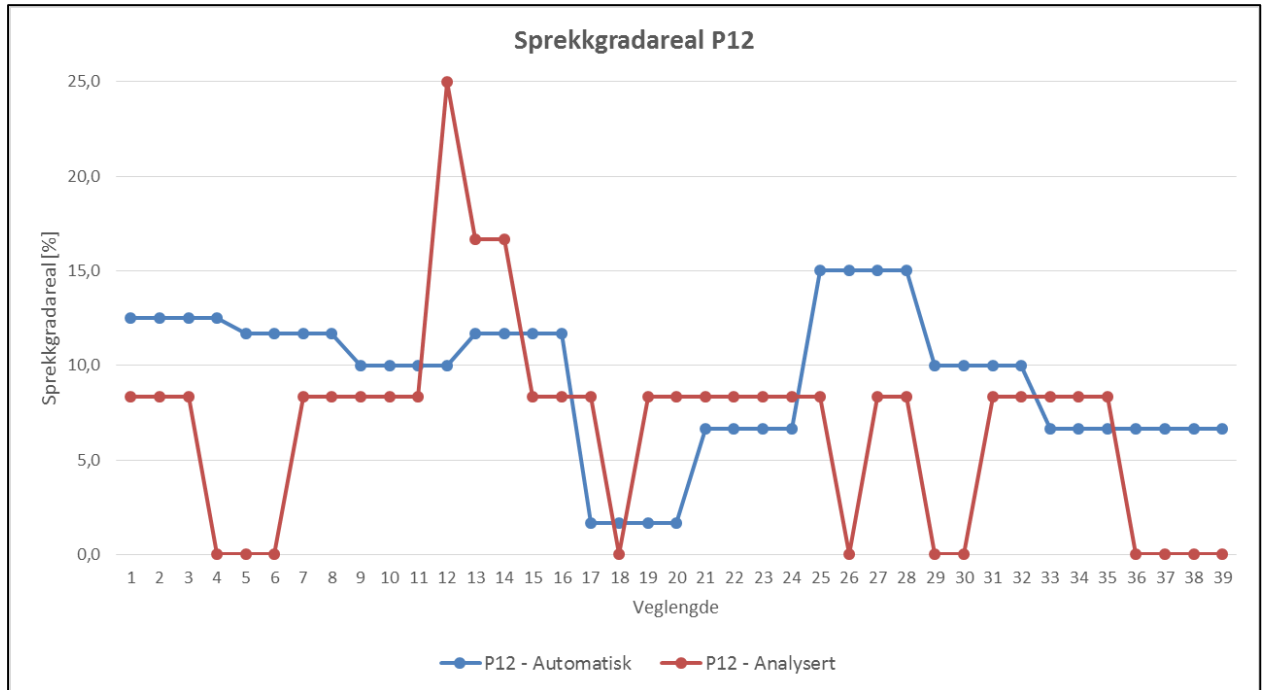


Figur 73 Total sprekkarealgrad for alle automatiske beregninger fra ViaPPS Desktop

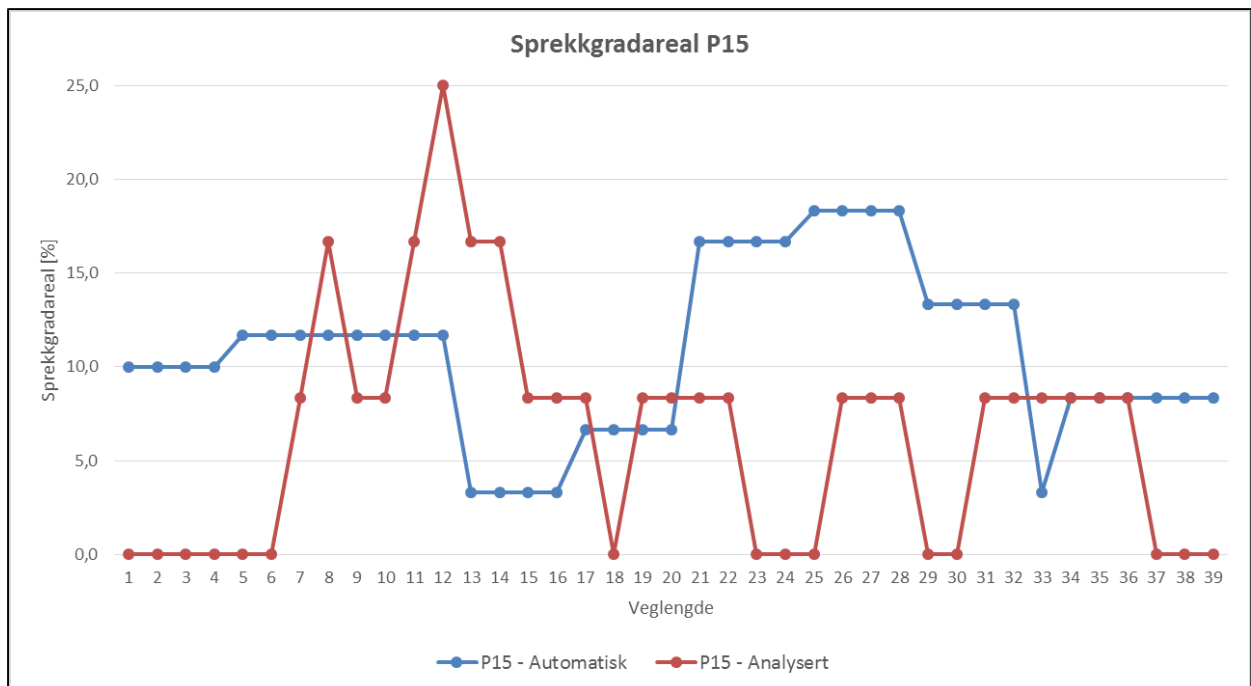
Sammenligning av manuelt og automatisk beregnet sprekkarealgrad for hver bil

(NB: Analysert = manuelt beregnet sprekkarealgrad, Automatisk = sprekkarealgrad fra sprekkrapport)

Sprekkarealgrad for Cargoscan

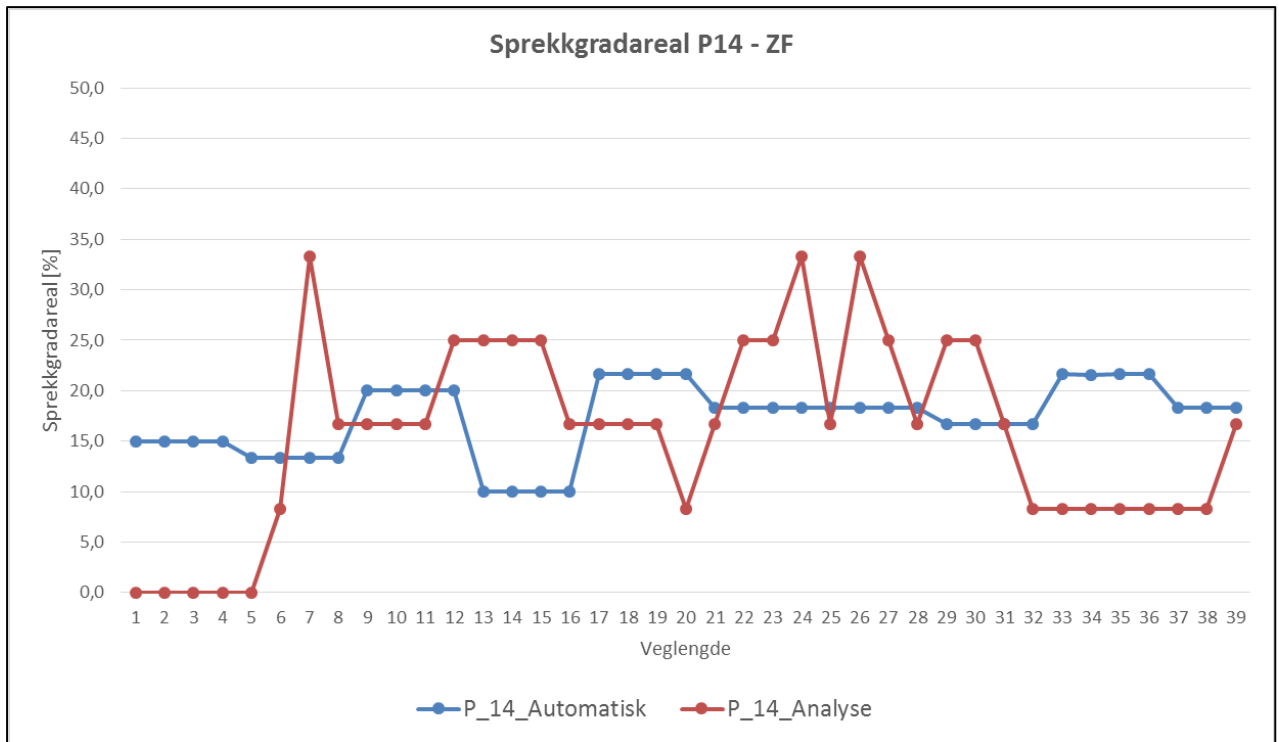


Figur 74 Manuelt og automatisk beregnet sprekkarealgrad for P 12

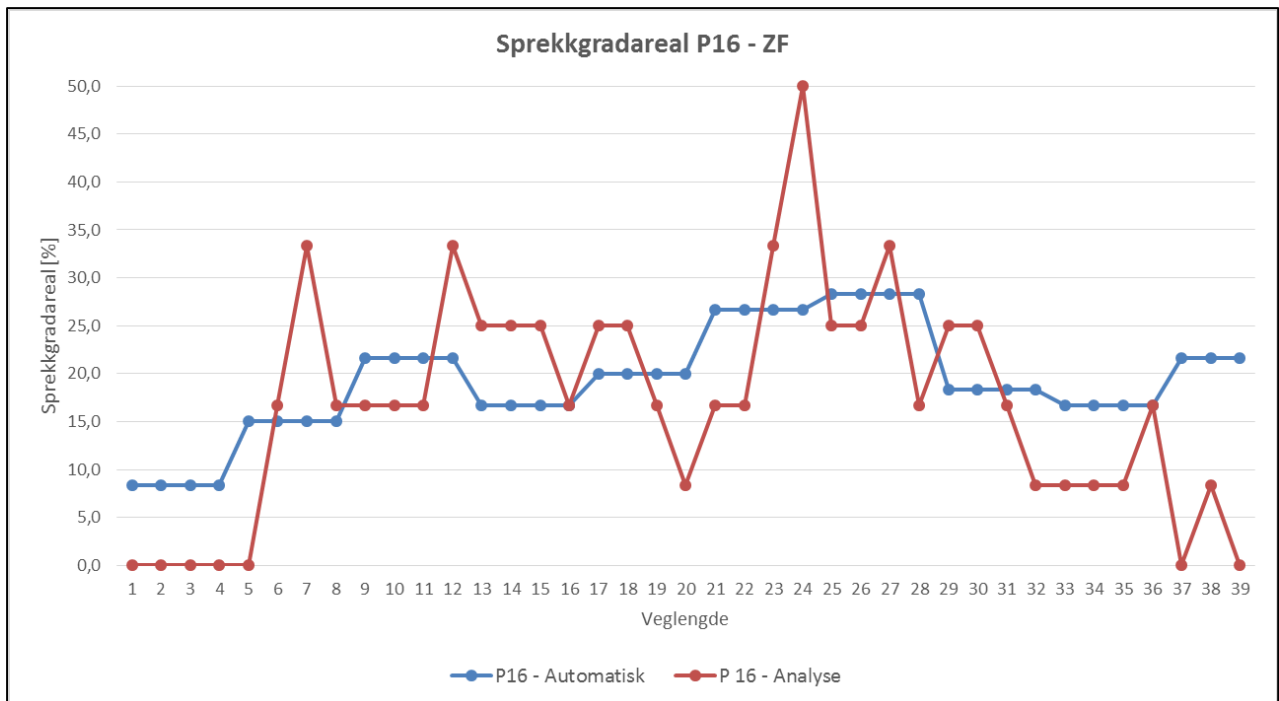


Figur 75 Manuelt og automatisk beregnet sprekkarealgrad for P15

Sprekkarealgrad for ZF



Figur 76 Manuelt og automatisk beregnet sprekkarealgrad for P14 - ZF

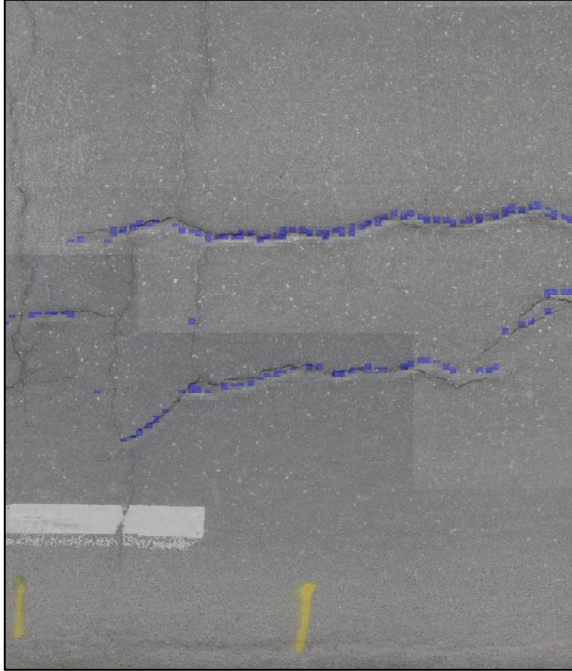


Figur 77 Manuelt og automatisk beregnet sprekkarealgrad for P16 - ZF

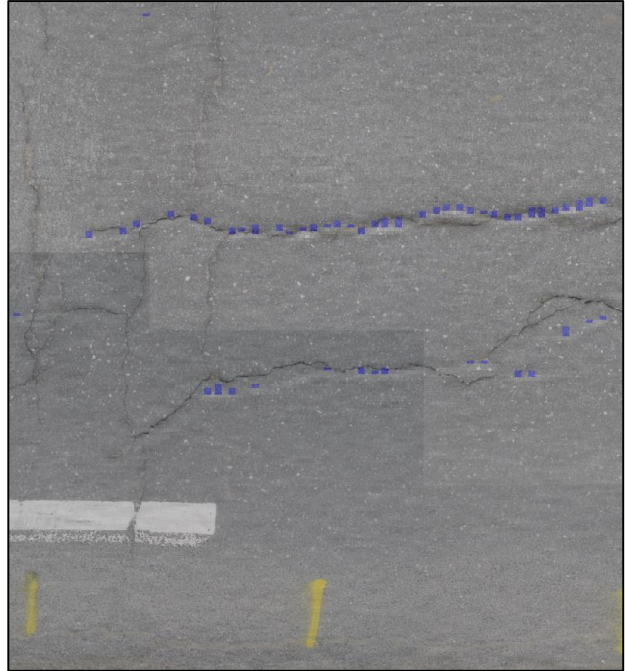
Sammenligning av detaljnivå ved identifisering av sprekker med Cargoscan og ZF

Automatisk identifiserte ujevnheter

P14 - ZF

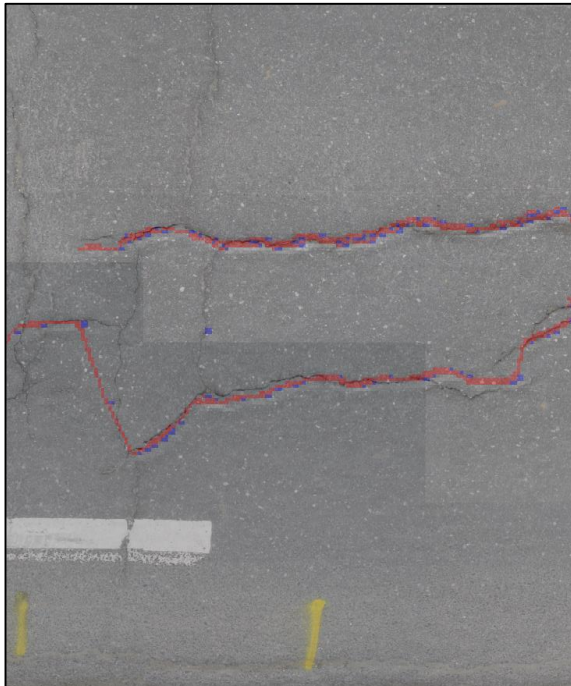


P12 - Cargoscan

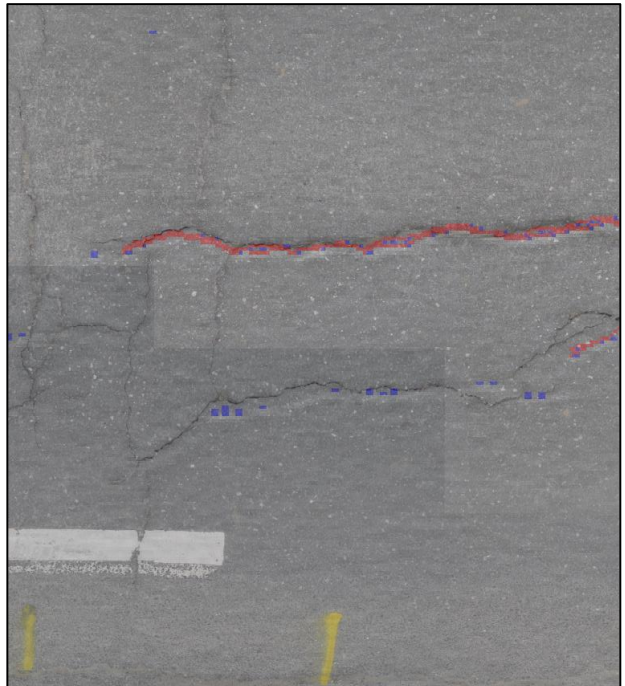


Automatisk identifiserte sprekker

P14 - ZF



P12 - Cargoscan



Figur 78 Sammenligning av resultat fra laserskanning med ZF og Cargoscan

Del 5 – Diskusjon, anbefalinger og konklusjon

Kapittel 12 - Diskusjon

I dette kapitlet følger en diskusjon av nåværende og fremtidig teknologi, metodikk og potensiale for automatisk identifikasjon av sprekker i vegflaten. Diskusjonen bygger på teori fra litteraturstudiet og resultater fra feltarbeidet.

Først gis en gjennomgang av mulige feilkilder i feltarbeidet. Deretter diskuteres kapasitet og nøyaktighet for dagens teknologi for sprekkdeteksjon basert på resultatene fra feltstudiet. Videre ses det på metodikk for identifisering, klassifisering og vurdering av sprekkers alvorlighet. Til slutt diskuteres den nåværende og fremtidige rollen sprekkdeteksjon kan ha i forvaltningen av vegnettet.

Datagrunnlaget brukt i analysene finnes som tall i *Bilag 1 og 2* og som grafer i *Del 4 – Resultater*.

12.1 Usikkerheter og feilkilder i feltarbeidet

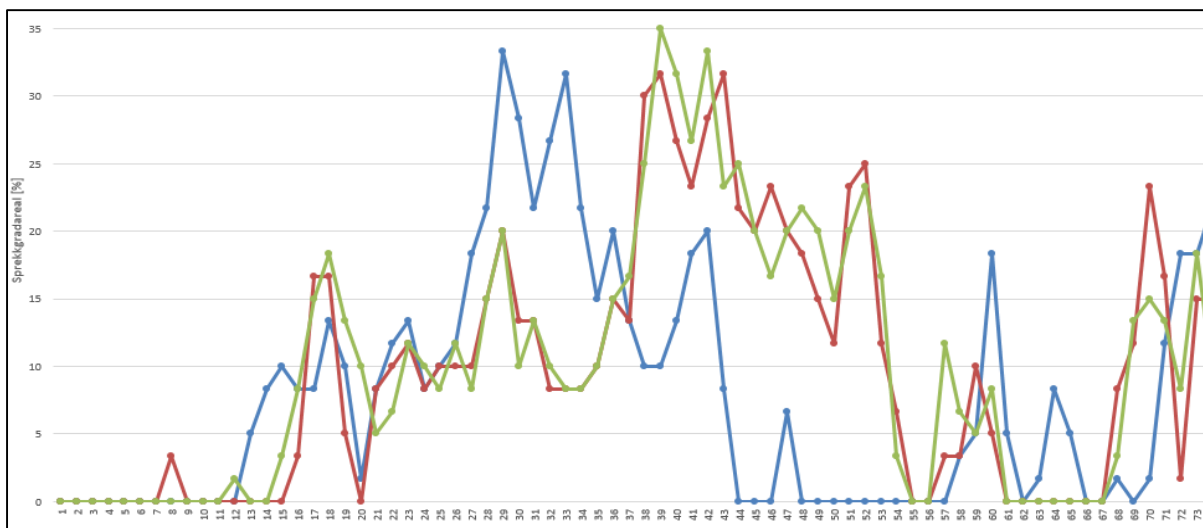
Det finnes rekke potensielle feilkilder og usikkerheter som kan gi avvik i resultatet fra feltarbeidet. Dette gjelder både for datagrunnlaget og metodikken som ble brukt. Etter som det er viktig å være klar over potensielle avvik ved diskusjon og tolkning av resultatene gis en oversikt over disse i det følgende.

Avvik i bestemmelse av bilens posisjon

Til bestemmelse av posisjon benytter ViaPPS-bilene to system, et globalt basert på GNSS, og et lokalt basert på blant annet akselrotasjon og treghetssensorer.

Det globale systemet er utgangspunktet for posisjonsbestemmelse i forkant av målingene, mens det lokale systemet korrigerer for kjøretøyets bevegelser under gjennomføring av målingene.

Ved bearbeiding av data ble det oppdaget avvik i posisjonsangivelsen for de ulike måleseriene langs vegstrekningen. Et eksempel på dette vises under.



Figur 79 Illustrasjon av posisjonsavvik i måleserier fra samme bil

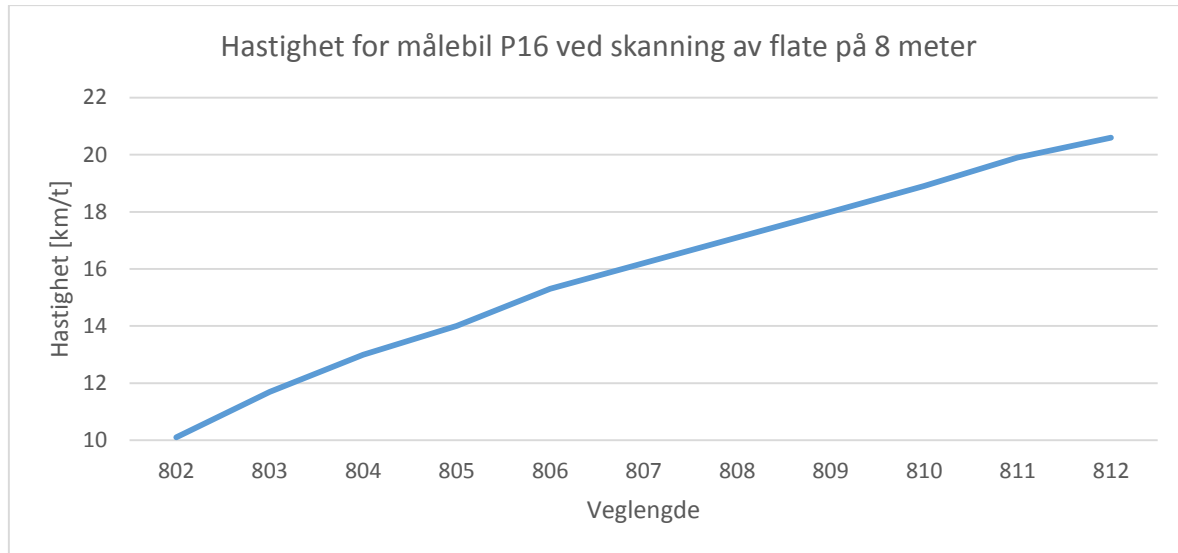
Av figuren ser en at den blå måleserien er forskjøvet omtrent 10 meter til venstre i forhold til den røde og grønne serien. Avviket kan for eksempel skyldes unøyaktigheter i den globale posisjonsangivelsen (GNSS) under målingen av den blå serien.

For å sikre samsvar i analysene ble måleserier med avvik korrigert manuelt før videre analyser ble utført.

Avvik på grunn av akselerasjon under måling

Flaten på 8 meter som studeres i feltarbeidet er lokalisert helt i starten av målestrekningen, noe som betyr at bilene akselererer under skanning av denne flaten. Etter som målingene skal foregå ved 60 km/t akselereres det så fort som mulig opp til denne hastigheten.

Grafen under viser hastigheten til bil P16 ved skanning av flaten (fra HP2 802 til HP2 812).



Figur 80 Hastighet for målebil P16 ved skanning av flaten på 8 meter

En ser i figuren over at hastigheten øker lineært fra 10 km/t til 20 km/t. Dette kan se ut til å påvirke den langsgående lokaliseringen av skannepunktene. Det ble oppdaget to effekter under arbeidet med analysene: en generell *fortetting av punkt* ved lav hastighet, og en *langsgående forlengelse av avstanden mellom punkt* ved akselerasjon.

