

UNIVERSITETET I OSLO
Institutt for informatikk

**Simulering av
QuickBird
satellittbilder med
egenskapsuttrekking
for kjøretøy i
oppløsning 0,125 -
0,6 m, og synbarhet
av kjøretøy i SAR
flybilder**

Masteroppgave

Nina Hamre

1. februar 2008



Takk

Jeg vil gjerne takke mine to kunnskapsrike og positive veiledere Fritz Albregtsen og Dan Johan Weydahl. De er begge inspirerende fagpersoner og rause mennesker forøvrig.

Jeg vil også takke Norsk Regnesentral ved Rune Solberg for en imøtekommende holdning.

Til slutt vil jeg takke min samboer Bjarne Roe for all støtte gjennom oppgaven.

Sammendrag

Studien har to deler. Del en omfatter simulering av bilder fra QuickBird satellitten, med deteksjon av kjøretøy i slike bilder og analyse av egenskaper ved kjøretøysegmenter versus geometrisk oppløsning i bildene. Ved å ta utgangspunkt i RGB flybilder over Oslo med oppløsning på 0,125 m er QuickBird pankromatiske bilder simulert i ulike oppløsninger fra 0,6 m til 0,125 m. For formålet deteksjon av kjøretøy ansees simuleringen av QuickBird bilder for tilfredsstillende. Deteksjonsraten for simulerte bilder med oppløsning 0,6 m er sammenliknbar med den for QuickBird, ved bruk av samme algoritme.

Deteksjonsalgoritmen bruker Otsus tersklingsmetode og sammenkobling av segmenter før egenskapsuttrekking. Potensielle kjøretøysegmenter reduseres med 29 % ved kobling, uten at sanne kjøretøy går tapt. Det er ikke slik at feilraten ved deteksjon synker entydig ved økt oppløsning, trolig er 0,3 m en ideell oppløsning. Skygger i bildene anses som det største hinderet for å detektere kjøretøy korrekt. De mest brukte egenskapene samlet for alle oppløsninger er area, width, length, elongation, compactness, contrast, boundary gradient og gradient mean.

Del to tar for seg synbarhet av kjøretøy i SAR flybilder med oppløsning 1,2 m. Styrken og geografisk nøyaktighet for tilbakespredningen fra parkerte kjøretøy på 12 ulike parkeringsplasser i Lillestrøm er vurdert. Ulike bånd (bølgelengder) og polariseringer sammenlignes og en rangering er foretatt. L-HH sammen med L-HV gir en kontrast på 10 - 15 dB mellom kjøretøy og asfalt, og god geografisk nøyaktighet. X-HH sammen med X-HV gir en kontrast på 10 - 11 dB mellom kjøretøy og asfalt, og den beste geografisk nøyaktigheten i studien. Store kjøretøy avbildes ikke tydelig i denne kombinasjonen. C-HH sammen med C-HV gir en kontrast på 11 - 12 dB mellom kjøretøy og asfalt. Avviket i geografisk nøyaktighet er størst i denne kombinasjonen.

Innhold

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introduksjon | 1 |
| 1.1 | Problemstilling | 2 |
| 1.1.1 | Road Traffic Snapshot som referanse | 2 |
| 1.1.2 | Oppgavens avgrensning | 2 |
| 2 | Bakgrunn | 5 |
| 2.1 | Satellittdata | 5 |
| 2.1.1 | Jordoppservasjonsatellitten QuickBird | 6 |
| 2.2 | Trafikktellinger | 7 |
| 2.2.1 | Trafikktellinger fra satellittdata | 8 |
| 2.3 | Liknende arbeider | 9 |
| 2.4 | Bildedata i oppgaven | 9 |
| 3 | Metoder | 13 |
| 3.1 | Optisk avbildning | 13 |
| 3.2 | Beregninger ved simulering av QuickBird bilder | 14 |
| 3.2.1 | Punktspredningsprofil | 14 |
| 3.2.2 | Gauss-Legendre integrasjon | 16 |
| 3.3 | Histogrammetoder | 17 |
| 3.3.1 | Histogramutjevning | 18 |
| 3.3.2 | Histogrammatching | 19 |
| 3.4 | Segmentering av skygge og vegetasjon | 20 |
| 3.4.1 | Trefjerning | 22 |
| 3.5 | Segmentering av kjøretøy | 23 |
| 3.5.1 | Terskling | 23 |
| 3.5.2 | Sammenkobling av segmenter | 24 |
| 3.6 | Klassifisering | 27 |
| 3.6.1 | Egenskapsuttrekking | 27 |
| 3.7 | Feilestimat | 27 |
| 3.7.1 | Leave One Out | 27 |
| 3.7.2 | Confusion Matrix | 28 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.7.3 | ROC kurve | 28 |
| 4 | Pilotprosjekt | 29 |
| 4.1 | Segmentering ved terskling | 30 |
| 4.1.1 | Sammenkobling av segmenter | 32 |
| 4.2 | Egenskaper i pilotprosjekt | 32 |
| 4.3 | Konklusjon fra pilotprosjekt | 36 |
| 5 | Resultater | 37 |
| 5.1 | Resultater ved simulering av QuickBird bilder | 37 |
| 5.1.1 | Ulikheter ved QuickBird bilde og simulert QuickBird bilde | 42 |
| 5.2 | Segmentering | 45 |
| 5.2.1 | Utsnitt i QuickBird | 45 |
| 5.2.2 | Vurderinger ved segmentering | 45 |
| 5.2.3 | Utsnitt i simulert QuickBird | 46 |
| 5.2.4 | Preprosessering | 47 |
| 5.3 | Egenskapsuttrekking og klassifisering | 48 |
| 5.3.1 | Topp 5 egenskaper for hver oppløsning | 50 |
| 5.4 | Egenskaper versus oppløsning | 53 |
| 5.4.1 | Klassifiseringseksperimenter | 61 |
| 5.5 | Test av terskling og kobling på et stort utsnitt | 63 |
| 6 | Diskusjon | 69 |
| 6.1 | Kjøretøys detekterbarhet | 69 |
| 6.1.1 | Hvor høy oppløsning må til for å detektere kjøretøy "sikkert"? | 70 |
| 6.2 | Deteksjon og behandling av områder med skygge | 71 |
| 6.2.1 | Algoritmenes robusthet | 74 |
| 6.2.2 | Koblingsrammens begrensninger | 76 |
| 6.3 | Rotasjon av segmenter | 77 |
| 6.4 | Egenskaper som går igjen | 79 |
| 7 | Konklusjon | 81 |
| 8 | Videre arbeid | 83 |
| 8.1 | Videre arbeid med simulering av QuickBird bilder | 83 |
| 8.2 | Videre arbeid med egenskaper | 84 |
| 8.3 | Videre arbeid med analyse av skygger | 84 |
| A | Vedlegg | 90 |
| A.1 | Beregning av egenskaper | 90 |
| A.2 | Klassifiseringseksperimenter | 91 |

| | | |
|--------------|--|------------|
| A.3 | Alle utsnitt etter kobling for alle oppløsninger | 108 |
| Del 2 | | 113 |

Kapittel 1

Introduksjon

Trafikkmyndigheter ønsker i størst mulig grad å ha oversikt over trafikkbelastning og trafikkflyt i veinettet. Dette kan bl.a. bidra til gode behovsanalyser innen transport og miljø. I dag finnes det en rekke trafikkmålepunkter på norske hovedveier, mens det i bykjerner finnes lite faktisk informasjon om hvordan trafikken arter seg [1]. Det tette og komplekse veinettet i byer gjør at spredte målepunkter får begrenset gyldighet når det gjelder å beskrive trafikkflyten, fordi det finnes svært mange alternative ruter.

Norsk Regnesentral (NR) gjennomførte prosjektet Road Traffic Snapshot (RTS) for European Space Agency (ESA) i 2006 / 2007 [2]. Målet med prosjektet var å undersøke hvordan høyoppløselige satellittbilder kan brukes for å kjenne igjen og telle kjøretøy i bygater. Deres resultater viser en suksessrate på ca. 80 % ved telling av biler i utvalgte bygater, og de konkluderer med at trafikktegninger basert på satellittdata kan være verdifull tilleggsinformasjon til eksisterende målinger. Bruker av slike tellinger vil være Statens Vegvesen, som har innsamling og bearbeiding av trafikkdata som et av sine viktige arbeidsområder.

Det finnes ingen operativ tjeneste som bruker satellittbilder til trafikkovervåking eller trafikktegninger, men noen studier har vært gjort på temaet. De fleste rapportene omhandler hovedveier i motsetning til NR sitt prosjekt. Det viser seg at med de oppløsningene man har tilgjengelig per 2007, dvs. de amerikanske satellittene QuickBird med oppløsning 0,6 meter og Ikonos med oppløsning 1 meter, så er hovedveinett best egnet. Man kan imidlertid tenke seg at det kommer nye, kommersielle satellitter i fremtiden med bedre oppløsning. Hvor høy oppløsning kreves for å kunne telle kjøretøy i de fleste bygater med akseptable feilmarginer? Hvilke egenskaper ved kjøretøy bør velges ved de ulike oppløsningene? Og hva er feilkildene i denne prosessen?

For å ha en bakkesannhet, er det tatt utgangspunkt i flybilder med en oppløsning på 0,125 meter. Deretter er satellittbilder simulert for optikk tilsvarende QuickBirds aperture, for ulike oppløsninger opp til 0,6 meter. Punktspredningsprofilen til aperturen avgjør i stor grad hvordan en scene avbildes. I tillegg er satellittbilder mer sløret enn flybilder, som et resultat av den lange avstanden til bakken.

1.1 Problemstilling

Denne oppgaven skal simulere QuickBird bilder fra høyoppløselige flybilder og deretter beskrive og velge ut egenskaper til kjøretøy i bildene, for ulike oppløsninger fra 0,125 meter til 0,6 meter. Noen egenskaper vil være egnet for alle nivåer av oppløsning, andre vil være egnet kun for høy eller lav oppløsning. Det er et mål å plukke ut et begrenset sett med generelle egenskaper for hver oppløsning, slik at de er beskrivende for ulike utsnitt av bygater med ulike antall kjøretøy. Et annet mål er å beskrive hvilken innvirkning skygger i bildet har for deteksjon og gjenkjenning av kjøretøy. Stegene i prosessen skal analyseres og begrunnes, både steg som fører oppgaven direkte videre og steg som forkastes.

Et litteraturstudie 2.3 rundt gjenkjenning av kjøretøy i høyoppløselige satellittbilder viser at prosjektene som utføres, hovedsakelig baserer seg på data som er spesielt egnet for løsningen som presenteres. Avveininger og blindspor beskrives i svært liten grad. Det er derfor vanskelig å få et helhetsbilde av analysen som ligger til grunn for løsningen. Denne oppgaven vil bestrebe seg på å gi et godt helhetsbilde av analysen bak de valg som tas.

I tillegg inneholder denne oppgaven en delstudie av kjøretøy i syntetisk aperture radar (SAR) flybilder med oppløsning 1,2 meter. Ulike kombinasjoner av frekvensbånd og polarisasjon er analysert og rangert etter hvor godt de viser kjøretøy. Delstudien ble utført for Forsvarets forskningsinstitutt, FFI, høsten 2007.

Enkelte studier benytter både optiske bilder og SAR bilder ved deteksjon av kjøretøy [3]. Det er ikke forsøkt i denne studien. Modalitetene er behandlet hver for seg, men felles for dem er spørsmål rundt hvordan kjøretøy skal beskrives og hvilke faktorer som påvirker beskrivelsen.

1.1.1 Road Traffic Snapshot som referanse

NR utviklet i prosjektet Road Traffic Snapshot (RTS) en algoritme for å segmentere kjøretøy, til bruk på QuickBird og Ikonos bilder. Algoritmen, som tar i bruk terskling i flere nivåer, er forsøkt gjenskapt og brukt som referanse og utgangspunkt for segmentering meter i denne oppgaven. Etter segmentering skiller denne oppgaven seg fra referansen på flere viktige punkter, bl.a. kan kjøretøy bestå av flere uttersklede segmenter, og denne oppgaven samler kjøretøysegmentene før egenskapsuttrekking og klassifisering, i motsetning til referansen, som opererer med ett segment for hvert kjøretøy. Mange av de samme egenskapene trekkes ut i denne oppgaven som i referansen, men videre behandling av disse egenskapene er helt separate arbeider.

1.1.2 Oppgavens avgrensning

Målet med denne oppgaven er ikke å lage et komplett system for deteksjon og klassifisering av kjøretøy for å tilby en sluttbruker. Hovedfokus er å simulere QuickBird bilder og deretter finne gode og generelle egenskaper for kjøretøy ved ulike oppløsninger i de simulerte bildene, samt for originale QuickBird bilder. En klassifiseringsalgoritme er laget,

hovedsakelig for å ha en ramme rundt analysen av kjøretøys egenskaper. Det å belyse og konkludere logiske steg i prosessen frem til valg av de ulike egenskapene, er viktigere enn å oppnå høy suksessrate for klassifisering i ulike bildeutsnitt. Det er ikke eksperimentert med Ikonos bilder i denne oppgaven, men det er mulig at mange spørsmål og analyser er overførbare fra QuickBird til Ikonos, i og med at RTS omtaler de to bildetyperne under ett i de fleste sammenhenger.

I delstudien av kjøretøy i SAR flybilder, begrenser oppgaven seg til å beskrive synbarheten i de ulike kombinasjonene av frekvensbånd og polarisasjon og foreta en rangering av dem. Det å segmentere ut ansamlinger av kjøretøy gjøres som et ledd i beskrivelsene. Klassifisering av enkeltkjøretøy forekommer ikke.

Del 1

Kapittel 2

Bakgrunn

Bildedata fra jordobservasjonssatellitter brukes aktivt innen miljøovervåking, arealplanlegging, kartproduksjon og forskning. Det finnes to hovedtyper av bilder; optiske bilder (fotografier) og SAR bilder. Optiske satellitter er avhengig av gode lysforhold og fri sikt for å gi gode bilder, mens SAR satellitter er uavhengig av dette. Oppløsninger for optiske satellittbilder som er aktuelle for å detektere hvert enkelt kjøretøy er som tidligere nevnt, 0,6 meter og 1 meter. Det finnes ingen SAR satellitter med høy nok oppløsning til at det er aktuelt å detektere kjøretøy. Analyser i denne modaliteten må derfor basere seg på flyoptak. Beskrivelse av delstudien om kjøretøys synbarhet i SAR flybilder utgjør del 2 av denne rapporten. Del 1 av denne rapporten omhandler kun optiske bilder.

2.1 Satellittdata

Alle jordobservasjonssatellitter som er i drift per januar 2008, går i polar, solsynkron bane. Satellitter i polar bane observerer jorden i et bandasjeringsmønster fra pol til pol. Et omløp rundt jorden tar ca. 100 minutter, og i løpet et visst antall døgn, “repeat cycle”, er hele jorden dekket, med eller uten dødsoner og overlapp, og satellitten starter bandasjeringsmønsteret på nytt. Områder nær polene har langt tettere dekning enn ekvator, og det er dermed mulig å få optak fra f.eks Oslo forholdsvis hyppig, se figur 2.1

Solsynkron bane vil si at satellittbanen har en fast vinkel til solen, og følger jordens gang rundt solen med en rotasjon på 360 grader per år. Dette medfører at satellitten alltid observerer et sted til samme lokale tid, og at lysforholdene er tilnærmet like fra gang til gang. Mest vanlig er såkalt “mid-morning” bane, med passering enten tidlig på formiddagen eller på natten, mens noen har “dusk-dawn” bane med passering enten ved soloppgang eller ved solnedgang [4].

Ikonos og Quickbird har begge “mid-morning” bane, med passering over Oslo ca. klokken 10.30 (normal tid). Begge bilde-tilbydere beskriver opptaksmuligheter over Oslo med 3 dagers mellomrom, [5] [6]. Skyer vil hindre innsyn til bakken for optiske satellitter, og umuligjøre trafikkberegninger i området under. Dermed vil hyppigheten på mulige trafikkberegninger være vesentlig lavere enn mulig opptaksfrekvens.

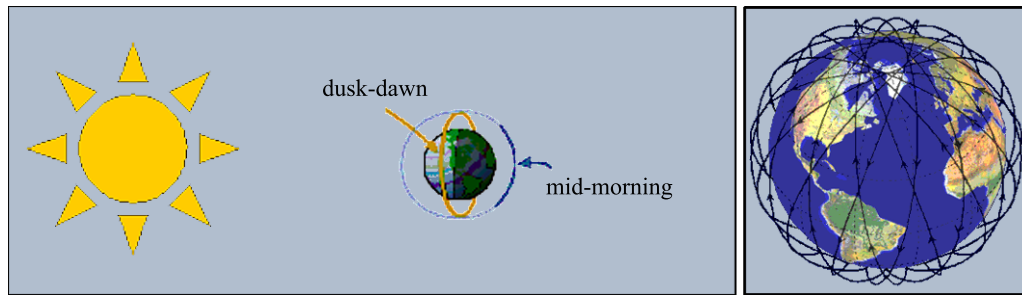


Figure 2.1: Den mest vanlige satellittbanen for jordoppvarsjonssatellitter er polar, sol-synkron, “mid-morning” bane. Med en slik bane vil satellitten følge solens omløp rundt jorden, og alltid fly over samme sted til samme, lokal tid. Jorden oppserveres i et bandaseringsmønster fra pol til pol, og etter et visst antall døgn er hele jorden dekket, om enn med mulige dødsoner. Det er tettere dekning nær polene enn langs ekvator.

2.1.1 Jordoppvarsjonssatellitten QuickBird

QuickBird, se figur 2.2, ble skutt opp i 2001 og kan levere bilder med høyest oppløsning av alle kommersielle satellitter. Den eies av det private, amerikanske firmaet Digital-Globe, og tidlige planer tilsa at QuickBird var den første satellitten i en konstellasjon på 3, som alle skulle vært i bane i 2008. QuickBird er egentlig den andre satellitten i denne rekken. En mislykket oppskytning i 2000 førte til at QuickBird1 gikk tapt, da satellitten ikke kom inn i riktig bane rundt jorden [7]. Siden oppskytningen av QuickBird2, har bildene fra denne banet vei for ny forskning og kommersielle applikasjoner, og blir bl.a. brukt i Google Earth.

Nøkkeldata for QuickBird er:

- Banehøyde: 450 km
- Omløpstid: 93,5 minutter
- Opptakstid (lokal tid): 10.30
- Inklinasjon: 97,2 grader solsynkron
- Dynamisk skala: 11 bits per piksel
- Blenderåpning: 0,6 m unobstructed
- Sporbredde og bildestørrelse: Single Area: 16.5 km x 16.5 km, Strip: 16.5 km x 165 km
- Oppløsning, pankromatisk: 0,61 m ved nadir, 0,72 m ved 25 grader off-nadir
- Oppløsning, multispektralt: 2,44 m ved nadir, 2,88 m ved 25 grader off-nadir
- Bølgelengder, pankromatisk: 450 - 900 nm
- Bølgelengder, multispektralt: Blå: 450 - 520 nm, Grønn: 520 - 600 nm, Rød: 600 - 690 nm, Nær-InfraRød (NIR): 700 - 900 nm



Figure 2.2: QuickBird satellitten ble skutt opp i 2001, og er den av de kommersielle satellittene leverer bilder med høyest oppløsning. Illustrasjon hentet fra [8]

Bildesensoren i QuickBird gjør opptak mest mulig rett ned (nadir), men sidene i opptaket vil ha en viss vinkel (off-nadir) og dermed bli utsatt for geometriske forvrengninger. Oppløsningen vil også bli lavere jo lenger bort fra nadir man går. De geometriske forvrengningene rettes opp i størst mulig grad ved prosessering av bilder, og det finnes mange ulike bildeprodukter å få kjøpt avhengig av hvor mye etterbehandling man ønsker utført. To vanlige produkter er Standard, der bildet er resamlet til lik oppløsning i hele bildet, og Orthophoto, der bildet er lagt inn i kartkoordinater [9].

RTS detekterte og klassifiserte kjøretøy med tanke på trafikktegn. Selv om et trafikktegningsystem ikke er en del av denne oppgaven, er trafikktegn likevel den tenkte konteksten for deteksjon av kjøretøy også her.

2.2 Trafikktegn

Data fra trafikktegn brukes til å kartlegge trafikkutviklingen og eventuelle endringer i trafikktegn. Kartleggingen spiller en stor rolle ved utvikling og vedlikehold av mange typer infrastruktur i det norske samfunnet, det være seg veiutbygging eller plassering av nye skoler og barnehager. Trafikktegnene i Norge foregår, som tidligere nevnt, hovedsakelig på hovedveinettet. Det benyttes maskinelle telleapparater, radar og nedfreste telleslyfer i veibanen. Tellepunktene er delt inn i 3 nivåer etter hvor hyppige målinger som foretas. Nivå 1 er kontinuerlige tellinger, nivå 2 er periodiske tellinger 2-4 ganger pr år med ca. en ukes varighet hver gang, og nivå 3 er korttidstelliger med varighet en uke eller et døgn.

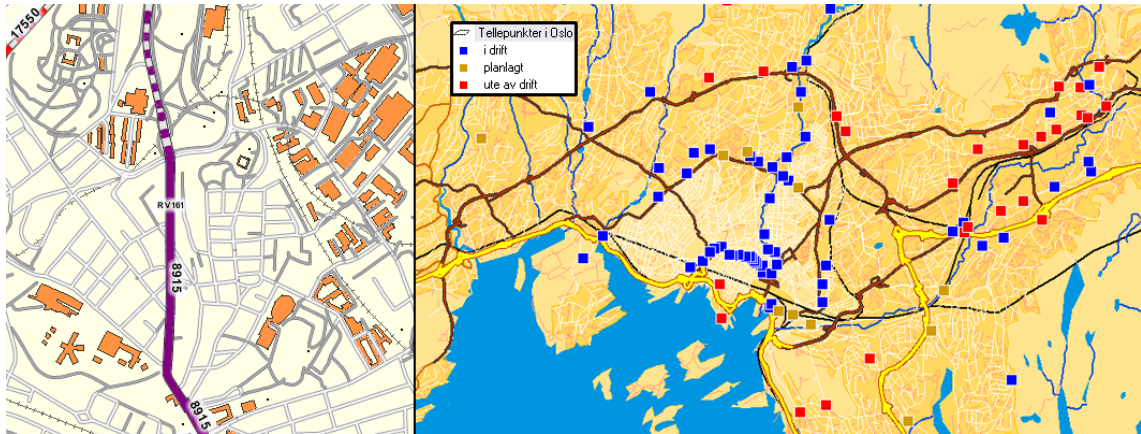


Figure 2.3: Til venstre: Kart over Oslo indre øst med tall og fargekoder for ÅDT skrevet inn, hentet fra Statens Vegvesens nettsider. ÅDT beregnes kun for hovedårene, slik som gaten i midten av bildet og gaten i venstre hjørne. Til høyre: Oversikt over tellepunkter i Oslo. Punkt med blå markeringer er i drift pr 2008.

I Oslo finnes det 46 nivå 1 tellepunkter, de fleste av dem er bygrensetellinger og bomringtellinger, se figur 2.3 som viser en oversikt over tellepunkter i Oslo. Belastningen på veinettet innenfor bomringens grenser, beregnes i stor grad på bakgrunn av kortidstallinger (nivå 3). Beregningene gir parameteret årsgjennsnittstrafikk, ÅDT, som er antall kjøretøy per år for hver veistrekning på kartet. Det er knyttet til dels stor usikkerhet til beregnede ÅDT verdier, i størrelsesorden 4 - 27 % [10]. Usikkerheten er størst på veistrekninger med av og påkjørsler mellom målepunktene. Hvordan trafikken arter seg mellom disse punktene kan man kun anta, se figur 2.3 for kart over Oslo indre øst med ÅDT skrevet inn som fargekoder og tall. Beregninger foretas for hovedårene, mens det for de øvrige veiene ikke beregnes ÅDT pga. manglende datagrunnlag. Trafikkmønsteret på mindre veier og i bykjernen blir ikke kartlagt med regelmessige målinger. Det kan derfor være verdifull informasjon for trafikkmyndighetene å ha trafikk tall fra samtlige veier i en by, slik satellittdata i teorien kan tilby, selv om dette kun vil være et øyeblikksbilde.

2.2.1 Trafikktellinger fra satellittdata

I forhold til trafikkovervåkinger, er data fra et fast klokkeslett på formiddagen svært begrensende. Man kan f.eks. ikke si noe om rushtidsbelastning på veiene, med mindre det viser seg å være en tydelig sammenheng mellom formiddagstrafikk og rushtid. Trafikkvariasjoner i løpet av et døgn er heller ikke mulig å si noe om, ut fra slike satellittdata.

Det finnes ikke et eksisterende system hos trafikkmyndighetene hvor trafikktellinger fra satellittdata kan inngå, men Statens Vegvesen ønsker å utrede temaet [11]. De ser for seg at slike tellinger kan gi dem bl.a. ny informasjon om trafikkmønstre i bygater, feks. tungtrafikk i tettbebygde strøk, noe som i dag beregnes ved manuelle tellinger. Det Statens Vegvesen antar er mest aktuelle inndata i sine beregningssystemer er antall kjøretøy pr. veilenke, delt i tunge og lette kjøretøy.

2.3 Liknende arbeider

Denne oppgaven omhandler flere temaer: Simulering av QuickBird bilder, egenskapsuttrekking og deteksjon av kjøretøy i QuickBird og simulerte QuickBird bilder med oppløsninger 0,6 - 0,125 m. Det kan være svært forskjellige artikler og rapporter som kommer inn under liknende arbeider. For simulering av QuickBird bilder har det ikke lyktes å finne noen publiserte arbeider som tar for seg temaet. Det finnes mer generelle artikler på temaet QuickBird avbildning. Figoski beskriver i [12] hvordan QuickBird teleskopet er bygget opp. Robertson [9] beskriver bildeproduktene til DigitalGlobe og deres nøyaktighet. Forøvrig finnes arbeider som beskriver simulering av generelle satellittbilder [13], ved hjelp av en 3-D modell, værddata og beregninger som tar for seg ulikheten mellom TOA (Top Of Atmosphere) og BOA (Bottom Of Atmosphere). Atmosfæriske korreksjoner er også beskrevet i mange artikler, som f.eks [14]. Denne oppgaven valgte å se bort fra disse korreksjonene, da andre faktorer har større innvirkning, som f.eks. det at RGB bildet som er utgangspunktet ikke har noe NIR bånd.

Algoritmen for deteksjon av kjøretøy bygger som nevnt på RTS sitt arbeid fra rapporten [2]. Andre arbeider er også studert, spesielt med tanke på beskrivelser av kjøretøyegenskaper og deres verdier. Få opplysninger fremkommer om egenskapsberegninger og spesielt deres verdier i de fleste artiklene. RTS beskriver nøye beregning av sine egenskaper, og det er de samme beregningene som er gjort i dette prosjektet. Toth m.fl. [15] bruker *size of footprint* og *4 vertical parameters (average height values)* i Ikonos og flybilder, Gerhardinger m.fl. [16] detekterer kjøretøy i Ikonos og QuickBird bilder med egenskapene *radiometry, area, width, position* og et *pixelpattern* som består av et lite kryss av 5 piksler som skal overlape kjøretøyet, med 4 hjørner litt lenger ute som ikke skal overlape. Leitloff m.fl. [17] tar utgangspunkt i køstrukturer og deler linjene som fremkommer inn i kjøretøy. Så beregnes 5 lengde og bredde egenskaper for å verifisere kjøretøyene. Flere arbeider med den samme arbeidsgruppen er publisert [18][19], de bruker også gradienter og kontrast til veien for å verifisere kjøretøy. Kuthadi [20] har skrevet en masteroppgave der han bruker multiple treshold og Otsus tersklingsmetode. Hver kjøretøretning blir tersklet hver for seg. De samme metodene beskriver hans veileder Alba-Flores i [21]. Metodene skiller seg noe fra RTS sin algoritme.

Deteksjon av kjøretøy med høyere oppløsning enn 0,6 meter tar ofte for seg høyoppløselige bilder fra videokameraer langs veien eller i parkeringshus. Templatematching og/eller Gaborfiltre brukes for å gjenkjenne kjøretøy [22], [23]. For høyoppløselige flybilder benyttes også templatematching og kantdeteksjon [24] [19].

2.4 Bildedata i oppgaven

SAR bildedata til bruk i delstudien er omtalt spesielt i del 2 av oppgaven *Kjøretøys synbarhet i SAR 0,6 m for ulike bånd og polariseringer*. Optiske bildedata brukt i oppgaven er

2 stk. pankromatiske QuickBird satellittbilder med oppløsning 0,6 m av typen Standard. Til begge de pankromatiske bildene fantes multispektrale bilder tatt med en svært liten tidsforsinkelse. Bildene er tatt opp onsdag 28. mai 2003 kl. 10.35 og fredag 5. mai 2006 kl. 10.57. Av bildet tatt opp 5. mai 2006 er kun et lite utsnitt brukt. I tillegg er det benyttet et utvalg av RGB flybilder med oppløsning 0,125 m, satt sammen til et bilde, av samme område som QuickBird bildene viser. Flybildene er tatt opp søndag 13. juni 2004, ca. kl. 12.30. Bildedataene som er benyttet i oppgaven er vist i figurene 2.5 og 2.4.



Figure 2.4: RGB bilde med 12,5 cm oppløsning brukt i oppgaven. Bildet er tatt opp 13. juni 2004. Utsnittet er på 450 m · 600 m, dvs. 0,27 km²

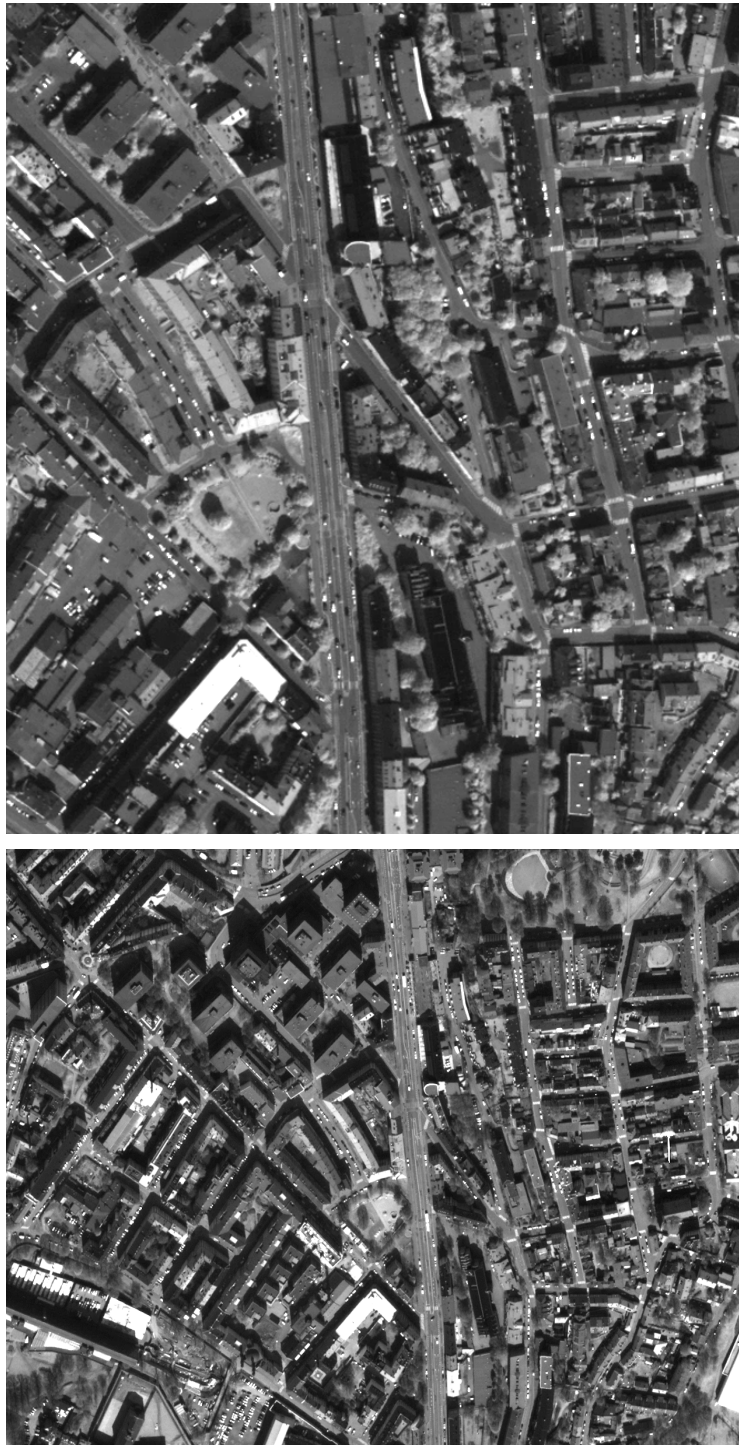


Figure 2.5: Utsnitt av pankromatiske QuickBird bilder brukt i oppgaven. Det øverste er tatt opp 28. mai 2003 og det nederste er tatt opp 5. mai 2006. Det øverste utsnittet er på 450 m · 400 m, altså 0,18 km². Det nederste utsnittet er på 616 m · 759 m, dvs. 0,468 km²

Kapittel 3

Metoder

For å kunne simulere et optisk bilde er det viktig å vite noe om optisk avbildning.

3.1 Optisk avbildning

Prinsippet for optisk avbildning er at lys går gjennom en åpning, blender, og påvirker en lysfølsom detektorplate bak åpningen. Fysikken gir visse begrensninger i mulig oppløsning.

Avbildning av et mål på jordoverflaten med en aperture med diameter A i en satellitt med høyde H er vist i figur 3.1. Vinkelen på lysstrålene fra jorden og inn i blenderen er lik vinkelen på lysstrålene fra blenderen til detektorplaten, og bestemmes av brennvidden (avstanden mellom blenderen og detektorplaten) og blenderåpningen. Lyssignalet på detektorplaten vil avspeile et bestemt område av gangen, og danner piksler i det ferdige bildet. Avstanden til jorden, dvs. banehøyden avgjør, sammen med de andre faktorene som er nevnt, pikseldiameteren X , dvs. oppløsningen.

For QuickBird gjelder: Banehøyde H : 450 km, Blenderåpning, A : 0,6 m.

Lysbølgene avbildes som en punkspredningsfunksjon, omtalt i 3.2.1. Vinkelen til første 0 punkt i en punkspredningsfunksjon er gitt av Rayleigh kriteriet [25]:

$$\sin\phi = 1,22 \cdot \lambda/A \quad (3.1)$$

$\sin\phi$ kan også uttrykkes som X/H . H brukes i stedet for hypotenusen fordi banehøyden er så stor at disse to lengdene blir tilnærmet like. Det gir:

$$X = 1,22 \cdot \lambda \cdot H/A \quad (3.2)$$

Oppløsningen for bølgelengde 450 nm (blått lys) med de fysiske forutsetningene til Quick-Bird blir da:

$$X = 1,22 \cdot 450 \cdot 10^{-9}m \cdot 450 \cdot 10^3m/0,6m = 0,41175m \quad (3.3)$$

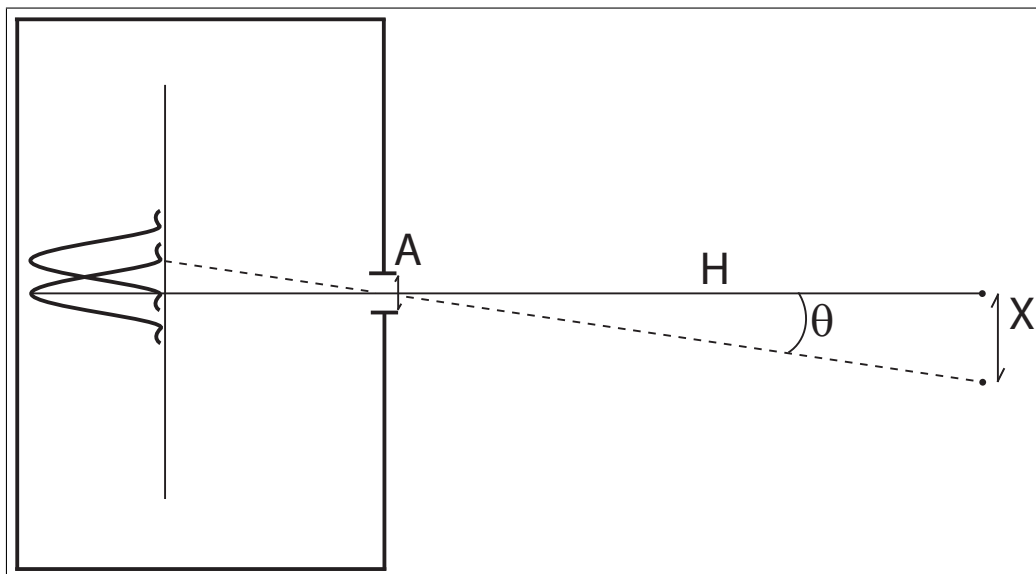


Figure 3.1: Blenderåpningen A i et satellittkamera avgjør, sammen med banehøyden, oppløsningen på bildene.

For bølgelengde 900nm (NIR) blir tallet fordoblet, altså 0,8235 m.

Den pankromatiske oppløsningen for bølgelengder fra 450 nm til 900 nm beskrives i kapittel punktspredningsprofil, 3.2.1.

3.2 Beregninger ved simulering av QuickBird bilder

Det er store ulikheter mellom et flybilde og et satellittbilde. Satellittbilder er mer sløret enn flybilder på grunn av den lange avstanden til bakken. Resampling av et flybilde til en oppløsning 0,6 meter vil ikke gi et resultat som likner et QuickBird bilde, uansett hvilken resamplingsalgoritme som velges. Heller ikke med histogrammatching vil det bli et akseptabelt resultat. En viktig ulikhet i utgangspunktet er aperturenes forskjellige punktspredningsprofiler, og dette må det kompenseres for ved hjelp av et filter. Tre faktorer lager et satellittbilde: Terrenget (T), Instrumentprofil (I) og Samplingsaperture (s). Terrenget er det sanne bildet, Instrumentprofilen er den påvirkningen signalet (lyset) får på vei opp til satellitten og i optikken om bord, og Samplingsaperturen er den digitale oppdelingen av signalet til piksler.

$$T * I * s \quad (3.4)$$

Filteret som kompenserer for opptaksavstand og ulik instrumentprofil blir da: $I * s$, der punktspredningsprofilen til aperturen utgjør hovedkomponenten til I , og bikubisk resampling utgjør leddet s .

3.2.1 Punktspredningsprofil

Lysbølger som går gjennom en spalte vil bre seg utover i et bølgemønster. Ved avbildning av en punktkilde, f.eks. en stjerne, vil en sirkulær kameralinse gjengi denne som en

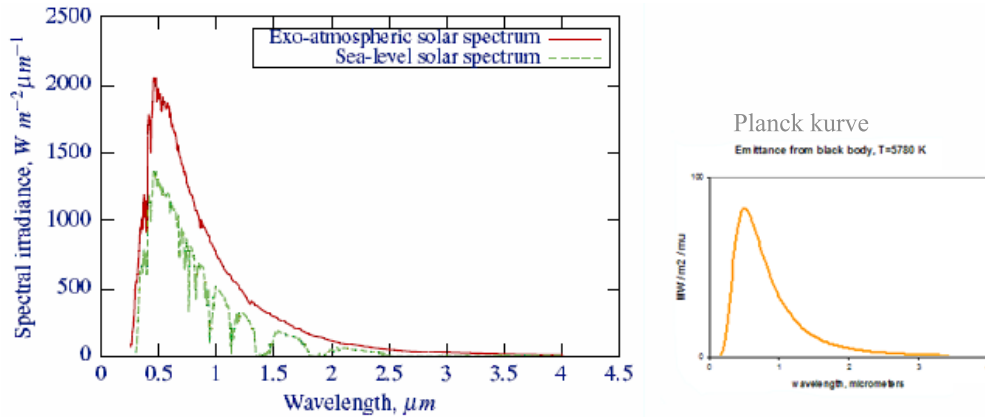


Figure 3.2: Solstråling (til venstre) kan beskrives med en skalert Plank kurve (til høyre)

lys flekk med mørke og lyse ringer rundt, der intensiteten til ringene avtar ganske raskt utover. Punktspredningsprofilen (PSF) eller diffraksjonsprofilen, er en kurve som beskriver avbildningen av lys som sendes gjennom linsen. For en sirkulær kameralinse er den gitt av den kontinuerlige, symmetriske funksjonen:

$$PSF(\theta) = (2J_1(v)/v)^2 \tag{3.5}$$

hvor

- J_1 er Bessel-funksjonen av første orden
- $v = \pi \cdot \theta \cdot D/\lambda$
- θ er vinkelen til senter av punktkilden
- λ er bølgelengden til lyset
- D er diameteren til blenderåpningen i meter = 0,6

Blenderåpningen, D , er fast, mens kurven for hver bølgelengde, λ , varierer med vinkelen θ . QuickBird avbilder bølgelengder fra 450 til 900 nm. Hver bølgelengde vil utgjøre sin egen kurve, mens den pankromatiske PSF-verdien for en vinkel theta kan beregnes ved å vekte sammen PSF-ene for ulike bølgelengder ved hjelp av kjente likninger for solstråling og integrasjon. Vi antar at solstrålingen kan beskrives med Plancks kurve for temperatur $T = 5780$ K, se figur 3.2:

$$I(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{\pi}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \cdot \left(\frac{r}{d}\right)^2 \tag{3.6}$$

hvor

- λ er bølgelengden (m)
- T er temperaturen (K). Solen har en temperatur på rundt 5780 K

- h er Plancks konstant = $6,6260693 \cdot 10^{-34}$ Js
- c er lyshastigheten = $2,99792458 \cdot 10^8$ m/s
- k er Boltzmann's konstant = $1,38065 \cdot 10^{-23}$ J/K
- r er solradien = $6.96 \cdot 10^8$ (m)
- d er avstanden mellom solen og jorden = $1.5 \cdot 10^{11}$ (m)

Strålingen ut av soloverflaten, som er en kuleflate med radius r , fordeles over en kuleflate med radius d , tilsvarende avstanden mellom solen og jorden. Dermed avtar energien per flateenhet med en faktor $(r/d)^2$.

Den innbyrdes responsen av hver bølgelengde ved generering av QuickBird bilder er ikke tilgjengelig informasjon, men dersom man antar lik detektor-respons for alle bølgelengder, vil den pankromatiske diffraksjonsprofilen bli en integrasjon av responsen på bølgelengder fra 450 nm til 900 nm.

$$F(\theta|\lambda_1, \lambda_2, D, T) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I(\lambda, T) \left[\frac{2J_1\left(\frac{\pi\theta D}{\lambda}\right)}{\left(\frac{\pi\theta D}{\lambda}\right)} \right] d\lambda / \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I(\lambda, T) d\lambda \quad (3.7)$$

Komplekse uttrykk kan integreres numerisk med stor nøyaktighet ved hjelp av Gauss kvadratur og Legendre polynomer.

3.2.2 Gauss-Legendre integrasjon

Gauss kvadratur er en metode for å estimere et integral av et polynom med grad $2n - 1$, ved hjelp av en vektet sum av funksjonsverdier på n spesifikke punkter i funksjonen. Metoden karakteriseres ved at både vektene og integrasjonsposisjonene er gitt på forhånd. Et integral over $[a, b]$ må endres til et integral over $[-1, 1]$ før bruk av Gauss kvadratur, og dette kan gjøres slik:

$$\int_a^b f(t) dt = \frac{b-a}{2} \int_{-1}^1 f\left(\frac{b-a}{2} \cdot x + \frac{a+b}{2}\right) dx \quad (3.8)$$

Estimatet med Gauss kvadratur vil da bli:

$$\int_a^b f(t) dt = \frac{b-a}{2} \sum_{i=1}^n w_i f\left(\frac{b-a}{2} x_i + \frac{b+a}{2}\right) \quad (3.9)$$

Integrasjonsposisjonene n_i og vektene w_i er gitt av Legendre polynomer [26], kjent fra matematisk tabeller, og dersom man velger å estimere funksjonen ved hjelp av en 5-te gradspolynom, velges 3 punkter. Disse er:

$$\begin{aligned} x_i &= 0 & w_i &= 8/9 \\ x_i &= \pm\sqrt{3/5} & w_i &= 5/9 \end{aligned}$$

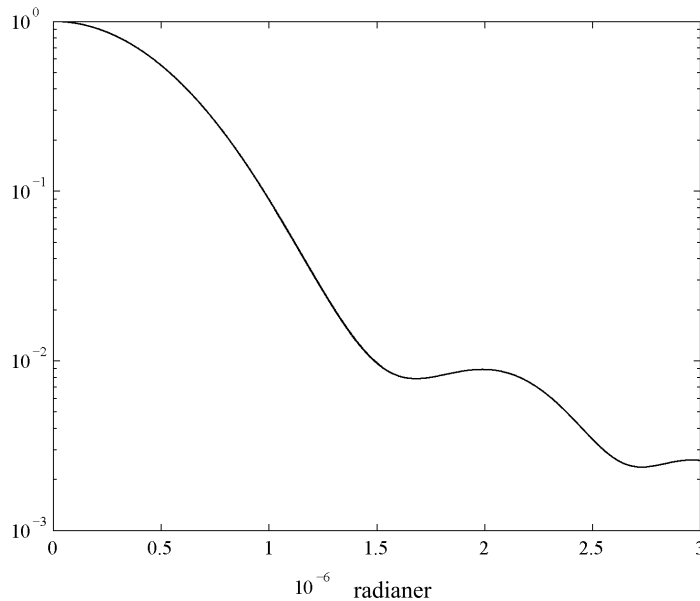


Figure 3.3: Den resulterende diffraksjonsprofilen etter Gauss-Legendre integrasjon fra 450 nm til 900 nm, som tilsvare QuickBirds pankromatiske båndbredde

Den pankromatiske diffraksjonsprofilen, som er resultatet av Gauss-Legendre integrasjon av diffraksjonsprofilene fra 450 nm til 900 nm, kan sees i figur 3.3.

Profilen har ingen nullpunkt. For å regne ut oppløsningen til profilen kan man bruke punktet Full Width Half Maximum (FWHM) [27], som for figuren er ca. 10^{-6} radianer. Sinus til denne vinkelen kan uttrykkes som X/H , hvor X er oppløsningen og H er bane høyden, beskrevet i 3.1.

$$X = \sin(10^{-6}) \cdot 450000X = 0,45m \quad (3.10)$$

Terskling av kjøretøy er avhengig av kontrastforskjeller i bildet, mellom veibane og kjøretøy. I noen tilfeller er kontrasten svært lav, slik som i skyggeområder. Da kan det være nyttig å øke kontrasten ved hjelp av histogramutjevning eller histogrammatching. Histogrammatching brukes også i simulering av QuickBird bilder, for å påføre det simulerte bildet samme gråtoneskala som QuickBird har.

3.3 Histogrammetoder

Formen på histogrammet til et bilde beskriver fordelingen av de ulike pikselverdiene, og sier bl.a. noe om i hvilken grad gråtoneskalaen eller fargeskalaen benyttes for å beskrive det bildet representerer, f.eks. en bygata med biler. Fordelingen blir til gjennom en mapping i bildesensoren ved opptak av bildet, en fast spennvidde av målt lys på gaten gir en bestemt gråtoneverdi i bildet.

