

Homogenitetsmålinger av nylagte asfaltdekker ved laserskanning

Magnus Bremdal Ekker

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2018

Hovedveileder: Alex Klein-Paste, IBM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Oppgavens tittel:	Dato: 11.06.18		
Homogenitetsmålinger av nylagte asfaltdekker ved laserskanning	Antall sider (inkl. bilag): 73		
	Masteroppgave	x	Prosjektoppgave
Navn: Magnus Bremdal Ekker			
Faglærer/veileder: Alex Klein-Paste, førsteamanuensis ved IBM, NTNU.			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Leif Jørgen Bakløkk og Bjørn Hoven, begge ved Vegdirektoratet.			

Ekstrakt:

Homogenitet er en viktig egenskap ved nylagte asfaltdekker. I dag gjøres det kun en subjektiv vurdering av homogenitet, men det er ønskelig å etablere et sett med objektive og målbare krav. Det er utviklet en statistisk metode som skal vurdere dekkene objektivt og effektivt. Metoden tar i bruk data fra laserskannerne til Statens vegvesen målebiler. Dekket deles inn i celler, og standardavviket til målepunktene i hver celle angis som teksturverdi. Resultatet framstilles i et flatekart, der hver celle farges etter teksturverdi. Deretter kan homogeniteten vurderes ved å se på variasjonen i tekstur.

Det har vært usikkerhet rundt nøyaktigheten til målesystemene og hvorvidt resultatene samsvarer med observasjoner i felt. Oppgaven vurderer nøyaktigheten gjennom en kvantitativ analyse av måleserier i 30 km/t og 60 km/t fra fire målebiler. I tillegg gjøres en casestudie av to strekninger, der samsvaret mellom måleresultater og observasjoner gjort i felt vurderes.

Resultatene viser at nøyaktigheten er god, med en måleusikkerhet på $\pm 2,56\%$ på Ska 11 og $\pm 2,71\%$ på Ab 11 i 60 km/t for målesystemet med best repeterbarhet. Måleusikkerheten økte omtrent 30 % når målefarten ble økt fra 30 km/t til 60 km/t, men likevel er måleusikkerheten så liten at det anbefales at målingene gjøres i 60 km/t.

Reproduserbarheten er også god, og med en enkel kalibrering vil målesystemene produsere svært like resultater. Casestudien viser at 74 % av alle avvik ble identifiserte. Avvik som ikke ble identifiserte hadde i hovedsak små arealer, mens alle avvik med store arealer ble identifisert. Noen tilfeller av falsk positive avvik må lukes ut før målemetoden kan brukes overfor entreprenør. Det kan gjøres ved å tilpasse grenseverdier for farger i flatekartet. Det anbefales å velge 3,5 m som standard målebredde for å inkludere mest mulig av kjørefelt og vegskulder.

Oppgaven konkluderer med at målemetoden har potensiale, men at det gjenstår en del arbeid før implementering.

Stikkord:

- | |
|------------------|
| 1. Homogenitet |
| 2. Tekstur |
| 3. Asfaltdekker |
| 4. Laserskanning |

Magnus Bremdal Ekker

(Magnus Bremdal Ekker)

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet våren 2018 ved Institutt for bygg- og miljøteknikk, NTNU. Den utgjør 30 studiepoeng, og siste semester av masterstudiet Bygg- og miljøteknikk.

Temaet for oppgaven er en ny målemetode for å vurdere homogeniteten til nylagte asfaltdekker. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Vegdirektoratet, faggruppe vegteknologi. Jeg vil takke veilederen min, førsteamanuensis Alex Klein-Paste, for faglige diskusjoner. Veiledningen har gitt oppgaven et tydelig fokus og en bedre struktur. Hos Vegdirektoratet har Leif Jørgen Bakløkk og Bjørn Hoven vært eksterne veiledere og bistått i det daglige arbeidet med gode samtaler og tips. Jeg vil takke dem og resten av faggruppa for et hyggelig vårsemester.

Takk til alle som har gjort studietida så minnerik. Til slutt vil jeg takke familien min for god støtte og hjelp i studietida, og spesielt i siste fase av arbeidet med denne oppgaven.

Trondheim 11.06.2018



Magnus Bremdal Ekker

Sammendrag

Norske myndigheter har fokus på samferdsel, og både nye prosjekter og vedlikehold av eksisterende infrastruktur får økte bevilgninger. En betydelig andel av pengene går til nye asfaltdekker. For å sikre at nye asfaltdekker har tilfredsstillende kvalitet trenger Statens vegvesen effektive metoder for kontroll. En av egenskapene som skal kontrolleres er homogenitet. I dag gjøres det en kvalitativ vurdering, men målet er å sette kvantitative krav til homogeniteten.

Det er utviklet en statistisk metode som tar i bruk data fra ViaPPS-bilene som Statens vegvesen bruker tilstandsovervåking av vegnettet. Laserskannere montert bak på målebilene måler asfaltdekket. I programmet ViaPPS Dekstop deles dekket inn i celler. Standardavviket til målepunktene i en celle defineres som teksturverdien. Variasjon i tekstur brukes som et mål på homogenitet. Måleresultatene vurderes i flatekart i ViaPPS Desktop, der hver celle farges ut fra teksturverdien. Målemetoden er fortsatt under utvikling, og det har vært usikkerhet rundt nøyaktigheten til målesystemene og hvorvidt måleresultatene samsvarer med observasjoner gjort i felt.

Tre strekninger utgjør datagrunnlaget i oppgaven: Et inhomogent Ska 11 dekke, et homogent Ab 11 dekke, og en teststrekning med ulike massetyper. Fire målebiler gjennomførte målinger i 30 km/t og 60 km/t, totalt 68 måleserier. I tillegg ble det tatt bilder av dekkene.

Analysen av nøyaktigheten til målesystemene viser at både repeterbarheten og reproduserbarheten er god. Måleusikkerheten er $\pm 2,56$ % på Ska 11 og $\pm 2,71$ % på Ab 11 i 60 km/t for målesystemet med best repeterbarhet. Tre av fire målesystemer har tilfredsstillende reproduserbarhet og kan enkelt kalibreres for å produsere svært like måleresultater. Det siste målesystemet ble i etterkant sendt til reparasjon på grunn av feil på laserskanneren. Måleusikkerheten økte omtrent 30 % når målefarten ble økt fra 30 km/t til 60 km/t. Likevel er måleusikkerheten så liten at det anbefales at målingene gjøres i 60 km/t.

En målebredde på 3,5 m anbefales som standard. Da vil det meste av kjørefeltet og vegskulderen inkluderes. Det er viktig å ta hensyn til lave teksturverdier som følge av at vegoppmerkingen også blir med i måleresultatet.

Resultatene viser at det er mulig å skille mellom ulike dekketyper. Skjelettasfalt er åpent gradert, og har derfor grovere tekstur enn asfaltbetong. Dette gjenspeiles i måleresultatene. Dessuten er det mulig å identifisere områder som har for fin eller grov tekstur. En casestudie

av dekkene med Ska 11 og Ab 11 identifiserte 74 % av avvikene. De avvikene som ikke ble identifiserte hadde i hovedsak små arealer. Dessuten ble det identifisert noen avvik som ikke var reelle. Disse må lukes ut før målemetoden kan brukes overfor entreprenør. Det bør kunne gjøres ved å endre grenseverdier for farger i ViaPPS Desktop. Tilfredsstillende teksturverdi er anslått til å være fra 1,27 mm til 2,27 mm for Ska 11, og 1,06 mm til 1,81 mm for Ab 11.

Til sammen viser resultatene at målemetoden har potensiale. Det gjenstår likevel en del arbeid med blant annet tilpasning av programvare og kalibrering av laserskannere, men på sikt vil målemetoden kunne brukes til kontroll av nylagte asfaltdekker.

Abstract

The Norwegian government is focusing on roads and transportation. Both new and existing infrastructure are receiving increased funding. A substantial amount of the money is spent on new asphalt pavements. The Norwegian Public Roads Administration needs efficient ways of assessing pavement quality. Homogeneity is one of the attributes that should be assessed. Currently, only a qualitative assessment is performed, but the goal is to define quantitative requirements for homogeneity.

A statistical method has been developed, which uses data from ViaPPS vans. Laser scanners mounted in the rear of the vans measure the pavement. Then, the pavement is divided into cells, using the program ViaPPS Desktop. The standard deviation of the measuring points contained by a cell is defined as the texture value. Differences in texture is a measurement of homogeneity. The results are assessed using a surface map in ViaPPS Desktop, where each cell is colored based on texture value. The accuracy of the measuring systems and the correlation between results and field observations have been questioned, as the method is still in development.

Three road sections are evaluated in this thesis: An inhomogeneous Sma 11 pavement, a homogeneous Ac 11 pavement, and a test track containing different asphalt mixes. Four ViaPPS vans measured in both 30 km/h and 60 km/h, with 68 measuring series in total. Pictures of the pavements were also taken.

The analysis shows that the measuring systems have acceptable repeatability and reproducibility. The measurement uncertainty is $\pm 2.56\%$ on Sma 11 and $\pm 2.71\%$ on Ac 11 with measuring speed 60 km/h for best performing measuring system. Three measuring systems have acceptable reproducibility, and should only need a simple calibration to produce very similar results. The fourth measuring system had a flaw, and was later sent to maintenance. The measurement uncertainty increases about 30 % when the measuring speed increases from 30 km/h to 60 km/h. A measuring speed of 60 km/h is advised.

A standard measuring width of 3.5 m is advised. This covers the lane as well as most of the shoulder. One needs to consider the implications of low texture values due to road markings.

The results show that it is possible to differentiate between asphalt mixes. Stone mastic asphalt is open graded, and thus has a coarser texture than asphalt concrete. This is reflected in the measuring results. It is possible to identify areas with coarse or fine texture. A case

study of the Sma 11 and Ac 11 pavements identified 74 % of the texture deviations. Some deviations with small areas remained unidentifiable, while all big area deviations were all identified. Some false positive deviations were also identified. False positives need to be eliminated to gain approval from contractors. Tweaking the color limits for surface maps in ViaPPS Desktop should solve this issue. Acceptable texture values are estimated to be between 1.27 mm and 2.27 mm for Sma 11, and between 1.06 mm and 1.81 mm for Ac 11.

The measurement method has potential, but some further development remains. Adjusting the software and calibrating the laser scanners are important steps towards implementation.

Innholdsfortegnelse

Forord	II
Sammendrag	IV
Abstract	VI
Innholdsfortegnelse	VIII
Figurliste.....	X
Tabelliste	XII
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Forskningsspørsmål	2
1.3 Avgrensninger	3
1.4 Definisjon av begreper	3
2 Teori	5
2.1 Asfalt.....	5
2.2 Tekstur og homogenitet	6
2.3 Håndbok V261 – Skadekatalog for bituminøse vegdekker	7
2.4 Mean Texture Depth	8
2.5 Mean Profile Depth.....	8
2.6 ViaTechs statistiske metode og homogenitetsmodul	9
2.7 ViaPPS	11
2.8 Kunnskapshull.....	12
3 Metode.....	14
3.1 Feltarbeid	14
3.2 Kvantitativ analyse.....	15
3.2.1 Repeterbarhet.....	15
3.2.2 Reproduserbarhet.....	16

3.3 Kvalitativ analyse.....	16
4 Datainnsamling.....	18
4.1 Om strekningene	18
4.1.1 Gardermoen	18
4.1.2 Riksveg 4	19
4.1.3 Riksveg 35	19
4.2 Gjennomføring av laserskanning	19
4.3 Gjennomføring av visuell kontroll og bildetaking.....	20
5 Resultater.....	22
5.1 Resultater fra Gardermoen	22
5.2 Repeterbarhet	23
5.3 Reproduserbarhet	32
5.4 Bredde	37
5.5 Sammenligning av bilder og flatekart.....	41
6 Diskusjon.....	46
6.1 Skille mellom ulike dekketyper	46
6.2 Fart	46
6.3 Repeterbarhet	47
6.4 Reproduserbarhet	48
6.5 Bredde	50
6.6 Sammenligning av bilder og flatekart.....	52
6.7 Svakheter ved programvaren	54
7 Konklusjon	56
8 Videre arbeid	58
Litteraturliste	59

Figurliste

Figur 1: Kornkurver for Ab 11 og Ska 11	7
Figur 2: Eksempel på flatekart, med tilhørende kurver for teksturverdier og sektordiagrammer.	10
Figur 3: Eksempel på teksturverdikurver fra flere måleserier.	11
Figur 4: Dataflyt for ViaPPS laserdata (Statens vegvesen, 2015b).	12
Figur 5: Kart over de tre strekningenes beliggenhet.	18
Figur 6: Eksempel på bilder tatt med VegViseren	21
Figur 7: P05 i 60 km/t på Gardermoen.	22
Figur 8: P03, P05 og P09 i 60 km/t på Gardermoen.	22
Figur 9: Rv4 P03 30 km/t måleserier 1-2-3.	23
Figur 10: Fordeling av relativt avvik for riksveg 4 P03 30 km/t.	24
Figur 11: Rv4 P03 30 km/t måleserie 1.	24
Figur 12: Rv4 P03 30 km/t måleserie 2.	25
Figur 13: Rv4 P03 30 km/t måleserie 3.	25
Figur 14: Rv4 P03 60 km/t måleserier 1-2-3.	26
Figur 15: Fordeling av relativt avvik for riksveg 4 P03 60 km/t	26
Figur 16: Rv4 P03 60 km/t måleserie 1.	27
Figur 17: Rv4 P03 60 km/t måleserie 2.	27
Figur 18: Rv4 P03 60 km/t måleserie 3.	28
Figur 19: Rv4 30 km/t, første måleserie fra alle målebilene.	32
Figur 20: Rv4 60 km/t, første måleserie fra alle målebilene.	32
Figur 21: Rv35 30 km/t, første måleserie fra alle målebilene.	33
Figur 22: Rv35 60 km/t, første måleserie fra alle målebilene.	33
Figur 23: Relativt avvik, 30 km/t langs riksveg 4.	34
Figur 24: Fordeling av relativt avvik for riksveg 4 i 30 km/t.	34
Figur 25: Relativt avvik, 60 km/t langs riksveg 4.	35
Figur 26: Fordeling av relativt avvik for riksveg 4 i 60 km/t.	35
Figur 27: Relativt avvik, 30 km/t langs riksveg 35.	36
Figur 28: Fordeling av relativt avvik for riksveg 35 i 30 km/t.	36
Figur 29: Relativt avvik, 60 km/t langs riksveg 35.	37
Figur 30: Fordeling av relativt avvik for riksveg 35 i 60 km/t.	37
Figur 31: Standardavvik for riksveg 4 med 4 m bredde.	38

Figur 32: Flatekart og standardavvikskurve for celle lengst til høyre (brun) og midterste celle (grønn) for riksveg 4 med 4 m bredde.	38
Figur 33: Standardavvik for riksveg 4 med 3,5 m bredde.	39
Figur 34: Flatekart og standardavvikskurve for celle lengst til høyre (rød) og midterste celle (lys blå) for riksveg 4 med 3,5 m bredde.	39
Figur 35: Standardavvik for riksveg 4 med 3 m bredde.	40
Figur 36: Flatekart og standardavvikskurve for celle lengst til høyre (oransje) og midterste celle (rød) for riksveg 4 med 3 m bredde.	40
Figur 37: Standardavvik for riksveg 4 med 2,5 m bredde.	41
Figur 38: Flatekart og standardavvikskurve for celle lengst til høyre (mørk rød) og midterste celle (lys rød) for riksveg 4 med 3 m bredde.	41
Figur 39: Avvik 37 på riksveg 4. Positivt resultat.	44
Figur 40: Avvik 6 på riksveg 4. Falsk negativt resultat.	45
Figur 41: Avvik 1 og 2 på riksveg 35. Falsk positivt resultat.	45

Tabelliste

Tabell 1: Utvalg av søkeord	5
Tabell 2: Oversikt over massetyper på Gardermoen.....	19
Tabell 3: Typiske filstørrelser for rådatafilene.....	21
Tabell 4: Resultater fra riksveg 4.	29
Tabell 5: Resultater fra riksveg 35.	30
Tabell 6: Oversikt over repeterbarhet.....	31
Tabell 7: Liste over avvik på riksveg 4.	42
Tabell 8: Liste over avvik på riksveg 35.	44
Tabell 9: Forslag til grenseverdier for flatekart.....	54

1 Introduksjon

I dette kapittelet presenteres bakgrunnen for masteroppgaven. Det følger en kort situasjonsbeskrivelse av vegmyndighetenes arbeid og ønsker, som munner ut i en motivasjon for oppgaven. Ut fra motivasjonen formuleres forskningsspørsmål. Til slutt vil avgrensninger og viktige definisjoner bli gjennomgått.

1.1 Bakgrunn

Hvert år bevilges store summer til asfaltlegging. Kvaliteten på de nye asfaltdekkene kan være av varierende kvalitet og det kan være vanskelig for byggherren å kontrollere at alle krav er oppfylt. Statens vegvesen har flere målebiler rundt i regionene som kan bidra til å løse utfordringen. Målebilene er utstyrt med avanserte laserskannere som kan fange opp ujevnheter i asfaltdekket på millimeternivå. Disse brukes i dag aktivt i tilstandsovervåking av vegnettet. Målet er å måle spor og jevnhet på samtlige riks- og fylkesveger hvert år, samt å dokumentere tilstanden med vegbilder.

Gjennom FoU-programmet Varige veger har Vegdirektoratet pekt ut homogenitet som en viktig faktor når det kommer til kvaliteten på vegdekker (Bakløkk, 2017). For å undersøke homogeniteten på vegdekkene, er det gjort forsøk med laserskannerne som vanligvis brukes til å måle spor og jevnhet:

«Det er utviklet en homogenitetsmodul knyttet til ViaPPS-laserskanneren som vi håper kan benyttes til kartlegging av kvaliteten på utførelsen av asfaltdekker. Det må imidlertid jobbes videre med utvikling av dette systemet før det kan tas i bruk ved etterkontroll av ferdig utlagt dekke.» (Bakløkk, 2017, s. 5)

Egenskapen homogenitet tar utgangspunkt i teksturen til asfaltdekket. Ved å bruke statistisk analyse kan man avdekke områder med avvik. Analysen gjennomføres ved å dele inn dekket i celler der gjennomsnittsteksturen angis ut fra målepunktene i cellen. Resultatet framstilles i et flatekart som brukes til visuell kontroll der man kan påvise avvik. På den måten kan man avsløre både blødninger og flater med åpen struktur. Avvikene påvirker levetida og trafiksikkerheten til dekket. På sikt er det ønskelig å bruke målemetoden overfor entreprenør, med ordninger for bonus og trekk avhengig av homogeniteten til dekket.

Hittil har det blitt gjort flere forsøk for å kartlegge nøyaktigheten til måleutstyret og hvorvidt det kan brukes til kontroll av nylagte asfaltdekker. Før man kan ta i bruk teknologien må forskningen komme så langt at man kan svare på spørsmålet «Hvilke krav bør settes til

homogeniteten for å få tilfredsstillende kvalitet?» Motivasjonen til denne masteroppgaven er å bidra et stykke på veien, ved først å se på nøyaktigheten og deretter gjøre en kvalitativ undersøkelse av homogenitet i asfaltdekker.

I oktober 2017 ble det gjennomført en ny datainnsamling med målebilene. Målingene danner grunnlag for en rapport som er skrevet av ViaTech, og utgjør datagrunnlaget i denne masteroppgaven. Resultatet av innsamlingen ble til sammen 68 måleserier på forskjellige dekketyper målt av fire forskjellige målebiler, samt bilder for å dokumentere avvik.

1.2 Forskningsspørsmål

Datainnsamlingen ble gjennomført i regi av Vegdirektoratet, som er pådriver for forskningen innen temaet og den viktigste målgruppen for masteroppgaven. Derfor er det naturlig å ta utgangspunkt i disse målingene når oppgaven skal utformes. Hva slags type data som er samlet inn vil dermed legge føringer for det videre arbeidet.

68 måleserier er et godt grunnlag for å vurdere måleusikkerheten til målesystemene. Det er en nøkkelegenskap ved laserskannerne som bør bestemmes før arbeidet går videre. Hittil har ViaTechs analyser vist at repeterbarheten er god, mens reproduserbarheten er noe mer usikker (ViaTech, 2017). Dermed gjenstår det fortsatt arbeid på dette området. En uavhengig vurdering vil dessuten bidra til å enten styrke eller svekke ViaTechs resultater. Ut fra dette formuleres første forskningsspørsmål:

1. Hvor stor er måleusikkerheten til laserskannerne Statens vegvesen bruker i sine målebiler?

Selv om måleusikkerheten er liten er det ikke gitt at måleresultatene har praktisk verdi. Det er viktig at det er enkelt å tolke måleresultatene og at de samsvarer med situasjonen ute i felt. Ut fra dette formuleres andre forskningsspørsmål:

2. I hvilken grad samsvarer måleresultatene med observasjoner gjort i felt?

Det er viktig å definere en standard bredde for framstilling av måleresultatene. Bredden som velges bør sørge for at man får en vurdering av kritiske områder på asfaltdekket, samtidig som måleusikkerheten holdes på et lavt nivå. Ut fra dette formuleres tredje forskningsspørsmål:

3. Hvilken bredde bør velges for vurdering av måleresultatene?

1.3 Avgrensninger

For at oppgaven skal være gjennomførbar er det nødvendig å sette rammer for arbeidet. Dette gjøres for å tilpasse arbeidet etter den gitte tidsbegrensningen i en masteroppgave, samt tilgjengelige ressurser. Dessuten skal avgrensningene bidra til å spisse oppgaven slik at den svarer på forskningsspørsmålene og fyller sitt tiltenkte hull i forskningen på området.

Avgrensningene er som følger:

- Oppgaven omtaler kun den nyeste typen laserskanner fra produsenten Z+F (2017).
- Oppgaven handler hovedsakelig om måling av homogenitet. Konsekvenser av dårlig homogenitet og skadevirkninger på asfaltdekker er kun overfladisk behandlet.
- Homogenitetsmodulen baserer seg på ViaTechs statistiske metode (Espe, 2016). Andre metoder, som for eksempel tar utgangspunkt i MPD, er omtalt, men ikke sammenlignet.
- Oppgaven vurderer kun asfaltbetong- og skjelettasfaltdekker.

1.4 Definisjon av begreper

- Homogenitet: Likhet i tekstur på et asfaltdekke.
- Homogenitetsrapport: En tekstfil med informasjon om homogeniteten til et asfaltdekke som er laget ut fra rådata fra ViaPPS-biler i programmet ViaPPS Desktop. En homogenitetsrapport inneholder detaljert informasjon om asfaltdekket, samt metadata som blant annet sjåfør og tid. Homogenitetsrapportene brukes videre til grafisk framstilling i programmene ViaPPS Desktop og ViaPPS Analyse.
- Flatekart: Flatekart er en grafisk måte å presentere homogenitet på i programmet ViaPPS Desktop. Dekket vises som celler der fargen avhenger av standardavviket for målepunktene innenfor cellen.
- Teksturverdi: Måleverdien i hver celle. Regnet ut som standardavviket for målepunktene i cellen.
- ViaPPS: Statens vegvesens system for tilstandsregistrering langs vegnettet. Systemet omfatter målebiler og programvare for presentasjon og analyse av data.
- ViaPPS Desktop: Programvare for behandling og framstilling av rådata. Kan lage forskjellige rapporttyper og har flere moduler for framstilling av ulike typer skader. I denne masteroppgaven brukes kun homogenitetsmodulen og funksjonen for å lage homogenitetsrapporter.

- ViaPPS Analyse: Programvare for presentasjon og sammenligning av rapporter laget i ViaPPS Desktop.
- ViaPPS-biler: Biler for tilstandsregistrering, med måleutstyr og programvare levert av ViaTech. Også omtalt som målebiler.

2 Teori

Dette kapittelet inneholder en oversikt over litteraturen som finnes innen fagfeltet og identifiserer kunnskapshull som oppgaven har som mål å fylle. Litteratursøket tok utgangspunkt i litteratur foreslått av Leif Jørgen Bakløkk i Vegdirektoratet, og det ble brukt kjedesøk og systematiske søk (Rienecker & Jørgensen, 2013) i databasene Oria, Google Scholar og Scopus. Kildene er vurdert etter TONE-prinsippet (NTNU, 2017). Søkene ble gjort på både norsk og engelsk. Under følger en tabell over et utvalg av søkeordene.

Tabell 1: Utvalg av søkeord

Engelsk søkeord	Norsk søkeord
Homogeneity	Homogenitet
Asphalt	Asfalt
Asphalt Pavement	Asfaltdekke
Laser scanning	Laserskanning
Texture	Tekstur
Macrottexture	Makrotekstur
Bleeding/Fat spots	Blødninger
Open spots	Åpne flater
Surface	Overflate
Pavement Management System	

2.1 Asfalt

Asfalt består av steinmaterialer og bindemiddel. Steinmaterialet som inngår i en asfalmiks har varierende kornstørrelse. Kornfordelingen som velges i en asfalmiks vil påvirke egenskapene til det ferdige asfaltdekket. På samme måte vil valg av bindemiddel og bindemiddelinholdet påvirke egenskapene. Håndbok N200 – Vegbygging (Statens vegvesen, 2014a) stiller krav til korngradering og bindemiddelinhold både ved produksjon på asfaltfabrikken og i ferdig dekke. De vanligste asfalttypene har også krav til hulrom i asfalten, både ved proporsjonering og i ferdig dekke. Blant de vanligste asfalttypene finner vi asfaltbetong og skjelettasfalt. Dette er slitesterke dekker som er mye brukt på høytrafikkerte veier.