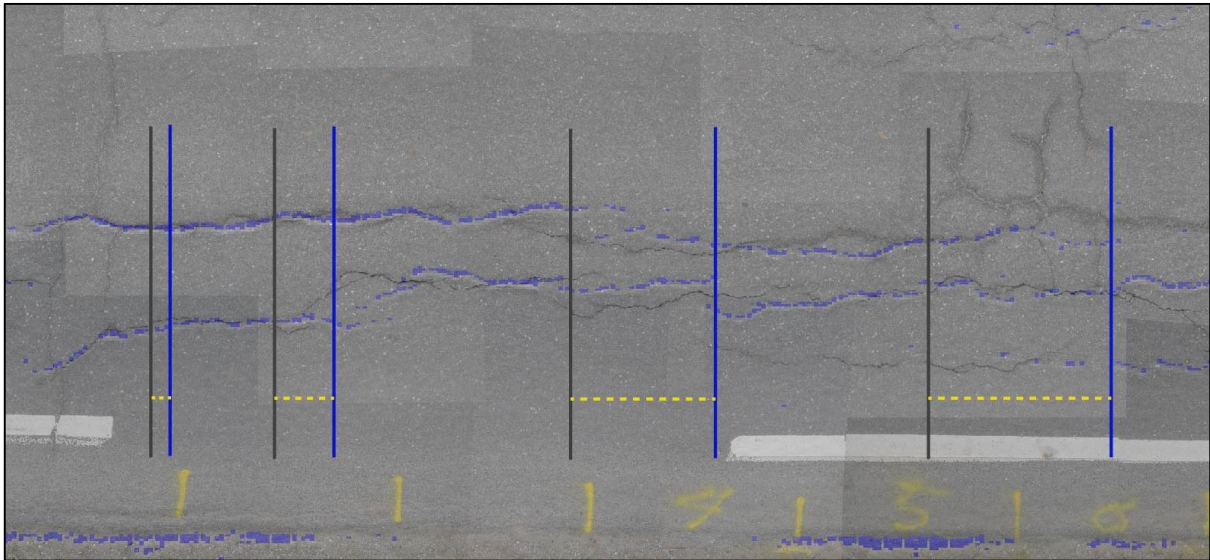
Etter som skanneren roterer med en konstant frekvens vil avstanden mellom tilliggende profil være kortere ved lave hastigheter, noe som fører til mer detaljerte målinger. Dette kan påvirke kapasiteten til sprekkdeteksjonen, etter som tversgående sprekker vil være lettere å oppdage ved korte profilavstander. Effekten av tettere langsgående oppløsning vil ikke påvirke sammenligninger gjort i feltarbeidet, etter som alle målingene ble utført med like forutsetninger.

En konsekvens av fortetningen kan være at resultat fra målingene i starten av strekningen (ved lav hastighet) kan avvike fra målinger gjort ved normal hastighet på 60 km/t. En hypotese kan være at sprekkdeteksjonen blir mer presis for målinger i lav hastighet. Det er i midlertid ikke sikkert at økt tetthet av punkt gir store utslag på resultatene, da det kan være tilstrekkelig med tettheten som oppnås ved 60 km/t.

Det er ikke sett nærmere på effekten av punktenes langsgående tetthet i denne oppgaven.

En annen effekt av akselerasjon under skanning er en gradvis langsgående forlengelse av avstanden mellom punktene. Denne effekten var i varierende grad til stede i samtlige måleserier av den 8 meter lange flaten i feltarbeidet.

Effekten av forlengelsen kan ses ved å sammenligne skannede punkt med et foto av vegflaten. Figuren under illustrerer dette for en måleserie utført med målebil P16, med ZF laser.



Figur 81 *Illustrasjon av langsgående forlengelse av skannepunkt ved akselerasjon*

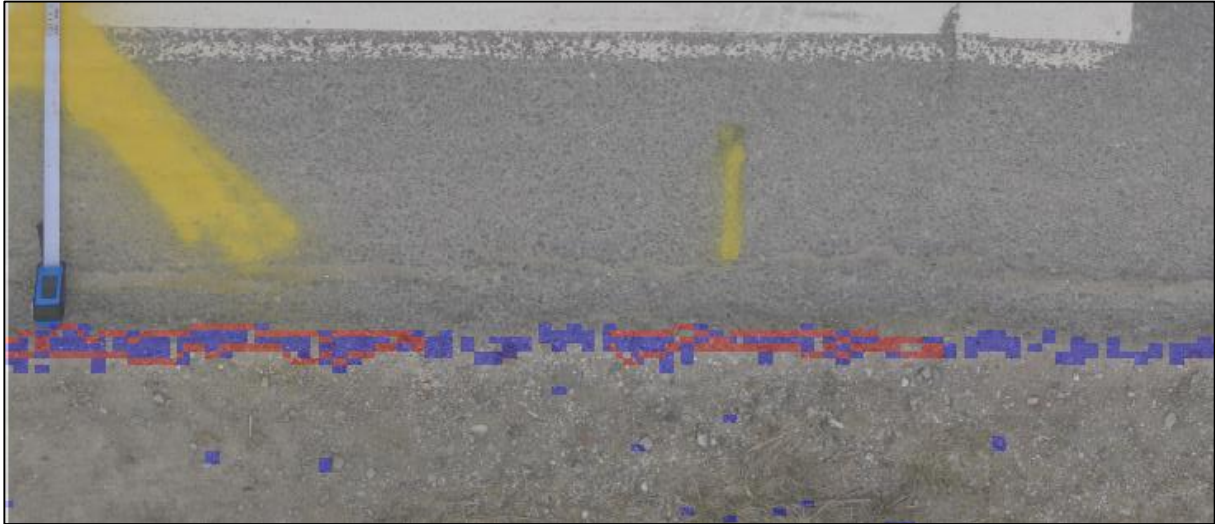
Figuren viser at målingene ved starten av flaten (ved 10 km/t) korresponderer godt med sprekkeene i fotoet. Etter 5 meter (ved 15 km/t) ser en derimot at målingene har et avvik på omtrent 1 meter i forhold til sprekkeene i vegflaten. For hele flatens lengde på 8 meter kan dette avviket komme opp i 2 meter, noe som tilsvarer en forskyvning på 25 %. Økningen i avviket kan se ut til å korrespondere med økningen i hastighet. Det kan derfor antas at (kraftig) akselerasjon kan være en kilde til avvik i målingene.

Konsekvensen av dette avviket er at den langsgående plasseringen av sprekker, og dermed verdien for sprekkearealgrad, forskyves ved akselerasjon. En kan dermed forvente avvik mellom automatisk og manuell beregninger av sprekkearealgrad.

I denne oppgaven er det korrigert for effekten av langsgående avvik i den manuelle analysen av sprekkearealgrad. Dette er gjort ved å bruke flatene fra laserskanningene til å identifisere hvilke sprekker som er målt ved skanning, og deretter markere disse i fotoet av vegbanen uavhengig av forskyvinger. På denne måten kan ulike måleserier sammenlignes uten avvik forårsaket av denne effekten.

Avvik på grunn av støy langs veibane

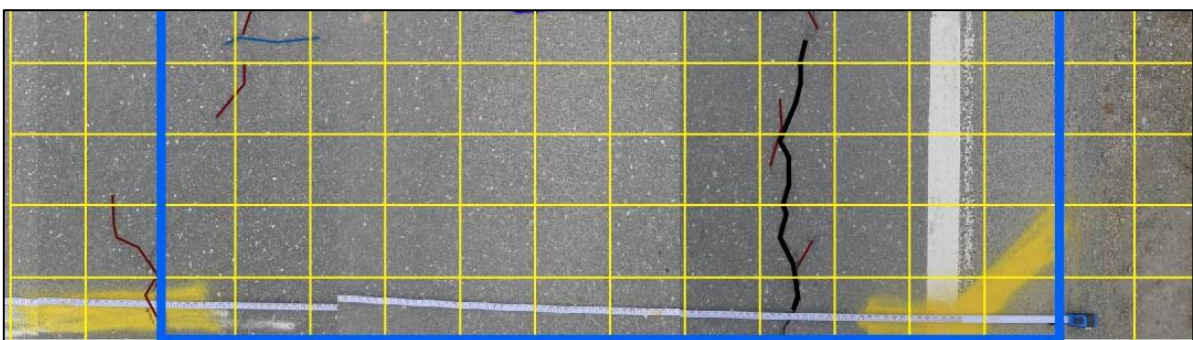
Støy kan betegnes som uønskede registreringer som kan gi feil i måleresultatet. Når en skal identifisere sprekker i vegflaten er det derfor viktig å unngå eller fjerne ujevnheter som ikke er sprekker. Under vises registrerte ujevnheter langs vegkanten (blå punkt) identifisert som sprekker (røde streker).



Figur 82 Avvik på grunn av støy fra asfaltkant og vegskulder

Som bildet viser registreres kantene av asfalten feilaktig som sprekker. Også lenger ut i vegens sideareal kan det registret en ujevnheter på tilsvarende måte. Ved beregning av sprekkarealgrad ønsker en å luke bort disse feilkildene.

En kan forsøke å unngå disse avvikene ved å ekskludere målinger av vegskulderen ved beregninger. I ViaPPS Desktop fjernes derfor et område på 0,5 m fra hver side av skanneflaten, som vist under.



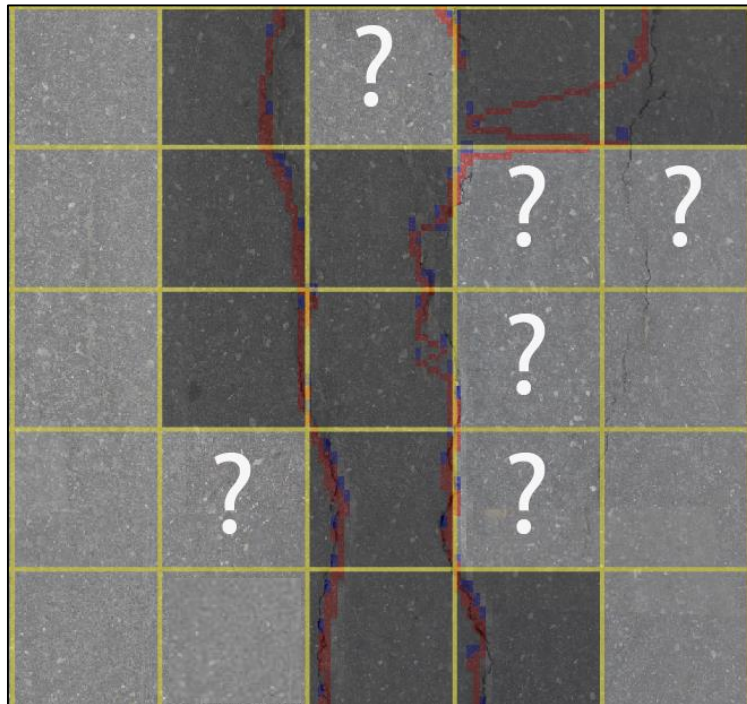
Figur 83 Avgrensning av område til bruk ved beregning av sprekkarealgrad

Figuren viser området som skannes (gule ruter), og området som brukes ved beregning av sprekkarealgrad (blå ramme). I eksempelet over unngår en dermed vegkanten og støy fra denne. Det er i midlertid ikke sikkert dette er tilfelle langs hele strekningen.

Avvik ved beregning av sprekkarealgrad

Ved beregning av sprekkarealgrad brukes ruter med en størrelse på 25*25 cm, som defineres til å enten inneholde sprekker eller ikke.

Etter som sprekkenes utstrekning varierer i x- og y-retning vil disse kunne spenne over flere ruter både vertikalt og horisontalt. Problemer kan oppstå når sprekker er lokalisert langs grensen mellom to ruter, som illustrert i figuren under.



Figur 84 Usikkerhet ved identifisering av ruter med sprekker

Som en ser er det noen ruter som åpenbart inneholder sprekker, og derfor er markert. Samtidig finnes det ruter som bare berøres i svært liten grad. Små variasjoner i rutenettets plassering kan dermed være avgjørende for om en rute markeres eller ikke. Slike tvilstilfeller er illustrert over med hvite spørsmålstegn.

Etter som det opereres med ruter med en bredde på 0,25 meter (av totalt 3 meter skannebredde) vil en markering fra eller til utgjøre 8,3% av den totale verdien for sprekkarealgrad. Dette betyr at en liten endring av rutenettets plassering kan gi relativt store endringer i verdien for sprekkarealgrad.

For de automatisk analysene av sprekkarealgrad kan dette føre til variasjon mellom måleserier av samme strekning, uavhengig av kvaliteten på det tekniske utstyret.

Dette skaper også utfordringer ved den manuelle beregningen av sprekkarealgrad, hvor en må avgjøre om en rute er berørt av en sprekke eller ikke ved visuell bedømmelse.

Avvik på grunn av unøyaktigheter ved manuell klassifisering

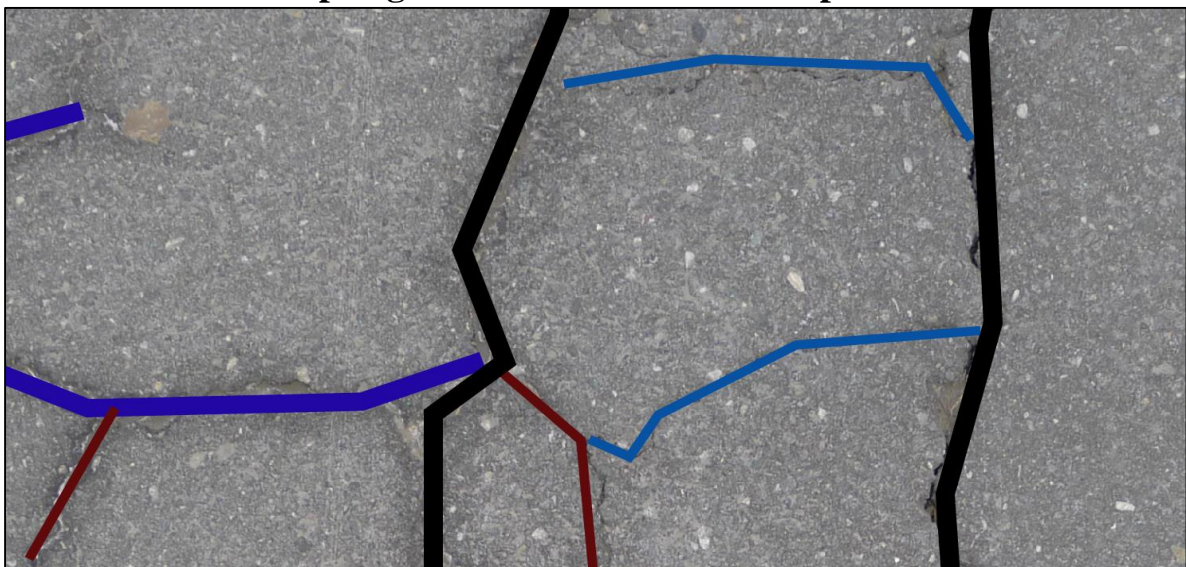
I den manuelle analysen av sprekkarealgrad er det forsøkt å skille mellom dype og grunne sprekker for å kunne si noe mer om nøyaktigheten til målesystemene. Dype sprekker defineres i denne oppgaven som dype og/eller brede. Grunne sprekker defineres som grunne og/eller smale.

Figuren under viser et eksempel på en visuell inndeling av grunne og dype, langs- og tversgående sprekker.

Foto av vegflaten



Foto påtegnet manuelt identifiserte sprekker



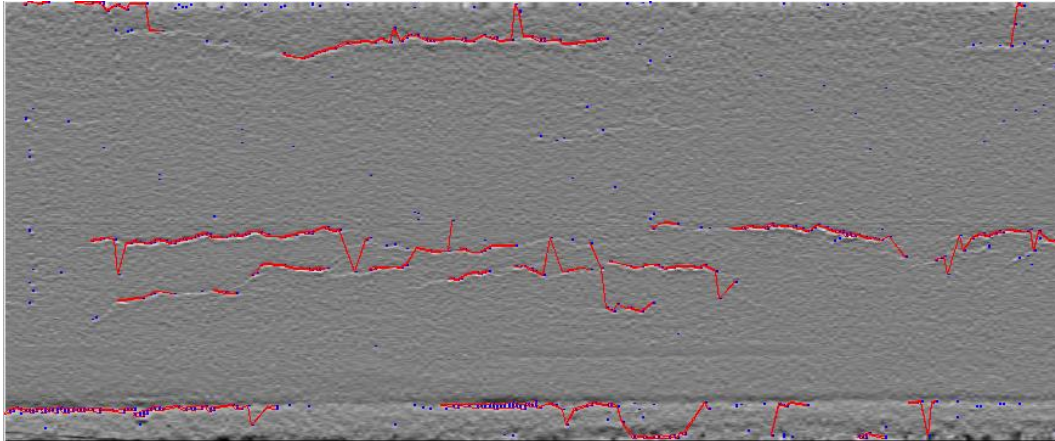
Figur 85 Usikkerhet ved manuell klassifisering av sprekker

Inndelingen er gjort manuelt ut fra visuelle bedømmelser, og kan derfor innebære avvik. Dette er særlig gjeldende der sprekkene ligger i grenseland mellom å være dype og grunne.

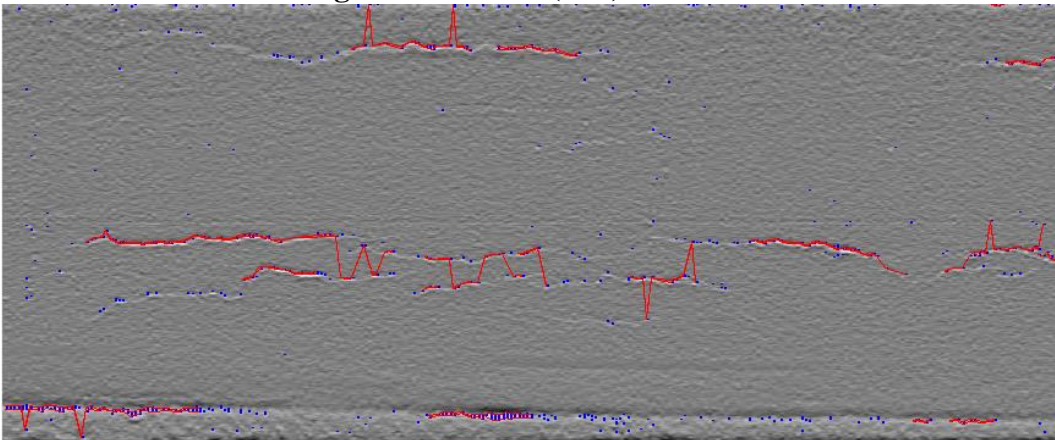
Avvik på grunn av variabilitet ved automatisk identifisering

Datagrunnlaget fra feltarbeidet består av 3 måleserier for hver bil, hvor resultatet fra sprekkdeteksjonen varierer noe mellom disse. For å holde arbeidsmengden innenfor oppgavens rammer ble det ved beregning av manuell sprekkarealgrad valgt å analysere en (representativ) måleserie for hver bil, noe som kan være en kilde til avvik. Bildene under viser et eksempel på variasjon i sprekkdeteksjon for måleserier utført av bil P15 med ZF-laser.

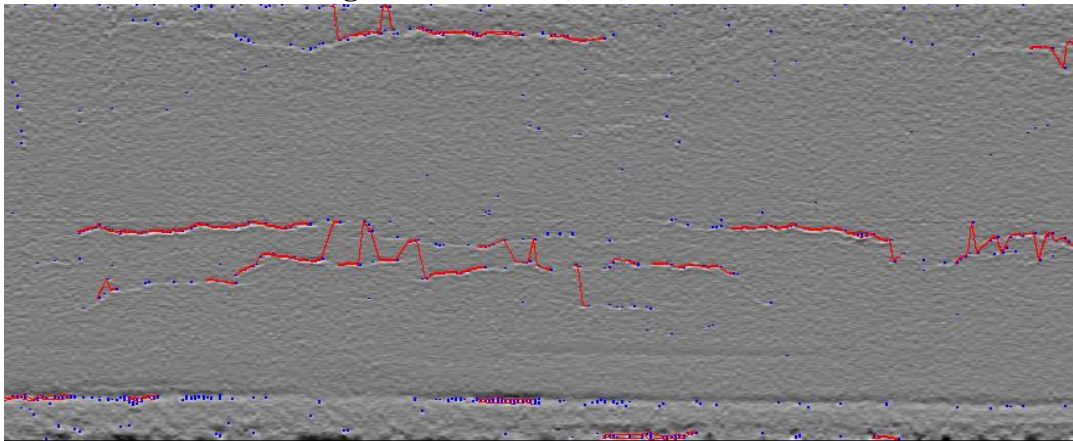
Måling med ZF-laser (P15) – Måleserie 1



Måling med ZF-laser (P15) – Måleserie 2



Måling med ZF-laser (P15) – Måleserie 3

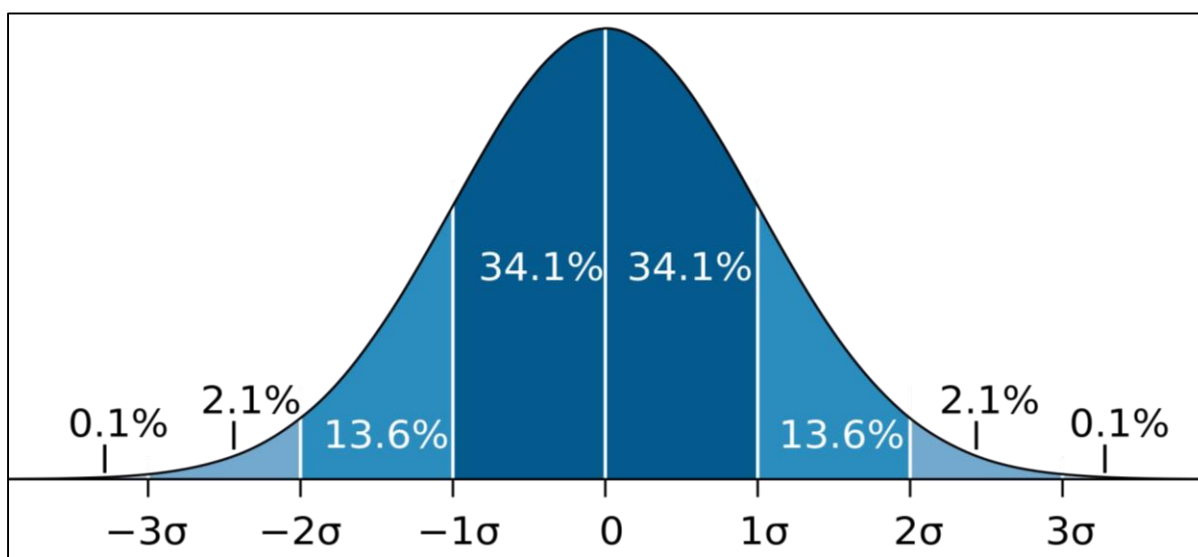


Figur 86 Avvik ved automatisk sprekkdeteksjon for ulike måleserier

Avvik på grunn av manglende datagrunnlag

Analysene utført i feltarbeidet er basert på 3 måleserier for hver av de 6 bilene. Halvparten av bilene hadde ZF-system og den andre halvparten Cargoscan-system, slik at det finnes 9 måleserier for hvert system.

For å sammenligne variasjon mellom måleserier kan en benytte standardavvik. Ved å anta at målinger er normalfordelte vil en kunne si noe om usikkerheten i gjennomsnittsverdien ved å benytte en sannsynlighetskurve. En kurve for en normalfordelt populasjon vises under.



Figur 87 Kurve for normalfordeling med standardavvik (Hentet fra: mathwarehouse.com)

Et intervall som spenner et standardavvik i begge retninger fra middelverdien vil teoretisk sett inneholde 68,2 % av alle observasjoner. Spredningen på dette intervallet sier noe om usikkerheten i målingene.

I denne oppgaven er det antatt at variasjonene i målingene varierer tilfeldig, noe som kan avvike fra virkeligheten. Det kan for eksempel tenkes at måleutstyret på de forskjellige bilene har tekniske feil som gir unike systematiske avvik for målinger fra hver bil.

Videre er det slik at en bør ha en viss utvalgsstørrelse for standardavviket kan sies å ha god nøyaktighet, gjerne 20-30 målinger av samme parameter. Dette er ikke tilfellet for datagrunnlaget i denne oppgaven.

Konsekvensen av manglende datagrunnlag er økt usikkerhet i analysene, noe som en bør ha i bakhode ved tolkning av resultatene.

12.2 Teknologi for identifisering av sprekker

Her følger en diskusjon av teknologien som brukes til identifisering av sprekker. Det tas utgangspunkt i målinger gjort under feltarbeidet utført med målesystem fra ViaPPS. Det ses på kapasitet og variabilitet ved målinger av sprekkarealgrad over en strekning på 200 meter, samt nøyaktigheten ved identifisering av sprekker for en flate på 8 meter.

Under gis en kort definisjon av disse 3 begrepene.

- *Variabilitet* brukes her som et uttrykk for variasjoner i verdien for sprekkarealgrad ved ulike målinger. I teorien skal hver måleserie være lik, etter som sprekken som måles i vegflaten vil være like for hver måleserie. Når en likevel finner variabilitet i målingene vil dette skyldes forskjellige systematiske og tilfeldige avvik.
- *Kapasitet* uttrykker i denne oppgaven målesystemets evne til å identifisere sprekker. Desto flere sprekker som identifiseres, desto større kapasitet
- *Nøyaktighet* er en forutsetning for god kapasitet. I denne oppgaven uttrykker nøyaktighet målesystemets evne til å identifisere ulike typer sprekker, noe som i stor grad avhenger av oppløsningen på datagrunnlaget.