Dersom fordelingen av piksler i bildet hopper seg opp i et snevert område av histogrammet, vil bildet fremstå med liten kontrast og det kan bli vanskelig å lese ut informasjon. Når man ser på et bilde på en dataskjerm, er det mulig å begrense den gråtoneskalaen man

ser på, og dermed øke kontrasten i bildet ved manuell behandling. Dersom bildet skal behandles av en automatisk algoritme, er ikke dette til hjelp. Da må histogrammene endres slik at fordelingene strekker seg over et større område av skalaen. En slik endring vil også endre de opprinnelige piksleverdiene i bildet. To metoder for å manipulere histogrammer er histogramutjevning og histogramtilpasning.

- Histogramutjevning jevner histogrammet til en mest mulig uniform fordeling langs hele gråtoneskalaen
- Histogramtilpasning bruker en ønsket fordeling av piksler, feks fra et annet bilde for så å tilstrebe denne fordelingen på det opprinnelige bildet

3.3.1 Histogramutjevning

Ideen bak histogramutjevning er alle pikselverdier skal være like sannsynlige etter utført transformasjon., dvs. et mest mulig flatt og jevnt histogram. Der det fra før finnes opphopninger i histogrammet, skal strekkingen av skalaen være størst. Transformasjonen må derfor ha et stigningstall som er proporsjonal med den opprinnelige histogramverdien. En kurve som har et slikt stigningstall er det kumulative histogrammet til bildet, vist i figur 3.4.

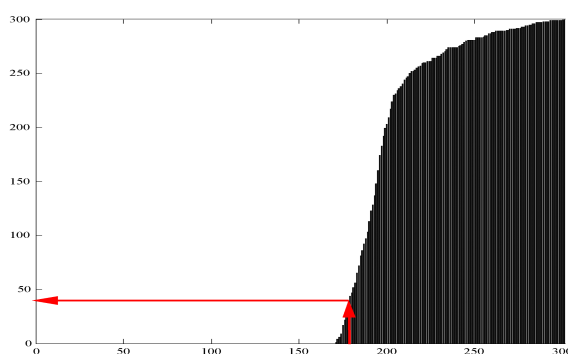


Figure 3.4: Bildets eget kumulative histogram brukes som overføringskurve fra det opprinnelige bildet til det histogramutjevnete bildet. Pikslene spres mest i det området som har tettest fordeling. Her vil pikslene, som fra før hadde en skala 160 - 300, fordeles til gråtoner 0 - 300. Opprinnelig gråtone 180 transformeres til ny verdi 40.

Normaliserte data i intervallet 0,0 - 1,0 brukes inn og ut av transformasjonen. Det er også et krav at transformasjonen er entydig og monotont voksende for at den skal kunne ha en invers, og bevare rekkefølgen mellom mørke og lyse verdier i bildet. [28]. Matematisk kan kravene til transformasjonen uttrykkes slik:

$$s = T(r), \quad 0 < T(r) < 1 \text{ for } 0 < r < 1 \quad (3.11)$$

hvor r representerer grånivåene i det originale bildet og s representerer de transformerte gråtonene.

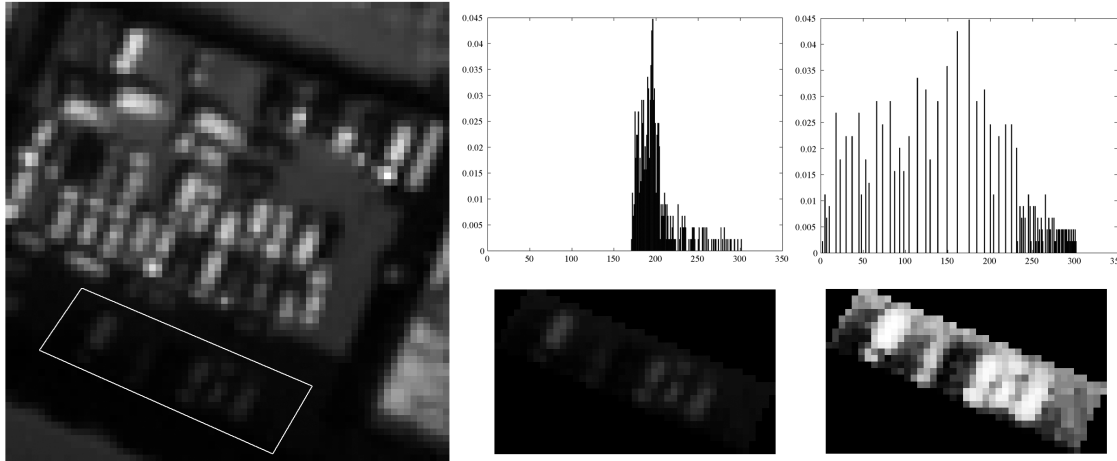


Figure 3.5: Histogramutjevning kan øke kontrastene i skyggeområder slik at kjøretøy kommer bedre frem. Her vises et utsnitt fra QuickBird over en parkeringsplass. Til venstre vises hele parkeringsplassen med et utvalgt skyggeområde markert med hvitt. Til høyre vises det utvalgte området før og etter histogramutjevning, med hvert sitt tilhørende histogram. Kjøretøyene som var gjemt i skyggen trer kraftig frem etter histogramutjevning.

Sannsynligheten for at et grånivå skal forekomme i et bilde er gitt ved:

$$P_r(r_k) = \frac{n_k}{n}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, L - 1 \quad (3.12)$$

hvor n er det totale antallet piksler i bildet, n_k er antallet piksler som har grånivå r_k og L er antall grånivåer i bildet.

Transformasjonen blir da for hvert grånivå, k :

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, L - 1 \quad (3.13)$$

Denne transformasjonen tilsvarer å bruke det kumulative histogrammet som overføringskurve, LUT (Look up table). Etter en slik transformasjon er histogrammet strukket slik at den dynamiske oppløsningen utnyttes i størst mulig grad. Dette er illustrert i figur 3.5

3.3.2 Histogrammatching

Også ved histogramtilpasning skal et bildes histogram transformeres til en ny fordeling. Denne gangen er ikke målet at skalen skal strekkes så jevn som mulig, men at det nye histogrammet likner en fastsatt form i størst mulig grad. I praksis vil det si at man tar et annet bilde med ønsket dynamikk og anser det for fasit hva histogramkurve angår. For å få til en slik transformasjon må man først gå veien om histogramutjevning.

Tanken er at man tar både det opprinnelige bildet og ideelt bilde med ønsket dynamikk og gjør en histogramutjevning på dem begge. Da skal man ideelt sett sitte igjen med to like histogram med jevn og flat fordeling. Deretter utføres den inverse transformasjonen (invers LUT) til det ideelle bildet på det utjevnete histogrammet til det opprinnelige bildet.

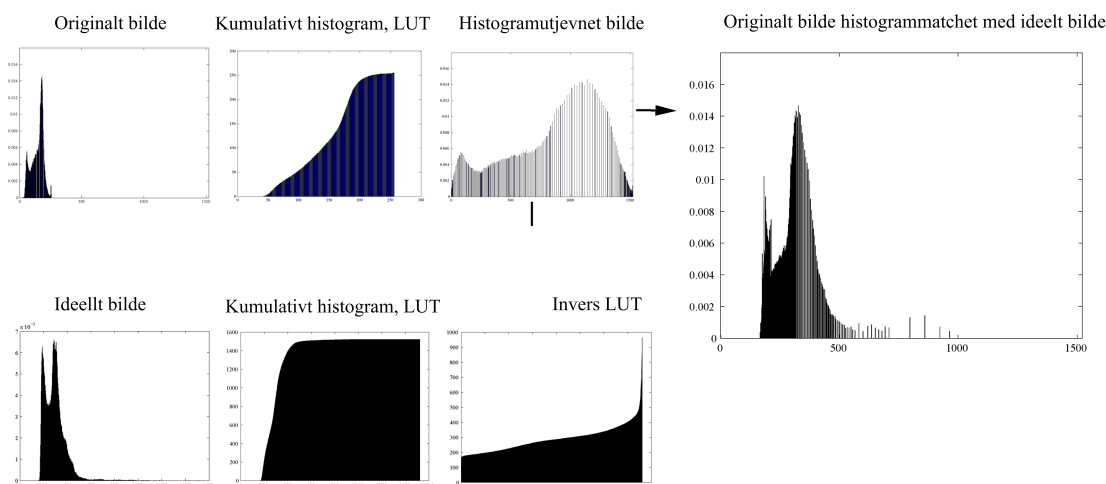


Figure 3.6: Ved histogrammatching tas utgangspunkt i 2 bilder: Et opprinnelig bilde som skal endres og et med ideel dynamikk. For begge bildene beregnes kumulativt histogram, LUT. For det ideelle bildet beregnes også inversen til det kumulative histogrammet til det ideelle bildet, invers LUT. Det opprinnelige, histogramutjevnedede bildet transformeres med invers LUT, og får dermed tilnærmet lik dynamikk som det ideelle bildet. Merk at figuren bare viser et utsnitt av det kumulative histogrammet til orginalbildet.

Resultatet skal da bli at dette bildet får et tilnærmet likt histogram og dynamikk som det ideelle bildet, se figur 3.6, som viser histogrammatchingen som ble foretatt da et simulert QuickBird bilde ble påført samme dynamikk som QuickBird har.

Transformasjonen for hvert grånivå, k , kan uttrykkes slik:

$$z_k = G^{-1}(s_k) \quad (3.14)$$

hvor z_k er gråtoneverdien etter histogrammatching og s_k er resultatet av histogramutjevning av det opprinnelige bildet, som vist i 3.13. G^{-1} er den inverse transformasjonen til det ideelle bildet.

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k P_r(r_k) = \sum_{j=0}^k \frac{n_k}{n}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, L-1 \quad (3.15)$$

I og med at histogrammet etter en histogramutjevning ikke er ideelt flatt og jevnt, men kun en tilnærming av dette, blir resultatet av en histogramutjevning ikke bedre enn denne tilnærmingen.

3.4 Segmentering av skygge og vegetasjon

Quickbird satellitten flyr over Oslo ca. klokken 10.30, (11.30 med sommertid), og det er på en tid da solen står høyt på himmelen. Bygninger, trær og annet kan kaste kraftige skygger og noen veistrekninger vil bli mørklagt. Ved første øyekast er ikke trafikken synlig i de mørkeste områdene, men et satellittbilde inneholder mer informasjon enn det vi

kan se med det blotte øye på en dataskjerm. Histogrammet til et skyggeområde viser dynamikken i skyggeområdet, og dersom den er tilstrekkelig høy kan man forsiktig anta at det kan være mulig å skille veibane fra kjøretøy.

Ved automatisk behandling av skyggeområdene må skyggeområdene først identifiseres før dynamikken strekkes. RTS viser i sin rapport en skyggemaske til et 0.18 km² utsnitt av Oslo indre øst, laget ved k-means clustering med 3 klasser av det multispektrale bildet. Klassen med lavest verdi, dvs. der alle bånd har lave verdier, antas det å være skygge. Denne masken utgjør hoveddelen av en felles vegetasjon og skyggemaske som dekker 48% av veibanen. Det er med andre ord et betydelig antall av kjøretøyene som befinner seg i skyggen.

Vegetasjon, som trær og busker med tilhørende skygge, kan i mange tilfeller bli forvekslet med kjøretøy i en automatisk algoritme. De har ofte liknende størrelse og avbildes til en viss grad i veibanen. Midtrabatter med trær gir både vegetasjon og skygge i veibanen, men også beplantning på siden av veibanen avbildes ofte innenfor veimasken i de områdene som er avbildet med en skrå vinkel (off-nadir). Vegetasjonsmasken som ble laget i RTS, tar utgangspunkt i NDVI- indeksen til det multispektrale bildet. NDVI bruker det røde (R) og det nær-infrarøde (NIR) båndet, og beregnes slik:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (3.16)$$

Esperimenter med vegetasjon i denne oppgaven, viser at trær og busker i midtrabatter i svært liten grad maskeres ut av NDVI-indeksen. Forklaringen er nok at oppløsningen til det multispektrale bildet er 2,4 m, og det er derfor nødvendig med en viss mengde vegetasjon for å gi klart utslag. De høyoppløselige flybildene av området som var tilgjengelige er av typen RGB, og inneholder ikke noe nær-infrarødt bånd. Det er derfor ikke mulig å genererer noen NDVI-indeks på bakgrunn av dem. Laliberte m.fl. [29] har gjort eksperimenter med deteksjon av skygge og vegetasjon i RGB bilder transformert til HIS (Hue, Intensity, Saturation). De skriver at Hue og Saturation kan skille mellom vegetasjon og ikke-vegetasjon og at Intensity kan skille mellom skygge og ikke-skygge.

Et HSV bilde (Hue, Value, Saturation), ble generert med programmet ENVI og satt sammen til H-V-S, i mangel av mulighet for å generere et HIS bilde med denne programvaren. De to fargerommene blir ofte omtalt under ett, sammen med HLS (Hue, Lightness, Saturation) og HBS (Hue, Brightness, Saturation), og alle består av 3 mål som representerer farge, lyshet og fargemetning. Ofte beskrives forskjellen mellom HIS og HSV ved en grafisk fremstilling av en kjele og en sylinder, der aksene i figuren tilsvarer hhv. HIS og HSV, se figur 3.7.

Skaleringen av aksene ved konvertering fra RGB til HSV varierer fra applikasjon til applikasjon, Matlab henviser til originalartikkelen 'Color Gamut Transform Pairs' fra 1978 av Alvy Ray Smith [30], opphavsmannen til fargerommet HSV. Han beskriver konverteringen fra RGB med skala [0,1] til HSV med skala [0,1] slik :

1. $V := \max(R,G,B)$

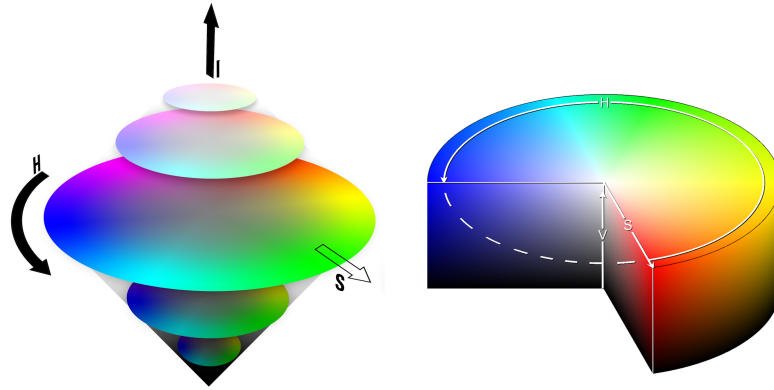


Figure 3.7: Fargerommene HIS og HSV har begge akser for farge, lyshet og fargemetning. Ulikheten mellom dem beskrives ofte ved at aksene har et noe ulikt forhold seg i mellom, og dette illustreres ved en kjeglemodell for HIS og en sylinder for HSV.

2. Let $X := \min(R,G,B)$
3. $S := (V - X) / V$; if $S = 0$ return
4. Let $r := (V - R) / (V - X)$
 $g := -(V - G) / (V - X)$
 $b := (V - B) / (V - X)$
5. If $R = -V$ then $H := (\text{if } G = X \text{ then } 5 + b \text{ else } 1 - g)$
 If $G = V$ then $H := (\text{if } B = X \text{ then } 1 + r \text{ else } 3 - b)$
 else $H := (\text{if } R = X \text{ then } 3 + g \text{ else } 5 - r)$
6. $H := H / 6$

Hvordan ENVI har implementert sin konvertering (Transform/Color/RGB to HSV) vites ikke, men konvertering av samme RGB utsnitt til HSV med både Matlab og ENVI ga ulikt resultat.

3.4.1 Trefjerning

HSV bildet generert i ENVI kan brukes til å finne vegetasjonsskygge i veibanen. Denne skyggen karakteriseres ved at den er delvis gjennomsiktig, ganske grå og middels mørk i RGB bildet. I H-V-S vist som RGB (H som R, V som G og S som B) skiller denne skyggen seg fra øvrig skygge i bildet. Det er mulig å terskle fargebåndene for å finne denne vegetasjonsskyggen, og forkaste potensielle kjøretøysegmenter som overlapper skyggen. Dette er aktuelt for trær i midtrabatter som kaster skygge i veibanen. Prosjektet brukte tersklingsverdiene $H < 100$, $V < 100$ og $S > 100$ i oppløsning QuickBird. Metoden fant ca halvparten av trærne i denne oppløsningen. Den høye feilraten skyldes først og fremst at QuickBird bildet ikke var et orthophoto, og dermed var det ikke full geografisk overlapp mellom HSV bildet og QuickBird bildet. Se figur 3.8 for en illustrasjon av trær med skygge i Kjøhlbergata, hovedåren som går gjennom bildeutsnittene i denne studien.

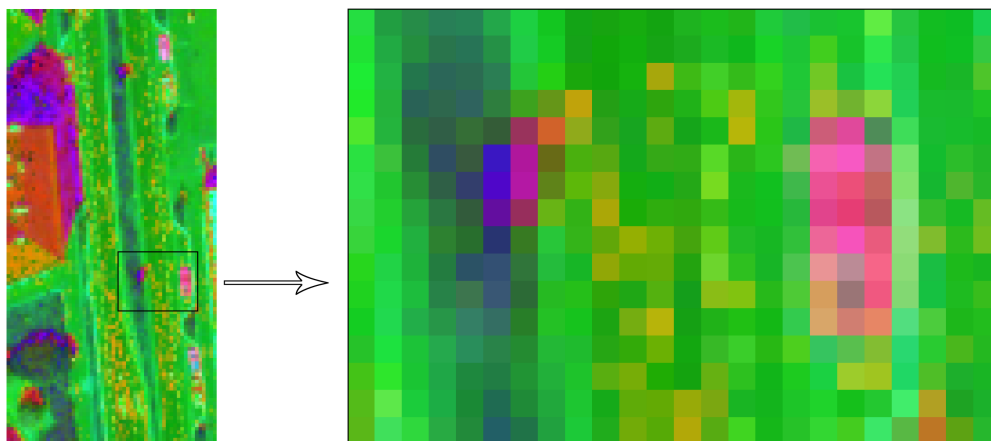


Figure 3.8: Vegetasjonsskygge skiller seg fra annen skygge, f.eks. rundt kjøretøy, ved at den får en blålilla farge i H-V-S generert i ENVI, og vist frem som RGB (H som R, V som G og S som B).

3.5 Segmentering av kjøretøy

Kjøretøy har lys eller mørk kontrast til veibanen, eventuelt begge deler dersom et mørkt kjøretøy har lyse refleksjoner eller motsatt. Å segmentere ut kjøretøy med terskling har vært gjort flere ganger [21][17][20], selv om den vanligste metoden for deteksjon av kjøretøy er å sammenlikne strukturer i bildet med en forhåndsdefinert form. [3] [31] [19] [15] [18] [17].

3.5.1 Terskling

Dette prosjektet tar, som tidligere nevnt, utgangspunkt i RTS, som bruker Otsus tersklingsalgoritme i flere nivåer. Fremgangsmåten står beskrevet i starten av kapittel 4.

Otsu

Otsu's metode ble utviklet av japaneren Nobuyuki Otsu i 1979 [32], og er trolig den mest brukte tersklingsmetoden for gråtonebilder. Metoden finner en global tersklingsverdi som gir minst mulig varians innen hver klasse. Det kan vises at variansen mellom klassene, σ_B^2 , da vil bli størst mulig, gitt av:

$$\sigma_B^2 = \omega_0(\mu_0 - \mu_T)^2 + \omega_1(\mu_1 - \mu_T)^2 \quad (3.17)$$

Her er σ_B^2 er et mål for hvor god variansen mellom forgrunn og bakgrunn er, dvs. hvor godt klassene er adskilt. Sannsynlighetene ω_0 og ω_1 gjelder for henholdsvis bakgrunns- og forgrunns pikslene. Snittverdiene μ_0 og μ_1 representerer henholdsvis bakgrunns- og forgrunns klassen og μ_T er snittverdien for hele fordelingen [32].

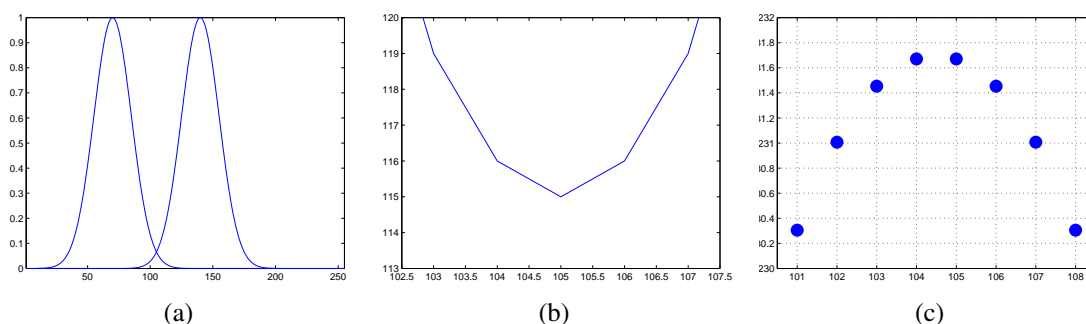


Figure 3.9: Tersklingsmetodene ble verifisert ved terskling av kjente fordelinger. a) To gausskurver med skjæringspunkt 105. b) Nærbilde av gausskurvene summert. c) Variansen mellom klassene ved ulike tersklingsverdier.

Verifisering av tersklingsmetoder

Tersklingsresultat i pilotprosjektet ble ikke helt som forventet, og studiens utgave av Otsu metode ble verifisert for å utelukke programmeringsfeil. Dette ble gjort ved å generere to Gausskurver med like standardavvik. Disse ble satt sammen slik at skjæringspunktet, som tilsvarer den ideelle tersklingsverdien, var kjent. Verdiene i gausskurvene ble fylt inn som gråtoner i et bilde, som deretter ble tersklet med Otsu-funksjonen. Funksjonen fikk tersklingsverdi tilsvarende skjæringspunktet for kurvene, og den ansees derfor som korrekt.

To like gausskurver med middelværdier på hhv. 70 og 140, og standardavvik på 15 vil ha et skjæringspunkt på 105. Ved bruk av heltalls gråtoneverdier vil Otsus metode implementert i Matlab, *graythresh.m*, ikke gi tersklingsverdi på 105 i dette tilfellet, men derimot 104. Dette skyldes at gråtonen 105 må tilhøre enten forgrunn eller bakgrunn. I et eksperiment i Matlab med akkurat denne problemstillingen ble variansen mellom klassene ved de ulike tersklingsverdiene fremstilt grafisk, se figur 3.9. Maksimal varians mellom klassene er som kjent tersklingskriteriet for Otsu. Kurven har tilnærmet maksimalverdi både for tersklingsverdi 104 og 105, dvs. at verdien 105 tilhører den ene eller den andre klassen. Man kunne dermed forvente seg en tersklingsverdi på 104,5. Beregningene viser at tersklingsverdi 104 gir høyere varians mellom klassene i 15. desimal, og derfor velger Matlab 104 som tersklingsverdi.

Dersom middelværdiene til kurvene velges til å være 70 og 141 slik at skjæringspunktet blir på 105,5, så vil variansen mellom klassene bli akkurat like høy enten gråtonen 105 tilhører forgrunn eller bakgrunn, og det vil bli en entydig topp i variansen mellom klassene. Dette tilfellet vil få tersklingsverdi 105 i Matlab.

3.5.2 Sammenkobling av segmenter

Som tidligere nevnt, kan et kjøretøy bestå av flere uttersklede segmenter, og denne oppgaven har valgt å koble dem sammen før egenskapsuttrekking og klassifisering. Alle seg-

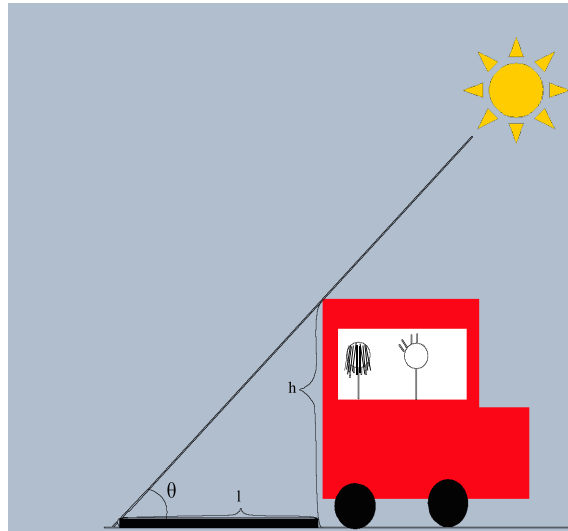


Figure 3.10: Skyggen til et kjøretøy avhenger av solhøyden θ og kjøretøyets høyde, h

menter som får plass i samme rektangel av en forhåndsbestemt størrelse, betraktes som deler av det samme kjøretøyet. Et gjennomsnittskjøretøy har mål bredde \cdot lengde på $1,7 \cdot 4,0$ meter [2], men rektangelet må ha plass til både store personbiler og eventuell skygge. Skyggen kan endre seg med årstid og vinkel på kjøretøyet, og dette beskrives i kapittel 3.5.2. Rektangelet ble valgt til å ha en størrelse på $4 \cdot 9$ piksler, som tilsvarer $2,4$ meter $\cdot 5,4$ meter. 90 % av segmentet på få plass inne i rektangelet for å bli regnet som et potensielt kjøretøy. Før sammenkobling sorteres alle segmentene etter størrelse, og om de er store nok, dvs. at de har minst 60 piksler i oppløsning 0,6 m, samles de i en egen gruppe for potensielle store kjøretøy. Deretter vil det største bli forsøkt koblet sammen med omliggende segmenter. Rektangelet legges i alle fire hjørner av segmentet etter tur, den posisjonen der flest piksler ommfattes av rektangelet velges. Pikslene regnes med kun med for de segmentene som er minst 90 % inneholdt av rektangelet. En rektangelstørrelse på $4 \cdot 9$ piksler tar kun høyde for moderate skygger i tilknytning til kjøretøyene. Om vinteren står solen lavt på himmelen, og kjøretøyene vil kaste lenger skygger enn om sommeren. Da må rektangelstørrelsen tilpasses dette.

Beregning av objekters skygge

Lengden på et objekts skygge l er avhengig av solhøyden over horisonten θ og høyden til objektet h , se figur 3.10:

$$l = h / \tan(\theta) \quad (3.18)$$

Solhøyden over horisonten, θ , er igjen avhengig av dato, klokkeslett og hvor man befinner seg:

$$\sin \theta = \cos h \cos \delta \cos \Phi + \sin \delta \sin \Phi \quad (3.19)$$

- h er timevinkel i lokal tid, og endres med 15 grader for hver time. Kl. 12.00 er den 0, og kl. 10.30 når QuickBird flyr over Oslo, er den $-22,5^\circ$

- δ er solas deklinasjon, dvs. høyde i forhold til ekvator, se formel 3.20
- Φ er den lokale breddegrad, som for Oslo er 60°

Deklinasjon, δ , beregnes slik:

$$\delta = -23,45^\circ \cdot \cos\left(\frac{360^\circ}{365} \cdot (N + 10)\right) \quad (3.20)$$

N er antall dager siden 1. januar. $23,45^\circ$ er jordas inklinasjon (vinkel mellom jordas ekvatorplan og jordas baneplan).

I QuickBird bildet som er tatt opp 28. mai, vil et kjøretøy med høyde 1,5 meter kaste en skygge med lengde:

$$N = (31+28+31+30+28) = 148$$

$$N = 148 \text{ satt inn i formel 3.20 gir } \delta = 21,418^\circ$$

$$\delta = 21,418^\circ \text{ satt inn i formel 3.19 gir } \theta = 48,27^\circ$$

$$\theta = 48,27^\circ \text{ satt inn i formel 3.18 gir lengden på kjøretøyet skygge, } l = 1,34 \text{ meter.}$$

Denne utregningen er litt unøyaktig, det er ikke tatt høyde for tidsjevning. Soltiden følger ikke vår klokke nøyaktig, noe som kommer av at jorda beveger seg raskere i sin bane om vinteren enn om sommeren. Differansen er på ca. +/- 15 minutter.

Hvor mye av denne skyggen som sees i bildet avhenger av lysforhold og kameravinkelen i forhold til objektet. [33]. I overskyet vær vil ikke kjøretøy kaste synlig skygge, og heller ikke dersom solhøyden har et slikt forhold til kameraet at hele skyggen er skjult av kjøretøyet.

Ulik vinkel på kjøretøy i bildet vil gi ulik form både på kjøretøyet og skyggen, og i tillegg gi ulik vinkling på rektangelet til bruk ved sammenkobling. En forenkling av problemet kan være å rotere utsnittene før terskling, slik at de samsvarer med aksene i bildet. Da vil både skyggen og kjøretøyet bli mest mulig rektangulære former, og en sammenlikning av kjøretøy kan gjøres mer uavhengig av vinkel enn om kjøretøyene ikke var rotert. Resultatet av en slik rotasjon vil være noe avhengig av hvilken algoritme som brukes.

Rotasjon

Innen rotering av et bilde finnes det i hovedsak 2 fremgangsmåter for valg av gråtoner i det nye bildet: forlengs og baklengs mapping. Forlengs mapping er å ta utgangspunkt i inputbilde og beregne en ny rotert plassering for hvert piksel i resultatbildet. Denne nye plasseringen er ofte tilpasset til nærmeste heltallskoordinat, og man oppnår derfor ofte at piksler i resultatbildet ikke er fylt inn. Baklengs mapping er å ta utgangspunkt i hvert piksel i resultatbildet og beregne bakover til opprinnelig koordinat i inputbildet. For å kompensere for flyttallskoordinater brukes det ofte her enten nærmestenabo- eller bilinear interpolasjon for å beregne gråtonen [34]. Matlabs rotasjonsalgoritme for bilde `imrotate` bruker baklengs mapping, med valgfri interpolasjon: `bikubisk`, `bilinear` eller `nearest neighbour`.

3.6 Klassifisering

3.6.1 Egenskapsuttrekking

Den enkleste metoden for å trekke ut egenskaper til objekter er å tenke seg hva som kan skille disse objektene fra alt annet, beregne disse og prøve det ut. En mer komplisert metode er å beregne flest mulig egenskaper, og la et program bestemme hvilke kombinasjoner av egenskaper som egner seg best.

Denne oppgaven har tatt utgangspunkt i de egenskapene RTS ramser opp som aktuelle, lagt til og trukket fra noen, og deretter sammenliknet True Positive (TP) og False Positive (FP) for en og en egenskap. I tillegg er de mest aktuelle egenskapene brukt i Matlabs PR-tools, og valgt ut ved hjelp av funksjonen `featselp`, som bruker Pudil Forward Floating Feature Selection [35], omtalt i 3.6.1.

Forward Floating Feature Selection

For å søke etter de beste sammensatte egenskapene i en egenskapsvektor brukes som regel en optimaliseringsalgoritme for å slippe et *exhaustive search*, som vil si å søke gjennom alle mulige kombinasjoner. Floating Search algoritmer søker etter den beste kombinasjonen av egenskaper ved å vekselvis legge til og fjerne egenskaper. Pudils algoritme for forward floating feature selection (FFFS) [35] har som innparameter hvor mange egenskaper den skal velge. Det legges til en egenskap av gangen, for så å fjerne opptil flere egenskaper (en av gangen) så lenge resultatet blir bedre. Man legger alltid til den egenskapen som gir mest fremgang og fjerner egenskaper kun hvis dette også gir fremgang. Disse stegene gjentas til det etter fjerning av egenskaper er valgt det ønskede forhåndsbestemte antallet. Algoritmen har vist seg å gi gode kombinasjoner av egenskaper [36].

3.7 Feilestimat

Dersom man har en stor fordeling og en liten fordeling som overlapper, slik som kjøretøy og asfalt, vil sikkerheten for en TP gitt at tersklingen viser den lille fordelingen kunne komme ned mot 50 %. Grunnen til dette er at overlappet og dermed usikkerheten blir veldig stort for den lille fordelingen.

3.7.1 Leave One Out

Leave One Out er en metode for å estimere en klassifikators treffprosent, når utvalget av treningsdata og testdata er begrenset. Man trener på alle sett foruten ett, for så å teste på det siste settet og beregne treffprosent på klassifikatoren. Deretter gjør man det samme med et annet av settene som testsett, helt til alle kombinasjoner er gjort. Så beregnes den endelige forventede treffprosenten til en klassifikator basert på disse egenskapene, som gjennomsnitt og standardavvik av alle de uavhengige treffprosentene. Egenskapene blir valgt i hver runde av Leave One Out, og kun på bakgrunn av treningsdataene. Hvis man derimot velger egenskapene fra hele datasettet, og så estimerer feilraten med Leave One

Out med et fast sett egenskaper, får man et for optimistisk estimat av feilraten, og mindre varians [37].

3.7.2 Confusion Matrix

Confusion Matrix er en metode for å beskrive en klassifikators treffprosent ved hjelp antall objekter i gruppene True Positives (TP), False Positives (FP), False Negatives (FN) og True Negatives (TN). Tallene settes opp i en matrise, tilsvarende tabellen til venstre i figur 3.11. Tallene i nederste rad er hhv. summen av TP + FN og FP + TN, som begge alltid er 1. Treffprosenten til klassifikatoren beregnes ved å ta gjennomsnittet av diagonalen nedover fra venstre til høyre:

$$\text{Treffprosent} = \frac{TP+TN}{2}$$

På bakgrunn av matrisen kan man tegne en ROC (Receiver operating characteristic) kurve.

3.7.3 ROC kurve

En ROC kurve er 1. kvadrant i et koordinatsystem der kurven beskriver et godhetsmål for en klassifikator eller en annen type test, se figur 3.11. Størst mulig areal under kurven er best. Et bruksområde for ROC kurver er å la x-aksen beskrive antall FP og y-aksen beskrive antall TP i en klassifikasjonsalgoritme, og plote inn punkter for de ulike parametervalg i algoritmen. Da vil man kunne tegne en kurve, og arealet under kurven vil beskrive godheten til klassifikatoren. Et annet bruksområde er å beskrive prediksjonsverdien til en test, f.eks en CRP som påviser bakterieinnhold i blodet. Da vil aksene være sannsynligheten for en bakterieinfeksjon og CRP verdiene som testen gir. Ved svært høy verdi er det sikkert at det er en infeksjon.

| | |
|----|----|
| TP | FP |
| FN | TN |
| 1 | 1 |

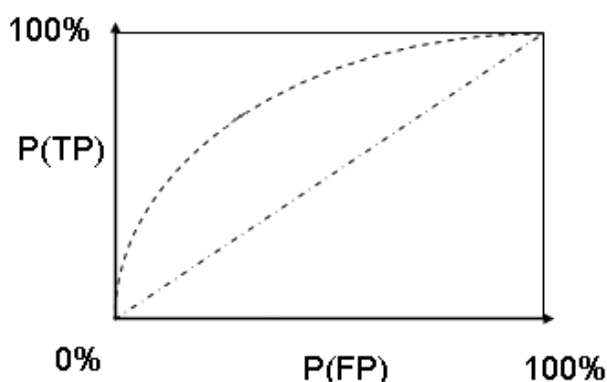


Figure 3.11: Man kan regne treffprosenten til en klassifikator ved å sette opp en *confusion matrix* med TP, FP, FN of TN

Kapittel 4

Pilotprosjekt

Et av masteroppgavens hovedmål var å trekke ut egenskaper og klassifisere små og store kjøretøy for ulike oppløsninger. Segmenteringen skulle bygge på arbeidet gjort ved NR i prosjektet RTS, og beskrevet i rapporten [2]. Datamaterialet de brukte var et pankromatisk og et multispektralt QuickBird bilde av det samme område, tatt med en liten tidsforskyvning. Fremgangsmåten for segmentering i RTS var i hovedtrekk:

- Klippe en manuell maske av veien i det pankromatiske bildet.
- Resample det multispektrale bildet lik oppløsningen til det pankromatiske bildet.
- Beregne vegetasjonsindeks-bilde (NDVI) etter formelen $(NIR-R)/(NIR+R)$.
- Terskle ut en vegetasjonsmaske i vegetasjonsindeks-bildet med Otsus metode.
- Dele det multispektrale bildet i 3 klasser v.h.a. K-means clustering, og velge det mørkeste området til å representere mørke skygger. Dette området må eventuelt behandles separat ved segmentering og klassifisering av kjøretøy.
- Addere manuell veimaske, vegetasjonsmaske og skyggemaske, og maskere det pankromatiske bildet.
- Beregne histogram for maskert bilde og finne intensitetsverdien i histogrammets toppunkt. Dette antas å være gjennomsnittsverdien for asfalten i veibanen, og kjøretøy kan være både lysere og mørkere enn asfalt. Bildet deles så ved gjennomsnittsverdien for asfalt, i lyse områder og mørke områder.
- Terskle det maskerte bildet i to omganger med Otsus metode; en for lyse områder og en for mørke områder.
- Preprosessering og egenskapsuttrekking.

Som det fremgår av punktlisten brukes histogrammets maksimalverdi (toppunkt) for å dele bildet i 2: Lyse områder og mørke områder. Områdene betraktes som hhv. lyse kjøretøy + asfalt + lys støy og mørke kjøretøy + asfalt + mørk støy. Delingen gjøres for å kunne utføre en enkelt terskling i hver del av bildet, og detektere lyse kjøretøy og mørke kjøretøy i hver sin del.

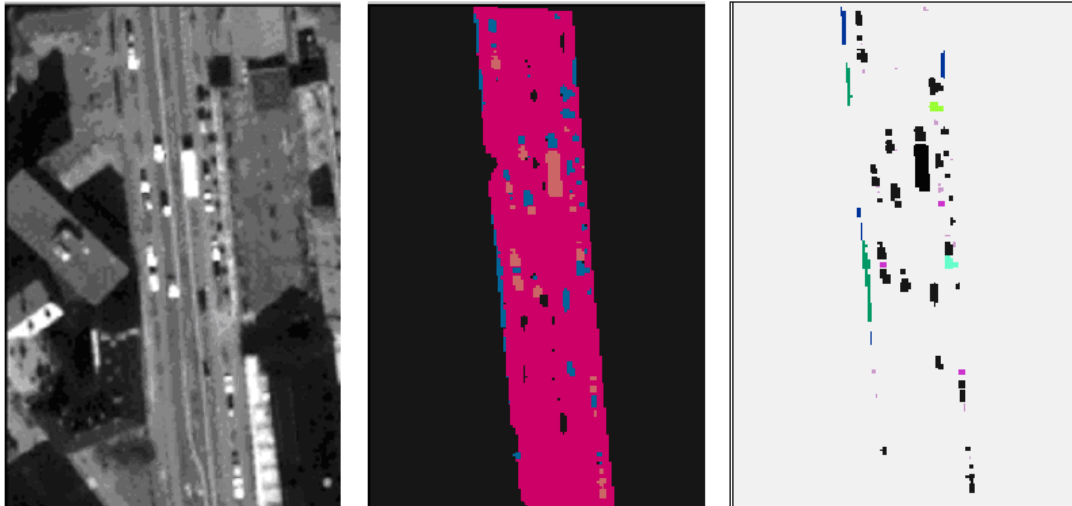


Figure 4.1: Utsnittet Gamle Oslo med segmenteringsresultat fra RTS. a) QuickBird utsnitt Gamle Oslo. b) Otsu segmentering av maskert utsnitt. Segmentert veibane(rosa), mørke segmenter (blått) og lyse segmenter (orange). c) Resultat av pre-klassifikasjon der svarte segmenter tilsvarer potensielle kjøretøy.

Algoritmen ble utført på tre ulike bildeutsnitt i RTS, og resultatet fra utsnittet av Gamle Oslo ble gitt dette prosjektet fra RTS, se figur 4.1. Egenskapene som beregnes er kjent fra rapporten [2], men verdiene for egenskapene til de ulike segmentene vites ikke.

Som et pilotprosjekt ønsket denne masteroppgaven å ta utgangspunkt i utsnittet av Gamle Oslo, utføre den samme segmenteringen og analysere egenskapene til segmentene. Dette var tenkt som første ledd i egenskapsuttrekkingen for oppløsning 0,6 meter. For å lage en fasit over kjøretøy i utsnittet Gamle Oslo var det nyttig å se veibanen med parkeringslommer i det høyoppløselige flybildet, se figur 4.2(a). Selve utsnittet og antatt fasit er vist i figur 4.2(b) og 4.2(c)

4.1 Segmentering ved terskling

En tilsvarende maske av vei, vegetasjon og skygger i utsnittet lot seg ikke gjenskape kun ut fra opplysningene i rapporten. Veimasken ble klippet manuelt, uten hensyn til vegetasjon eller skygge, som forøvrig utgjorde en svært liten del av masken. Tanken bak det valget var at segmenteringen trolig ble forholdsvis lik. Segmenteringen fra RTS ble deretter forsøkt gjenskapt i Matlab, men pilotprosjektet fikk et annet resultat. Tersklingsverdien for det lyse området ble beregnet til å være høyere enn hva segmenteringen i RTS viste. Rapporten [2] har en henvisning til Otsus metode fra 1979, og det var denne metodene som ble implementert i Matlab i dette pilotprosjektet. Verifisering av implementering ble foretatt, med metoden beskrevet i 3.5.1. I figur 4.3 vises histogrammet til det maskerte pilotutsnittet, med tersklingsverdier markert.

Gråtoneskalaen i bildet var 160 - 2048. Tersklingsverdien for intervallet mellom asfalt og mørke kontraster ble i pilotprosjektet beregnet til verdien 248, og så ut til å være omtrent den samme som i RTS. For lyse kontraster beregnet pilotprosjektet verdien 595, mens

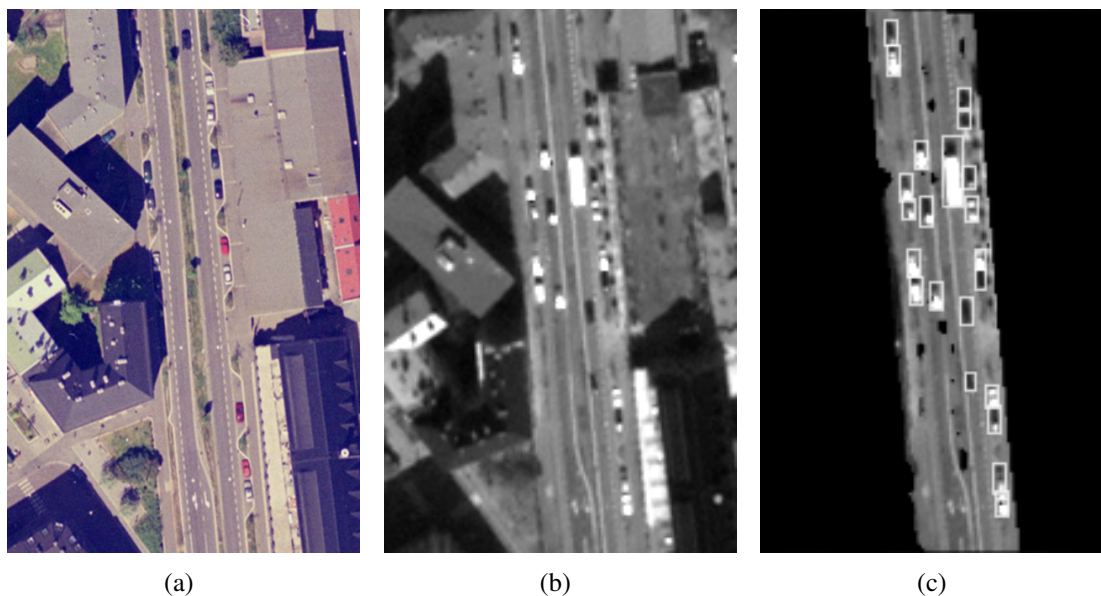


Figure 4.2: a) RGB Flybilde 12,5 cm av utsnitt Gamle Oslo, men på et annet tidspunkt, viser parkeringslommer for 2 og 2 biler på hver side av veien, og midtrabatt med vegetasjon. b) QuickBird utsnitt Gamle Oslo. c) Utsnitt med veimaske og inntegnet fasit over kjøretøy i bildet.

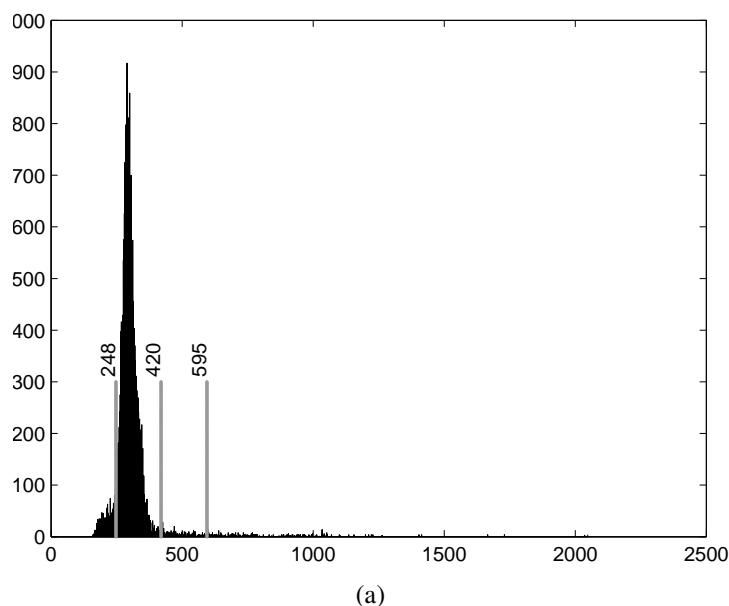


Figure 4.3: Histogram for maskert utsnitt. Pilotprosjektets tersklingsverdier er markert; mørk tersklingsverdi lik 248 og lys tersklingsverdi lik 595 , samt antatt lys terklingsverdi i RTS på 420. Kjøretøyklassene er svært små i forhold til asfaltklassen.

resultatet fra RTS kunne se ut til å ha en verdi rundt 420. En lys tersklingsverdi på 595 ga et dårligere segmenteringsresultat enn verdien 420, fordi mange potensielle kjøretøy

gikk tapt. Det er et argument at maskene var litt ulike, men uansett om differanse skyldtes det alene eller noe annet, så var det ikke mulig å analysere seg frem til hva en evt. annen ulikhet skyldtes og korrigere for det.

De fleste tersklingsalgoritmer tar utgangspunkt i at bildets histogram er bimodalt, normalfordelt og med jevnstore fordelinger og godt separerte middelveier. Histogrammet til det maskerte utsnittet av Gamle Oslo skiller seg kraftig fra denne beskrivelsen, se figur 4.3. Det viser et taggete histogram med et lite vedheng av mørke piksler og en lang hale av spredte, lyse piksler. Mørke kjøretøysegmenter og asfalt har et størrelsesforhold rundt 1:16, mens forholdet mellom lyse kjøretøysegmenter og asfalt ligger på ca. 1:20 avhengig av lys tersklingsverdi. Forskning på hvordan tersklingsalgoritmer oppfører seg ved svært skjeve fordelinger viser at algoritmene kan bryte sammen under slike forhold [38]. Otsus metode har en grense på 1:10 i størrelsesforhold mellom fordelingene før algoritmen kan gi en tersklingsverdi som ikke oppfyller kriteriet om minst mulig varians innenfor klassen. Ofte vil fordelingen bli delt i to like store klasser i disse feiltilfellene.