Asfaltmasse produseres stort sett i asfaltfabrikker. Varmprodusert asfalt fraktes deretter til anlegget med bil og eventuelt båt. Asfaltmassen må være godt isolert for å begrense varmetapet. På anlegget blir asfaltmassen lagt ut og komprimert ved valsing. I løpet av denne prosessen er det flere fallgruver som kan forringe kvaliteten på det ferdige dekket. For det første er det viktig å få rett kvalitet fra asfaltfabrikken. Asfaltmassen bør lastes slik at den separeres minst mulig. I tillegg må man tenke på temperatur og temperaturvariasjoner allerede ved lasting, og dekke til asfaltmassen så fort som mulig. Ved utlegging bør man holde et jevnt tempo og sørge for at utleggeren alltid har tilgang til masse (Lundberg, 2012). Lassbytte er en av de vanligste årsakene til problemer. Det oppstår gjerne svakere partier som følge av at temperaturen blir for lav. Derfor er det essensielt med god planlegging (Telle, 2015).

Hvis man ikke tar hensyn til fallgruvene risikerer man at kravene til dekket ikke blir oppfylt, selv om kvaliteten på asfaltmassen var tilfredsstillende på asfaltfabrikken. Ved utlegging er det viktig å holde asfaltmiksen uniform, både med tanke på korngradering og temperatur, og i tillegg sørge for jevn komprimering. Dersom dette ikke håndteres godt nok risikerer man å få variasjoner i hulrommet i dekket. Disse variasjonene fører til inhomogeniteter i form av åpne og tette partier. Åpne partier er forbundet med reduksjon i dekkets levetid. Tette partier kan gi blødninger. Blødningene gir lav friksjon som igjen er en fare for trafikksikkerheten (Espe, 2016).

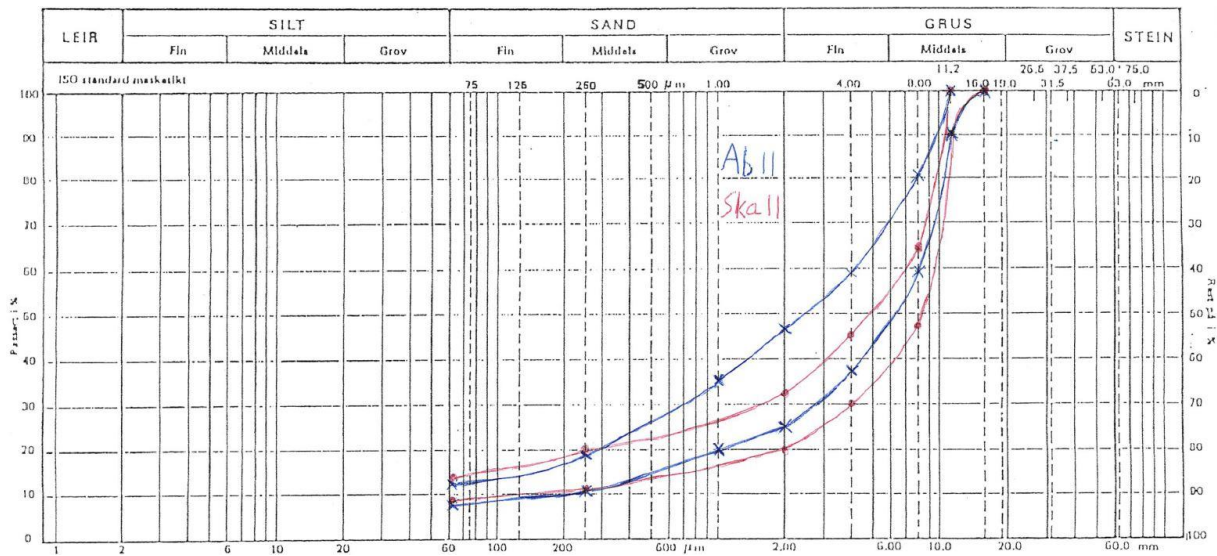
2.2 Tekstur og homogenitet

Tekstur på asfaltdekker deles i tre kategorier ut fra hvilket bølgelengdeområde laserskanneren opererer i. Mikrotekstur måles med bølgelengde mindre enn 0,5 mm, makrotekstur fra 0,5 mm til 50 mm, megatekstur fra 50 mm til 0,5 m (Flintsch, de León, McGhee & Al-Qadi, 2003).

Hvis teksturen har bølgelengder større enn 0,5 m defineres det som ujevnheter. For homogenitetsmålinger er det makroteksturen som er relevant, og de andre kategoriene blir derfor ikke videre omtalt (Espe, 2016). Makrotekstur er en egenskap som er relatert til kornstørrelse, og da spesielt de grovere delene av tilslaget. I tillegg er hulrom, bindemiddelinhold og ikke minst utlegging og kompaktering viktige variabler som vil påvirke teksturen (Technical Committee 4.2 Road/Vehicle Interaction, 2016).

Teksturen vil variere ut fra hvilken massetype som brukes. I Figur 1 vises kornkurvene for asfaltbetong med øvre nominelle steinstørrelse 11 mm og skjelettasfalt med øvre nominelle steinstørrelse 11 mm, tegnet etter kravene i Håndbok N200 (Statens vegvesen, 2014a). Selv om øvre siktstørrelse er identisk, inneholder asfaltbetong en større andel korn med

kornstørrelse fra omtrent 250 μm til 8 mm. Skjelettasfalt inneholder mye grovkorning materiale og lite finstoff. Det gir skjelettasfalten en grovere tekstur.



Figur 1: Kornkurver for Ab 11 og Ska 11

Homogenitet på asfaltdekker er en egenskap som er avledet av teksturen. Et dekke med samme tekstur over hele arealet er homogent. Områder med åpne flater eller blødninger tyder på et mindre homogent dekke. Homogenitet er et tegn på god dekkekvalitet, og homogenitetsmålinger brukes allerede som en del av kontrollen av nylagte asfaltdekker i noen land, deriblant Sverige (Espe & Bakløkk, 2013).

2.3 Håndbok V261 – Skadekatalog for bituminøse vegdekker

Håndbok V261 - Skadekatalog for bituminøse vegdekker (Statens vegvesen, 1996) har blant annet som mål å bidra til lik vurdering av skader ved visuell kontroll. Kapittel 5 omhandler overflateskader, der tre typer overflateskader er relevante for homogenitetsmålinger: ujevn overflatetekstur, blødning og steinslipp (Statens vegvesen, 1996). Håndboka opererer med tre alvorlighetsgrader for overflateskader kalt Lav, Middels og Høy, samt tre kategorier for skadenes utbredelse:

«L Lett synlige skader, men uten praktisk betydning for kjørek komfort, trafiksikkerhet eller framkommelighet.

M Skader som i noen grad påvirker kjørek komfort, trafiksikkerhet eller framkommelighet.

H Skader med betydelig innvirkning på kjørekomfort, trafiksikkerhet eller framkommelighet.

[...]

1. 1-2 skader pr 100 m veg, eller skade på mindre enn 10% av vegarealet.
2. 3-5 skader pr 100 m veg, eller skade på mindre enn 10% - 25% av vegarealet.
3. Mer enn 5 skader pr 100 m veg, eller skade på mer enn 25% av vegarealet.»
(Statens vegvesen, 1996, s. 41)

Håndboka er naturlig utgangspunkt for å vurdere homogeniteten til asfaltdekker.

2.4 Mean Texture Depth

En veletablert og enkel metode for å måle tekstur er glass-patch-metoden. Resultatet av metoden angis som Mean Texture Depth (heretter kalt MTD). Som navnet tilsier er det et gjennomsnittsmål for teksturdybde. Metoden gjennomføres ved å helle et kjent volum med små glass- eller sandperler utover asfaltdekket. Perlene spres deretter utover i en sirkel til de akkurat fyller hulrommet i dekket. Deretter måles diameteren til sirkelen. Volumet av perlene og diameteren til sirkelen brukes deretter til å beregne MTD (Flintsch et al., 2003). Metoden er enkel i bruk og krever ikke dyrt utstyr. Ulempen er at den hindrer trafikkavvikling og utsetter målepersonell for risiko ved å plassere dem midt i trafikken. Dessuten måles kun et lite område av gangen. Dermed er metoden mindre egnet for måling av hele dekker (Technical Committee 4.2 Road/Vehicle Interaction, 2016). MTD blir brukt som referansemål ved utvikling og testing av nye målemetoder, blant annet av Avinor (2003) og Praticò & Vaiana (2015).

2.5 Mean Profile Depth

Mean Profile Depth (heretter kalt MPD) er et annet mål på tekstur. For å bestemme MPD brukes et profilometer som måler punkter langs vegdekket. Profilometeret kan bruke ulike teknologier som for eksempel laserskanning eller ultralyd. (Technical Committee 4.2 Road/Vehicle Interaction, 2016). Laserskannere kan være stasjonære eller montert på kjøretøy. Målepunktene kan samles inn på flere måter. Vägverket (2009) måler tre linjer med MPD: I hjulsporene og midt mellom hjulsporene. ViaTech (2017) bruker en laser som måler punkter i hele kjørefeltets bredde.

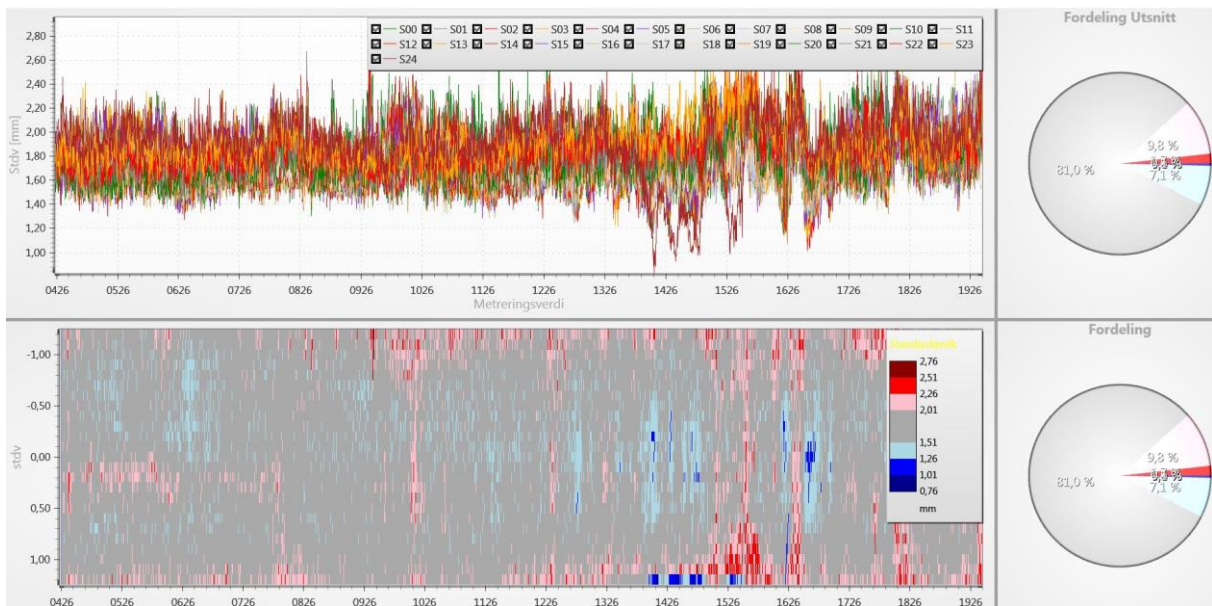
MPD regnes ut ved å først dele profilene i segmenter på 100 mm og finne gjennomsnittsnivået. Deretter deles hvert segment i to, og største topp i hver av disse identifiseres. Da er MPD differansen mellom gjennomsnittet av de to toppene og gjennomsnittsnivået for segmentet. MPD brukes som utgangspunkt for å vurdere homogenitet i asfaltdekker i Sverige (Lundberg, 2012). I Norge har ViaTech gjort forsøk og konkludert med at MPD er mindre egnet til å vurdere homogenitet. Forklaringen er at MPD kun tar hensyn til to topper i hvert segment. Dermed maskeres små variasjoner (Espe, 2016).

2.6 ViaTechs statistiske metode og homogenitetsmodul

Statens vegvesen og ViaTech har gått bort fra MPD som grunnlag for beregning av homogenitet. I stedet er det utviklet en statistisk metode for beregning av homogenitet. Metoden starter med å dele dekket inn i celler. Cellestørrelsen kan velges, men celler med bredde 10 cm og lengde 50 cm er funnet egnet som standard cellestørrelse av ViaTech, og brukes videre i denne oppgaven. Innenfor hver celle er det noen hundre målepunkter, der antallet varierer med farten til målebilen. For hver celle beregnes det vertikale standardavviket for målepunktene. Dette standardavviket blir da et mål på teksturen i cellen, heretter kalt teksturverdi (Espe, 2016). Denne metoden utføres i ViaTechs programvare i en spesialtilpasset homogenitetsmodul. Resultatene kan framstilles i flatekart med tilhørende teksturverdikurver og sektordiagrammer, som teksturverdikurver med mulighet for visning av flere målinger, eller i tekstrapporter. Flatekartene framstiller teksturen i hver celle. Her er det mulig å identifisere avvik i form av blødninger eller åpne flater, som har henholdsvis lave og høye teksturverdier, og dermed vurdere hele dekkets homogenitet. Tekstrapportene skal gi et mer formelt grunnlag for diskusjoner med entreprenør vedrørende utførelseskvalitet (Espe & Bakløkk, 2013).

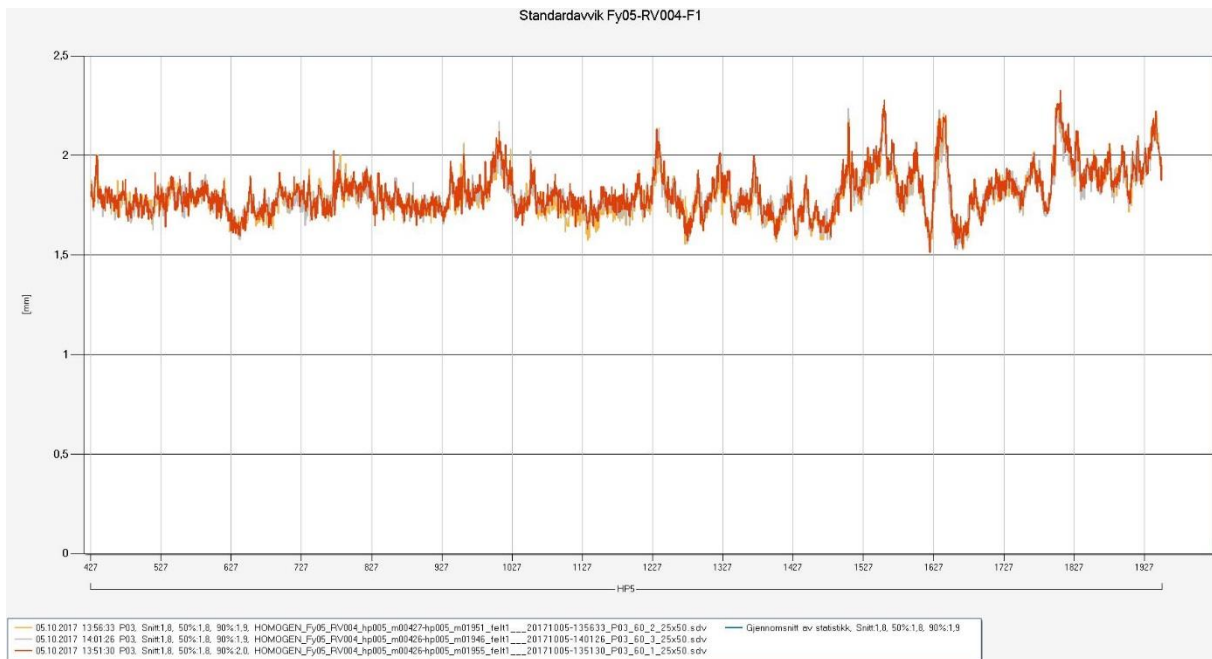
Figur 2 viser et typisk resultat i ViaPPS Desktop. Nede til venstre er flatekartet. Det har en målebredde på 3,5 m, delt i 35 striper. Hver celle er 50 cm lang. Cellestørrelsen blir 10 cm x 50 cm. Fargen i hver celle korresponderer med teksturverdiintervallene til høyre i flatekartet. På x-aksen vises metreringsverdi. På y-aksen står det feilaktig «stdv», for y-aksen indikerer horisontal avstand fra laserskanneren. 0,00 er altså midt under laserskanneren. Oppe til venstre er det teksturverdikurver. For hver stripe vises teksturverdien i mm. Y-aksen heter «Stdv [mm]», og standardavviket er som tidligere forklart det samme som teksturverdien. Kurvene består egentlig av diskrete punkter med et linjestykke mellom hvert punkt, siden viser verdier for cellene i flatekartet. Visning av så mange kurver blir fort uryddig, men det er nyttig å vise noen utvalgte kurver som man er spesielt interessert i. Til høyre vises

sektordiagrammer med fordeling av celler i forskjellige farger. Øverst vises fordelingen dersom man zoomer inn på deler av flatekartet, mens fordelingen for hele dekket vises nederst.



Figur 2: Eksempel på flatekart, med tilhørende kurver for teksturverdier og sektordiagrammer.

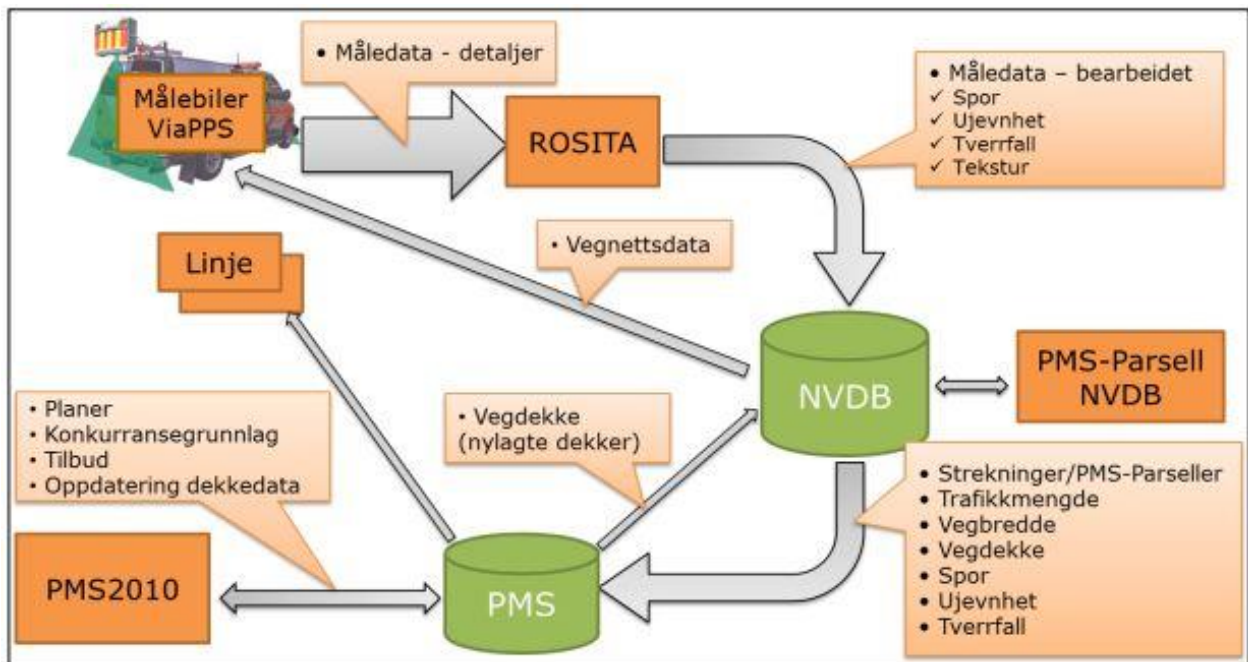
Figur 3 viser et typisk resultat i ViaPPS Analyse. Her sammenlignes teksturverdier fra tre måleserier. I stedet for én kurve for hver stripe som i Figur 2, vises gjennomsnittet for hele målebredden. Denne framstillingsmåten kan gi en indikasjon på måleusikkerheten. Kurvene består egentlig av diskrete punkter med et linjestykke mellom hvert punkt. Hver punkt representerer gjennomsnittsverdien for hele målebredden, altså 35 celler.



Figur 3: Eksempel på teksturverdikurver fra flere måleserier.

2.7 ViaPPS

ViaPPS er et system Statens vegvesen bruker til tilstandsregistrering langs vegnettet. Systemet er utviklet av ViaTech i samarbeid med Statens vegvesen. Systemet omfatter 15 målebiler som er utstyrt med blant annet laserskanner, kamera og GNSS-navigasjonsløsning. Dessuten omfatter systemet programvare for å presentere og analysere data. ViaPPS brukes til å måle tverrprofil, lengdeprofil og tekstur. Data går deretter inn i et komplekst system med flere databaser, som skissert i Figur 4 (Statens vegvesen, 2015b).



Figur 4: Dataflyt for ViaPPS laserdata (Statens vegvesen, 2015b).

Fra 2015 har det blitt faset inn skannere fra produsenten Z+F. Det er en roterende laser som måler en million punkter i sekundet. Rotasjonsfrekvensen er opptil 200 Hz, som vil si at laserskanneren kan måle 200 profiler i sekundet (Z+F, 2017). Når målebilen kjører i 60 km/t gir det en avstand på omtrent 8,3 mm mellom hver profil. Rett under laseren inneholder en celle på 10 cm x 50 cm omtrent 200 målepunkter. Ettersom vinkelen til laseren øker, øker også avstanden mellom målepunktene, slik at cellene inneholder litt færre punkter dess lengre de er fra laseren. Antallet punkter er likevel stort nok til at ikke går ut over beregningen av teksturverdi.

2.8 Kunnskapshull

Å bruke homogenitet til å vurdere kvaliteten på asfaltdekker er en metode som har begrenset utbredelse. Det er uklart hvor homogent et dekke bør være for å nå sin forventede levetid.

Det finnes ingen kvantitative homogenitetskrav i Håndbok N200 (Statens vegvesen, 2014a).

Hvis homogenitet skal vurderes kvantitativt i kontroll av nylagte dekker er det behov for en vurdering av hvilke krav som bør settes. For øyeblikket settes det bare kvalitative krav:

«Asfaltdekket skal funksjonelt og visuelt være homogent, slik at det ikke oppstår forskjeller i for eksempel friksjon eller bestandighet. Det skal ikke forekomme sprekker, hull, åpne eller fete partier i ferdig dekke. Eventuelle fete og glatte partier skal avstrøs med materialer av tilsvarende kvalitet som tilslaget i asfaltmassen.

Avstrøingen vales ned i dekket mens det ennå er varmt, og overskuddsmaterialet fjernes.

Langs- eller tverrgående svanker eller valker skal ikke forekomme.

Skjøter og kantavslutninger skal være omhyggelig utført. De skal overalt være godt komprimert, tette, jevne og uten sprekker.» (Statens Vegvesen, 2014a)

Et sett med kvantitative krav må være objektive og målbare, og ikke basere seg på en subjektiv vurdering slik tilfellet er i dag.

Det er fortsatt usikkerhet rundt repeterbarheten og reproduserbarheten til homogenitetsmålingene foretatt av ViaPPS-biler. Hittil tyder alt på at nøyaktigheten er god nok. Likevel er det behov for å vurdere nøyaktigheten med et større datagrunnlag. Hittil har utstysproduzenten vært med på testingen og står bak rapportene som vurderer nøyaktighet. En uavhengig kontroll av nøyaktigheten vil derfor være nyttig for å validere resultatene.

3 Metode

Denne delen av oppgaven tar for seg metodene som er brukt for å svare på forskningsspørsmålene som er stilt:

1. Hvor stor er måleusikkerheten til laserskannerne Statens vegvesen bruker i sine målebiler?
2. I hvilken grad samsvarer måleresultatene med observasjoner gjort i felt?
3. Hvilken bredde bør velges for framvisning av måleresultatene?

Det er viktig å velge metoder som kan besvare forskningsspørsmålene. Metodene må velges slik at oppgaven er gjennomførbar på masternivå, både med tanke på faglig nivå og arbeidsomfang. I denne masteroppgaven er det valgt tre metoder:

1. Feltarbeid
2. Kvantitativ analyse
3. Kvalitativ analyse

3.1 Feltarbeid

Feltarbeidet ble gjennomført 5. og 6. oktober 2017. Alternativet ville vært å vente helt til våren, da arbeidet er avhengig av tørr asfalt. Det ble valgt tre strekninger på det sentrale Østlandet. Strekningene ble valgt ut etter en befaring noen uker tidligere, der målet var å finne strekninger med nylagt dekke av forskjellig type og kvalitet. Målet var å sammenligne måleresultater fra flere ulike dekker og flere målebiler. Da kan man studere forskjeller mellom ulike dekker, målebiler, og måleseriene til hver målebil.