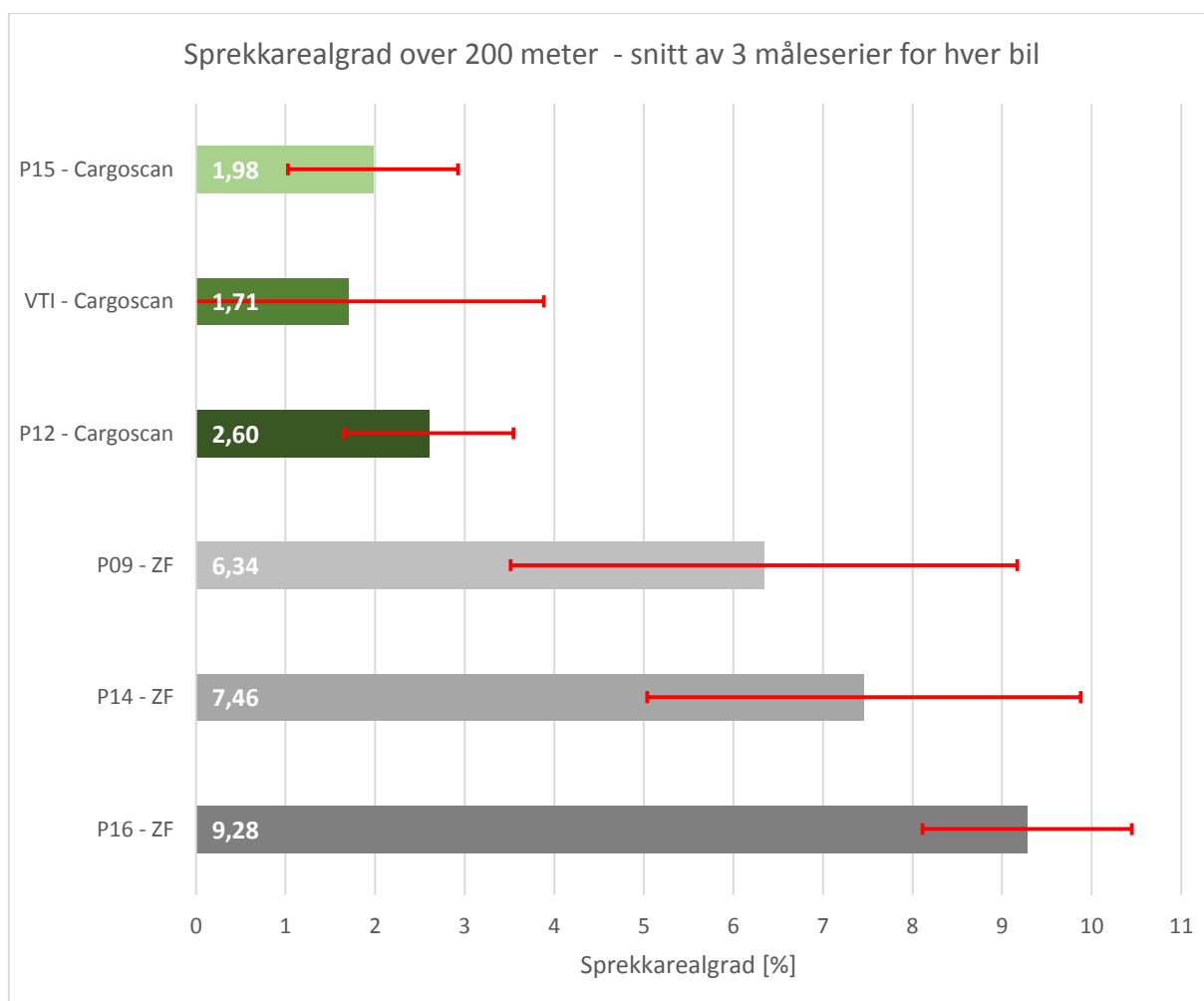
Variabilitet og kapasitet på målinger

En indikasjon på lasersystemenes variabilitet og kapasitet finnes ved å analysere resultatene fra de enkelte måleseriene av strekningen på 200 meter, hvor 6 ulike målebiler har gjort 3 målinger hver, halvparten med ZF og den andre halvparten med Cargoscan.

Dette gir mulighet for å analysere måleserier fra samme bil, målinger fra ulike biler, samt målinger med ulike lasersystem.

Måling av strekning på 200 meter med ulike biler

Ved å sammenligne måleserier for hver av de 6 bilene kan en si noe om variabilitet for hver bil. Figuren under viser gjennomsnittlig sprekkarealgrad med 1 standardavvik beregnet fra 3 måleserier fra hver bil. Avviket antas her å være likt i positiv og negativ retning.



Figur 88 Gjennomsnittsverdi og standardavvik for sprekkarealgrad for alle 6 biler

Figuren over viser en rekke interessante ting. Et tydelig funn er den store forskjellen i gjennomsnittlig verdi for sprekkarealgrad mellom ZF og Cargoscan, noe som sannsynligvis skyldes tekniske faktorer.

Videre ser en at usikkerheten i samtlige målinger er relativt stor, og kan se ut til å øke ved lavere gjennomsnittsverdi. De røde strekene representerer 1 standardavvik, noe som betyr at sannsynlighet for en verdi innenfor disse intervallene er omtrent 68 %, gitt at avvikene er normalfordelt. De absolutte avvikene mellom målebilene er størst for bilene med ZF-laser. Samtidig er den beregnede verdien for sprekkarealgrad betraktelig større for ZF enn Cargoscan. Størrelsen på avvikene kan delvis være et resultat av at det kun er brukt 3 målinger for hver bil. For å diskutere resultatene mer inngående kan det være nyttig å se nærmere på hvilke avvik en kan ha.

Når det gjelder identifisering av sprekker kan en skille mellom positive avvik (overestimering) og negative avvik (underestimering). Kilder til overestimering kan være feilaktige identifiseringer forårsaket av støy. Denne effekten er diskutert i avsnitt *12.1 Usikkerheter og feilkilder i feltarbeidet*. Blant annet kan målinger ved asfaltkanten og vegskulderen gi feilidentifiseringer. Dette er forsøkt kompensert for ved å utelate 0,5 meter på hver side av skanneprofilene ved beregning av sprekkarealgrad. Med mindre bilen har vinglet mye under skanning vil derfor støy fra vegkanten sannsynligvis ha liten effekt på resultatene. Dette kan med andre ord tale for at overestimering ikke er den største kilden til avvik.

Underestimering vil i teorien være alle negative avvik som gir en lavere sprekkarealgrad en den reelle verdien. I praksis vil ikke dagens system kunne identifisere alle sprekker i vegflaten på grunn av tekniske begrensninger, slik at størrelsen på underestimeringen vil bestemmes av de relative negative avvikene fra den sprekkarealgraden en kunne fått ved optimale forhold.

En viktig kilde til underestimering kan være manglende nøyaktighet på datagrunnlaget som er utgangspunktet for algoritmen som brukes til identifisering av sprekker. Kvaliteten på data kan påvirkes av både måleutstyret selv, og ytre faktorer i omgivelsene.

For det tekniske måleutstyret kan en oppleve støy i form av mekaniske, optiske og elektroniske forstyrrelser. Vegflatens tekstur og refleksjonsgrad kan for eksempel skape problemer for den optiske registreringen. Forstyrrelser mellom elektroniske instrument kan på samme måte skape elektronisk støy. Omgivelsene kan også gi problemer, herunder bilens bevegelsesmønster, akselerasjon og hastighet.

Avvikene som skyldes forhold som er konstante mellom måleserier kalles *systematiske avvik*. Dette kan eksempelvis forekomme ved feilkalibrering av måleutstyret. Avvik som skyldes faktorer som varierer for hver måleserie kalles *tilfeldige avvik*. Dette kan eksempelvis være avvik som avhenger av målebilens hastighet og bevegelsesmønster. Det totale avviket vil dermed være en kombinasjon av systematiske og tilfeldige avvik. Feltforsøket i denne oppgaven er i midlertid ikke detaljert nok til å kunne si noe om fordelingen av disse avvikstypene.

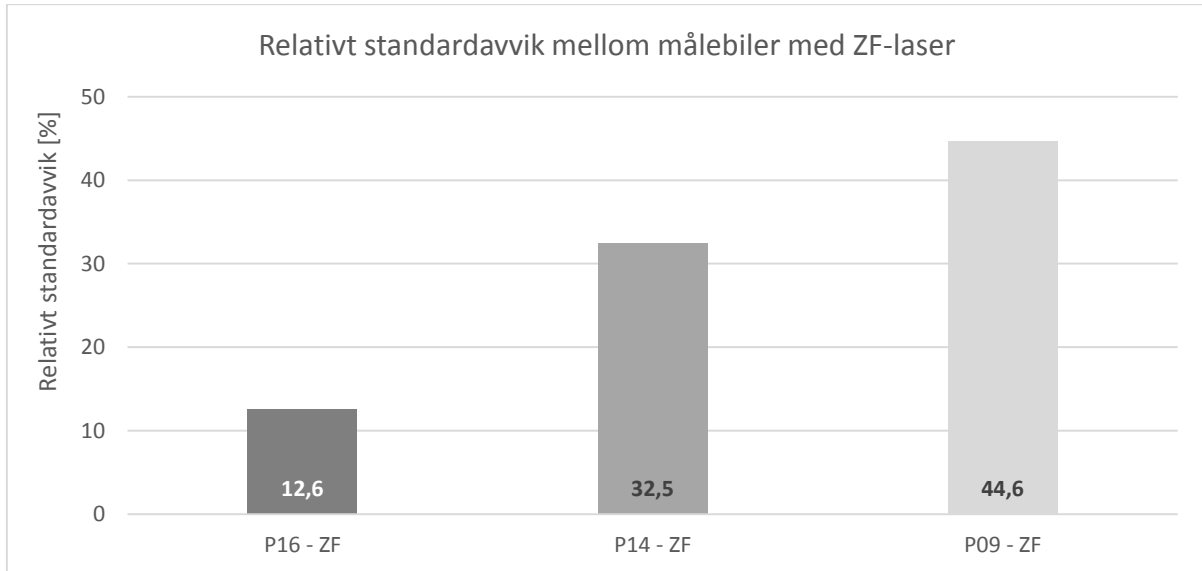
En annen usikkerhetsfaktor som kan ha innvirkning på resultatene er etterbehandlingen av data, særlig metoden for beregning av sprekkarealgrad. Etter som rutene som brukes er 25*25 cm kan en liten sideveis forskyvning av skanneflaten gi store utslag på verdien for sprekkarealgrad. For eksempel kan to sprekker som er innenfor samme rute i et tilfelle kunne fordele seg i to ruter ved en liten sideveis forskyvning, noe som vil doble verdien for sprekkarealgrad. Denne feilkilden vil inntreffe tilfeldig over vegstrekningen, og dermed gi avvik som slår ut ulikt for hver måleserie. Flere måleserier over samme strekning vil kunne jevne ut dette avviket.

Med bakgrunn i det overstående kan en prøve si noe mer om resultatene fra feltforsøket.

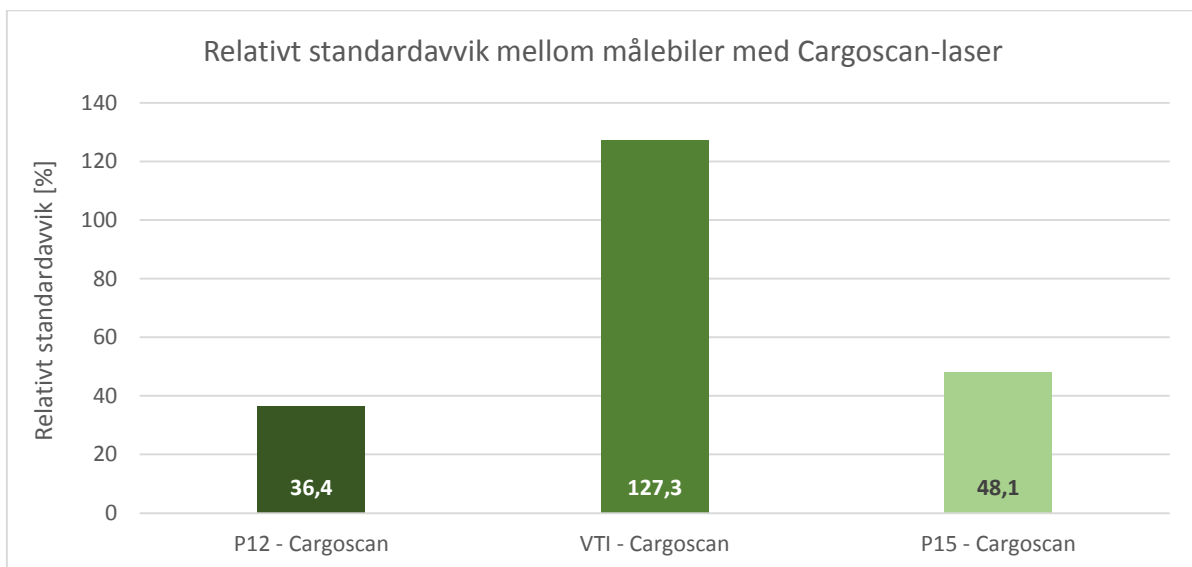
En trend som er særlig tydelig for målinger med ZF er en reduksjon i avvik ved høyere gjennomsnittsverdi. En mulig forklaring på dette kan ligge i nøyaktigheten på måleutstyret. Om en antar at de fleste avvikene skyldes underestimering vil det være naturlig at avvikene reduseres desto høyere gjennomsnittsverdien er. Dette skyldes at den beregnede verdien ligger nærmere teoretisk maksimal verdi, noe som indikerer at samtlige måleserier har god nøyaktighet. Av samme grunn vil en kunne forvente større avvik i målinger med lav gjennomsnittsverdi, etter som en da vil ha målinger med lavere nøyaktighet og større variasjoner.

Den relative variabiliteten for hver måling kan illustreres ved beregning av *relativt standardavvik* ($RS = \text{standardavvik} / \text{gjennomsnittsverdi}$).

Relativt standardavvik vises i figurene under for biler med ZF og Cargoscan.



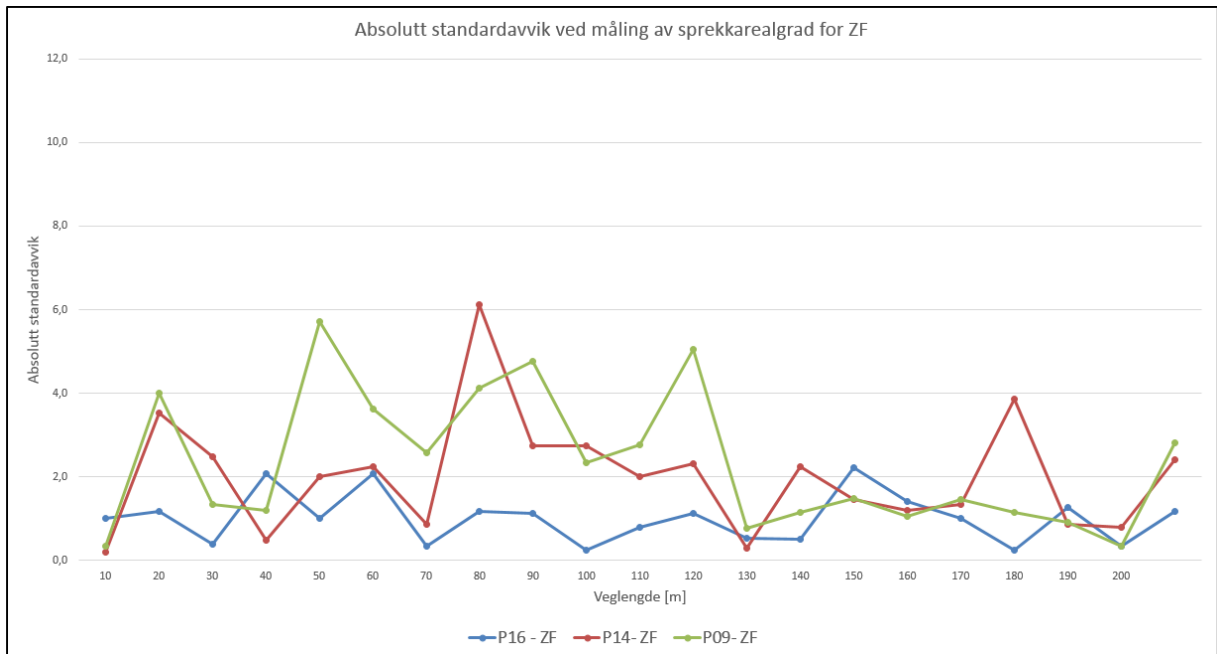
Figur 89 Relativt standardavvik for biler med ZF



Figur 90 Relativt standardavvik for biler med Cargoscan

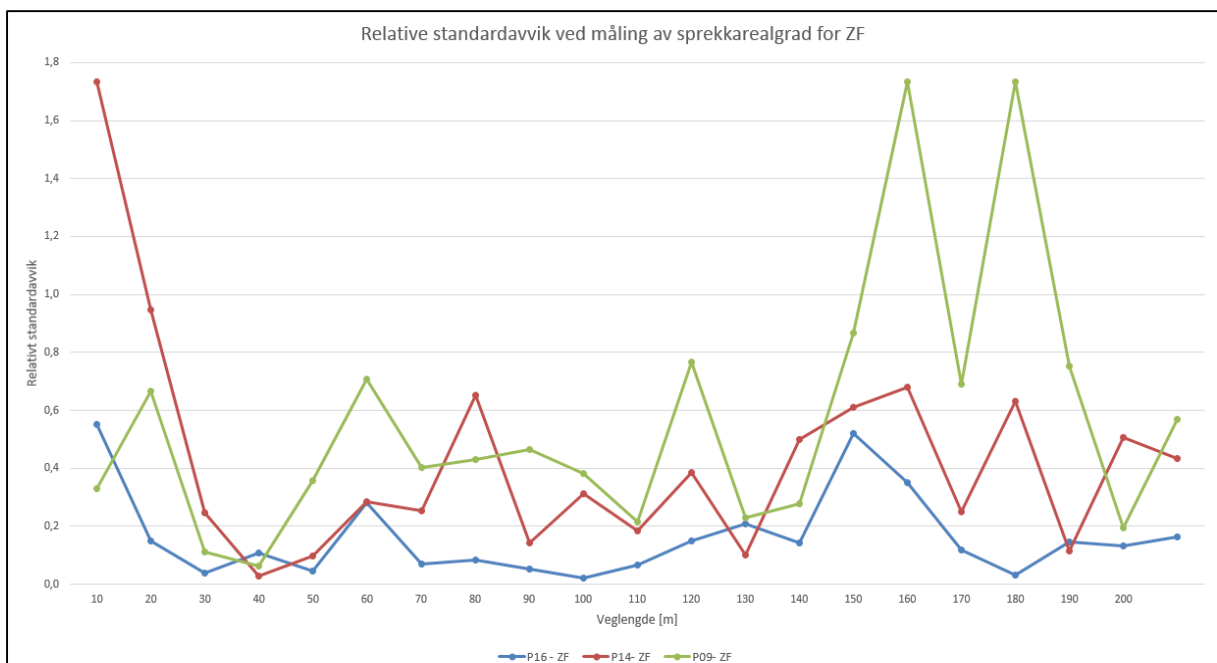
For biler med ZF kan det se ut som målingene med P16 har størst nøyaktighet, og P09 lavest. For biler med Cargoscan er P12 og P15 relativt jevne, mens VTI skiller seg ut med et svært høyt avvik som overgår den gjennomsnittlige verdien. Det er rimelig å anta at en eller flere av måleseriene for VTI inneholder avvik som er skyldes unormale omstendigheter.

For å se litt nærmere på variasjonen av de absolutte og relative avvikene over den 200 meter lange strekningen er disse plottet i grafene under for målinger gjort med ZF-laser.



Figur 91 Plott av absolutt standardavvik for biler med ZF

De absolutte standardavvikene for ZF-laser viser en relativt jevn spredning langs strekningen for P16, mens P14 og P09 har enkelte topper med noe større avvik.



Figur 92 Plott av relativt standardavvik for biler med ZF

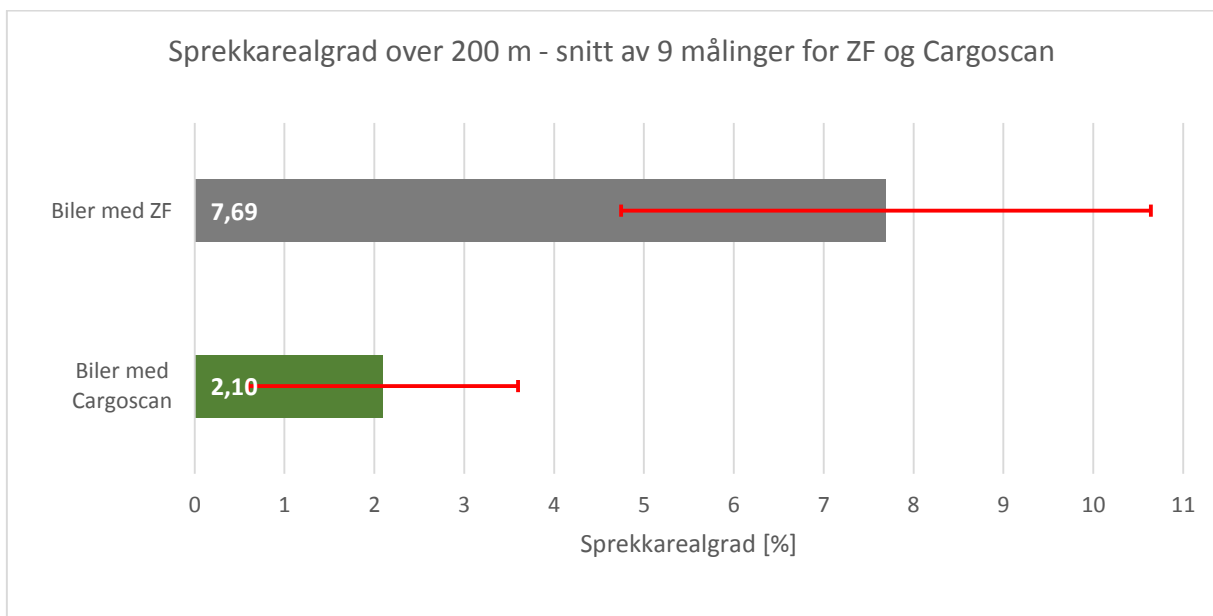
Ser en på de relative avvikene for ZF er forskjellene mellom de ulike målebilene omtrent lik som for de absolutte avvikene, sett bort fra enkelte svært høye verdier for P14 og P09.

Det kan også påpekes at målinger med P16 skiller seg positivt ut med både størst verdi for sprekkarealgrad og samtidig minst avvik. Dette kan tyde på at ZF-laseren innehar et større potensiale enn resultatene fra P14 og P09 tilsier, noe som kan skyldes manglende kalibrering av det nye systemet.

Måling av strekningen på 200 meter med ulike lasersystem

Ved å aggregere data fra de 6 målebilene kan en sammenligne kapasitet og variasjon mellom målesystemene med ZF og Cargoscan.

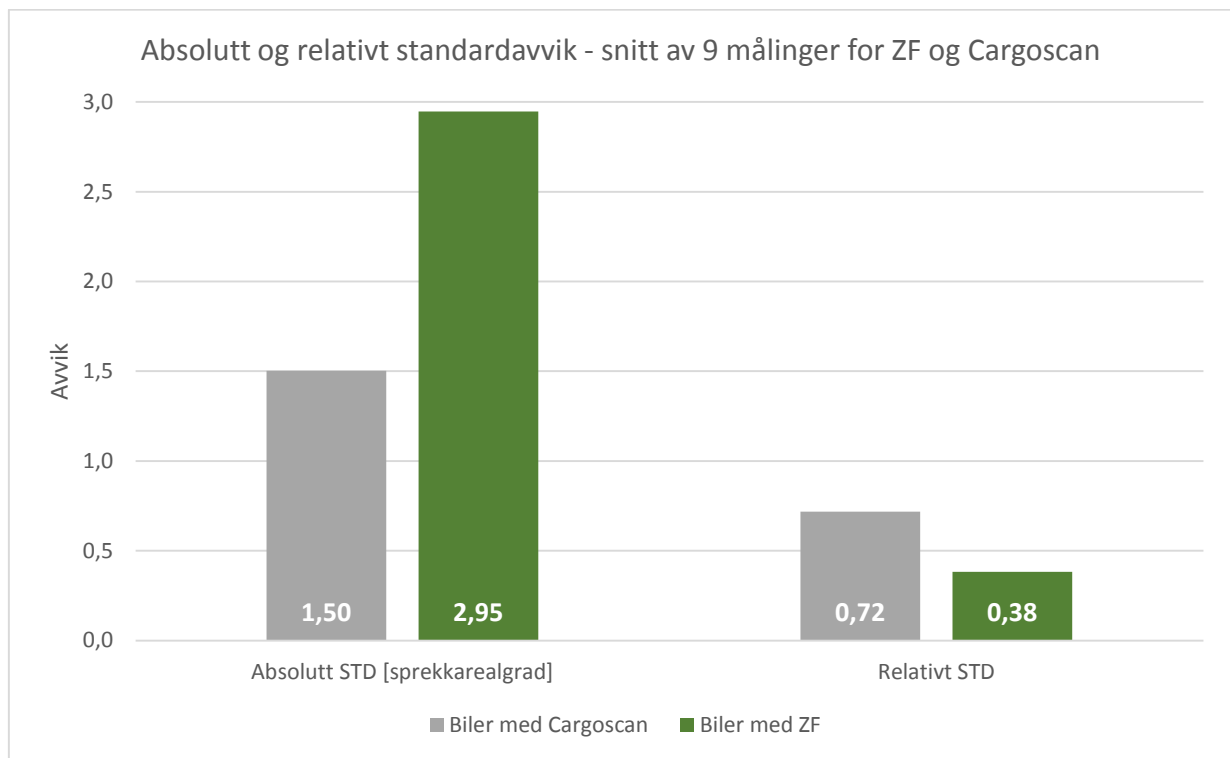
Figuren under viser gjennomsnitt og standardavvik av verdiene for sprekkarealgrad, basert på alle måleseriene fra forrige avsnitt. Dette tilsvarer 9 måleserier for hvert lasersystem.