4.1.1 Sammenkobling av segmenter

Pilotutsnittet hadde 22 kjøretøy, 21 lette og ett tungt. Tersklingsresultatet ga i mange tilfeller flere segmenter per kjøretøy, og en del kjøretøy besto av både mørke og lyse segmenter. Enten måtte segmentene samles for hvert kjøretøy, eller så måtte kun det største segmentet representere kjøretøyet. RTS hadde valgt det siste alternativet. Det at masterstudien skulle sammenlikne kjøretøys egenskaper ved ulike oppløsninger tilsa at egenskaper skulle beregnes for hvert kjøretøy, og segmentene samles før egenskapsuttrekking med metoden beskrevet i 3.5.2. Før segmentene ble slått sammen, ble de som var over 60 piksler store gruppert for seg som potensielle tunge kjøretøy. De fikk følgelig en annen rektangelstørrelse ved sammenkobling. De tre første stegene i segmenteringsalgoritmen reduserte antall segmenter fra 63 til 37. Etter terskling var det 63 segmenter, etter støyfering var det 53 segmenter, og etter kobling var det 37 segmenter, 18 TP, 19 FP og 4 FN. Segmentene etter terskling og segmentene etter kobling vises i figur 4.4. De koblede segmentene vises i grønt for TP og rødt for FP. I de tilfellene der et kjøretøy består av flere segmenter, så har segmentene lik farge.

4.2 Egenskaper i pilotprosjekt

Gråtoneegenskaper ga liten mening ved sammenslåing av lyse og mørke segmenter, slik som f.eks. gjennomsnittlig intensitetsverdi, “region mean”. Gjennomsnittet av både lyse og mørke segmenter ville kanskje bli en typisk asfaltverdi; en verdi som ikke fantes i noen av segmentene. Derfor ble gråtoneegenskaper beregnet separat for lyse og mørke segmenter innenfor hvert kjøretøy. Egenskaper ble kun beregnet for lette kjøretøy. For tunge kjøretøy var det kun en forekomst i klassen true positive og ingen false positive. Tabell 4.1 viser en oversikt over hvilke egenskaper som skiller hvilke FP fra kjøretøy. De ulike FP segmentene er nummerert i tabellen kun for å skille dem fra hverandre der.

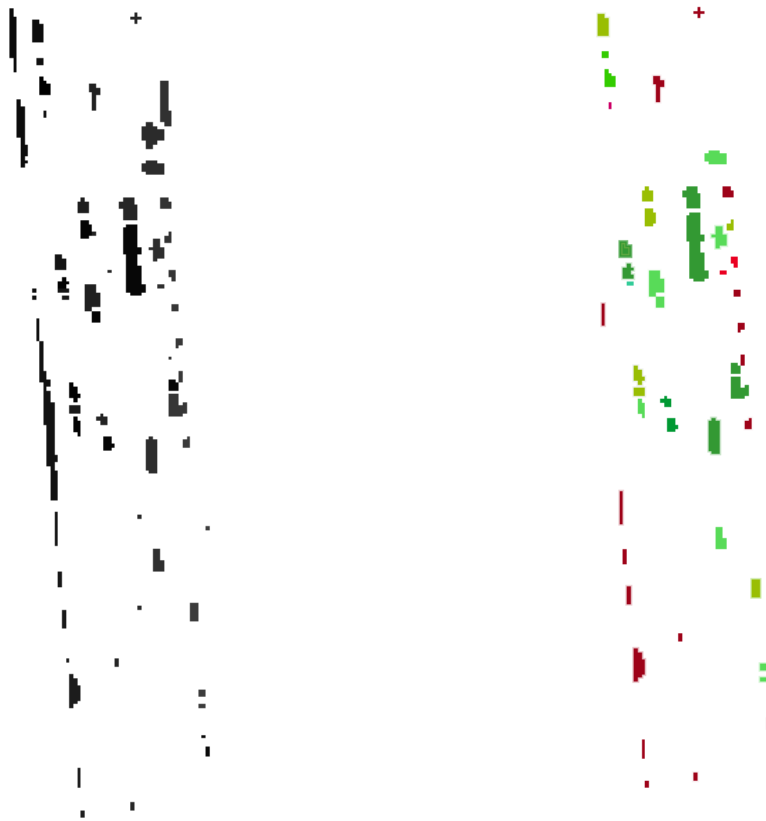


Figure 4.4: Uttersklede segmenter før og fjerning av enkeltpiksler og kobling. Til venstre vises resultatet av tersklingen: 63 segmenter. Til venstre vises resultatet etter kobling, 37 segmenter: 18 TP i grønt og 19 FP i rødt

| Egenskaper | Verdi | Fjerner False Positive Nummer |
|---------------------------|-------|---|
| Elongation | > 5 | 1, 3 |
| Mask Distance | < 2 m | 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 13, 14, 15, 16, 17, 19 |
| Contrast, dark segments | > -40 | 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12 |
| Stddev, dark segments | < 5 | 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 12 |
| Smoothness, dark segments | >15 | 19 |

Tabell 4.1: Oversikt over hvilke egenskaper og verdier som skiller hvilke False Positive. Numrene på False Positive er en fortløpende nummerering for å skille dem fra hverandre.

I pilotprosjektet ble det beregnet de samme egenskapene som RTS hadde valgt. Hus momenter ble ikke brukt fordi oppløsning 0,6 meter ble ansett for å være så lav at resultatet av disse momentene ble tilfeldige verdier. En ny egenskap ble innført: Mask Distance, som var minste avstand til masken. De andre egenskapene som ble beregnet og brukt var: Area, elongation, length, width, orientation, compactness, rectangularity og mask distance, number of segments. I tillegg kom gråtoneegenskapene spatial spread, contrast, region mean, stddev, boundary gradient, gradient mean og smoothness. Alle gråtoneegenskaper ble skilt for lyse og mørke segmenter innen hvert kjøretøy for ikke å havne på en gjennomsnittsverdi som tilsvarte asfalt. Alle egenskaper er beskrevet i vedlegg A.1.

De egenskapene som skiller TP og FP er elongation, mask distance, contrast dark segments, stddev dark segments, og smoothness dark segments. Mask distance skiller flest FP fra kjøretøy, 13 av 19 stk. Contrast dark segments fjerner 10 og stddev dark segments fjerner 8. det er fullstendig overlapp mellom de FP som stddev dark segments fjerner i forhold til de FP som contrast dark segments fjerner. De fjerner begge FP nr 12, noe mask distance ikke gjør. Ingen av egenskapene fjerner FP nr 11 og 18. FP nr 11 er det lille røde korset øverst til høyre i figur 4.4(b) og består trolig av vegetasjon mellom parkeringslommer, se det høyoppløselige RGB bildet i figur 4.2(a). TP nr 18 er den smale røde stripen oppe til høyre for en todelt grønn FP i høyre kjørebane midt i bildet. Det er trolig skyggen til det øverste FP segmentet, som egentlig er et separat kjøretøy, men som er feilkoblet. Man kan dermed argumentere for at FP nr 18 ikke er noen FP i det hele tatt.

Et iøyenfallende resultat foruten at de lyse segmentene til dels forsvinner, er at det terskles ut mange FP i veiskulderen utenfor veibanen, 13 av 19 FP lå mindre enn 2 meter fra kanten av masken. Veimasker som følger veibanen tett er mest vanlig innen kjøretøydeteksjon, enten det er en veibane av gangen [20][21], eller begge veibaner i ett [17] [18] [15][16]. Ved bruk av GIS veidata er resultatet smale masker av begge veibaner uten fortau, se figur 4.5 som viser GIS veidata for gaten i pilotutsnittet. Oppgaven besluttet å bruke veimasker som kun inneholdt veibanen. Man kan også argumentere for at tersklingsresultater vil være mer stabile med veimasker med kun veibanen. En bred veimaske vil basere seg på skjønn i stor grad, og hvor mye eller lite av veiskulderen som kommer med vil påvirke tersklingsresultatet.

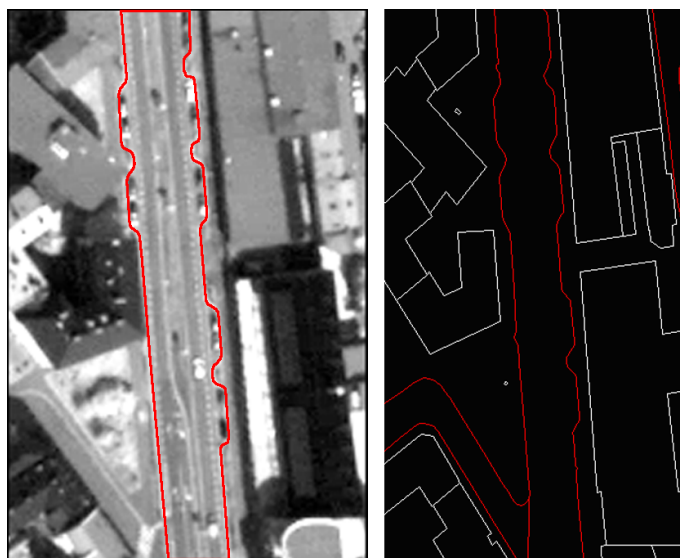


Figure 4.5: GIS veimaske (i rødt) inneholder kun veibanen

En annen stabiliseringsfaktor kunne være å dele histogrammet i lyse og mørke områder før terskling, ved gjennomsnittlig intensitetsverdi i stedet for ved maksimalverdien av histogrammet. Histogrammet til en fordeling av veibane og kjøretøy vil kunne ha tilfeldige topper og dermed en tilfeldig maksimalverdi. Gjennomsnittsverdien i bildet vil ikke variere på samme måte, og ble vurdert til å kunne representere gjennomsnittlig asfaltverdi mer stabilt. To utsnitt, piloutsnittet og et nytt QuickBird utsnitt, QB1, ble testet ut

med masker kun av veibanen og deling av lyst og mørkt område ved gjennomsnittintensiteten i bildet i tillegg til maksimalverdien av histogrammet som 'vanlig'. Figur 4.6 viser histogrammene til utsnitt QB1 og pilotutsnittet med markeringer for gjennomsnittverdi, maksimalverdi og antatt ideelle tersklingsverdier. Tabell 4.2 viser tersklingsverdiene hvert utsnitt fikk for de to ulike delingene.

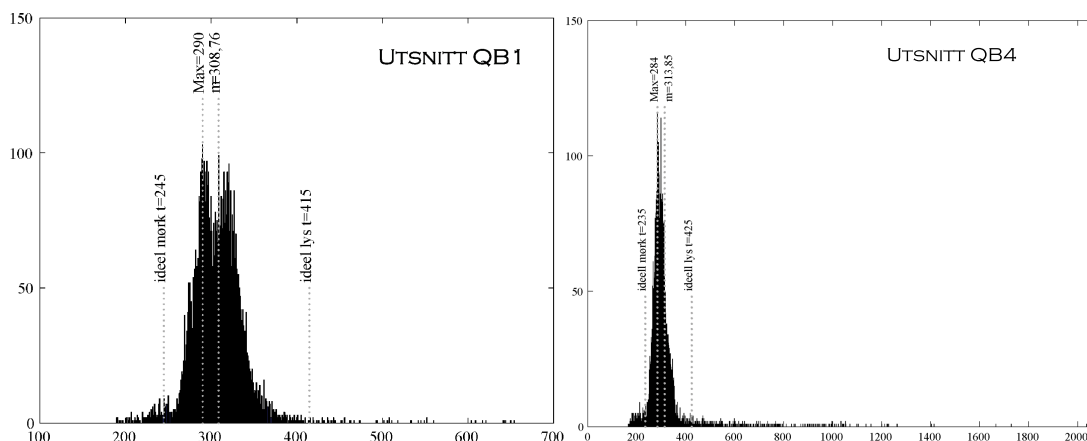


Figure 4.6: Histogram for utsnitt QB1 og pilotutsnittet med markeringer for ideelle tersklingsverdier, maksimalverdier av histogrammene og gjennomsnittlig intensitetsverdi i bildet. Utsnittene ble tersklet med Otsus metode med deling av lyst og mørkt område både for maksimalverdi av hisogrammet og gjennomsnittsverdi av intensitetsverdiene i bildet. De mest idelle tersklingsverdiene ble oppnådd for begge utsnitt med deling av områder i maksimalverdi av histogrammet.

| RESULTATER VED TERSKLING AV UTSNITT 1 OG 4 | | | | |
|---|--------|-------|--------|--|
| Utsnitt 1. Antatt idelle verdier: lys t = 400 - 430, mørk t = 240 - 250 | | | | |
| Delingspunkt | Asfalt | Lys t | Mørk t | Kommentar |
| $\mu(I)$ | 308,8 | 469,5 | 277 | Deler av asfalt er tersklet ut som kjøretøy. |
| Max(hist) | 290 | 458,5 | 256 | Godt resultat |
| Utsnitt 4. Antatt idelle verdier: lys t = 400 - 450 , mørk t = 230 - 240 | | | | |
| Delingspunkt | Asfalt | Lys t | Mørk t | Kommentar |
| $\mu(I)$ | 313,9 | 619,5 | 270 | Deler av asfalt tersklet ut som kjøretøy. |
| Max(hist) | 284 | 582 | 239 | Akseptabelt resultat |

Tabell 4.2: Gjennomgang av forskjellige tersklingsresultater for utsnitt QB 1 og pilotutsnittet førte til at tersklingsmetoden ble beholdt

Tersklingsresultatene for pilotutsnittet og utsnitt QB1 viste at gjennomsnittsverdien av histogrammet ikke var et godt delingspunkt for lyst og mørkt område. Både den lyse og den mørke tersklingsverdien ble for høy, og deler av asfalten ble tersklet ut som kjøretøy i begge utsnitt. Maksimalverdi av histogrammet fikk hhv. godt og akseptabelt resultat for de to utsnittene. Det at RTS brukte denne kombinasjonen var en faktor som gjorde metoden gyldig, uansett om man kan stille spørsmål ved stabiliteten. I mangel av en bedre løsning, ble maksimalverdi beholdt som delingspunkt.

4.3 Konklusjon fra pilotprosjekt

- Sammenkobling av kjøretøy før egenskapsuttrekking reduserte antall segmenter med 30 %.
- 94,5% av segmentene ble korrekt koblet sammen
- De mest aktuelle egenskapene i pilotprosjektet var avstand til masken (mask distance) , contrast dark segments, stddev dark segments og elongation
- FP kom av skygge, veimerking og vegetasjon
- Det bør innføres en reject klasse, segmenter som det ikke beregnes egenskaper av fordi de er deler av kjøretøy. Disse skal likevel fjernes
- 17 av 19 FP kunne fjernes med enkeltegenskaper
- Ved ett tilfelle ble to TP feilaktig slått sammen til ett i koblingsrutinen
- Maksimalverdi av histogrammet beholdes som delingspunkt for lyse og mørke områder
- Veimasken bør inneholde kun veibanen

Kapittel 5

Resultater

5.1 Resultater ved simulering av QuickBird bilder

Et gjennomsnittlig lett kjøretøy har dimensjoner $1,7 \times 4$ meter, og vil dekke 2.8×6.7 piksler i et QuickBird bilde [2]. Mange kjøretøy synes godt i disse bildene, mens en god del kan forveksles med trær, skygger, veimerking og annet. For å kunne evaluere segmentering og klassifisering korrekt, er det nødvendig å kjenne fasiten. Man kan tenke seg at man har både en fasit i form av et høyoppløselig flybilde, og et QuickBird bilde tatt til samme tid ved siden av. Det er både tidskrevende og kostbart å koordinere og få utført et slikt opptak, og det er ikke vanlig. Det kan derfor være hensiktsmessig å simulere et QuickBird bilde ut av fasiten, dvs. et høyoppløselig flybilde, for å prøve ut metoder og algoritmer før de tas i bruk på QuickBird bilder. Ved simulering kan man i tillegg velge å ha bedre oppløsninger enn 0,6 meter, og dermed være i stand til å teste algoritmene på fremtidens data. Printz mfl. tenkte seg i 1997 frem i tid, til satellittbilder med pankromatisk oppløsning på 1 m og multispektral oppløsning på 4 m. De simulerte fusjon av to slike bilder ved hjelp av høyoppløselige flybilder, med den hensikt å lage seg et multispektralt satellittbilde med stor detaljrikdom til bruk ved klassifikasjon av landområder [39].

Denne oppgaven simulerer et QuickBird bilde med oppløsning 60 cm fra et høyoppløselig RGB flybilde med oppløsning 12,5 cm. I tillegg er det simulert bilder med oppløsninger 50 cm, 40 cm, 30 cm, 20 cm og 12,5 cm, fra det samme høyoppløselige RGB bildet, med samme algoritme. For å kunne bruke et høyoppløselig bilde som fasit og et simulert bilde som et QuickBird bilde, er det viktig at det simulerte bildet oppfører seg likest mulig et QuickBird bilde i den sammenhengen bildet benyttes. Her er bruksområdet segmentering og egenskapesuttrekking av kjøretøy. Følgende evalueringskriterier er satt opp for simuleringen:

1. Resultatet av segmentering av kjøretøy i det simulerte bildet og QuickBird bildet skal være likest mulig
2. Det simulerte bildet skal likne QuickBird bildet visuelt i størst mulig grad, mest vekt legges på veibane og kjøretøy
3. Ved sammenlikning skal det tas hensyn til variasjon i solens azimuth-vinkel mellom

bildene

Det høyoppløselige RGB flybildet er som nevnt i kapittel 2.4 tatt opp søndag 13 juni 2004 ca. kl. 12.30, mens QuickBird bildet det sammenliknes med er tatt opp onsdag 28. mai 2003 kl. 10.35. Drøyt to ukers forskjell i årstid utgjør trolig liten endring i vegetasjon, som kan forstyrre segmenteringen. Det er noen fler kjøretøy på veiene i QuickBird bildet som er tatt en onsdag formiddag, mot RGB flybildet som er tatt opp midt på dagen en søndag. En stor ulikhet er imidlertid timevinkelen, som gir retningen og påvirker lengden for skygger fra bygninger og kjøretøy. I kapittel 3.5.2 ble lengden til skyggen av et kjøretøy med høyde 1,5 meter beregnet til å være 1,34 meter i QuickBird bildet. For RGB flybildet blir lengden til skyggen av det samme kjøretøyet lik 1,14 meter etter utregning med formlene 3.20, 3.19 og 3.18. Differansen i skyggelengden mellom de to beregningene er kun 0,2 meter. For lette kjøretøy som kan generaliseres med en høyde lik 1,5 meter, vil det ikke være nødvendig å ta spesielt hensyn til denne differansen. Tunge kjøretøy, som er betydelig høyere og dermed vil kaste lengre skygger, vil ikke bli studert nøye i denne oppgaven fordi det finnes for få eksempler. På grunn av av ulikt klokkeslett for opptak står solen 15° med klokken i forhold til bildeaksene i RGB flybildet, mens den står $15 - 20^\circ$ mot klokken i QuickBird bildet. En slik differanse i timevinkelen på $30 - 35^\circ$ gjør at lysforholdene i de samme gatene kan bli svært forskjellig for de to bildene. Dette er en av hovedgrunnene til at forskjellige utsnitt blir valgt for QuickBird og simulerte bilder, ved segmentering og egenskapsuttrekking senere i oppgaven.

I metodekapittelet 3.2 står det at for å simulere et satellittbilde må man korrigere for ulikheter i opptaksforhold og optikk mellom fasit (satellittbildet) og flybildet som skal transformeres. Likning 3.4 beskriver de tre faktorene som lager et satellittbilde: Terrenget (T), instrumentprofil, (I), og samplingsapperture (s), $T * I * s$. Instrumentprofilen er lik punktspredningsprofilen til et kamera med perfekt optikk uten forstyrrelser mellom seg og terrenget. Mellom jorden og en satellitt vil det forkomme forvrengninger av lyset på grunn av partikler og aerosoler i atmosfæren og blurring som skyldes at atmosfæren består av "bobler" med ulik tetthet som vil spre lyset litt tilfeldig. Det sees bort fra disse forstyrrelsene i denne oppgaven, fordi andre ulikheter mellom det høyoppløselige flybildet og et QuickBird, som det ikke er mulig å korrigere for, vil påvirke resultatet mer. Ulik sol- og skyggeretning kan man ikke rette opp, kun ta hensyn ved bruk og evaluering. Manglende data på spektralresponskurven til QuickBird bildet gjør at det ikke er mulig å beregne og utføre en eventuell fullstendig korreksjon for atmosfæriske påvirkninger. Dermed utgjør konvolusjon med punktsredningsprofilen faktoren I i filteret. Samplingsapperturen er en diskret sampling av det analoge signalet (lyset) som treffer detektoren i kameraet. Den gir bildets oppløsning. Bikubisk resampling av flybildet til QuickBirds oppløsning på 0,6 meter, eller til en av de andre oppløsningene oppgaven simulerer, utgjør leddet s i filteret.

Simuleringen er utført med følgende steg:

- Transformere RBG flybilde til gråtoner med formelen $I_{gray} = \frac{R+B+G}{3}$
- Bikubisk resampling av flybildet til oppløsning 0,6 meter
- Beregne punktspredningsprofilen til QuickBird, vist i 3.2.1 og lage en konvolusjonsmatrise på bakgrunn av denne. Det ble laget en $9 \cdot 9$ matrise med verdier samlet med

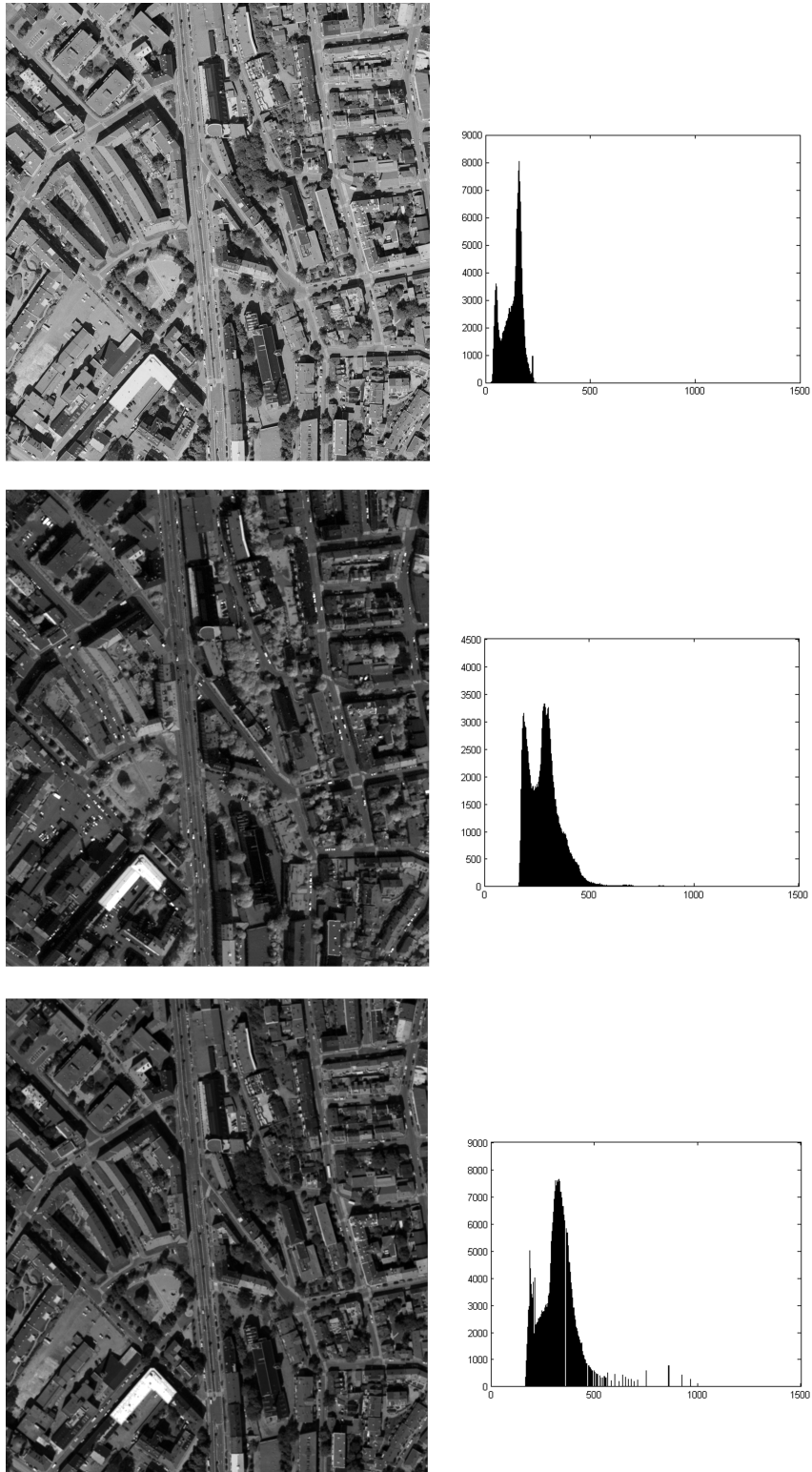
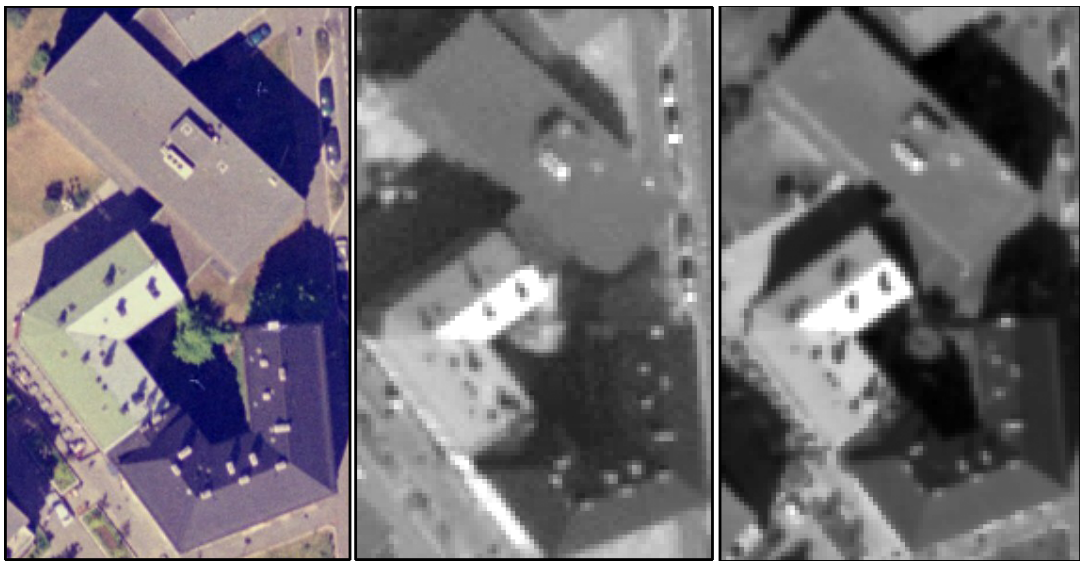


Figure 5.1: Simulering av QuickBirdbilde fra et RGB flybilde. Flybildet gjøres om til gråtoner, resamples, konvolveres med et filter basert på optikken i QuickBird kameraet og histogrammatches med et QuickBird bilde. Øverst sees det høyoppløselige flybildet etter omgjøring til gråtoner og resampling til oppløsning 0,6 m. I midten sees det originale Quick-Bird utsnittet og nederst den simulerte QuickBird utsnittet. Histogrammene til hvert bilde er vist til høyre.

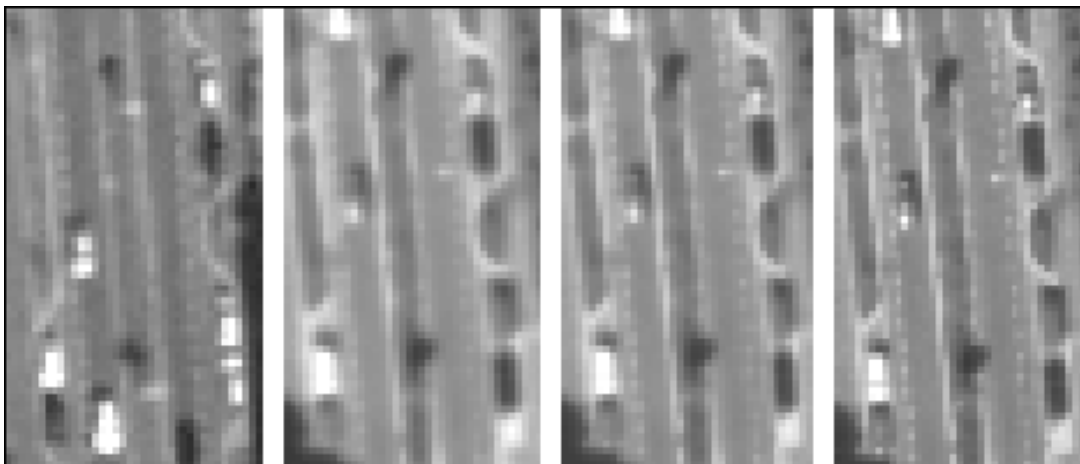
innbyrdes lik avstand, fra punktspredningsprofilen.

- Konvolvare det resamplede bildet med matrisen
- Histogrammatche det konvolverte bildet med et utsnitt av et QuickBird bilde som avbilder det samme terrenget

Resultatet av simuleringen vises i figur 5.1. Der sees et 0,18 km² stort område av Oslo indre øst som hhv. høyoppløselig RGB flybilde som er omgjort til gråtoneskala og resamplet til 0,6 m, orginalt QuickBird bilde og simulert QuickBird bilde. Histogrammene til orginalt QuickBird bilde og simulert QuickBird bilde er forholdsvis like. Det er mulig å tvinge det simulerte bildet til å få identisk histogram som det orginale QuickBird bildet



(a) Det simulerte bilder viser detaljer på hustak tilnærmet likt som QuickBird bildet. Fra venstre: Orginalt RGB bilde, i midten: Orginalt QuickBird bilde, til høyre: Simulert QuickBird bilde



(b) Konvolusjonskjernen til komponenten I i simuleringen ble valgt til å være 9·9 piksler. Det ga likest avbildning av kjøretøy og andre detaljer. Forsøk ble gjort også med 11·11 og 7·7 piksleres konvolusjonskjerner. Fra venstre sees utsnitt av QuickBird original, utsnitt simulert med 11·11 kjerne, utsnitt simulert med 9·9 kjerne og utsnitt simulert med 7·7 kjerne.

Figure 5.2: Simuleringsdetaljer

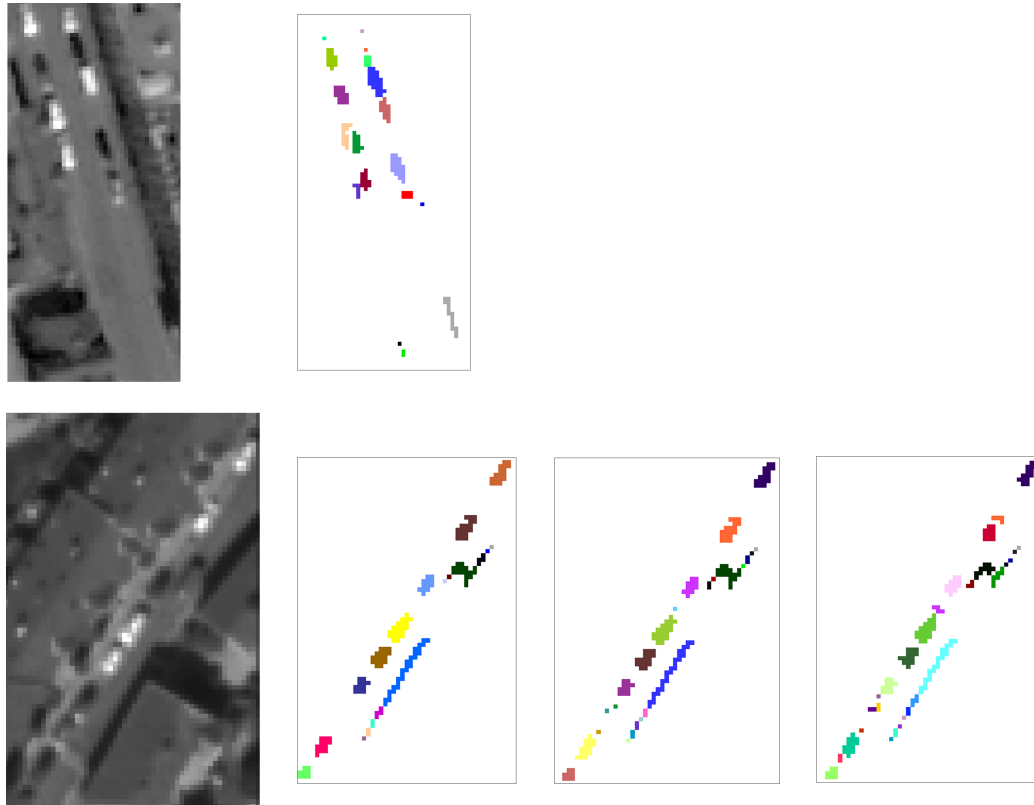


Figure 5.3: Segmenter etter terskling i QuickBird original (til venstre) og simulert Quick-Bird (til høyre) med kovolusjonsmatrise på hhv. 11·11, 9·9 og 7·7. Både 11·11-bildet og 9·9-bildet får svært like segmenter som QuickBird original. 9·9-bildet får i tillegg “støy” i form av enkeltpiksler, i likhet med QuickBird original. 7·7-bildet får for mange og for små segmenter i forhold til originalen.

ved å telle opp antall piksler på hver gråtone og så fylle inn i det simulerte bildet kun lovlig antall gråtoner for hvert trinn. Det ble forsøkt i dette prosjektet, men selv om histogrammene ble identiske, skilte det simulerte bilde som ble histogrammatched på denne måten seg ikke i synlig grad fra det simulerte bildet i figur 5.1. Metoden med å tvinge igjennom identisk histogram er svært regnetung, og ble forkastet.

De umiddelbare likhetene mellom QuickBird bildet og det simulerte bildet er at begge er forholdsvis mørke og sløret. Veibanen har omtrent lik gråtone, selv om enkeltgater er noe preget av ulik solvinkel på de to opptakene. Mindre strukturer i bildet slik som piper på hustak avbildes med likt detaljnivå, se figur 5.2(a).

Størrelsen på konvolusjonsmatrisen påvirker hvor mye detaljene smøres ut. Jo større matrise, jo mer sløret bilde. Det ble eksperimentert med ulike størrelser på konvolusjonsmatrisen, foruten 9·9 ble det også forsøkt med 7·7 og 11·11, se figur 5.2(b). Visuelt sett er 9·9 mest ideelt fordi bildet gjengir veimerking, kjøretøy og andre små strukturer med likest skarphet som QuickBird. Ved segmentering av kjøretøy fikk både 11·11-bildet og 9·9-bildet segmenter som liknet originalen, mens 7·7-bildet fikk fler og mindre segmenter, se figur 5.3. 9·9-bildet fikk også noe “støy” i form av enkeltpiksler, i likhet med QuickBird bildet.

Segmenteringen er gjort i utsnitt der kjøretøyene har forholdsvis lik solvinkel. For QuickBird står solen rett syd i forhold til lengderetning, og for det simulerte utsnittet står solen ca. 15 grader mot klokken. Disse veiutsnittene er valgt på tross av vinkelforskjellene, men på grunn av at det finnes noe skygge i veikanten på dem begge. Både skygge og kjøretøy gir mange segmenter ved terskling, og sammenlikningen blir mer komplett med begge elementer tilstede.

5.1.1 Ulikheter ved QuickBird bilde og simulert QuickBird bilde

Den mest iøyenfallende ulikheten ved QuickBird original og simulert QuickBird bildet er at vegetasjon er lys i QuickBird og mørk i simulert bilde. Dette har å gjøre med filmens båndbredde og spektralresponskurve. Begge deler varierer med type film og produsent av filmen. Det er mulig å korrigere for disse ulikhetene dersom filmene har lik båndbredde og opplysninger om begge spektralresponskurvene finnes. Flybildet er et 3 kanals fargebilde med de tre kanalene R, G og B med båndbredde til sammen fra 400 nm til 700 nm. Spesifikasjonene på filmen er kjent. QuickBird bildet er et 1 kanals pankromatisk bilde med båndbredde fra 450 nm til 900 nm. Den pankromatiske spektralresponsen for QB er ikke kjent. Ved oppdeling av RGB filmen i hver fargekanal kan man se at vegetasjon blir mørk i alle de tre kanalene. Det pankromatiske QuickBird bildet kan ikke deles opp, men det kan det multispektrale QuickBird bildet tatt til ca. samme tid. Det pankromatiske bildet har lik båndbredde som alle kanalene i det multispektrale bildet. Figur 5.5(a) viser røde tak og vegetasjon i RGB flybildet, QuickBird pankromatisk bilde og simulert bilde. Figur 5.5(b) viser det samme utsnittet i det multispektrale QuickBird bildet oppdelt i kanalene R, G, B og Nær-Infrarød. Kanalene har båndbredde som vist i listen i kapittel 2.1.1. Det er tydelig at vegetasjon blir mørk i alle andre bølgelengder enn Nær-Infrarød, 700 - 900 nm. Dette skyldes et fenomen som kalles Red Edge, se figur 5.4. Klorofyll absorberer mesteparten av lyset i det synlige området og reflekterer mesteparten av lyset for bølgelengder over 700 nm. Planter unngår på denne måten overoppheting ved fotosyntese. Endringen kan gå fra 5% til 50% refleksjon mellom 680 nm og 730 nm [40]. Dette bølgelengdeområdet er

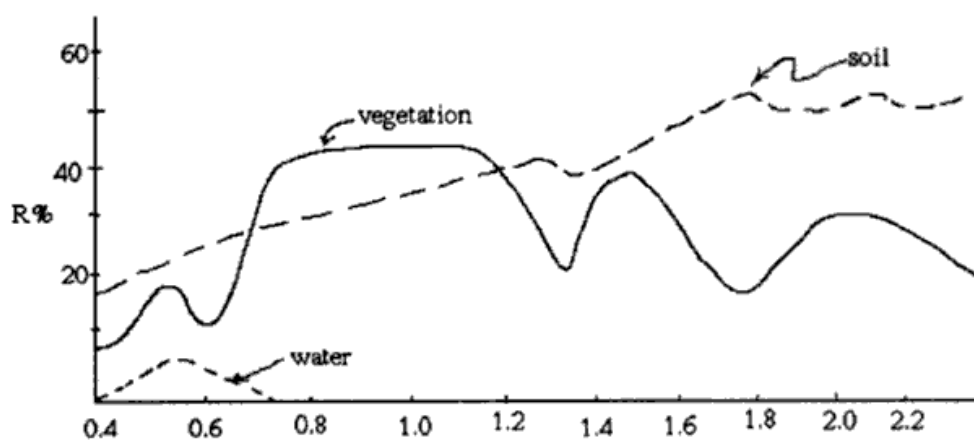
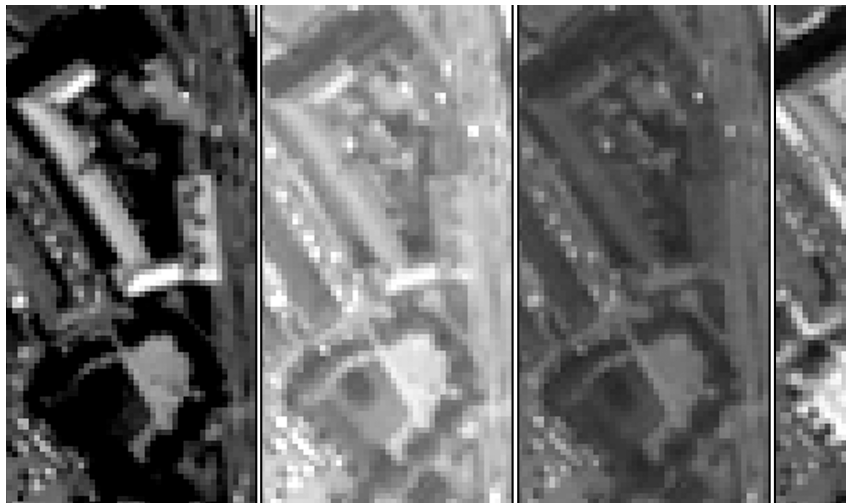


Figure 5.4: Refleksjon fra vegetasjon er liten ved lave bølgelengder. Den stiger raskt i området 680 nm - 730 nm. Denne bratte stigningen kalles Red Edge



(a) Fra venstre: Høyoppløselig RGB flybilde av vegetasjon og røde hustak. I midten: Quickbird originalbilde gjengir vegetasjon med høy intensitet. Til høyre: Det simulerte bildet gjengir vegetasjon mørkere enn QuickBird. Det skyldes at RGB bildet, som er utgangspunkt for det simulerte bildet, mangler alfa-kanalen som gir vegetasjonen den høye intensiteten



(b) QuickBird multispektralt bilde delt opp i sine 4 kanaler: Fra venstre: Rødt, Grønt, Blått og Alfa. Den lyse vegetasjonen skyldes bidrag fra alfa-kanalen. Den røde kanalen bruker bølgelender som ligger intill alfa-kanalen. Røde hustak avbildes forholdsvis lyst i begge kanaler, mens vegetasjon blir veldig mørk i rød kanal og veldig lys i alfa-kanal. Det pankromatiske bildet har trolig høy vektning av alfa-kanalen.

Figure 5.5: Utsnitt av vegetasjon og røde hustak.

akkurat i overgangen mellom rødt og Nær-Infrarødt lys, derav navnet Red Edge. I og med at øvre grense i båndbredden til RGB flybildet er 700 nm, går den sterke refleksjonen fra vegetasjonen i området over 700 nm tapt.

Ved terskling i QuickBird gir veimerking færre falske positive enn ved terskling i simulerte utsnitt. Dette skyldes at lyse kjøretøy i QuickBird ligger lenger fra veimerking på grå-

toneskalaen enn hva som er tilfelle i simulert utsnitt. Ved opptak av RGB bildet har lyse kjøretøy og veimerking ofte fått liknende verdier, og dette lar seg ikke korrigere ved histogrammatching.

5.2 Segmentering

Segmenteringen besto av terskling og et preprosesseringsstrinn som inneholdt støyfjerning, kobling av segmenter og trefjerning.

5.2.1 Utsnitt i QuickBird

For QuickBird ble det valgt ut fire utsnitt med minst mulig vinkling i forhold til bildeaksene, 5 grader (mot klokken), se figur 5.6. Et av disse var utsnittet fra pilotprosjektet. De tre andre var fra et annet QuickBird bilde, i samme bygate som pilotutsnittet, Kjølberggata i Oslo indre øst. Denne gaten ble valgt fordi veibanen lå åpen uten skygge fra bygningene, og fordi vinkelen på kjøretøy var så liten at det ikke forstyrret beregning av romlige egenskaper.



Figure 5.6: 4 utsnitt fra QuickBird opptak, alle fra Kjølberggata i Oslo indre øst. Fra venstre: 1) Utsnitt QB1, tatt i mai 2004. Dette utsnittet er av samme område som pilotprosjektet, men fra et annet QB opptak. 2) Utsnitt QB2, tatt i mai 2004. 3) Utsnitt QB3, tatt i mai 2004. 4) Utsnitt QB4, tatt i mai 2006. Dette utsnittet er identisk med utsnittet i pilotprosjektet.

5.2.2 Vurderinger ved segmentering

Segmentering i simulert QuickBird forstyrres ved få kjøretøy og mye veimerking

For simulert QuickBird ble det forsøkt å segmentere de samme utsnittene fra Kjølberggaten som ble brukt i QuickBird. Den lyse tersklingsverdien tok med seg deler av veimerkingen, og dette skapte mange False Positives. RGB bildet er tatt opp søndag midt på dagen, og det er svært få kjøretøy i Kjølberggaten på bildet. Det vanskeliggjør en korrekt terskling. Segmentene veimerkingen skapte var hovedsaklig svært smale, og det var grunn til å tro at en klassifikator ville kunne skille mellom veimerking og kjøretøy, se figur 5.7.

Kjølberggaten er en hovedfartsåre i Oslo sentrum, og har midtrabatt med vegetasjon og kraftig veimerking. Det er ikke en av de mest typiske gatene i Oslo sentrum. I og med at dette masterprosjektet ønsket å finne mest mulig generelle egenskaper for kjøretøy i

bygater for de ulike oppløsninger, var det ønskelig å velge utsnitt som ga en mer representativ segmentering, og Kjølberggaten ble forkastet.

5.2.3 Utsnitt i simulert QuickBird

Tre utsnitt (utsnitt sim4, sim5 og sim6), som alle hadde en viss andel kjøretøy, ble valgt ut for simulert QuickBird, se figur 5.8. Gatene var vinklet $14 - 40^\circ$ i forhold til bildeaksene. I spesielt det ene utsnittet, utsnitt sim6, var det mye skygge i den ene veibanen. Ulempen med utsnitt sim6 er at kjøretøy som er helt eller delvis dekket av skygge, vil få redusert kontrast og dermed være utsatte i forhold til tersklingsproblemer. Fordelen med utsnitt sim6 er at det er svært representativ for gatene i bildet. RTS beregnet at skyggen dekker 48 % av veibanen i et utsnitt av hele Oslo øst, men har ikke kommet frem til en løsning for deteksjon av kjøretøy innen denne masken. Mange kjøretøy som ligger delvis i skygge vil bli delt av en slik maske, og kanskje bli tatt for støy dersom skygge og ikke-skygge områder behandles hver for seg. Det kan derfor være interessant å se hvordan et utsnitt med delvis skygge oppfører seg uten spesialbehandling.