De første målingene fant sted på Ottar K. Kollerud Test Track på Oslo Lufthavn Gardermoen. Andre strekning var riksveg 4 hovedparsell 5 på Lygna. Tredje strekning var riksveg 35 hovedparsell 6 ved Vikersund. Fire målebiler deltok.

På riksveg 4 og riksveg 5 ble det gjennomført en visuell kontroll av dekket langs hele strekningen for å få et inntrykk av tekstur og homogenitet. Samtidig ble det tatt bilder gjennom mobilapplikasjonen VegViseren. Formålet var å dokumentere blødninger og åpne flater langs begge strekningene til bruk i casestudien. VegViseren tar i bruk GPS i kombinasjon med vegnettet fra NVDB, slik at alle bildene blir stedfestet med både vegreferanse og UTM-koordinater.

3.2 Kvantitativ analyse

Formålet med den kvantitative analysen er å besvare forskningsspørsmål nummer en: Hvor stor er måleusikkerheten til laserskannerne Statens vegvesen bruker i sine målebiler?

Spørsmålet besvares ved å analysere repeterbarheten og reproduserbarheten til målingene på riksveg 4 og riksveg 35. Ifølge ViaTechs (2018) rapport er måleresultatene er repeterbare, og farten påvirker heller ikke måleresultatet. I og med at ViaTech produserer, vedlikeholder og selger laserskannere og tilhørende programvare er det nyttig med en uavhengig kontroll.

Dermed vil en slik uavhengig analyse av det samme datagrunnlaget kunne styrke eller svekke rapporten til ViaTech.

For at måling av homogenitet med laserskanner skal kunne brukes som metode er man avhengig av at målingene er nøyaktige. Hvis man bruker samme måleutstyr på en strekning gjentatte ganger ønsker man at resultatet blir mest mulig likt hver gang, gitt at de ytre forholdene (vær, slitasje på dekket etc.) er de samme. Denne egenskapen kalles *repetbarhet* (Halbo, 2016a). I tillegg ønsker man å vite hvorvidt resultatene blir de samme når man måler gjentatte ganger under forskjellige betingelser. For laserskanning innebærer dette at målingene foregår med forskjellig utstyr eller i forskjellig fart. Man kan tenke seg å variere andre forhold, som for eksempel fukt på dekket. Erfaringsmessig er det vanskelig å måle under slike forhold, og problemstillingen faller utenfor denne oppgaven. Det er derimot svært viktig at forskjellige målebiler får de samme resultatene når de måler samme strekning. Denne egenskapen kalles *reproduserbarhet* (Halbo, 2016b).

3.2.1 Repeterbarhet

For å måle repeterbarheten analyseres måleserier fra en målebil av gangen. Først sammenlignes måleseriene fra én strekning, 30 km/t og 60 km/t hver for seg. Dette gjøres på både riksveg 4 og riksveg 35. Så gjentas prosedyren for de andre målebilene.

Analysen er gjort i følgende steg:

1. Generer homogenitetsrapporter med 3,5 m bredde.
2. Finn gjennomsnittlig teksturverdi for hver målebredde i de måleseriene som skal sammenlignes.
3. Regn ut gjennomsnittet av måleseriens gjennomsnittlige teksturverdi for hver målebredde.
4. Beregn relativt avvik mellom hver måleserie og gjennomsnittet til måleseriene for hver målebredde

5. Finn standardavviket for det relative avviket.
6. Lag et 95-% prediksjonsintervall.
7. Framstill fordelingen av de relative avvikene i et histogram.

Målebredde brukes som utgangspunkt i analysen istedenfor enkeltceller. Grunnen er at målebilene ikke ligger midt i kjørefeltet til enhver tid og i hver måleserie. Små endringer i plasseringen kan gi store utslag i analysen. En sideveis forflytning på kun 10 cm mellom to måleserier gjør at to tilsynelatende samsvarende celler måler forskjellige steder. Ved å bruke hele målebredden på 3,5 m vil ikke en sideveis forflytning på 10 cm ha like stor innvirkning på resultatet.

3.2.2 Reproduserbarhet

For å måle reproduserbarheten er det to faktorer som varieres, målesystem og fart. Forskjellen i standardavvik mellom forskjellig målefart er allerede gitt ut fra repeterbarhetsanalysen.

Analysen av de forskjellige målesystemene er gjort i følgende steg:

1. Generer homogenitetsrapporter med 3,5 m bredde.
2. Finn gjennomsnittlig teksturverdi for hver målebredde i én måleserie fra hvert målesystem.
3. Regn ut gjennomsnittet av måleseriens gjennomsnittlige teksturverdi for hver målebredde.
4. Beregn relativt avvik mellom hver måleserie og gjennomsnittet til måleseriene for hver målebredde.
5. Framstill resultatet i et linjediagram.
6. Framstill fordelingen av de relative avvikene i et histogram.

3.3 Kvalitativ analyse

Formålet med den kvalitative analysen er todelt. Først besvares forskningsspørsmål nummer tre: Hvilken bredde bør velges for framvisning av måleresultatene? Spørsmålet besvares ved å lage homogenitetsrapporter med ulik målebredde ut fra samme måleserie. Resultatene framstilles i flatekart og forskjellene vurderes.

Deretter besvares forskningsspørsmål nummer to: I hvilken grad samsvarer måleresultatene med observasjoner gjort i felt? For at laserskanning skal kunne brukes som målemetode er det viktig at resultatene samsvarer med observasjonene som blir gjort i felt. For det første må måleresultater og observasjoner samsvare så godt at Statens vegvesen anser det som nyttig å

bruke målemetoden. For det andre må dette dokumenteres overfor entreprenør. Da vil entreprenørene kunne godta homogenitetsmålinger som en del av kvalitetskontrollen på nylagte asfaltdekker. For å svare på forskningsspørsmålet gjøres en casestudie av riksveg 4 og riksveg 35 ved bruk av bilder tatt med VegViseren og flatekart fra P05 i 60 km/t. Vegbildene som ble tatt av målebilene egner seg dårlig til å vurdere homogenitet på grunn av vinkelen de er tatt fra. De er derfor ikke inkludert i casestudien.

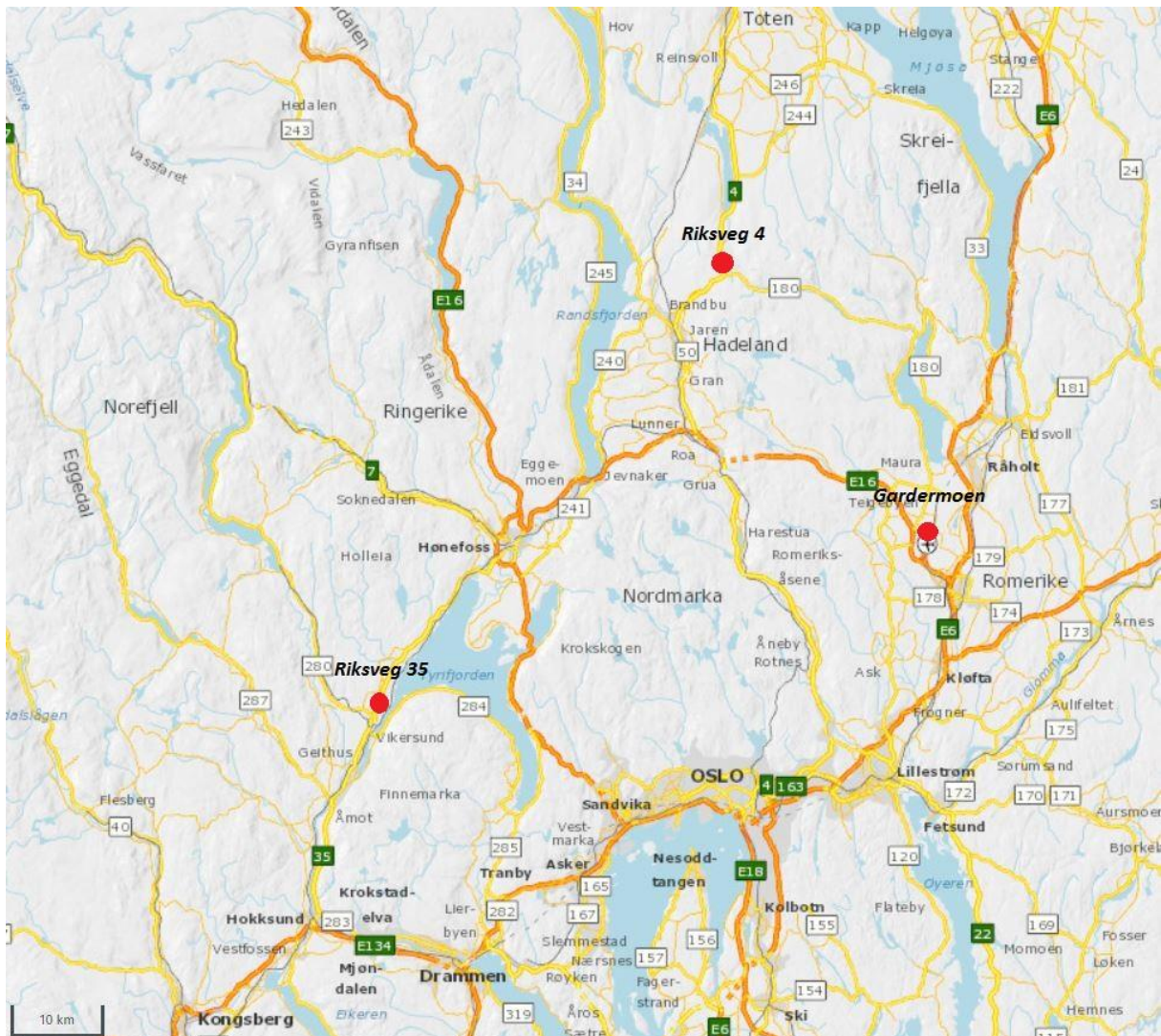
Begrepsbruken i skadekatalogen er noe forvirrende. Ujevn overflatetekstur, blødning og steinslipp er angitt som tre ulike skader. I denne sammenhengen vil blødning være en type ujevn overflatetekstur, nemlig tett tekstur. Steinslipp er en mer langsiktig konsekvens av den andre typen ujevn overflatetekstur, åpen tekstur. Når det gjelder skadekatalogens klassifisering av skadenes utbredelse er disse best egnet til å si noe om strekningens kvalitet som helhet (Statens vegvesen, 1996). Formålet med denne sammenligningen er å avdekke hvorvidt hvert enkelt avvik kan identifiseres med laserskanning som målemetode. Det er først når målemetoden er funnet egnet til formålet at den kan brukes til å vurdere strekningen som helhet. Istedenfor å klassifisere avvikene etter skadekatalogen vil derfor avvikene identifiseres ved en kvalitativ tilnærming.

Først gjennomgås bildene som ble tatt under feltarbeidet. Ut fra bildene lages en liste over avvik. Arealet til hvert avvik estimeres, og teksturen klassifiseres som åpen, tett eller varierende. Varierende tekstur vil si at tett og åpen tekstur ligger rett inntil hverandre, og kan for eksempel oppstå ved skjøter. Alvorlighetsgraden er ikke vurdert. Deretter sammenlignes avvikslisten med flatekartet. Avvik som gjenkjennes i flatekartet er positive, avvik som ikke gjenkjennes er falsk negative, mens avvik som identifiseres i flatekartet, men som ikke finnes i avvikslista er falsk positive.

4 Datainnsamling

4.1 Om strekningene

Figur 5 viser et kart over det sentrale Østlandet med de tre målte strekningene markert med rødt.



Figur 5: Kart over de tre strekningenes beliggenhet.

4.1.1 Gardermoen

Ottar K. Kollerud Test Track på Oslo Lufthavn Gardermoen består av åtte delstrekninger med ulike massetyper, samt akselerasjonssoner i hver ende. Hver delstrekning er 100 m lang. De ulike massetypene som er brukt vises i Tabell 2. Startpunkt for målingene var akselerasjon nord, 290 m fra delstrekning 1. Dekkene ble lagt i august 1997 (Avinor, 2003). Målebilene P03, P05 og P09 deltok. Hver målebil målte tre måleserier i 30 km/t og i 60 km/t.

Tabell 2: Oversikt over massetyper på Gardermoen.

Delstrekning	Masstype	Kommentar
Akselerasjon nord	Ab 16	
1	Ab 11	
2	Ab 11	Komprimert mer enn delstrekning 1.
3	Ab 11	Komprimert mer enn delstrekning 2.
4	Ab 8	
5	Ab 4	
6	Ska 16	
7	Ska 11	
8	Da 11	
Akselerasjon sør	Ab 16	

4.1.2 Riksveg 4

På riksveg 4, hovedparsell 5 ble det lagt nytt Ska 11 dekke sommeren 2017. Dekket er inhomogent, og egnet seg derfor til undersøkelse av hvorvidt avvik lar seg identifisere. Målingene ble gjort i nordgående retning (kjørefelt 1), fra omtrent 425 m til 1950 m. Målebilene P03, P05, P09 og ViaTech deltok. Hver målebil målte tre måleserier i 30 km/t og i 60 km/t.

4.1.3 Riksveg 35

På riksveg 36, hovedparsell 6 ble det lagt nytt Ab 11 dekke sommeren 2017. Dekket ble valgt ut fordi det ble vurdert som homogent. Dermed egner det seg som en referanse for hvordan lignende dekker bør være. Målingene ble gjort i sørgående retning (kjørefelt 2), fra omtrent 3320 m til 2400 m. Målebilene P03, P05, P09 og ViaTech deltok. Målebilene målte tre måleserier i 30 km/t og i 60 km/t, bortsett fra ViaTech som målte fire måleserier i hver hastighet.

4.2 Gjennomføring av laserskanning

Målingene ble utført ved at målebilene sto stille ved et på forhånd definert startpunkt. Der ble dataloggingen startet, og målebilene akselererte deretter raskest mulig opp til ønsket målefart. Når det gjelder felles startpunkt er dette i realiteten mindre viktig for riksveg 4 og riksveg 35. GPS-systemet i målebilene har god nøyaktighet og stedfester hvert målepunkt med en

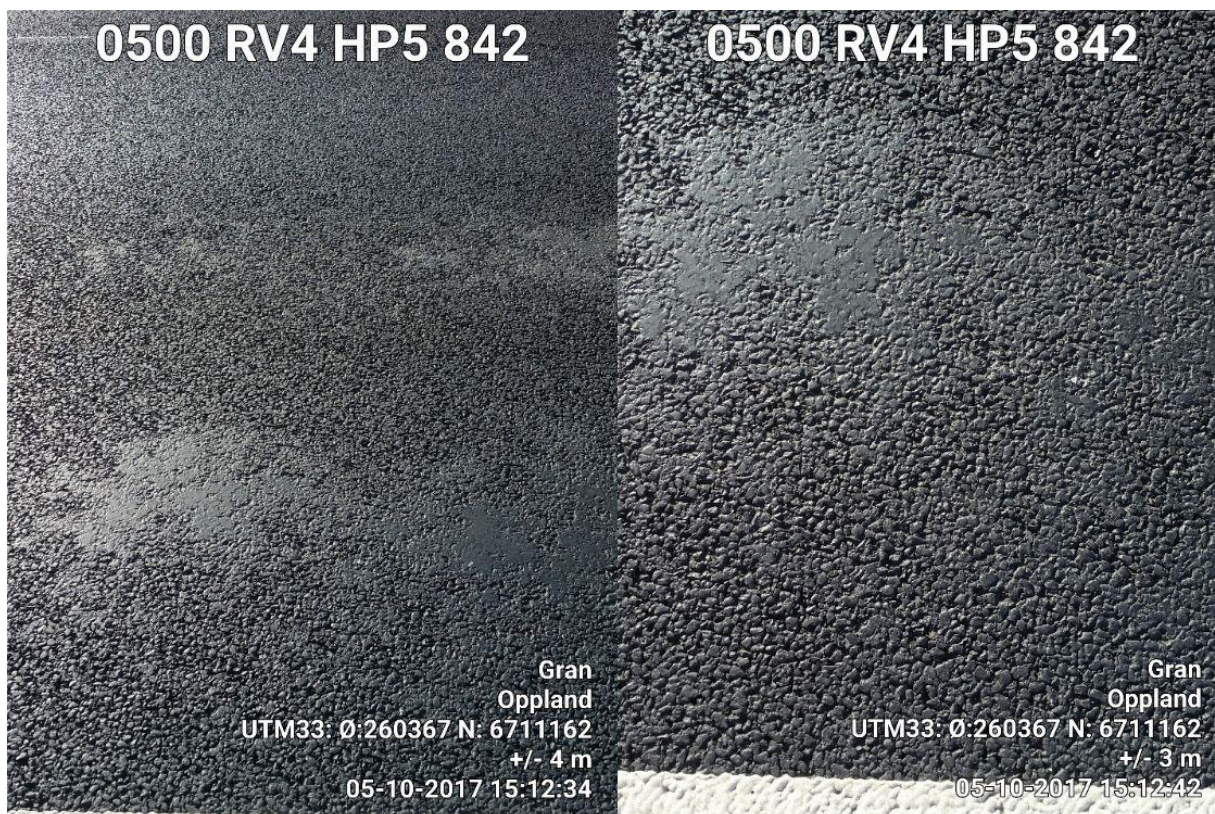
vegreferanse. For målingene på Gardermoen er det generert en imaginær vegreferanse med startpunktet som nullpunkt, slik at måleresultatene kan sammenlignes direkte.

Målebilsjåførene tilstrebet å kjøre midt i kjørefeltet og jevn fart når målefarten var oppnådd. I noen tilfeller måtte målebilsjåførene bremse på grunn av forbikjøringer og lignende. Disse målingene ble forkastet og gjennomført på nytt.

I tillegg til laserskanning ble det også tatt bilde av vegen for hver 10 m og målt jevnhet. Jevnhetsmålingen på Gardermoen viste uendelig høy ujevnhet på noen deler av strekningen. Det var et tegn på at dekket fortsatt var for fuktig til å gjøre korrekte målinger, og derfor ble målingene utsatt til dekket var tørt nok. De to andre strekningene hadde tørt dekke slik at målingene ble effektivt gjennomført.

4.3 Gjennomføring av visuell kontroll og bildetaking

På riksveg 4 og riksveg 35 ble det foretatt en visuell kontroll etter at målebilene var ferdige. Kontrollen ble gjennomført av to personer som gikk langs vegskulderen. Strekningene ble skjønnsmessig vurdert for avvik. Avvikene som ble identifisert ble tatt bilde av gjennom mobilapplikasjonen VegViseren. Dermed ble alle avvikene stedfestet. GPS-en til mobiltelefoner er langt ifra like nøyaktig som utstyret i målebilene, men det ble oppnådd en nøyaktighet på 3-5 m, som vil være tilstrekkelig for en kvalitativ sammenligning med flatekart. Hvert avvik ble forsøkt avbildet på detaljnivå og et mer overordnet nivå der man ser beliggenheten i forhold til andre avvik. Verken antall avvik, alvorlighetsgraden eller størrelsen på avvikene ble vurdert under inspeksjonen. Det er bildene som danner datagrunnlaget for casestudien. Eksempel på bilder er vist i Figur 6.



Figur 6: Eksempel på bilder tatt med VegViseren

Tabell 3 viser typiske filstørrelser for rådatafilene. P09 har litt mindre filer enn P03 og P05 i 30 km/t på grunn av litt høyere gjennomsnittsfart.

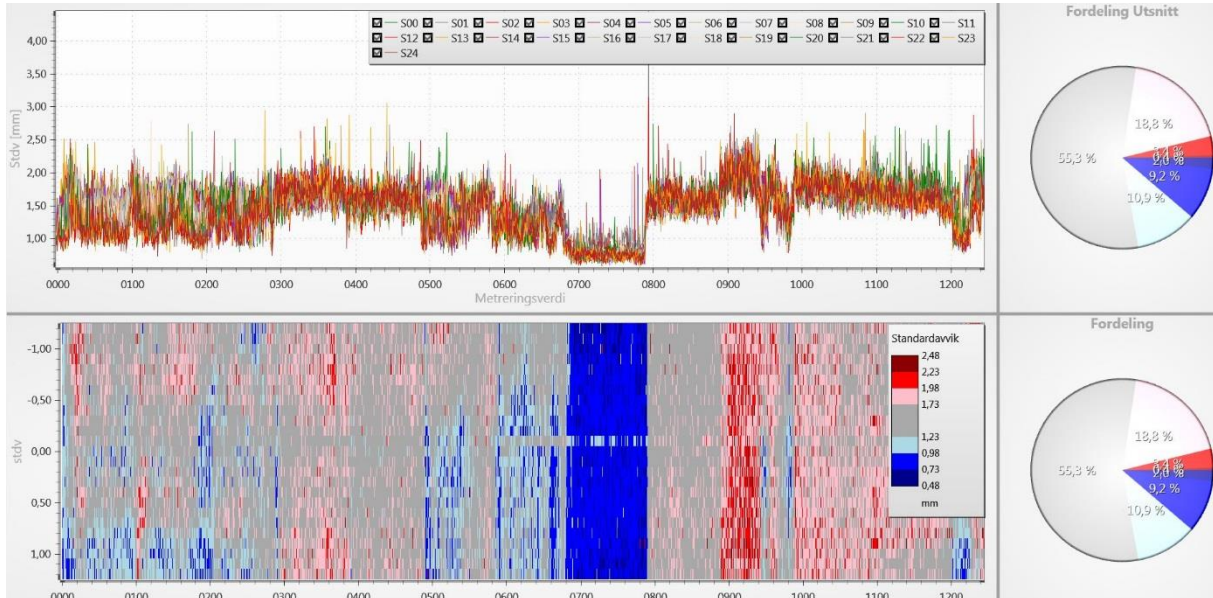
Tabell 3: Typiske filstørrelser for rådatafilene.

	P03	P05	P09	ViaTech
Rv4 30 km/t	800 MB	800 MB	750 MB	2,1 GB
Rv4 60 km/t	400 MB	400 MB	400 MB	1,7 GB
Rv35 30 km/t	500 MB	500 MB	450 MB	1,5 GB
Rv35 60 km/t	250 MB	250 MB	250 MB	1,2 GB

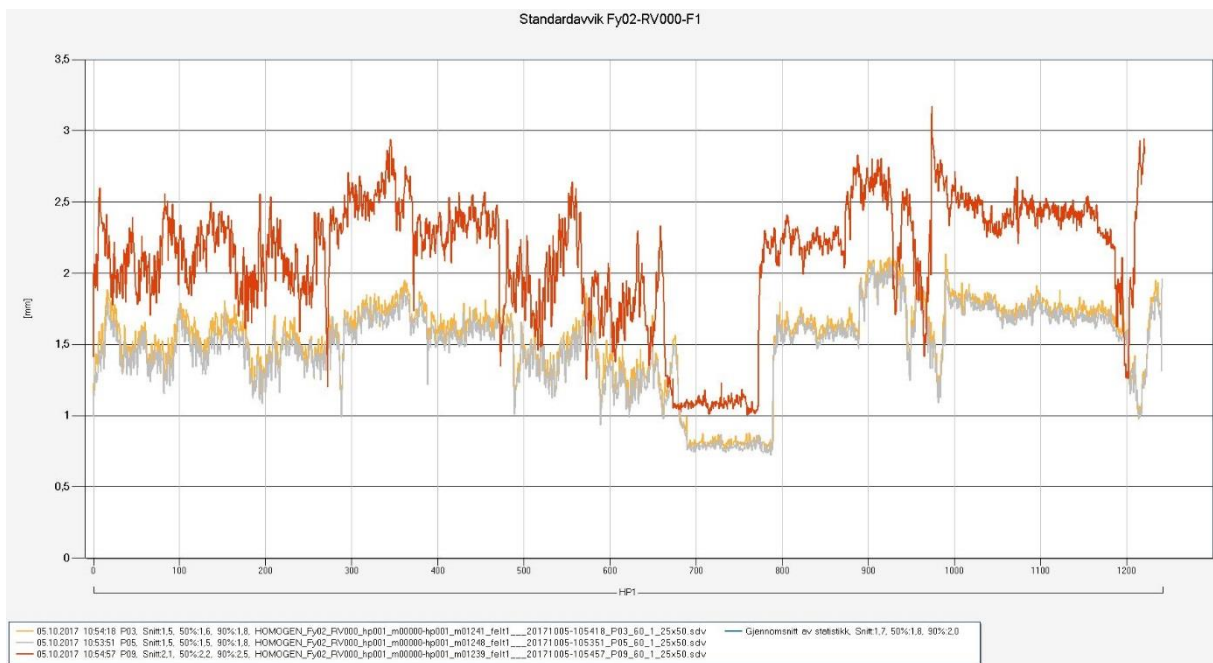
5 Resultater

5.1 Resultater fra Gardermoen

Figur 7 viser flatekart og Figur 8 viser teksturverdikurver for Gardermoen.



Figur 7: P05 i 60 km/t på Gardermoen.