Figur 93 Sammenligning av gjennomsnittlig sprekkarealgrad for ZF og Cargoscan

Grafen viser at ZF i gjennomsnitt identifiserer litt under 4 ganger flere sprekker enn Cargoscan over strekningen på 200 meter. Dette kan tyde på at det nye lasersystemet har langt større kapasitet enn det gamle, noe som sannsynligvis skyldes bedre teknologi.

Videre er absolutt og relativt avvik for de to systemene sammenlignet i figuren under.



Figur 94 Absolutt og relativt standardavvik for biler med ZF og Cargoscan

En ser at ZF i snitt har et dobbelt så stort absolutt avvik som Cargoscan, mens det motsatte er tilfellet for det relative avviket. En mulig forklaring kan være at ZF også klarer å registrere sprekker som har et lite «avtrykk», og dermed er vanskeligere å identifisere. Etter som disse sprekkeene er vanskeligere å identifisere er det også naturlig med større variasjon i måleserier med ZF. Det kan med andre ord være at Cargoscan kun registrerer de «enkle» sprekkeene, mens ZF registrerer både de «enkle» og de «vanskelige» sprekkeene.

Etter som ZF registrerer flere sprekker enn Cargoscan kan en sammenligning av relative avvik være mer korrekt, etter som en da kompenserer for økt kapasitet og nøyaktighet hos ZF.

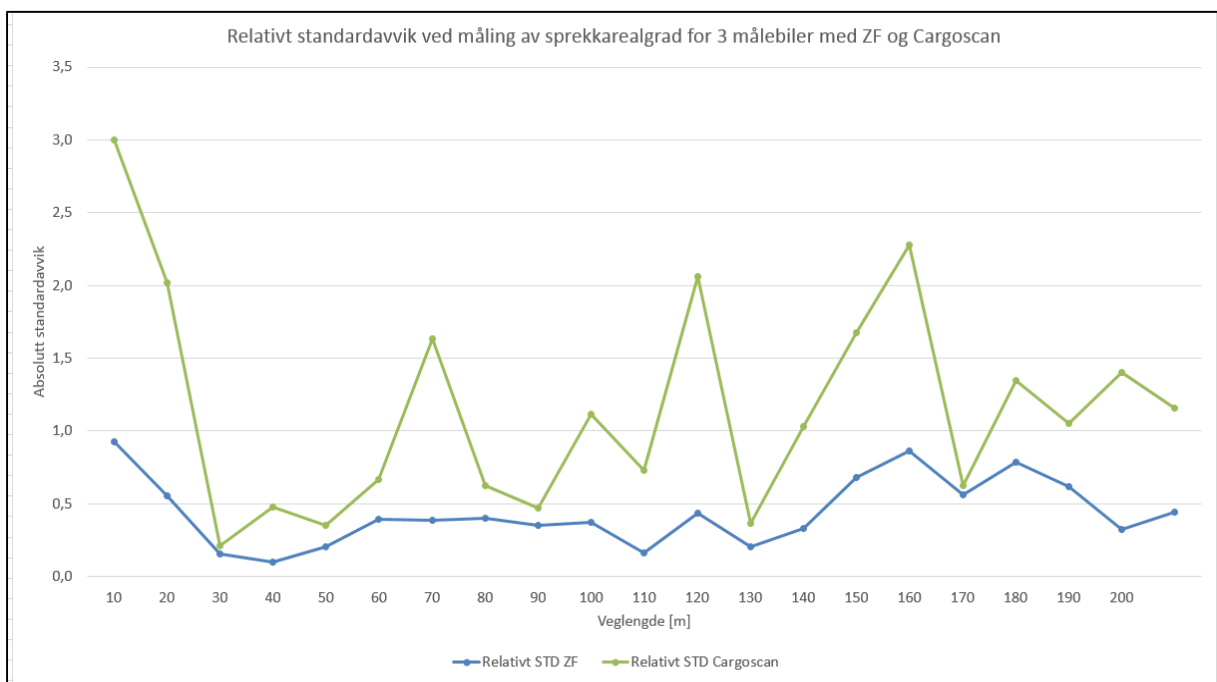
Som grafen over viser er det gjennomsnittlige relative avviket for ZF omtrent halvparten av hva det er for Cargoscan.

En må også huske på at avviket for bilen fra VTI var omtrent 3 ganger så høyt som for de to andre bilene med Cargoscan, slik at en skal være forsiktig med å bruke disse resultatet til å trekke sikre konklusjoner.

For å få et bedre bilde av hvordan avvikene fordeler seg er gjennomsnittlige avvik for systemer med Cargoscan og ZF plottet for under, basert på totalt 18 måleserier.



Figur 95 Absolutt avvik for gjennomsnittlig sprekkarealgrad for ZF og Cargoscan



Figur 96 Relativt avvik for gjennomsnittlig sprekkarealgrad for ZF og Cargoscan

De absolutte avvikene er jevnt over noe høyere for ZF enn for Cargoscan. Kompenserer en for andel identifiserte sprekker ser en i midlertid at ZF har lavere relative avvik enn Cargoscan. Mindre variasjon i avvikene for ZF indikerer dessuten at målingene holder jevnere kvalitet, noe som støtter hypotesen om at målinger med ZF er mer nøyaktige enn hos Cargoscan.

Oppsummert viser analysene av målingene for den 200 meter lange strekningen en rekke interessante ting.

For det første ser det ut til at ZF har betydelig større kapasitet for identifisering av sprekker enn Cargoscan. Det er sannsynlig at økningen i antall identifiserte sprekker for ZF i forhold til Cargoscan betyr at ZF også registrerer «vanskelige» sprekker, som Cargoscan ikke klarer. Målingene fra ZF har også mindre relative avvik jevnt over strekningen, noe som indikerer større nøyaktighet.

Selv om ZF representerer en rekke forbedringer er det fortsatt et stykke igjen før systemet klarer å identifisere alle sprekker i vegflaten. Analysene fra feltforsøket viser også stor variabilitet mellom måleserier. Dette gjelder både for samme bil, mellom biler og mellom lasersystem. Årsaken til avvikene er sannsynligvis sammensatte, og skyldes både systematiske og tilfeldige faktorer.

Det er også sannsynlig at kalibrering og tilpasninger på det nye ZF-systemet kan bidra til redusere størrelsen på avvikene. En indikasjon på dette finnes ved å sammenligne måleserier fra bil P16 med de to andre bilene med system fra ZF (P14 og P09), hvor P16 hadde betraktelig større gjennomsnittsverdi og samtidig lavest avvik.

Nøyaktighet på målinger

I den andre delen av feltarbeidet ble det sett nærmere på nøyaktigheten for sprekkdeteksjon for ZF og Cargoscan ved å sammenligne skannede flater med en referanseflate. Flaten som ble analysert i dette forsøket er på 4*8 meter, og inneholder både langsgående og tversgående sprekker. Sprekkene er videre kategorisert som enten dype eller grunne.

I analysen er det benyttet en inndeling i kategorier med fargekoder som vist under.

Alle sprekker	Langsgående totalt	Langsgående dype
		Langsgående grunne
	Tversgående totalt	Tversgående dype
		Tversgående grunne

Figur 97 Fargekoding av ulike kategorier for sprekker

Datagrunnlaget for denne analysen består av 2 representative måleserier for hvert målesystem, fra bil P14 og P16 for ZF og bil P12 og P15 for Cargoscan.

Årsaken til at det ble valgt ut 1 målserie (av 3 mulig) for hver bil er at arbeidsmengden ellers ville blitt svært stor. Samtidig er det antatt at ulikheter mellom måleseriene ikke er så store at dette vil kunne påvirke utfallet av forsøkene. Analysene i dette avsnittet bør likevel betraktes som indikasjoner, rettere enn resultater av nøyaktige beregninger.

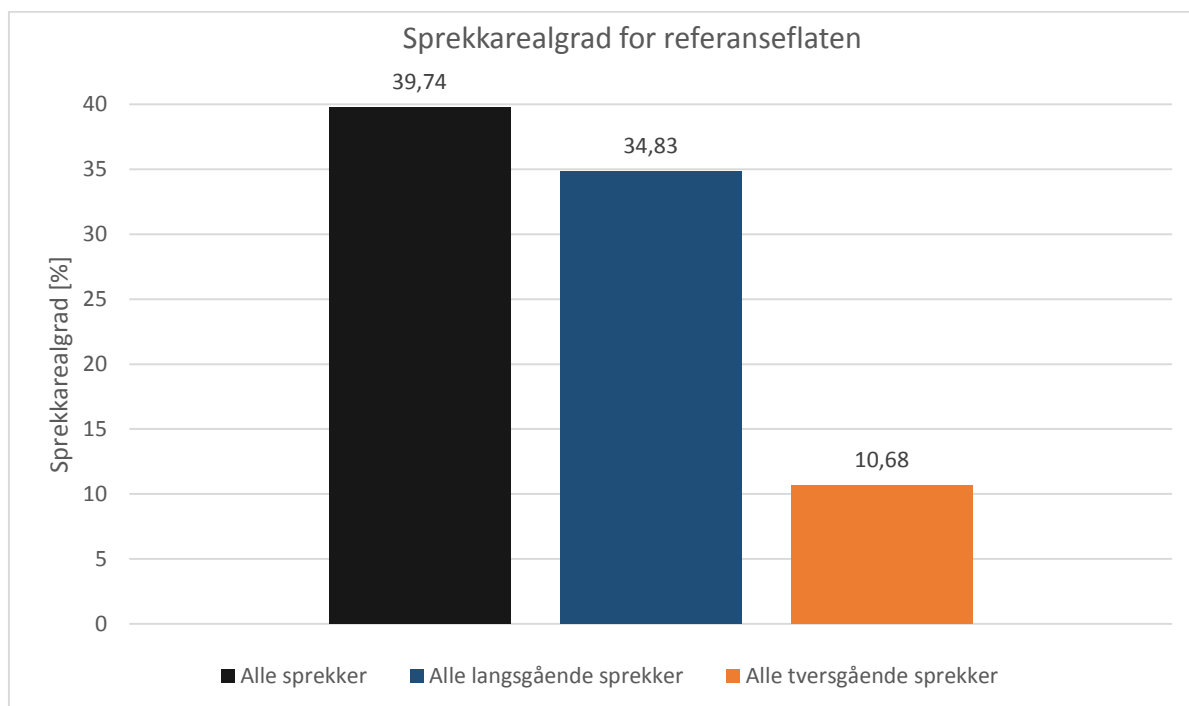
Det antas videre at referanseflaten inkluderer alle sprekker, og dermed angir den reelle sprekkarealgraden.

I det følgende sammenlignes og diskuteres den beregnede sprekkarealgraden for de 4 skannede flatene.

Nøyaktighet ved identifisering av alle sprekker

Når en sammenligner referanseflaten med de skannede flatene er det store forskjeller mellom andel identifiserte tversgående og langsgående sprekker. Tversgående sprekker er i svært liten eller ingen grad identifisert. Kun i en enkelt måleserie (P16) ble det identifisert en langsgående sprekk.

En indikasjon andelen sprekker som ikke oppdages på grunn av manglende tversgående identifisering vises i figuren under, hvor det totale sprekkearealet for referanseflaten er beregnet.



Figur 98 Sprekkarealgrad for referanseflaten

En ser av diagrammet at alle tversgående sprekker i utgjør omtrent 25 % av det totale antallet sprekker i flaten. Eksempelet viser dermed at manglende identifisering av tversgående sprekker kan gi betydelige avvik mellom reel og estimert sprekkearealgrad.

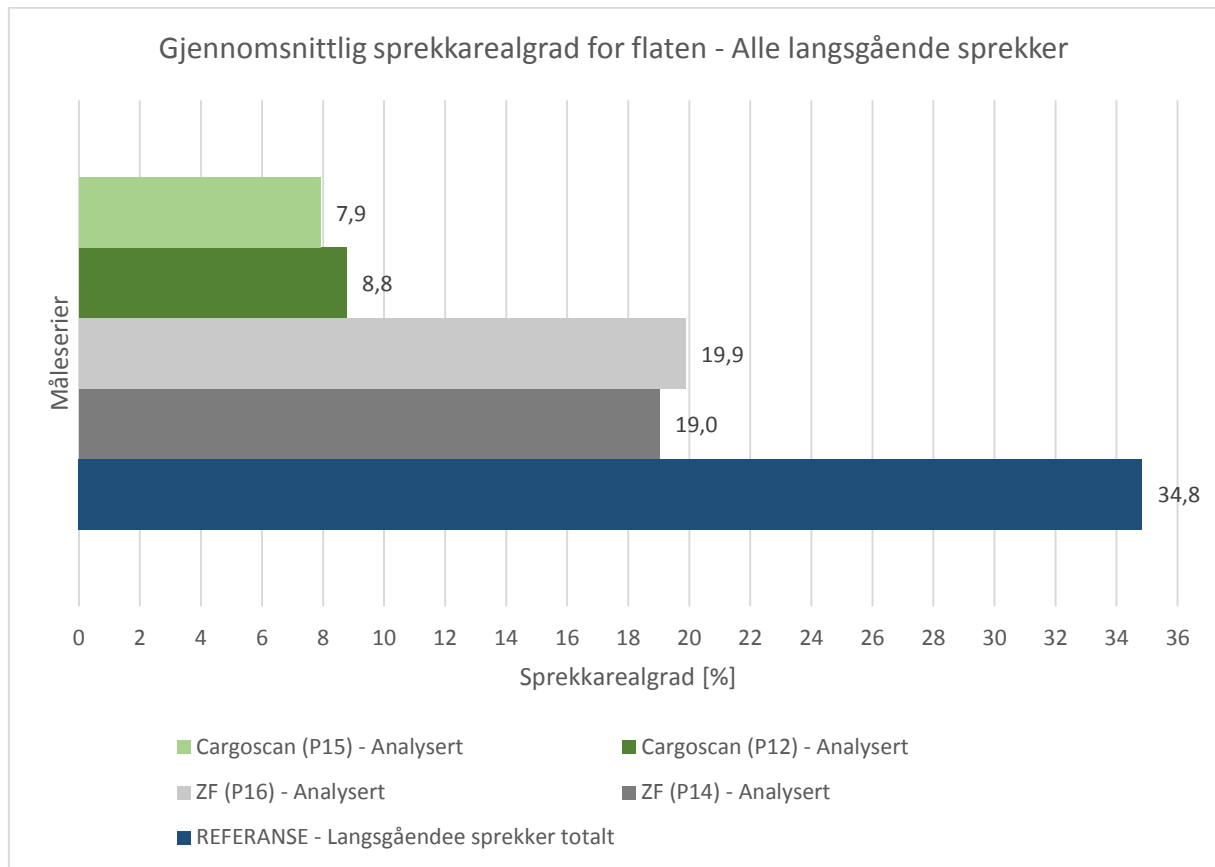
Merk at verdien for total sprekkearealgrad ikke er nøyaktig den samme som summen av langs- og tversgående sprekkearealgrad, etter som enkelte ruter i noen tilfeller inneholder begge sprekktypene.

Det er sannsynlig at lavere kjørehastighet vil kunne gi et mer nøyaktig datagrunnlag bedre egnet for identifisering av tversgående sprekker, etter som den langsgående oppløsningen vil bli høyere.

I den videre analysen er det utelukkende fokusert på langsgående sprekker etter som det er denne typen sprekker lasersystemene har registrert.

Nøyaktighet ved identifisering av langsgående sprekker

Figuren under viser gjennomsnittlig sprekkarealgrad for alle langsgående sprekker for de 4 måleseriene.



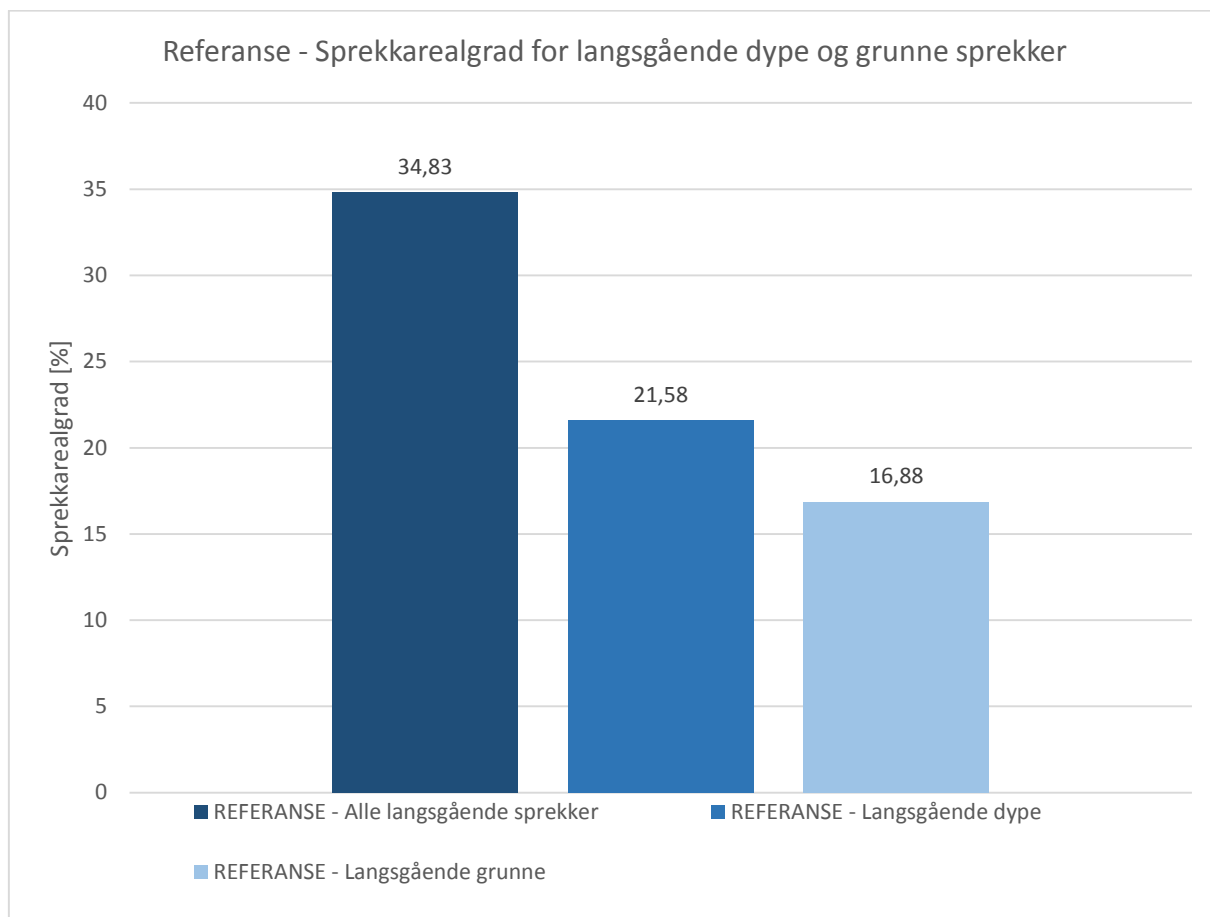
Figur 99 Gjennomsnittlig sprekkarealgrad for alle langsgående sprekker for ulike målinger

En ser her at bilene med ZF identifiserer i overkant av 50 % av alle langsgående sprekker, mens bilene med Cargoscan identifiserer omtrent 25 %.

Det kan dermed se ut som ZF registrerer litt over dobbelt så mye sprekker som Cargoscan. Dette er samme tendens som en finner ved skanning av strekningen på 200 meter, hvor ZF gir opp til 4 ganger så høy sprekkarealgrad som Cargoscan.

Langsgående sprekker er videre klassifisert som enten grunne eller dype. Ved å se på andelen identifiserte sprekker for disse to klassene kan en si noe om nøyaktigheten til skannerne.

Figuren under viser sprekkarealgrad for langsgående dype og grunne sprekker for referanseflaten.

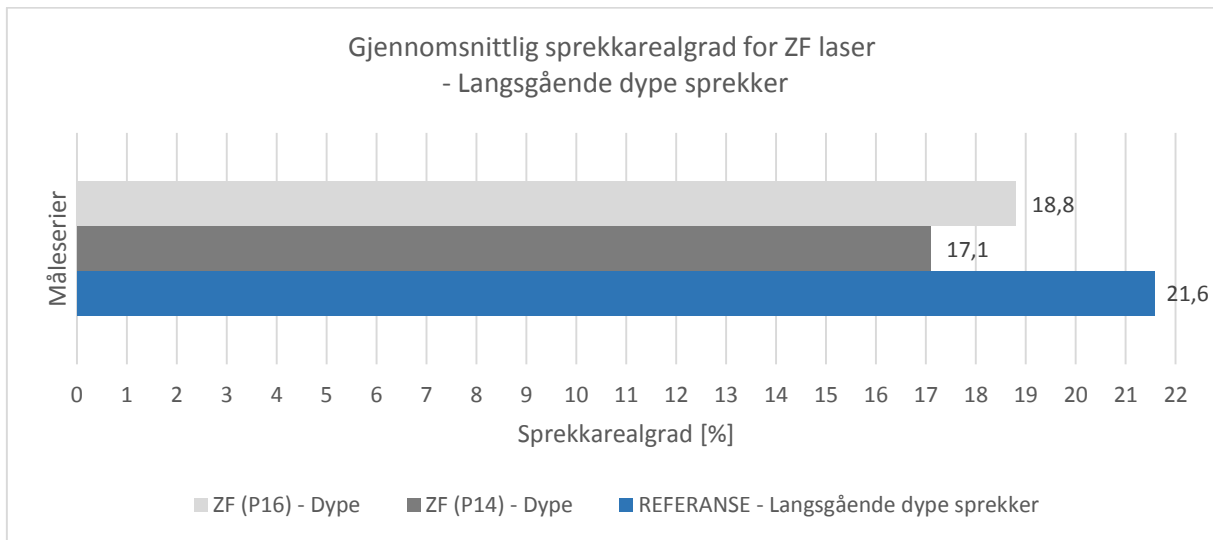


Figur 100 Referanse for alle langsgående dype og grunne sprekker

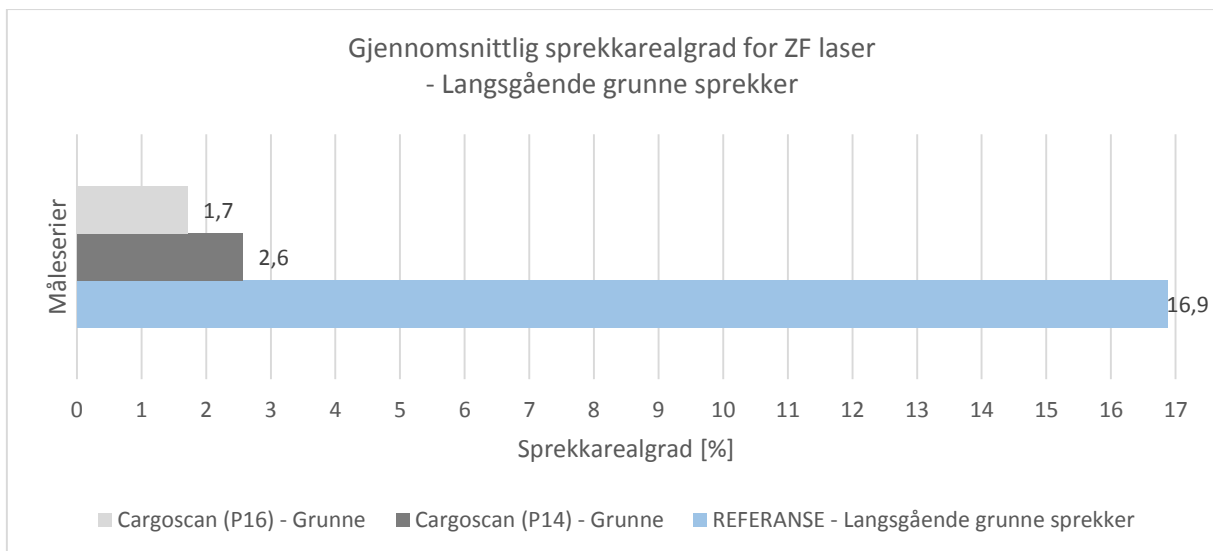
Referanseflaten ble funnet til å bestå av 56 % langsgående sprekker, og 44 % tversgående sprekker. Dette anses å være den reelle andelen sprekker i flaten.

For målinger med Cargoscan ble det ikke identifisert langsgående grunne sprekker i det hele tatt, mens det for de 2 måleseriene med ZF er det identifisert en mindre andel.

For å se litt nærmere på nøyaktigheten av identifiserte langsgående dype og grunne sprekker for ZF er måleresultatene plottet sammen med referanseverdiene i figurene under.



Figur 101 Gjennomsnittlig sprekkarealgrad for langsgående dype sprekker for ZF



Figur 102 Gjennomsnittlig sprekkarealgrad for langsgående grunne sprekker for ZF

Figurene viser at bilene med ZF klarer å identifisere omtrent 80 % av alle langsgående dype sprekker, og 10 % av alle langsgående grunne sprekker. Tilsvarende for Cargoscan er omtrent 50 % av alle langsgående dype sprekker, og ingen grunne.

Etter som omtrent halvparten av referanseflatens langsgående sprekker er grunne, vil utelatelse av disse føre til et stort avvik mellom antall identifiserte sprekker og det reelle antallet sprekker.