Fire utsnitt for QB original og tre utsnitt for hver oppløsning fra sim 60 til sim 12,5, tilsammen 22 utsnitt gikk gjennom den samme prosessen med terskling, preprosessering og egenskapsuttrekking før ulike klassifiseringstester ble utført. I tillegg til egenskapene

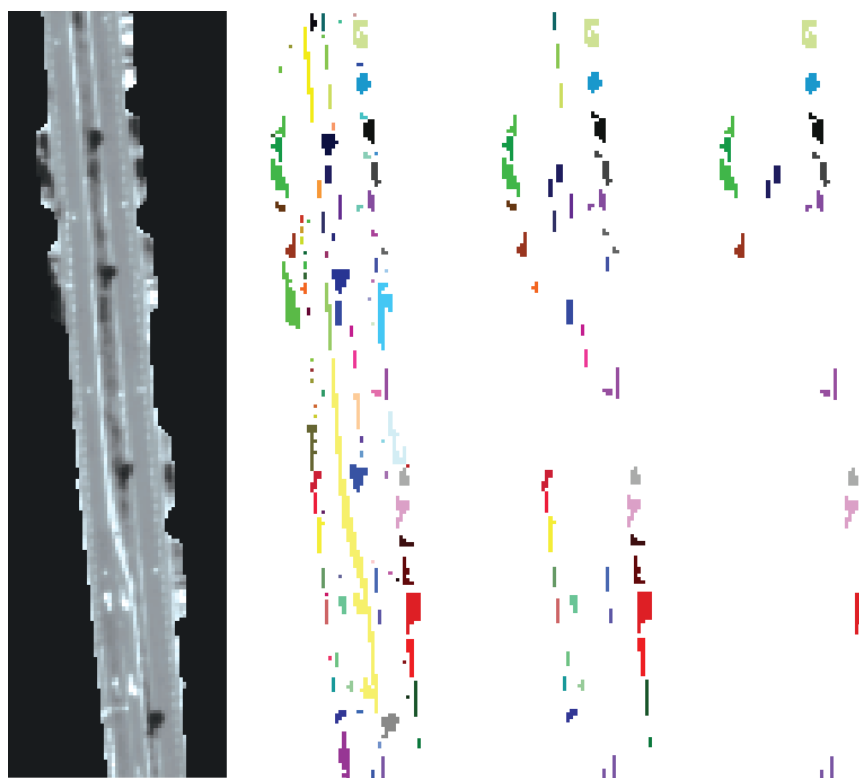


Figure 5.7: Utsnitt sim1. Få kjøretøy og mye veimerking skaper tersklingsproblemer. Fra venstre: a) maskert utsnitt, b) etter terskling, c) etter støyfjerning, kobling og trefjerning, d) etter bruk av egenskapen *width*

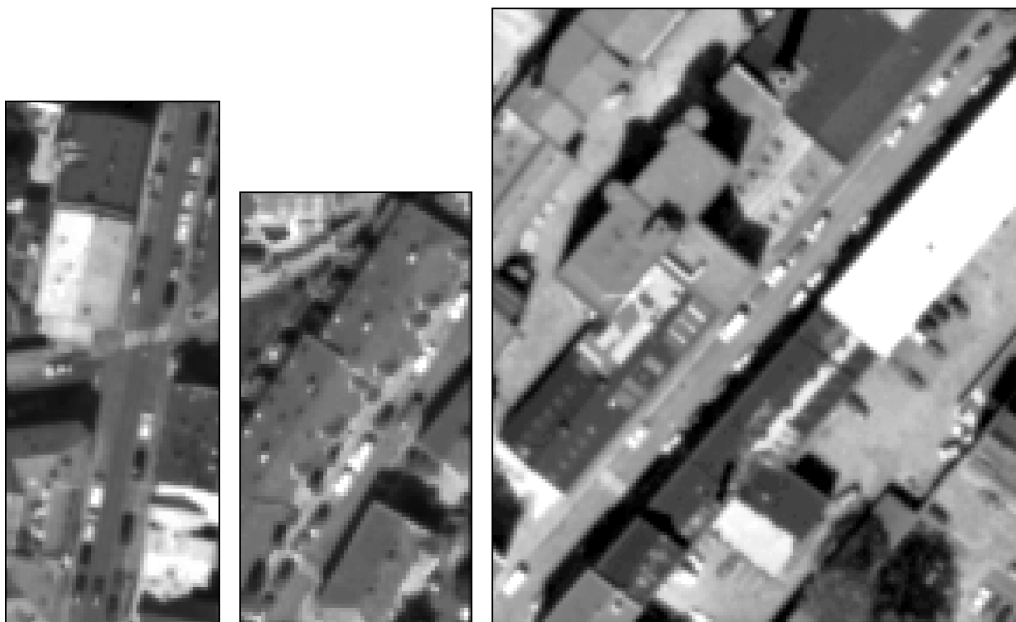


Figure 5.8: Utsnittene som ble valgt ut for de simulerte bildene hadde alle en viss andel kjøretøy. fra venstre: sim4, sim5 og sim6. Sim6 har mye skygge i den ene veibanen, i likhet med veldig mange gater i et QuickBird bilde eller et flybilde.

som ble beregnet og omtalt i pilotprosjektet, ble også gråtonegeneskaper for koblingsrammen beregnet: Region mean frame, region mean diff. (region mean segment/region mean ramme), contrast frame, boundary gradient frame, gradient mean frame, og smoothness frame. Dersom form og størrelse på rammen er representativ for kjøretøy, vil kanskje pikslene inneholdt av rammen kunne gi ekstra informasjon for å skille mellom kjøretøy og annet.

5.2.4 Preprosessering

Støyfjerning er en del av preprosesseringen, og består av å fjerne små segmenter. I QB original og simulert 60 cm fjernes enkeltpikslers. For de øvrige oppløsninger er maksimal størrelse på segmenter som fjernes skalert opp med $(60/r)^2$, hvor r er oppløsningen.

Antall segmenter i hvert trinn av segmenteringen vises i tabell 5.1. False Positives er delt i FP og R, der R står for Rejects. Tre av utsnittene fra QB original hadde tilsammen 11 trær i midtrabatten som kastet skygge i veibanen, og som ble tersklet ut som potensielle kjøretøy. Fem av disse trærne ble fjernet med metoden omtalt i kapittel 3.4.1. Ingen kjøretøy ble feilaktig fjernet i denne prosessen.

Det er tydelig at koblingen av segmenter reduserer antallet betraktelig. Uten denne koblingen ville det vært klassifikatorens oppgave å fjerne et betydelig antall segmenter som opprinnelig var deler av kjøretøy, men som hadde blitt til False Positives. Det er metoden frem til egenskapsuttrekkinge som i stor grad styrer hvilke FP som kommer frem. Det vil bli andre FP-segmenter med terskling enn med kantdeteksjon eller templatematching. Det

| Antall segmenter i hvert trinn av segmenteringen | | | | |
|--|--------------|------------|--------------|-----------------|
| Oppløsning | e. Terskling | e. Støyfj. | e. Kobling | Antall Kjøretøy |
| QB | 116 | 101 | I alt: 68 | 65 |
| | | | 60 TP, 5FN | |
| | | | 7 FP, 1R | |
| Sim. 60 cm | 83 | 71 | I alt: 51 | 53 |
| | | | 43 TP, 10 FN | |
| | | | 6 FP, 2 R | |
| Sim. 50 cm | 102 | 80 | I alt: 49 | 53 |
| | | | 41 TP, 12 FN | |
| | | | 5 FP, 3 R | |
| Sim. 40 cm | 115 | 83 | I alt: 58 | 53 |
| | | | 44 TP, 9 FN | |
| | | | 10 FP, 4 R | |
| Sim. 30 cm | 143 | 90 | I alt: 51 | 53 |
| | | | 45 TP, 8 FN | |
| | | | 5 FP, 1 R | |
| Sim. 20 cm | 144 | 97 | I alt: 54 | 53 |
| | | | 43 TP, 10 FN | |
| | | | 7 FP, 4 R | |
| Sim. 12,5 cm | 184 | 100 | I alt: 57 | 53 |
| | | | 45 TP, 8 FN | |
| | | | 7 FP, 5 R | |

Tabell 5.1: Antall segmenter i hvert trinn av segmenteringen.

vil dermed være ulike egenskaper som blir trukket ut for kjøretøy. Egenskapsuttrekkingens oppgave er å skille mellom TP og FP, og er like mye styrt av hvilke FP som finnes som hvilke TP.

Figure 5.9 viser utsnitt sim4 fra oppløsning simulert 20 cm i sine forskjellige steg fra terskling, støyfjerning, kobling og klassifisering med enkeltegenskapene width og area. Alle kjøretøyene blir funnet og koblet uten feil. En container og et fotgjengerfelt gir FP som man ut fra formen kanskje skulle tro at var forholdsvis enkle å fjerne med egenskaper.

5.3 Egenskapsuttrekking og klassifisering

Enkeltegenskaper ble trukket ut manuelt gjennom 4 runder med trening og test der 3 av utsnittene ble brukt til trening og 1 utsnitt til test i hver runde. Treningsrundene innenfor hver oppløsning brukte i hovedsak 1-2 enkeltegenskaper hver og det var oftest forskjellige egenskaper for hver runde. Mellom oppløsningene var det imidlertid i stor grad de samme egenskapene som kunne skille mellom TP og FP. De aller mest brukte samlet sett var *Contrast light*(lyse objekter), *Width* og *Elongation*, og dette var også de tre beste enkelte-

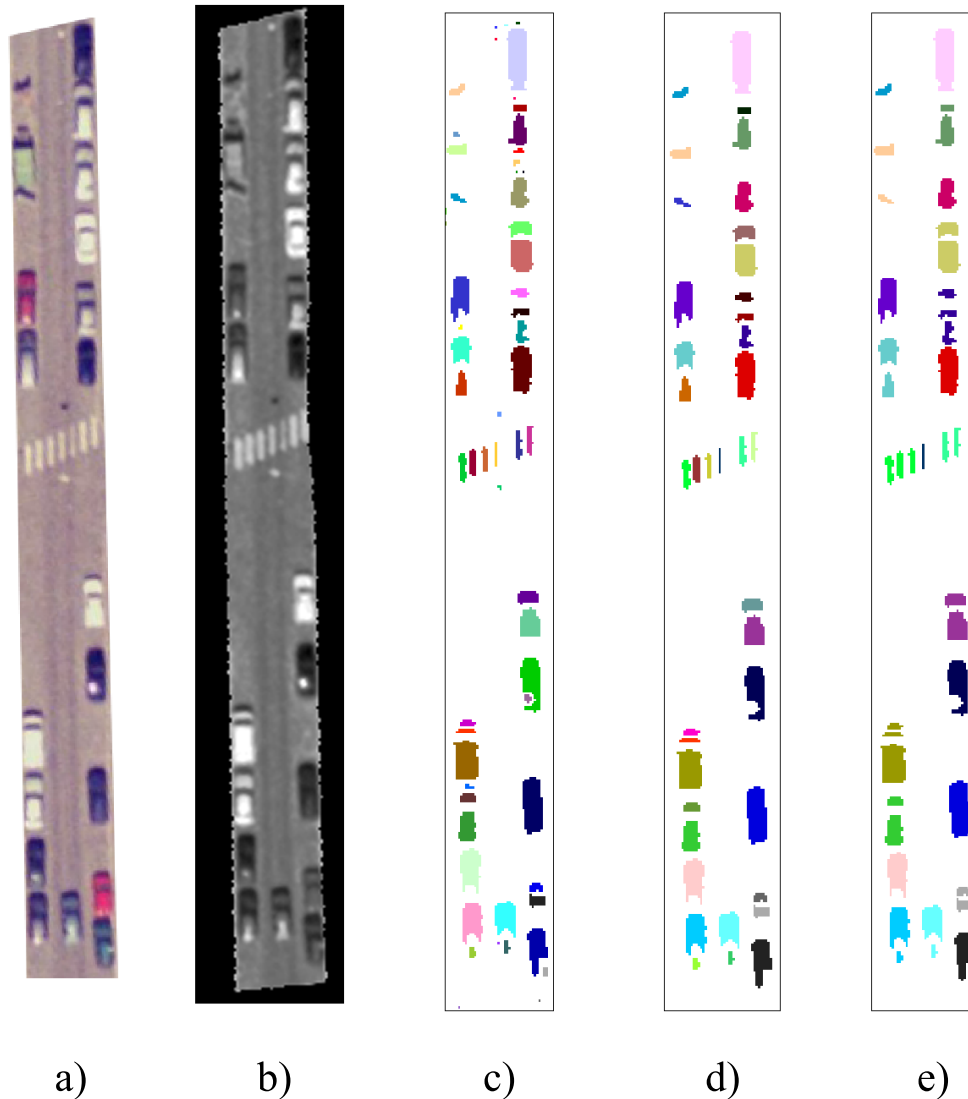


Figure 5.9: Utsnitt sim 4 fra simulert 20 cm fra terskling til egenskapsuttrekking. a) RGB av utsnitt sim4, legg merke til den røde bilen nederst til høyre, mellomrøde biler blir tersklet ut dårligere enn andre farger. b) Simulert 20 cm, det finnes 18 lette kjøretøy i utsnittet. c) Etter terskling, antall segmenter: 60. d) Etter støyfjerning, antall segmenter: 39. e) Etter kobling, antall segmenter: 23, 18 TP og 5 FP.

genskapene for QB original.

Treffprosent til en klassifikator ble så estimert etter metoden Leave One Out, omtalt i kapittel 3.7.1. For de ulike oppløsningene ble den estimerte feilraten:

- QuickBird: $\mu = 0.210$, std. = 0.083
- Simulert 60 cm: $\mu = 0.190$, std. = 0.051
- Simulert 50 cm: $\mu = 0.200$, std. = 0.095
- Simulert 40 cm: $\mu = 0.200$, std. = 0.095
- Simulert 30 cm: $\mu = 0.120$, std. = 0.105
- Simulert 20 cm: $\mu = 0.170$, std. = 0.040

Simulert 12,5 cm: $\mu = 0.330$, std. = 0.043

QB, simulert 60 cm, 50 cm og 40 cm fikk omtrent likt resultat. 30 cm ga best resultat, så 20 cm. 12,5 cm var absolutt dårligst, med 10- 20% lavere treffprosent enn alle de andre. For 12,5 cm ble mange TP og få FP fjernet i testrundene, og særlig var det test på utsnitt 6 som trakk statistikken ned. Flere av kjøretøyene helt eller delvis i skyggen i utsnitt sim6, ble segmentert og forkastet sammen med skyggen i de andre oppløsningene, men kom til syne ved små segmenter i oppløsning 12,5. Disse TP ble forvekslet med FP fra sim4 og sim5 som ikke har samme skyggeproblem som utsnitt sim6. Dermed ble treffprosenten redusert. For alle oppløsninger gjelder det at i mange tilfeller ville segmenteringen gi et bedre resultat alene enn med klassifisering med enkeltegenskaper.

I tillegg til klassifisering med enkeltegenskaper ble det utført lineær klassifisering med 1, 2 og 3 egenskaper med Floating Feature Selection fra utvalget av alle egenskaper. Det viste seg at 1 egenskap ga best resultatet i de fleste tilfellene, deretter 2 egenskaper. I de tilfellene 3 egenskaper fikk best resultat hadde algoritmen stoppet på 2 egenskaper for de fleste testsettene uansett om det var forhåndsbestemt at den skulle velge 3. Resultatene var annerledes enn de oppnådd med enkeltegenskaper, feilraten ble både forbedret og forværret for ulike oppløsninger. Det beste resultatet fikk QuickBird original, med 0,117 % og dernest kom 12,5 cm med 0,120 %. Dårligst ut kom sim 40 med 0,229 %. Ved å se på beste av de to er trenden at for de høyere oppløsningene sim60, sim50 og sim 40 så er feilraten rundt 20 %, mens for de lavere oppløsningene sim 30, sim 20 og sim 12,5 så er feilraten lavere, 12-17 %. QuickBird får resultater på linje med de høye oppløsningene her. Floating Search algoritmer har vist seg å være en effektiv tilnærming til det å forsøke alle kombinasjoner av egenskaper, i en undersøkelse utført av Zongker og Jain i 1996 [36]. Med et utvalg på 67 objekter er det hensiktsmessig å velge en enkel klassifiseringsalgoritme, som lineær klassifisering for å unngå overtilpassing av en klassifikator. Jo fler egenskaper som kombineres, jo fler testdata er nødvendig for å ha eksempler på alle kombinasjoner.

5.3.1 Topp 5 egenskaper for hver oppløsning

Tabellene 5.2 5.3 viser topp 5 egenskaper i hver oppløsning, både enkeltegenskaper og sammensatte egenskaper. De sammensatte egenskapene er trukket ut av Pudils Forward Floating Search, omtalt i kapittel 3.6.1, vha. funksjonen `featselp` i Matlabs PR Tools.

I 30 cm er det få egenskaper å velge mellom som skiller TP og FP, i 20 cm er det mange. Likevel oppnås best resultater i 30 cm. Det skyldes trolig det gode utgangspunktet, kun 5 FP og 1 R, mot 20 cm som har 7 FP og 4 R før klassifisering.

Boundary Gradient, dark og Gradient Mean, dark fjerner alltid de samme segmentene ved klassifisering med enkeltegenskaper. Likheten mellom de to egenskapene fremkommer også av den grafiske fremstillingen i figurene 5.11(r) og 5.11(t) i kapittel 5.4. Gradient Mean står av den grunn ikke oppført i topp 5 listen under enkeltegenskaper.

| Topp 5 Egenskaper for kjøretøy i hver oppløsning | | | |
|---|--|-------------------------------|------------------|
| <i>Oppløsning</i> | <i>Kommentar</i> | | |
| QB original | FP er hovedsakelig gitt av trær med tilhørende skygge. Noe veimerking. Høy kontrast og avlang form beskriver kjøretøy | | |
| <i>Enkeltegenskaper</i> | | <i>Sammensatte egenskaper</i> | <i>2 og 3</i> |
| 1. Contrast, dark | Feilrate: | 1. Length | <i>Egensk.</i> |
| 2. Width | 0,210 | 2. Frame Boundary Gradient | Feilrate: |
| 3. Elongation | Std: | 3. Width | 0,117 |
| 4. Region mean, light | 0,083 | 4. Elongation | Std: |
| 5. Contrast, light | | 5. Orientation | 0,053 |
| <i>Oppløsning</i> | <i>Kommentar</i> | | |
| Sim 60 | 4 av 5 enkeltegenskaper er de samme som for QB original. Sim 60 har FP gitt av mørk skygge fra bygninger, samt veimerking | | |
| <i>Enkeltegenskaper</i> | | <i>Sammensatte egenskaper</i> | <i>1 og 2</i> |
| 1. Contrast, light | Feilrate: | 1. Elongation | <i>Egensk.</i> |
| 2. Width | 0,190 | 2. Length | Feilrate: |
| 3. Elongation | Std: | 3. Boundary Gradient | 0,227 |
| 4. Contrast Frame | 0,051 | 4. Compactness | Std: |
| 5. Contrast, dark | | 5. Width | 0,107 |
| <i>Oppløsning</i> | <i>Kommentar</i> | | |
| Sim 50 | FP er ofte skyggesegmenter fra veikanten eller skygge fra kjøretøy som ikke har kommet med i koblingen. Kjøretøy har større spredning i verdier og kraftigere overganger enn FP | | |
| <i>Enkeltegenskaper</i> | | <i>Sammensatte egenskaper</i> | <i>1 Egensk.</i> |
| 1. Boundary Grad., dark | Feilrate: | 1. Gradient Mean | Feilrate: |
| 2. Spatial Spread | 0,200 | 2. Number of Segments | 0,199 |
| 3. Length | Std: | 3. Frame Gradient Mean | Std: |
| 4. Elongation | 0,095 | 4. Compactness | 0,044 |
| 5. Contrast, light | | 5. Area | |
| <i>Oppløsning</i> | <i>Kommentar</i> | | |
| Sim 40 | Detaljer fra kjøretøy er i ferd med å vises, og gir ujevne segmenter og til dels små TP. Koblingsrammens kontrast til asfalten er svært høy for små FP av kantskygge i nærheten av lyse kjøretøy | | |
| <i>Enkeltegenskaper</i> | | <i>Sammensatte egenskaper</i> | <i>1 Egensk.</i> |
| 1. Area | Feilrate: | 1. Boundary Gradient | Feilrate: |
| 2. Boundary Grad., dark | 0,200 | 2. Length | 0,229 |
| 3. Width | Std: | 3. Frame Smoothness | Std: |
| 4. Contrast, light | 0,095 | 4. Area | 0,046 |
| 5. Frame Contrast | | 5. Frame Contrast | |

Tabell 5.2: Topp 5 enkeltegenskaper for hver oppløsning. Se forklaring til Tabell 2.

| Topp 5 Egenskaper for kjøretøy i hver oppløsning | | | |
|---|---|-------------------------------|------------------|
| <i>Oppløsning</i> | <i>Kommentar</i> | | |
| Sim 30 | F.o.m 30 cm kommer de avrundede kanter frem i kjøretøysegmentene, rectangularity synker og kan brukes som en enkelt-egenskap | | |
| <i>Enkeltegenskaper</i> | | <i>Sammensatte egenskaper</i> | <i>2 og 3</i> |
| 1. Region Mean Diff | Feilrate: 0,120 Std: 0,105 | 1. Frame Smoothness | <i>Egensk.</i> |
| 2. Length | | 2. Elongation | Feilrate: |
| 3. Width | | 3. Length | 0,140 |
| 4. Contrast, light | | 4. Boundary Gradient | Std: |
| 5. Rectangularity | | 5. Compactness | 0,073 |
| <i>Oppløsning</i> | <i>Kommentar</i> | | |
| Sim 20 | Best resultat oppnås med FFFS og en egenskap i oppløsning 20. cm. Metoden brukte Width, Elongation og Boundary Gradient i hver sin testrunde. | | |
| <i>Enkeltegenskaper</i> | | <i>Sammensatte egenskaper</i> | <i>1 og 2</i> |
| 1. Width | Feilrate: 0,170 Std: 0,040 | 1. Elongation | <i>Egensk.</i> |
| 2. Area | | 2. Width | Feilrate: |
| 3. Contrast, light | | 3. Boundary Gradient | 0,219 |
| 4. Elongation | | 4. Area | Std: |
| 5. Boundary Grad., dark | | 5. Spatial Spread | 0,066 |
| <i>Oppløsning</i> | <i>Kommentar</i> | | |
| Sim 12,5 | De mest brukte egenskapene fra de andre oppløsningene er best også for 12,5 cm. std for lyse objekter øker fordi kraftige refleksjoner fra solen får utslag i enkelte piksler uten å sløres i sælig grad av omgivelsene | | |
| <i>Enkeltegenskaper</i> | | <i>Sammensatte egenskaper</i> | <i>2 Egensk.</i> |
| 1. Contrast, light | Feilrate: 0,330 Std: 0,043 | 1. Elongation | Feilrate: |
| 2. Area | | 2. Length | 0,120 |
| 3. Boundary Grad., dark | | 3. Width | Std: |
| 4. Length | | 4. Compactness | 0,042 |
| 5. Std, light | | 5. Std | |

Tabell 5.3: Topp 5 egenskaper for hver oppløsning, i prioritert rekkefølge. Både enkeltegenskaper og sammensatte egenskaper fra lineær klassifisering med Forward Floating Feature Selection (FFFS) er listet opp med tilhørende feilrate og standardavvik. Gråtoneegenskaper er skilt i lys og mørk for enkeltegenskaper, mens de er samlet for sammensatte egenskaper da det ikke var mulig å operere med NaN verdier i programvaren, noe som vil forekomme ved en deling. For FFFS er det forsøkt fra 1 til 3 flytende egenskaper fra et utvalg av alle egenskaper. Antall egenskaper som har gitt best resultat er angitt før resultatet. Feilrateberegningene er gjort med metoden Leave One Out. Hver oppløsning har flere treningsett og testsett, og topp 5 egenskaper er en skjønnsmessig vurdering av hva som samlet sett er valgt og som har gitt gode resultater for alle datasett innen hver oppløsning.

5.4 Egenskaper versus oppløsning

En av spørsmålene denne oppgaven forsøker å svare på er hvordan egenskaper endrer seg og består for ulike oppløsninger. Figur 5.10 viser to typiske kjøretøy med god kontrast til asfalten, i alle simulerte oppløsninger, både som gråtonebilde og som segmenter.

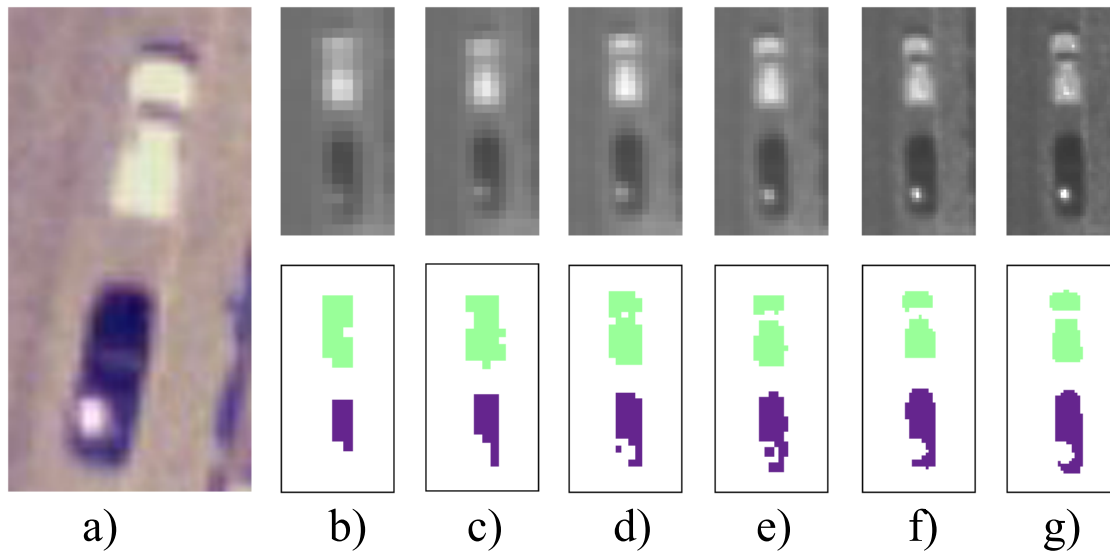


Figure 5.10: To kjøretøy med god kontrast i alle oppløsninger som gråtonebilde og segmenter.

a) RGB 12,5 cm med original vinkel i bildet.

b) Sim 60 cm, rotert. Kjøretøyene vises som tydelige og avgrensede objekter i gråtonebildet. Vi må se dem i en kontekst for å identifiserer dem som kjøretøy. Segmentene er kantede og avlange.

c) Sim 50 cm, rotert. Våre øyne vil registrere detaljer i gråtonebildet som frontrute i det lyse kjøretøyet og solrefleksjon i det mørke. Dette kommer ikke frem av segmentene, tvert imot har de fått en mer tilfeldig form.

d) Sim 40 cm, rotert. I gråtonebildet kan vi se skygge foran det lyse kjøretøyet. Frontruten er tydelig. Segmentene begynner å vise detaljer for kjøretøy med gode kontraster som her. Både frontrute og solrefleksjon gjenspeiles.

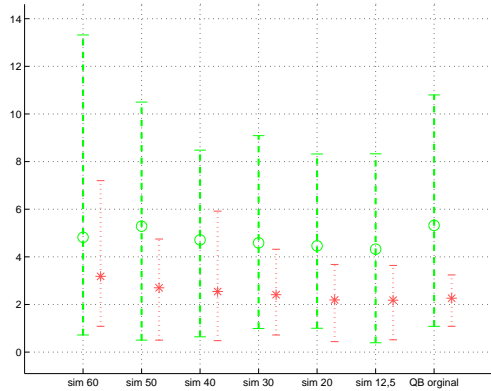
e) Sim 30 cm, rotert. Gråtonebildet viser tydelig 2 kjøretøy også uten kontekst. Segmentene har fått til dels rundere former. Panser og tak blir 2 segmenter, det samme gjør mørkt kjøretøy og lys solrefleksjon.

f) Sim 20 cm, rotert. Gråtonebildet er skarpere. Segmentene er rundere, spesielt i front av kjøretøyene. Solrefleksjonen i det mørke kjøretøyet har gitt et lite segment som ble fjernet som støy.

g) Sim 12,5 cm, rotert. Skarpt og detaljert gråtonebilde. Ujevn gjengivelse av intensiteten til det lyse kjøretøyet. Segmentene er godt avrundede både i front og bak på kjøretøyene. Segment fra solrefleksjonen er fjernet som støy også her.

Et annet svar på hvordan egenskaper endrer seg med oppløsning, kan være å fremstille alle egenskapene grafisk, der en og en egenskap vises frem versus oppløsning. I dette kapittelet

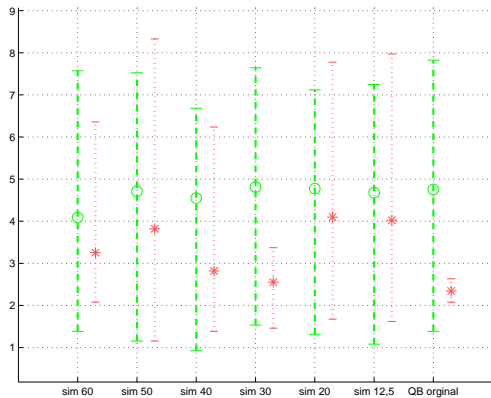
følger 30 slike figurer, med en felles beskrivelse i etterkant. Det er forskjell på hvilke egenskaper som et kjøretøy har og hvilke egenskaper som kan skille mellom kjøretøy og annet. Av figurene er det mulig å se begge deler, selv om det kan være vanskelig å plukke gode egenskaper uten å teste dem ut. Et eksempel er *rectangularity*, se figur 5.11(e). Fra og med oppløsning 30 cm synker *rectangularity* men den kommer på topp 5 listen kun til 30 cm fordi den skiller for få TP fra FP i 20 cm og 12,5 cm.



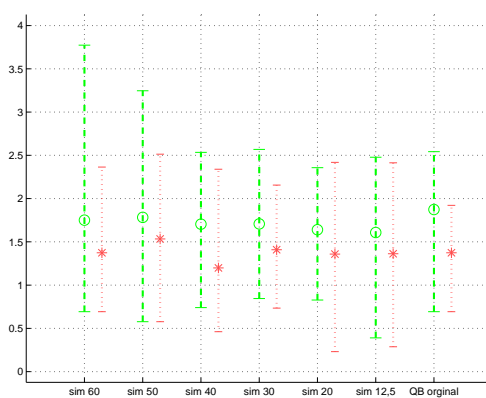
(a) area



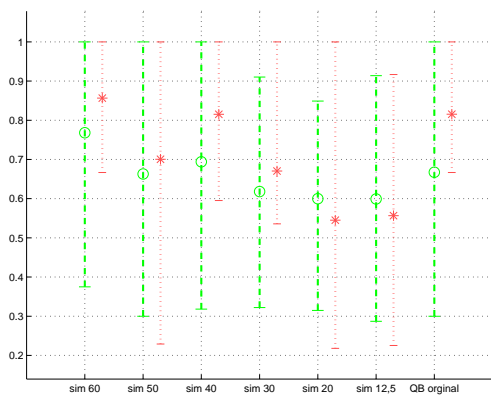
(b) elongation



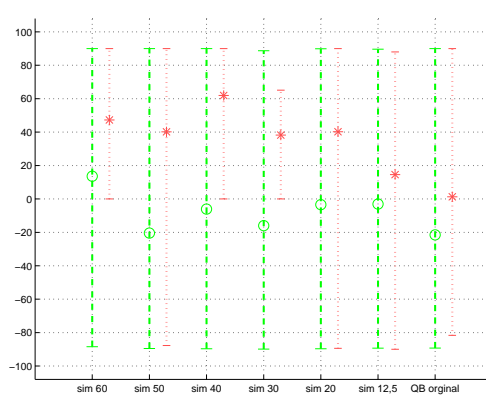
(c) length



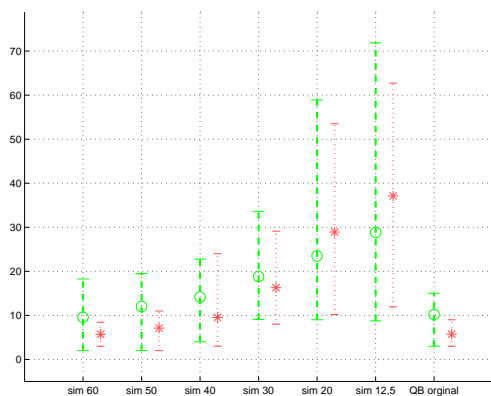
(d) width



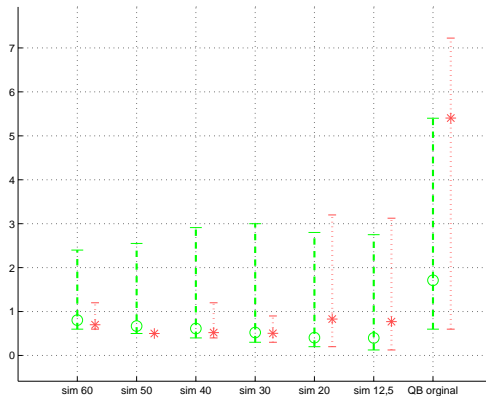
(e) rectangularity



(f) orientation

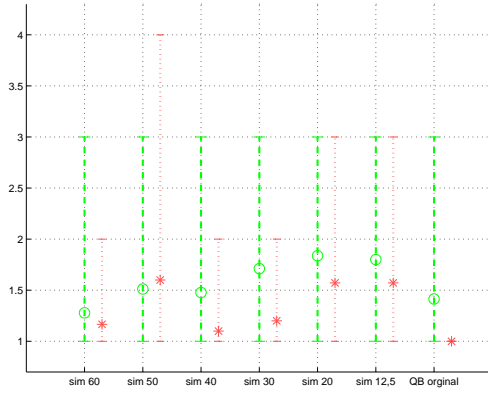


(g) compactness

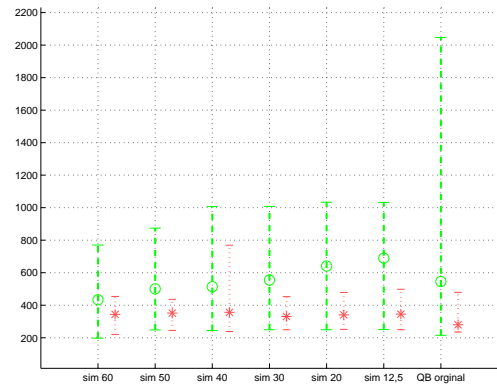


(h) mask distance

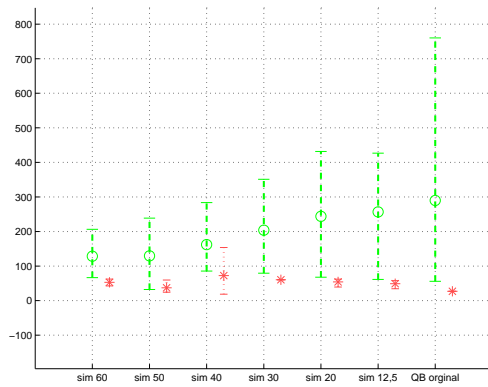
Figure 5.11: Grafisk fremstilling av en og en egenskap i alle oppløsninger. Figurene viser en stolpe fra minimumsverdi til maksimumsverdi med markering av gjennomsnitt.



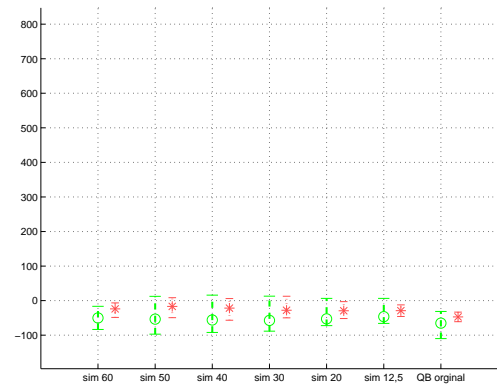
(i) number of segments



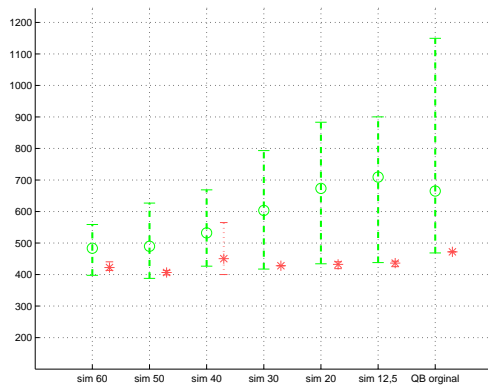
(j) spatial spread



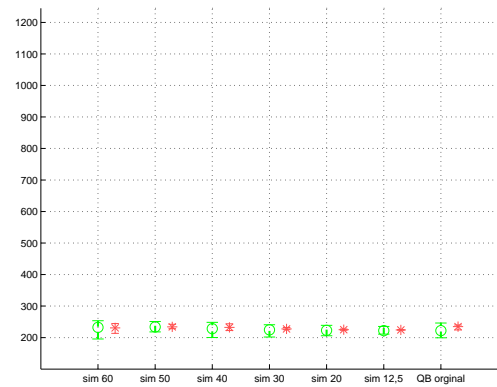
(k) contrast light



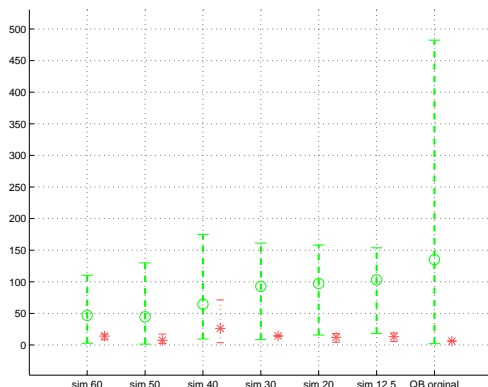
(l) contrast dark



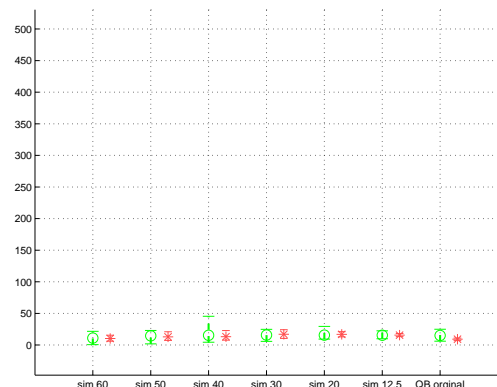
(m) region mean light



(n) region mean dark

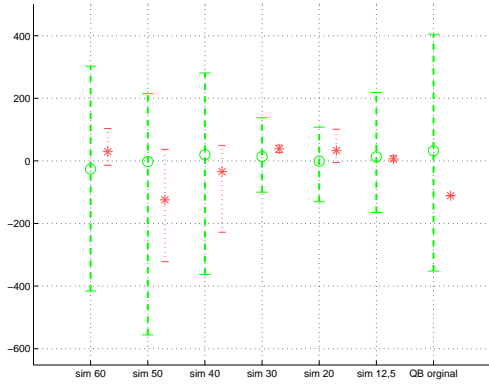


(o) stddev light

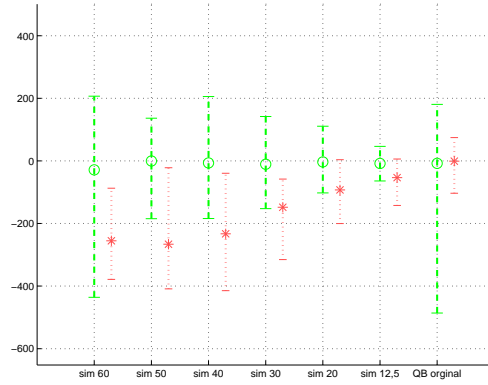


(p) stddev dark

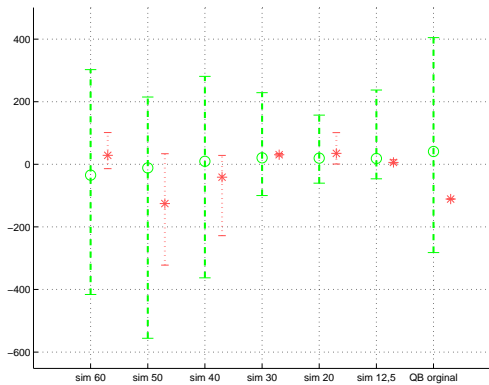
Figure 5.11: Grafisk fremstilling av en og en egenskap i alle oppløsninger. Figurene viser en stolpe fra minimumsverdi til maksimumsverdi med markering av gjennomsnitt. Grønt viser TP og rødt viser FP.



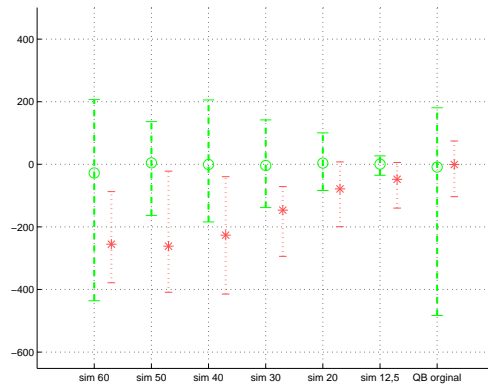
(q) boundary gradient light



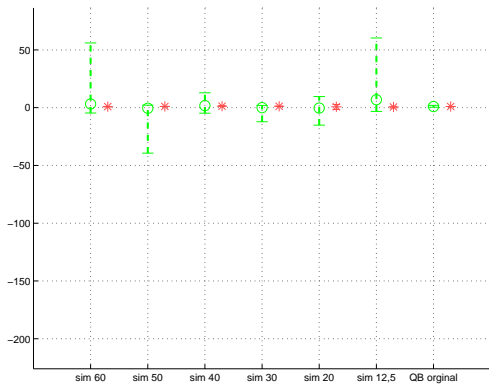
(r) boundary gradient dark



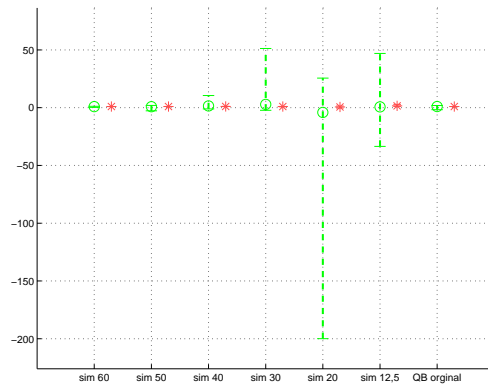
(s) gradient mean light



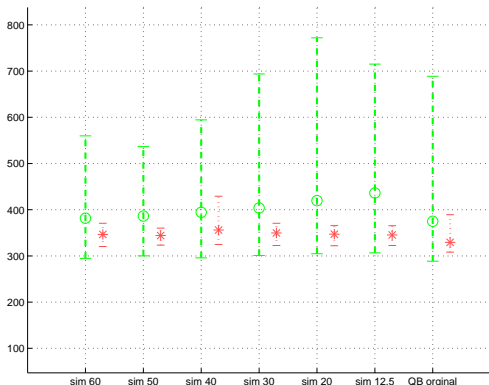
(t) gradient mean dark



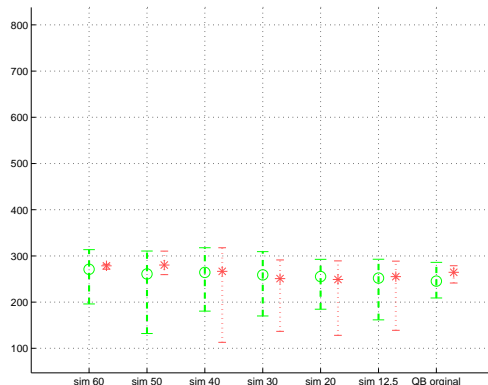
(u) smoothness light



(v) smoothness dark

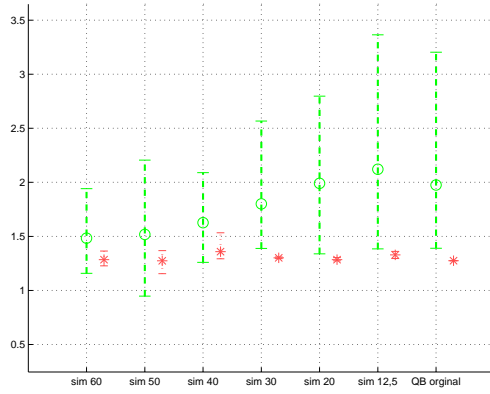


(w) region mean frame light

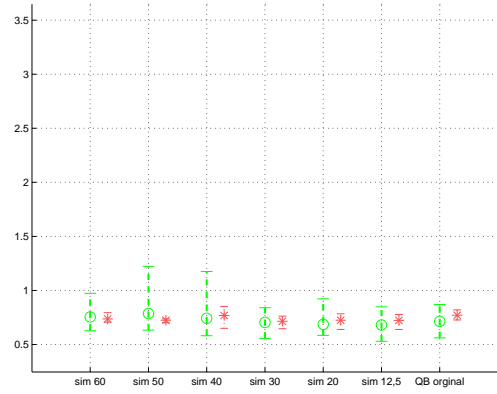


(x) region mean frame dark

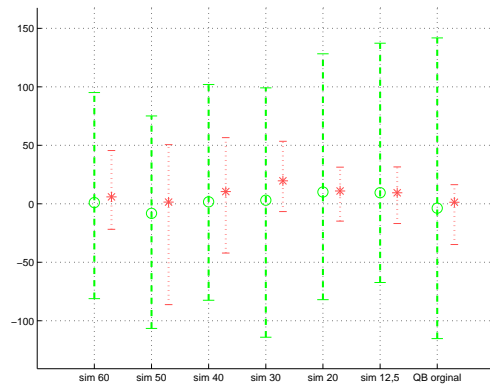
Figure 5.11: Grafisk fremstilling av en og en egenskap i alle oppløsninger. Figurene viser en stolpe fra minimumsverdi til maksimumsverdi med markering av gjennomsnitt. Grønt viser TP og rødt viser FP.