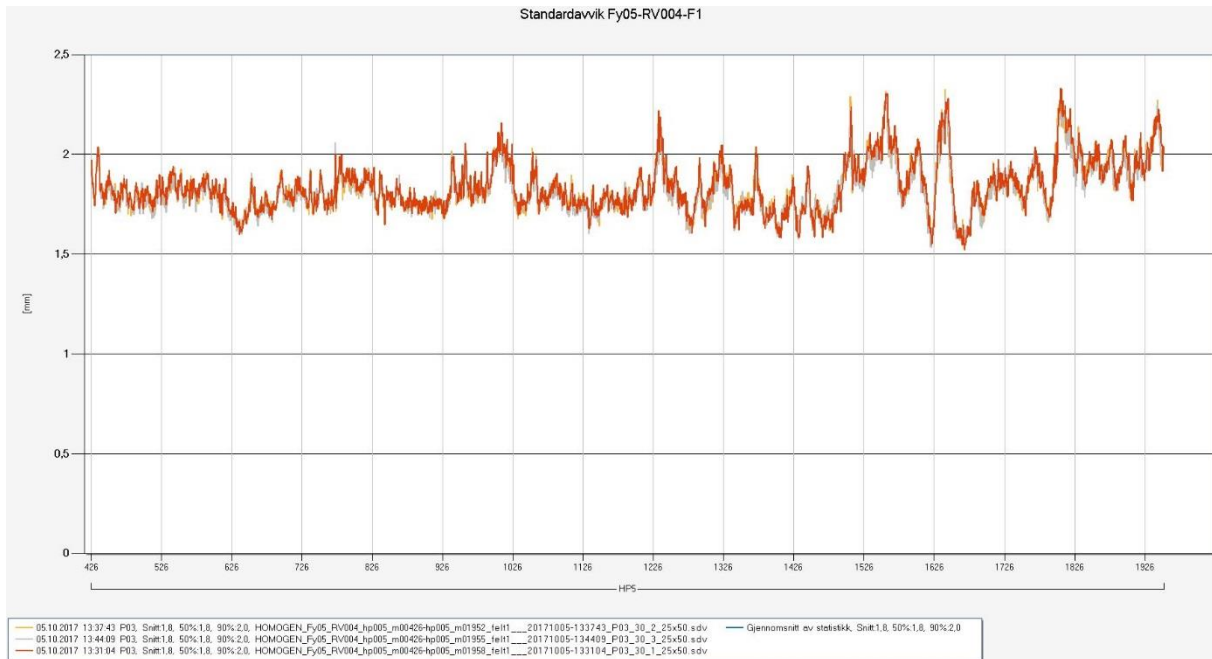


Figur 8: P03, P05 og P09 i 60 km/t på Gardermoen.

5.2 Repeterbarhet

For hver målebil, måle hastighet og strekning er det tre (fire for ViaTech på riksveg 35) måleserier. Analyse av repeterbarheten til målesystemene er gjennomført ved å sammenligne tre (fire) måleserier av gangen, slik at de ytre forholdene er de samme. Målebredden er 2,5 m og hver celle er 10 cm bred og 50 cm lang.

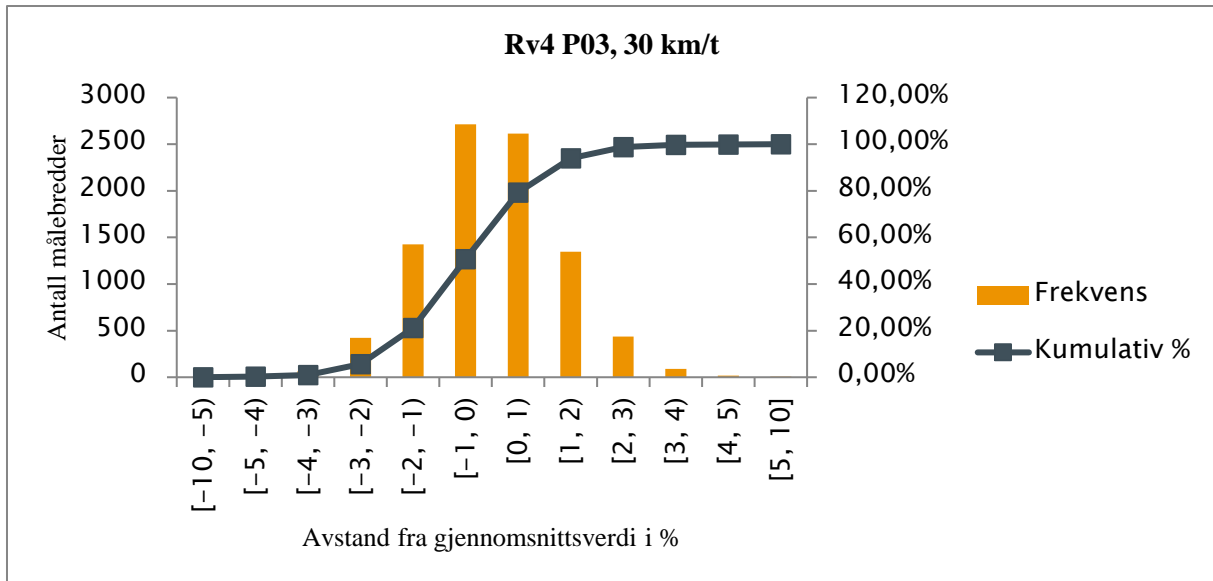
Figur 9 viser tre måleserier fra målebilen P03 i 30 km/t på riksveg 4.



Figur 9: Rv4 P03 30 km/t måleserier 1-2-3.

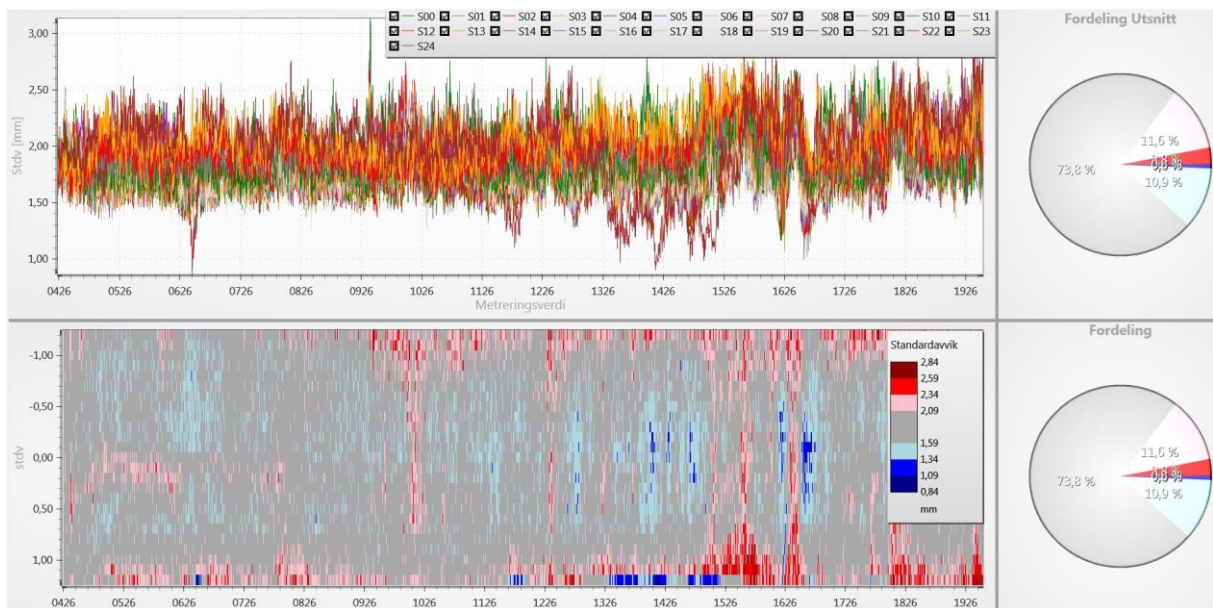
I Figur 10 vises relativt avvik for måleseriene i forhold til gjennomsnittet. Avviket er tilnærmet normalfordelt. Av 9162 målebredder er det kun 9 som ligger mer enn 5 % fra gjennomsnittet.

Standardavviket er 1,29 %. Det gir et 95 %-prediksjonsintervall på [-2,53 %, 2,53 %].

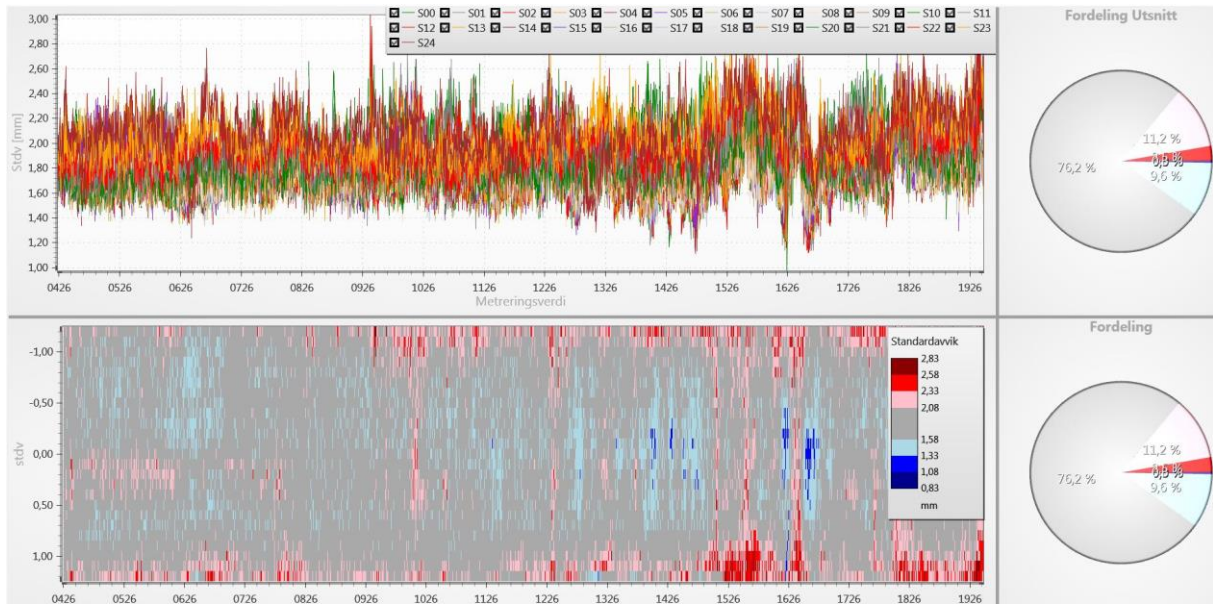


Figur 10: Fordeling av relativt avvik for riksveg 4 P03 30 km/t.

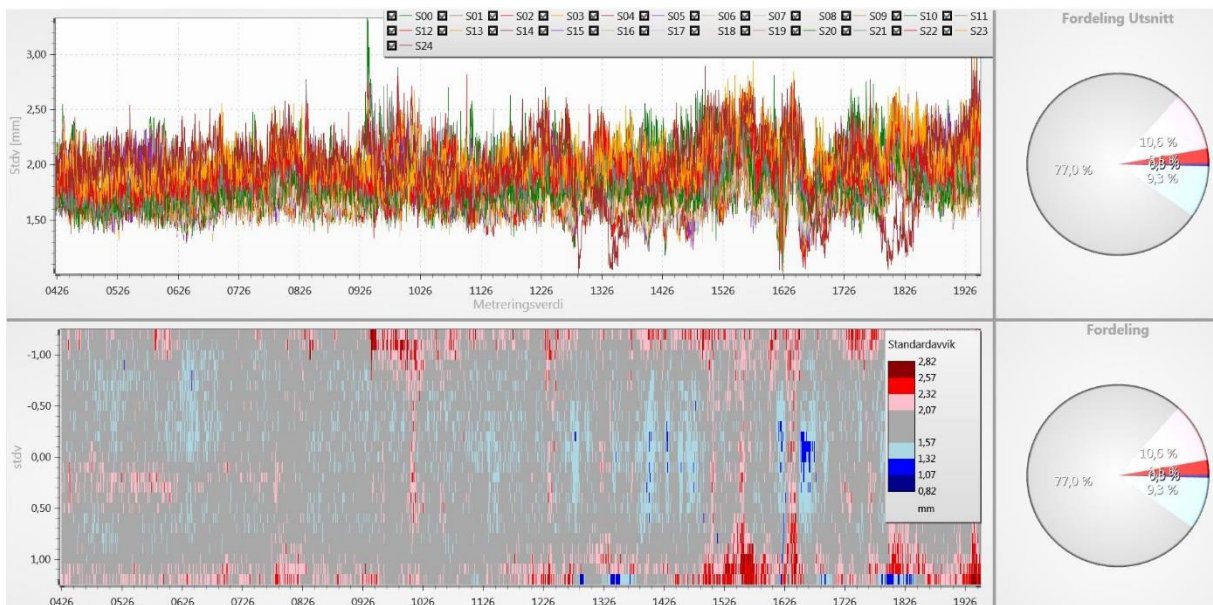
Figur 11 til Figur 13 viser flatekart, kurver for teksturverdi for hver stripe og sektordiagram for måleseriene.



Figur 11: Rv4 P03 30 km/t måleserie 1.

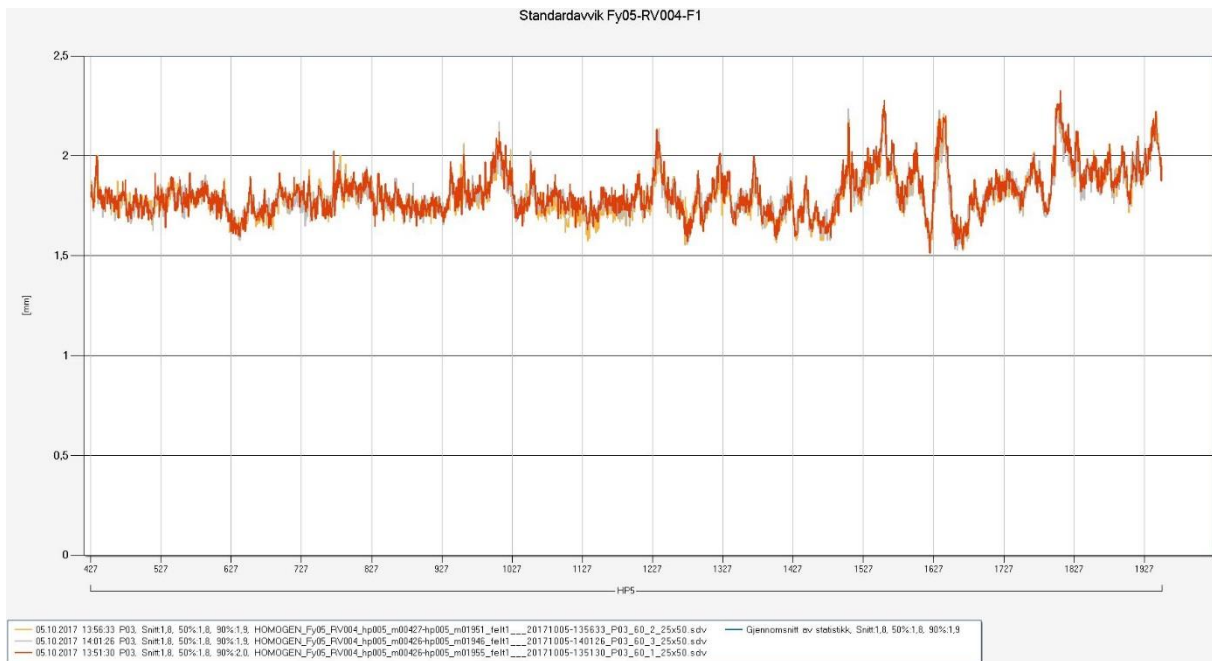


Figur 12: Rv4 P03 30 km/t måleserie 2.



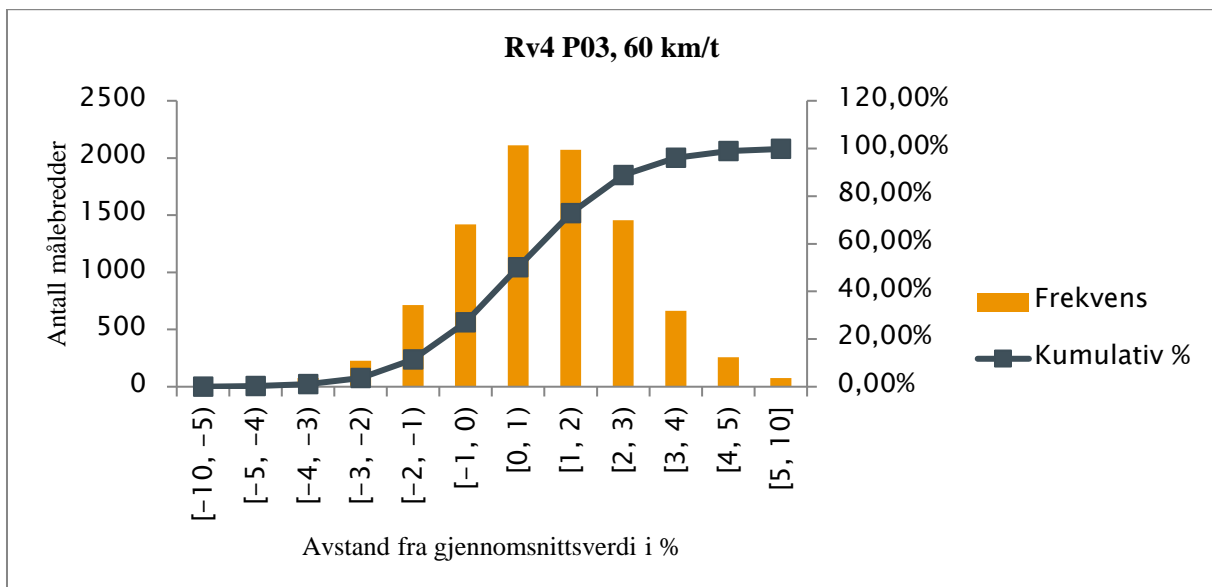
Figur 13: Rv4 P03 30 km/t måleserie 3.

Figur 14 viser tre måleserier fra P03 i 60 km/t på riksveg 4.



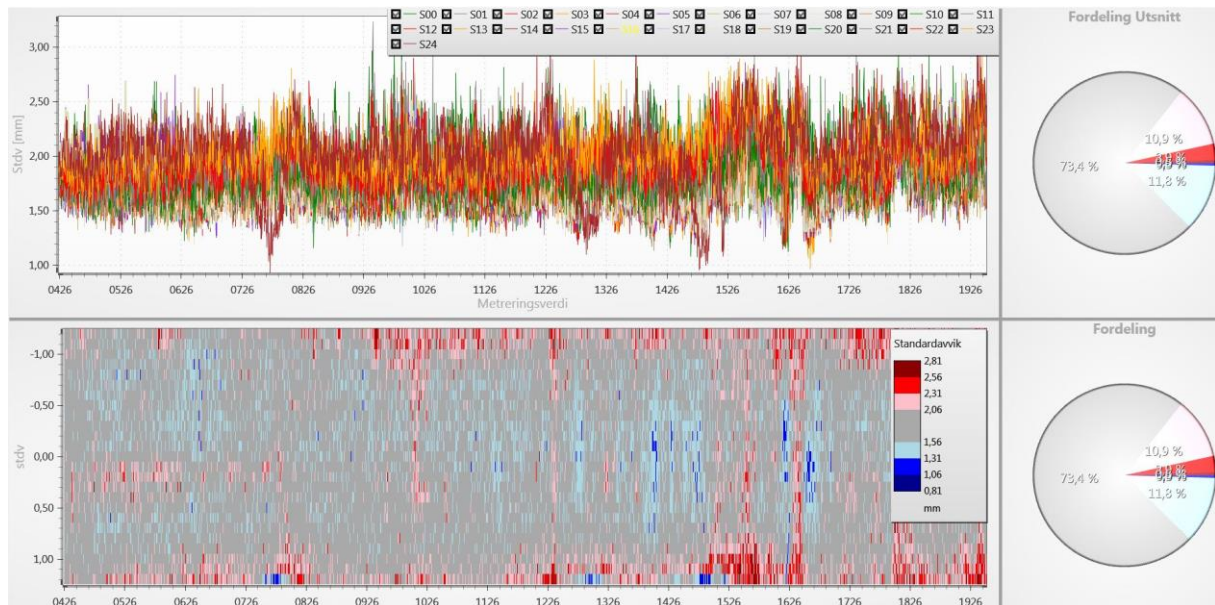
Figur 14: Rv4 P03 60 km/t måleserier 1-2-3.

I Figur 15 vises relativt avvik for måleseriene i forhold til gjennomsnittet. Avviket er tilnærmet normalfordelt. Av 9123 målebredder er det kun 21 som ligger mer enn 5 % fra gjennomsnittet. Standardavviket er 1,69 %. Det gir et 95 %-prediksjonsintervall på [-3,32 %, 3,32 %].

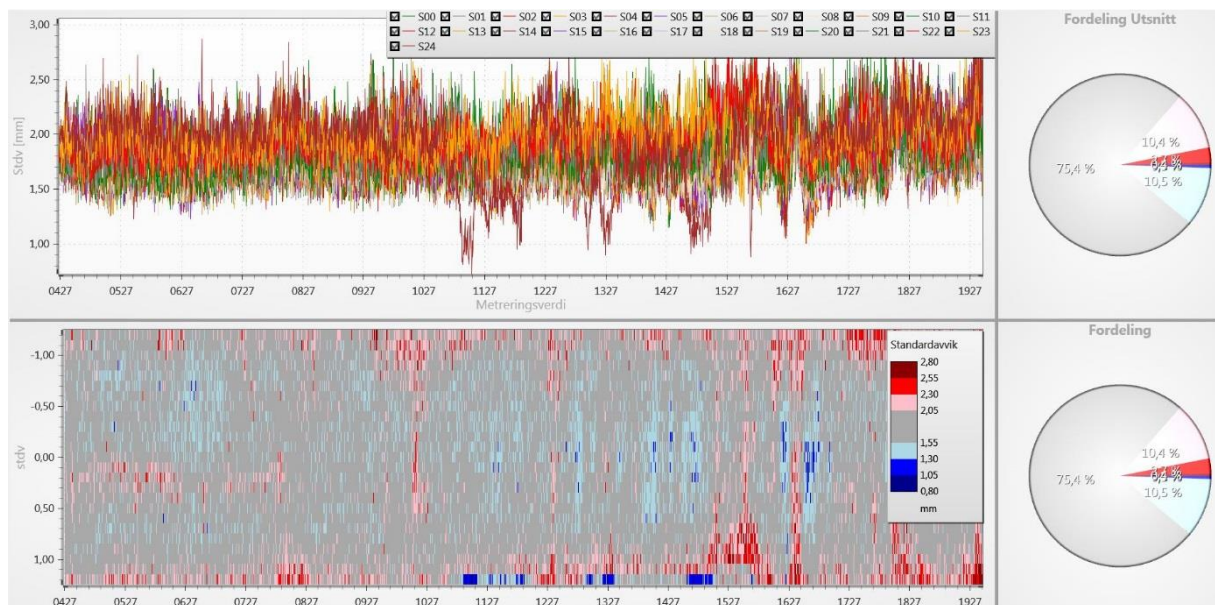


Figur 15: Fordeling av relativt avvik for riksveg 4 P03 60 km/t

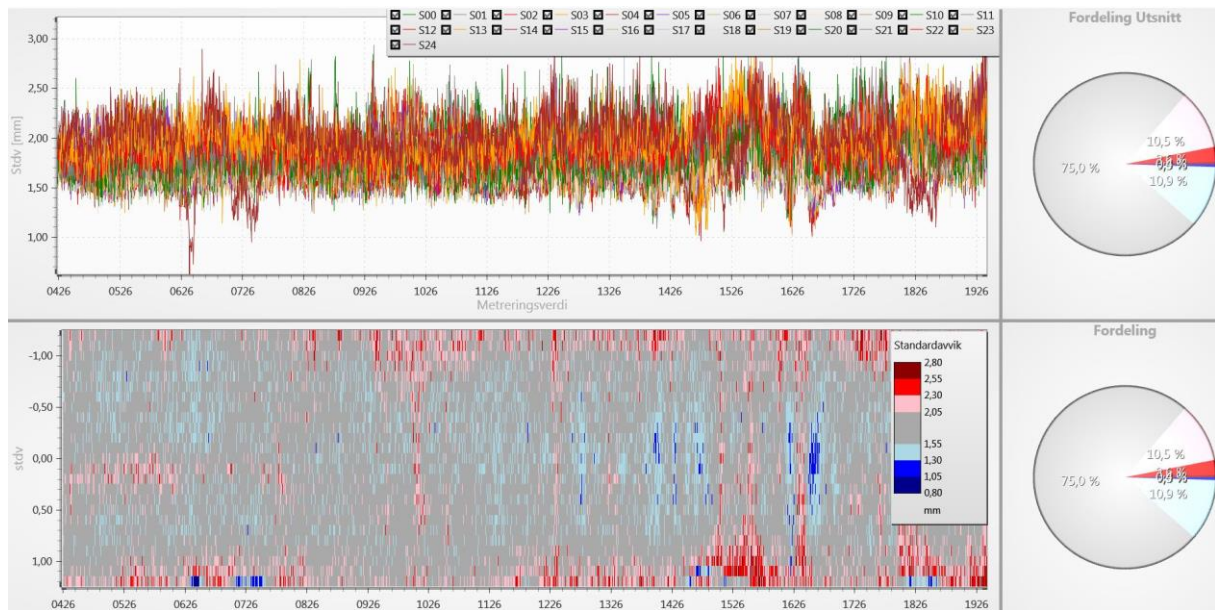
Figur 16 til Figur 18 viser flatekart, kurver teksturverdi for hver stripe og sektordiagram for måleseriene.