Resultatet indikerer at sprekkers dybde og bredde er viktige parametere når det gjelder nøyaktighet på identifiseringer. Det kan videre synes som om dagens lasersystem har problemer med å identifisere sprekker med en dybde og bredde under en viss kritisk grense.

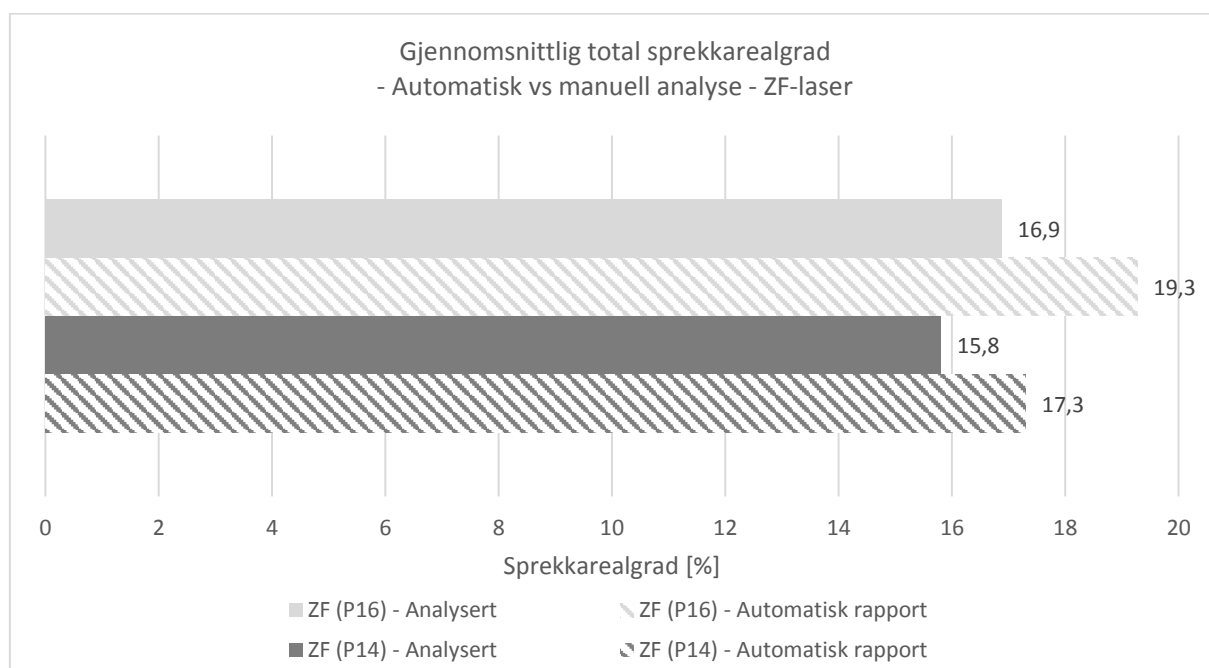
Sammenligning av automatisk og manuell identifisering

Programvaren ViaPPS Desktop har mulighet for å beregne sprekkarealgrad automatisk og presentere resultatet i en *sprekkrapport*, hvor dette ble gjort for de 4 målerseriene brukt i den manuelle analysen. Under følger en sammenligning av manuell og automatisk beregnet sprekkarealgrad for flaten på 8 meter.

Metoden som ble benyttet ved manuell analyse av sprekkarealgrad skal i teorien være identisk med den automatiske algoritmen som brukes i ViaPPS programvaren. I praksis vil en i midlertid kunne forvente avvik på grunn av tekniske og metodiske feilkilder.

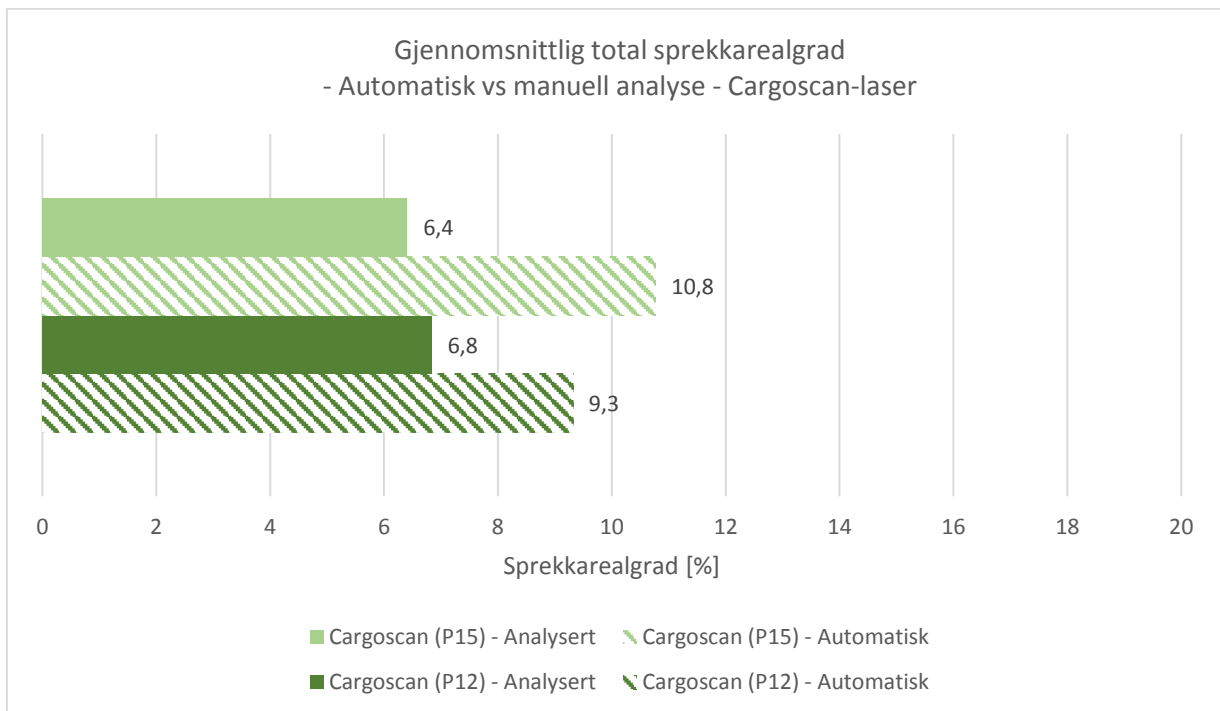
Under følger resultatene fra sammenligningen av manuell og automatisk sprekkarealgrad for de 4 måleseriene.

Figuren viser gjennomsnittlig totalt sprekkarealgrad for manuelle og automatiske beregninger for ZF.



Figur 103 Sammenligning sprekkarealgrad ved automatisk og manuell analyse for ZF

Tilsvarende viser figuren der gjennomsnittlig total sprekkarealgrad for manuelle og automatiske beregninger for Cargoscan.



Figur 104 Sprekkarealgrad ved automatisk og manuell analyse for Cargoscan

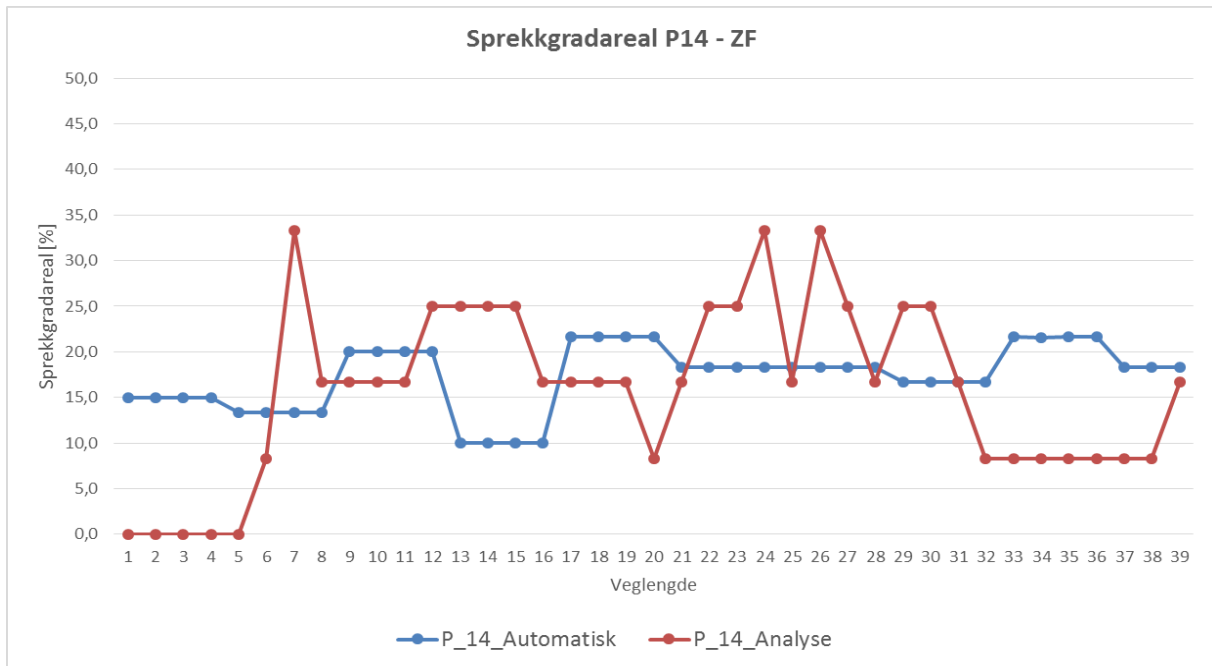
Begge figurene viser at de automatiske beregningene gir en høyere sprekkarealgrad enn de manuelle beregningene. For ZF laseren er avviket omtrent 10 % for begge måleseriene, mens det for Cargoscan er opp mot 30 %. Videre ser en at den relative forskjellen er langt større for Cargoscan.

En viktig årsak til ulikheter mellom manuelle og automatiske beregninger er sannsynligvis avvik ved bedømmelse av om en rute inneholder sprekk eller ikke i de manuelle beregningene. Færre identifiserte sprekker kan gi større relativt utslag, noe som kan være noe av forklaringen på at avviket er størst for Cargoscan.

Det kan også se ut som om det er en tendens til en systematisk underestimering ved de manuelle beregningene, etter som samtlige automatiske beregnede verdiene er høyere.

Ved å plote verdiene for sprekkarealgrad langs flatens lengderetning kan en forsøke å si noe mer om årsaken til avvikene.

Figuren under viser et plott av sprekkarealgrad for en måleserie fra bil P14 med ZF-laser. Hvert intervall på grafens x-akse tilsvarer en langsgående rutelengde på 0,25 meter.



Figur 105 Automatisk og manuell beregning av sprekkarealgrad for bil P14

En kan legge merke til at de automatiske målingene viser en gjennomsnittsverdi for hver hele meter, noe som indikerer at aggregeringsnivået er noe høyere enn for de manuelle analysene.

En ser at verdiene for sprekkarealgrad har til dels store avvik i lengderetning, særlig ved start og slutt av flaten. Tilsvarende grafer for Cargoscan viser enda større avvik, noe som kan ha sammenheng med en lavere oppløsning på skannepunktene (flere grafer finnes i *Del 4 – Resultater*).

Avvikene i grafene skyldes trolig en rekke faktorer. Som beskrevet i avsnitt *12.1 Usikkerheter og feilkilder i feltarbeidet* vil avvik på grunn av akselerasjon kunne gi forskyvninger og forlengelser av sprekker opp mot 2 meter over flaten. Det kan i figuren over se ut som den automatiske målingen er forskjøvet mot høyre, uten at det kan sies sikkert. En langsgående forskyvning vil kunne ha mye å si for verdien av sprekkarealgrad.

Langsgående forlengelse av sprekkene kan også gi et større sprekkareal for hver sprekk, samtidig som sprekker i enden av flaten kan være forskjøvet ut fra sin opprinnelige posisjon og dermed bli utelatt ved beregninger.

På grunn av disse avvikene er det nok best å se på manuelle og automatiske beregninger hver for seg, etter som usikkerhetene ved en direkte sammenligning synes å være svært store.

Utvikling av teknologi for 3D laserskanning

I litteratursøket ble det sett nærmere på teknologien bak 3D laserskanning, samt hvilke trender en ser fremover.

Dagens teknologi

De senere årene har teknologien bak 3D laserskanning vært i hurtig utvikling. Resultatet er stadig kraftigere og mindre komponenter med økende grad av kapasitet og nøyaktighet. Denne utviklingen åpner for å erstatte 2D metodene for sprekke-deteksjon med mer avanserte 3D metoder. På tross av den siste tids utvikling er det fortsatt en rekke utfordringer som gjenstår, både når det gjelder kapasitet, nøyaktighet og variabilitet i måleutstyret. Feltarbeidet i denne oppgaven gir en indikasjon på utvikling og status for måleteknologi til bruk ved identifisering av sprekker i vegflaten.

Måling med laserskanner karakteriseres som en aktive metode, noe som betyr at systemet bruker en egen lyskilde (laserdiode) for å gjøre målinger. Ved 2D fotodeteksjon registrerer en til sammenligning kun naturlig lys fra omgivelsene. Fordelen med å bruke en aktiv metode er at en kan kontrollere lyset som sendes ut, ved å variere intensitet, frekvens og bølgelengde. Det er nettopp kontroll over av disse parameterne som gjør 3D laserskanning mulig.

To ulike prinsipp for 3D laserskanning er beskrevet i denne oppgaven, nemlig triangulering og time of flight. Triangulering er et gammelt prinsipp som baserer seg på enkle trigonometriske relasjoner. Etter som en er avhengig av kjente avstander og vinkler i måleoppsettet begrenser bruksområdet for metoden seg til noen meter. Triangulering er til gjengjeld svært presis, og brukes blant annet i teksturskanneren i ViaPPS.

Time of flight (TOF) er et prinsipp hvor en måler tiden lyset bruker mellom måleapparatet og målepunktet, for så å beregne den tilhørende avstanden. TOF egner seg godt for måling over lange avstander, og er i dag den foretrukne metoden for 3D laserskanning. Tidsmålinger av lyset kan gjøres på flere måter. Pulsmålinger utføres ved å måle tidsbruken for utsendte lyspulser, mens faseskiftmålinger registrerer forskyvninger i bølgefasen hos en modulert laserstråle. Flerfaseskanning gjør det mulig å bruke faseskiftmålinger over lange avstander. Den nye ZF-laseren som brukes i ViaPPS er en flerfaseskanner med mulighet for presise målinger opp til 116 meter.

3D laserskanning er en relativt ny teknologi, som fortsatt er i stadig utvikling. Teknologien er svært avansert, og krever høy presisjon og stor kapasitet på tekniske komponenter. I et målesystem inngår både mekaniske, optiske og elektroniske komponenter, som alle skal virke

sammen. Hvert enkelt komponent vil kunne påvirke nøyaktigheten til måleresultatet. Mobil laserskanning involverer også en rekke sensorer for måling og korreksjon av bilens bevegelser. Summen av avvik for hver enkel komponent vil utgjøre det totale avviket i datagrunnlaget fra målingene. Det er derfor ikke overraskende at feltarbeidet viser til dels store variasjoner mellom de ulike måleseriene. Dette tyder på at laserskanning fortsatt er i modningsfasen, og først den siste tiden har blitt god nok for praktisk anvendelse.

Analysen av målinger for den 200 meter lange strekningen ga flere interessante indikasjoner. For det første ble det funnet at ZF har betraktelig større kapasitet for identifisering av sprekker en Cargoscan, hvor ZF i gjennomsnitt identifiserer 4 ganger flere sprekker. Målingene viser også mindre variabilitet i målingene med ZF.

Analysen av flaten på 8 meter viser samme tendens, hvor det nye målesystemet registrerer omtrent dobbelt så mange sprekker som det gamle. Dette var særlig tydelig i andel identifiserte grunne langsgående sprekker, hvor kun ZF var i stand til å finne disse sprekke.

Feltarbeidet gir også en indikasjon på nøyaktigheten for nytt og gammelt lasersystem. Under normal kjørehastighet er oppløsningen langs kjøreretningen for dårlig til identifisering av tversgående sprekker for begge system. Når det gjelder langsgående sprekker identifiserte Cargoscan omtrent 25 %, mens ZF identifiserte 50 %. De langsgående sprekke i referanseflaten fordelte seg videre med omtrent halvparten dype og grunne sprekker. Cargoscan identifiserte omtrent 50 % av de dype langsgående sprekke, mens ZF identifisere 80 %. For langsgående grunne sprekker identifiserte ZF 20 %, mens Cargoscan ikke identifiserte noen av disse. Dette resultatet indikerer at ZF har bedre nøyaktighet enn Cargoscan, og gir et godt bilde på hvor fort den teknologiske utviklingen går.

Det er også viktig å se resultatene fra feltarbeidet i lys av mulige feilkilder. Det ble funnet betydelige avvik mellom individuelle måleserier, målebiler og målesystem. Avvikene skyldes sannsynligvis en kombinasjon av systematiske og tilfeldige faktorer. Dette kan inkludere avvik forårsaket av støy i det tekniske måleutstyret, utførelsen av selve målingene samt metoden for beregning av sprekkearealgrad.

Det er sannsynlig at kalibrering av det nye ZF-systemet kan redusere noe av avvikene som har tekniske årsaker. Avviket som skyldes beregning av sprekkearealgrad kan forsøkes redusert ved å krympe størrelsen på rutene, slik at feil får mindre utslag. Dette vil også kunne gi en mer nøyaktig verdi av beregnet sprekkearealgrad.

Teknologi - fremtidig potensiale

Kvaliteten på innsamlet data vil være bestemmende for hva målingene kan brukes til. Sprekker som er grunne og smale viste seg utfordrende å måle i feltstudiet. Både oppløsning og nøyaktighet vil trolig forbedres i fremtiden. For eksempel kan bedre oppløsning gi mulighet for å analysere vegflatens tekstur uten bruk av egne teksturmålere. Detaljert skanning av vegflaten kan også åpne for å identifisere tidlige tegn på kommende sprekker, noe som kan være svært verdifullt i vedlikeholdsarbeidet.

Det kan også diskuteres hva resultatene har å si rent praktisk. I et forvaltningsperspektiv er det de store sprekke som fører til størst ulempe for kjøretøy på vegen. Sprekker som er kommet langt i utviklingen vil også kunne gi akselerert skadeutvikling over tid. Etter som vegmyndigheter opererer med begrensede ressurser vil det sannsynligvis være de mest alvorlige sprekke som prioriteres først når vegnettet skal vedlikeholdes. Det kan dermed argumenteres for at identifisering av dype og brede sprekker kan være tilstrekkelig for vegmyndighetene.

På en annen side er det klart at forebyggende tiltak ofte er betraktelig rimeligere enn reparasjoner av alvorlige skader som har fått utvikle seg. Identifisering av grunne sprekker kan derfor gi verdifull informasjon om skader i en tidlig fase, slik at en kan sette i verk forebyggende tiltak på et tidlig tidspunkt. Dette kan spare både vegbruker og vegholder for store summer.

Trendene i dagens utvikling kan gi indikasjoner på det fremtidige potensialet. Når det gjelder innsamling av data fra vegnettet er muligheten for 360 graders skanning svært spennende. Ved å samle inn data fra vegens sideområde kan en få større kunnskap om langt flere parametere enn en samler inn i dag. Dette kan bidra til å gi en bedre forståelse av årsaker bak dannelse av sprekker i vegflaten, hvor vegens omgivelser også kan spille en rolle.

I det store bildet er måling av vegflaten bare et av mange bruksområder for 3D laserskanning. Samme trend ses også innen en rekke andre bransjer, hvor laserskanning blant annet kan brukes til overvåking av isbreer, skanning av landskap og infrastruktur, kontrollsystemer for fjernstyrte missiler, etc. Etter som teknologien representerer et stor nyttepotensiale på svært mange områder er det rimelig å forvente at utviklingen vil fortsette i et raskt tempo.

12.3 Metodikk for identifisering av sprekker

Kvaliteten på data som samles inn er avgjørende for hvilke analyser som kan gjøres, og hvor nøyaktig resultatet fra disse blir. Etter hvert som den teknologiske utviklingen gjør det mulig å samle inn data av stadig høyere kvalitet åpner dette for utvikling av bedre og mer nøyaktige analysemetoder.

Som det fremgår i litteratursøket var automatisk identifisering av sprekker i vegflaten for kun få år tilbake basert på 2D analyser av foto. Denne metoden gir ikke mulighet til å registrere sprekkenes dybde, noe som blant annet gjør det problematisk å skille mellom dype og grunne sprekker. En har også utfordringer med skygger og flekker som feilaktig identifiseres som sprekker. 2D teknologi har med andre ord noen naturlige begrensninger for hvilke analyser som kan gjøres, og hvor detaljert resultatet kan bli.

3D laserskanning er rent teknisk ganske ulik 2D fototeknologi. 2D teknologi er et passivt system som baserer seg på registrering av reflektert lys fra omgivelsene. 3D teknologi er derimot et aktivt system hvor en både sender ut og mottar refleksjoner fra egen lyskilde. De ulike teknologiske prinsippene gir også ulikt datagrunnlag. 2D teknologi gir et høyoppløselig foto hvor hver piksel sier noe om et punkts intensitet (refleksjonsgrad), mens 3D teknologi gir på sin side ut en romlig 3D flate supplert med informasjon om intensitet.

I det følgende diskuteres metodikk for identifisering, klassifisering og vurdering av sprekkers alvorlighetsgrad for data fra 2D og 3D målinger.

Metoder for identifisering av sprekker

Til tross for ulik teknologi er det flere likheter ved den grunnleggende metodikken for identifisering av sprekker fra 2D og 3D måldata, etter som begge metodene baserer seg på analyse av relasjonene mellom punkt (ujevnheter). For 2D teknologi er punktet en piksel lokalisert i et todimensjonalt koordinatsystem, med en unik verdi for intensitet. For 3D teknologi er punktet plassert i et tredimensjonalt koordinatsystem, og kan også inneholde en verdi for intensitet. Data fra 2D og 3D målinger kan dermed beskrives som følgende:

- **Punkt fra 2D måling = $f(x, y, \text{intensitet})$**
- **Punkt fra 3D måling = $f(x, y, z, \text{intensitet})$**

For identifisering av sprekker er det i litteraturen beskrevet en rekke ulike algoritmer. Felles for disse er at en først søker gjennom data for å finne punkt (ujevnheter) med høydeavvik. Deretter ses det på relasjoner mellom ujevnheter som ligger i nærheten av hverandre, hvor det brukes grenseverdier for å avgjøre om disse hører sammen eller ikke. Grenseverdier kan for eksempel gis for differansen i høyde og avstand mellom individuelle punkt.

For å identifisere sprekker i vegflaten blir tilliggende ujevnheter som oppfyller grensebetingelsene koblet sammen ved bruk av parametriske relasjoner. Dette kan for eksempel gjøres i form av en linje som går mellom tilliggende ujevnheter. En annen mulighet er estimering av sammenhengende 3D flater, som kan gjøres ved bruk av matematiske funksjoner som NURBS.

Resultatet av analysene vil være en flate hvor identifiserte sprekker er beskrevet ved hjelp av kvantitative parametere. Analyser fra 2D målinger vil kunne inneholde informasjon om sprekkenes plassering, orientering, lengde og bredde. 3D målinger vil i tillegg kunne inneholde informasjon om dybde.

Kvantifiseringen av sprekker åpner muligheten for videre analyse av disse, for eksempel klassifisering og vurdering av alvorlighetsgrad.

Metoder for klassifisering og vurdering av alvorlighetsgrad

Litteraturen rundt automatisk klassifisering av sprekker er begrenset. Metoder som er beskrevet holder seg stort sett til en enkel inndeling i langsgående og tversgående sprekker, samt en kombinasjon av disse (alligatorsprekker). De fleste metodene beskriver dessuten analyse av 2D målinger, etter som 3D laserskanning er en ganske ny teknologi.

I teorien vil datagrunnlaget fra 3D målinger inneholde minst like mye informasjon som 2D målinger, noe som betyr at de samme algoritmene vil kunne brukes for begge målemetodene. I praksis er derimot 3D målinger foreløpig begrenset av en lavere langsgående oppløsningen. Der et foto har likt antall piksler i x- og y –retning, vil punkter fra laserskanning ha varierende oppløsning avhengig av laserskannerens registreringsfrekvens og bilens hastighet.

Det kan tenkes at manglende langsgående oppløsning er en medvirkende årsak til den begrensede mengden litteratur som finnes rundt klassifisering av sprekker ved bruk av 3D laserskanning. Forsøkene gjort i feltarbeidet underbygger dette, og viser at det er mer utfordrende å registrere sprekker på tvers enn på langs av vegbanen med dagens teknologi.

En annen måte å kvantifisere sprekker i vegflaten på er å bruke en parameter som sprekkearealgrad. Sprekkearealgrad sier ikke om de enkelte sprekkenes egenskaper, kun

plassering og omfang. Fordelen med sprekkarealgrad er at en ikke er avhengig av et veldig nøyaktig datagrunnlag.

Etter hvert som teknologien forbedres vil det være fordelaktig å inkludere flere parametere i analysene, for eksempel informasjon om sprekkers bredde og dybde. Detaljert informasjon kan brukes til å si noe om sprekkers alvorlighetsgrad, etter som skadeutviklingen i de fleste tilfeller også vil innebære en økning av bredde og dybde.

Litteratursøket viser at flere vegforvaltere allerede har etablert rammeverk for enhetlig vurdering av sprekkers alvorlighetsgrad, hvor det brukes kvantitative grenseverdier for sprekkers beliggenhet, orientering og lengder. Det ble i midlertid ikke funnet eksempler hvor sprekkers dybde og bredde danner grunnlag for vurderinger. Dette kan tyde på at rammeverkene er utviklet med tanke på manuelle inspeksjoner, etter som dybde og bredde vil være tungvint å måle manuelt.