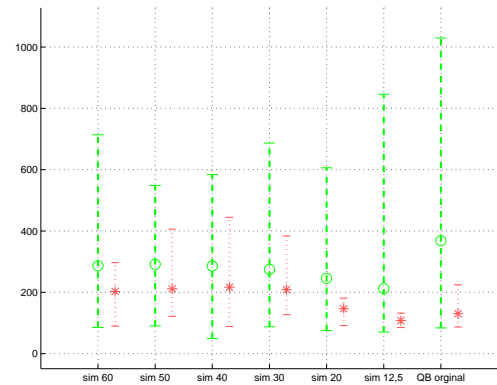
(a) region diff light



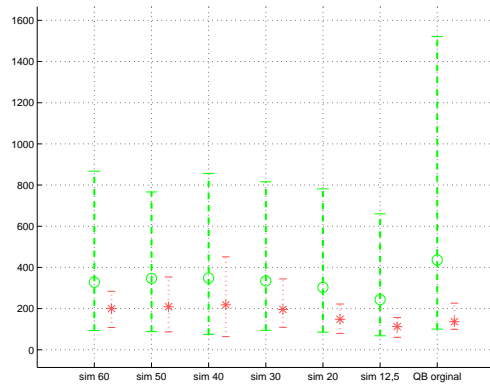
(b) region diff dark



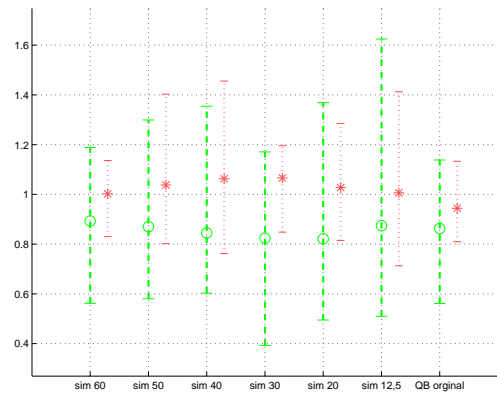
(c) contrast frame



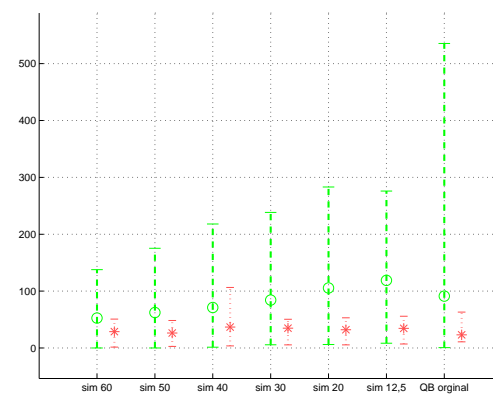
(d) boundary gradient frame



(e) gradient mean frame



(f) smoothness frame



(g) stddev frame

Figure 5.12: Grafisk fremstilling av en og en egenskap i alle oppløsninger. Figurene viser en stolpe fra minimumsverdi til maksimumsverdi med markering av gjennomsnitt. Grønt viser TP og rødt viser FP.

| Middelverdier og eventuell endring i egenskaper versus oppløsning | | | |
|---|------------------------|--|--|
| Egenskap | μ | Endring vs. oppløsning | Aktuell for oppløsning |
| Area | 4,5 - 5 m ² | Jevn middelværdi i alle oppløsninger. Maks. verdi stabiliserer seg mot 8 m ² når oppløsningen øker | sim 50, sim 40, sim 20, sim 12,5 |
| Elongation | 2,5 - 3 | Middelværdi øker sakte med oppløsning. Min og Maks verdier forholdsvis jevne på hhv. 1,3 og 6,0. | QB, sim 60, sim 50, sim 30, sim 20, sim 12,5 |
| Length | 4-5 m | Jevn middelværdi i alle oppløsninger. Maks. verdi stabiliserer seg mot 7,2 m når oppløsningen øker | QB, sim 60, sim 50, sim 40, sim 30, sim 12,5 |
| Width | 1,5 - 1,8 m | Jevn middelværdi i alle oppløsninger. Maks. verdi synker entydig med oppløsning, fra 3,8 m til 2,4 m. | QB, sim 60, sim 40, sim 30, sim 20, sim 12,5 |
| Orientation | 0 | Jevn middelværdi for alle oppløsninger. Min. og maks. verdier varierer over hele skalaen, fra -90deg til 90deg | QB |
| Compactness | 10-28 | Middelværdi øker med oppløsning. Det samme gjør Maks. verdi, fra 18 til 70. | sim 60, sim 50, sim 30, sim 12,5 |
| Rectangularity | 0,6 - 0,75 | Verdier varierer tilsynelatende tilfeldig, Min. og Maks. bruker skalaen fra 0,3 til 1. F.o.m. oppløsning 30 cm synker maks verdien ned mot 0,9, og de avrundede kantene på kjøretøyene kommer godt frem. | sim 30 |
| Mask distance | 0,4-0,9 m | Middelværdi synker sakte med oppløsning. | |
| Number of segments | 1,2 - 1,8 | Middelværdi øker sakte med økt oppløsning. Min. og maks. er hhv. 1 og 3 for alle oppløsninger | sim 50 |
| Spatial Spread | 450 - 700 | Middelværdi øker med oppløsning. | sim 50, sim 20 |
| Contrast, light objects | 100-300 | Middelværdi øker med økt oppløsning, det samme gjør maks. verdi. | Samtlige: QB, Sim 60, sim 50, sim 40, sim 20, sim 30, sim 12,5 |
| Contrast, dark objects | -50 | Jevn middelværdi for alle oppløsning. Veldig liten spredning | QB, Sim 60 |
| Region Mean, light objects | 500 - 700 | Middelværdi øker med økt oppløsning. Det samme gjør maks. verdi, fra 550 til 850. QB original har langt høyere maks. verdi enn simulerte utsnitt. | QB |
| Region Mean, dark objects | 190-220 | Jevnt for alle oppløsninger. Veldig liten spredning. | |

Tabell 5.4: Middelværdier og evt. endringer i Egenskaper versus Oppløsning I

| Middelverdier og eventuell endring i egenskaper versus oppløsning | | | |
|---|-----------|---|--|
| Egenskap | μ | Endring vs. oppløsning | Aktuell for oppløsning |
| Stddev, light objects | 50-100 | Middelverdi øker sakte med økt oppløsning. Min. og maks. Verdier 0-170 forholdsvis jevnt for alle oppløsninger. | sim 12,5 |
| Stddev, dark objects | 20 | Jevn middelverdi for alle oppløsninger. Nesten ikke spredning. | |
| Boundary Gradient, light objects | -5 - 5 | Middelverdi varierer så vidt rundt 0 | Sim 60, sim 40, sim 30, sim 20 |
| Boundary Gradient, dark objects | -5 - 5 | Korrelerer med Gradient Mean, dark objects. Spredning i verdier og avtar med økt oppløsning. Middelverdi varierer så vidt rundt 0. | Sim 60, sim 50, sim 40, sim 30, sim 20, sim 12,5 |
| Gradient Mean, light objects | -20 - 20 | Spredning i verdier og variasjoner i middelverdi avtar med økt oppløsning. Middelverdi går mot 0. | |
| Gradient Mean, dark objects | -10 - 10 | Korrelerer med Boundary Gradient, dark objects. Spredning i verdier og variasjoner i middelverdi avtar med økt oppløsning. Middelverdi går mot 0. | Sim 50, sim 40, sim 20, sim 12,5 |
| Smoothness, light objects | -40 - 50 | Middelverdi ligger stabilt på 0 for alle oppløsninger. | |
| Smoothness, dark objects | | Middelverdi ligger stabilt på 0 for alle oppløsninger. | |
| Frame, Region Mean, light | 380 - 420 | Middelverdi øker sakte med økt oppløsning | |
| Frame, Region Mean, dark | 320 - 340 | Middelverdi synker så vidt med økt oppløsning | |
| Region Mean Diff, light | 1,5 - 2,1 | Middelverdi øker med økt oppløsning | sim 30 |
| Region Mean Diff, dark | 0,6 - 0,7 | Liten spredning | |
| Frame, Contrast | -25 - -75 | Middelverdi synker så vidt med økt oppløsning | Sim 60, sim 40 |
| Frame, Boundary Gradient | 200 - 300 | Synker sakte med økt oppløsning | QB |
| Frame, Gradient Mean | 200 - 300 | Middelverdi synker sakte med økt oppløsning | Sim 50 |
| Frame, Smoothness | 0,8 - 0,9 | Spredningen øker noe med økt oppløsning. Verdier varierer tilsynelatende tilfeldig. | Sim 40, sim 30 |
| Frame, Stddev, light area | | Middelverdi øker sakte med økt oppløsning. Det samme gjør maks. verdi (så vidt reduksjon ved 12,5) | |
| Frame, Stddev, dark area | 30-40 | Stabile middelverdier og min. - maks. verdier (0-110) for alle oppløsninger, | |

Tabell 5.5: Middelverdier og evt. endringer i Egenskaper versus Oppløsning II

5.4.1 Klassifiseringseksperimenter

Som nevnt var det 1 og 2 egenskaper som kom ut med best klassifiseringsresultat ved floating search fra alle egenskaper. Det var ønskelig å finne ut om dette skyldtes at algoritmen hadde for mange egenskaper å velge fra, og om resultatet ble bedre om utvalget ble snevret inn til topp 5 enkeltegenskaper. En ny test ble utført: Lineær klassifisering med 1, 2 og 3 egenskaper med Floating Feature Selection fra utvalget av topp 5 enkeltegenskaper for hver oppløsning. Resultatene viste at 1 egenskap hadde de laveste feilratene i 5 av 7 oppløsninger og at 2 og 3 egenskaper fikk identiske resultater i halvparten av oppløsningene. Det skyldes at funksjonen/algoritmen stopper på 1 og 2 egenskaper uansett om det er forhåndsvalgt at den skal velge 2 eller 3 egenskaper. Feilratene varierte fra 14,8% til 21,3 % med QuickBird som best og sim 12,5 cm som dårligst.

Det kan i noen tilfeller være ønskelig med faste egenskaper fremfor flytende, særlig for store datasett kan kjøretiden forkortes betraktelig. Det kan også være ønskelig å på forhånd ha kontroll på hvilke egenskaper som skal brukes, og at alle datasettene innen en oppløsning bruker de samme egenskapene. Datasettene fra hver oppløsning ble klassifisert med den beste og de to beste sammensatte egenskapene for sin oppløsning. Resultatene fra denne testen viste et jevnt resultat på fra 15,2% til 17,3 % for alle oppløsninger med unntak av sim 30 cm som utmerket seg med 11,3 %. Den samme testen med de to beste enkeltegenskapene for hver oppløsning ble utført, og trenden gikk i samme retning selv om det ble et noe svakere resultat. Dette er et argument for at intelligente valg basert på apriori informasjon gir bedre resultater enn det å forsøke “alt”.

I og med at denne forenklingen av klassifiseringen fungerte såpass bra, ønsket prosjektet å undersøke hvilke resultater som fremkom dersom alle oppløsninger ble klassifisert med de samme egenskapene. Det var ikke sannsynlig at dette ville gi et bedre resultat enn de individuelt beste egenskapene for hver oppløsning, men det var likevel interessant å eventuelt finne en kombinasjon av to egenskaper som fungerer tilfredstillende uavhengig av oppløsning. Utgangspunktet ble QuickBirds beste egenskaper som også virket almenngyldige som nevnt tidligere: Contrast, width og elongation. Egenskapene ble forsøkt i kombinasjon to og to. Best ut kom ikke overraskende QuickBird, med feilrate 0,125. 30 cm fikk også lav feilrate, 0,135. 40 cm kom dårligst ut, med en feilrate på 0,248. Standardavviket var lavest i testen med faste egenskaper fra topp 1-3 innen hver oppløsning. Der var standardavviket på 0,02 - 0,065 mens for de andre testene var det vanlig med 0,060 - 0,100. Resultatene fra klassifiseringene med en eller to av de beste egenskapene for hver oppløsning (flytende og fast) er listet opp i tabell 5.6 sammen med resultatene fra klassifisering med width og elongation. Alle eksperimenter med resultater er dokumentert i vedlegg A.2. Oppsummert viser resultatene at:

- 1 og 2 egenskaper gir bedre resultater enn 3
- Faste egenskaper gir til dels bedre og jevnere resultat enn flytende, så fremt det er fastslått at egenskapene er gode
- QuickBird og sim 60 er best av de lave oppløsningene og sim 30 er best av de høye oppløsningene i de fleste tilfellere

| Klassifiseringeksperimenter | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|-------|---------------------------------|-------|---|-------|
| | 1 - 3 flytende egenskaper fra topp 5 | | 1-3 faste egenskaper fra topp 5 | | Width og Elongation for alle oppløsninger | |
| Oppl. | Feilrate | Std | Feilrate | Std | Feilrate | Std |
| QB | 0,148 (1) | 0,090 | 0,152 (1) | 0,040 | 0,125 | 0,052 |
| Sim 60 | 0,161 (1) | 0,018 | 0,161 (1) | 0,018 | 0,161 | 0,016 |
| Sim 50 | 0,166 (1) | 0,106 | 0,166 (1,2) | 0,016 | 0,166 | 0,016 |
| Sim 40 | 0,206 (1) | 0,083 | 0,158 (1) | 0,151 | 0,248 | 0,142 |
| Sim 30 | 0,152 (3) | 0,139 | 0,113 (1) | 0,023 | 0,136 | 0,136 |
| Sim 20 | 0,153 (1) | 0,067 | 0,156 (1,2) | 0,065 | 0,156 | 0,065 |
| Sim 12,5 | 0,213 (2) | 0,021 | 0,173 (2) | 0,018 | 0,203 | 0,044 |

Tabell 5.6: Resultater fra 3 klassiferingstester:1) Flytende valg av 1-3 egenskaper fra topp 5 sammensatte egenskaper, se tabellene 5.2 og 5.3. 2) Faste egenskaper, 1-3 stk. fra topp 5 sammensatte egenskaper. 3) Fast klassifisering med width og elongation.

Sim 20 fikk gjennomsnittlig feilrate 0,156 for klassifisering med width og elongation. De ulike utsnittene fikk feilratene 0,174, 0,083 og 0,211 ,for hhv. utsnitt sim4, sim5 og sim6. Scatterplott for test på utsnitt 4 med denne klassifiseringen er vist i figur 5.13. Før og etter resultatet fra klassifiseringen er vist i figuren 5.14. Figurene viser også scatterplott og resultat av den manuelle klassifiseringen av utsnitt 4 med enkeltegenskapene width og area. Utsnitt 4 fikk en feilrate her på 0,104 mens sim 20 totalt fikk en feilrate på 0,106 og std lik 0,024.

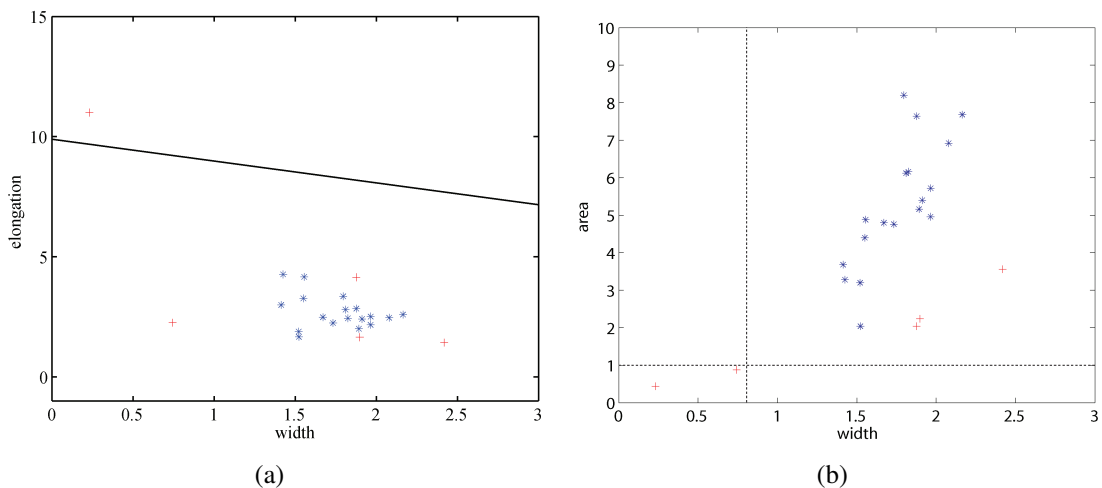


Figure 5.13: a) Lineær klassifisering av sim 20 utsnitt 4 med med 2 faste egenskaper: width og elongation. Feilrate for utsnitt 4 ble 0,174 b) Manuell test på sim 20 utsnitt 4 med enkeltegenskapene width < 0,8 og area < 1. Feilrate for utsnitt 4 ble 0,130. Merk at begge scatterplot er reelle tester etter trening på andre data, og ikke et forsøk på å finne beste metode eller skillelinje.

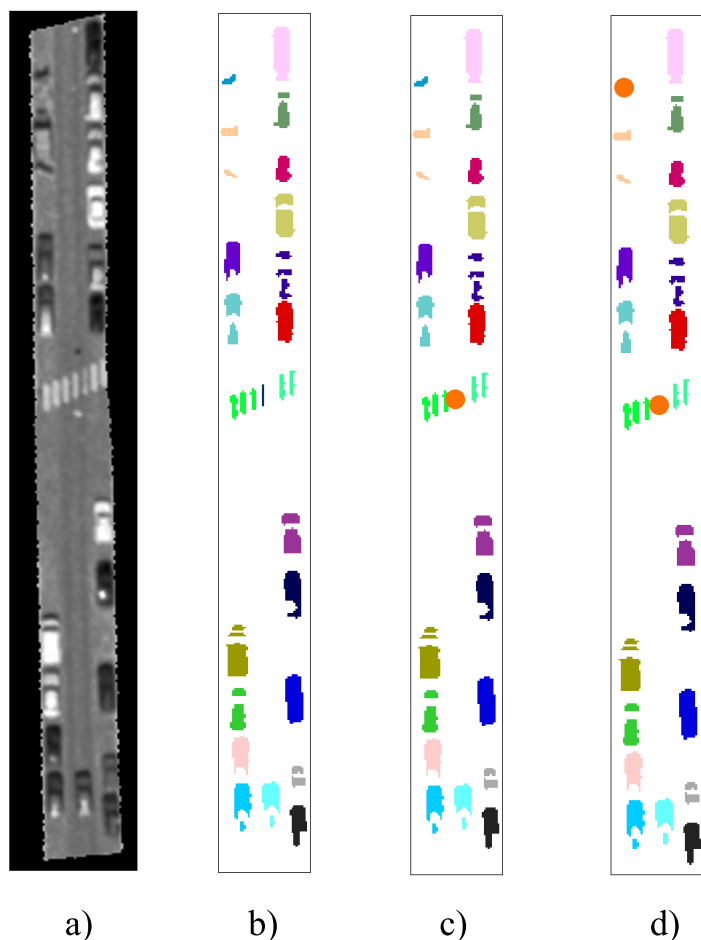


Figure 5.14: a) Sim 20 utsnitt 4, gråtone. b) Før segmentering. c) Lineær klassifisering med width og elongation, som i figur 5.13(a), fjerner 1 FP i dette utsnittet, markert i orange. d) Klassifisering med enkeltegenskapene width og area fjerner 2 FP, markert i orange.

5.5 Test av terskling og kobling på et stort utsnitt

Mesteparten av veibanen i et $448 \text{ m} \cdot 275 \text{ m}$ ($0,12 \text{ km}^2$) stort område av utsnitt sim 60 ble maskert og tersklet. Tersklingen ble gjort i en operasjon, uten å dele veibanen inn i veilenker og rotore. Deretter ble segmentene koblet i flere omganger, hvor rektangelet ble rotert 15° av gangen. For hver rotasjon ble segmenter som passet inn fylt inn i et nytt bilde, på samme måte som en omgang av den vanlige koblingsrutinen. Egenskapsuttrekking og klassifisering av segmentene ble ikke utført. Målet med denne testen var å undersøke om tersklingsrutinen fungerte godt på en stort simulert utsnitt, hvor godt denne formen for kobling av segmenter fungerte, og om de generelle observasjonene i prosjektet kunne bekreftes. Både sim4 og sim5 inngikk i det store utsnittet. Skyggen i veibanen ble ikke maskert ut. Fasit for kjøretøy ble talt manuelt to ganger i RGB utsnittet med oppløsning $0,125 \text{ m}$. Figur 5.15 viser tersklingsresultatet fra det store utsnittet, figur 5.16 viser resultatet etter kobling og i figur 5.17 vises utsnittet i sim 60 med TP markert med grønt og FP markert med rødt.

Etter terskling var det 317 segmenter, etter fjerning av enkeltpiksler var det 251 segmenter og etter kobling var det 195 segmenter; 15 potensielt tunge kjøretøy og 180 potensielt lette kjøretøy. Koblingen reduserte antall segmenter med 28,7 %, et resultat i samsvar med pilotprosjektet som beregnet 30 % reduksjon i antall segmenter. Resultater av kjøretøydeteksjonen er listet opp i tabell 5.7. Tabellen er delt inn i farge på kjøretøy: Lyse, mørke, røde og annen mellomfarge enn rødt. Totalt detekteres 113 av 149 kjøretøy. Tabellen viser en noe høyere treffprosent for mørke kjøretøy enn for lyse, men det skyldes at de finnes flere lyse kjøretøy i skyggen. Hvis skyggeområder holdes utenfor tellingen er det motsatt. Røde kjøretøy får svært høy feilrate enten man regner med skyggeområder eller ikke. Mellomfargede kjøretøy i andre farger detekteres like godt som lyse og mørke i denne testen.

Det er 80 FP, og det er et høyt antall. Mange av disse befinner seg i skygge i veikanten, men veimerking gir også mange FP. 14 FP er i kategorien potensielle store kjøretøy, og de fleste av disse består av større skyggeområder i veibanen. De fleste av dem har en annen form enn hva et stort kjøretøy har. 18 av 20 fotgjengeroverganger gir FP, ofte 2 stk. pr overgang. Antall FN er 36, det er 24,2 % av det totale antall kjøretøy i bildet. Hvis skyggeområdene holdes utenfor, detekteres 13,8 % av kjøretøyene. FN som ikke ligger i skygge blir ikke detektert fordi flere kjøretøy utgjør ett segment eller fordi kjøretøyene er røde. Et par kjøretøy ser lyse ut i fargebildet, men får svært dårlig kontrast i det simulerte, og terskles derfor ikke ut.

Ved ett tilfelle “mistes” et kjøretøy p.g.a. rammestørrelsene. En varebil terskles godt ut, er for liten til å bli regnet som et stort kjøretøy (den hadde 55 piksler og grensen er 60), men er for stor til å passe 90 % innefor rammen til lette kjøretøy. Dimensjonene til varebilen var 6,6 m x 3 m, og rammen for lette kjøretøy målte 5,4 m x 2,4 m i sim 60. Et mål ble gjort på hvor tyngdepunktet til de uttersklede segmentene var i forhold til kjøretøyene i fasiten. En rask, manuell vurdering viser at 80 % - 90 % av segmentenes tyngdepunkt samsvarte med kjøretøyets tyngdepunkt.

Oppsummert viser denne testen at terskling på et stort simulert utsnitt fungerte godt. Koblingen kan utføres ved å rotere rammen steg for steg. Skygge er den klart største kilden til feil, både for FP og FN. Veimerking, spesielt forgjengeroverganger, skaper FP i simulert utsnitt.

| Resultater fra test på stort utsnitt, sim 60 | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------------|--------|
| Kjøretøy | Lyse | Mørke | Røde | Mellomfarge | Totalt |
| Totalt | 61 | 51 | 31 | 6 | 149 |
| Detektert (TP) | 48 | 42 | 18 | 5 | 114 |
| Antall kjøretøy i skygge | 10 | 5 | 4 | 0 | 19 |
| TP i skygge | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| FN | 13 | 9 | 13 | 1 | 36 |
| FP | | | | | 80 |
| Deteksjonsrate totalt | 0,787 | 0,824 | 0,581 | 0,833 | 0,768 |
| Deteksjonsrate utenfor skygge | 0,941 | 0,913 | 0,630 | 0,833 | 0,862 |
| FN | 13 | 9 | 13 | 1 | 36 |

Tabell 5.7: Resultater fra test av terskling og kobling i stort utsnitt av sim 60. Resultatene (uten klassifisering) viser at skygge er den største årsaken til feil, at røde kjøretøy “forsviner” og at deteksjonsraten utenfor skygge er god.

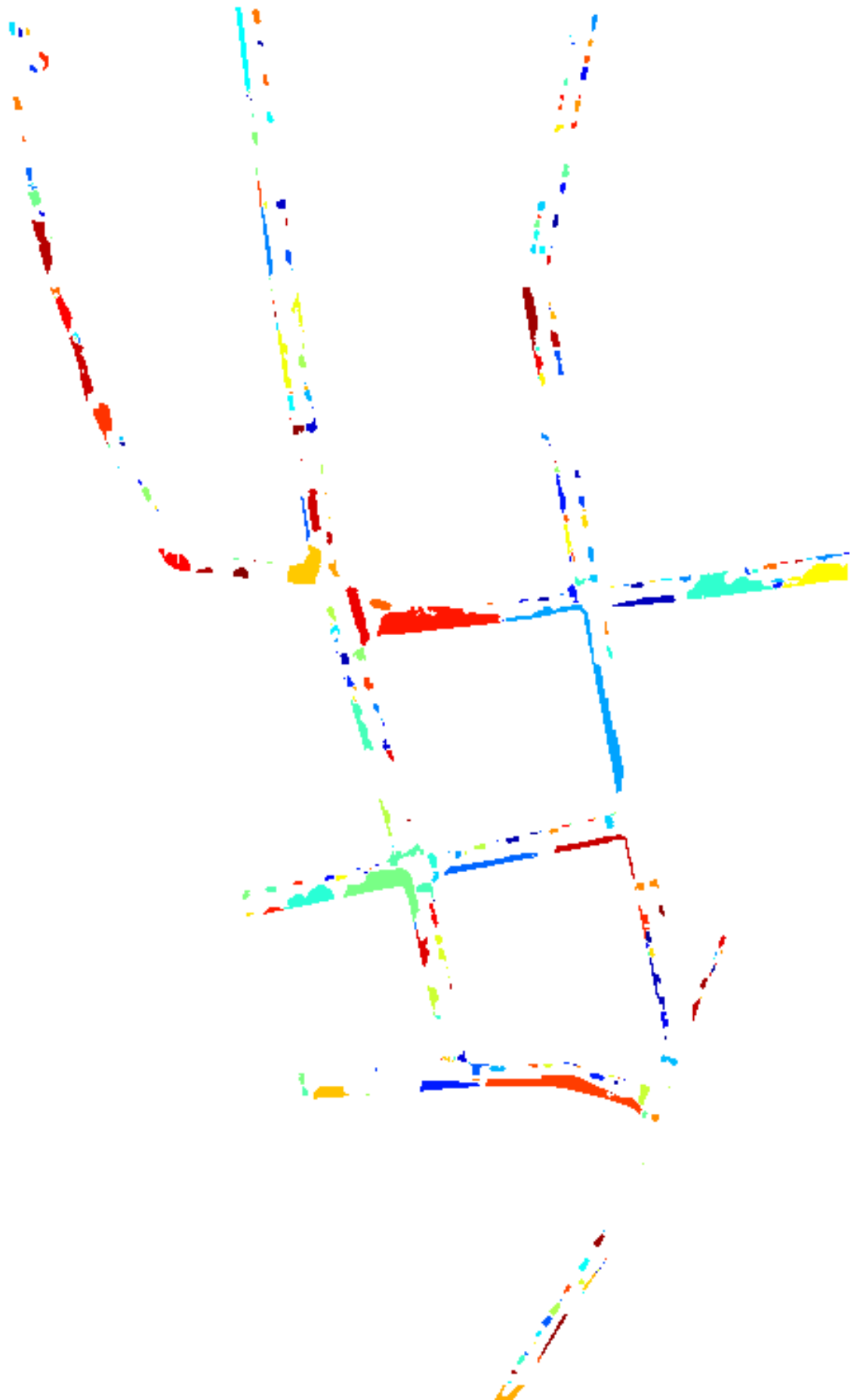


Figure 5.15: Test på stort utsnitt. Tersklingsresultat , 317 segmenter

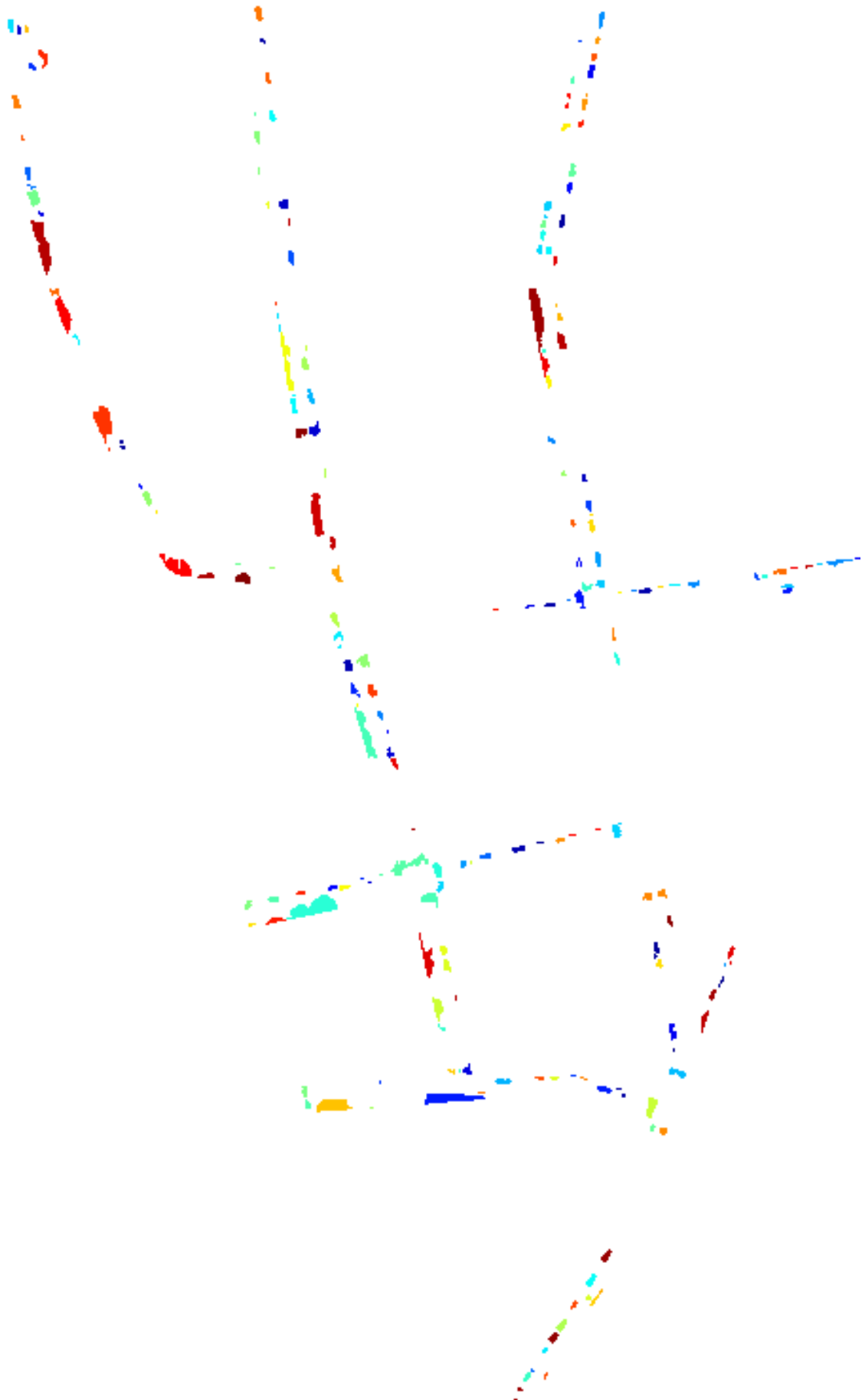


Figure 5.16: Test på stor utsnitt. Resultat etter fjerning av enkeltpiksler og kobling, 195 segmenter; 15 potensielle tunge kjøretøy og 180 potensielt lette kjøretøy.



Figure 5.17: Test på stort utsnitt. TP markert med grønt og FP markert med rødt.

Kapittel 6

Diskusjon

6.1 Kjøretøys detekterbarhet

I resultatkapittelet ble utsnitt sim4 fra oppløsning sim 20 cm vist frem med detekterte kjøretøy og false positives. Der manglet ingen kjøretøy, men det forekommer i andre utsnitt i alle oppløsninger, da særlig i utsnitt sim6. Hva er grunnen til at noen kjøretøy ikke blir detektert selv om oppløsningen øker? Forsvinner de ved terskling, støyfjerning, kobling eller klassifisering?

Det er selvsagt ulike årsaker for ulike kjøretøy, men noen generelle trender går igjen. Røde kjøretøy blir i stor grad tatt for asfalt i tersklingen av de simulerte bildene. Det er forskjell på ulike rødfarger. Mellomrøde kjøretøy forsvinner mest, mens mørkerøde ikke forsvinner i det hele tatt. Mellomfarger som ikke er røde kan i noen tilfeller også forveksles med asfalt, men ikke i samme grad som de røde. Ofte er det bare skyggen til de røde kjøretøyene som danner segmentet. Hvordan røde kjøretøy synes i QuickBird er vanskelig å fastslå sikkert på grunn av den lave oppløsningen i de multispektrale bildene som kunne vært fasit. Men trolig sørger NIR-båndet i de pankromatske bildene for at de synes godt.

Små segmenter kan forekomme i alle oppløsninger. Støyfjerningen består som tidligere nevnt av å fjerne segmenter med $n \leq (60/r)^2$. Formelen tar utgangspunkt i at det fjernes enkeltpiksler i $QB = 60$, og antall piksler skaleres etter det. For oppløsning Sim 50 blir det også enkeltpiksler. Fra og med oppløsning sim 40 cm fjernes større segmenter. En test ble gjort med å kun fjerne enkeltpiksler i alle oppløsninger, for å se om flere kjøretøy ble detektert, dvs. at den gjeldende støyfjerningen fjernet TP. Tabell 6.1 viser antall segmenter på hver trinn i prosessen for oppløsning sim 40 cm og høyere. Tabellen viser at med gjeldende støyfjerning detekteres maksimalt 45 av 53 kjøretøy. Uten støyfjerning detekteres maksimalt 47 av 53 kjøretøy. Det vil si at 2 kjøretøy får for små segmenter til å komme med i den ordinære deteksjonen.

Fra og med oppløsning 40 cm og høyere er det kun i utsnitt 6 at segmenteringen ikke detekterer alle kjøretøyene. Dette gjelder både med og uten støyfjerning. I utsnitt 6 er store deler av den ene veibanen dekket av skygge. Det skaper problemer med å detektere spesielt de mørke kjøretøyene. En av grunnene er at det ikke er god nok kontrast til at kjøretøyene blir tersklet ut. En annen grunn er at deler av kjøretøyet blir tersklet ut, men

| Resultat av segmentering med og uten fjerning av segmenter med $n \leq (60/r)^2$ | | |
|--|----------------------|----------------------|
| Oppløsning, r | m. segmentfjerning | kun enkeltpiksler |
| Sim 40, $n = 2$ | segmenter i alt: 58 | segmenter i alt: 56 |
| | 44 TP, 14 FP, 9 FN | 45 TP, 11 FP, 8 FN |
| Sim 30, $n = 4$ | Antall segmenter: 51 | Antall segmenter: 58 |
| | 45 TP, 6 FP, 8 FN | 47 TP, 11 FP, 6 FN |
| Sim 20, $n = 9$ | Antall segmenter: 54 | Antall segmenter: 62 |
| | 43 TP, 11 FP, 10 FN | 47 TP, 15 FP, 6 FN |
| Sim 12,5, $n = 23$ | Antall segmenter: 57 | Antall segmenter: 67 |
| | 45 TP, 12 FP, 8 FN | 47 TP, 20 FP, 6 FN |

Tabell 6.1: Antall segmenter med og uten “støyfjerning”

henger sammen med et skyggesegment, og dermed blir forkastet ved kobling. Dersom et kjøretøy består av et eller flere små segmenter, kan segmentene bli koblet sammen med andre kjøretøy og ikke som et eget. Dette gjelder spesielt parkerte kjøretøy i og med at de står tett. I testutsnittene er det langt fler parkerte kjøretøy enn kjørende. Feilkobling er en hyppig årsak til reject-segmenter, dvs. FP som det ikke beregnes egenskaper av i og med at de er deler av et kjøretøy (men de skal likevel fjernes). Det er derimot ikke så vanlig at et kjøretøy blir helt og fullt sammenkoblet til et annet, slik at det oppstår en FN.

Den mest vanlige årsaken til at segmentene i utsnitt 6 ikke blir detektert er at de henger sammen med skyggesegmenter, og dernest at de ikke blir tersklet ut i det hele tatt p.g.a. manglende kontrast, enten p.g.a. skygge eller farge på kjøretøyet. Den tredje mest vanlige årsaken til at kjøretøy ikke detekteres er trolig at de fjernes av en klassifikator. Testutsnittene har forholdsvis få segmenter i alt, og svært få FP. Ofte er ikke FP-segmentene representative mellom testutsnittene, og dermed kan klassifiseringseksperimenter resultere i at noen TP forsvinner. Før bruk i en applikasjon bør en klassifikator ha et større treningssett å forholde seg til enn i denne oppgaven. Det å lage en god klassifikator for kjøretøy var ikke en av de mest prioriterte temaene i denne oppgaven.

6.1.1 Hvor høy oppløsning må til for å detektere kjøretøy “sikkert”?

Hvis man ser bort fra skyggesiden i sim 6, blir som nevnt alle kjøretøy detektert f.o.m. oppløsning 40 cm. Tabellene 5.2, 5.3 og 5.6 viser at det ikke er slik at feilraten synker entydig med økt oppløsning. F.o.m. 30 cm varierer resultatene mindre, og feilraten ligger som oftest med grei margin under 10%. Det amerikanske forsvaret har beskrevet ulike oppløsningskrav [41], gjengitt i nederste rad i figur 6.1, Deteksjon av kjøretøy : 1,5 meter, Generell identifikasjon av kjøretøyet: 0,6 meter og Presis identifikasjon av kjøretøyet: 30 cm. Tallene i tabellen, visuell vurdering av segmentene etter terskling og klassifiseringseksperimenter tyder på at 30 cm er en gunstig oppløsning for deteksjon av kjøretøy. Feilmarginen kan trolig bli minimal med tilgang til treningsdata med en større andel FP enn det denne studien har brukt.

For øvrig er resultatene ved deteksjon av kjøretøy i QB gode, faktisk fikk QB en gjennomsnittlig feilrate på 0,117 med std. 0,053 ved klassifisering med topp 5 sammensatte

| Object / Target | Detection | General ID | Precise ID | Description |
|---------------------------|-----------|------------|------------|-------------|
| Urban area | 60 m | 30 m | 3.0 m | 3.0 m |
| Ports and harbors | 30 m | 15 m | 6.0 m | 3.0 m |
| Surfaced submarine | 30 m | 6 m | 1.5 m | 0.9 m |
| Roads | 9.0 m | 6.0 m | 1.8 m | 0.6 m |
| Surface ships | 7.5 m | 4.5 m | 0.6 m | 0.3 m |
| Bridge | 6.0 m | 4.5 m | 1.5 m | 0.9 m |
| Aircraft | 4.5 m | 1.5 m | 0.9 m | 0.15 m |
| Missile sites (SSM, SAM) | 3.0 m | 1.5 m | 0.6 m | 0.30 m |
| Nuclear-Weapon Components | 2.4 m | 1.5 m | 0.3 m | 0.03 m |
| Vehicles | 1.5 m | 0.6 m | 0.3 m | 0.05 m |

Figure 6.1

egenskaper, som vist i tabell 5.2 i kapittel 5.4.1. Det er best av alle oppløsninger i alle klassifiseringseksperimentet. I alle eksperimentene totalt kommer QB best ut i 3 av 4 tilfeller. Økt oppløsning gir nye og andre feilkilder i tillegg til å gi en mer presis identifikasjon av kjøretøy. Eksempler på det er at segmentene til et kjøretøy ofte deler seg i tak, panser og skygge, og at sjansen for feilkobling da øker. Koblingsalgoritmen brukt i dette prosjektet tar utgangspunkt i det største segmentet og går til den siden som gir flest piksler. Dersom det er det midterste segmentet som er størst, så vil det skje en koblingsfeil. Dette scenarioet oppstår ofte i utsnitt sim6 ved høyere oppløsninger. En ny og bedre koblingsalgoritme kan naturligvis lages, men like fullt er deteksjon av kjøretøy mer komplekst ved høyere oppløsning. Det er ikke manglende oppløsning som skaper hovedutfordringene ved deteksjon av kjøretøy i QuickBird. Det aller største hinderet er skygge i veibanen fra omkringliggende bygninger.

6.2 Deteksjon og behandling av områder med skygge

Som nevnt i metodekapittelet, laget RTS en skyggemaske ved k-means clustering med 3 klasser av alle 4 bånd i det multispektrale bildet for så å velge den klassen med lavest verdier til skyggemaske, dvs. at der alle bånd har lav verdi er det skygge. Masken tar ikke med seg mørke kjøretøy, og den er foholdsvis presis i forhold til skyggeområdene. En tilsvarende maske for hele bildet basert på R, G og B-båndet i flybildet ble ikke like vellykket. Masken tok i stor grad med seg mørke kjøretøy og andre mørke strukturer utenfor skyggeområder. Ved å øke antall klasser i masken ble problemet redusert til et nivå der masken var brukbar for test på enkelte utsnitt.

Tre skyggeeksperimenter ble utført: Eksperiment 1 tok et nytt utsnitt med skygge i mesteparten av utsnittet. Skyggeområdet ble tersklet med og uten k-means skyggemaske og histogramtjvning. Eksperiment 2 tok for seg utsnitt 6, med skygge i deler av den enen veibanen.

Veibanen ble delt i to og behandlet hver for seg. Eksperiment 3 tok også for seg utsnitt 6. En skygge maske ble laget ved hjelp av allerede uttersklede og forkastede segmenter, *restbilde*. Skyggeområdet ble behandlet for seg med og uten histogramutjevning.

Skyggeeksperiment 1

Et skyggeområde i oppløsning sim 30 cm ble valgt ut, se figur 6.2. Mesteparten av veibanen er dekket av mørk skygge. Bak skyggen skjuler det seg 8 kjøretøy, 2 lyse og 6 mørke. 3 ulike fremgangsmåter ble testet ut:

1. Terskling av utsnittet uten skyggebehandling. Resultat: Hele veibanen uten skygge ble beregnet til å være lyse kjøretøy. Se figur 6.2 c.
2. Maskere ut, og kun terskle skyggeområdet. Resultat: Kun de 2 lyse kjøretøyene ble detektert ut. I tillegg ble kanten av masken tersklet ut, men denne ville trolig blitt borte ved kobling. Se figur 6.2 d.
3. Maskere ut, histogramutjevne og terskle skyggeområdet. Se figur 6.2 e og f. Resultat etter kobling: Alle 8 kjøretøy ble detektert, i tillegg til noe støy. Se figur 6.2 g.

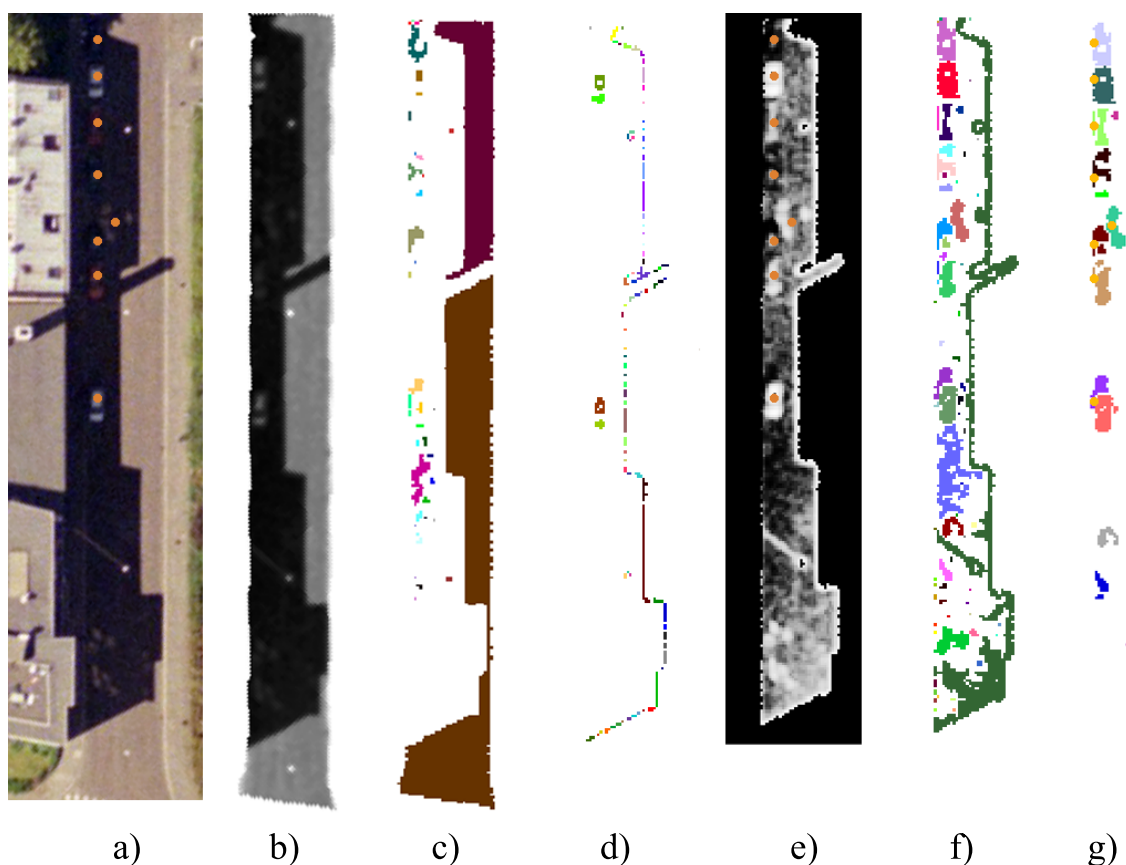


Figure 6.2: Skyggeeksperiment 1 i sim 30 cm. a) RGB utsnitt 12,5 cm av gate med mørk skygge. Markering av 8 kjøretøy. b) Gråtonebilde sim 30 cm av veibanen. c) Resultat fra terskling uten skyggebehandling. d) Utsnitt maskert ut med k-means maske og tersklet. e) Utsnitt maskert ut med k-means maske og histogramutjevnet. f) Resultat av e tersklet g) Utsnitt fra f etter kobling.

Skyggeeksperiment 2

Utsnitt 6 i oppløsning sim 20 cm ble valgt ut, se figur 6.3. Deler av høyre veibane er dekket av skygge. I denne veibanen finnes 13 kjøretøy, 7 lyse og 6 mørke. 3 ulike fremgangsmåter ble testet ut:

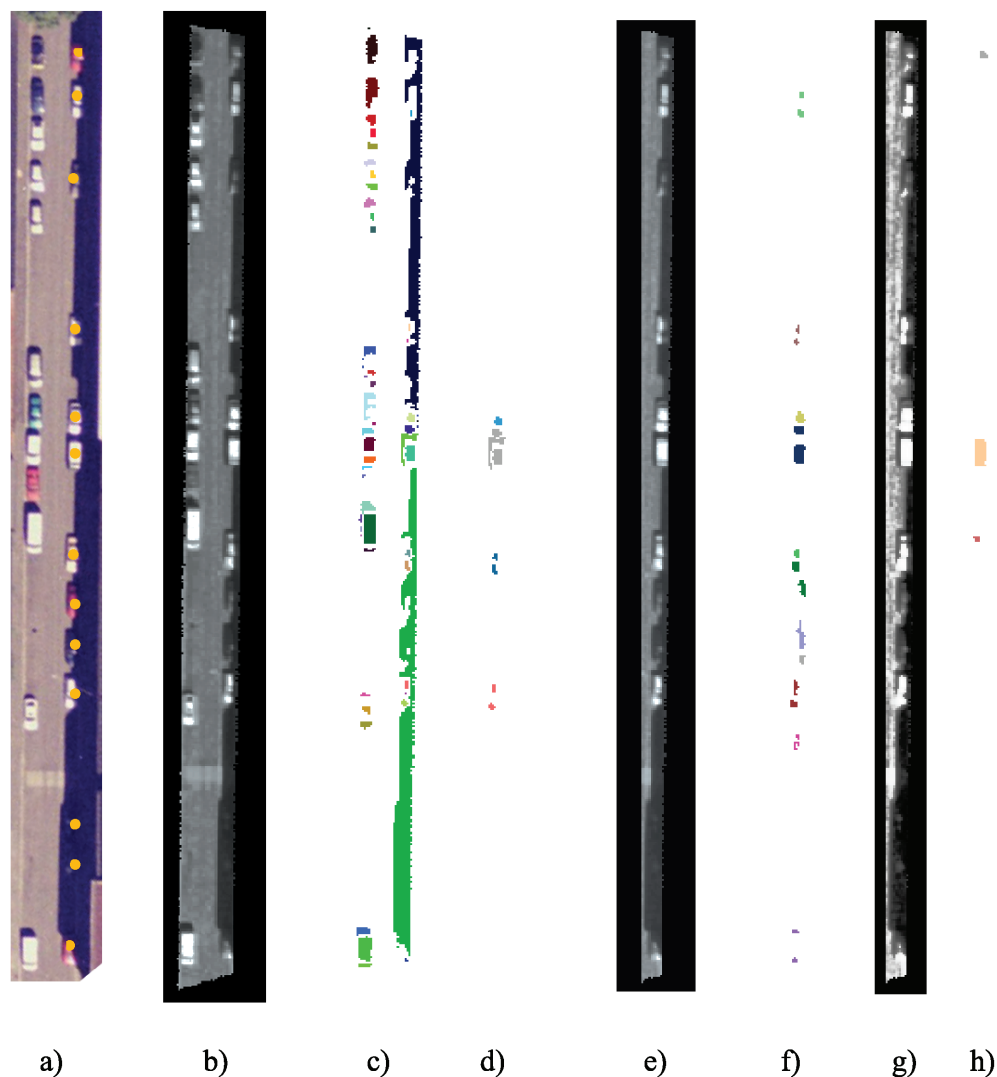


Figure 6.3: Skyggeeksperiment 2 i sim 20 cm. a) RGB utsnitt 12,5 cm av utsnitt sim 6 med delvis skygge i høyre veibane. Markering av 13 kjøretøy. b) Gråtonebilde sim 20 cm av veibanen. c) Resultat fra terskling uten skyggebehandling. d) Segmenter detektert i høyre fil, fra c. e) Deling av veibanen, høyre fil. f) Resultat fra terskling av høyre fil for seg. e) Segmenter detektert i høyre fil, fra f.

1. Terskling av utsnittet uten skyggebehandling. Resultat: 4 lyse kjøretøy i høyre veibane ble detektert. Se figur 6.3 c og d.
2. Dele veibanen i høyre og venstre fil. terskle høyre veibane for seg. Resultat: 9 kjøretøy, 7 lyse og 2 mørke, ble detektert. Se figur 6.3 e og f.
3. Histogramutjevne høyre fil før terskling: Resultat: 3 kjøretøy, 2 lyse og 1 mørk, ble

detektert. Se figur 6.3 g og h.