Figur 16: Rv4 P03 60 km/t måleserie 1.



Figur 17: Rv4 P03 60 km/t måleserie 2.



Figur 18: Rv4 P03 60 km/t måleserie 3.

Resultatene på riksveg 4 er oppsummert i Tabell 4. For hver måleserie angis gjennomsnittlig standardavvik for hele dekket, samt andel av cellene som ligger innenfor $\pm 0,25$ mm fra gjennomsnittsverdien.

Tabell 4: Resultater fra riksveg 4.

Målebil	Fart [km/t]	Serienr	Gjennomsnittlig standardavvik [mm]	Prosent innenfor $\pm 0,25$ mm
P03	30	1	1,84	73,8
P03	30	2	1,83	76,2
P03	30	3	1,82	77,0
P03	60	1	1,81	73,4
P03	60	2	1,80	75,4
P03	60	3	1,80	75,0
P05	30	1	1,78	79,1
P05	30	2	1,76	81,0
P05	30	3	1,76	81,3
P05	60	1	1,75	78,0
P05	60	2	1,75	78,9
P05	60	3	1,75	79,5
P09	30	1	2,51	43,3
P09	30	2	2,49	43,3
P09	30	3	2,46	45,3
P09	60	1	2,44	46,2
P09	60	2	2,42	47,9
P09	60	3	2,41	48,8
ViaTech	30	1	1,85	78,2
ViaTech	30	2	1,84	79,0
ViaTech	30	3	1,84	79,3
ViaTech	60	1	1,83	76,3
ViaTech	60	2	1,82	77,2
ViaTech	60	3	1,82	77,4

Tabell 5 oppsummerer resultatene fra riksveg 35. Viatechs målebil målte fire serier i både 30 km/t og 60 km/t.

Tabell 5: Resultater fra riksveg 35.

Målebil	Fart [km/t]	Serienr	Gjennomsnittlig standardavvik	Prosent innenfor $\pm 0,25\text{mm}$
P03	30	1	1,34	98,5
P03	30	2	1,34	98,8
P03	30	3	1,35	98,0
P03	60	1	1,34	96,9
P03	60	2	1,35	96,7
P03	60	3	1,35	96,2
P05	30	1	1,28	99,3
P05	30	2	1,28	99,3
P05	30	3	1,29	99,1
P05	60	1	1,29	97,6
P05	60	2	1,30	97,3
P05	60	3	1,30	97,2
P09	30	1	1,87	84,5
P09	30	2	1,88	84,3
P09	30	3	1,88	84,5
P09	60	1	1,89	79,5
P09	60	2	1,89	79,5
P09	60	3	1,89	79,1
ViaTech	30	1	1,37	98,7
ViaTech	30	2	1,37	98,7
ViaTech	30	3	1,37	98,7
ViaTech	30	4	1,38	97,2
ViaTech	60	1	1,37	96,8
ViaTech	60	2	1,37	96,6
ViaTech	60	3	1,37	96,4
ViaTech	60	4	1,38	94,6

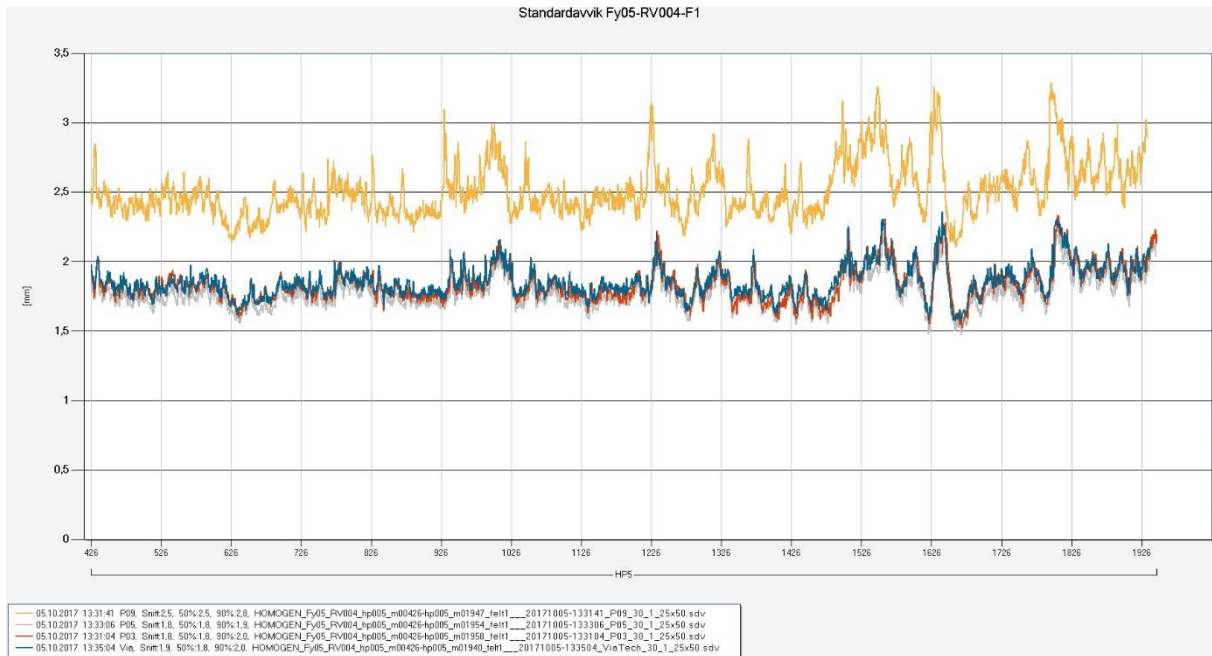
Tabell 6 viser repeterbarheten til de ulike målesystemene.

Tabell 6: Oversikt over repeterbarhet.

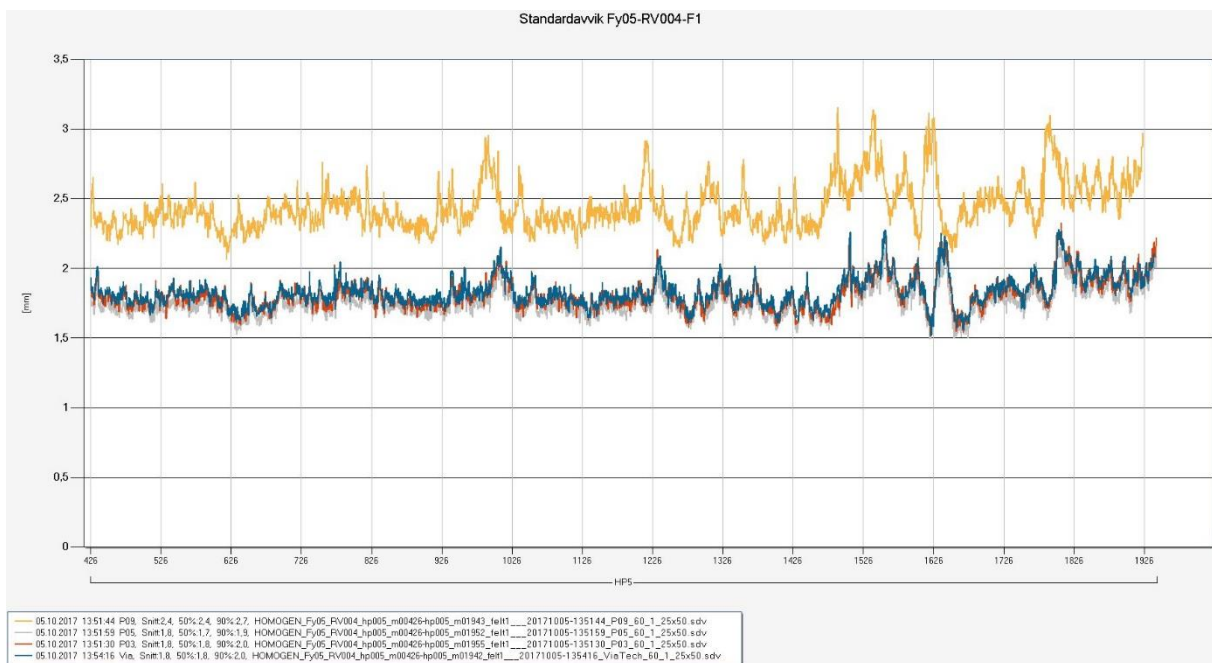
Strekning	Målebil	Fart [km/t]	Relativt standard- avvik	95 %- prediksjonsintervall	Endring i relativt standardavvik fra 30 til 60 km/t[%]
Rv4	P03	30	1,29 %	[-2,53 %, 2,53 %]	31
Rv4	P03	60	1,69 %	[-3,32 %, 3,32 %]	
Rv4	P05	30	1,11 %	[-2,19 %, 2,19 %]	29
Rv4	P05	60	1,42 %	[-2,78 %, 2,78 %]	
Rv4	P09	30	1,85 %	[-3,63 %, 3,63 %]	35
Rv4	P09	60	2,51 %	[-4,92 %, 4,92 %]	
Rv4	ViaTech	30	1,28 %	[-2,51 %, 2,51 %]	1,6
Rv4	ViaTech	60	1,30 %	[-2,56 %, 2,56 %]	
Rv35	P03	30	0,86 %	[-1,68 %, 1,68 %]	42
Rv35	P03	60	1,22 %	[-2,40 %, 2,40 %]	
Rv35	P05	30	0,89 %	[-1,74 %, 1,74 %]	38
Rv35	P05	60	1,23 %	[-2,41 %, 2,41 %]	
Rv35	P09	30	1,07 %	[-2,09 %, 2,09 %]	20
Rv35	P09	60	1,28 %	[-2,51 %, 2,51 %]	
Rv35	ViaTech	30	1,43 %	[-2,80 %, 2,80 %]	-3,5
Rv35	ViaTech	60	1,38 %	[-2,71 %, 2,71 %]	

5.3 Reproduerbarhet

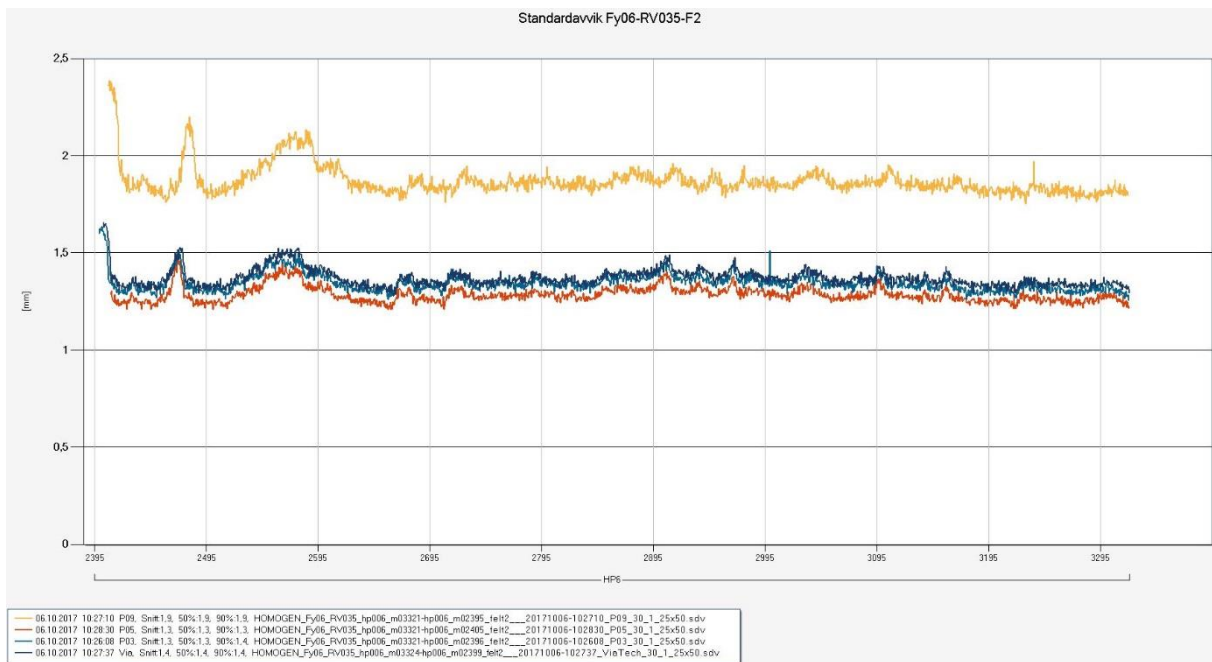
Figur 19 til Figur 22 viser en sammenligning mellom de forskjellige målesystemene. Først på riksveg 4 i henholdsvis 30 km/t og 60 km/t, så på riksveg 35 i 30 km/t og 60 km/t.



Figur 19: Rv4 30 km/t, første måleserie fra alle målebilene.



Figur 20: Rv4 60 km/t, første måleserie fra alle målebilene.

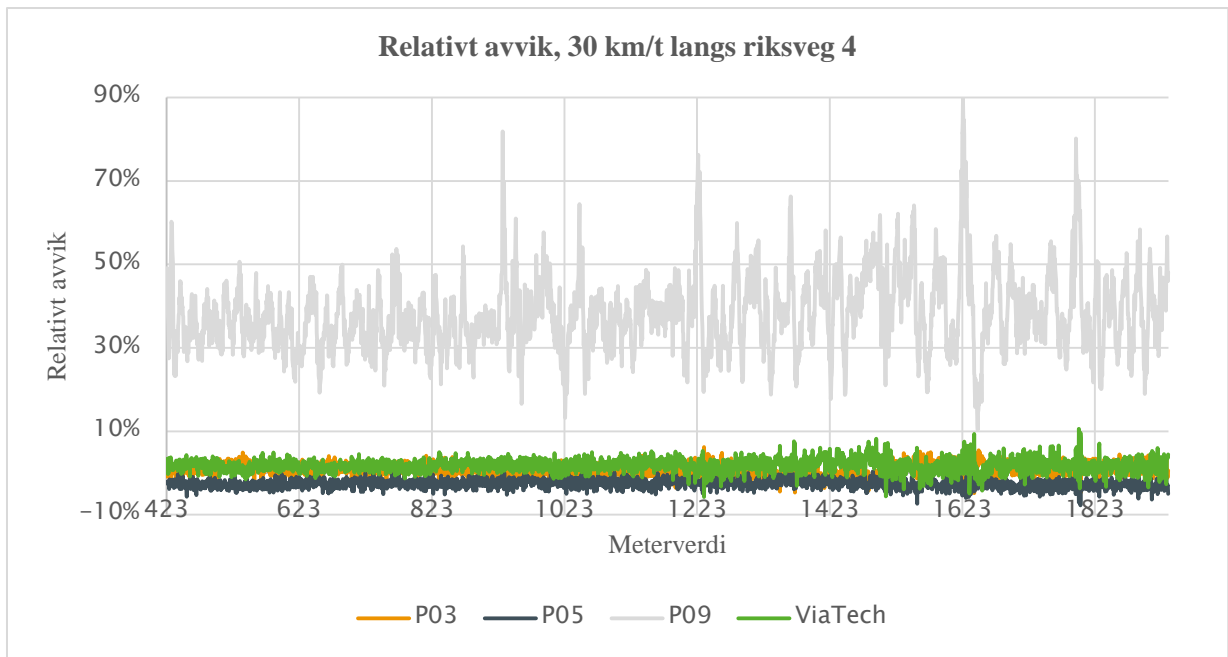


Figur 21: Rv35 30 km/t, første måleserie fra alle målebilene.

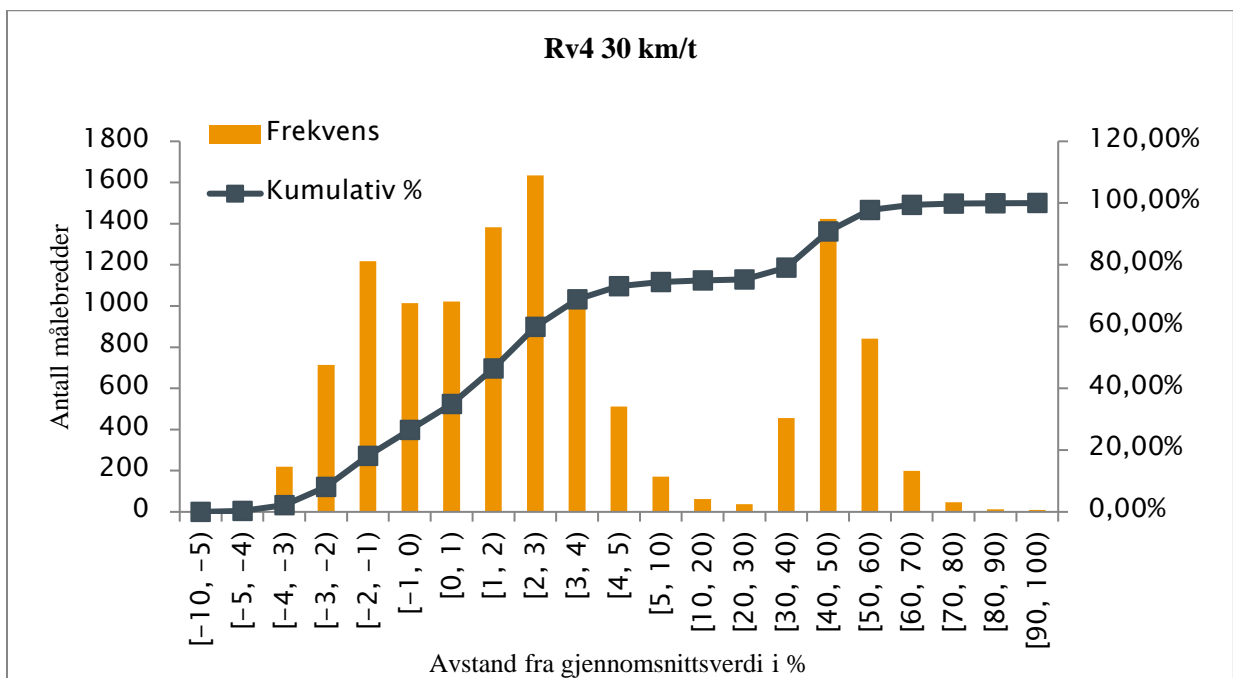


Figur 22: Rv35 60 km/t, første måleserie fra alle målebilene.

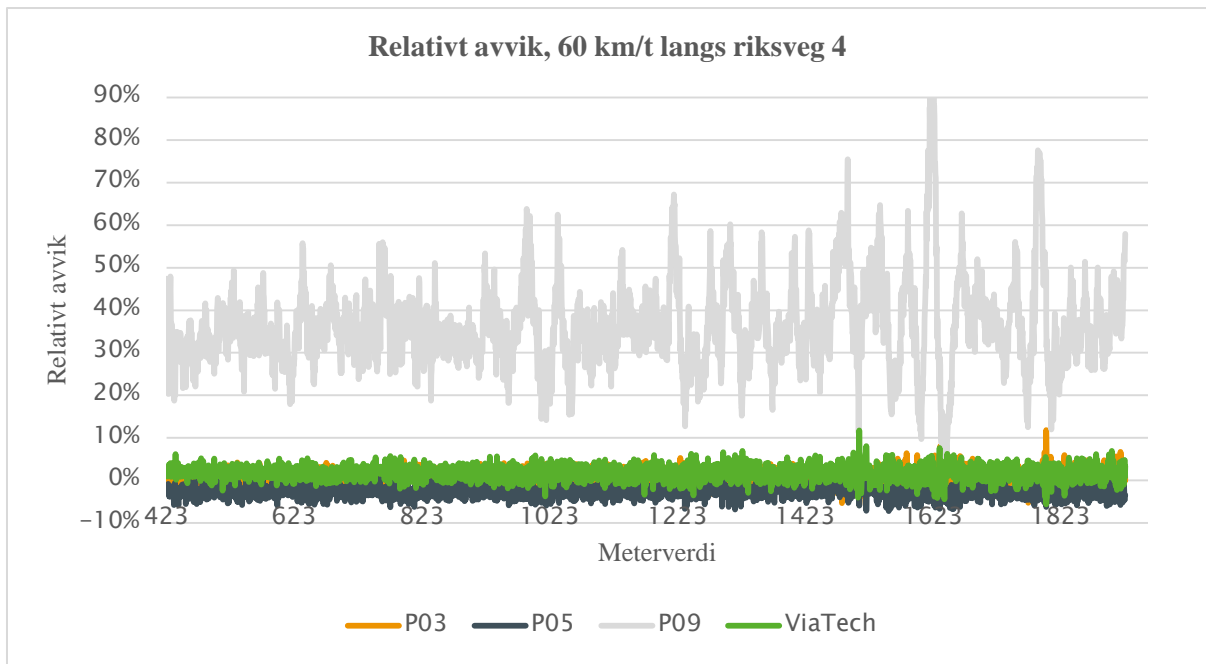
På samme måte som for repeterbarhet følger en beregning av relativt avvik i Figur 23 til Figur 30. Gjennomsnittskurven er laget på grunnlag av måleseriene fra P03, P05 og ViaTech. Ut fra Figur 19 til Figur 22 er det tydelig at P09 skiller seg veldig ut. Det kan se ut som det er noe feil med laserskanneren, og P09 er derfor ikke med i beregningen.



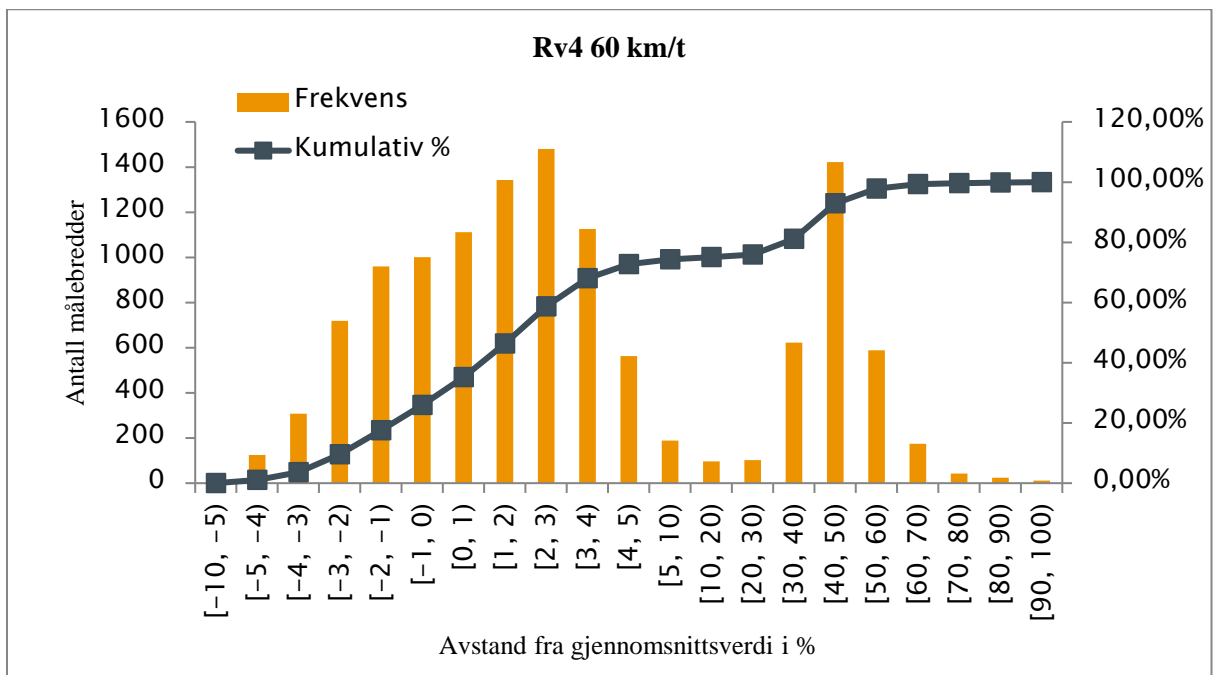
Figur 23: Relativt avvik, 30 km/t langs riksveg 4.