Metodikk - fremtidig potensiale

Ved å se på litteratur og resultatet fra feltarbeidet er det mulig å si noe nåværende og fremtidig metodikk for analyse av sprekker i vegflaten.

For det første er det tydelig at 3D laserskanning er en fersk teknologi, som har utviklet seg mye på kort tid. Det er også grunn til å tro at denne utviklingen vil fortsette. Per i dag kan det se ut som oppløsningen og nøyaktigheten på data fra 3D målinger er en begrensende faktor for automatisk sprekkdeteksjon. Det er særlig oppløsningen på tvers av vegbanen som kan være mangelfull ved målinger i normal trafikkhastighet. Også nøyaktigheten for de enkelte målepunktene har et forbedringspotensial.

Videre er det foreløpig ikke funnet eksempler på rammeverk for automatisk klassifisering og tilstandsvurdering av sprekker. Det som finnes av nåværende rammeverk er stort sett utviklet med tanke på manuelle målemetoder, og mangler en enhetlig metodikk for kategorisering og vurdering av sprekkers alvorlighetsgrad.

Potensiale som ligger i å utvikle mer avansert algoritmer for klassifisering og vurdering av alvorlighetsgrad kan være stort. Desto mer tilgjengelig data en har om sprekker, desto bedre informasjon kan en tilegne seg. Ved å kombinere data fra flere parametere kan en også forsøke å si noe om årsaken til skaden. Informasjon om sprekkers årsak vil være svært nyttig for å kunne si noe om hvilke vedlikeholdstiltak som er best egnet ved forvaltning av vegnettet.

En vil sannsynligvis se en gradvis utvikling av teoretiske rammeverk for automatisk identifisering, klassifisering og vurdering av sprekker i takt med at teknologien modnes.

12.4 Bruk av data i vegforvaltningen

Hensikten med innsamling og analyse av data for sprekker er å bruke informasjonen ved forvaltning av vegnettet, hvor parametere for sprekker kan brukes i PMS til å indikere behov for vedlikehold. I det følgende diskuteres det hvordan informasjon om sprekker kan brukes, samt hvilke muligheter og utfordringer som finnes.

Bruk av PMS i dag

Et PMS kan deles inn i 3 deler; en innsamlingsdel, en databasedel og en analysedel. Innsamlingen kan for eksempel gjøres med mobile målesystem som ViaPPS. Databasedelen brukes til å samle og organiserer informasjonen, hvor analysedelen deretter brukes til å gjøre vurderinger av informasjonen. Det er dermed analysedelen som skaper direkte verdi for brukeren.

Analyse av vegflatens tilstand kan foregå på flere måter. Desto mer informasjon en har, desto mer detaljerte analyser kan utføres. For å sammenligne ulike vegstrekninger er det mulig å uttrykket vegens tilstand ved bruk av tilstandsindekser.

En tilstandsindeks sier noe om vegens tilstand, ved å aggregere utvalgt informasjon til en kvantitativ størrelse. Det finnes ulike indekser for ulike bruksområder, fra enkeltindekser for en skadetype, til samleindekser bestående av flere enkeltindekser. Hva som inngår i en indeks vil avhenge av tilgjengelig informasjon, samt hvilket analysenivå en ser på. En kan for eksempel bruke detaljerte indekser for å analysere en spesifikk strekning, og samleindekser for å analysere og sammenligne flere strekninger på prosjekt- eller nettverksnivå.

Et eksempel på en indeks som er egnet for bruk i PMS er PCI – Pavement Condition Index. PCI angir vegens tilstand på en skala fra 0 til 100, basert på informasjon om skadens type, mengde og alvorlighet. Prinsippet bak PCI kan brukes på flere analysenivå. For eksempel kan det etableres en indeks for sprekker i vegflaten, basert på informasjon om sprekkers mengde, type og alvorlighet. Mengden sprekker kan for eksempel angis som antall, areal eller andel. Videre kan en kategorisere sprekker, med påfølgende vurdering av alvorlighetsgrad. Det ble gjennom litteratursøket ikke funnet eksempler på bruk av egne indekser for sprekker i dagens vegforvaltning.

I Norge kan det i dag gjøres enkle analyser av sprekker i vegflaten ved bruk av sprekke rapporter fra ViaPPS Desktop, hvor parameterne sprekkegrad og sprekkearealgrad sier noe om andelen

sprekker på en vegstrekning. Disse parameteren er også planlagt innført i NVDB i løpet av 2015.

I tillegg til analyse av nåværende dekketilstand kan informasjon om sprekker også brukes til å estimere fremtidig tilstandsutvikling. Dette gjøres ved hjelp av prediksjonsmodeller, hvor en for eksempel kan relatere utviklingen av tilstandsindekser til forklaringsvariabler. Denne funksjonaliteten er allerede tilstede i NVDB, hvor tilstandsutvikling for utvalgte parametere (jevnheter, tverfall og spor) estimeres for kommende år. Modellen som brukes i dag er bygger på enkle lineære funksjoner. Modeller for prediksjon av utvikling av sprekker brukes ikke i den norske vegforvaltningen i dag.

Bruk av data - fremtidig potensiale

I forhold til potensialet som finnes er informasjon om sprekker i liten grad utnyttet i dagens vegforvaltning. En av årsakene til dette er sannsynligvis mangel på teknologi og rammeverk for automatisk innsamling, analyse og bruk av data. Dette kan i midlertid se ut til å endre seg de kommende årene.

I takt med den teknologiske utviklingen åpner det seg muligheter for stadig mer detaljerte analyser av sprekker i vegflaten. I Norge er det foreløpig kun beregning av sprekkarealgrad som utnytter informasjon fra laserskanning av sprekker, noe som er en svært enkel form for analyse. Neste seg kan være å klassifisere sprekkene, først i enkle kategorier (tversgående, langsgående, alligatorsprekker), og deretter i mer detaljert i takt med at kvaliteten på datagrunnlaget bedres.

Det kan også tenkes at overvåking av individuelle sprekker etter hvert blir mulig, slik at en kan følge sprekkenes utvikling over tid. Ulike stadier i utvikling kan brukes som grunnlag for å vurdere skadens alvorlighet. Informasjon om vegens nedbrytningsmønster kunne bidra til bedre forståelse av de bakenforliggende effektene, og dermed hvilke tiltak som bør iverksettes.

På lenger sikt kan det også tenkes at data fra laserskanning av sprekker kan suppleres med data fra andre målemetoder. Dette kan særlig være nyttig for bruk i prediksjonsmodeller. Et eksempel kan være georadar, som kan gi informasjon om grunnforhold i vegkonstruksjonen. Det er også utført tester med varmekamera som har vist seg å kunne identifisere tidlige sprekker som ikke er visuelt synlige. Data fra georadar og varmekamera kan sammen med laserskanning brukes for å danne seg et bedre bilde av vegens tilstand. Informasjon om klima og værforhold kan også inkluderes i slike analyser.

Potensiale som ligger i fremtidig bruk er stort, og vil kunne blir realisert i takt med at utviklingen av bedre system for innsamling, analyse og bruk.

Kapittel 13 - Anbefalinger

I denne oppgaven er det sett på teknologi for identifisering av sprekker, metoder for bearbeiding og analyse av data, samt bruk av analysert data i vegforvaltningen. I tillegg til et litteratursøk er det sett nærmere på det norske målesystemet ViaPPS gjennom et feltarbeid. Disse arbeidene gir grunnlag for å gi noen anbefalinger for bruk av måleutstyret, behandling av data samt bruk av analysert data.

Anbefalinger for måleutstyr – ViaPPS målebiler

- **Kalibrering av ZF-systemet:** Målinger fra feltforsøkene med ny ZF-laser viste relativt store forskjeller i gjennomsnittsverdi og standardavvik mellom måleserier for de 3 ulike målebiler. Målebil P16 skilte seg positivt ut med høyere gjennomsnittsverdi og lavere standardavvik enn de 2 øvrige målebiler, P09 og P14. Dette kan tyde på at videre kalibrering av ZF-systemet kan gi mer nøyaktige målinger enn i dag.
- **Øke nøyaktighet på posisjonsbestemmelse:** Ved detaljert analyse av sprekker er det viktig at sprekkenes posisjon er nøyaktig definert, slik at de samme sprekkenes kan identifiseres mellom ulike måleserier. I feltforsøkene var det avvik i vegkilometrerings for ulike måleserier ofte på 1-3 meter, og i noen tilfeller mer. Videre var det avvik i lokalisering av sprekkes posisjon på vegflaten under akselerasjon. Avvikene kan blant annet skyldes tekniske faktorer i målesystemet, som burde undersøkes nærmere.
- **Øke langsgående oppløsning:** En svakhet ved dagens system for laserskanning er lav langsgående oppløsningen på grunn av stor avstand mellom skanneprofilene, noe som særlig påvirker kapasiteten for identifisering av tversgående sprekker. En enkel løsning kan være å redusere hastigheten under skanning. Dette vil i midlertid ikke være praktisk mulig hvis registrering foregår blant vanlig trafikk. Det kan tenkes at en løsning med 2 skannere, som registrerer annethvert profil, vil kunne doble den langsgående oppløsningen. Kostnadene og de tekniske utfordringene ved en slik løsning kan i midlertid bli store.

Anbefalinger for behandling av data – ViaPPS Desktop og Analyse

- **Øke nøyaktigheten ved beregning av sprekkarealgrad:** Målinger fra feltarbeidet viste at dagens metode for beregning av sprekkarealgrad kan føre til potensielt store avvik i beregnet verdi. Dette kan ha en sammenheng med størrelsen på rutene som brukes (25*25 cm). Små marginer kan avgjøre om en rute vurderes til å inneholde en sprekk eller ikke, samtidig som konsekvensen er relativt stor (8,3% avvik pr. rute). Ved å redusere størrelsen på rutene vil en sannsynligvis øke nøyaktigheten ved beregning av sprekkarealgrad. For eksempel kan ruter på 10*10 cm prøves ut.
- **Registrere flere parametere for enkeltsprekker:** Høyere nøyaktighet på nytt måleutstyr kan åpne for registrering av flere parametere for sprekker. For eksempel kan en forsøke å måle og kvantifisere plassering, orientering, lengde, bredde og dybde. Desto mer informasjon en klarer å registrere, desto mer avanserte analyser kan i sin tur gjennomføres.
- **Innføre enkelt klassifisering:** Ved å registrere parametere som sprekkers plassering og orientering kan en innføre en enkel klassifisering, for eksempel av langsgående-, tversgående- og alligatorsprekker. Dette krever i midlertid at datagrunnlaget er godt nok, noe det per i dag ikke synes å være for tversgående sprekker.

Anbefalinger for bruk av data – PMS og NVDB

- **Registrere sprekker i vegflaten:** For det norske PMS kan en ta i bruk data fra laserskanning ved å kvantifisere eksisterende informasjon som registreres for sprekker. En god start kan være bruk av sprekkarealgrad, noe som allerede er planlagt innført.
- **Registrere tilstandsutvikling av sprekker over tid:** Ved å registrere parametere for sprekker for samme vegstrekning over flere år kan en forsøke å overvåke tilstandsutviklingen over tid. Dette vil kreve nøyaktige målinger som gjør det mulig å identifisere de samme sprekke mellom ulike måleserier. Som en start kan en benytte enkle parametere som sprekkarealgrad, hvor en deretter kan utvide bruksområdet når mer nøyaktig data blir tilgjengelig. Informasjon om tilstandsutviklingen kan brukes til å vurdere hvor tiltak bør settes inn.
- **Estimere tilstandsutvikling av sprekker over tid:** Etter hvert som en opparbeider seg en historisk oversikt over utviklingen av sprekker kan en forsøke å estimere fremtidig utvikling. Dette vil kreve modeller som bygger på tidligere erfaringer, kombinert med relevante forklaringsvariabler. Om en klarer å forutsi fremtidig utvikling av sprekker kan en vurdere både hvor og når tiltak bør settes inn.
- **Identifisere årsaker til sprekker:** For å finne hvilke(t) tiltak som er mest hensiktsmessig bør en vite noe om årsaken til skaden. Når årsaken er kjent kan en estimere kostnader tilknyttet de konkrete tiltakene, og vurdere strategivalg i vegforvaltningen. For å finne årsak til skaden er det nødvendig med et stort og bredt datagrunnlag. Sprekkene bør klassifiseres i typer tilknyttet ulike årsaker, noe som igjen kan kreve informasjon fra flere kilder enn bare laserskanning. For eksempel kan både georadar og varmekamera bidra til innsikt i forhold rundt vegkonstruksjonen. På samme måte kan data for klima- og værforhold også vurderes å inngå i PMS.

Kapittel 14 - Konklusjon

Avslutningsvis konkluderes det ved å svare på problemstillingen, forankret i de tre tilhørende forskningsspørsmålene. Disse spørsmålene har dannet den røde tråden gjennom arbeidet med oppgaven.

«Hvordan kan målinger av sprekker i vegflaten med 3D laserskanner brukes ved tilstandsanalyse av vegnettet?»

Hvilken teknologi finnes for å samle inn data om sprekker fra vegflaten, og hvilke muligheter og utfordringer har denne?

Opprinnelig ble skader i vegflaten registrert manuelt. Etter hvert er det utviklet 2D foto- og videoteknologi, hvor en kan registrere sprekker i vegflaten ved bruk av mobile målesystem. Resultatet av målingene er digitale foto som inneholder piksler med ulik intensitet. I forhold til manuelle registreringsmetoder sparer dette både tid, kostnader og risiko. Data kan dessuten samles inn i både større omfang og mer systematisk enn tidligere. 2D teknologien byr også på noen utfordringer, blant annet problemer med skygger og oljeflekker som feilaktig identifiseres som sprekker. Videre er det ikke mulig å registrere detaljert informasjon om sprekkers dybde og bredde. Disse problemene kan løses ved bruk av 3D laserskanning, som har vært i hurtig utvikling de siste årene.

3D laserskanning er en aktiv, ikke-destruktiv målemetode. De fleste nye skannere baseres på prinsippet time of flight, hvor en måler tiden det tar fra en lysstråle sendes ut til refleksjonen registreres. Det nye målesystemet fra ZF som brukes i biler med ViaPPS gir ved 60 km/t en tversgående oppløsning på ca 3 mm, og en langsgående oppløsning på ca 80 mm. For hver måling som gjøres registreres et punkt på vegflaten med tilhørende koordinater (x,y,z) og en verdi for intensitet, som sammen utgjør en punktsky. Punktskyen kan brukes til estimering av en detaljert 3D modell av vegflaten.

Det finnes flere utfordringer ved 3D laserskanning, blant annet ulike former for støy som gir avvik i målingene. Støy kan være forårsaket av både mekaniske, optiske og elektroniske faktorer. En annen utfordring er oppløsningen på målingene, hvor avstanden mellom langsgående profil avhenger av bilens hastighet. Måling blant vanlig trafikk med dagens teknologi vil gi en relativ lav langsgående oppløsning, som blant annet påvirker kapasiteten til

identifisering av tversgående sprekker. I tillegg til selve laserskanneren består mobile målesystem en rekke tekniske komponenter og sensorer, for blant annet korrigering av bevegelser og vibrasjoner, posisjonsbestemmelse og lagring av data. Dette gjør systemene svært kompliserte, hvor samspillet mellom sensorer og komponenter kan skape utfordringer.

Feltstudiet i denne oppgaven ble utført med målesystem fra Cargoscan og ZF, og gir en indikasjon på kapasitet, nøyaktighet og variabilitet for målinger utført med de norske ViaPPS målebilene.

Feltstudiet ble utført i to deler, hvor det først ble analysert en strekning på 200 meter og deretter en flate på 8 meter. Målingene av strekningen på 200 meter ble brukt for å analysere kapasitet og variabilitet for de to målesystemene, mens flaten på 8 meter ble brukt til en mer detaljert analyse av systemenes nøyaktighet.

Begge analysene viste at ZF har betraktelig større kapasitet for identifisering av sprekker enn Cargoscan, samtidig som variabiliteten også er lavere. ZF systemet ble funnet til å identifisere mellom 2-4 ganger så mange sprekker som Cargoscan.

Nøyaktighet ble analysert ved å se på hvor godt systemene klarte å identifisere langsgående og tversgående sprekker, hvor det også ble skilt mellom dype og grunne sprekker. Ingen av målesystemene klarte i feltstudiet å registrere tversgående sprekker. For langsgående sprekker registrerte ZF omtrent 80 %, mens Cargoscan fant omtrent 50 %. ZF fant videre 80 % av alle dype langsgående sprekker, og 20% av alle grunne langsgående sprekker. Cargoscan klarte ikke å registrere grunne sprekker. Det kan dermed se ut til at det finnes en nedre grense for hvor grunne og smale sprekkenes kan være før dagens lasersystem ikke klarer å registrere disse.

Når det gjelder variabilitet ble ZF funnet til å ha et gjennomsnittlig relativt avvik på omtrent 40 %, hvor tilsvarende for Cargoscan var 70 %. Disse analysene er basert på data fra 9 måleserier for hver bil, og kan dermed gi en indikasjon på hvor god dagens teknologi er. En av målebilene med ZF utmerket seg med et relativt avvik på kun 13 %, noe som kan indikere at ZF systemet kan blir bedre ved ytterligere kalibrering. Det ble ellers funnet stor variabilitet både mellom måleserier fra samme bil og fra måleserier mellom ulike biler, noe som tyder på at resultatene inneholder store avvik.

Resultatene fra feltarbeidet viser at teknologien for laserskanning utvikler seg i positiv retning, samtidig som det fremdeles finnes en rekke utfordringer. Målingene med dagens systemer er egnet for å gi en indikasjon på hvor sprekker finnes, men mangler foreløpig nøyaktigheten som trengs for mer detaljerte analyser.

Hvilke metoder finnes for bearbeiding av data? Hvordan kan en identifisere, klassifisere og vurdere sprekkenes alvorlighetsgrad?

Analysen av data for sprekker kan deles inn i de 3 stegene identifisering, klassifisering og vurdering av alvorlighetsgrad.

Ved identifisering forsøker en å skille sprekker fra den intakte vegflaten. For 2D målinger gjøres dette ved å analysere intensiteten til piksler i et foto, hvor mørke piksler kan indikere dybdeavvik. For 3D målinger analyseres flatens 3D geometri direkte. Begge metodene bruker automatiske algoritmer som kalibreres ved bruk av grenseverdier.

Ved automatisk klassifisering er målet å dele sprekkeene inn i ulike klasser basert på kvantitative parametere, som sprekkenes antall, plassering, orientering, lengde, bredde og dybde. Det finnes ulike måter å foreta klassifisering på, som vil kreve varierende grad av informasjon. Det er for eksempel mulig basere klassifiseringen på de bakenforliggende skadeårsakene, sprekkenes plassering i vegbanen, eller geometrisk utforming. Det finnes i dag ikke noe universelt rammeverk for klassifisering. Rammeverkene som finnes er i liten grad utviklet med tanke på automatisk klassifisering.

Et steg videre fra klassifisering er vurdering av skadens alvorlighet, noe som kan gjøres på flere måter. En kan for eksempel dele ulike klasser inn i alvorlighetsnivå ved å bruke grenseverdier for utvalgte parametere. Alternativt kan en se på den bakenforliggende skadeårsaken, og dele sprekker inn i alvorlighetsnivå etter hvor langt skaden har fått utvikle seg. Eksempler på rammeverk for automatisk vurdering av sprekkers alvorlighet ble ikke funnet i litteratursøket.

I Norge har det i ViaPPS Desktop utviklet en parameter kalt sprekkarealgrad, som angir andelen sprekker langs veibanens i prosent av totalt areal. Sprekkarealgrad kan brukes til å indikere hvor det er sprekker, men ikke hvilken type sprekker som finnes eller hvor alvorlig skaden er.

Oppsummert er det tydelig at målinger fra 3D laserskanning er godt egnet for automatiske analyser. Tross dette er det kun enkel identifisering av sprekker som brukes i dag. Eksempler på automatisk klassifisering er svært få, og vurdering av alvorlighetsgrad er ikke tatt i bruk. Årsaken til dette kan være manglende kvalitet på datagrunnlaget, samt mangel på egnede rammeverk og analysemetoder. Etter hvert som datagrunnlaget bedres vil det være sannsynlig at utvikling av mer avanserte analysemetoder følger etter.

Hvordan kan informasjon fra skanning av sprekker brukes i vegforvaltningen?

Hensikten med analyser av sprekker i vegflaten er å opparbeide seg et best mulig informasjonsgrunnlag til bruk i forvaltningen av vegnettet.

Sprekker i vegflaten kan brukes til å indikere vegens tilstand, og dermed behovet for vedlikehold. Et sentralt verktøy i vegforvaltningen er PMS, hvor en kan analysere tilstanden til en enkelt vegstrekning, en samling vegstrekninger eller hele vegnettet under ett. Strategier for drift og vedlikehold utarbeides med mål om å optimalisere samfunnsøkonomisk nytte for både vegholder og vegbruker. Ideelt sett ønsker en å alltid utføre rett tiltak til rett tid.

For å bruke informasjonen fra laserskanning av sprekker i et PMS må en kvantifisere innsamlet data, og uttrykke disse ved en representativ kvantitativ parameter. En måte å gjøre dette på er å bruke tilstandsindekser, hvor en kan rangere vegflatens tilstand på en poengskala. Et eksempel på en slik indeks er Pavement Condition Index - PCI, hvor vegflaten vurderes ut fra parametere for skadens type, mengde og alvorlighetsgrad. Parametere som brukes i dagens PMS system i Norge er vegens jevnhet (IRI), spordybde og tverfall. Detaljert informasjon om sprekker er foreløpig ikke inkludert. En årsak til dette kan være mangelen på gode rammeverk for automatisk klassifisering av sprekkers type og alvorlighetsgrad. Enklere kvantitative parametere kan alternativt brukes, for eksempel parameteren sprekkearealgrad.

En indeks eller annen kvantitativ størrelse som beskriver sprekker i vegflaten kan indikere vegens tilstand, og dermed behovet for vedlikeholdstiltak. Ved å utføre årlige målinger kan en også følge sprekkenes utvikling. Ved å samle historisk data kan en bruke prediksjonsmodeller til å forutsi fremtidig tilstand på vegnettet. Kunnskap fra prediksjonsmodeller kan danne grunnlaget for mer robuste samfunnsøkonomiske analyser, som øker sannsynligheten for å prioritere rett tiltak til rett tid.

På sikt kan det tenkes at PMS kan kombinere informasjon om sprekker med flere andre parametere, som kan øke kunnskapen om vegens tilstandsutvikling ytterligere. For eksempel kan en kombinere data fra laserskanning av sprekker med målinger fra georadar og varmekamera, samt data for vær og klima. Dette kan bidra med større innsikt i årsaker bak skader.

Bruken av data fra skanning av sprekker avhenger av hvor omfattende og detaljert datagrunnlag en har til rådighet. Desto bedre grunnlag en har, desto mer detaljerte vurderinger kan gjøres. Full utnyttelse av potensialet som ligger i bruk av data fra skanning av sprekker i vegflaten krever at teknologi, metoder og rammeverk utvikles videre.

Kapittel 15 - Videre arbeid

Automatisk innsamling, analyse og bruk av data fra laserskanning av sprekker er et tema som spenner bredt. Dette gjør det mulig å fordype seg i en rekke ulike problemstillinger. I det følgende gis noen tips til videre arbeid som kan gjøres rundt dette temaet.

- **Hastighetens effekt på målingenes kvalitet:** Hva har hastigheten ved skanning å si for kvaliteten på målingene? Det er fra før kjent at økt hastighet gir lavere langsgående oppløsning. I feltarbeidet ble det dessuten observert avvik som også skyldes endringer av hastighet under målingene. En oppgave kan være å se nærmere på dette, og si noe om hvilke konsekvenser bilens hastighet har for datagrunnlaget som samles inn.
- **Variabilitet i målinger:** Hvor stor er variabiliteten i datagrunnlaget, og hva er de bakenforliggende årsakene? En kan se på resultatene fra gjentatte målinger av samme vegflate, og analysere avvikene mellom disse. En kan deretter prøve å finne kilder til systematiske og tilfeldige avvik, og se på hvordan disse kan reduseres. Lav variabilitet i målinger vil blant annet være viktig hvis en skal studere individuelle sprekkers utvikling over tid.
- **Kvalitet på målinger:** Hvor nøyaktig er målingene fra laserskanning? En utføre feltstudier for å avdekke hvor nøyaktig måleutstyret identifiserer sprekkers bredde og dybde, som er viktige parametere ved detaljerte analyser i PMS. Dette kan for eksempel gjøres ved å sammenligne detaljerte foto av vegflaten med resultat fra laserskanninger.
- **Klassifisering av sprekker i PMS:** Hvordan kan en bruke data fra målinger til å klassifisere sprekker? Bedre oppløsning og nøyaktighet på nytt målesystem fra ZF kan åpne for mer detaljerte analyser. En enkelt klassifisering av sprekker kan være et naturlig steg videre fra bruk av parameteren sprekkearealgrad.
- **Måling av sprekkers utvikling over tid:** Kan det være mulig å bruke årlige målinger av sprekker til å si noe om utvikling over tid? En oppgave kan se på hvilke krav dette ville satt til datagrunnlaget, og hvordan utviklingen av sprekker kan kvantifiseres og brukes i PMS.