Skyggeeksperiment 3

Også dette eksperimentet tok for seg utsnitt 6 i oppløsning sim 20 cm. Denne gangen ble det laget en skyggemaske av forkastede segmenter ved kobling (*restbilde*), se figur 6.4 a og b. 3 forsøk ble gjort med denne masken:

1. Maskere ut skyggen i hele utsnitt sim 6, så terskle som vanlig. Resultat: 4 lyse kjøretøy i høyre veibane ble detektert. Se figur 6.4 c.
2. Maskere ut, og terskle kun skyggeområdet, se figur 6.4 d. Resultat: Deler av 6(?) kjøretøy i høyre veibane ble detektert, samt mye støy. Se figur 6.4 e.
3. Maskere ut, histogramutjevne og terskle kun skyggeområdet, se figur 6.4 f. Resultat: Tersklingen feiler.

Det er mulig at en annen tersklingsmetode, som f.eks. Niblack ville kunne fungert bedre i eksperiment 2, for skyggeområdet i utsnitt 6. Der ble noe av problemet at bakgrunnen ble svært ujevn. Det ble ikke forsøkt. Delvis skyldes dette at skyggebehandling av deler av en kjørebane maskert ut var såpass lite vellykket, og delvis prioritering av andre oppgaver i forhold til tid. Tilnærmingen til delvis skygge bør kanskje være å dele veibane i to og terskle disse hver for seg, slik som figur 6.3 e of f viser. Dette ga klart det beste resultatet i eksperiment 2. Oppsummert ble resultatene av begge eksperimentene:

- **Ved skygge i hele veibanen, ble gode resultater oppnådd i eksperiment 1 ved histogramutjevning og terskling av veibanen under en skyggemaske.**
- **Ved skygge i deler av en fil, ble moderate resulater oppnådd i eksperiment 2 ved å terskle hver fil i veibanen for seg, uten skyggemaske eller histogramutjevning.**

Det ville vært en god ide å terskle utsnitt 6 i alle oppløsninger i to omganger, en for hver fil, i dette prosjektet. Skyggeeksperimentet ble imidlertid gjort for sent i oppgaveforløpet til at det var aktuellt.

6.2.1 Algoritmenes robusthet

Veibanens histogram deles i lyse og mørke områder i maksimalverdien av histogrammet. Histogrammene til ulike utsnitt kan være ujevne, med flere topper, se figur 6.5(a) for et eksempel fra QB original, med to topper. Den høyeste har intensitetsverdi 284 og neste topp har intensitetsverdi 299. Det kan virke lite robust å velge maksimalverdi av histogrammet. I histogrammet som er vist er det kun 2 piksler som skiller de to toppene. Forsøk viser at tersklingsresultatet ved deling av dette histogrammet i den nest høyeste toppen også blir akseptabelt, men er det tilfeldig eller ikke? Og hva om det finnes en 'spiker' som er langt unna den riktige delingsverdien. Man kan spørre seg om tersklingen vil bryte sammen i et slikt tilfelle, og sannsynligheten er stor for at den ville det.

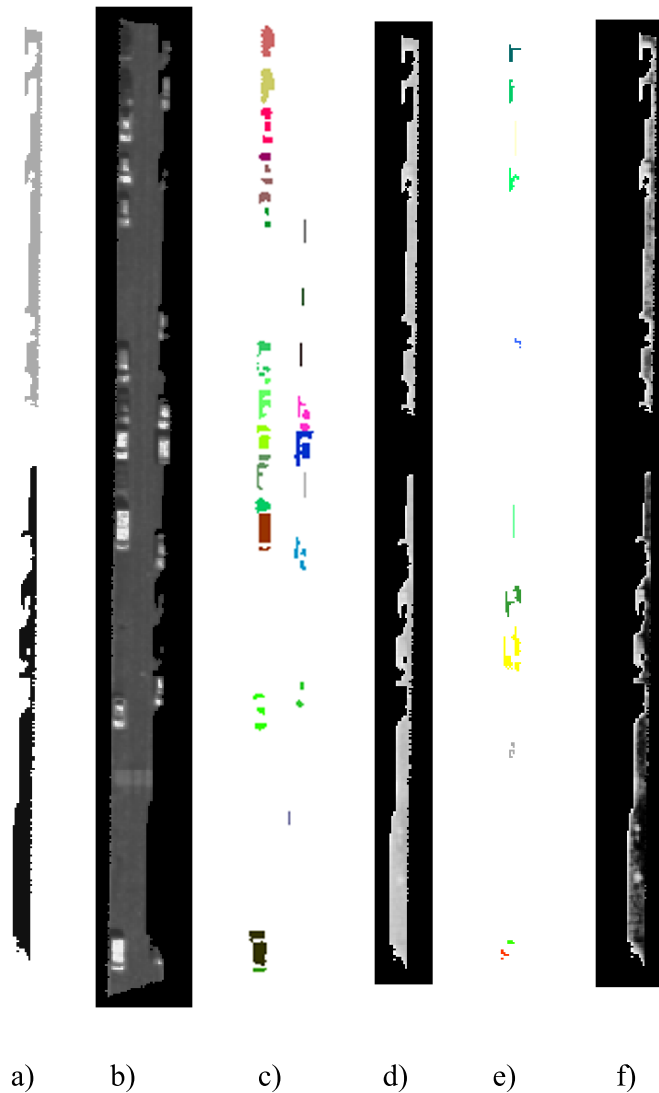


Figure 6.4: Skygge eksperiment 3 i sim 20. a) Forkastede segmenter fra vanlig prosedyre (restbilde), brukt som skyggemaske. b) Gråtonebilde maskert med restbildet. c) Resultat av tersklet, skyggemaskert utsnitt. d) Gråtonebilde under skyggemasken. e) Resultat av terskling av d. f) Histogramutjevnet c, dvs gråtonebilde under skyggemasken. Terskling av dette utsnittet feiler.

Deling av histogrammet i gjennomsnittintensitet er forsøkt uten særlig hell. I noen tilfeller ble resultatet bra, men i flere tilfeller ble deler av asfalten tersklet ut som kjøretøy, som beskrevet i tabell 4.2. Man kan argumentere for at det av stabilitetshensyn er best å bruke gjennomsnittsverdi og heller tilpasse tersklingsmetoden. Det blir i så fall på mange måter en ny metode i forhold til den RTS valgte. En annen måte å sørge for bedre stabilitet ved deling av histogrammet, er å glatte histogramtoppen(e). Ved å midle verdier i midten av histogrammet, vil eventuelle 'spiker' forvinne, mens en ekte topp blir bevart. Sidene av histogrammet må ikke berøres, der ligger kjøretøyklassene. En glattemetode som er laget i prosjektet kan brukes som en stabiliseringsfaktor før terskling med Otsus algoritme. En Gausskurve legges (teoretisk) oppå histogrammet, med overlappende gjennomsnittsverdier. Deretter midles hver histogramverdi med X antall naboverdier på hver

side. X tilsvarer høyden på gausskurven. Da vil maksimalverdi av histogrammet midles ned mot naboene, men er de også høye, slik de er for en ekte topp, så vil toppen bestå. Det vil ikke 'spiker' med lave naboer. Gausskurven må være smal nok til ikke å berøre kjøretøyklassene. Resultatet av en slik glatting på histogrammet i figur 6.5(a) er vist i figur 6.5(b).

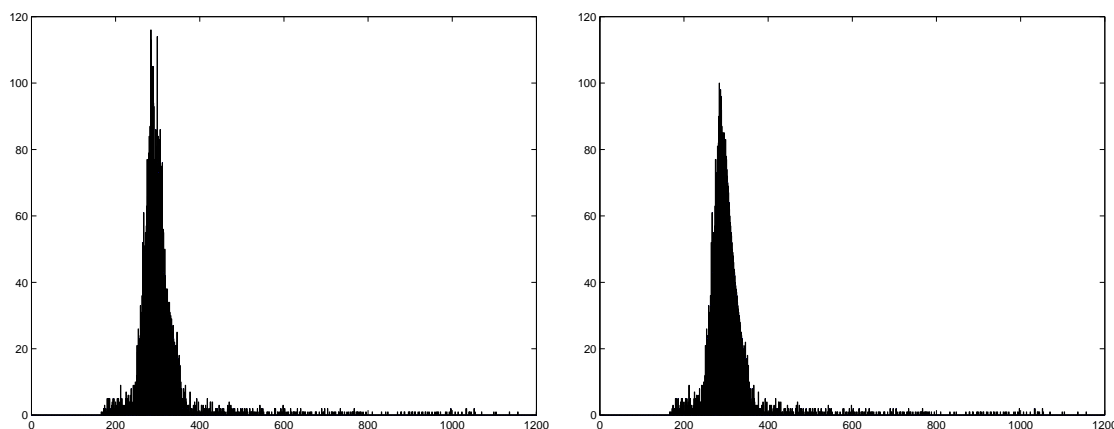


Figure 6.5: Glatting av histogrammet ved hjelp av vektet midling bevarer en ekte topp. Maksimalverdi i histogrammet endres ikke.

I løpet av prosjektet ble det eksperimentert med glatting og middelvei i kombinasjon. Alle forsøk viste at maksimalverdien ble bevart og at tersklingen ble lik med og uten glatting. For ideen om å velge middelvei som delingspunkt var dette dårlig nytt. Men det er også et argument for at det er en stabiliseringsfaktor som kan fungere sammen maksimalverdi som delingspunkt.

6.2.2 Koblingsrammens begrensninger

I utsnitt sim6 med 40 graders vinkling til bildeaksene, blir koblingsrammen for kort i noen tilfeller. Dette resulterer i feilkobling og/eller reject-segmenter. I de andre utsnittene er koblingsrammen lang nok. Har vinkelen noen betydning for hvor utstrakt segmentet blir? Selve rotasjonen, og vinkelen som det roteres med, påvirker ikke segmentets form, men vinkelen har betydning i den sammenheng at skyggene er ulike. Størst betydning for skyggen i de tre utsnittene sim4, sim5 og sim6 er trolig type kjøretøy og kjøreretning. Med dette menes hvor høy er den siden som kaster skygge? Utsnitt sim 6 har noen varebiler og stasjonsvogner som kaster kraftigere skygger enn lavere kjøretøy. Sim 4 er fra en enveiskjørt gate med baksiden av alle kjøretøy mot solen. Fronten av kjøretøyene er normalt forholdsvis lav, og dette utsnittet har kortere skygger enn sim6. En koblingsramme må ta høyde for ulike skyggelengder, men det er naturlig å tro at noen ulike størrelser basert på solvinkel og årstid måtte forekomme dersom metoden skulle implementeres i en applikasjon. For QuickBird gjelder også at bildene kan ha ulik off-nadir vinkel, dvs. hvor skrått satellitten avbilder terrenget. Bildet som er utgangspunkt for QB1, QB2 og QB3 har en off-nadir vinkel på 23° , men bildet som er utgangspunkt for QB4 har en off-nadir vinkel på 15° . QB 4 vil av dette ha kortere skygger enn de andre, i tillegg til den

innvirkningen ulik opptaksdato har.

En annen begrensning som gjelder for koblingen er som tidligere nevnt at algoritmen tar utgangspunkt i det største segmentet og vender seg en vei av gangen for å koble til seg andre segmenter. Den veien som gir flest piksler, og hvor segmentene oppfyller kravet om å være 90% inneholdt av rammen, blir valgt. Dette medfører at kjøretøy med tre eller fler segmenter, og hvor det største ligger i midten blir feilkoblet. For de laveste oppløsningene skjer dette i noen tilfeller. Maksimalt antall segmenter per kjøretøy er 3 for alle oppløsninger, se figur 5.11(i). Gjennomsnittsverdien er på 1,3 - 1,8 for de ulike oppløsningene, økende med bedre oppløsning. Det er mulig at algoritmen må se begge veier dersom dette problemet er større enn studiens eksempler. En slik løsning vil ikke bare løse noen problemer, men også skape nye feilsituasjoner.

I ett og samme tilfellet i sim6 i oppløsning sim 60, sim 50, sim 40 og sim 30 skjer det at koblingen av to kjøretøy får annethvert segment sammenkoblet. Dette kan skje dersom et segment er noe til siden for den ene koblingsrammen og forkastes p.g.a. 90% kravet, men det passer inn i den andre rammen. Dette skaper imidlertid ingen FP eller andre feil.

6.3 Rotasjon av segmenter

Før terskling roteres utsnittene slik at orienteringen til kjøretøyene faller sammen med aksene i bildet. Man kan tenke seg at en metode i et system i bruk til å samle trafikkdata vil kunne ha veimasker pr. veilenke. Datene Statens Veivesen så for seg å motta, var antall kjøretøy per veilenke. Ved backward mapping, omtalt i kapittel 3.5.2, sammen med bikubisk interpolasjon, bevares strukturene i bildet, og en rotasjon bør ikke ha betydning for hvordan segmentene representerer kjøretøy. Koblingsrammen som brukes etter terskling har kun en form og retning. Dersom utsnitt ikke skulle roteres, måtte koblingsrammen ha ulike former. De romlige egenskapene til kjøretøy ville også vært forbeholdt vinkelen til kjøretøyet. Dette ville blitt betydelig mer tungvint og mindre sammenliknbart. Figur 6.6 viser liknende kjøretøy i mange ulike vinkler, i oppløsningene QuickBird original, sim 30 og sim 12,5. Kjøretøyene kommer fra ulike områder i bildene, som er klippet ut, rotert til like akser og tersklet. Kjøretøyenes skygge er tatt med. Kjøretøysegmentene i figuren er representative for alle rotasjoner, og likner segmentene fra testutsnittene i oppgaven. Skyggen til segmenten lengst til høyre i de to høyeste oppløsningene har med seg sin skygge på venstre side. Denne skyggen tar mer plass enn for noen av segmentene i testutsnittet. Koblingsrammen må ta høyde for slike segmenter, som nevnt i kapittel 3.5.2. Når det gjelder rotasjonen, er det ingen ting som tyder på at segmentets form eller utstrekning ville vært annerledes uten en rotasjon i forkant. Eksemplene i figuren viser at rotasjon ikke skaper deformasjoner eller avvik i kjøretøysegmentene.

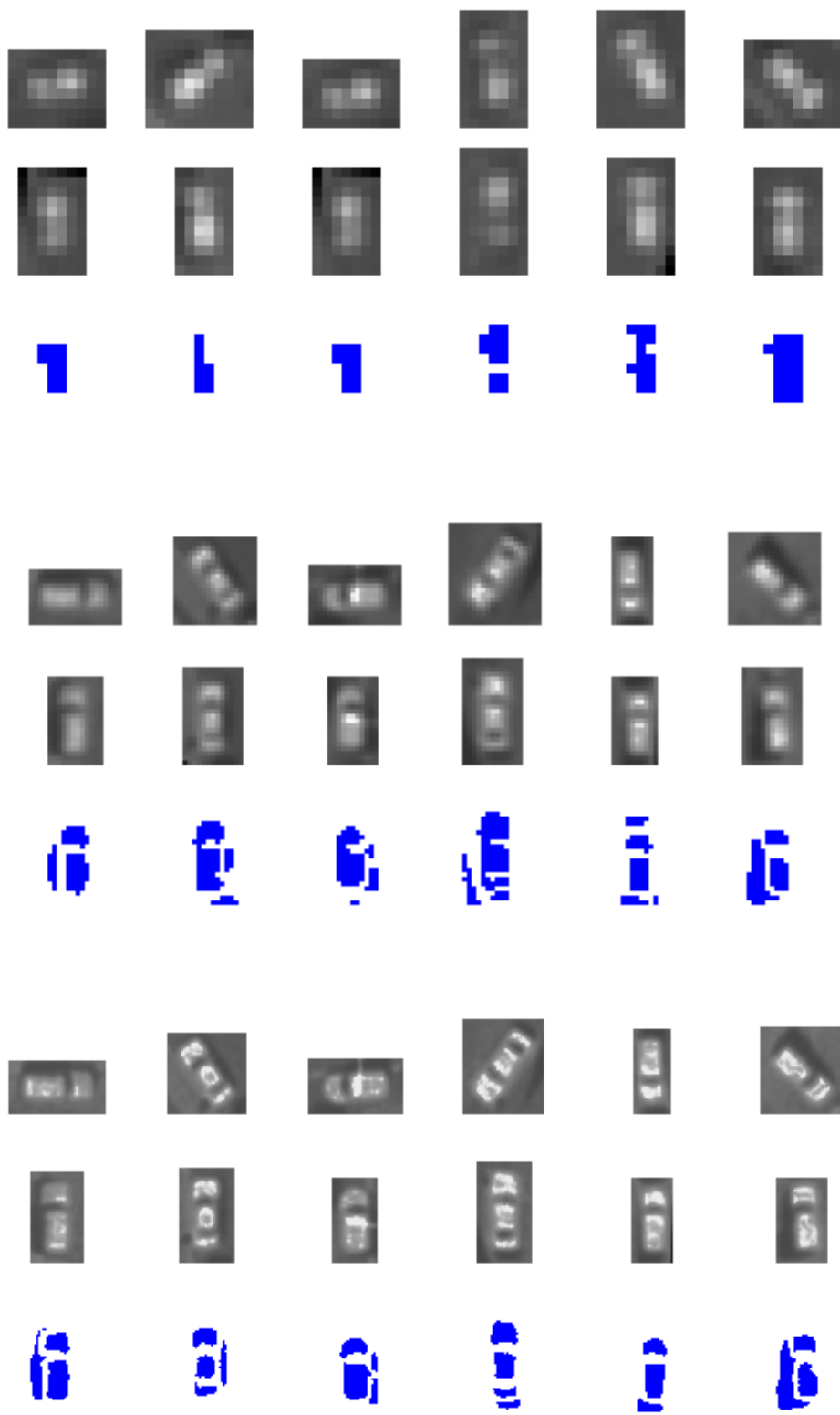


Figure 6.6: Kjøretøy i mange ulike vinkler er klippet og rotert for å vise at alle får gjenkjennelige kjøretøysegmenter. Figuren viser oppløsning QB original, sim 30 og sim 12,5. Rotasjonen skaper ingen deformasjoner.

6.4 Egenskaper som går igjen

Resultatkapittelet viste oversikt over hvilke egenskaper som var egnet for hvilke oppløsninger. Noen av egenskapene gikk igjen for alle oppløsninger, mens andre egenskaper ikke ble plukket ut for noen oppløsninger. En oversikt over egenskaper som ble trukket ut ofte, av og til og aldri, vises i tabell 6.2. Tabellen viser en samlet oversikt for alle oppløsninger. Ikke overraskende var det mange grunnleggende formegenskaper som gikk igjen ofte: area, width, length, elongation og compactness. Rectangularity var litt sjeldnere brukt, det samme var orientation. De fleste av rammeegenskapene, som er spesielle for dette prosjektet, kommer under kategorien *av og til*.

| Oversikt over hvor hyppig egenskaper er trukket ut | | |
|---|-------------------------|-------------------|
| Ofte | Av og til | Aldri |
| area | rectangularity | mask distance |
| width | orientation | smoothness |
| length | number of segments | Frame region mean |
| elongation | spatial spread | Frame stddev |
| compactness | region mean | |
| contrast | stddev | |
| boundary gradient | region mean diff | |
| gradient mean | Frame contrast | |
| | Frame boundary gradient | |
| | Frame smoothness | |
| | Frame gradient mean | |

Tabell 6.2: Oversikt over hvor hyppig egenskaper er trukket ut for alle oppløsninger. Grunnleggende formegenskaper går igjen *ofte*. Mask distance, som var veldig aktuell i pilotprosjektet viste seg å ikke bli brukt i resten av prosjektet.

QB og Sim 60 har veldig like gjennomsnittsverdier for formegenskapene i kolumnen *ofte* hvis man ser på egenskapsplottene i figur 5.11. Dette er et argument for at simuleringen fungerer.

Kapittel 7

Konklusjon

Simulering av QuickBird bilder fra høyoppløselige RGB flybilder er utført for 5 ulike oppløsninger fra 0,125 meter til 0,6 meter. Resultatet viser at man kan detektere kjøretøy med den samme algoritmen i simulerte bilder som i originale QuickBird bilder. Visuelt er bildene svært like med ett unntak; De simulerte bildene får mørkere vegetasjon fordi de mangler NIR bølglengder som gir høy respons for klorofyll. Ved deteksjon av kjøretøy terskles veimerking ut i større grad i simulerte bilder enn i QuickBird bilder, og gir falske positive. Røde kjøretøy går i ett med asfalten og tapes ved segmentering. Dette skyldes igjen de manglende NIR bølglengdene. En riktigere simulering vil kunne oppnås med utgangspunkt i høyoppløselige flybilder med lik båndbredde som QuickBird og med informasjon om QuickBirds spektralrespons.

Før terskling må bildene maskeres slik at kun veibanen er beholdt. Det er viktig at minst mulig av veiskulderen er synlig, da dette skaper forstyrrelser for tersklingen både i simulert utsnitt og QB original. GIS veimasker er sannsynligvis gode masker. Skygger i bildene ansees som det største hinderet for korrekt deteksjon av kjøretøy. Ved delvis skygge i veibanen kan flere kjøretøy detekteres ved terskling av veibanen hver for seg.

De mest brukte egenskapene samlet for alle oppløsninger er area, width, length, elongation, compactness, contrast, boundary gradient og gradient mean. For hver oppløsning er topp 5 egenskaper trukket ut, både manuelt og ved forward feature selection. Alle egenskaper er fremstilt grafisk for de ulike oppløsningene, og det er mulig å se hvordan egenskapene endrer seg med oppløsning. En beskrivelse av endring i egenskaper og i segmenter ved økende oppløsning er også utført.

Test av segmentering og kobling er utført på et 0,12 km² stort utsnitt i simulert bilde med oppløsning 0,6 m. Koblingen reduserer antall segmenter med 29 %. Utenom skyggeområder ble deteksjonsrate for kjøretøy 0,862, og med skyggen inkludert var deteksjonsraten 0,768. Et høyt antall false positive ble detektert. Hovedårsaken var skygger og veimerking.

Kapittel 8

Videre arbeid

Som nevnt i diskusjonen finnes svakheter med kjøretøysdeteksjonsalgoritmen som det ville vært naturlig å rette på dersom en applikasjon basert på denne algoritmen skulle tas i bruk. Tidlig i oppgaven ble det slått fast at hovedhensikten med studien ikke var å lage et komplett system til en potensiell bruker. Videre arbeid vil derfor ikke handle om å utbedre de svakheter som er påpekt i diskusjonen, men heller tenke videre innen de tre hovedtemaene i oppgaven: simulering av QuickBird bilder, beskrive og trekke ut egenskaper for ulike oppløsninger, og se hvilken innvirkning lys og skygger i bildet har for deteksjon av kjøretøy.

8.1 Videre arbeid med simulering av QuickBird bilder

Med utgangspunkt i de RGB flybilder som var tilgjengelig i prosjektet, må simuleringen sies å være god. Et forbedret resultat vil trolig oppnås ved å utføre den samme simuleringen med flybilder med båndbredde 450 - 900 nm. Det kan da være aktuelt å kompensere for atmosfæriske forstyrrelser ved å lage en mer nøyaktig punktspredningsprofil. En riktigere simulering ville oppnås med informasjon om QuickBirds spektralrespons. Man vil med denne kunne kompensere for respons-ulikheter i opptakene.

Med båndbredde lik QuickBird 450 - 900 nm vil vegetasjon bli riktigere gjengitt, dvs. med høyere intensitet. Forutsetningen er at bildene er tatt opp til lik tid. Mengden klorofyll i vegetasjonen avgjør intensiteten, som nevnt i kapittel 5.1.1. Dette vil endre seg fra år til år og måned til måned. F.eks. kan man se en tydelig forskjell på vegetasjonen på de to QuickBird bildene i prosjektet som begge er tatt opp i mai, se kapittel 2.4. Det største utsnittet er tatt opp 5. mai 2006 og har langt mørkere vegetasjon enn det andre utsnittet som er tatt opp 28. mai 2006. I tillegg til en forskjell på 23 dager var det dårligere vekstforhold for planter i april 2006 enn i april 2003 [42].

Foruten lik opptaksdato bør kameraposisjon være så lik som mulig. En minst mulig off-nadir vinkel er ønskelig for å unngå geometriske forvrengninger. En skrå vinkel vil gi mindre innsyn i gatene.

Med et nytt utgangspunkt for simuleringen følger en ny analyse. Det kunne vært spennende

å se om et simulert bilde med utgangspunkt i 450 - 900 nm taklet terskling av utsnitt med få kjøretøy og mye veimerking bedre enn de simulerte bildene i oppgaven. Et annet tema kunne vært om røde kjøretøy forsvinner også i de ”nye“ bildene slik de gjør i simulerte QuickBird bilder fra RGB bilder. Det gjør de trolig ikke, da de høye bølgelengdene sørger for at rødt får høyere intensitet.

8.2 Videre arbeid med egenskaper

For å finne egenskaper som gir en best mulig klassifikasjon er det nødvendig å trene på langt større datasett enn det som er gjort i denne oppgaven, og teste på større utsnitt. Kanskje kan andre klassifiseringsalgoritmer enn lineær klassifisering være aktuelle når treningsdataene blir større.

Det kan være nyttig å studere scatterplott av ulike kombinasjoner av egenskaper, for å få et bedre bilde av hvordan man kan skille mellom TP og FP. Tunge kjøretøy er ikke beskrevet med egenskaper i dette prosjektet, men det er opplagt nødvendig for å kunne klassifisere kjøretøy som en helhet. De aller fleste store segmenter som ble tersklet ut var FP.

8.3 Videre arbeid med analyse av skygger

Skygger er den største hindringen for kjøretøysdeteksjon, og en betydelig kilde til FP. Det er derfor viktig å finne løsninger som gjør at kjøretøy i skygge kan detekteres og at feilraten i skyggeområder blir minst mulig. Mange FP i uttestingen av det store utsnittet i sim 60 kom av store skyggeområder som ble tatt for potensielle store kjøretøy. Egenskap-suttrekking for store kjøretøy vil trolig vise at en del av disse er enkle å fjerne.

Deling av veibanen og terskling av hver fil hver for seg ga gode resultatet ved delvis skygge. Det bør testes ut i stort omfang. Det samme bør histogramutjevning under en skyggemaske ved skygge i hele veibanen. Studier av histogrammer for ulike skyggeområder kan gi informasjon som ikke har fremkommet i prosjektet.

Dersom skyggeområder skal behandles helt separat, må det genereres en skyggemaske. Som vist i prosjektet, kan det være aktuelt å bruke *restbildet* som skyggemaske dersom NIR-båndet mangler slik som i de simulerte bildene. Hvis det finnes et NIR bånd, gir antakelig en k-means maske, slik som RTS benyttet seg av, den mest eksakte og stabile skyggemasken.

Bibliografi

- [1] Prosam. trafikkregistreringer i oslo og akershus 2004. rapport 130. Technical report, Statens vegvesen region øst v/Harald Granrud Konsulent kart: Vianova Plan og Trafikk AS v/ Hans-Jørg Schneidt, 2004.
- [2] L. Aurdal, L. Eikvil, H. Koren, J. Usterud Hanssen, K. Johansen, and M. Holden. Road traffic snapshot. Technical Report 1015, Norsk Regnesentral - Norwegian Computing Center, Desember 2007.
- [3] U. Stilla, E. Michaelsen, E. Soergel, S. Hinz, and J. Ender. Airborne monitoring of vehicle activity in urban areas. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 35(B3):973–979, 2004.
- [4] D. J. Kompendie i faget UNIK4510 Weydahl.
- [5] K. Kliparchuk. The current and future status of satellite imagery and their use in urban applications. McElhanney Consulting Services Ltd., 2004.
- [6] <http://www.digitalglobe.com/>. Digital globe. webside, Oktober 2007.
- [7] <http://www.spaceandtech.com/digest/flash-articles/flash2000-087.shtml>. Quickbird 1 kosmos launch fails. Webside, November 2007.
- [8] <http://funscience.gistda.or.th/spaceexploration/quickbird.jpg>. Webside, Oktober 2007.
- [9] B. C. Robertson. Rigorous geometric modeling and correction of quickbird imagery. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS '03. Proceedings. 2003 IEEE International*, volume 2, pages 797–802, July 2003. Earth Observation Systems, MacDonald Dettwiler & Associates, Richmonds, British Columbia, Canada.
- [10] M. Aldrin and O. Haug. Basiskurvemetoden for Ådt-beregninger. Technical Report SAMBA/25/98, Norsk Regnesentral - Norwegian Computing Center, desember 1998.
- [11] internt møtereferat i prosjektet RTS.
- [12] J. W. Figoski. The quickbird telescope: The reality of large, high-quality commercial space optics. In *Part of the SPIE Conference on Current Developments in Optical Design and Optical Engineering 8 - Denver, Colorado, USA*, volume 3779, 1999.

- [13] F. Gascon, J. P. Gastellu-Etchegorry, and M. J. Lefevre. Radiative transfer model for simulating high-resolution satellite images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(9):1922–1926, September 2001.
- [14] J. Wu, D. Wang, and M.E. Bauer. Image-based atmospheric correction of QuickBird imagery of Minnesota cropland. *Remote Sensing of Environment*, 99(3):315–325, 2005.
- [15] C. K. Toth, D. G. Brzezinska, and C. Merry. Supporting traffic flow management with high-definition imagery. In *ISPRS Hannover Workshop 2003 - High Resolution Mapping from Space 2003*. <http://www.ipi.uni-hannover.de/126.html>, 2004. The Ohio State University, Columbus, Ohio, USA.
- [16] A. Gerhardinger, D. Ehrlich, and M. Pesaresi. Vehicles detection from very high resolution satellite imagery. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(Part 3/W24):83–88, 2004. IPSC, Joint Research Centre, 21020 Ispra, Italy.
- [17] J. Leitloff, S. Hintz, and U. Stilla. Vehicle queue detection in satellite images of urban areas. In *Proceedings of the ISPRS joint conference 3rd International Symposium Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas (URBAN 2005) and 5th International Symposium Remote Sensing of Urban Areas (URS 2005)*. Tempe, AZ, USA, Mars 2005. Technische Universitaet München.
- [18] J. Leitloff, S. Hintz, and U. Stilla. Automatic vehicle detection in satellite images. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing, and Spatial Information Sciences*, 36(3), 2006. Technische Universitaet München.
- [19] S. Hinz. Integrating local and global features for vehicle detection in high resolution aerial imagery. *ISPRS Archives*, XXXIV, September 2003. Chair for Photogrammetry and remote sensing, TU München.
- [20] S. Kuthadi. Detection of objects from high-resolution satellite images. Master’s thesis, Department of Computer Science, University of Minnesota Duluth, Minnesota, USA, 2005.
- [21] R. Alba-Flores. Evaluation of the use of high-resolution satellite imagery in transportation applications. Technical Report CTS 05-11, Center for Transport Studies, Intelligent transportation systems institute, University of Minnesota, 2005. Department of Electrical and Computer Engineering, University of Minnesota Duluth, Minnesota, USA.
- [22] T. R. Lim and A. T. Guntoro. Car recognition using gabor filter feature extraction. In *Circuits and Systems, 2002. APCCAS '02. 2002 Asia-Pacific Conference on*, volume 2, pages 451–455, October 2002.
- [23] Z. Sun, G. Bebis, and R. Miller. Evolutionary gabor filter optimization with application to vehicle detection. In *ICDM '03: Proceedings of the Third IEEE International Conference on Data Mining*, page 307, Washington, DC, USA, 2003. IEEE Computer Society.

- [24] T. Zhao and R. Nevatia. Car detection in low resolution aerial image. In *Proceedings of International Conference on Computer Vision, Vancouver, Canada*, pages 710–717, 2001.
- [25] A. Isnes, O. T. Nilsen, and A. Sandås. *Fysikk for den videregående skolen – 2FY Grunnbok*. NKI forlaget, 2. utgave edition, 1990. ISBN: 82-562-2125-9.
- [26] E. W. Weisstein. legendre polynomial.from mathworld—a wolfram web resource. <http://mathworld.wolfram.com/LegendrePolynomial.html>.
- [27] http://en.wikipedia.org/wiki/Full_width_at_half_maximum. Full width at half maximum.
- [28] L. Aurdal. histogrammetoder.
- [29] A. Laliberte, A. Rango, and E. Frederickson. Separating green and senescent vegetation in very high resolution photography using an intensity-hue-saturation transformation and object based classification. In *Proceedings of the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Annual Conference, May 1-5, 2006, Reno, Nevada*, 2006.
- [30] A. R. Smith. Color gamut transform pairs. *SIGGRAPH Comput. Graph.*, 12(3):12–19, 1978.
- [31] D. Yan and Z. Zhao. Road detection from quickbird fused image using IHS transform and morphology. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS '03. Proceedings. 2003 IEEE International*, volume 6, pages 3967–3969, July 2003.
- [32] N. Otsu. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybern.*, SMC-9:62–66, 1979.
- [33] K. O. Hovda. Håndtering av objekters skygge i sceneanalyse. Master’s thesis, Institutt for Informatikk, Universitetet i Oslo, august 1994.
- [34] N. Efford. *Digital Image Processing – a practical introduction using Java*. Pearson Education Ltd., 2000. ISBN: 0-201-59623-7.
- [35] P. Pudil, J. Novovičová, and J. Kittler. Floating search methods in feature selection. *Pattern Recogn. Lett.*, 15(11):1119–1125, 1994.
- [36] D Zongker and A Jain. Algorithms for feature selection, an evaluation. In *Proceedings, the 13th International Conference on Pattern Recognition*, volume 2, pages 18–22, 1996.
- [37] H. Shulerud and F. Albrechtsen. Many are called, but few are chosen; feature selection and error estimation in high dimensional spaces. 2004. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 73, 1061 - 1073.
- [38] F. Albrechtsen. Segmentation by non-contextual thresholding methods – error versus relative object area.

- [39] B. Prinz, R. Wiemker, and H. Spitzer. Simulation of high resolution satellite imagery from multispectral airborne scanner imagery for accuracy assessment of fusion algorithms. *Contributions to the Joint Workshop of ISPRS WG I/1, I/3 and IV/4, Sensors and Mapping from Space*, 1997.
- [40] http://en.wikipedia.org/wiki/Red_edge. Red edge. Website.
- [41] A. Glaser. Satellite imagery. Lecture, Princeton University, February 2007.
- [42] <http://www.met.no>. Klimastatistikk: Vekstgradtall for mai og juni 2003 og mai og juni 2006.

Annexes

Tillegg A

Vedlegg

A.1 Beregning av egenskaper

Gråtoneegenskapene er innen et objekt skiltt på lyse og mørke segmenter. Disse er beregnet separat. *Frame*-egenskapene bruker rammen fra koblingen og beregner egenskaper basert på denne. Disse er i beregnet uten å skille på mørke og lyse objekter foruten 3 egenskaper hvor skillet på lyst og mørkt er beskrevet.

Area: Antall piksler i regionen angitt som kvadratmeter.

Elongation: Forholdstall mellom *Length* og *Width*.

Length: Lengden på boundingbox for det roterte segmentet angitt i meter. Bounding box finnes ved å beregne rotasjonen av objektet fra sentralmomentene. Objektet roteres for å ligge langs *x*-aksen. Lengden vil for biler representere lengden på bilen.

width: Bredden på segmentet angitt i meter, beregnet på lik måte som lengden.

Rectangularity: Forholdstall mellom arealet av objektet og rotert bounding box. Beskriver hvor rektangulært objektet er (hvor mye bounding box fylles).

Orientation: Rotasjonen på objektet.

Compactness: $(\textit{perimeter})^2 / \textit{area}$. Bekriver hvor kompakt en form er. Den mest kompakte formen er en sirkel.

Mask Distance: Antall piksler regionen er fra veikanten angitt som kvadratmeter.

Number of Segments: Antall segmenter objektet består av.

Spatial spread: Differansen mellom lyeste og mørkeste gråtone i et objekt.

Contrast: Differansen mellom *Region Mean* og snittverdien til yttrekant av objektet.

Region Mean: Snittverdien for gråtonene innen objektet.

Standard Deviation: Standard avviket for gråtonene innen objektet.

Boundary gradient: Snittverdien til gradienten (Sobel) i indre kant av objektet.

Gradient Mean: Snittverdien for gradienten (Sobel) innen objektet.

Smoothness: Forholdstall mellom *Boundary Gradient* og *Gradient Mean*.

Region Mean Frame: Snittverdien for rammen. Her skilles det på verdier som ligger over og under asfaltverdien.

Region Differance: Forholdstall mellom *Region Mean* og snittverdien i den delen av rammen som ikke er dekt av et objekt.

Contrast Frame: Differansen mellom snittverdien av gradienten (Sobel) for hele rammen, brukt under kobling, og gradienten av yttre kant av rammen.

Boundary Gradient Frame: Snittverdien til gradienten (Sobel) for indre kant av rammen.
Gradient Mean Frame: Snittverdien for gradienten (Sobel) for hele rammen.
Smoothness Frame: Forholdstall mellom *Boundary Gradient Frame* og *Gradient Mean Frame*.
Standard Deviation Frame: Standardavviket for gråtonene i rammen. Her skilles det på verdier som ligger over og under asfaltverdien.

A.2 Klassifiseringseksperimenter

I dette kapitlet er det brukt en koding av hvilke utsnitt som er brukt for trening og hvilket som er brukt for test av klassifikatoren. Koder som *tr123te4* betyr at det er trent på utsnitt 1, 2 og 3 mens det er testet på utsnitt 4. Tilsvarende vil *tr45te6* bety at det er trent på utsnitt 4 og 5 mens det er testet på utsnitt 6. Alle testene er beregnet med Matlab og PRTTools. Apriori sansynligheten er beregnet fra gjennomsnittet av alle utsnittene for en oppløsning.

test a) 1 flytende egenskap fra alle

Denne testen tar utgangspunkt i alle egenskaper og benytter Pudils Forward Floating Feature Selection (FFFS) til å bestemme den beste enkeltegenskapen.

QB original – Apriori sansynlighet 0.138

test a) for *tr123te4* har feilrate 0.118 med 1 flytende egenskap *Length*
test a) for *tr124te3* har feilrate 0.143 med 1 flytende egenskap *Compactness*
test a) for *tr134te2* har feilrate 0.273 med 1 flytende egenskap *Elongation*
test a) for *tr234te1* har feilrate 0.118 med 1 flytende egenskap *Width*
test a) gir snittfeil 0.163 med standardavvik 0.074

Sim 60 – Apriori sansynlighet 0.186

test a) for *tr45te6* har feilrate 0.350 med 1 flytende egenskap *Boundary Gradient*
test a) for *tr46te5* har feilrate 0.182 med 1 flytende egenskap *Length*
test a) for *tr56te4* har feilrate 0.150 med 1 flytende egenskap *Elongation*
test a) gir snittfeil 0.227 med standardavvik 0.107

Sim 50 – Apriori sansynlighet 0.195

test a) for *tr45te6* har feilrate 0.167 med 1 flytende egenskap *Gradient Mean*
test a) for *tr46te5* har feilrate 0.182 med 1 flytende egenskap *Numer of Segments*
test a) for *tr56te4* har feilrate 0.250 med 1 flytende egenskap *Gradient Mean Frame*
test a) gir snittfeil 0.199 med standardavvik 0.044

Sim 40 – Apriori sansynlighet 0.326

test a) for *tr45te6* har feilrate 0.300 med 1 flytende egenskap *Boundary Gradient*
test a) for *tr46te5* har feilrate 0.214 med 1 flytende egenskap *Length*
test a) for *tr56te4* har feilrate 0.174 med 1 flytende egenskap *Boundary Gradient*
test a) gir snittfeil 0.229 med standardavvik 0.064

Sim 30 – Apriori sansynlighet 0.133

test a) for tr45te6 har feilrate 0.111 med 1 flytende egenskap *Smoothness Frame*

test a) for tr46te5 har feilrate 0.273 med 1 flytende egenskap *Length*

test a) for tr56te4 har feilrate 0.182 med 1 flytende egenskap *Boundary Gradient*

test a) gir snittfeil 0.189 med standardavvik 0.081

Sim 20 – Apriori sansynlighet 0.256

test a) for tr45te6 har feilrate 0.158 med 1 flytende egenskap *Width*

test a) for tr46te5 har feilrate 0.083 med 1 flytende egenskap *Smoothness Frame*

test a) for tr56te4 har feilrate 0.217 med 1 flytende egenskap *Gradient Mean*

test a) gir snittfeil 0.153 med standardavvik 0.067

Sim 12,5 – Apriori sansynlighet 0.267

test a) for tr45te6 har feilrate 0.286 med 1 flytende egenskap *Width*

test a) for tr46te5 har feilrate 0.154 med 1 flytende egenskap *Elongation*

test a) for tr56te4 har feilrate 0.217 med 1 flytende egenskap *Boundary Gradient*

test a) gir snittfeil 0.219 med standardavvik 0.066

test b) 2 flytende egenskaper fra alle

Denne testen tar utgangspunkt i alle egenskaper og benytter Pudils Forward Floating Feature Selection (FFFS) til å bestemme de 2 beste enkelttegenskapene.

QB original – Apriori sansynlighet 0.138

test b) for tr123te4 har feilrate 0.059 med 2 flytende egenskaper *Length, Boundary Gradient Frame*

test b) for tr124te3 har feilrate 0.190 med 2 flytende egenskaper *Compactness, Boundary Gradient*

test b) for tr134te2 har feilrate 0.273 med 2 flytende egenskaper *Elongation*

test b) for tr234te1 har feilrate 0.118 med 2 flytende egenskaper *Width, Gradient Mean Frame*

test b) gir snittfeil 0.160 med standardavvik 0.092

Sim 60 – Apriori sansynlighet 0.186

test b) for tr45te6 har feilrate 0.350 med 2 flytende egenskaper *Boundary Gradient, Compactness*

test b) for tr46te5 har feilrate 0.182 med 2 flytende egenskaper *Length*

test b) for tr56te4 har feilrate 0.150 med 2 flytende egenskaper *Elongation*

test b) gir snittfeil 0.227 med standardavvik 0.107

Sim 50 – Apriori sansynlighet 0.195

test b) for tr45te6 har feilrate 0.222 med 2 flytende egenskaper *Gradient Mean, Area*

test b) for tr46te5 har feilrate 0.182 med 2 flytende egenskaper *Compactness, Width*

test b) for tr56te4 har feilrate 0.250 med 2 flytende egenskaper *Gradient Mean Frame*

test b) gir snittfeil 0.218 med standardavvik 0.034

Sim 40 – Apriori sansynlighet 0.326

test b) for tr45te6 har feilrate 0.350 med 2 flytende egenskaper *Boundary Gradient, Area*

test b) for tr46te5 har feilrate 0.214 med 2 flytende egenskaper *Length, Smoothness Frame*

test b) for tr56te4 har feilrate 0.174 med 2 flytende egenskaper *Boundary Gradient*

test b) gir snittfeil 0.246 med standardavvik 0.092

Sim 30 – Apriori sansynlighet 0.133

test b) for tr45te6 har feilrate 0.056 med 2 flytende egenskaper *Smoothness Frame, Elongation*

test b) for tr46te5 har feilrate 0.182 med 2 flytende egenskaper *Length, Compactness*

test b) for tr56te4 har feilrate 0.182 med 2 flytende egenskaper *Boundary Gradient*

test b) gir snittfeil 0.140 med standardavvik 0.073

Sim 20 – Apriori sansynlighet 0.256

test b) for tr45te6 har feilrate 0.158 med 2 flytende egenskaper *Width*

test b) for tr46te5 har feilrate 0.167 med 2 flytende egenskaper *Length, Compactness*

test b) for tr56te4 har feilrate 0.217 med 2 flytende egenskaper *Gradient Mean*

test b) gir snittfeil 0.181 med standardavvik 0.032

Sim 12,5 – Apriori sansynlighet 0.267

test b) for tr45te6 har feilrate 0.286 med 2 flytende egenskaper *Width*

test b) for tr46te5 har feilrate 0.154 med 2 flytende egenskaper *Area, Spatial Spread*

test b) for tr56te4 har feilrate 0.217 med 2 flytende egenskaper *Boundary Gradient*

test b) gir snittfeil 0.219 med standardavvik 0.066

test c) 3 flytende egenskaper fra alle

Denne testen tar utgangspunkt i alle egenskaper og benytter Pudils Forward Floating Feature Selection (FFFS) til å bestemme de 3 beste enkelttegenskapene.

QB original – Apriori sansynlighet 0.138

test c) for tr123te4 har feilrate 0.059 med 3 flytende egenskaper *Length, Boundary Gradient Frame*

test c) for tr124te3 har feilrate 0.143 med 3 flytende egenskaper *Compactness, Boundary Gradient, Region Mean*

test c) for tr134te2 har feilrate 0.091 med 3 flytende egenskaper *Elongation, Width, orientation*

test c) for tr234te1 har feilrate 0.176 med 3 flytende egenskaper *Width, Gradient Mean Frame, orientation*

test c) gir snittfeil 0.117 med standardavvik 0.053

Sim 60 – Apriori sansynlighet 0.186

test c) for tr45te6 har feilrate 0.400 med 3 flytende egenskaper *Boundary Gradient, Compactness, rectangularity*

test c) for tr46te5 har feilrate 0.182 med 3 flytende egenskaper *Length, Width, Elongation*

test c) for tr56te4 har feilrate 0.100 med 3 flytende egenskaper *Elongation, Length, Compactness*

test c) gir snittfeil 0.227 med standardavvik 0.155

Sim 50 – Apriori sansynlighet 0.195

test c) for tr45te6 har feilrate 0.222 med 3 flytende egenskaper *Gradient Mean, Area*

test c) for tr46te5 har feilrate 0.182 med 3 flytende egenskaper *Numer of Segments, Compactness, Width*

test c) for tr56te4 har feilrate 0.250 med 3 flytende egenskaper *Gradient Mean Frame*

test c) gir snittfeil 0.218 med standardavvik 0.034

Sim 40 – Apriori sansynlighet 0.326

test c) for tr45te6 har feilrate 0.300 med 3 flytende egenskaper *Boundary Gradient, Area, Standard Deviation*

test c) for tr46te5 har feilrate 0.214 med 3 flytende egenskaper *Length, Smoothness Frame, Contrast Frame*

test c) for tr56te4 har feilrate 0.174 med 3 flytende egenskaper *Boundary Gradient*

test c) gir snittfeil 0.229 med standardavvik 0.064

Sim 30 – Apriori sansynlighet 0.133

test c) for tr45te6 har feilrate 0.056 med 3 flytende egenskaper *Smoothness Frame, Elongation*

test c) for tr46te5 har feilrate 0.182 med 3 flytende egenskaper *Length, Compactness*

test c) for tr56te4 har feilrate 0.182 med 3 flytende egenskaper *Boundary Gradient*

test c) gir snittfeil 0.140 med standardavvik 0.073

Sim 20 – Apriori sansynlighet 0.256

test c) for tr45te6 har feilrate 0.158 med 3 flytende egenskaper *Width, Spatial Spread, Boundary Gradient*

test c) for tr46te5 har feilrate 0.167 med 3 flytende egenskaper *Compactness, Width, Spatial Spread*

test c) for tr56te4 har feilrate 0.217 med 3 flytende egenskaper *Gradient Mean*

test c) gir snittfeil 0.181 med standardavvik 0.032

Sim 12,5 – Apriori sansynlighet 0.267

test c) for tr45te6 har feilrate 0.333 med 3 flytende egenskaper *Width, Boundary Gradient, Area*

test c) for tr46te5 har feilrate 0.231 med 3 flytende egenskaper *Width, Area, Spatial Spread*

test c) for tr56te4 har feilrate 0.217 med 3 flytende egenskaper *Boundary Gradient*

test c) gir snittfeil 0.260 med standardavvik 0.063

test d) Den beste fast fra top 5 enkeltegenskaper

Denne testen velger den første enkeltegenskapen definert i tabell 5.2 og 5.3.