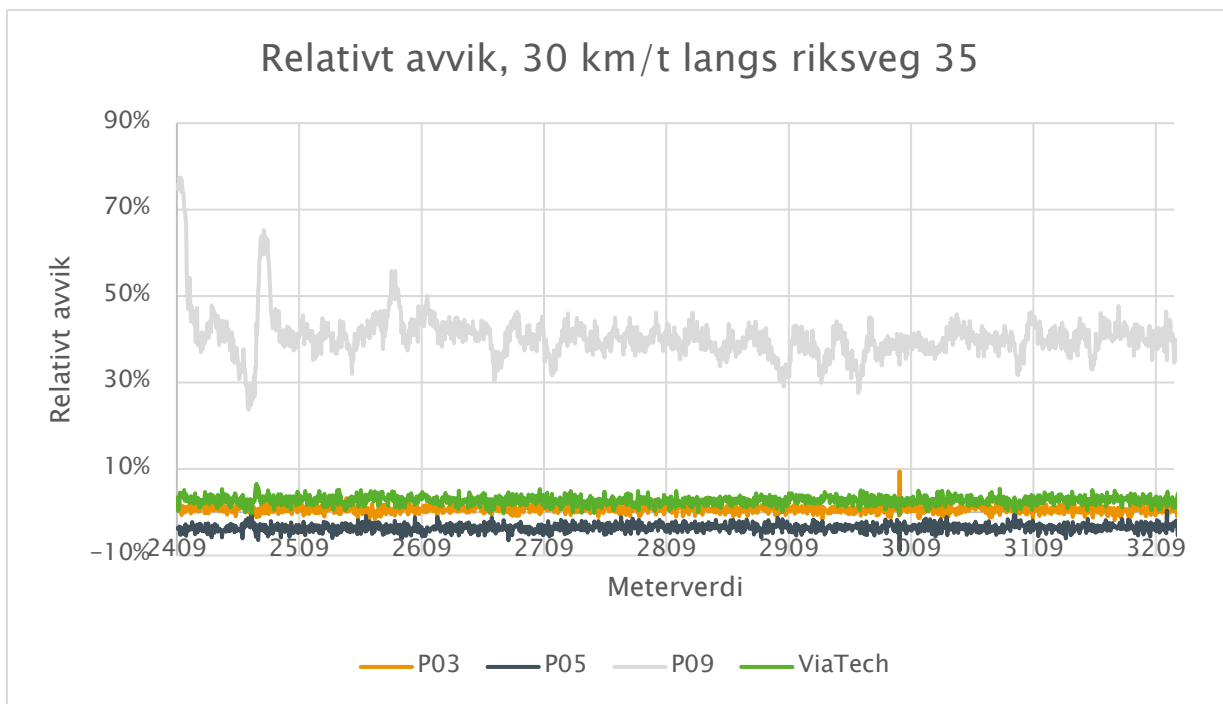
Figur 24: Fordeling av relativt avvik for riksveg 4 i 30 km/t.



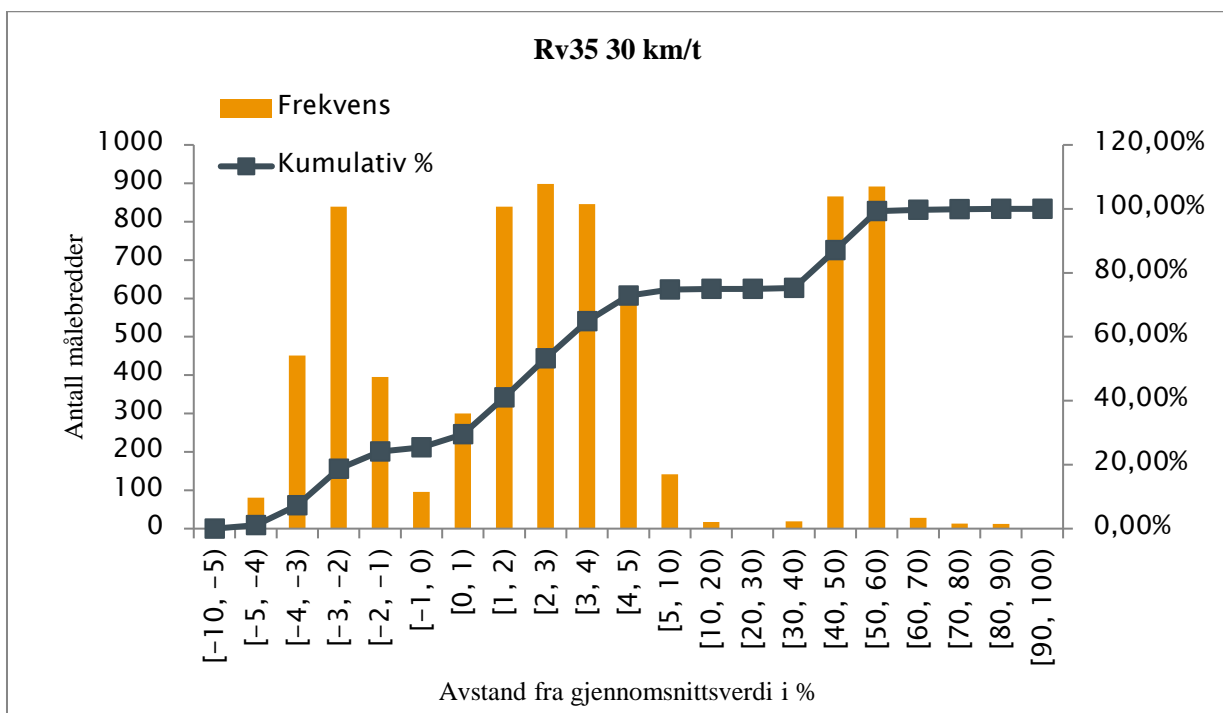
Figur 25: Relativt avvik, 60 km/t langs riksveg 4.



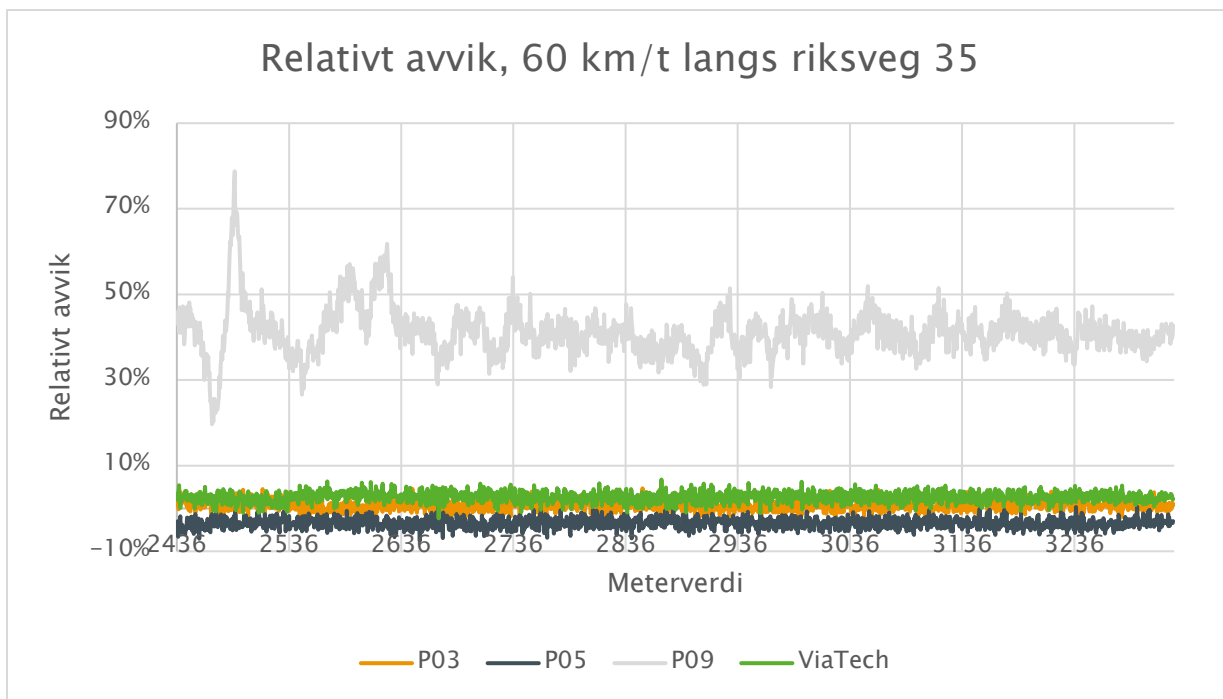
Figur 26: Fordeling av relativt avvik for riksveg 4 i 60 km/t.



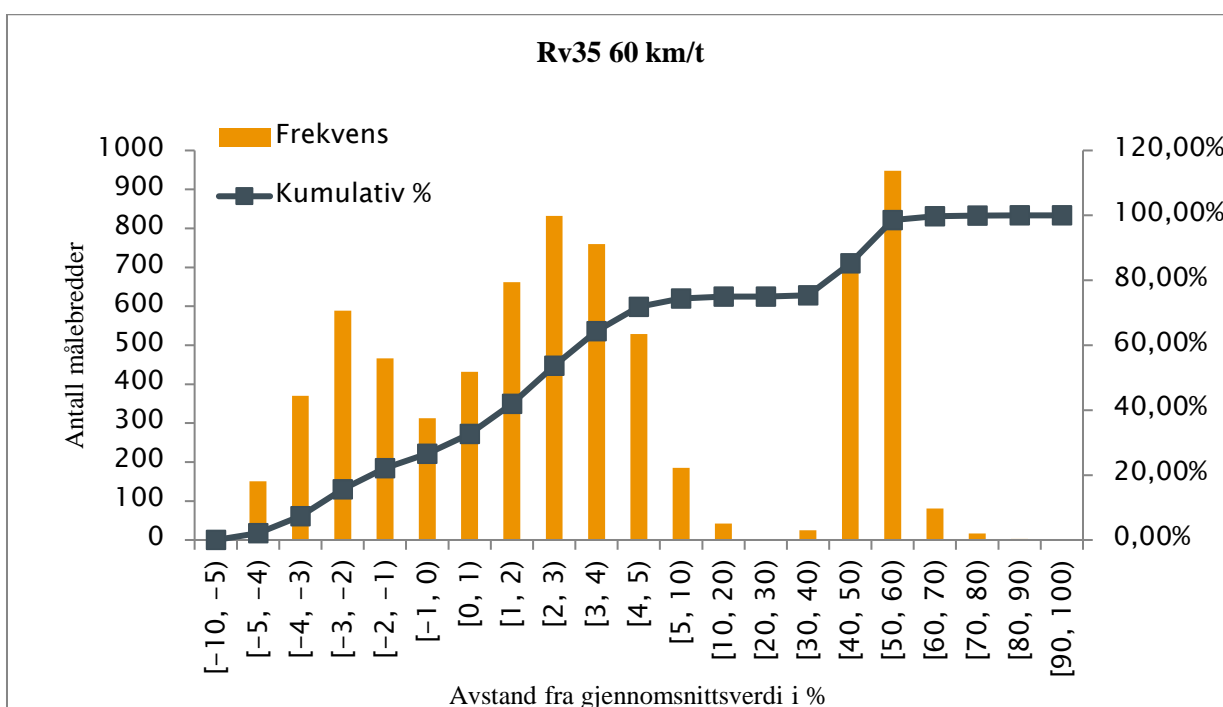
Figur 27: Relativt avvik, 30 km/t langs riksveg 35.



Figur 28: Fordeling av relativt avvik for riksveg 35 i 30 km/t.



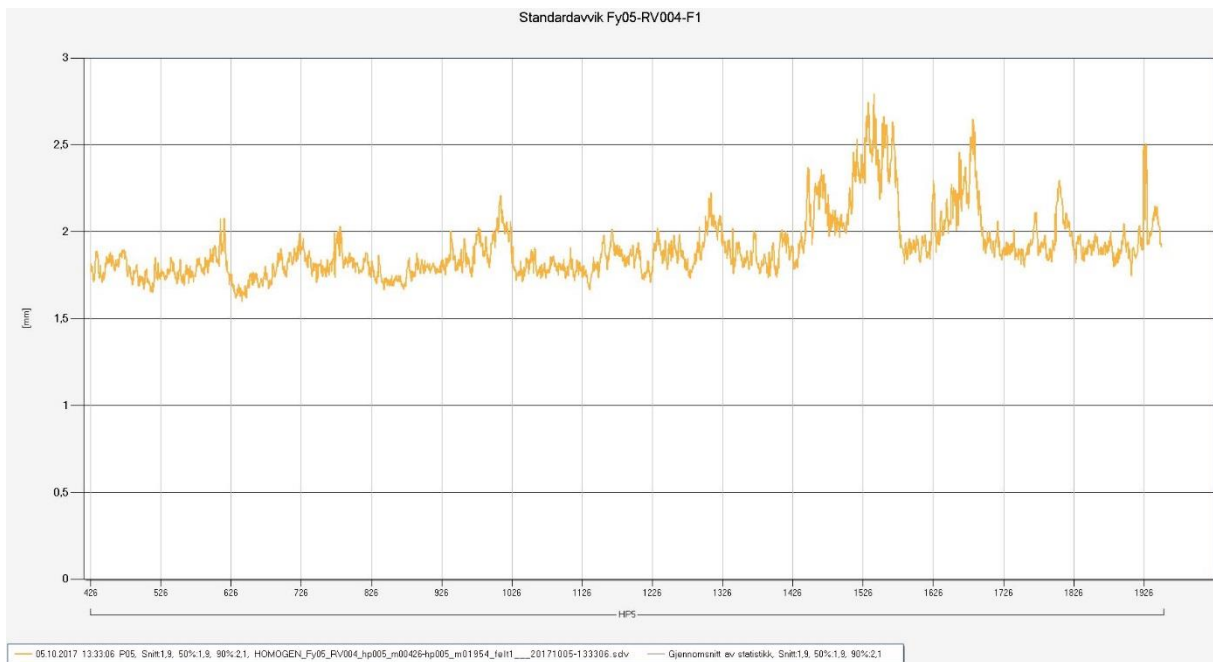
Figur 29: Relativt avvik, 60 km/t langs riksveg 35.



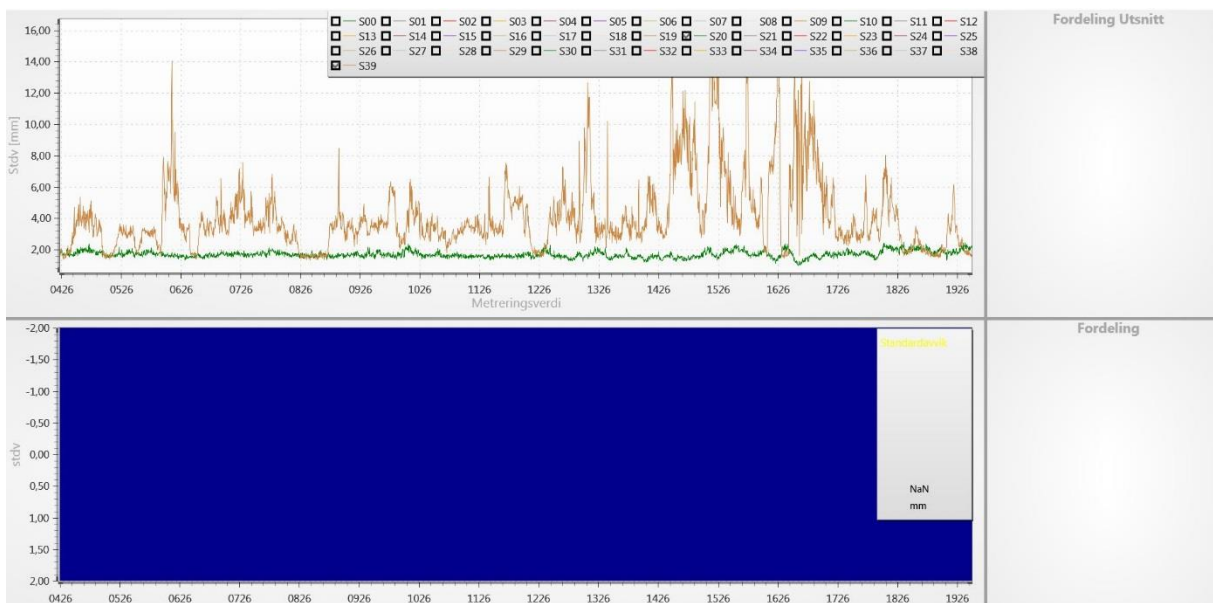
Figur 30: Fordeling av relativt avvik for riksveg 35 i 60 km/t.

5.4 Bredde

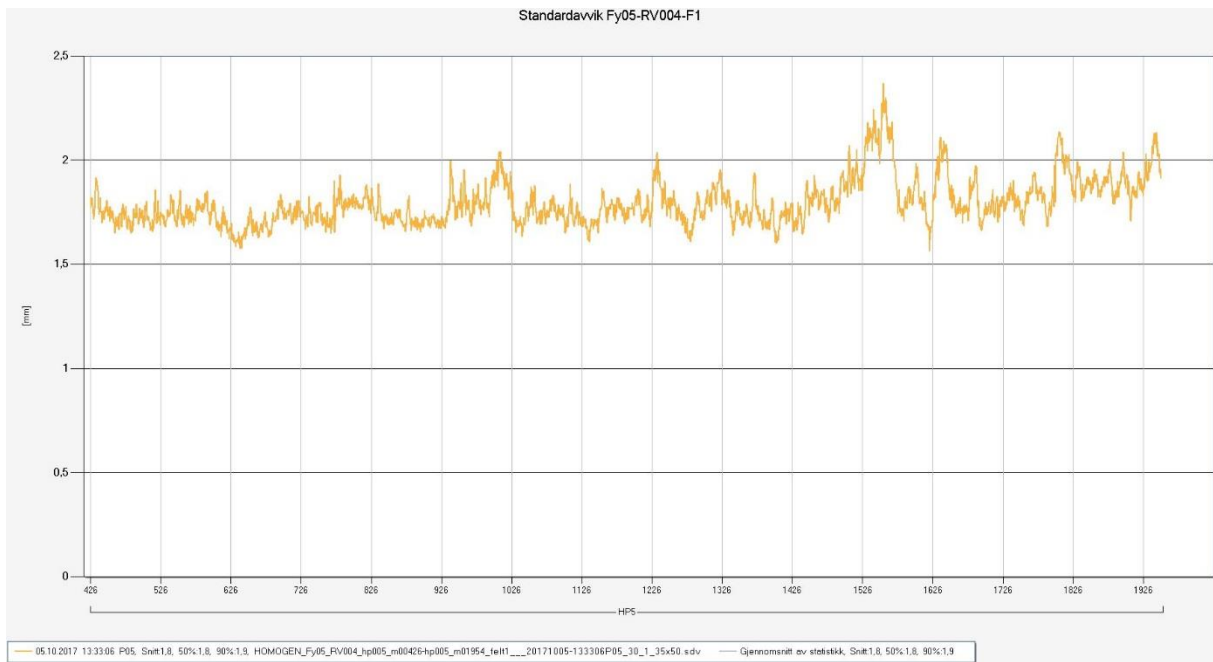
I Figur 31 til Figur 38 vises resultater fra riksveg 4. Samme måleserie vises hver gang, men bredden som brukes i beregningene varierer.



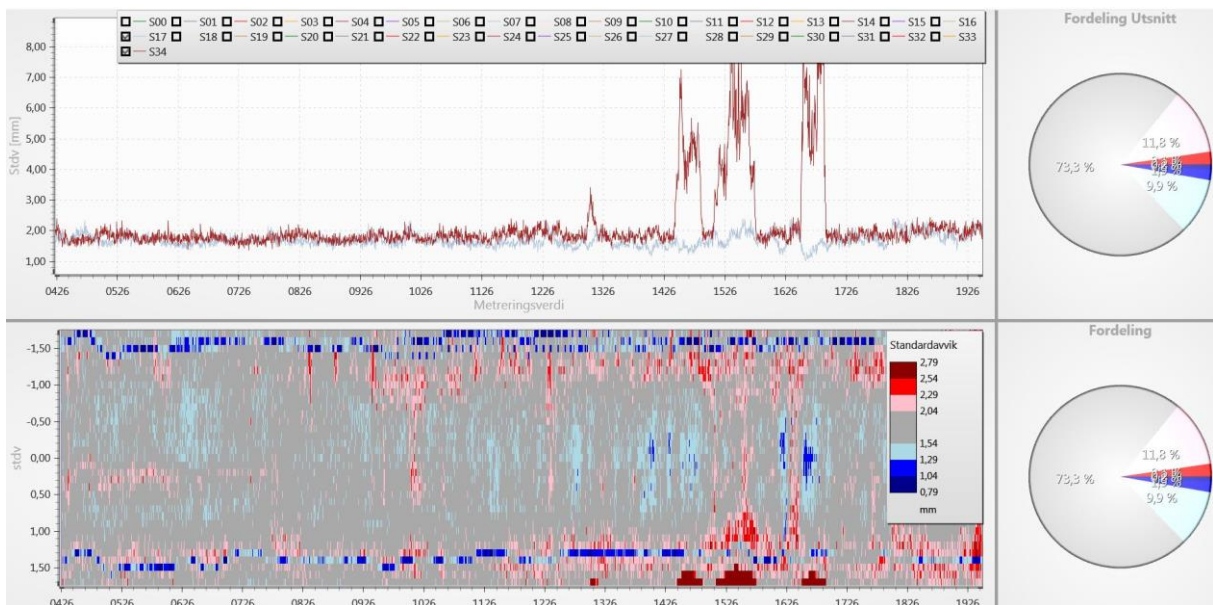
Figur 31: Standardavvik for riksveg 4 med 4 m bredde.



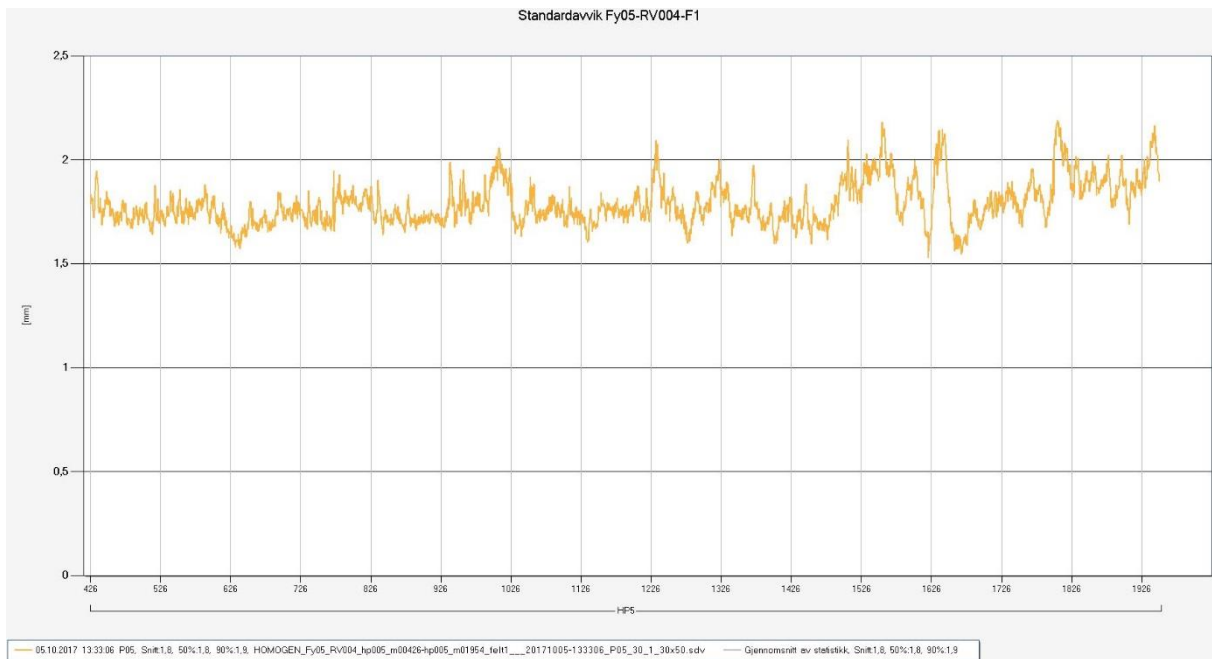
Figur 32: Flatekart og standardavvikskurve for celle lengst til høyre (brun) og midterste celle (grønn) for riksveg 4 med 4 m bredde.



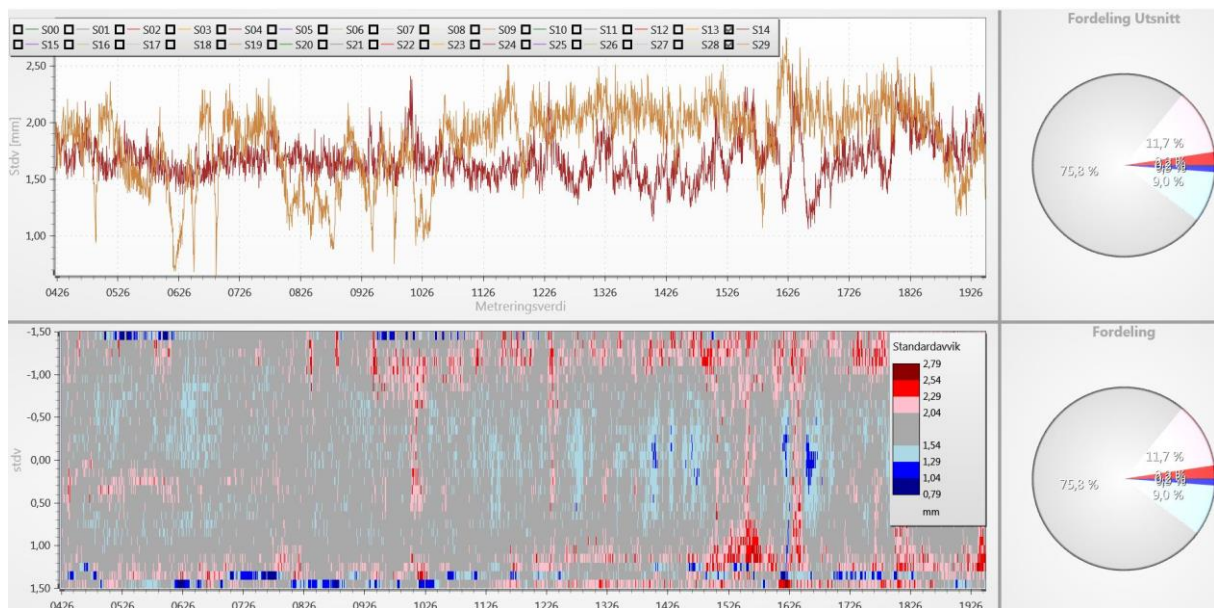
Figur 33: Standardavvik for riksveg 4 med 3,5 m bredde.