- **Estimering av sprekkers fremtidige utvikling:** Kan en estimere sprekkers fremtidige utvikling basert på historisk data? Denne oppgaven forutsetter at det finnes tilgjengelig historisk data om sprekkers utvikling, som kan inngå i modeller for estimering av fremtidig utvikling. En kan se på oppbygging av prediksjonsmodeller, og hvilke data som er nødvendig å inkludere i disse.
- **Identifisering av skadeårsaker:** Kan en identifisere årsaker til sprekker i vegflaten? En kan se på om det er mulig å si noe om årsaken til skader i vegflaten ut fra data som samles inn av mobile målesystem. En kan også gjøre vurderinger av hvilken informasjon som trengs.
- **Bruk av data fra skanning av sprekker i PMS:** Hvordan kan en best bruke data fra målinger av sprekker i nåværende og fremtidige PMS? En kan se på hvilke parametere som bør samles inn, hvordan disse kan kvantifiseres, og hvilke bruksområder som finnes. En kan også se nærmere på samfunnsøkonomiske analyser, inkludert kostnadsestimering og metoder for prioritering av tiltak.
- **Komplementære parametere:** Hvilke andre parametere kan en samle inn og kombinere med data fra skanning av sprekker for å danne et best mulig bilde av vegflatens tilstand? Her kan en se på komplementære innsamlingsmetoder som georadar, varmekamera, teksturskannere, 360 skanning av omgivelser, etc.
- **Annen bruk av målinger fra 3D laserskanner:** Det nye målesystemet fra ZF kan gjøre 360 graders skanninger av omgivelsene opp til 116 meter fra vegbanen. Dette åpner for muligheter til å analysere en lang rekke parametere. For eksempel kan en se på registreringer av skilt, frihøyde under bruer, trafikkfarlige objekter i vegens sideterreng, etc.

Referanseliste

- ALKIRE, B. D. 2009. Pavement Condition Indices. Available:
<http://www.cee.mtu.edu/~balkire/CE5403/Lec12.pdf>
- AMANN, M.-C., BOSCH, T., LESCURE, M., MYLLYLÄ, R. & RIOUX, M. 2001. Laser ranging: a critical review of usual techniques for distance measurement. *Optical Engineering*.
- APPLANIX. 2015. *The POS LV Position and Navigation System* [Online]. Available:
http://www.applanix.com/media/downloads/products/brochures/poslv_brochure.pdf [Accessed 27.04.2015].
- AURSTAD, J., LARSEN, Ø., REFSDAL, G., BERNTSEN, G., HOFF, I., LERFALD, B. O., STATENS, V. & VEGDIREKTORATET TRAFIKKSIKKERHET, M.-O. T. 2011. Lærebok for Drift og Vedlikehold av veger. Vegdirektoratet.
- BLAIS, F. 2004. Review of 20 years of range sensor development. *Journal of Electronic Imaging*.
- BREKKE, M. 2011. ViaPPS Sprekkdeteksjon notat.
- GAVILÁN, M., BALCONES, D., MARCOS, O., LLORCA, D. F., SOTELO, M. A., PARRA, I., OCAÑA, M., ALISEDA, P., YARZA, P. & AMÍROLA, A. 2011. Adaptive road crack detection system by pavement classification.
- HAAS, R., HUDSON, W. R. & ZANIEWSKI, J. P. 1994. *Modern Pavement Management*.
- KOCH, C., GEORGIEVA, K., KASIREDDY, V., AKINCI, B. & FIEGUTH, P. 2015. A review on computer vision based defect detection and condition assessment of concrete and asphalt civil infrastructure. *Advanced Engineering Informatics*.
- MILLER, J. S. & BELLINGER, W. Y. 2003. Distress identification manual for the long-term pavement performance program.
- OLIVEIRA, H. & CORREIA, P. L. Identifying and retrieving distress images from road pavement surveys. 2008.
- OUYANG, W. & XU, B. 2013. Pavement cracking measurements using 3D laser-scan images. *Measurement Science and Technology*.
- PAYNE, A. D., JONGENELEN, A. P., DORRINGTON, A. A., CREE, M. J. & CARNEGIE, D. A. 2009. Multiple frequency range imaging to remove measurement ambiguity.
- PIARC 2012. Evaluating the performance of automated pavement cracking measurement equipment.

- SAARENKETO, T., MATINTUPA, A. & VARIN, P. The Use of Ground Penetrating Radar, Thermal Camera and Laser Scanner Technology in Asphalt Crack Detection and Diagnostics. 2012. Springer.
- SAHAF, A. & RAHIMI, S. Investigation of Laser System Used in Pavement Management System (PMS) 2014.
- STANDARD NORGE 2012. NS 3424:2012 Tilstandsanalyse av byggverk.
- STATENS VEGVESEN 2014. *Håndbok R610 - Standard for drift og vedlikehold av riksveger*, Statens vegvesen.
- TADDESSE, E. 2010. Development of roughness and rutting prediction models using data from road databanks.
- TSAI, Y.-C., JIANG, C. & HUANG, Y. 2012a. Multiscale Crack Fundamental Element Model for Real-World Pavement Crack Classification. *Journal of Computing in Civil Engineering*.
- TSAI, Y. J., JIANG, C. & WANG, Z. Pavement crack detection using high-resolution 3D line laser imaging technology. 2012b. Springer.
- UNIVERSITETSBIBLIOTEKET, N. 2015. *VIKO Kildekritikk* [Online]. Available: <http://www.ntnu.no/viko/kildekritikk> [Accessed 07.05.15 2015].
- VEGDIREKTORATET 1996. *Håndbok 193 - Skadekatalog for bituminøse vegdekker*.
- VEGDIREKTORATET 2010. PMS 2010 - Brukerveiledning for byggherre.
- VIATECH. 2015. *RE: Mailkorrespondanse*.
- VÆRNES, E. 2006. Sammenlikning av spormålingsdata fra ViaPPS og ALFRED. SINTEF Byggforsk.
- WANG, K. C. & GONG, W. 2007. Automated real-time pavement crack detection and classification.
- ZOLLER+FROHLICH 2015. Z+F Profiler 9020 Technical Specifications.

Vedlegg og bilag

Innholdsfortegnelse for vedlegg og bilag

<i>Vedlegg 1 – Oppgavetekst</i>	2
<i>Bilag 1 – Analyse av strekningen på 200 meter</i>	5
B 1-1 Måleserier - sprekkarealgrad for hver 10. meter for Cargoscan	6
B 1-2 Måleserier - sprekkarealgrad for hver 10. meter for ZF.....	7
B 1-3 Gjennomsnittlig sprekkarealgrad og relativt avvik for hver målebil	8
B 1-4 Standardavvik for hver målebil	9
B 1-5 Totalt avvik for alle målebiler med ZF og Cargoscan	10
B 1-6 Oppsummering av resultater for alle målebiler	10
<i>Bilag 2 – Analyse av flate på 8 meter</i>	11
B 2-1 Manuell beregning av areal med sprekker for referanseflate	12
B 2-2 Beregnet sprekkarealgrad for referanseflate.....	13
B 2-3 Manuell beregning av areal med sprekker for P14 – måleserie 3	14
B 2-4 Manuell beregning av areal med sprekker for P16 – måleserie 2	15
B 2-5 Beregnet sprekkarealgrad for P12 og P14.....	16
B 2-6 Manuell beregning av areal med sprekker og sprekkarealgrad for P12	17
B 2-7 Manuell beregning av areal med sprekker og sprekkarealgrad for P15	18
B 2-8 Sammenligning av manuell og automatisk sprekkarealgrad for alle målinger ..	19

Vedlegg 1 – Oppgavetekst

MASTEROPPGAVE

(TBA4940 VEG, masteroppgave)

VÅREN 2015

for

Erlend Melhus

Identifisering av sprekker i vegflaten ved 3D laserskanning

BAKGRUNN

Dagens dekkevedlikeholdssystem er basert på årlige målinger av spor og jevnhet, og bruker foreløpig ikke informasjon om sprekker i vegflaten. Moderne laserskanning har åpnet muligheten til å kartlegge sprekker i asfalten på en rask og effektiv måte. Ved å inkludere informasjon om sprekker vil vi kunne prioritere preventivt vedlikehold av asfaltdekker som er oppsprukket, men enda ikke utviklet skader lenger ned. Potensialet for innsparing ved å optimalisere vedlikeholdet er betydelig og selv mindre forbedringer vil gi betydelig økonomisk uttelling.

En ny versjon av laserskanning er i ferd med å bli installert på norske målebiler, hvor det er forventet at en større tetthet av målepunkter og økt nøyaktighet vil gjøre utstyret enda mer egnet for å kartlegging av sprekker og lokale skader av dekket.

OPPGAVE

Denne oppgaven vil fokusere på hvordan vi kan utnytte laserskanningsutstyret som benyttes i Norge til å kartlegge graden av sprekker på det norske vegnettet og hvordan informasjon om sprekker kan benyttes til forbedring av dekkevedlikeholdet.

Kandidaten skal i denne oppgaven:

- Gjennomføre et litteraturstudium med fokus på eksisterende utstyr og metoder for måling av sprekker, tolkning/karakterisering av sprekker og bruk av sprekkinformasjon i dekkevedlikeholdssystemer.
- Planlegge og gjennomføre en feltundersøkelse der gammelt og nytt måleutstyr sammenlignes med manuell kartlegging av sprekker på prøvefeltet.
- Analysere målingene fra feltundersøkelsen og sammenligne utstyrene med den manuelle kartleggingen
- Vurdere hvordan informasjon om sprekker kan utnyttes i det norske dekkevedlikeholdssystemet.

GENERELT

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

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

Besvarelsen skal inneholde

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

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

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

Hva skal innleveres?

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

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

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

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

Besvarelsen er etter gjeldende reglement NTNUs eiendom. Eventuell benyttelse av materialet kan bare skje etter godkjenning fra NTNU (og ekstern samarbeidspartner der dette er aktuelt). Instituttet har rett til å bruke resultatene av arbeidet til undervisnings- og forskningsformål som om det var utført av en

ansatt. Ved bruk ut over dette, som utgivelse og annen økonomisk utnyttelse, må det inngås særskilt avtale mellom NTNU og kandidaten.

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

Beskrives her når dette er aktuelt. Se <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank> for avtaleskjema.

Helse, miljø og sikkerhet (HMS):

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

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

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

Oppstart og innleveringsfrist:

Oppstart og innleveringsfrist er i henhold til informasjon i DAIM.

Faglærer ved instituttet: Inge Hoff

Veileder (eller kontaktperson) hos ekstern samarbeidspartner: Torleif Haugødegård,
Vegdirektoratet

Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU

Dato: 25.05.2015

Underskrift

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Inge Hoff", written over a horizontal line. The signature is cursive and somewhat stylized.

Faglærer

Bilag 1 – Analyse av strekningen på 200 meter

I det følgende finnes data brukt i analysen av strekningen på 200 meter. Kilden til disse målingene er sprekkrapporter fra *ViaPPS Desktop* hvor sprekkarealgraden for hver strekning er beregnet automatisk for hver meter.

I forkant av analysene er data fra sprekkrapporten aggregert til en gjennomsnittsverdi for sprekkarealgrad for hver 10 meter for å bedre kunne sammenligne ulike måleserier.

B 1-1 Måleserier - sprekkarealgrad for hver 10. meter for Cargoscan

Cargoscan-laser									
	P12 - Cargoscan			VTI - Cargoscan			P15 - Cargoscan		
Meter	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 1	Serie 2	Serie 3
10	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,8	0,0
30	6,3	5,2	5,6	3,9	7,0	4,4	4,3	6,9	5,0
40	8,0	7,3	9,8	6,2	15,2	5,5	2,3	5,2	7,5
50	13,5	13,7	11,0	2,8	10,8	6,7	8,2	11,7	10,2
60	3,8	4,0	5,2	0,2	0,7	0,3	4,7	4,2	4,2
70	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,3	0,0
80	0,8	1,8	0,8	2,0	4,3	1,8	0,8	1,8	1,3
90	5,5	4,7	6,0	0,7	7,7	1,8	5,5	3,8	5,5
100	0,7	2,5	0,0	0,5	2,3	0,0	0,5	0,3	0,7
110	5,0	3,5	5,0	1,3	2,5	0,0	2,2	0,3	2,3
120	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
130	1,5	1,7	1,3	1,7	3,2	1,0	2,5	2,2	1,5
140	0,5	0,0	0,7	0,0	1,7	0,0	0,8	0,3	0,7
150	0,5	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
160	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,3	0,0	0,0	0,0
170	3,0	1,3	1,5	0,0	0,7	1,8	1,0	2,0	1,0
180	4,7	2,0	0,0	0,0	0,5	0,7	0,0	1,3	0,8
190	1,7	2,5	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	1,3
200	0,5	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
Snitt	2,8	2,5	2,5	1,0	2,9	1,2	1,7	2,1	2,1

B 1-2 Måleserier - sprekkarealgrad for hver 10. meter for ZF

ZF-laser									
	P16 - ZF			P14 - ZF			P09 - ZF		
Meter	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 1	Serie 2	Serie 3
10	2,3	0,7	2,5	0,0	0,3	0,0	1,2	0,7	1,3
20	7,0	7,3	9,2	0,0	4,2	7,0	9,2	1,5	7,3
30	10,2	10,7	10,0	7,2	11,9	11,1	13,0	10,4	12,2
40	19,5	17,7	21,8	16,5	16,5	17,3	18,8	20,5	18,2
50	21,5	22,8	20,8	18,3	21,3	22,2	17,8	9,7	20,7
60	7,3	9,5	5,3	5,3	8,8	9,5	6,5	1,0	7,8
70	5,3	4,7	5,2	2,7	4,3	3,2	9,3	4,3	5,7
80	14,2	12,8	15,2	2,3	13,0	12,8	10,2	5,2	13,3
90	21,3	21,8	23,5	16,8	19,5	22,3	11,3	5,0	14,3
100	12,7	13,2	12,8	5,7	10,3	10,5	5,8	4,0	8,7
110	11,8	13,0	11,5	8,7	11,7	12,5	15,2	9,8	13,8
120	8,0	8,5	6,3	3,3	7,3	7,3	7,5	1,2	11,2
130	2,3	3,2	2,2	2,7	2,7	3,2	4,2	2,7	3,2
140	3,2	3,5	4,2	2,2	4,7	6,7	3,5	5,5	3,5
150	6,8	2,8	3,2	1,2	4,0	2,0	2,5	0,0	2,7
160	5,7	3,0	3,5	1,2	3,2	1,0	0,0	1,8	0,0
170	7,5	9,5	8,7	4,0	6,7	5,3	3,3	0,5	2,5
180	8,5	8,8	8,3	8,2	8,5	1,7	0,0	2,0	0,0
190	10,2	7,7	8,5	6,7	7,2	8,3	1,7	0,2	1,8
200	2,8	2,5	2,2	0,7	2,2	1,8	1,7	1,5	2,2
Snitt	9,4	9,2	9,2	5,7	8,4	8,3	7,1	4,4	7,5

B 1-3 Gjennomsnittlig sprekkarealgrad og relativt avvik for hver målebil

Gjennomsnittlig sprekkarealgrad						Relativt avvik					
ZF-laser			Cargoscan laser			ZF-laser			Cargoscan laser		
P16	P14	P09	P12	VTI	P15	P16	P14	P09	P12	VTI	P15
1,83	0,11	1,06	0,22	0,00	0,00	0,55	1,73	0,33	1,73		
7,83	3,72	6,00	0,00	0,39	0,28	0,15	0,95	0,67		1,73	1,73
10,31	10,06	11,85	5,68	5,12	5,37	0,04	0,25	0,11	0,10	0,33	0,25
19,67	16,78	19,17	8,39	8,94	5,00	0,11	0,03	0,06	0,15	0,60	0,52
21,72	20,61	16,06	12,72	6,78	10,00	0,05	0,10	0,36	0,12	0,59	0,18
7,39	7,89	5,11	4,33	0,39	4,33	0,28	0,28	0,71	0,17	0,65	0,07
5,06	3,39	6,44	0,00	0,06	0,17	0,07	0,25	0,40		1,73	1,00
14,06	9,39	9,56	1,17	2,72	1,33	0,08	0,65	0,43	0,49	0,51	0,38
22,22	19,56	10,22	5,39	3,39	4,94	0,05	0,14	0,47	0,12	1,11	0,19
12,89	8,83	6,17	1,06	0,94	0,50	0,02	0,31	0,38	1,23	1,30	0,33
12,11	10,94	12,94	4,50	1,28	1,61	0,07	0,18	0,21	0,19	0,98	0,69
7,61	6,00	6,61	0,17	0,00	0,28	0,15	0,38	0,77	1,73		1,73
2,56	2,83	3,33	1,50	1,94	2,06	0,21	0,10	0,23	0,11	0,57	0,25
3,61	4,50	4,17	0,39	0,56	0,61	0,14	0,50	0,28	0,89	1,73	0,42
4,28	2,39	1,72	0,22	0,00	0,11	0,52	0,61	0,87	1,15		1,73
4,06	1,78	0,61	0,00	0,44	0,00	0,35	0,68	1,73		1,15	
8,56	5,33	2,11	1,94	0,83	1,33	0,12	0,25	0,69	0,47	1,11	0,43
8,56	6,11	0,67	2,22	0,39	0,72	0,03	0,63	1,73	1,05	0,89	0,93
8,78	7,39	1,22	1,78	0,00	0,83	0,15	0,12	0,75	0,38		0,87
2,50	1,56	1,78	0,33	0,00	0,06	0,13	0,51	0,20	0,50		1,73
9,3	7,5	6,3	2,6	1,7	2,0	0,16	0,43	0,57	0,62	1,00	0,75

* Røde ruter for beregning av avvik skyldes mangel på verdier for beregning.

B 1-4 Standardavvik for hver målebil

Cargoscan laser					
P12		VTI		P15	
STD	VAR	STD	VAR	STD	VAR
0,38	0,15				
		0,67	0,45	0,48	0,23
0,57	0,32	1,68	2,82	1,34	1,78
1,29	1,68	5,40	29,15	2,59	6,69
1,49	2,23	4,00	16,01	1,76	3,08
0,73	0,53	0,25	0,06	0,29	0,08
		0,10	0,01	0,17	0,03
0,58	0,33	1,40	1,95	0,50	0,25
0,67	0,45	3,75	14,06	0,96	0,93
1,29	1,68	1,23	1,51	0,17	0,03
0,87	0,75	1,25	1,56	1,11	1,23
0,29	0,08			0,48	0,23
0,17	0,03	1,11	1,23	0,51	0,26
0,35	0,12	0,96	0,93	0,25	0,06
0,25	0,06			0,19	0,04
		0,51	0,26		
0,92	0,84	0,93	0,86	0,58	0,33
2,34	5,48	0,35	0,12	0,67	0,45
0,67	0,45			0,73	0,53
0,17	0,03			0,10	0,01
0,95	0,90	2,18	4,73	0,95	0,90

STD^2 0,95 STD^2 2,2 STD^2 0,95

ZF-laser					
P16		P14		P09	
STD	VAR	STD	VAR	STD	VAR
1,01	1,03	0,19	0,04	0,35	0,12
1,17	1,36	3,52	12,40	4,00	16,03
0,39	0,15	2,49	6,18	1,34	1,78
2,09	4,36	0,48	0,23	1,20	1,44
1,02	1,04	2,02	4,06	5,71	32,62
2,08	4,34	2,24	5,01	3,62	13,12
0,35	0,12	0,86	0,73	2,59	6,70
1,17	1,37	6,11	37,34	4,12	16,95
1,13	1,29	2,75	7,57	4,76	22,70
0,25	0,06	2,74	7,53	2,35	5,53
0,79	0,62	2,02	4,06	2,78	7,70
1,13	1,29	2,31	5,33	5,06	25,59
0,54	0,29	0,29	0,08	0,76	0,58
0,51	0,26	2,25	5,08	1,15	1,33
2,22	4,93	1,46	2,12	1,49	2,23
1,42	2,01	1,21	1,45	1,06	1,12
1,00	1,01	1,33	1,78	1,46	2,12
0,25	0,06	3,85	14,84	1,15	1,33
1,27	1,62	0,86	0,73	0,92	0,84
0,33	0,11	0,79	0,62	0,35	0,12
1,17	1,37	2,42	5,86	2,83	8,00

STD^2 1,2 STD^2 2,4 STD^2 2,8

B 1-5 Totalt avvik for alle målebiler med ZF og Cargoscan

Avvik for ZF				Avvik for Cargoscan			
Snitt alle målebiler ZF	Absolutt STD ZF	Absolutt VAR ZF	Relativt STD ZF	Snitt alle målebiler	Absolutt STD	Absolutt VAR	Relativt STD
1,00	0,92	0,85	0,92	0,07	0,22	0,05	3,00
5,85	3,26	10,63	0,56	0,22	0,45	0,20	2,02
10,74	1,65	2,74	0,15	5,39	1,14	1,29	0,21
18,54	1,82	3,30	0,10	7,44	3,58	12,80	0,48
19,46	4,02	16,19	0,21	9,83	3,46	11,97	0,35
6,80	2,69	7,26	0,40	3,02	2,01	4,06	0,67
4,96	1,91	3,64	0,38	0,07	0,12	0,01	1,63
11,00	4,38	19,17	0,40	1,74	1,09	1,18	0,62
17,33	6,14	37,67	0,35	4,57	2,17	4,69	0,47
9,30	3,45	11,87	0,37	0,83	0,93	0,87	1,12
12,00	1,96	3,85	0,16	2,46	1,80	3,24	0,73
6,74	2,92	8,55	0,43	0,15	0,31	0,09	2,06
2,91	0,60	0,35	0,20	1,83	0,67	0,44	0,36
4,09	1,35	1,82	0,33	0,52	0,54	0,29	1,03
2,80	1,91	3,64	0,68	0,11	0,19	0,03	1,68
2,15	1,86	3,45	0,86	0,15	0,34	0,11	2,28
5,33	3,00	9,01	0,56	1,37	0,86	0,74	0,63
5,11	4,04	16,29	0,79	1,11	1,49	2,23	1,34
5,80	3,60	12,93	0,62	0,87	0,92	0,84	1,05
1,94	0,63	0,40	0,32	0,13	0,18	0,03	1,41
7,69	2,95	8,68	0,44	2,10	1,50	2,26	1,16
	varians^2	2,95			varians^2	1,50	

B 1-6 Oppsummering av resultater for alle målebiler

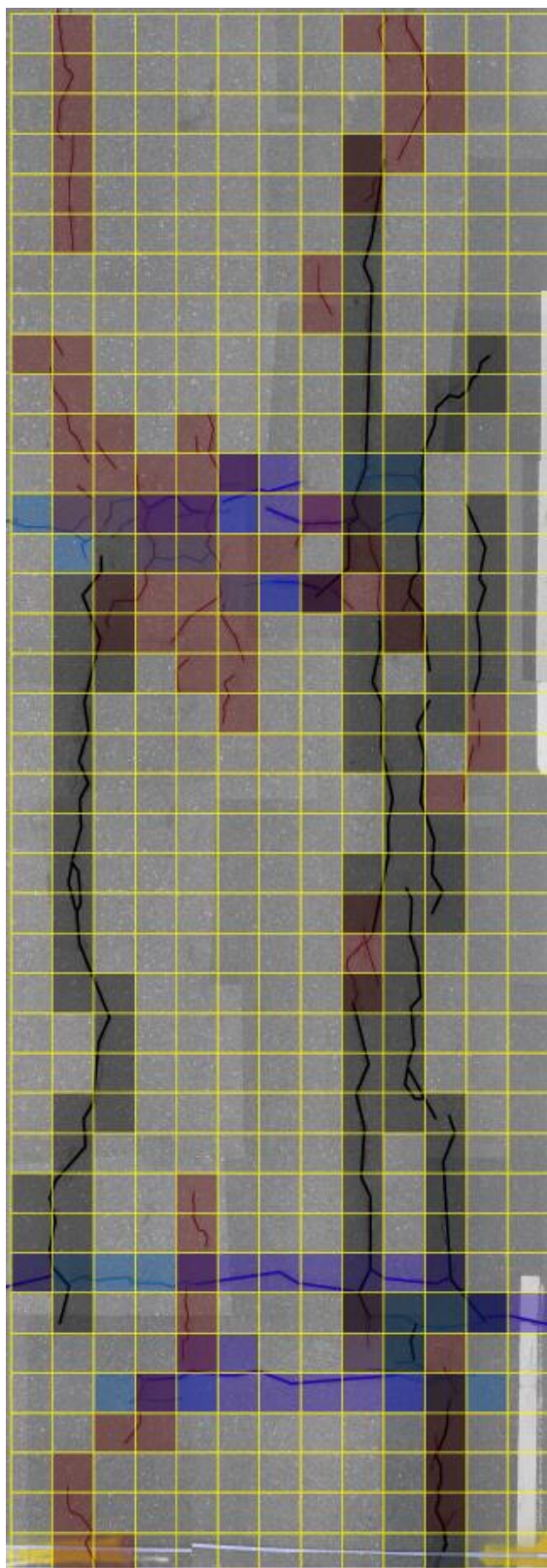
Snitt for	Gjennomsnitt [sprekkarealgrad]	Absolutt STD [sprekkarealgrad]	Relativt STD
P16 - ZF	9,28	1,17	12,6
P14 - ZF	7,46	2,42	32,5
P09 - ZF	6,34	2,83	44,6
P12 - Cargoscan	2,60	0,95	36,4
VTI - Cargoscan	1,71	2,18	127,3
P15 - Cargoscan	1,98	0,95	48,1
Biler med Cargoscan	2,10	1,50	71,7
Biler med ZF	7,69	2,95	38,3
Biler med Cargoscan	2,10	1,50	0,72
Biler med ZF	7,69	2,95	0,38

Bilag 2 – Analyse av flate på 8 meter

I det følgende finnes data brukt i analysen av flaten på 8 meter. Sprekker i referanseflaten er identifisert manuelt, mens sprekker i fra de 4 måleseriene er identifisert med utgangspunkt i flater fra skanningene som viser hvilke sprekker som er automatisk identifisert. Flatene fra skanningene er hentet fra programvaren ViaPPS Desktop.