QB orginal – Apriori sansynlighet 0.138

test d) for tr123te4 har feilrate 0.000 med 1 fast egenskap *Contrast*

test d) for tr124te3 har feilrate 0.143 med 1 fast egenskap *Contrast*

test d) for tr134te2 har feilrate 0.273 med 1 fast egenskap *Contrast*

test d) for tr234te1 har feilrate 0.118 med 1 fast egenskap *Contrast*

test d) gir snittfeil 0.133 med standardavvik 0.112

Sim 60 – Apriori sansynlighet 0.186

test d) for tr45te6 har feilrate 0.150 med 1 fast egenskap *Contrast*

test d) for tr46te5 har feilrate 0.182 med 1 fast egenskap *Contrast*

test d) for tr56te4 har feilrate 0.150 med 1 fast egenskap *Contrast*

test d) gir snittfeil 0.161 med standardavvik 0.018

Sim 50 – Apriori sansynlighet 0.195

test d) for tr45te6 har feilrate 0.167 med 1 fast egenskap *Boundary Gradient*

test d) for tr46te5 har feilrate 0.182 med 1 fast egenskap *Boundary Gradient*

test d) for tr56te4 har feilrate 0.150 med 1 fast egenskap *Boundary Gradient*
test d) gir snittfeil 0.166 med standardavvik 0.016

Sim 40 – Apriori sansynlighet 0.326

test d) for tr45te6 har feilrate 0.250 med 1 fast egenskap *Area*
test d) for tr46te5 har feilrate 0.214 med 1 fast egenskap *Area*
test d) for tr56te4 har feilrate 0.130 med 1 fast egenskap *Area*
test d) gir snittfeil 0.198 med standardavvik 0.061

Sim 30 – Apriori sansynlighet 0.133

test d) for tr45te6 har feilrate 0.056 med 1 fast egenskap *Region Mean Diff*
test d) for tr46te5 har feilrate 0.091 med 1 fast egenskap *Region Mean Diff*
test d) for tr56te4 har feilrate 0.182 med 1 fast egenskap *Region Mean Diff*
test d) gir snittfeil 0.109 med standardavvik 0.065

Sim 20 – Apriori sansynlighet 0.256

test d) for tr45te6 har feilrate 0.158 med 1 fast egenskap *Width*
test d) for tr46te5 har feilrate 0.167 med 1 fast egenskap *Width*
test d) for tr56te4 har feilrate 0.174 med 1 fast egenskap *Width*
test d) gir snittfeil 0.166 med standardavvik 0.008

Sim 12,5 – Apriori sansynlighet 0.267

test d) for tr45te6 har feilrate 0.190 med 1 fast egenskap *Contrast*
test d) for tr46te5 har feilrate 0.231 med 1 fast egenskap *Contrast*
test d) for tr56te4 har feilrate 0.478 med 1 fast egenskap *Contrast*
test d) gir snittfeil 0.300 med standardavvik 0.156

test e) De 2 beste fast fra top 5 enkeltegenskaper

Denne testen velger de 2 første enkeltegenskapene definert i tabell 5.2 og 5.3.

QB original – Apriori sansynlighet 0.138

test e) for tr123te4 har feilrate 0.059 med 2 faste egenskaper *Contrast, Width*
test e) for tr124te3 har feilrate 0.143 med 2 faste egenskaper *Contrast, Width*
test e) for tr134te2 har feilrate 0.182 med 2 faste egenskaper *Contrast, Width*
test e) for tr234te1 har feilrate 0.235 med 2 faste egenskaper *Contrast, Width*
test e) gir snittfeil 0.155 med standardavvik 0.074

Sim 60 – Apriori sansynlighet 0.186

test e) for tr45te6 har feilrate 0.150 med 2 faste egenskaper *Contrast, Width*
test e) for tr46te5 har feilrate 0.182 med 2 faste egenskaper *Contrast, Width*
test e) for tr56te4 har feilrate 0.150 med 2 faste egenskaper *Contrast, Width*
test e) gir snittfeil 0.161 med standardavvik 0.018

Sim 50 – Apriori sansynlighet 0.195

test e) for tr45te6 har feilrate 0.167 med 2 faste egenskaper *Boundary Gradient, Spatial Spread*
test e) for tr46te5 har feilrate 0.000 med 2 faste egenskaper *Boundary Gradient, Spatial Spread*

test e) for tr56te4 har feilrate *0.150* med 2 faste egenskaper *Boundary Gradient, Spatial Spread*
test e) gir snittfeil *0.106* med standardavvik *0.092*

Sim 40 – Apriori sansynlighet 0.326

test e) for tr45te6 har feilrate *0.350* med 2 faste egenskaper *Area, Boundary Gradient*
test e) for tr46te5 har feilrate *0.214* med 2 faste egenskaper *Area, Boundary Gradient*
test e) for tr56te4 har feilrate *0.174* med 2 faste egenskaper *Area, Boundary Gradient*
test e) gir snittfeil *0.246* med standardavvik *0.092*

Sim 30 – Apriori sansynlighet 0.133

test e) for tr45te6 har feilrate *0.056* med 2 faste egenskaper *Region Mean Diff, Length*
test e) for tr46te5 har feilrate *0.273* med 2 faste egenskaper *Region Mean Diff, Length*
test e) for tr56te4 har feilrate *0.091* med 2 faste egenskaper *Region Mean Diff, Length*
test e) gir snittfeil *0.140* med standardavvik *0.117*

Sim 20 – Apriori sansynlighet 0.256

test e) for tr45te6 har feilrate *0.211* med 2 faste egenskaper *Width, Area*
test e) for tr46te5 har feilrate *0.333* med 2 faste egenskaper *Width, Area*
test e) for tr56te4 har feilrate *0.174* med 2 faste egenskaper *Width, Area*
test e) gir snittfeil *0.239* med standardavvik *0.084*

Sim 12,5 – Apriori sansynlighet 0.267

test e) for tr45te6 har feilrate *0.190* med 2 faste egenskaper *Contrast, Area*
test e) for tr46te5 har feilrate *0.231* med 2 faste egenskaper *Contrast, Area*
test e) for tr56te4 har feilrate *0.130* med 2 faste egenskaper *Contrast, Area*
test e) gir snittfeil *0.184* med standardavvik *0.050*

test f) Den beste flytende fra top 5 enkeltegenskaper

Denne testen tar utgangspunkt i de beste 5 enkeltegenskapene og benytter Pudils Forward Floating Feature Selection (FFFS) til å bestemme den beste enkeltegenskapen.

QB orginal – Apriori sansynlighet 0.138

test f) for tr123te4 har feilrate *0.059* med 1 flytende egenskap *Width*
test f) for tr124te3 har feilrate *0.143* med 1 flytende egenskap *Width*
test f) for tr134te2 har feilrate *0.273* med 1 flytende egenskap *Contrast*
test f) for tr234te1 har feilrate *0.118* med 1 flytende egenskap *Width*
test f) gir snittfeil *0.148* med standardavvik *0.090*

Sim 60 – Apriori sansynlighet 0.186

test f) for tr45te6 har feilrate *0.150* med 1 flytende egenskap *Elongation*
test f) for tr46te5 har feilrate *0.182* med 1 flytende egenskap *Contrast*
test f) for tr56te4 har feilrate *0.150* med 1 flytende egenskap *Elongation*
test f) gir snittfeil *0.161* med standardavvik *0.018*

Sim 50 – Apriori sansynlighet 0.195

test f) for tr45te6 har feilrate *0.167* med 1 flytende egenskap *Boundary Gradient*

test f) for tr46te5 har feilrate *0.182* med 1 flytende egenskap *Spatial Spread*
test f) for tr56te4 har feilrate *0.150* med 1 flytende egenskap *Boundary Gradient*
test f) gir snittfeil *0.166* med standardavvik *0.016*

Sim 40 – Apriori sansynlighet 0.326

test f) for tr45te6 har feilrate *0.300* med 1 flytende egenskap *Boundary Gradient*
test f) for tr46te5 har feilrate *0.143* med 1 flytende egenskap *Width*
test f) for tr56te4 har feilrate *0.174* med 1 flytende egenskap *Boundary Gradient*
test f) gir snittfeil *0.206* med standardavvik *0.083*

Sim 30 – Apriori sansynlighet 0.133

test f) for tr45te6 har feilrate *0.056* med 1 flytende egenskap *Length*
test f) for tr46te5 har feilrate *0.273* med 1 flytende egenskap *Length*
test f) for tr56te4 har feilrate *0.182* med 1 flytende egenskap *Region Mean Diff*
test f) gir snittfeil *0.170* med standardavvik *0.109*

Sim 20 – Apriori sansynlighet 0.256

test f) for tr45te6 har feilrate *0.158* med 1 flytende egenskap *Width*
test f) for tr46te5 har feilrate *0.083* med 1 flytende egenskap *Elongation*
test f) for tr56te4 har feilrate *0.217* med 1 flytende egenskap *Boundary Gradient*
test f) gir snittfeil *0.153* med standardavvik *0.067*

Sim 12,5 – Apriori sansynlighet 0.267

test f) for tr45te6 har feilrate *0.333* med 1 flytende egenskap *Area*
test f) for tr46te5 har feilrate *0.231* med 1 flytende egenskap *Area*
test f) for tr56te4 har feilrate *0.217* med 1 flytende egenskap *Boundary Gradient*
test f) gir snittfeil *0.260* med standardavvik *0.063*

test g) De 2 beste flytende fra top 5 enkeltegenskaper

Denne testen tar utgangspunkt i de beste 5 enkeltegenskapene og benytter Pudils Forward Floating Feature Selection (FFFS) til å bestemme de 2 beste enkeltegenskapene.

QB original – Apriori sansynlighet 0.138

test g) for tr123te4 har feilrate *0.118* med 2 flytende egenskaper *Width, Elongation*
test g) for tr124te3 har feilrate *0.143* med 2 flytende egenskaper *Width, Elongation*
test g) for tr134te2 har feilrate *0.273* med 2 flytende egenskaper *Contrast*
test g) for tr234te1 har feilrate *0.118* med 2 flytende egenskaper *Width*
test g) gir snittfeil *0.163* med standardavvik *0.074*

Sim 60 – Apriori sansynlighet 0.186

test g) for tr45te6 har feilrate *0.150* med 2 flytende egenskaper *Elongation*
test g) for tr46te5 har feilrate *0.182* med 2 flytende egenskaper *Contrast*
test g) for tr56te4 har feilrate *0.150* med 2 flytende egenskaper *Elongation*
test g) gir snittfeil *0.161* med standardavvik *0.018*

Sim 50 – Apriori sansynlighet 0.195

test g) for tr45te6 har feilrate *0.167* med 2 flytende egenskaper *Boundary Gradient, Length*
test g) for tr46te5 har feilrate *0.182* med 2 flytende egenskaper *Spatial Spread*
test g) for tr56te4 har feilrate *0.150* med 2 flytende egenskaper *Boundary Gradient*
test g) gir snittfeil *0.166* med standardavvik *0.016*

Sim 40 – Apriori sansynlighet 0.326

test g) for tr45te6 har feilrate *0.350* med 2 flytende egenskaper *Boundary Gradient, Area*
test g) for tr46te5 har feilrate *0.143* med 2 flytende egenskaper *Width, Contrast Frame*
test g) for tr56te4 har feilrate *0.174* med 2 flytende egenskaper *Boundary Gradient*
test g) gir snittfeil *0.222* med standardavvik *0.112*

Sim 30 – Apriori sansynlighet 0.133

test g) for tr45te6 har feilrate *0.056* med 2 flytende egenskaper *Length*
test g) for tr46te5 har feilrate *0.273* med 2 flytende egenskaper *Length*
test g) for tr56te4 har feilrate *0.182* med 2 flytende egenskaper *Region Mean Diff, Contrast*
test g) gir snittfeil *0.170* med standardavvik *0.109*

Sim 20 – Apriori sansynlighet 0.256

test g) for tr45te6 har feilrate *0.158* med 2 flytende egenskaper *Width*
test g) for tr46te5 har feilrate *0.250* med 2 flytende egenskaper *Area, Contrast*
test g) for tr56te4 har feilrate *0.217* med 2 flytende egenskaper *Boundary Gradient*
test g) gir snittfeil *0.208* med standardavvik *0.047*

Sim 12,5 – Apriori sansynlighet 0.267

test g) for tr45te6 har feilrate *0.190* med 2 flytende egenskaper *Area, Standard Deviation*
test g) for tr46te5 har feilrate *0.231* med 2 flytende egenskaper *Area, Standard Deviation*
test g) for tr56te4 har feilrate *0.217* med 2 flytende egenskaper *Boundary Gradient*
test g) gir snittfeil *0.213* med standardavvik *0.021*

test h) De 3 beste flytende fra top 5 enkeltegenskaper

Denne testen tar utgangspunkt i de beste 5 enkeltegenskapene og benytter Pudils Forward Floating Feature Selection (FFFS) til å bestemme de 3 beste enkeltegenskapene.

QB original – Apriori sansynlighet 0.138

test h) for tr123te4 har feilrate *0.118* med 3 flytende egenskaper *Width, Elongation*
test h) for tr124te3 har feilrate *0.143* med 3 flytende egenskaper *Width, Elongation*
test h) for tr134te2 har feilrate *0.273* med 3 flytende egenskaper *Contrast, Elongation, Region Mean*
test h) for tr234te1 har feilrate *0.118* med 3 flytende egenskaper *Width*
test h) gir snittfeil *0.163* med standardavvik *0.074*

Sim 60 – Apriori sansynlighet 0.186

test h) for tr45te6 har feilrate *0.150* med 3 flytende egenskaper *Elongation*
test h) for tr46te5 har feilrate *0.182* med 3 flytende egenskaper *Contrast*
test h) for tr56te4 har feilrate *0.150* med 3 flytende egenskaper *Elongation*
test h) gir snittfeil *0.161* med standardavvik *0.018*

Sim 50 – Apriori sansynlighet 0.195

test h) for tr45te6 har feilrate 0.167 med 3 flytende egenskaper *Boundary Gradient, Length*

test h) for tr46te5 har feilrate 0.182 med 3 flytende egenskaper *Spatial Spread*

test h) for tr56te4 har feilrate 0.150 med 3 flytende egenskaper *Boundary Gradient*

test h) gir snittfeil 0.166 med standardavvik 0.016

Sim 40 – Apriori sansynlighet 0.326

test h) for tr45te6 har feilrate 0.300 med 3 flytende egenskaper *Boundary Gradient, Area, Contrast Frame*

test h) for tr46te5 har feilrate 0.143 med 3 flytende egenskaper *Width, Contrast Frame*

test h) for tr56te4 har feilrate 0.174 med 3 flytende egenskaper *Boundary Gradient*

test h) gir snittfeil 0.206 med standardavvik 0.083

Sim 30 – Apriori sansynlighet 0.133

test h) for tr45te6 har feilrate 0.000 med 3 flytende egenskaper *Region Mean Diff, Contrast, Width*

test h) for tr46te5 har feilrate 0.273 med 3 flytende egenskaper *Length*

test h) for tr56te4 har feilrate 0.182 med 3 flytende egenskaper *Region Mean Diff, Contrast*

test h) gir snittfeil 0.152 med standardavvik 0.139

Sim 20 – Apriori sansynlighet 0.256

test h) for tr45te6 har feilrate 0.158 med 3 flytende egenskaper *Width*

test h) for tr46te5 har feilrate 0.333 med 3 flytende egenskaper *Width, Area, Contrast*

test h) for tr56te4 har feilrate 0.217 med 3 flytende egenskaper *Boundary Gradient*

test h) gir snittfeil 0.236 med standardavvik 0.089

Sim 12,5 – Apriori sansynlighet 0.267

test h) for tr45te6 har feilrate 0.238 med 3 flytende egenskaper *Area, Standard Deviation, Boundary Gradient*

test h) for tr46te5 har feilrate 0.231 med 3 flytende egenskaper *Area, Standard Deviation, Contrast*

test h) for tr56te4 har feilrate 0.217 med 3 flytende egenskaper *Boundary Gradient*

test h) gir snittfeil 0.229 med standardavvik 0.010

test i) Den beste fast fra top 5 sammensatte egenskaper

Denne testen velger den første sammensatte egenskapen definert i tabell 5.2 og 5.3.

QB original – Apriori sansynlighet 0.138

test i) for tr123te4 har feilrate 0.118 med 1 fast egenskap *Length*

test i) for tr124te3 har feilrate 0.190 med 1 fast egenskap *Length*

test i) for tr134te2 har feilrate 0.182 med 1 fast egenskap *Length*

test i) for tr234te1 har feilrate 0.118 med 1 fast egenskap *Length*

test i) gir snittfeil 0.152 med standardavvik 0.040

Sim 60 – Apriori sansynlighet 0.186

test i) for tr45te6 har feilrate 0.150 med 1 fast egenskap *Elongation*

test i) for tr46te5 har feilrate 0.182 med 1 fast egenskap *Elongation*

test i) for tr56te4 har feilrate *0.150* med 1 fast egenskap *Elongation*
test i) gir snittfeil *0.161* med standardavvik *0.018*

Sim 50 – Apriori sansynlighet 0.195

test i) for tr45te6 har feilrate *0.167* med 1 fast egenskap *Gradient Mean*
test i) for tr46te5 har feilrate *0.182* med 1 fast egenskap *Gradient Mean*
test i) for tr56te4 har feilrate *0.150* med 1 fast egenskap *Gradient Mean*
test i) gir snittfeil *0.166* med standardavvik *0.016*

Sim 40 – Apriori sansynlighet 0.326

test i) for tr45te6 har feilrate *0.300* med 1 fast egenskap *Boundary Gradient*
test i) for tr46te5 har feilrate *0.000* med 1 fast egenskap *Boundary Gradient*
test i) for tr56te4 har feilrate *0.174* med 1 fast egenskap *Boundary Gradient*
test i) gir snittfeil *0.158* med standardavvik *0.151*

Sim 30 – Apriori sansynlighet 0.133

test i) for tr45te6 har feilrate *0.111* med 1 fast egenskap *Smoothness Frame*
test i) for tr46te5 har feilrate *0.091* med 1 fast egenskap *Smoothness Frame*
test i) for tr56te4 har feilrate *0.136* med 1 fast egenskap *Smoothness Frame*
test i) gir snittfeil *0.113* med standardavvik *0.023*

Sim 20 – Apriori sansynlighet 0.256

test i) for tr45te6 har feilrate *0.211* med 1 fast egenskap *Elongation*
test i) for tr46te5 har feilrate *0.083* med 1 fast egenskap *Elongation*
test i) for tr56te4 har feilrate *0.174* med 1 fast egenskap *Elongation*
test i) gir snittfeil *0.156* med standardavvik *0.065*

Sim 12,5 – Apriori sansynlighet 0.267

test i) for tr45te6 har feilrate *0.190* med 1 fast egenskap *Elongation*
test i) for tr46te5 har feilrate *0.154* med 1 fast egenskap *Elongation*
test i) for tr56te4 har feilrate *0.217* med 1 fast egenskap *Elongation*
test i) gir snittfeil *0.187* med standardavvik *0.032*

test j) De 2 beste fast fra top 5 sammensatte egenskaper

Denne testen velger de 2 første sammensatte egenskapene definert i tabell 5.2 og 5.3.

QB orginal – Apriori sansynlighet 0.138

test j) for tr123te4 har feilrate *0.059* med 2 faste egenskaper *Length, Boundary Gradient Frame*
test j) for tr124te3 har feilrate *0.190* med 2 faste egenskaper *Length, Boundary Gradient Frame*
test j) for tr134te2 har feilrate *0.273* med 2 faste egenskaper *Length, Boundary Gradient Frame*
test j) for tr234te1 har feilrate *0.118* med 2 faste egenskaper *Length, Boundary Gradient Frame*
test j) gir snittfeil *0.160* med standardavvik *0.092*

Sim 60 – Apriori sansynlighet 0.186

test j) for tr45te6 har feilrate *0.300* med 2 faste egenskaper *Elongation, Length*
test j) for tr46te5 har feilrate *0.182* med 2 faste egenskaper *Elongation, Length*

test j) for tr56te4 har feilrate *0.150* med 2 faste egenskaper *Elongation, Length*
test j) gir snittfeil *0.211* med standardavvik *0.079*

Sim 50 – Apriori sansynlighet 0.195

test j) for tr45te6 har feilrate *0.167* med 2 faste egenskaper *Gradient Mean, Numer of Segments*
test j) for tr46te5 har feilrate *0.182* med 2 faste egenskaper *Gradient Mean, Numer of Segments*
test j) for tr56te4 har feilrate *0.150* med 2 faste egenskaper *Gradient Mean, Numer of Segments*
test j) gir snittfeil *0.166* med standardavvik *0.016*

Sim 40 – Apriori sansynlighet 0.326

test j) for tr45te6 har feilrate *0.300* med 2 faste egenskaper *Boundary Gradient, Length*
test j) for tr46te5 har feilrate *0.214* med 2 faste egenskaper *Boundary Gradient, Length*
test j) for tr56te4 har feilrate *0.174* med 2 faste egenskaper *Boundary Gradient, Length*
test j) gir snittfeil *0.229* med standardavvik *0.064*

Sim 30 – Apriori sansynlighet 0.133

test j) for tr45te6 har feilrate *0.056* med 2 faste egenskaper *Smoothness Frame, Elongation*
test j) for tr46te5 har feilrate *0.091* med 2 faste egenskaper *Smoothness Frame, Elongation*
test j) for tr56te4 har feilrate *0.227* med 2 faste egenskaper *Smoothness Frame, Elongation*
test j) gir snittfeil *0.125* med standardavvik *0.091*

Sim 20 – Apriori sansynlighet 0.256

test j) for tr45te6 har feilrate *0.211* med 2 faste egenskaper *Elongation, Width*
test j) for tr46te5 har feilrate *0.083* med 2 faste egenskaper *Elongation, Width*
test j) for tr56te4 har feilrate *0.174* med 2 faste egenskaper *Elongation, Width*
test j) gir snittfeil *0.156* med standardavvik *0.065*

Sim 12,5 – Apriori sansynlighet 0.267

test j) for tr45te6 har feilrate *0.190* med 2 faste egenskaper *Elongation, Length*
test j) for tr46te5 har feilrate *0.154* med 2 faste egenskaper *Elongation, Length*
test j) for tr56te4 har feilrate *0.174* med 2 faste egenskaper *Elongation, Length*
test j) gir snittfeil *0.173* med standardavvik *0.018*

test k) Den beste flytende fra top 5 sammensatte egenskaper

Denne testen tar utgangspunkt i de beste 5 sammensatte og benytter Pudils Forward Float-Feature Selection (FFFS) til å bestemme den beste enkeltegenskapene.

QB orginal – Apriori sansynlighet 0.138

test k) for tr123te4 har feilrate *0.118* med 1 flytende egenskap *Length*
test k) for tr124te3 har feilrate *0.143* med 1 flytende egenskap *Width*
test k) for tr134te2 har feilrate *0.273* med 1 flytende egenskap *Boundary Gradient Frame*
test k) for tr234te1 har feilrate *0.118* med 1 flytende egenskap *Width*
test k) gir snittfeil *0.163* med standardavvik *0.074*

Sim 60 – Apriori sansynlighet 0.186

test k) for tr45te6 har feilrate *0.350* med 1 flytende egenskap *Boundary Gradient*

test k) for tr46te5 har feilrate *0.182* med 1 flytende egenskap *Elongation*
test k) for tr56te4 har feilrate *0.150* med 1 flytende egenskap *Elongation*
test k) gir snittfeil *0.227* med standardavvik *0.107*

Sim 50 – Apriori sansynlighet 0.195

test k) for tr45te6 har feilrate *0.167* med 1 flytende egenskap *Gradient Mean*
test k) for tr46te5 har feilrate *0.182* med 1 flytende egenskap *Numer of Segments*
test k) for tr56te4 har feilrate *0.250* med 1 flytende egenskap *Gradient Mean Frame*
test k) gir snittfeil *0.199* med standardavvik *0.044*

Sim 40 – Apriori sansynlighet 0.326

test k) for tr45te6 har feilrate *0.300* med 1 flytende egenskap *Boundary Gradient*
test k) for tr46te5 har feilrate *0.214* med 1 flytende egenskap *Length*
test k) for tr56te4 har feilrate *0.174* med 1 flytende egenskap *Boundary Gradient*
test k) gir snittfeil *0.229* med standardavvik *0.064*

Sim 30 – Apriori sansynlighet 0.133

test k) for tr45te6 har feilrate *0.111* med 1 flytende egenskap *Smoothness Frame*
test k) for tr46te5 har feilrate *0.273* med 1 flytende egenskap *Length*
test k) for tr56te4 har feilrate *0.182* med 1 flytende egenskap *Boundary Gradient*
test k) gir snittfeil *0.189* med standardavvik *0.081*

Sim 20 – Apriori sansynlighet 0.256

test k) for tr45te6 har feilrate *0.158* med 1 flytende egenskap *Width*
test k) for tr46te5 har feilrate *0.083* med 1 flytende egenskap *Elongation*
test k) for tr56te4 har feilrate *0.217* med 1 flytende egenskap *Boundary Gradient*
test k) gir snittfeil *0.153* med standardavvik *0.067*

Sim 12,5 – Apriori sansynlighet 0.267

test k) for tr45te6 har feilrate *0.286* med 1 flytende egenskap *Width*
test k) for tr46te5 har feilrate *0.154* med 1 flytende egenskap *Elongation*
test k) for tr56te4 har feilrate *0.217* med 1 flytende egenskap *Elongation*
test k) gir snittfeil *0.219* med standardavvik *0.066*

test l) De 2 beste flytende fra top 5 sammensatte egenskaper

Denne testen tar utgangspunkt i de beste 5 sammensatte og benytter Pudils Forward Floating Feature Selection (FFFS) til å bestemme de 2 beste enkeltegenskapene.

QB orignal – Apriori sansynlighet 0.138

test l) for tr123te4 har feilrate *0.059* med 2 flytende egenskaper *Length, Boundary Gradient Frame*
test l) for tr124te3 har feilrate *0.143* med 2 flytende egenskaper *Width, Elongation*
test l) for tr134te2 har feilrate *0.273* med 2 flytende egenskaper *Boundary Gradient Frame*
test l) for tr234te1 har feilrate *0.176* med 2 flytende egenskaper *Width, Boundary Gradient Frame*
test l) gir snittfeil *0.163* med standardavvik *0.088*

Sim 60 – Apriori sansynlighet 0.186

test l) for tr45te6 har feilrate *0.350* med 2 flytende egenskaper *Boundary Gradient, Compactness*
test l) for tr46te5 har feilrate *0.182* med 2 flytende egenskaper *Elongation*
test l) for tr56te4 har feilrate *0.150* med 2 flytende egenskaper *Elongation*
test l) gir snittfeil *0.227* med standardavvik *0.107*

Sim 50 – Apriori sansynlighet 0.195

test l) for tr45te6 har feilrate *0.222* med 2 flytende egenskaper *Gradient Mean, Area*
test l) for tr46te5 har feilrate *0.182* med 2 flytende egenskaper *Numer of Segments, Compactness*
test l) for tr56te4 har feilrate *0.250* med 2 flytende egenskaper *Gradient Mean Frame*
test l) gir snittfeil *0.218* med standardavvik *0.034*

Sim 40 – Apriori sansynlighet 0.326

test l) for tr45te6 har feilrate *0.350* med 2 flytende egenskaper *Boundary Gradient, Area*
test l) for tr46te5 har feilrate *0.214* med 2 flytende egenskaper *Length, Smoothness Frame*
test l) for tr56te4 har feilrate *0.174* med 2 flytende egenskaper *Boundary Gradient*
test l) gir snittfeil *0.246* med standardavvik *0.092*

Sim 30 – Apriori sansynlighet 0.133

test l) for tr45te6 har feilrate *0.056* med 2 flytende egenskaper *Smoothness Frame, Elongation*
test l) for tr46te5 har feilrate *0.182* med 2 flytende egenskaper *Length, Compactness*
test l) for tr56te4 har feilrate *0.182* med 2 flytende egenskaper *Boundary Gradient*
test l) gir snittfeil *0.140* med standardavvik *0.073*

Sim 20 – Apriori sansynlighet 0.256

test l) for tr45te6 har feilrate *0.158* med 2 flytende egenskaper *Width*
test l) for tr46te5 har feilrate *0.250* med 2 flytende egenskaper *Spatial Spread, Area*
test l) for tr56te4 har feilrate *0.217* med 2 flytende egenskaper *Boundary Gradient, Spatial Spread*
test l) gir snittfeil *0.208* med standardavvik *0.047*

Sim 12,5 – Apriori sansynlighet 0.267

test l) for tr45te6 har feilrate *0.238* med 2 flytende egenskaper *Length, Compactness*
test l) for tr46te5 har feilrate *0.154* med 2 flytende egenskaper *Elongation*
test l) for tr56te4 har feilrate *0.217* med 2 flytende egenskaper *Elongation*
test l) gir snittfeil *0.203* med standardavvik *0.044*

test l) De 3 beste flytende fra top 5 sammensatte egenskaper

Denne testen tar utgangspunkt i de beste 5 sammensatte og benytter Pudils Forward Floating Feature Selection (FFFS) til å bestemme de 3 beste enkelttegenskapene.

QB original – Apriori sansynlighet 0.138

test m) for tr123te4 har feilrate *0.059* med 3 flytende egenskaper *Length, Boundary Gradient Frame*
test m) for tr124te3 har feilrate *0.143* med 3 flytende egenskaper *Width, Elongation*
test m) for tr134te2 har feilrate *0.091* med 3 flytende egenskaper *Boundary Gradient Frame, Width, Elongation*
test m) for tr234te1 har feilrate *0.059* med 3 flytende egenskaper *Width, Boundary Gradient Frame,*

Length

test m) gir snittfeil 0.088 med standardavvik 0.040

Sim 60 – Apriori sansynlighet 0.186

test m) for tr45te6 har feilrate 0.300 med 3 flytende egenskaper *Elongation, Length*

test m) for tr46te5 har feilrate 0.182 med 3 flytende egenskaper *Elongation, Length, Width*

test m) for tr56te4 har feilrate 0.100 med 3 flytende egenskaper *Elongation, Length, Compactness*

test m) gir snittfeil 0.194 med standardavvik 0.101

Sim 50 – Apriori sansynlighet 0.195

test m) for tr45te6 har feilrate 0.222 med 3 flytende egenskaper *Gradient Mean, Area*

test m) for tr46te5 har feilrate 0.182 med 3 flytende egenskaper *Numer of Segments, Compactness, Gradient Mean*

test m) for tr56te4 har feilrate 0.250 med 3 flytende egenskaper *Gradient Mean Frame*

test m) gir snittfeil 0.218 med standardavvik 0.034

Sim 40 – Apriori sansynlighet 0.326

test m) for tr45te6 har feilrate 0.300 med 3 flytende egenskaper *Boundary Gradient, Area, Contrast Frame*

test m) for tr46te5 har feilrate 0.214 med 3 flytende egenskaper *Length, Smoothness Frame, Contrast Frame*

test m) for tr56te4 har feilrate 0.174 med 3 flytende egenskaper *Boundary Gradient*

test m) gir snittfeil 0.229 med standardavvik 0.064

Sim 30 – Apriori sansynlighet 0.133

test m) for tr45te6 har feilrate 0.056 med 3 flytende egenskaper *Smoothness Frame, Elongation*

test m) for tr46te5 har feilrate 0.182 med 3 flytende egenskaper *Length, Compactness*

test m) for tr56te4 har feilrate 0.182 med 3 flytende egenskaper *Boundary Gradient*

test m) gir snittfeil 0.140 med standardavvik 0.073

Sim 20 – Apriori sansynlighet 0.256

test m) for tr45te6 har feilrate 0.158 med 3 flytende egenskaper *Width, Spatial Spread, Boundary Gradient*

test m) for tr46te5 har feilrate 0.250 med 3 flytende egenskaper *Spatial Spread, Area, Width*

test m) for tr56te4 har feilrate 0.217 med 3 flytende egenskaper *Boundary Gradient, Spatial Spread*

test m) gir snittfeil 0.208 med standardavvik 0.047

Sim 12,5 – Apriori sansynlighet 0.267

test m) for tr45te6 har feilrate 0.286 med 3 flytende egenskaper *Length, Compactness, Elongation*

test m) for tr46te5 har feilrate 0.154 med 3 flytende egenskaper *Elongation, Width, Length*

test m) for tr56te4 har feilrate 0.217 med 3 flytende egenskaper *Elongation*

test m) gir snittfeil 0.219 med standardavvik 0.066

test n) Width og Elongation

Denne testen velger fast egenskapene *Width* og *Elongation* for alle tester.

QB orginal – Apriori sansynlighet 0.138

test n) for tr123te4 har feilrate 0.118 med 2 faste egenskaper *Width, Elongation*
test n) for tr124te3 har feilrate 0.143 med 2 faste egenskaper *Width, Elongation*
test n) for tr134te2 har feilrate 0.182 med 2 faste egenskaper *Width, Elongation*
test n) for tr234te1 har feilrate 0.059 med 2 faste egenskaper *Width, Elongation*
test n) gir snittfeil 0.125 med standardavvik 0.052

Sim 60 – Apriori sansynlighet 0.186

test n) for tr45te6 har feilrate 0.150 med 2 faste egenskaper *Width, Elongation*
test n) for tr46te5 har feilrate 0.182 med 2 faste egenskaper *Width, Elongation*
test n) for tr56te4 har feilrate 0.150 med 2 faste egenskaper *Width, Elongation*
test n) gir snittfeil 0.161 med standardavvik 0.018

Sim 50 – Apriori sansynlighet 0.195

test n) for tr45te6 har feilrate 0.167 med 2 faste egenskaper *Width, Elongation*
test n) for tr46te5 har feilrate 0.182 med 2 faste egenskaper *Width, Elongation*
test n) for tr56te4 har feilrate 0.150 med 2 faste egenskaper *Width, Elongation*
test n) gir snittfeil 0.166 med standardavvik 0.016

Sim 40 – Apriori sansynlighet 0.326

test n) for tr45te6 har feilrate 0.300 med 2 faste egenskaper *Width, Elongation*
test n) for tr46te5 har feilrate 0.357 med 2 faste egenskaper *Width, Elongation*
test n) for tr56te4 har feilrate 0.087 med 2 faste egenskaper *Width, Elongation*
test n) gir snittfeil 0.248 med standardavvik 0.142

Sim 30 – Apriori sansynlighet 0.133

test n) for tr45te6 har feilrate 0.000 med 2 faste egenskaper *Width, Elongation*
test n) for tr46te5 har feilrate 0.273 med 2 faste egenskaper *Width, Elongation*
test n) for tr56te4 har feilrate 0.136 med 2 faste egenskaper *Width, Elongation*
test n) gir snittfeil 0.136 med standardavvik 0.136

Sim 20 – Apriori sansynlighet 0.256

test n) for tr45te6 har feilrate 0.211 med 2 faste egenskaper *Width, Elongation*
test n) for tr46te5 har feilrate 0.083 med 2 faste egenskaper *Width, Elongation*
test n) for tr56te4 har feilrate 0.174 med 2 faste egenskaper *Width, Elongation*
test n) gir snittfeil 0.156 med standardavvik 0.065

Sim 12,5 – Apriori sansynlighet 0.267

test n) for tr45te6 har feilrate 0.238 med 2 faste egenskaper *Width, Elongation*
test n) for tr46te5 har feilrate 0.154 med 2 faste egenskaper *Width, Elongation*
test n) for tr56te4 har feilrate 0.217 med 2 faste egenskaper *Width, Elongation*
test n) gir snittfeil 0.203 med standardavvik 0.044

test 0) Width og Contrast

Denne testen velger fast egenskapene *Width* og *Contrast* for alle tester.

QB original – Apriori sansynlighet 0.138

test o) for tr123te4 har feilrate 0.000 med 2 faste egenskaper *Width, Contrast*
test o) for tr124te3 har feilrate 0.143 med 2 faste egenskaper *Width, Contrast*
test o) for tr134te2 har feilrate 0.273 med 2 faste egenskaper *Width, Contrast*
test o) for tr234te1 har feilrate 0.118 med 2 faste egenskaper *Width, Contrast*
test o) gir snittfeil 0.133 med standardavvik 0.112

Sim 60 – Apriori sansynlighet 0.186

test o) for tr45te6 har feilrate 0.150 med 2 faste egenskaper *Width, Contrast*
test o) for tr46te5 har feilrate 0.182 med 2 faste egenskaper *Width, Contrast*
test o) for tr56te4 har feilrate 0.150 med 2 faste egenskaper *Width, Contrast*
test o) gir snittfeil 0.161 med standardavvik 0.018

Sim 50 – Apriori sansynlighet 0.195

test o) for tr45te6 har feilrate 0.167 med 2 faste egenskaper *Width, Contrast*
test o) for tr46te5 har feilrate 0.182 med 2 faste egenskaper *Width, Contrast*
test o) for tr56te4 har feilrate 0.150 med 2 faste egenskaper *Width, Contrast*
test o) gir snittfeil 0.166 med standardavvik 0.016

Sim 40 – Apriori sansynlighet 0.326

test o) for tr45te6 har feilrate 0.250 med 2 faste egenskaper *Width, Contrast*
test o) for tr46te5 har feilrate 0.286 med 2 faste egenskaper *Width, Contrast*
test o) for tr56te4 har feilrate 0.217 med 2 faste egenskaper *Width, Contrast*
test o) gir snittfeil 0.251 med standardavvik 0.034

Sim 30 – Apriori sansynlighet 0.133

test o) for tr45te6 har feilrate 0.056 med 2 faste egenskaper *Width, Contrast*
test o) for tr46te5 har feilrate 0.091 med 2 faste egenskaper *Width, Contrast*
test o) for tr56te4 har feilrate 0.182 med 2 faste egenskaper *Width, Contrast*
test o) gir snittfeil 0.109 med standardavvik 0.065

Sim 20 – Apriori sansynlighet 0.256

test o) for tr45te6 har feilrate 0.211 med 2 faste egenskaper *Width, Contrast*
test o) for tr46te5 har feilrate 0.167 med 2 faste egenskaper *Width, Contrast*
test o) for tr56te4 har feilrate 0.217 med 2 faste egenskaper *Width, Contrast*
test o) gir snittfeil 0.198 med standardavvik 0.028

Sim 12,5 – Apriori sansynlighet 0.267

test o) for tr45te6 har feilrate 0.190 med 2 faste egenskaper *Width, Contrast*
test o) for tr46te5 har feilrate 0.231 med 2 faste egenskaper *Width, Contrast*
test o) for tr56te4 har feilrate 0.217 med 2 faste egenskaper *Width, Contrast*
test o) gir snittfeil 0.213 med standardavvik 0.021

test p) Elongation og Contrast

Denne testen velger fast egenskapene *Elongation* og *Contrast* for alle tester.

QB orginal – Apriori sansynlighet 0.138

test p) for tr123te4 har feilrate 0.000 med 2 faste egenskaper *Elongation, Contrast*
test p) for tr124te3 har feilrate 0.143 med 2 faste egenskaper *Elongation, Contrast*
test p) for tr134te2 har feilrate 0.273 med 2 faste egenskaper *Elongation, Contrast*
test p) for tr234te1 har feilrate 0.118 med 2 faste egenskaper *Elongation, Contrast*
test p) gir snittfeil 0.133 med standardavvik 0.112

Sim 60 – Apriori sansynlighet 0.186

test p) for tr45te6 har feilrate 0.150 med 2 faste egenskaper *Elongation, Contrast*
test p) for tr46te5 har feilrate 0.182 med 2 faste egenskaper *Elongation, Contrast*
test p) for tr56te4 har feilrate 0.150 med 2 faste egenskaper *Elongation, Contrast*
test p) gir snittfeil 0.161 med standardavvik 0.018

Sim 50 – Apriori sansynlighet 0.195

test p) for tr45te6 har feilrate 0.167 med 2 faste egenskaper *Elongation, Contrast*
test p) for tr46te5 har feilrate 0.182 med 2 faste egenskaper *Elongation, Contrast*
test p) for tr56te4 har feilrate 0.150 med 2 faste egenskaper *Elongation, Contrast*
test p) gir snittfeil 0.166 med standardavvik 0.016

Sim 40 – Apriori sansynlighet 0.326

test p) for tr45te6 har feilrate 0.250 med 2 faste egenskaper *Elongation, Contrast*
test p) for tr46te5 har feilrate 0.286 med 2 faste egenskaper *Elongation, Contrast*
test p) for tr56te4 har feilrate 0.217 med 2 faste egenskaper *Elongation, Contrast*
test p) gir snittfeil 0.251 med standardavvik 0.034

Sim 30 – Apriori sansynlighet 0.133

test p) for tr45te6 har feilrate 0.056 med 2 faste egenskaper *Elongation, Contrast*
test p) for tr46te5 har feilrate 0.091 med 2 faste egenskaper *Elongation, Contrast*
test p) for tr56te4 har feilrate 0.182 med 2 faste egenskaper *Elongation, Contrast*
test p) gir snittfeil 0.109 med standardavvik 0.065

Sim 20 – Apriori sansynlighet 0.256

test p) for tr45te6 har feilrate 0.211 med 2 faste egenskaper *Elongation, Contrast*
test p) for tr46te5 har feilrate 0.083 med 2 faste egenskaper *Elongation, Contrast*
test p) for tr56te4 har feilrate 0.174 med 2 faste egenskaper *Elongation, Contrast*
test p) gir snittfeil 0.156 med standardavvik 0.065

Sim 12,5 – Apriori sansynlighet 0.267

test p) for tr45te6 har feilrate 0.190 med 2 faste egenskaper *Elongation, Contrast*
test p) for tr46te5 har feilrate 0.231 med 2 faste egenskaper *Elongation, Contrast*
test p) for tr56te4 har feilrate 0.174 med 2 faste egenskaper *Elongation, Contrast*
test p) gir snittfeil 0.198 med standardavvik 0.029

A.3 Alle utsnitt etter kobling for alle oppløsninger

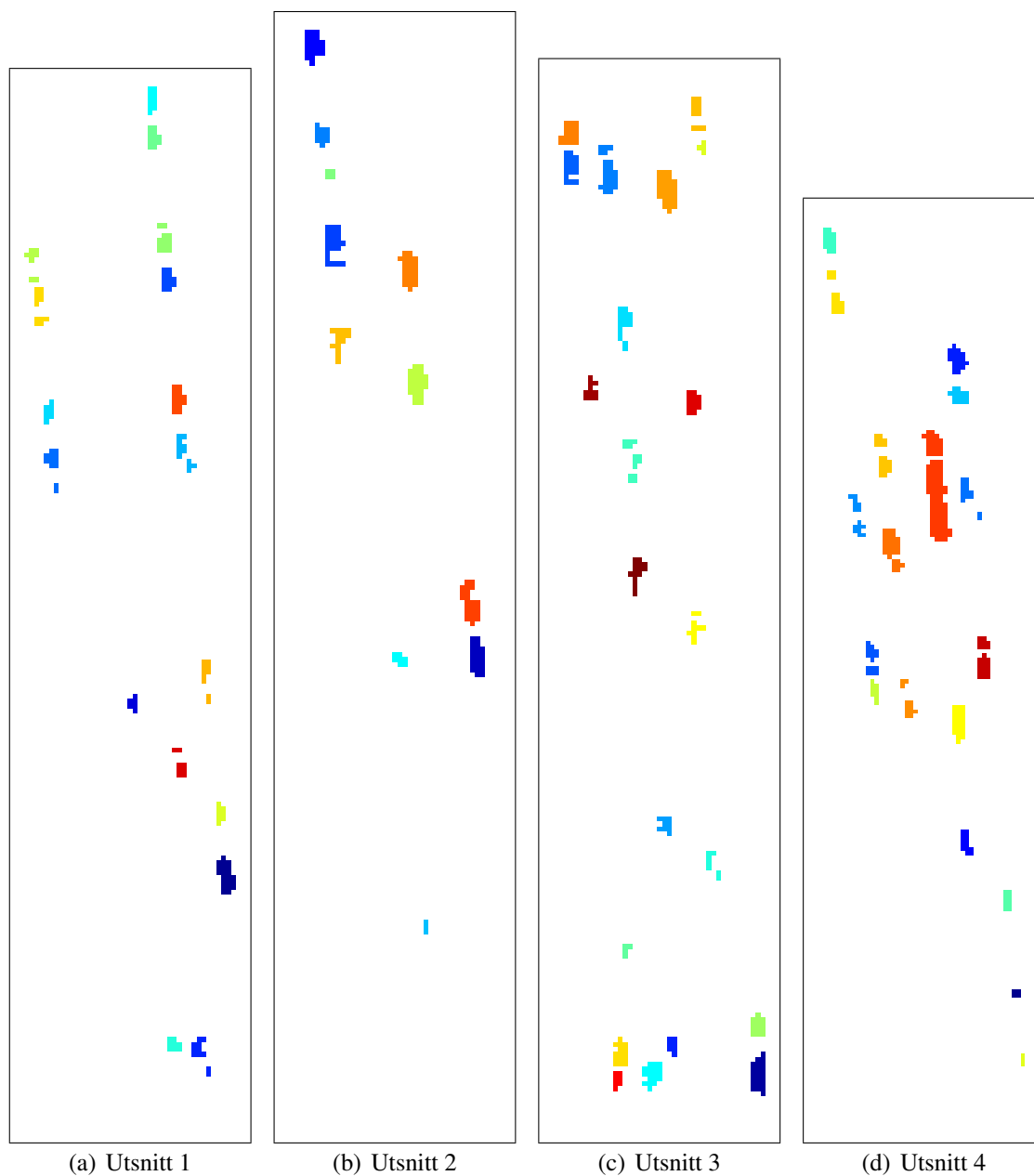


Figure A.1: Alle 4 QuickBird utsnittene etter segmentering og kobling

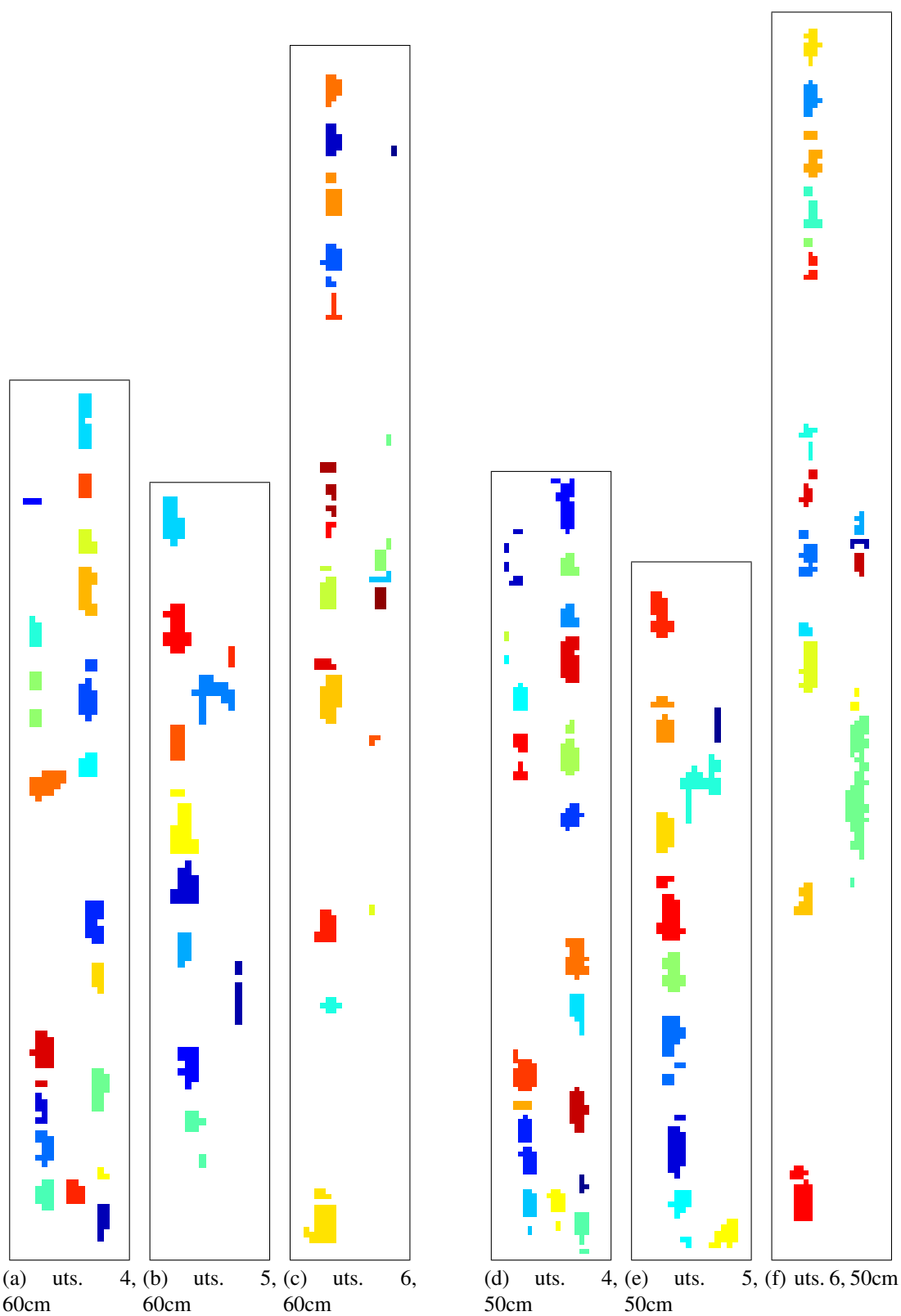


Figure A.2: Alle 3 simulerte QuickBird utsnitt etter segmentering og kobling for både 60cm og 50cm.