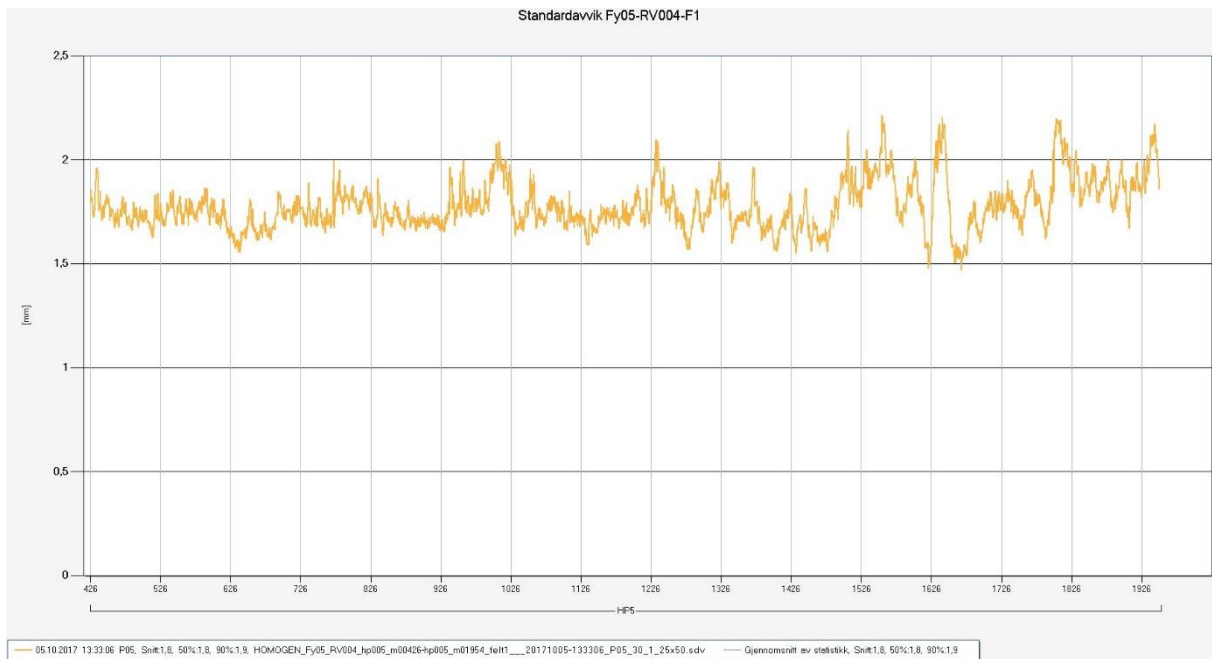
Figur 34: Flatekart og standardavvikskurve for celle lengst til høyre (rød) og midterste celle (lys blå) for riksveg 4 med 3,5 m bredde.



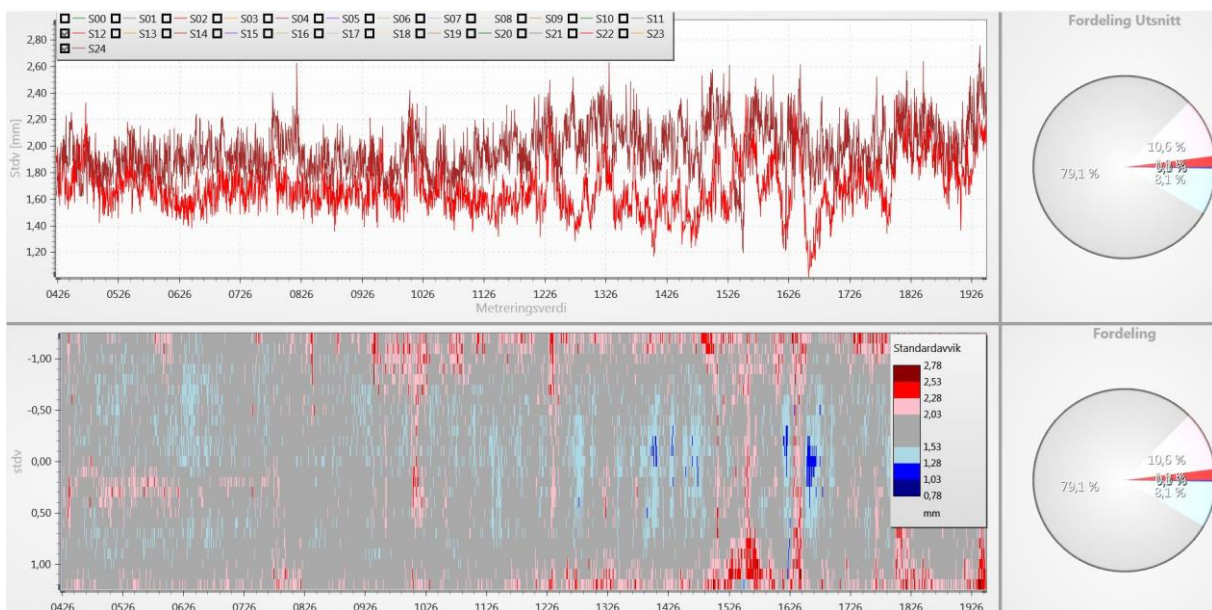
Figur 35: Standardavvik for riksveg 4 med 3 m bredde.



Figur 36: Flatekart og standardavvikskurve for celle lengst til høyre (oransje) og midterste celle (rød) for riksveg 4 med 3 m bredde.



Figur 37: Standardavvik for riksveg 4 med 2,5 m bredde.



Figur 38: Flatekart og standardavvikskurve for celle lengst til høyre (mørk rød) og midterste celle (lys rød) for riksveg 4 med 3 m bredde.

5.5 Sammenligning av bilder og flatekart

I dette delkapittelet følger resultatene fra casestudiene på riksveg 4 og riksveg 35. Alle avvik som er identifisert ved bruk av bilder og/eller i flatekart er gjengitt i Tabell 7 og Tabell 8. Tabellene viser dermed om det er samsvar mellom flatekartene og virkeligheten ute i felt. Flatekartet er fra P05 i 60 km/t.

Tabell 7: Liste over avvik på riksveg 4.

Nr	Metrering	Plassering i forhold til midtlinje [m]	Bredde	Lengde	Tekstur	Identifiserbar	
						Bilde	P05
1	510	1,5	0,5	2	Åpen	x	x
2	695	1,5	0,3	2	Åpen	x	
3	730	2	0,3	0,5	Tett	x	
4	736	1,5	0,3	2	Åpen	x	
5	771	0	3	0,5	Variierende	x	
6	842	2,5	0,5	5	Tett	x	
7	879	0	0,4	5	Åpen	x	x
8	880	1,5	0,8	10	Åpen	x	
9	936	0	0,5	4	Åpen	x	x
10	945	2,5	0,3	2	Tett	x	
11	1005	0,5	1,5	5	Åpen	x	x
12	1105	2,5	0,5	3	Tett	x	
13	1106	0	2,5	4	Åpen	x	x
14	1132	1,5	1,5	2	Tett	x	x
15	1140	1,8	1	10	Variierende	x	
16	1189	2,5	0,5	1	Tett	x	
17	1235	0	3	4	Åpen	x	x
18	1280	1,5	1	10	Variierende	x	x
19	1345	1,5	0,1	5	Tett	x	
20	1385	1,5	1,5	20	Tett	x	x
21	1430	1,5	1	5	Tett	x	x
22	1455	1,5	1	2	Tett	x	x
23	1467	1,5	2	2	Tett	x	x
24	1476	2	0,5	2	Tett	x	x
25	1477	1	0,5	2	Tett	x	x
26	1478	2	0,3	0,5	Tett	x	x

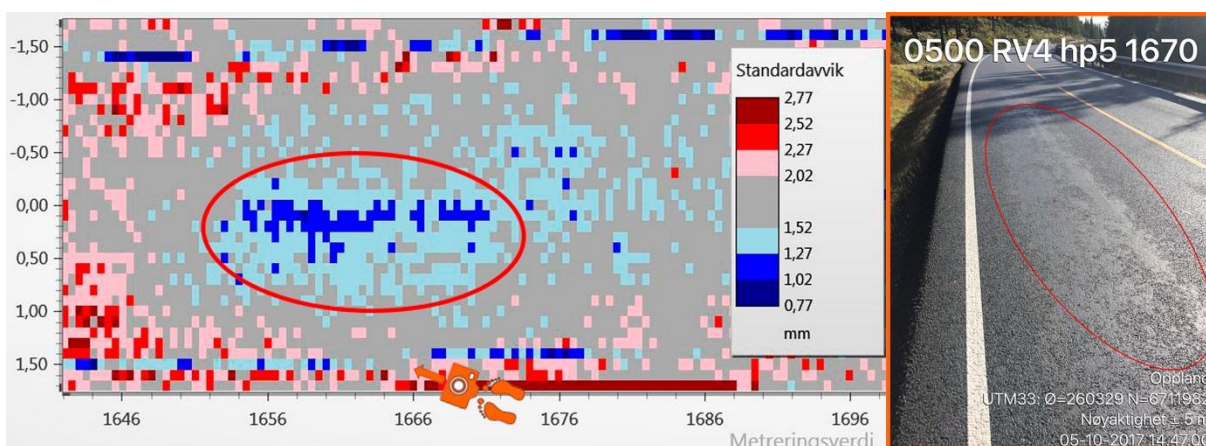
27	1482	2	1	1	Tett	x	x
28	1485	2	0,5	1	Tett	x	x
29	1488	2	0,5	2	Tett	x	x
30	1495	2	0,5	2	Tett	x	x
31	1510	1,5	1	3	Åpen	x	
32	1511	1 2	1	2	Tett	x	
33	1553	1,5	1	3	Åpen	x	x
34	1578	1,8	0,3	3	Tett	x	x
35	1618	1	1,5	10	Tett	x	x
36	1625	3	0,2	6	Tett	x	x
37	1654	1	1	15	Tett	x	x
38	1680	2	0,5	1	Tett	x	x
39	1683	1,5	0,3	0,5	Tett	x	
40	1694	1,5	0,2	4	Tett	x	x
41	1732	1,5	0,4	4	Åpen	x	x
42	1733	0,2	0,3	3	Åpen	x	x
43	1757	2	1	4	Tett	x	x
44	1758	1	0,4	2	Tett	x	x
45	1785	0	3	5	Varierende	x	x
46	1797	1	1	1	Åpen	x	x
47	1821	1,5	0,5	3	Åpen	x	x
48	1845	1	1	3	Åpen	x	x
49	1846	2,5	0,5	2	Åpen	x	x
50	1885	1,5	0,5	3	Åpen	x	x
51	1900	1,5	0,3	2	Åpen	x	x
52	1910	1,2	0,2	1	Tett	x	x
53	1910	1,5	0,5	2	Tett	x	x
54	1913	1,5	0,4	30	Åpen	x	x
55	436	0	0,5	3	Åpen		x
56	438	1,5	0,4	3	Åpen		x
57	451	0	0,5	6	Åpen		x
58	486	0,5	0,5	5	Tett		x

59	581	0	0,5	4	Åpen		x
60	594	0	0,4	3	Åpen		x
61	602	0	0,5	5	Åpen		x
62	631	0,5	1	25	Tett		x
63	784	1,6	0,5	3	Åpen		x
64	836	0	0,6	13	Åpen		x
65	1636	2	1	10	Åpen		x

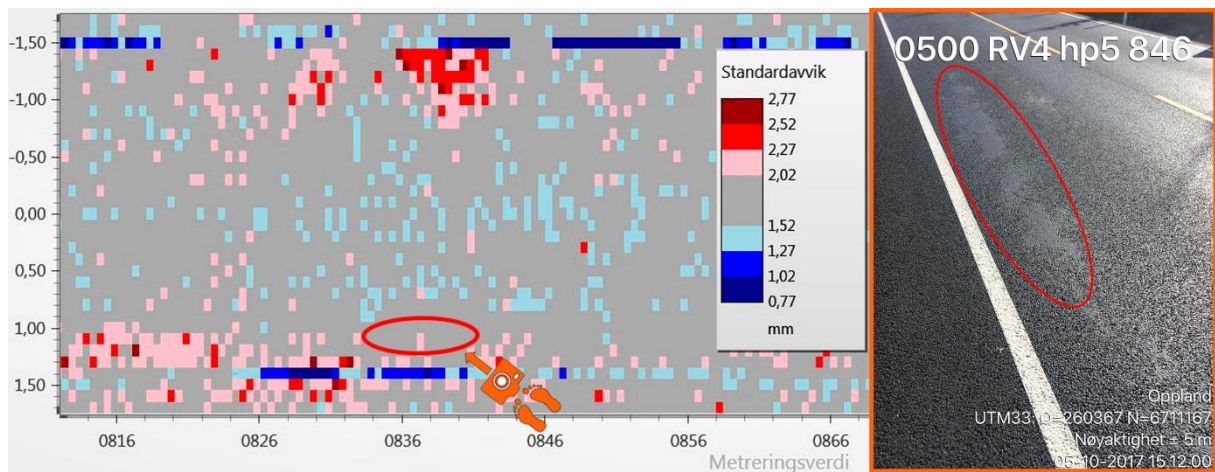
Tabell 8: Liste over avvik på riksveg 35.

Nr	Metrering	Plassering i forhold til midtlinje [m]	Bredde	Lengde	Avvik	Identifiserbar	
						Bilde	P05
1	2535	0	1	75	Åpen		x
2	2545	2,2	0,8	65	Åpen		x
3	2465	2,3	0,7	10	Åpen		x

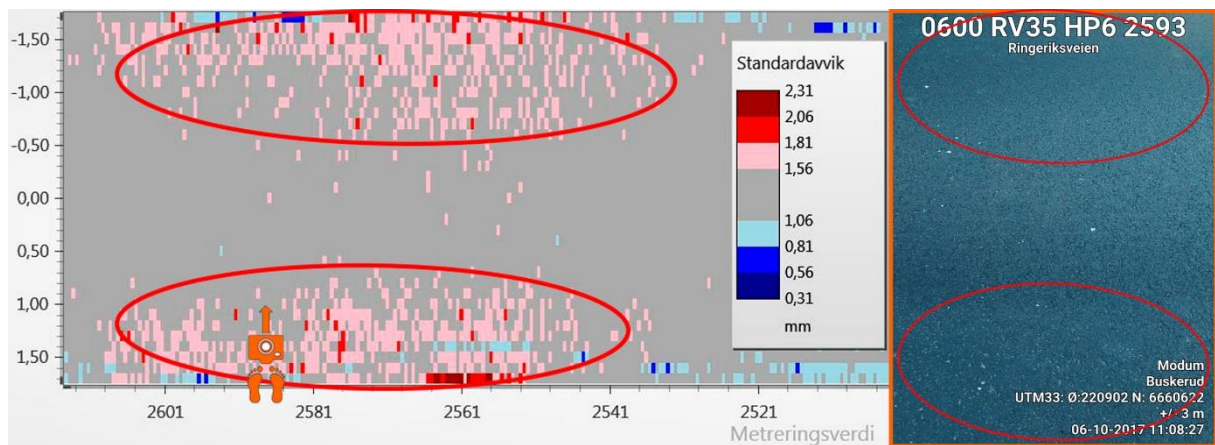
Figur 39 til Figur 41 viser henholdsvis positivt, falsk negativt og falsk positivt avvik. Føtter, kamera og pil indikerer hvor bildet er tatt og i hvilken retning. Rød ring viser avvik (eller mangel på avvik) på bilde og i flatekart. I Figur 41 samsvarer ikke ringene helt, da ringene på bildet kun markerer deler av avvikene som er markert i flatekartet.



Figur 39: Avvik 37 på riksveg 4. Positivt resultat.



Figur 40: Avvik 6 på riksveg 4. Falsk negativt resultat.



Figur 41: Avvik 1 og 2 på riksveg 35. Falsk positivt resultat.

6 Diskusjon

6.1 Skille mellom ulike dekketyper

Siden teksturen er forskjellig for forskjellige dekketyper, bør resultatene også gjenspeile det. På sikt vil det være mulig å etablere typiske standardavviksverdier for forskjellige dekketyper, og dermed sette krav til nye dekker. I denne oppgaven er datagrunnlaget for lite til å konkludere, men noen verdier vil bli foreslått. Det går iallfall tydelig fram av målingene fra testbanen på Gardermoen at man kan skille mellom ulike dekketyper. I Figur 7: P05 i 60 km/t på Gardermoen. Figur 7 og Figur 8 ser man flere tydelige hopp i teksturverdier som stemmer overens med endring dekketype. Tydeligst er området fra omtrent 690 m til 790 m. Her er det lave teksturverdier, akkurat som forventet på et Ab 4 dekke. Videre ser man fra resultatene på riksveg 4 og riksveg 35 at gjennomsnittlig standardavvik er forskjellig. I tråd med teorien har skjelettasfalten grovere tekstur enn asfaltbetongen.

6.2 Fart

Det er gjort målinger i 30 km/t og 60 km/t. Det relative standardavviket mellom måleseriene, samt endringen når man endrer farten fra 30 km/t til 60 km/t er vist i Tabell 6. Som forventet øker det relative standardavviket når farten øker. Unntaket er målebil ViaTech, der økningen bare er marginal på riksveg 4, og faktisk avtar på riksveg 35. Sannsynligvis er det de andre målesystemene som oppfører seg mer typisk. Det skyldes blant annet at økt fart fører til økte vibrasjoner, som gir støy i målingene. Det ser ikke ut til å være noen systematisk forskjell mellom de ulike målesystemene eller de ulike dekkene. Den gjennomsnittlige økningen er litt over 30 % for begge dekkene. Selv om det er en prosentvis markant økning er måleusikkerheten så liten i 30 km/t at den fortsatt er akseptabel i 60 km/t. Det er ønskelig å gjøre målingene i 60 km/t av flere grunner. Et viktig hensyn er trafikkavvikling. Målinger i 30 km/t går såpass sakte at det dannes kø og merkbare forsinkelser. Eksempelvis vil en målebil bruke ett minutt lenger per kilometer på en strekning med fartsgrense 60 km/t hvis målingen gjøres i 30 km/t. Ved mye trafikk kan mye tid totalt gå tapt i kø. Dessuten risikerer man trafikkfarlige forbikjøringer. Feltarbeidet ga inntrykk av at villigheten til forbikjøringer var mye større ved målinger i 30 km/t enn i 60 km/t. Den siste grunnen er effektiviteten til målebilsjåføren. Hvis målingene gjøres i 60 km/t kan man bruke datasettene som uansett blir samlet inn ved initialspormålinger. En viktig del av idéen om homogenitetsmålinger var å bruke data som allerede blir samlet inn. Dersom målebilsjåførene må gjennomføre separate målinger vil det i beste fall være veldig ugunstig, og i verste fall være umulig å gjennomføre.

Disse grunnene kan summeres opp som trafikkisikkerhet og diverse varianter av tidsbesparelser. Trafikkisikkerheten er det vanskelig å si noe sikkert om uten å gjøre egne undersøkelser og analyser, men tidsbesparelsene veier til sammen tungt for å gjøre målinger i 60 km/t. Når måleusikkerheten i tillegg er så liten er det ingen tvil om at det er den beste løsningen.

6.3 Repeterbarhet

Fullstendige måleresultater med alle figurer er kun vist for målebil P03 på riksveg 4. Resten av måleresultatene er oppsummert i Tabell 6. Diskusjonen i dette avsnittet tar derfor utgangspunkt i målebil P03 på riksveg 4.

Flatekartene i Figur 11 til Figur 13 og Figur 16 til Figur 18 ser ut til å stemme godt overens. Man finner igjen lignende avvik i alle flatekartene, for eksempel høy teksturverdi over mesteparten av målebredden ved omtrent 1026 m. Noen av flatekartene inneholder celler med lav teksturverdi til høyre i kjørefeltet, for eksempel Figur 11 mellom 1326 m og 1526 m. Det tyder på at målebilen har ligget litt til høyre i kjørefeltet og fått med vegoppmerkingen. Samlet sett viser måleresultatene fra riksveg 4 god repeterbarhet. For P03 var standardavviket mellom målingene og gjennomsnittet av målingene henholdsvis 1,29 % og 1,69 % i 30 km/t og 60 km/t. 95 %-prediksjonsintervallene blir dermed [-2,53 %, 2,53 %] og [-3,31 %, 3,31 %]. Det vil si at nye observasjoner med 95 % sikkerhet ligger innenfor intervallet. Det brukes som et mål på måleusikkerheten, som da blir $\pm 2,53$ % for P03 i 30 km/t og $\pm 3,31$ % for P03 i 60 km/t. På tilsvarende måte gis måleusikkerheten til de andre måleresultatene ut fra 95 %-prediksjonsintervallet.

Tabell 6 viser at måleusikkerheten jevnt over er litt større for riksveg 4 enn riksveg 35. Det kan ha to ulike forklaringer. Enten tyder det på at målesystemene er bedre til å måle flater med fin tekstur enn flater med grov tekstur, for eksempel på grunn av at for få målepunkter i en celle gjør at teksturverdien ikke blir representativ. I så fall vil variasjonen bli større mellom måleserier på en flate med grov tekstur.

Eller så tyder det på at et dekke med flere skader og avvik fører til større måleusikkerhet. Det kan skyldes at målebilene alltid vil ha små variasjoner i hvordan de er plassert i kjørefeltet. Dessuten er måleseriens startpunkt i varierende grad ulikt. I verste fall kan målebredder som har samme meterverdi i realiteten ha kun 50 % overlapp. Et eksempel på det er måleseriene til P09 i 30 km/t på riksveg 4. Startpunktene er 422,4 m, 422,1 m og 442,2 m. Dermed kan et

avvik potensielt forskyves litt i to forskjellige måleserier. På den måten vil det bli større variasjon mellom måleseriene til et inhomogent dekke enn et homogent dekke.

Det er rimelig til å anta at forskjellen i måleusikkerhet skyldes begge disse faktorene. For å bestemme hvilken av faktorene som er den viktigste bør det gjøres analyse av flere asfaltdekker, for eksempel et bra Ska 11 og et dårlig Ab 11.

Totalt sett er måleusikkerheten så lav at måleresultatene kan brukes til å vurdere homogeniteten til asfaltdekker. Måleusikkerheten er i størrelsesorden noen få prosent. Typiske teksturverdier fra riksveg 4 er omtrent 1,8 mm for ønsket tekstur, <1,5 mm for fin tekstur og >2,0 mm for grov tekstur. Disse tallverdiene ligger så langt fra hverandre at det ikke er noen tvil om hvordan teksturen er for en gitt celle. En teksturverdi på 1,8 mm vil helt sikkert si at teksturen i cellen er akseptabel. Når det kommer til grenseverdier for hva som defineres som åpne eller tette flater er det behov for å vurdere hva som er fornuftige grenser. Det vil være en flytende overgang mellom akseptabel og uakseptabel tekstur. For eksempel vil en teksturverdi på 1,5 mm bety at en celle har forholdsvis fin tekstur. Likevel er det mulig at denne cellen har akseptabel tekstur, som ikke gir grunnlag for utbedring av dekket. En nærmere vurdering av disse grensene følger i kapittel 6.6.

6.4 Reproduserbarhet

Figur 19 til Figur 22 viser en sammenligning mellom de forskjellige målesystemene. Tre av målesystemene ligger på noenlunde samme nivå i alle figurene, mens P09 konsekvent ligger et godt stykke over. P09 er derfor utelatt når gjennomsnittsverdier er beregnet, men er inkludert i analysen videre.

Laserskanneren i P09 ble sendt til reparasjon hos produsenten i løpet av vinteren 2018. Likevel har det en verdi å vise det relative avviket for P09 sammen med de andre målesystemene. Ut fra Figur 19 til Figur 22 kan det se ut som P09s kurver er formlig de andre, bare med omtrent 0,5 mm høyere teksturverdi. Figur 23, Figur 25, Figur 27 og Figur 29 viser at det ikke stemmer. Det relative avviket for P09 sammenlignet med gjennomsnittet for P03, P05 og Viatch gjør store sprang. Figur 24, Figur 26, Figur 28 og Figur 30 viser at de relative avvikene omtrent er samlet rundt gjennomsnittskurven for P03, P05 og ViaTech, mens de høye verdiene tilhører P09. Dette viser at en sammenligning av ulike målesystemer i ViaPPS Analyse ikke gir tilstrekkelig grunnlag for å vurdere reproduserbarhet. Det er lite egnet å visuelt sammenligne kurvene, da det relative avviket kan være mye større enn det ser

ut til. Ut fra repeterbarheten til P09 er det ikke intuitivt at det relative avviket til de andre målesystemene varierer så mye. Det kan tyde på at systemet gjør systematiske målefeil, for eksempel at åpne flater resulterer i for høye teksturverdier sammenlignet med de andre systemene. Forhåpentligvis er problemet løst når laserskanneren er tilbake i drift.

Målebilene P03, P05 og ViaTech ligger godt innenfor 10 % fra gjennomsnittskurven, med noen veldig få unntak. Det relative avviket holder seg noenlunde jevnt for alle tre målesystemene. ViaTechs målebil har minst måleusikkerhet på riksveg 4, men størst på riksveg 35. Dessuten er forskjellen i måleusikkerhet mellom forskjellig fart og mellom de to strekningene svært liten, som tyder på at det er lite støy i målingene. Dermed er trolig ViaTech det systemet der målingene ligger nærmest den reelle verdien, men P03 og P05 ligger like bak.