Et rødt rektangel rundt flaten viser området som brukes ved automatisk beregning av sprekkarealgrad i programvaren ViaPPS Desktop, og ble benyttet til korreksjon ved sammenligning av automatiske og manuelle beregninger.

B 2-1 Manuell beregning av areal med sprekker for referanseflate



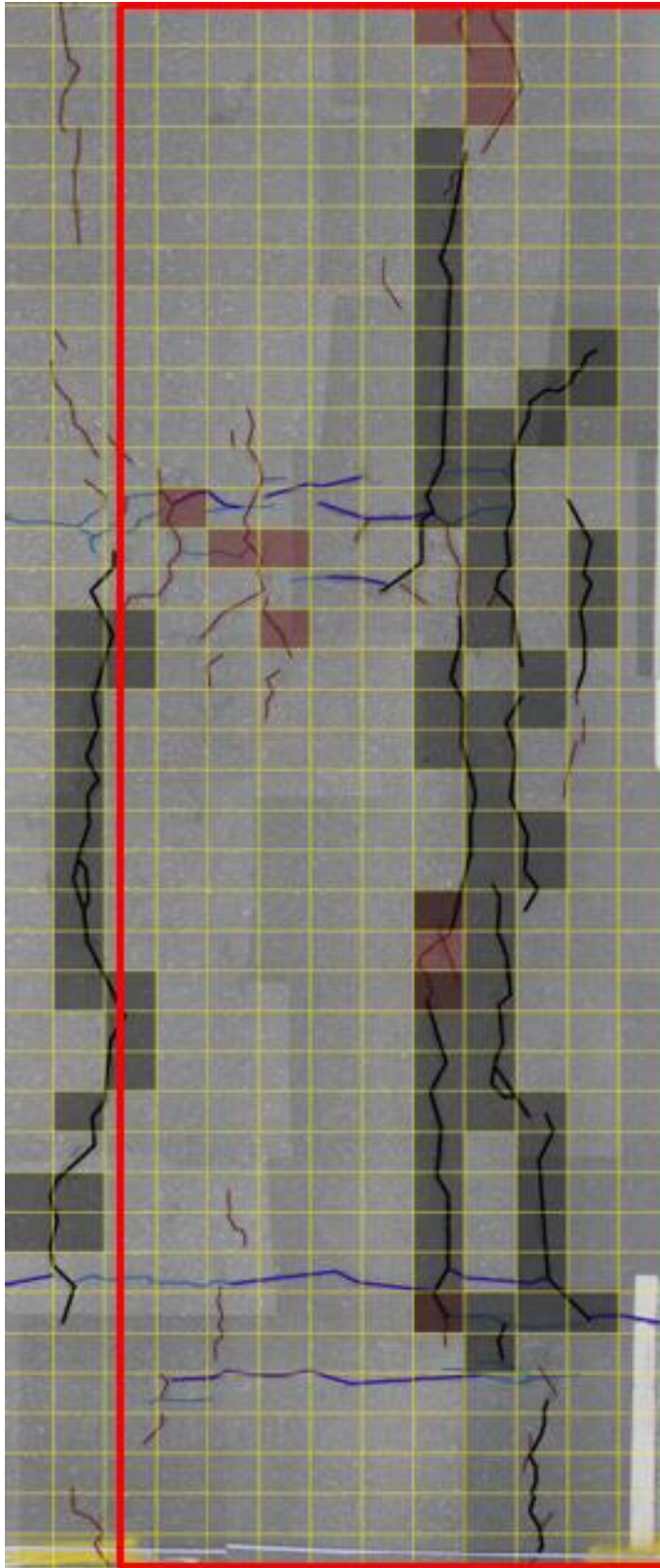
DLA	GLA	DTV	GTV	TOT	ALA	ATV
0	3	0	0	3	3	0
0	3	0	0	3	3	0
0	3	0	0	3	3	0
1	3	0	0	3	3	0
1	2	0	0	2	2	0
1	1	0	0	2	2	0
1	1	0	0	2	2	0
1	1	0	0	2	2	0
2	2	0	0	4	4	0
3	1	0	0	4	4	0
3	3	0	0	6	6	0
2	5	2	3	8	6	4
3	6	5	8	11	8	10
4	5	0	3	9	8	3
5	7	2	2	10	9	3
6	5	0	0	9	9	0
5	2	0	0	7	7	0
4	2	0	0	6	6	0
3	1	0	0	4	4	0
2	1	0	0	3	3	0
3	0	0	0	3	3	0
4	0	0	0	4	4	0
4	1	0	0	4	4	0
2	1	0	0	3	3	0
4	1	0	0	4	4	0
3	0	0	0	3	3	0
3	0	0	0	3	3	0
5	0	0	0	5	5	0
3	0	0	0	3	3	0
4	1	0	0	5	5	0
4	1	0	0	5	5	0
4	1	8	4	11	5	11
5	2	2	4	7	6	5
1	3	2	2	5	4	4
1	2	7	6	10	2	10
1	3	0	0	3	3	0
1	2	0	0	2	2	0
1	2	0	0	2	2	0
1	2	0	0	3	3	0

DLA = Dype Langsgående, GLA = Grunne Langsgående, DTV = Dype Tversgående, GTV = Grunne tversgående, TOT = Totalt sprekkeareal, ALA = Alle Langsgående, ATV = Alle Tversgående

B 2-2 Beregnet sprekkarealgrad for referanseflate

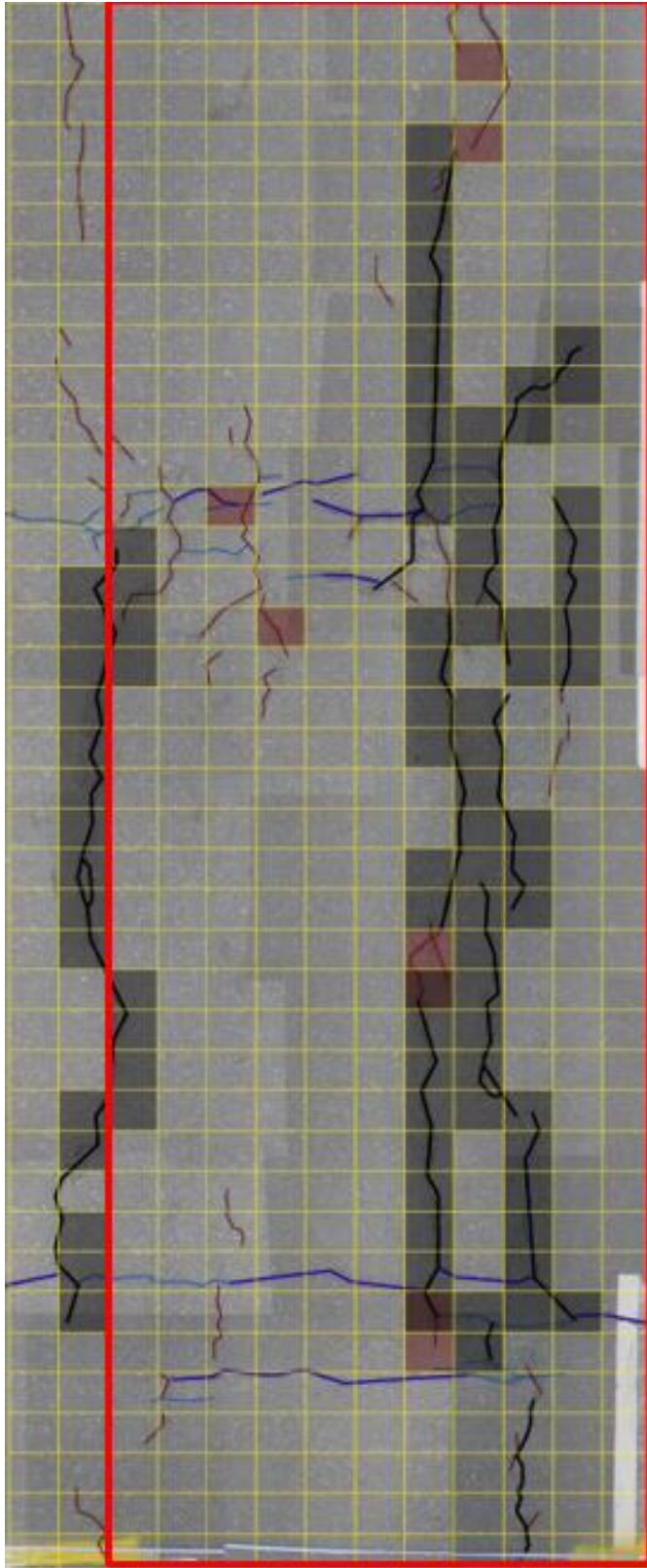
Dype langsgående	Grunne langsgående	Alle Langsående	Alle Tversgående	Alle sprekker
0,00	25,00	25,00	0,00	25,00
0,00	25,00	25,00	0,00	25,00
0,00	25,00	25,00	0,00	25,00
8,33	25,00	25,00	0,00	25,00
8,33	16,67	16,67	0,00	16,67
8,33	8,33	16,67	0,00	16,67
8,33	8,33	16,67	0,00	16,67
8,33	8,33	16,67	0,00	16,67
16,67	16,67	33,33	0,00	33,33
25,00	8,33	33,33	0,00	33,33
25,00	25,00	50,00	0,00	50,00
16,67	41,67	50,00	33,33	66,67
25,00	50,00	66,67	83,33	91,67
33,33	41,67	66,67	25,00	75,00
41,67	58,33	75,00	25,00	83,33
50,00	41,67	75,00	0,00	75,00
41,67	16,67	58,33	0,00	58,33
33,33	16,67	50,00	0,00	50,00
25,00	8,33	33,33	0,00	33,33
16,67	8,33	25,00	0,00	25,00
25,00	0,00	25,00	0,00	25,00
33,33	0,00	33,33	0,00	33,33
33,33	8,33	33,33	0,00	33,33
16,67	8,33	25,00	0,00	25,00
33,33	8,33	33,33	0,00	33,33
25,00	0,00	25,00	0,00	25,00
25,00	0,00	25,00	0,00	25,00
41,67	0,00	41,67	0,00	41,67
25,00	0,00	25,00	0,00	25,00
33,33	8,33	41,67	0,00	41,67
33,33	8,33	41,67	0,00	41,67
33,33	8,33	41,67	91,67	91,67
41,67	16,67	50,00	41,67	58,33
8,33	25,00	33,33	33,33	41,67
8,33	16,67	16,67	83,33	83,33
8,33	25,00	25,00	0,00	25,00
8,33	16,67	16,67	0,00	16,67
8,33	16,67	16,67	0,00	16,67
8,33	16,67	25,00	0,00	25,00
21,58	16,88	34,83	10,68	39,74

B 2-3 Manuell beregning av areal med sprekker for P14 – måleserie 3



Antall dype	Antall grunne	Totalt antall
0	2	2
0	1	1
0	1	1
1	0	1
1	0	1
1	0	1
1	0	1
1	0	1
1	0	1
2	0	2
3	0	3
3	0	3
2	0	2
2	1	3
2	2	4
2	0	2
3	1	4
3	0	3
3	0	3
2	0	2
1	0	1
2	0	2
2	0	2
2	1	2
1	1	2
3	1	3
3	0	3
3	0	3
3	0	3
2	0	2
2	0	2
2	0	2
2	0	2
4	1	4
1	0	1
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0

B 2-4 Manuell beregning av areal med sprekker for P16 – måleserie 2



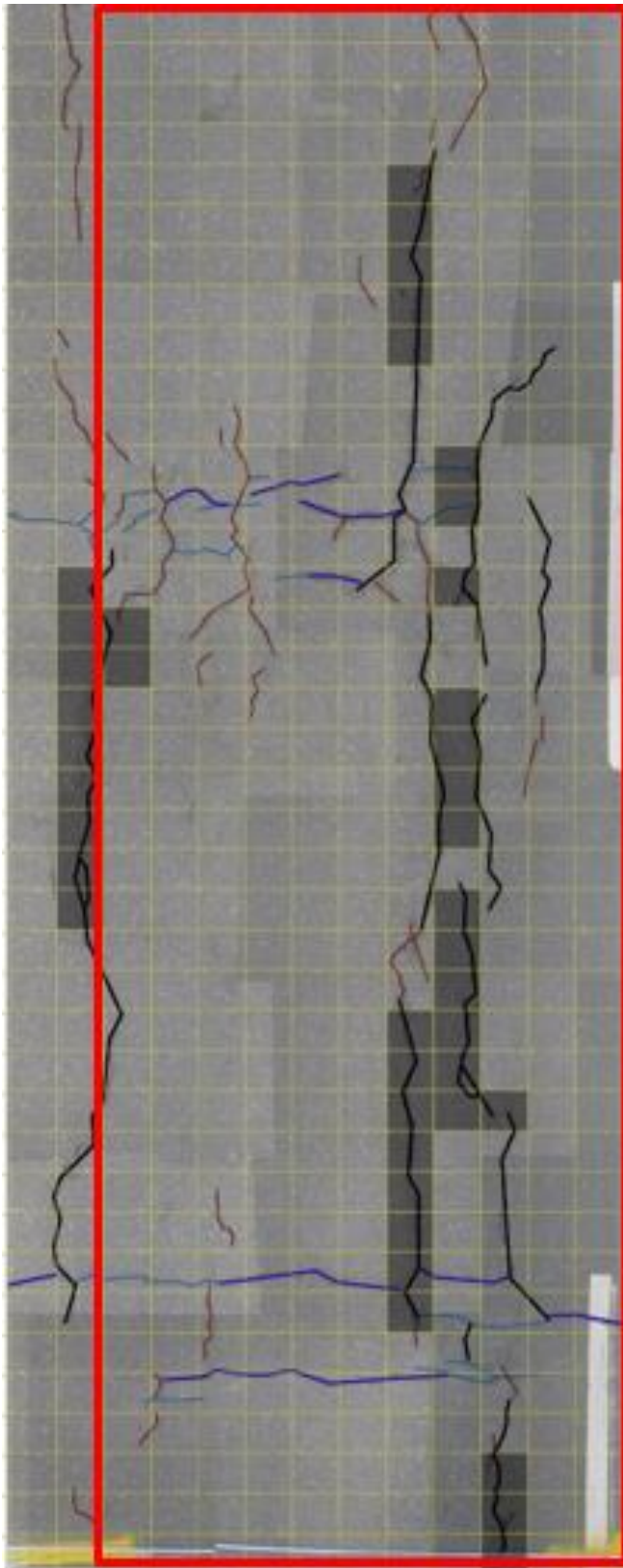
Antall dype	Antall grunne	Totalt antall
0	0	0
0	1	1
0	0	0
1	1	2
1	0	1
1	0	1
1	0	1
1	0	1
2	0	2
3	0	3
3	0	3
2	0	2
3	1	4
3	0	3
3	0	3
5	1	6
4	0	4
2	0	2
2	0	2
1	0	1
2	0	2
3	0	3
3	0	3
1	1	2
3	1	3
3	0	3
3	0	3
4	0	4
2	0	2
2	0	2
2	0	2
2	0	2
4	1	4
1	1	2
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0

B 2-5 Beregnet sprekkarealgrad for P12 og P14

Sprekkarealgrad P 14_3		
Langsgående dybe	Langsgående grunne	Langsgående total
0,0	16,7	16,7
0,0	8,3	8,3
0,0	8,3	8,3
8,3	0,0	8,3
8,3	0,0	8,3
8,3	0,0	8,3
8,3	0,0	8,3
8,3	0,0	8,3
16,7	0,0	16,7
25,0	0,0	25,0
25,0	0,0	25,0
16,7	0,0	16,7
16,7	8,3	25,0
16,7	16,7	33,3
16,7	0,0	16,7
25,0	8,3	33,3
25,0	0,0	25,0
25,0	0,0	25,0
16,7	0,0	16,7
8,3	0,0	8,3
16,7	0,0	16,7
16,7	0,0	16,7
16,7	8,3	16,7
8,3	8,3	16,7
25,0	8,3	25,0
25,0	0,0	25,0
25,0	0,0	25,0
25,0	0,0	25,0
16,7	0,0	16,7
16,7	0,0	16,7
16,7	0,0	16,7
16,7	0,0	16,7
33,3	8,3	33,3
8,3	0,0	8,3
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
13,89	2,56	15,8

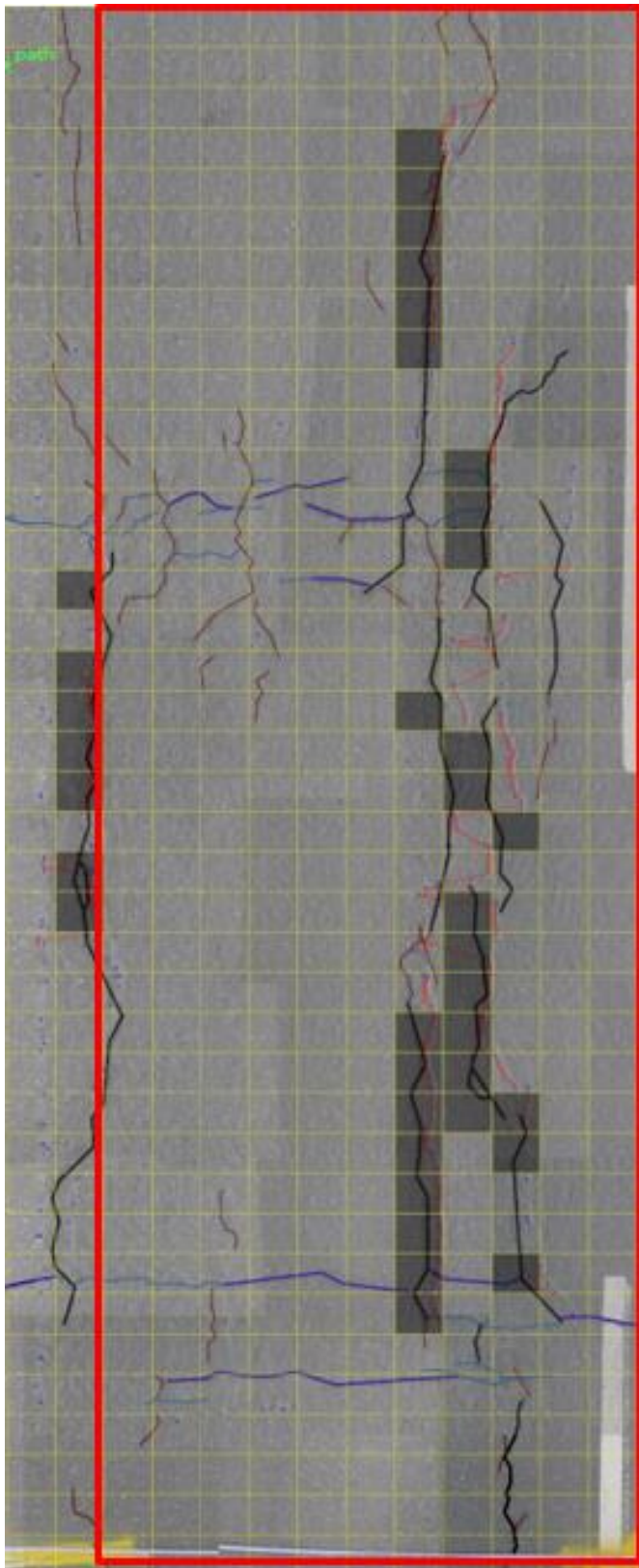
Sprekkarealgrad P16_2		
Langsgående dybe	Langsgående grunne	Langsgående total
0,0	0,0	0,0
0,0	8,3	8,3
0,0	0,0	0,0
8,3	8,3	16,7
8,3	0,0	8,3
8,3	0,0	8,3
8,3	0,0	8,3
16,7	0,0	16,7
25,0	0,0	25,0
25,0	0,0	25,0
16,7	0,0	16,7
25,0	8,3	33,3
25,0	0,0	25,0
25,0	0,0	25,0
41,7	8,3	50,0
33,3	0,0	33,3
16,7	0,0	16,7
16,7	0,0	16,7
8,3	0,0	8,3
16,7	0,0	16,7
25,0	0,0	25,0
25,0	0,0	25,0
8,3	8,3	16,7
25,0	8,3	25,0
25,0	0,0	25,0
25,0	0,0	25,0
33,3	0,0	33,3
16,7	0,0	16,7
16,7	0,0	16,7
16,7	0,0	16,7
16,7	0,0	16,7
33,3	8,3	33,3
8,3	8,3	16,7
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
15,6	1,7	16,9

B 2-6 Manuell beregning av areal med sprekker og sprekkarealgrad for P12



Totalt antall	Sprekkarealgrad
0	0
0	0,00
0	0,00
0	0,00
1	8,33
1	8,33
1	8,33
1	8,33
1	8,33
0	0,00
0	0,00
1	8,33
1	8,33
0	0,00
1	8,33
1	8,33
1	8,33
1	8,33
1	8,33
1	8,33
1	8,33
1	8,33
1	8,33
0	0,00
1	8,33
1	8,33
1	16,67
2	16,67
2	25,00
3	8,33
1	8,33
1	8,33
1	8,33
1	8,33
1	8,33
1	0,00
0	0,00
0	0,00
0	8,33
1	8,33
1	8,33
1	6,84

B 2-7 Manuell beregning av areal med sprekker og sprekkarealgrad for P15



Totalt antall	Sprekkarealgrad
0	0,00
0	0,00
0	0,00
0	8,33
1	8,33
1	8,33
1	8,33
1	8,33
1	8,33
0	0,00
0	0,00
1	8,33
1	8,33
0	8,33
1	0,00
1	0,00
1	0,00
1	8,33
1	8,33
1	8,33
1	8,33
1	0,00
0	8,33
1	8,33
1	8,33
1	16,67
2	16,67
2	25,00
3	16,67
1	8,33
1	8,33
1	16,67
1	8,33
1	0,00
0	0,00
0	0,00
0	0,00
1	0,00
1	0,00
1	6,41

B 2-8 Sammenligning av manuell og automatisk sprekkarealgrad for alle målinger

P 14_3 - ZF	
Auto	Manuell
15,0	0,0
15,0	0,0
15,0	0,0
15,0	0,0
13,3	0,0
13,3	8,3
13,3	33,3
13,3	16,7
20,0	16,7
20,0	16,7
20,0	16,7
20,0	25,0
10,0	25,0
10,0	25,0
10,0	25,0
10,0	16,7
21,7	16,7
21,7	16,7
21,7	16,7
21,7	8,3
18,3	16,7
18,3	25,0
18,3	25,0
18,3	33,3
18,3	16,7
18,3	33,3
18,3	25,0
18,3	16,7
16,7	25,0
16,7	25,0
16,7	16,7
16,7	8,3
21,7	8,3
21,6	8,3
21,7	8,3
21,7	8,3
18,3	8,3
18,3	8,3
18,3	16,7
17,3	15,8

P 16_2 - ZF	
Auto	Manuell
8,3	0,0
8,3	0,0
8,3	0,0
8,3	0,0
15,0	0,0
15,0	16,7
15,0	33,3
15,0	16,7
21,7	16,7
21,7	16,7
21,7	16,7
21,7	33,3
16,7	25,0
16,7	25,0
16,7	25,0
16,7	16,7
20,0	25,0
20,0	25,0
20,0	16,7
20,0	8,3
26,7	16,7
26,7	16,7
26,7	33,3
26,7	50,0
28,3	25,0
28,3	25,0
28,3	33,3
28,3	16,7
18,3	25,0
18,3	25,0
18,3	16,7
18,3	8,3
16,7	8,3
16,7	8,3
16,7	8,3
16,7	8,3
16,7	16,7
21,7	0,0
21,7	8,3
21,7	0,0
21,7	0,0
19,3	16,9

P 12_1	
Auto	Manuell
12,5	8,3
12,5	8,3
12,5	8,3
12,5	0,0
11,7	0,0
11,7	0,0
11,7	8,3
11,7	8,3
10,0	8,3
10,0	8,3
10,0	8,3
10,0	25,0
11,7	16,7
11,7	16,7
11,7	8,3
11,7	8,3
1,7	8,3
1,7	0,0
1,7	8,3
1,7	8,3
6,7	8,3
6,7	8,3
6,7	8,3
6,7	8,3
6,7	8,3
15,0	8,3
15,0	0,0
15,0	8,3
15,0	8,3
10,0	0,0
10,0	0,0
10,0	8,3
10,0	8,3
6,7	8,3
6,7	8,3
6,7	8,3
6,7	0,0
6,7	0,0
6,7	0,0
6,7	0,0
9,3	6,8

P 15_3	
Auto	Manuell
10,0	0,0
10,0	0,0
10,0	0,0
10,0	0,0
11,7	0,0
11,7	0,0
11,7	8,3
11,7	16,7
11,7	8,3
11,7	8,3
11,7	16,7
11,7	25,0
3,3	16,7
3,3	16,7
3,3	8,3
3,3	8,3
6,7	8,3
6,7	0,0
6,7	8,3
6,7	8,3
16,7	8,3
16,7	8,3
16,7	0,0
16,7	0,0
18,3	0,0
18,3	8,3
18,3	8,3
18,3	8,3
13,3	0,0
13,3	0,0
13,3	8,3
13,3	8,3
3,3	8,3
8,3	8,3
8,3	8,3
8,3	0,0
8,3	0,0
8,3	0,0
10,8	6,4