En kontroll av rådatafilene viser at de har svært forskjellige størrelser, som vist i Tabell 3. For P03, P05 og P09 blir filstørrelsen halvert når man øker målefarten fra 30 km/t til 60 km/t. Det er naturlig, siden tida det tar å måle dekket også blir halvert. Dermed får man halvparten så mange målepunkter, gitt at frekvensen til laserskanneren holdes konstant. For rådatafilene fra ViaTech er det omtrent 20 % forskjell i størrelse mellom målinger gjort i 30 km/t og 60 km/t. Dessuten er filene mye større enn for de andre målesystemene. Antall målepunkter i hver celle ligger på samme nivå hos alle målesystemene. Forskjellen i filstørrelse skyldes at ViaTech også logger diverse posisjonsdata fra strekningen. Disse har ikke innvirkning på måleresultatene.

Hvis målesystemene skal kalibreres kan det være hensiktsmessig å kalibrere etter det som har best repeterbarhet. En annen løsning er å kalibrere etter gjennomsnittet av målesystemene. Kalibrering av spor- og jevnhetsmålinger foregår på denne måten. Dermed er det naturlig å gjøre kalibrering av homogenitetsmålinger samtidig og på samme måte. Når det velges strekninger som målesystemene kalibreres på, vil det være viktig å inkludere forskjellige dekketyper, samt at dekkene er forholdsvis nye. Grunnen er at ulike dekketyper gir ulike teksturverdier, og at faktorer som blant annet piggdekkslitasje og aldring på bindemiddelet kan påvirke måleresultatet.

Å kalibrere bør være en enkel sak når reproduserbarheten er så god. Siden de relative avvikene til gjennomsnittskurven holder seg jevne for P03, P05 og ViaTech bør en konstant kalibreringsfaktor kunne bestemmes for hvert av systemene. Et alternativ kan være et konstant

kalibreringsledd, eventuelt mer avanserte matematiske sammenhenger, men ut fra resultatene ser det ut til at en faktor bør være tilstrekkelig. For eksempel ligger ViaTech omtrent 2 % over gjennomsnittskurven uavhengig av teksturverdi. Kalibreringsfaktoren blir dermed

$$\text{Teksturverdi}_{\text{ViaTech}} = 1,02 * \text{Teksturverdi}_{\text{Reell}}$$

$$\text{Kalibreringsfaktor} * \text{Teksturverdi}_{\text{ViaTech}} = \text{Teksturverdi}_{\text{Reell}}$$

$$\text{Kalibreringsfaktor} = \frac{1}{1,02} \approx 0,98$$

På tilsvarende måte kan kalibreringsfaktorene for P03, P05 og andre målesystemer regnes ut. Målesystemer med så store relative avvik som P09 bør - slik det også ble gjort i dette tilfellet - sendes til reparasjon istedenfor å forsøke å kompensere for så store målefeil, spesielt når man ikke vet hva årsaken er.

Med så god repeterbarhet og reproduserbarhet for målebilene P03, P05 og ViaTech vil disse målesystemene kunne brukes selv uten kalibrering, hvis man ønsker å få erfaring med vurdering av homogenitet. Uten kalibrering (og mer testing) er det for tidlig å bruke teknologien overfor entreprenør, men måleresultatene bør kunne gi et overblikk over homogeniteten til et nylagt dekke før man eventuelt gjør grundigere vurderinger.

6.5 Bredde

Det er ønskelig å måle hele kjørefeltet, samt vegskulderen hvis mulig. På den måten kan man avsløre dårlig utlegging både inn mot senterlinja og ut mot vegskulderen, som ofte er områder som er vanskelig å utføre i tilfredsstillende kvalitet. Ute på vegen finnes det mange forskjellige bredder både på kjørefelt og vegskulder. Breddene avhenger av dimensjoneringsklasse (Statens vegvesen, 2014b), men også av byggetidspunkt. Det finnes mange eksempler på at eldre veger er smalere enn dagens krav. Når disse vegene får nye dekker gjøres det sjelden noe med resten av overbygningen. Dermed kan det være nødvendig å variere bredden på målingene avhengig av vegens faktiske bredde.

Figurene fra kapittel 5.4 viser hva som skjer når man lager homogenitetsrapporter med ulik bredde. Homogenitetsrapporten med 4 m bredde fungerer dårlig som vist i Figur 32. Ved visning i homogenitetsmodulen blir flatekartet helt blått og man får ikke opp noen tallverdier.

I Figur 34 viser flatekartet med 3,5 m bredde tydelig vegoppmerkingen på hver side, markert som blå celler med lavt standardavvik. I tillegg er det tre områder med betydelig høyere

standardavvik ytterst på vegskulderen, omtrent ved 1450-1470 m 1510-1560 m og 1650-1680 m. Dette tyder på at cellene ligger utenfor dekket.

I Figur 36 viser flatekartet med 3 m bredde tydelig vegoppmerkingen på høyre side.

Vegoppmerkingen på venstre side er mindre tydelig, og vises ikke i de områdene der høyre side av vegoppmerkingen ligger lenger inn i flatekartet. Det tyder på at kjørefeltbredden er 3 m, og det stemmer også overens med flatekartene med 3,5 m og 4 m bredde.

I Figur 38 viser flatekartet med 2,5 m bredde ingen vegoppmerking. Generelt er standardavviket minst mot midten og størst ut mot sidene.

Når vegskulder inkluderes i beregningen vil gjennomsnittlig standardavvik øke litt på grunn av at målingene inkluderer vegskulderens ytterkant. Det er enkelt å skille mellom åpne flater og vegskulderens ytterkant i flatekartet og teksturverdikurvene, da vegskulderens ytterkant får standardavviksverdier som typisk er 3-5 ganger større enn gjennomsnittet for strekningen.

Dersom man skal gjøre en manuell vurdering av homogeniteten vil det ikke være noen ulemper ved å inkludere så mye som mulig av vegskulderen. På sikt vil det være effektivt å automatisere prosessen så mye som mulig. Da blir tallverdiene viktigste grunnlag for å vurdere homogeniteten. Gjennomsnittlig standardavvik for strekningen kombinert med andel celler innenfor et intervall rundt gjennomsnittlig standardavvik kan være et godt utgangspunkt for å vurdere homogeniteten til et dekke. Dersom man velger 3,5 m målebredde er man nødt til å ta hensyn til vegoppmerkingen, slik at man kan se bort fra disse måleverdiene når man vurderer dekket.

Linjebredden på vegoppmerkingen varierer ut fra blant annet fartsgrense, kjørefeltbredde og antall kjørefelt. På motorveg er noen linjetyper hele 30 cm brede, men på strekningene som er undersøkt i denne oppgaven er linjebredden 10 cm (Statens vegvesen, 2015a). Når cellebredden også er 10 cm vil vegoppmerkingen synes tydelig i flatekartet, og kun være én celle bred. Dermed er det også enkelt å regne ut antallet celler man kan se bort fra når man vurderer dekket som helhet. For strekningen på riksveg 4 består vegoppmerkingen av heltrukken kantlinje, og vekselvis varsellinje og kjørefeltlinje/varsellinje som midtoppmerking, på henholdsvis 945 m og 580 m. Til sammen gir det i gjennomsnitt 1,85 heltrukne linjer. Ved 3,5 m målebredde vil dermed 1,85 av 35 striper vise vegoppmerking, som tilsier en prosentandel på 5,3 %. Måleresultatene fra 3,5 m bredde viser 12 % lav teksturverdi, som vist i kakediagrammet i Figur 13. Måleresultatene fra 2,5 m bredde, som

ikke måler vegoppmerkingen, viser 8,2 % lav teksturverdi, som vist i sektordiagrammet i Figur 15. Differansen blir 3,8 %. En manuell telling av cellene viser at 730 av 3051 celler ikke indikerer heltrukken kantlinje. Det vil si at resultatene kun viser 76,1 % av oppmerkingen. Dermed vil 4,0 % av cellene vise oppmerking. Det stemmer bedre overens med differansen på 3,8 %. Når man vurderer dekket med 3,5 m målebredde og standard vegoppmerking er det derfor fornuftig å se bort fra omtrent 4 % av lave teksturverdier. Med andre ord vil et dekke med 96 % normale standardavviksverdier og 4 % lave teksturverdier i realiteten være tilnærmet perfekt.

Så lenge man ser bort fra lave teksturverdier som følge av oppmerking vil det være fornuftig å måle så mye av dekket som mulig. 3,5 m målebredde burde være passende i de fleste tilfeller.

6.6 Sammenligning av bilder og flatekart

Tabell 7 viser alle identifiserte avvik på riksveg 4. Dekket er dårlig lagt, med til sammen 65 avvik. Av disse var det 40 som ble identifisert både på bilder og i flatekart, 14 som bare ble funnet på bilder og 11 som bare ble funnet i flatekartet. Av 54 reelle avvik ble 40 identifisert i flatekartet, som gir en identifiseringsprosent på 74 %. Av de 14 falsk negative avvikene hadde 12 et areal på 3 m² eller mindre. De større avvikene var generelt lettere å identifisere. Seks avvik på mer enn 10 m² ble alle identifisert. Flatekartet egner seg godt til å vurdere strekningen som helhet, selv om noen mindre detaljer kan gå tapt.

De 11 falsk positive avvikene er i hovedsak enten små eller består av lys røde eller blå celler. Unntaket er avvik 65, som er på omtrent 10 m² og inneholder mange røde og mørk røde celler. Bildene fra målebilen viser at dekket var vått i dette området da målingen ble gjort, mens det hadde tørket da bildene med VegViseren ble tatt. Det våte dekket kan derfor forklare de høye teksturverdiene. De samme ser ut til å stemme for de andre falsk positive avvikene med høye teksturverdier. Derfor er det svært viktig at dekket er helt tørt når det måles. Å justere grenseverdier for fargekodning i flatekartet vil også hjelpe. Ved å justere grensen for grå visning vil man kunne fjerne enslige lys blå og lys røde celler som oppleves som støy, for eksempel ved å velge grenseverdier på 1,27 mm og 2,27 mm

Tabell 8 viser alle identifiserte avvik på riksveg 35. Det er kun tre avvik, der alle er falsk positive. Det tyder på at dekket er svært godt utført, og at måleresultatene i stor grad gjenspeiler det. I dette tilfellet kan to av avvikene muligens forklare. Avvik 1 og 2 ligger ytterst på hver sin side av kjørefeltet ved omtrent samme metring. Akkurat denne

delstrekningen på rundt 70 m er også den skarpeste svingen på hele strekningen.

Horisontalkurveradien er kun 193 m. Det vil gi en ganske stor sentripetalakselerasjon, som igjen kan påvirke måleresultatene. Dette forklarer likevel ikke avvik 3. Dermed virker det som om alle avvikene har korrekt målte teksturverdier. Disse teksturverdiene er høye nok til å gi utslag i flatekartet. I virkeligheten er dekket av tilfredsstillende kvalitet på disse områdene. Derfor bør grenseverdiene for fargekodingen i flatekartet justeres for å luke ut falsk positive avvik. Dersom den øvre grensen for grå visning justeres til 1,81 mm vil de tre avvikene forsvinne. Samtidig forsvinner også alle enslige lys røde celler som er spredt utover flatekartet og oppleves som støy. Ved å justere den nedre grensen for grå visning vil man kunne fjerne enslige lys blå celler. Problemet med å gjøre det på dette dekket er at det ikke finnes noe referansepunkt for typiske teksturverdier på tette flater. Ved å justere grensen risikerer man derfor å overse avvik med fin tekstur. Dessuten vil teksturverdien til vegoppmerking i stor grad falle innenfor dette intervallet. Dermed blir det vanskelig å skille ut vegoppmerkingen i flatekartet. Det har ingen betydning når man gjør en manuell vurdering av dekket i flatekartet, men kan ha betydning hvis man bruker prosentandelen av ulike farger til å vurdere dekket.

Det er unødvendig å operere med sju farger i visningen av flatekart. Det bør være tilstrekkelig med fem kategorier. Casestudiet viser at mange av cellene med lys blå og lys rød kun blir støy som ikke er en del av virkelige avvik. Derfor bør intervallet for grå farge økes slik at det dekker mesteparten av det som for øyeblikket vises som lys blå og lys rød. Deretter slås kategoriene rød og lys rød sammen, og blå og lys blå sammen. De nye kategoriene bør få fargene lys rød og lys blå for å øke lesbarheten til flatekartet. På den måten ender man opp med kun fem kategorier. Måleresultatene er uansett ikke nøyaktige nok til å differensiere mellom alvorlighet i særlig stor grad. De fem kategoriene vil derimot vise tydelig hvilke områder som har tilfredsstillende kvalitet (grå), hvilke områder som har avvik (mørk rød, mørk blå) og hvilke områder som potensielt har avvik (lys rød, lys blå).

For å tolke betydningen av lys rød og lys blå vil det være nødvendig å se på nærliggende celler. Én enslig celle vil trolig ikke bety at det er et avvik på dekket, kun et unøyaktig måleresultat. Flere nærliggende celler kan tyde på at det er et avvik som bør undersøkes nærmere.

Et utgangspunkt for nye grenseverdier er foreslått i Tabell 9. På sikt bør grenseverdiene justeres på nytt slik flatekartene blir enda lettere å tolke. Siste kolonne foreslår krav til kvantitativ vurdering av dekket. Kravet tar høyde for andelen av celler som går med til å måle

vegoppmerking. Dersom prosentandelen grå er over kravet vil dekket være tilfredsstillende homogent. Dermed er det mulig å gjøre en veldig rask vurdering av homogeniteten. Hvis dekket ikke oppfyller kravet kan man tolke flatekartet for å finne avvik man bør se nærmere på i felt.

Tabell 9: Forslag til grenseverdier for flatekart.

Masse- type	Mørk blå	Lys blå	Grå	Lys rød	Mørk rød	Andel grå for homogent dekke
Ska 11	[0 mm, 1,02 mm)	[1,02 mm, 1,27 mm)	[1,27 mm, 2,27 mm)	[2,27 mm, 2,52 mm)	[2,52 mm, ∞)	95 %
Ab 11	[0 mm, 0,81 mm)	[0,81 mm, 1,06 mm)	[1,06 mm, 1,81 mm)	[1,81 mm, 2,06 mm)	[2,06 mm, ∞)	95 %

Som nevnt i diskusjonen om reproduserbarhet er teknologien så godt som klar for bruk. Målingene på de to teststrekningene viser ganske gode resultater, og en justering av grenseverdier vil også hjelpe. En av de største utfordringene er å luke ut falsk positive avvik. Dersom homogenitetsmålinger skal brukes til kontroll av nylagte dekker er det en forutsetning at entreprenøren ikke blir straffet feilaktig. For at entreprenørene skal godta denne typen kontroll vil det være nødvendig å holde falsk positive avvik på et svært lavt nivå. Utfordringen er at å redusere antallet falsk positive avvik samtidig øker antallet falsk negative avvik. For eksempel kan man øke intervallet for grå farge for å få færre falsk positive avvik, men da samtidig risikerer man å miste reelle avvik. Justeringen av grenseverdier er derfor en viktig prosess som krever prøving og feiling, og gjerne flere målinger fra flere dekker. Målet er å finne en god balanse der både falsk positive og falsk negative avvik holdes på et akseptabelt nivå.

6.7 Svakheter ved programvaren

Homogenitetsmodulen i ViaPPS Desktop er fortsatt under utvikling. Under arbeidet med oppgaven har dette ført til noen utfordringer. Noen forslag til forbedringer nevnes kort slik at videreutvikling av programvaren kan ta hensyn til dette.

- Grenseverdier: Det bør være mulig å endre grenseverdier for flatekart. Mer utfyllende om dette tidligere i diskusjonen.

- Fargevalg på kurver: Teksturverdikurvene følger en på forhånd definert fargepalett. For å øke lesbarheten ville det i noen tilfeller være gunstig å endre på fargene.
- Sektordiagram: Prosentverdiene i sektordiagrammene har en tendens til å havne oppå hverandre slik at tallene blir uleselige.
- Benevnelse på y-aksen på flatekartet: For øyeblikket kalt «stdv», når den egentlig angir horisontal avstand fra laserskanneren.

7 Konklusjon

For å konkludere oppsummeres de viktigste funnene for hvert forskningsspørsmål.

1. Hvor stor er måleusikkerheten til laserskannerne Statens vegvesen bruker i sine målebiler?

Måleresultater fra riksveg 4 (Ska 11) og riksveg 35 (Ab 11) er analysert for å vurdere måleusikkerhet. Måleusikkerheten varierer mellom målesystemene. ViaTechs målebil har best repeterbarhet i ønsket målefart, 60 km/t, med måleusikkerhet på $\pm 2,56$ % på Ska 11 og $\pm 2,71$ % på Ab 11. Generelt er måleusikkerheten noe større på Ska 11 enn Ab 11. Det er usikkert om dette skyldes at skjelettasfalt har grovere tekstur enn asfaltbetong, eller at dekket på riksveg 4 var mindre homogent enn dekket på riksveg 35. Måleusikkerheten øker med omtrent 30 % når målefarten økes fra 30 km/t til 60 km/t. Likevel er måleusikkerheten fortsatt så liten at 60 km/t anbefales som målefart når man tar tidsbesparelser og trafikksikkerhet i betraktning. Måleusikkerheten er så liten at målte teksturverdier tydelig vil indikere om en celle har tilfredsstillende tekstur eller ikke.

Reproduserbarheten til målesystemene er god. P03, P05 og ViaTech ligger innenfor 10 % fra gjennomsnittskurven. Det relative avviket holder seg stabilt for de tre målesystemene, og en kalibreringsfaktor vil sørge for svært like måleresultater. P09 gjorde store sprang i det relative avviket, men det skyldes feil ved laserskanneren.

2. I hvilken grad samsvarer måleresultatene med observasjoner gjort i felt?

Måleresultatene skiller godt mellom ulike dekketyper. Dekker med grovere tekstur får høyere teksturverdier enn dekker med fin tekstur, i tråd med teorien. Casestudien viser at det er bra samsvar mellom bilder og flatekart på riksveg 4 og riksveg 35. Til sammen ble det funnet 68 avvik. Av disse var 54 reelle avvik ble 40 identifisert i flatekartet. Det var 14 falsk negative avvik og 14 falsk positive avvik. De fleste av de falsk negative avvikene har små arealer, mens alle store avvik ble identifisert. Ved å tilpasse grenseverdier for visning i flatekart kan man luke ut falsk positive avvik. Det er viktig å minimere antall falsk positive avvik slik at entreprenører godtar målemetoden, uten at det øker antallet falsk negative avvik i stor grad. Grenseverdiene som er foreslått kan brukes som et utgangspunkt, og bør justeres etter hvert som man får erfaring med flere dekker. Det vil også være nødvendig å etablere nye grenseverdier for andre dekketyper. Kravet for kvantitativ vurdering av dekket bør også justeres på samme måte.

3. Hvilken bredde bør velges for vurdering av måleresultatene?

ViaPPS Desktop gir mulighet til å velge bredde når homogenitetsrapporter genereres. Som standard målebredde anbefales 3,5 m. Da inkluderes det meste av både kjørefelt og vegskulder, uten at høye teksturverdier utenfor dekket gjør at flatekartvisningen blir ødelagt. Ved 3,5 m målebredde inkluderes også vegoppmerkingen. Det er viktig å ta hensyn til vegoppmerkingen når man setter kvantitative krav til dekket, fordi en viss andel av cellene får lave teksturverdier.

Til sammen viser svarene på forskningsspørsmålene at målemetoden har potensiale. Måleresultatene gir en ganske presis vurdering av et homogent dekke, og identifiserer de fleste avvik ved et inhomogent dekke. Videre tilpassing av ViaPPS Desktop vil gjøre vurdering av flatekart enklere. På sikt vil målemetoden kunne brukes til kontroll av nylagte asfaltdekker.

8 Videre arbeid

I dette avsnittet følger noen forslag til videre arbeid med homogenitetsmålinger, både for å forbedre målemetoden og å bruke datasettene på nye måter.

- **Justering av grenseverdier og kvantitativt krav til homogenitet:** Hvilke grenseverdier gir en enkel vurdering av flatekart? Når programvaren tillater det vil det være fornuftig å variere grenseverdiene og fastsette tydelige grenseverdier og krav. En dypere casestudie av strekningene i denne masteroppgaven kan være et utgangspunkt, og eventuelt suppleres med flere målinger. Dette kan også gjøres for flere av de vanligste dekketyperne.
- **Måleusikkerhet på ulike dekketyper:** Øker måleusikkerheten når teksturen blir grovere? Eller blir måleusikkerheten større på inhomogene dekker?
- **Sammenheng mellom teksturverdi og hulrom:** Teksturen henger sammen med hulrom i dekket. Kan man påvise sammenheng mellom teksturverdi og målt hulrom? Kan dette eventuelt brukes når man kontrollerer hulrom i ferdig dekke?
- **Sammenligne teksturverdier med glass-patch (MTD):** Hvilken sammenheng er det mellom teksturverdi og MTD? MTD er anerkjent som teksturmål internasjonalt, og en tydelig sammenheng vil være nyttig når man jobber med tekstur på tvers av landegrensler.
- **Teksturverdier på gamle dekker:** Hvordan endres teksturverdi over tid? Blir teksturverdien mindre med piggdekkslitasje eller andre påkjenninger? Kan denne informasjonen være nyttig når man planlegger vedlikehold?

Litteraturliste

- Avinor (2003). *Results from the International Texture Workshop 2003*. (Technical Report No.: OKK 2003-2). Oslo: Avinor
- Bakløkk, L. J. (2017). *Varige veger: Sluttrapport* (Rapportnr. 598). Oslo: Vegdirektoratet
- Espe, E. (2016). *Måling av homogenitet på asfaltdekker: Bruk av laserskanner* (Rapportnr. 600). Hentet fra https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/Publikasjoner/Statens+vegvesens+rappporter/_attaattach/1382106?_ts=1550ae2f530&download=true&fast_title=M%C3%A5ling+av+homogeniteh+p%C3%A5+asfaltdekker%3A+Bruk+av+laserskanner
- Espe, E. & Bakløkk, L. J. (2013). *Measurement and Analysis of Inhomogeneity in Asphalt Pavements*. BCRRA 2013, Trondheim.
- Flintsch, G. W., de León, E., McGhee, K. K. & Al-Qadi, I. L. (2003). Pavement Surface Macrotexture Measurement and Applications. *Transportation Research Record*, 1860, 168-177. DOI: 10.3141/1860-19
- Halbo, L. (2016a, 24. november). *Repeterbarhet*. Store norske leksikon. Hentet 12. desember 2017 fra <https://snl.no/repeterbarhet>
- Halbo, L. (2016b, 24. november). *Reproduserbarhet*. Store norske leksikon. Hentet 12. desember 2017 fra <https://snl.no/reproduserbarhet>
- Lundberg, T. (2012). *Kontrollmetod for nya vägbelegningar - Makrotextur*. Sverige: VTI)
- NTNU (2017, 30. november). Finne kilder. Hentet 10. desember 2017 fra <http://www.ntnu.no/viko/kildekritikk>
- Praticò, F.G & Vaiana, R (2015). A study on the relationship between mean texture depth and mean profile depth of asphalt pavements. *Construction and Building Materials*, 101, 72-79. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.10.021
- Rienecker, L. & Jørgensen, P. T. (2013). *Den gode oppgaven* (2. utg). Bergen: Fagbokforlaget

- Statens vegvesen (2015a). *Håndbok N302 – Vegoppmerking: Tekniske bestemmelser og retningslinjer for anvendelse og utforming*. Oslo: Vegdirektoratet
- Statens vegvesen (2015b). *Lærebok Drift og vedlikehold av veger*. Oslo: Vegdirektoratet
- Statens vegvesen (2014a). *Håndbok N200 – Vegbygging*. Oslo: Vegdirektoratet
- Statens vegvesen (2014b). *Håndbok N100 – Veg- og gateutforming*. Oslo: Vegdirektoratet
- Statens vegvesen (1996). *Håndbok V261 - Skadekatalog for bituminøse vegdekker*. Oslo: Vegdirektoratet
- Technical Committee 4.2 Road/Vehicle Interaction (2016). *State of the art in monitoring road condition and road/vehicle interaction*. Hentet fra <https://www.piarc.org/ressources/publications/8/25164,2016R17EN-Road-Pavements.pdf>
- Telle, R. (2015). *Riktig utførelse av asfaltdekker: Varige veger 2011 – 2014* (Rapportnr. 352). Hentet fra https://www.vegvesen.no/_attachment/776943/binary/1012279?fast_title=Riktig+utf%C3%B8relse+av+asfaltdekker.pdf
- Vägverket (2009). *VVMB 122:2009, Vägytemätning med mätbil; Objektmätning*. (u. s.): Vägverket
- ViaTech (2017). *Rapport Homogenitet* (Document Number: DOK 500142). (u. s.): ViaTech
- ViaTech (2018). *HomogenitetAnalyse*. (u. s.): ViaTech
- Z+F. (2017). Z+F PROFILER® 9012, 2D Laser scanner. Hentet fra http://www.zf-laser.com/Z-F-PROFILER-R-9012.2d_laserscanner.0.html?&L=1