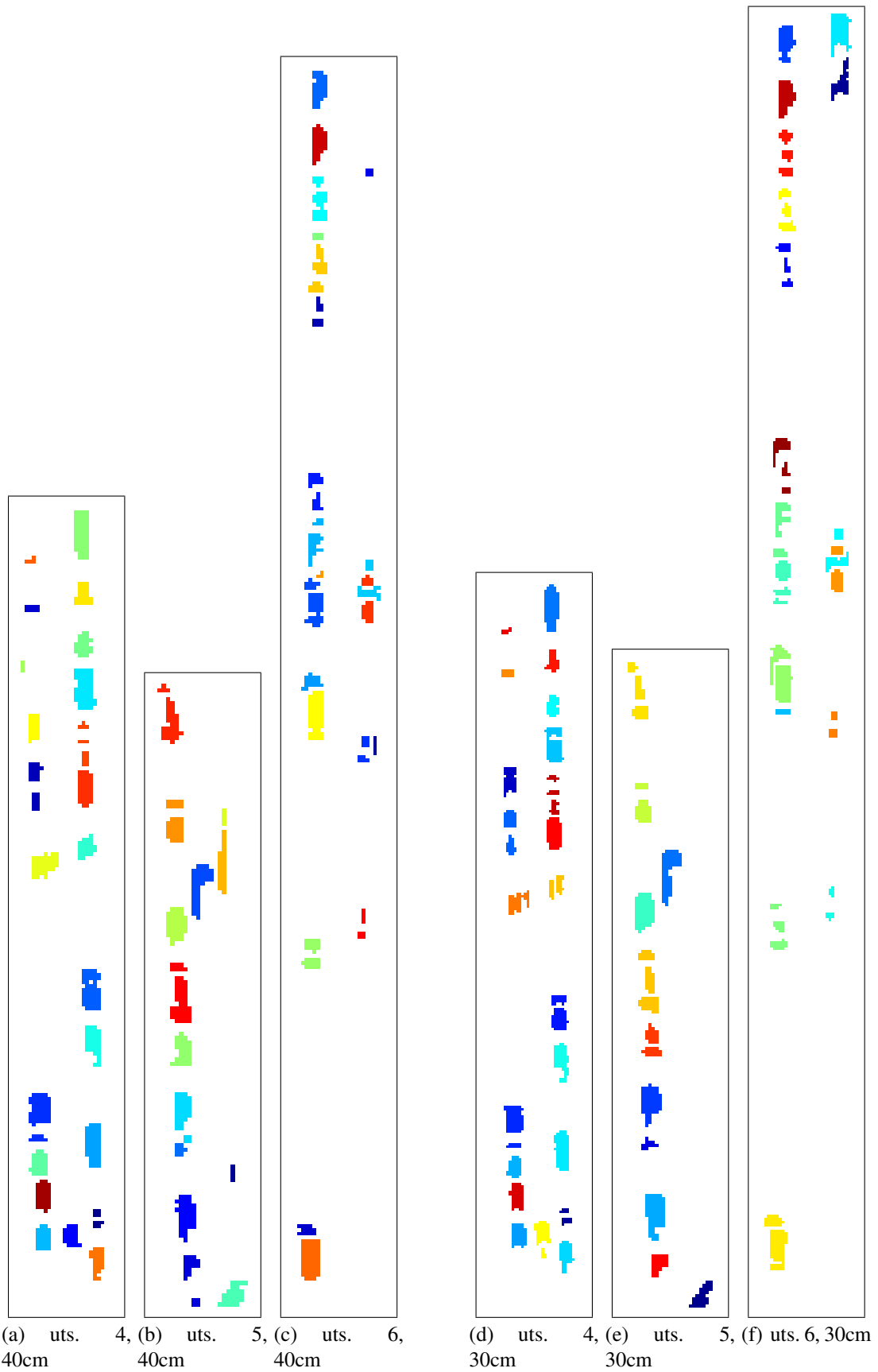


Figure A.3: Alle 3 simulerte QuickBird utsnitt etter segmentering og kobling for både 40cm og 30cm.

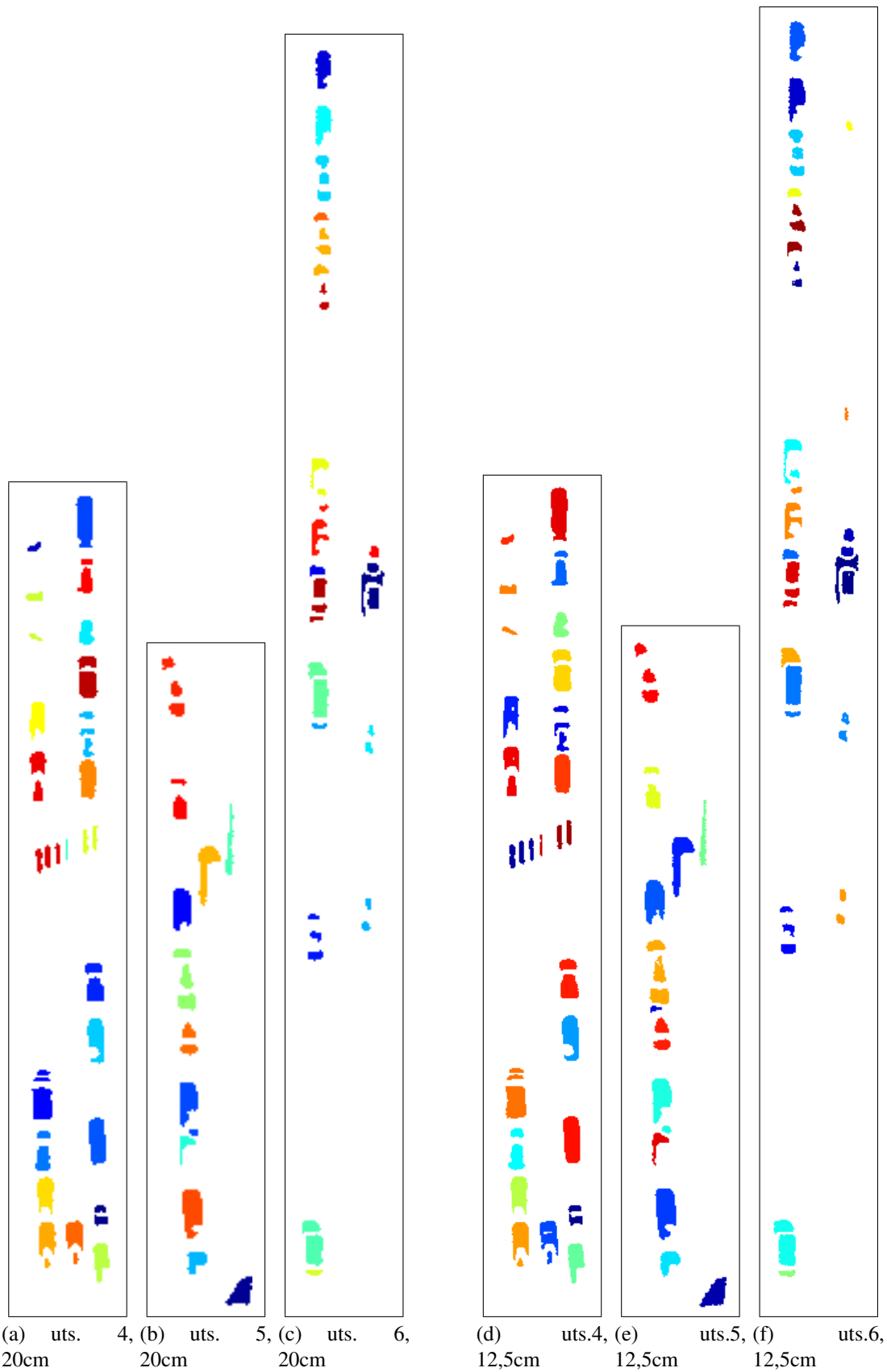


Figure A.4: Alle 3 simulerte QuickBird utsnitt etter segmentering og kobling for både 20cm og 12,5cm.

Del 2

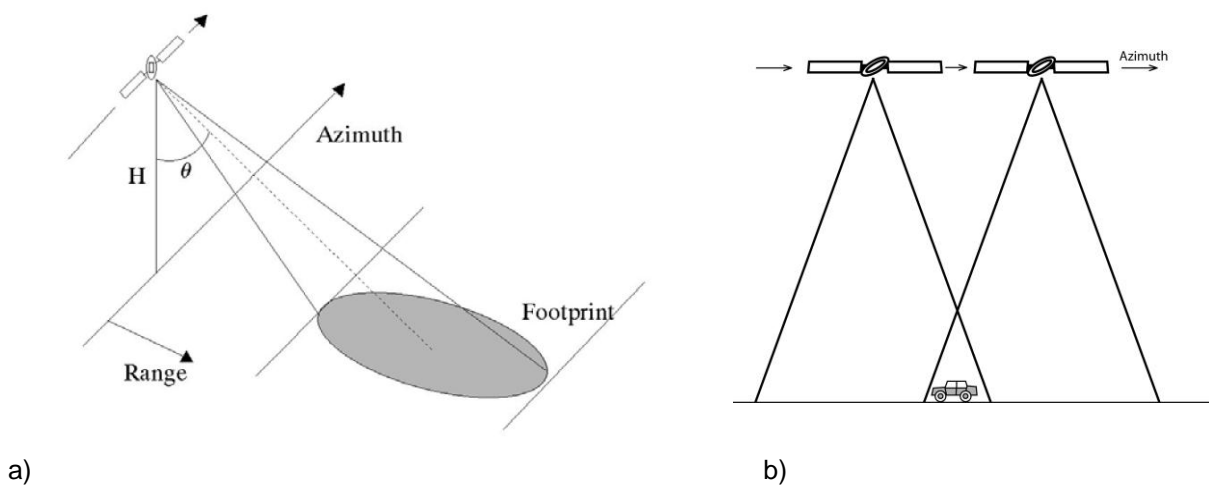
| | | |
|-----|---|-----|
| 1 | Bakgrunn..... | 115 |
| 1.1 | SAR..... | 115 |
| 1.2 | Innfallsvinkel og Aspekt..... | 116 |
| 1.3 | Tilbakespredning..... | 116 |
| 1.4 | Frekvensbånd..... | 117 |
| 1.5 | Polarisasjon..... | 117 |
| 1.6 | SAR satellitter..... | 118 |
| 1.7 | Radar signatur for kjøretøy..... | 118 |
| 1.8 | Problemstilling..... | 119 |
| 1.9 | Metode..... | 120 |
| 2 | Resultater..... | 121 |
| 2.1 | Statistikkgrunnlag..... | 121 |
| 2.2 | Støyreduksjon ved midling..... | 123 |
| 2.3 | Tilbakespredning fra kjøretøy for ulike radarvinkler..... | 124 |
| 2.4 | Krysspol og likepol..... | 126 |
| 2.5 | Gjennomsnittsverdier av tilbakespredning og kontrast..... | 128 |
| 2.6 | Tilbakespredning fra asfalt..... | 129 |
| 2.7 | Store kjøretøy..... | 130 |
| 2.8 | Tersklingsmasker..... | 131 |
| 2.9 | Pauli dekomposisjon..... | 132 |
| 3 | Diskusjon..... | 136 |
| 3.1 | Utsnitt..... | 137 |
| 3.2 | Terskling og maskering..... | 137 |
| 3.3 | Tilgjengelighet fra fly og satellitt..... | 138 |
| 3.4 | Fyllprosent..... | 138 |
| 4 | Konklusjon..... | 141 |
| | Referanser..... | 142 |
| | Appendix A Tilbakespredningsverdier for p-plasser i Lillestrøm..... | 144 |
| | Appendix B Eksempler på beregninger av fyllprosent som ikke førte frem..... | 146 |
| | Appendix C Oversikt over p-plasser i studien..... | 147 |

1 Bakgrunn

Prinsippet bak radarobservasjon er å sende ut radiobølger og måle tidsforsinkelsen på ekkoet. Siden mellomkrigstiden har man ved hjelp av radar kunnet avgjøre om det finnes et objekt i området, og hvor langt unna objektet er. Videreutvikling av prinsippet har gitt muligheter for bl.a. syntetisk aperture radar (SAR) bilder. Opptak kan gjøres uavhengig av lysforhold og skydekke, og dette gjør at bildetilgangen fra SAR satellitter er hyppigere og mer forutsigbar enn for optiske satellitter.

1.1 SAR

Radarantennen sender ut pulser som reflekteres fra bakken. En bildedannende radar er gjerne plassert i et fly eller på en satellitt og vil belyse et område på bakken til siden for seg, sett ned på skrå, se figur 1.



Figur 1. a) En SAR antenne sender pulser mot bakken til siden på skrå. b) Antennen nyttiggjør seg flybevegelsen for å få god oppløsning i azimuth. Mange ekko fra hvert punkt på bakken mottas og kombineres til et piksel ved SAR prosessering fra rådata til bilde. Rådata samles så lenge antennen "ser" punktet på bakken. Illustrasjon delvis fra [1].

En reell aperture radar vil gi god oppløsning i range og dårlig oppløsning i azimuth (flyretning). Oppløsningen i range er proporsjonal med båndbredden. Den er gitt av den korteste avstanden man kan ha mellom to punkter og allikevel være i stand til å skille dem fra hverandre. Dette avhenger av hastigheten en puls bruker frem og tilbake til jordoverflaten, og pulsbredden (τ) (som er $1/\text{båndbredden } B$). Oppløsningen i range er:

$$\Delta r = c\tau/2 = c/2B \quad (1.1.1)$$

hvor c er lyshastigheten. For å få god oppløsning ønskes korte pulser, samtidig som lengre pulser gir et bedre signal/støy forhold. Derfor brukes FM chirping som lar lange pulser variere i frekvens over et større frekvensområde. Dermed vil to pulstog som overlapper i tid kunne skilles ved at de er i forskjellig instantan fase [2].

Oppløsningen i azimuth er gitt av vidden på radarstrålen som igjen er gitt av antennelengden. En lang antenne gir en samlet stråle og dermed bedre oppløsning enn en kort antenne som sprer signalet mer. Fra satellitt vil en antenne med lengde 10 m typisk sende ut pulsstråler med vinkel

1-2 grader. I og med at avstanden til jordoverflaten er så stor, vil dette gi en oppløsning i azimuth på flere kilometer.

En SAR antenne nyttiggjør seg bevegelsen i flyretningen for å simulere en lang antenne (syntetisk) og motta mange ekko fra det samme punktet på bakken. Ved å kombinere disse ekkoene, kan oppløsningen i azimuth forbedres betydelig. SAR teknikken består av to prosesser; 1) opptak og 2) prosessering av rådata til bilde.

- 1) Ved opptak sendes det ut en puls for hver halve fysiske antennelengde, og mellom hver puls lytter radaren etter ekko; puls-lytte, puls-lytte. Når man vet avstanden til bakken er det mulig å avstemme pulsintervallet slik at kollisjoner av sendte og mottatte pulser unngås. Antall sendte/mottatte pulser for et punkt på bakken er gitt av flyhastigheten og bredden på pulsstrålen. Så lenge pulsstrålen har punktet innen sin rekkevidde, vil data fra dette punktet være med i opptaket. Jo bredere pulsstråle, jo mer data pr. punkt og dermed bedre oppløsning. Det er allerede sagt at en smal radarpulsstråle samler signalet og dermed gir en bedre oppløsning enn en bred, men for et SAR opptak er det antall ekko som er viktig for oppløsningen. Maksimal oppløsning i azimuth er begrenset til halvparten av den fysiske antennelengden. Dog er den optimale fysiske antennelengden ca 10 meter for å få et akseptabelt signal/støyforhold og en pulsrepetisjonsfrekvens som ikke er raskere enn det antennen kan håndtere.
- 2) Ved prosessering fra SAR rådata til bilde kombineres mange ekko fra det samme punktet ved hjelp av Doppler. Punktet vil først ha et positivt dopplerskift, så 0 som vil si at mottatt frekvens er lik utsendt frekvens, og deretter et negativt dopplerskift før det forsvinner ut av pulsstrålen. Hvert punkt på bakken har sin egen kombinasjon av range-historie og doppler-historie. Dette brukes til å lage et bilde med god oppløsning, som setter sammen mange ekko fra hvert punkt til en pikselverdi.

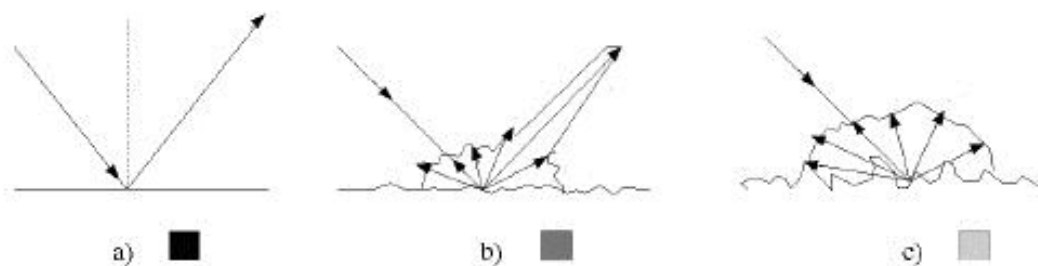
1.2 Innfallsvinkel og Aspekt

Et objekt på bakken vil ha to vinkelforhold til en skrå radarpulsstråle ovenfra, både strålens vinkel i forhold til planet (jordoverflaten), som er fast, og objektets plassering i planet, se figur 4 i kapittel 2, Resultater. Den første kalles innfallsvinkel, og kan være med å påvirke hvordan refleksjonen fra bakken arter seg. Den andre er aspekt og kan ha vesentlig betydning for om radarpulsstrålen speiles vekk eller reflekteres tilbake, særlig for menneskelagde objekter. En glatt havoverflate vil f.eks. ikke ha noen aspektvinkel, mens en vegg som står rett i mot strålen har en aspektvinkel på 90 grader.

1.3 Tilbakespredning

Radarsignalets tilbakespredning er avhengig av bl.a. overflatens ruhet. En glatt overflate vil speile signalet vekk fra radaren, og dermed ikke gi noen tilbakespredning. Utfallsvinkelen er lik innfallsvinkelen til radarstrålen, se figur 2a). En ujevn overflate vil spre signalet, og noe av signalet vil reflekteres direkte tilbake, mens noe av signal vil spres. Det spredte signalet vil også få en tilbakespredningskomponent, se figur 2b). Jo ruere overflaten er, jo større blir den spredte tilbakespredningskomponenten, mens den direkte refleksjonen blir mindre, se figur 2c). Bildedannende radar bruker amplituden på tilbakespredningen som intensitetsverdier i bildet. Speilblankt hav vil bli svart, mens bebyggelse vil lyse opp.

Radartverrsnitt, (Engelsk: Radar Cross Section, RCS), er et mål på hvor høy tilbakespredning et objekt har. Målet angis i m^2 selv om det ikke har noen sammenheng med objektets fysiske størrelse.



Figur 2. Overflatens ruhet styrer tilbakespredningen, som igjen gir intensitetsverdiene i bildet. En glatt overflate vil ikke gi noen tilbakespredning og svarte piksler, som i a), mens ruere overflater gir lysere piksler, som i b) og c). Illustrasjon delvis fra [1].

Det er et mål på hvor stor del av en isotropisk reflektor objektet representerer for radaren. RCS er den vanligste angivelsen av tilbakespredning. Mye brukt er også σ^0 , som er RCS per arealenhet.

1.4 Frekvensbånd

Et SAR instrument opererer på et forhåndsbestemt frekvensbånd, og maskinvaren i instrumentet er tilpasset dette frekvensbåndet. Det finnes ulike bånd å velge blant, avhengig av hva satellitten er optimalisert for å observere. Forskjellige bånd gir forskjellige avbildninger av den samme overflaten.

Frekvensområdet som oftest brukes av SAR, har bølgelengder fra 3 cm til 25 cm. Dette området slipper gjennom atmosfæren uten store tap. De mest brukte båndene med tilhørende bølgelengder, frekvenser og satellitter er listet opp i tabell A.

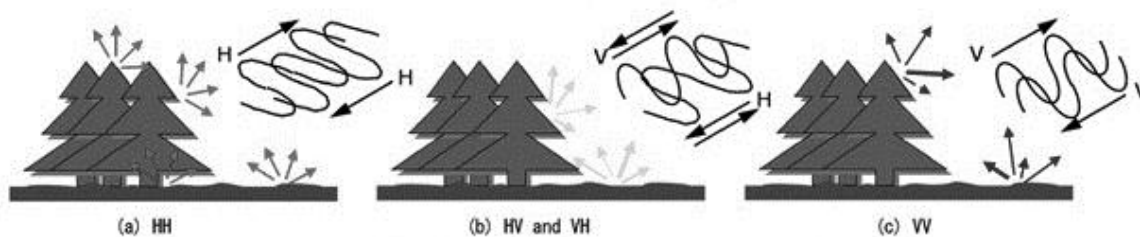
| Navn på bånd | Bølgelengde | Frekvens | Satellitter |
|--------------|-------------|----------|--------------------------------------|
| K-bånd | 1,2 cm | 24 GHz | Militært bruk |
| X bånd | 3,1 cm | 9,65 GHz | TerraSAR-X |
| C bånd | 6 cm | 5,3 GHz | ERS-1 og 2, Radarsat-1 og 2, Envisat |
| S bånd | 10 cm | 3 GHz | Almaz-1 |
| L bånd | 24 cm | 1270 MHz | Alos |

Tabell A. Frekvensbånd som benyttes av SAR satellitter [3][4].

Typisk vil et bånd gi sterke utslag for strukturer av størrelsesorden lik bølgelengden. X- bånd vil f.eks. få kraftig tilbakespredning fra overflater med mønster eller ujevnheter med avstander rundt 3 cm.

1.5 Polarisasjon

Radarpulsene kan sendes og mottas horisontalt eller vertikalt, evt. som en kombinasjon av retningene, se figur 3. Det er 4 polarisasjonsmuligheter, HH, VV, HV og VH, bokstavene står for henholdsvis sending og mottak. De forskjellige mulighetene vil gi ulikt signal tilbake, med unntak av HV og VH som vil bli like. Dersom man har opptak av alle fire polarisasjonsmulighetene samtidig kalles dette fullpolarimetri, og en slik kombinasjon kan bl.a. brukes til å beregne hva slags refleksjoner radarpulsene har hatt på bakken før antennen mottar tilbakespredningen.



Figur 3. Polariseringen av radarpulsene er med på å avgjøre hvilke strukturer på bakken som reflekterer signalet. Dette gir seg utslag i ulik tilbakespredning. Illustrasjon hentet fra [4].

Fullpolarimetri brukes ofte ved SAR opptak fra fly, men har til nå ikke vært tilgjengelig i satellitter. TerraSAR-X og RADARSAT-2, som begge skytes opp i 2007, vil endre dette.

1.6 SAR satellitter

De to mest brukte SAR-satellittene for norske formål er kanadiske RADARSAT-1 fra 1995 og ESA sin Envisat fra 2002. Begge opererer i C-bånd og har oppløsninger ned til hhv. 9 m og 25 m. I Norge brukes SAR bilder bl.a. til skipsdeteksjon, oljesøloversvåking, geologiske nedsynkningsanalyser og forskning. For noen anvendelser vil SAR satellittbilder være spesielt attraktive til å påvise endringer i terrenget ved gjentatte målinger over tid.

RADARSAT-2 er arvtageren til RADARSAT-1 og er utviklet og eies av den kanadiske stat i samarbeid med industrien. Den skal skytes opp i desember 2007, og vil få en oppløsning ned til 3 m, og med fullpolarimetri ned mot 9 m.

TerraSAR-X er utviklet og eies av det tyske romfartssenteret, DLR. Satellitten ble skutt opp 15. juni 2007 og har en oppløsning ned til 1m. Den opererer i X-bånd og kan tilby fullpolarimetri, foreløpig kun til forskningsformål.

Det knytter seg store forhåpninger til de høyoppløselige SAR-bildene og mange tenker at de kan brukes til å detektere objekter som hittil kun har vært synlige i optiske satellittbilder, som f.eks. kjøretøy.

1.7 Radar signatur for kjøretøy

Det kan være ønskelig å vite synbarheten i radar for forskjellige typer menneskelagde objekter, deriblant kjøretøy. Forsvaret ønsker f.eks. militære kjøretøy med minst mulig tilbakespredning, slik at de er kamuflert for fiendens radar. Synbarheten kan testes ut ved å plassere objektet på en dreieplate og bestråle det med radar. Deretter måles tilbakespredningen for alle bånd, polarisasjoner og vinkler, og resultatene settes sammen til en radarsignatur. Signaturen kan tegnes som en funksjon av RCS og aspektvinkel.

For sivile kjøretøy har det tyske romfartssenteret, DLR, påbegynt arbeidet med å lage en radarsignatur til bruk i det de omtaler som "traffic processor". De skiller ikke på ulike bilmodeller, men lager en samlet signatur. Prosessoren skal bruke data fra TerraSAR-X til å detektere biler, måle hastighet og fortelle hvor bilene befinner seg. Palubinskas m fl.[5] hevder at signaturen følger bølgefunksjoner for både X-, C- og L- bånd, og at det ikke er signifikante forskjeller mellom

båndene. Deres resultater viser bølgefunksjonene opp til 4. orden til tross for kun 5 målepunkter i enkelte tilfeller.

1.8 Problemstilling

For noen formål kan det være tilstrekkelig å fastslå hvorvidt det finnes ansamlinger av biler ulike steder og hvor store disse ansamlingene er. Man kan tenke seg at store bilansamlinger kan fortelle at mobiliseringen er i gang i en krisesituasjon, for å ta et eksempel. Denne studien har til hensikt å sammenlikne X-bånd, C-bånd og L-bånd med tanke på synbarhet av kjøretøy. Hvilke(t) bånd og polarisasjon(er) viser kjøretøy best?

SAR opptakene i denne studien vil ikke kunne gi en fullstendig radarsignatur for 360 graders aspekt. Kjøretøyene på hver p-plass har en fast innfallsvinkel og aspektvinkel. Dermed er det kun mulig å sammenlikne tilbakespredningen fra ulike kjøretøy på ulike p-plasser med de usikkerhetsmomentene det fører med seg.

Det å detektere enkeltbiler på veiene faller utenfor denne oppgavens mål. Avbildningen er kalibrert i forhold til at SAR antennen sitter på et fly eller en satellitt som flyr, mens objekter på jordoverflaten står stille. En radarbølge som sender mot et punkt fra en bevegelig kilde vil oppfattes som kortere når kilden kommer mot punktet og lengre når kilden beveger seg fra punktet. Dette kalles dopplereffekt, og er allerede kompensert for i et SAR bilde. Dersom objektet på bakken også beveger seg, vil dette objektet bli avbildet med en forflytning i bildet. Typisk vil en bil på veien avbildes utenfor veibanen, der det ofte er busker og annen vegetasjon. Slike biler er derfor mer kompliserte å detektere enn bilansamlinger som står stille, og vil kreve en annen fremgangsmåte.

Datamaterialet som ble brukt besto av optiske bilder i tillegg til 4-looks SAR. Et Quickbird bilde med 0,6 m oppløsning ble brukt som referanse ved geometrisk oppretting. Quickbird bildet ble tatt 5 dager etter fly-SAR bildene. Fly-SAR bildene ble tatt den 2. juni 2003 av det tyske E-SAR systemet. Oppløsningen og pikselstørrelsen til originaldataene var som vist i tabell B. Bildene ble resamplert til 0,6 m for å passe til referansen. Det var 6 forskjellige frekvensbånd/polarisasjoner; X-HH, C-HH, C-HV, L-HH, L-HV og L-VV. I tillegg var 30 cm optisk flyopptak av området til omtrent samme klokkeslett som fly-SAR bildene tilgjengelig.

| Bånd | Oppløsning | | Piksel størrelse | |
|--------|------------|---------|------------------|---------|
| | range | azimuth | range | azimuth |
| X-bånd | 1,99 m | 1,8 m | 0,75 m | 0,72 m |
| C-bånd | 1,99 m | 2,0 m | 0,75 m | 0,75 m |
| L-bånd | 1,99 m | 3,0 m | 0,75 m | 0,98 m |

Tabell B. Oppløsning og pikselstørrelse for fly-SAR bildene brukt i studien. Bildene er "multilook ground range detected" SAR bildeprodukter.

Hvert SAR frekvensbånd er tatt opp på hver sin fortløpende flygning over området, og SAR bildene fra ulike bånd har således et innbyrdes tidsavvik på 15-30 minutter. Det optiske bildet med 30 cm. oppløsning er tatt med et maksimalt avvik på 60 minutter i forhold til SAR bildene. Det er derfor mulig at noen biler kan ha flyttet seg mellom bildeopptakene, men det er ikke sannsynlig at dette gjelder et stort antall parkerte biler ettersom opptakene ble gjort mellom klokken 12.24 og 13.06 på en mandag. Det optiske bildet med oppløsning 30 cm. er dermed å anse som en bakkessannhet, om enn med enn viss usikkerhet, og blir omtalt i oppgaven som den optiske fasiten.

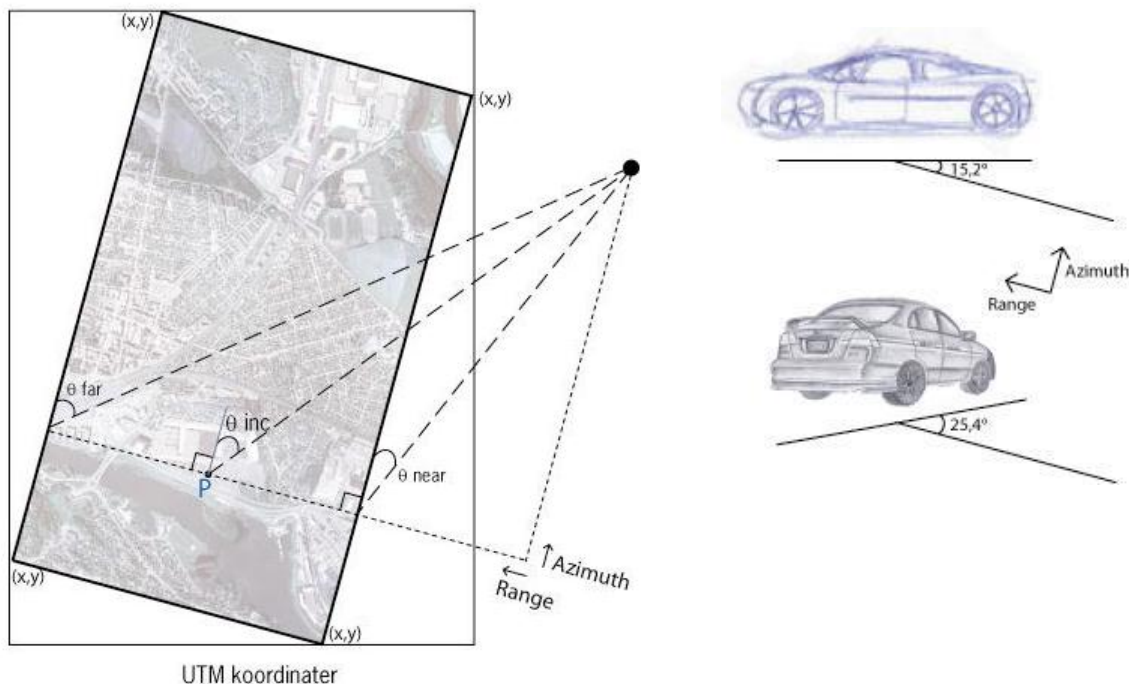
1.9 Metode

For å studere bilansamlinger, er parkeringsplasser et opplagt sted å velge. Fremgangsmåten som ble brukt i studien var i hovedtrekk følgende:

- Velge 10 P-plasser og angi for hver av dem
 - UTM koordinater
 - Aspektvinkel for kjøretøyenes lengderetning
 - Innfallsvinkel for hvert bånd
- Lage utsnitt av P-plasser
 - Terskle ut biler med Otsu's algoritme [11]
 - Beregne min, maks, gjennomsnitt og standardavvik for biler
 - Beregne min, maks, gjennomsnitt og standardavvik for egne utsnitt av bakgrunn
- Visualisere resultatene
- Undersøke om fyllprosent for P-plassene enkelt kan anslås på bakgrunn av intensitetsverdier
- Lage et bilde av fullpolarimetriske data i L-bånd v.h.a. Pauli dekomposisjon, og studere tilbakespredningstype for utvalgte P-plasser
- Rangere frekvensbånd og polarisasjoner i forhold til synbarhet av kjøretøy

2 Resultater

Ti P-plasser ble valgt fordelt over innfallsvinkler fra 31 – 51 grader. Aspektet ble valgt til å være kjøretøyenes lengderetning innenfor P-plassene, dvs. at et kjøretøy som står parallelt med azimuth, flyretningen, har en aspektvinkel på 90 grader i og med at SAR opptaket foregår til siden, i rangeretning, se figur 4.

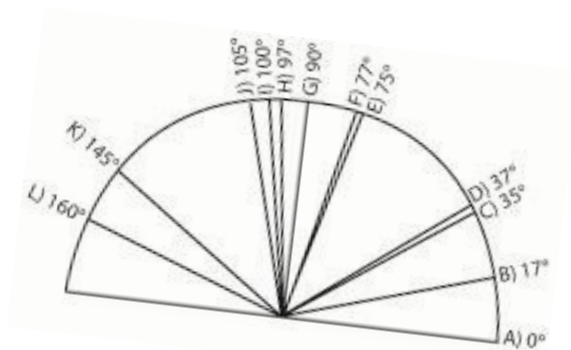
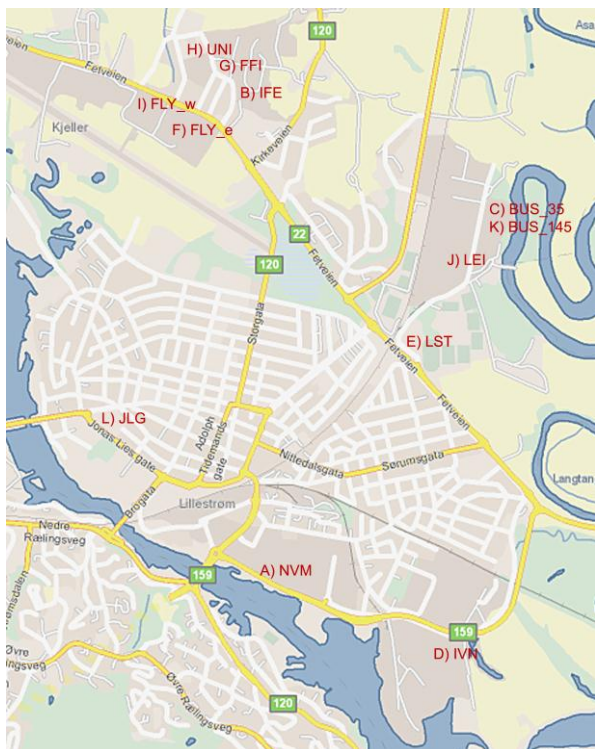


Figur 4. P-plassenes innfallsvinkler og kjøretøyenes aspektvinkler ble beregnet vha. pikselkoordinater og geometri. Bilillustrasjoner fra [6].

Det er ikke mulig å skille front og bak på et kjøretøy, og derfor går gradinndelingen fra 0 til 180 grader. To av P-plassene ble igjen delt i 2 forskjellige aspektvinkler fordi begge disse hadde parkerte kjøretøy med to hovedretninger. Til sammen ble det 12 kombinasjoner, merket A-L, se figur 5.

2.1 Statistikkgrunnlag

Parkeringsplassene med tilhørende UTM koordinater, innfallsvinkler og aspektvinkler ble listet opp i en tabell, se appendiks A. Statistikk for tilbakespredningen både til kjøretøy og bakgrunn ble beregnet for hvert frekvensbånd og polarisasjon. Kjøretøy på hver P-plass ble tersklet ut med Otsu's terskingsalgoritme for hver av de 6 kombinasjonene av bånd/polarisasjon. Den av tersklingsmaskene som best stemte overens med den faktiske plasseringen av bilene, dvs. det optiske bildet, ble så brukt for alle bånd/polarisasjoner på den aktuelle p-plassen. Ved denne fremgangsmåten er det tilbakespredningen fra den fysiske plasseringen av kjøretøy som sammenlignes bånd for bånd. Det innebærer at noen av kjøretøypikslene kanskje ikke har høyere tilbakespredning enn bakgrunnen. Alternativt kunne hvert bånd blitt tersklet individuelt, slik at kun pikslene med de høyeste verdiene ble karakterisert som "kjøretøypikslar" i hvert enkelt tilfelle. Diskusjon rundt segmenteringsmetode for kjøretøy kommer i kapittel 3.

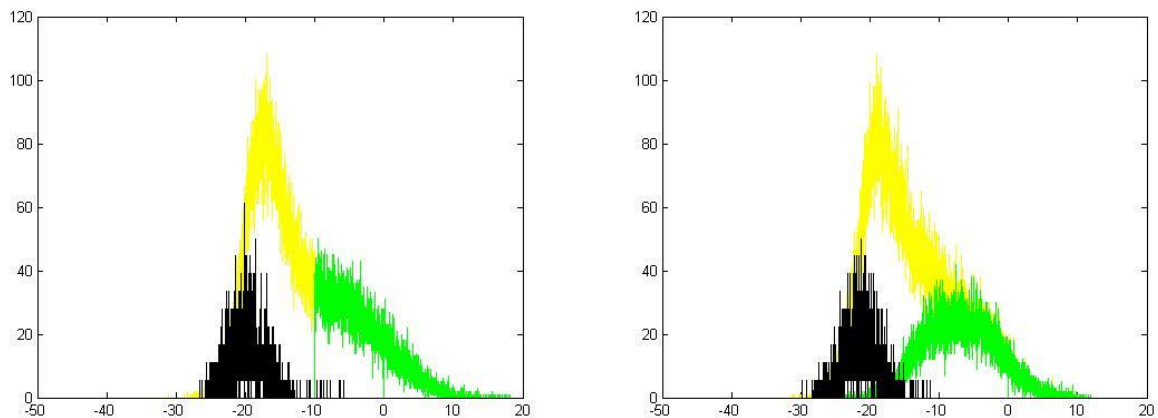


Figur 5. Parkeringsplassene ble jevnt fordelt mtp. innfallsvinkler. Aspektvinklene vist til høyre, varierer fra 0 grader til 160 grader. Merkingen A-H går igjen i kartet til venstre og viser fysisk plassering.

Bakgrunnsstatistikken ble hentet fra egne utsnitt av asfalt fra de ulike p-plassene, og ikke den bakgrunnen som ikke ble ansett som kjøretøy. Dette ble gjort for å få en så homogen bakgrunn som mulig, samt å kunne få frem et reelt overlapp mellom forgrunn og bakgrunn i alle bånd. Overlapp i verdiene til bakgrunn og kjøretøy forekommer på samtlige p-plasser, og varierer i omfang mellom de ulike båndene. I de tilfellene der båndets egen tersklingsmaske er brukt, er overlappet beskjedent. For de andre båndene kan gruppen av kjøretøypiksler strekke seg 15-20 dB lavere på skalaen. Dette skyldes manglende tilbakespredning fra et eller flere kjøretøy som var på p-plassen i følge tersklingsmasken og den optiske fasiten.

Figur 6 viser histogrammer for p-plassen A) NVM, *Norges Varemesse*, for X-HH og C-HH. På denne p-plassen er tersklingsmasken fra X-HH brukt som maske for alle bånd. Gule kurver er hele p-plassen for hhv. X-HH til venstre og C-HH til høyre. De svarte kurvene viser bakgrunnsverdier fra eget utsnitt av asfalt på den aktuelle p-plassen. De grønne kurvene er kjøretøypiksler. Kurven til venstre viser at X-HH har bakgrunnsverdiene fra -26,5 til -5,9 dB og kjøretøyverdier fra -10,04 dB til 18,16 dB. Overlappet mellom bakgrunn og kjøretøy er på ca. 4 dB og svært lite i omfang. Kurven til høyre viser at C-HH har bakgrunnsverdier fra -29,8 dB til -11,3 dB og kjøretøyverdier fra -26,06 dB til 11,8 dB. Her er overlappet mellom kjøretøypiksler og bakgrunnsverdier på ca. 15 dB, og omfanget er større enn for X-HH. Dette skyldes som tidligere nevnt at enkelte av kjøretøyene som ble tersklet ut i X-HH ikke har gitt forhøyet tilbakespredning i C-HH.

Den kombinasjonen av frekvensbånd/polariasjon som blir brukt som tersklingsmaske for den enkelte p-plass vil alltid gi minst overlapp mellom kjøretøy og bakgrunn, og minst standardavvik for kjøretøyklassen. Figur 6 (b) viser imidlertid at også det maskerte bildet i C-HH har tydelig avstand mellom histogramtoppene for kjøretøy og bakgrunn. Den valgte sammenlikningsmetoden vil derfor antakelig gi tilstrekkelig data om bl.a. signalstyrke og kontrast for kjøretøypiksler, i tillegg til hvor nøyaktig det aktuelle båndet avbilder kjøretøy, sammenliknet med det optiske bildet.



Figur 6. a) b)
 Histogrammer av hele p-plass (gul), bakgrunn (sort) og kjøretøy (grønn) for X-HH (a) og C-HH (b) på p-plass A) NVM, Norges Varemesse. Det er brukt en felles maske basert på kjøretøyenes fysiske plassering til å skille kjøretøy og bakgrunn, her basert på terskling av X-HH. Dette gir en vesentlig forskjell i overlapp mellom kjøretøy og bakgrunn for de to båndene. Begge bånd har imidlertid god avstand mellom histogramtoppene for kjøretøy og bakgrunn.

2.2 Støyreduksjon ved midling

Innen arbeid med SAR bilder er det vanlig å redusere støy ved å øke antall looks. Det vil si at bakgrunn gattes ved midling mens detaljer beholdes i størst mulig grad. Et SAR bilde inneholder mer støy enn et optisk bilde med samme oppløsning. I et 1-looks bilde er ingen støyreduksjon foretatt. Antall looks økes enten ved å midle verdier i SAR prosesseringen eller ved å glatte bildet med et adaptivt filter i etterkant. Antall looks (ENL = Equivalent Number of Looks) kan beregnes etter formelen [1]:

$$\sigma/\mu = 0,5/\sqrt{\text{ENL}} \quad (2.2.1)$$

hvor σ er standardavviket i et homogent område etter midling, og μ er middelveiden i det samme området, og denne er lik før og etter midling. Man øker altså antall looks ved å redusere standardavviket.

Ved deteksjon av objekter eller annet, økes ofte antall looks i forhold til ønsket konfidensintervall. Dvs. at dersom man skal være f.eks. 90 % sikker på at det er et ønsket objekt man detekterer, så må antall looks være høyere enn om man kun behøver å være 80 % sikker. SAR bildene i denne studien er som tidligere nevnt 4-look. Støyreduksjon av bildet er ikke foretatt p.g.a. studiens begrensede omfang og tid.

Like fullt er det et faktum at midling er vanlig i SAR bilder. Det er en viktig grunn for at det er middelveiden som har fått størst fokus i denne studien. Både når det gjelder bakgrunn og forgrunn, er det middelveidene som sier mest om hvor synlig kjøretøy er i det aktuelle båndet/polarisasjonen. Når studien bruker middelveidene som klasseverdier for asfalt og kjøretøy, vil dette tilsvare beregninger ved et høyere antall looks. ENL avhenger av hvor mange piksler som er brukt for å finne middelveiden. Typiske størrelser på utsnitt av kjøretøy og asfalt er 20 -150 piksler.

Ofte ga flere av båndene akseptable tersklingsresultater i forhold til den optiske fasiten. Men når det velges en felles maske vil de andre båndene nødvendigvis få noen bakgrunns piksler med i sine kjøretøyklasser, og dermed svært lave minimumsverdier. Disse minimumsverdiene bør derfor ikke tillegges for stor betydning ved tolkning av statistikken.

Radiometrisk oppløsning er et mål på spredningen til speckle i bildet: jo bedre radiometrisk oppløsning, jo lettere er det å skille to klasser i et SAR bilde, slik som kjøretøy og asfalt. Denne oppløsningen (γ) beregnes i dB etter formelen [1]:

$$\gamma = 10 \log (1 + \sigma/\mu) \quad (2.2.2)$$

$$\gamma = 10 \log (1 + 0,5/\sqrt{\text{ENL}}) \quad (2.2.1 \text{ innsatt i } 2.2.2)$$

Formelen viser at den radiometriske oppløsningen kun avhenger av ENL, og et 4-looks SAR bilde vil ha γ på 0,97 dB. Dette vil ikke si at man kan skille mellom forgrunn og bakgrunn ved en kontrast på 0,97 dB, det er flere faktorer som spiller inn. F.eks. vil kontrasten måtte være høyere dersom man må være veldig sikker på at det er et objekt man har funnet i forhold til om man kan leve med en viss usikkerhet.

En studie i change detection techniques [14] viser at for å få en falsk alarm rate (FAR) på maksimalt 5 %, må forgrunn og bakgrunn ha en kontrast på 6,48 dB ved bruk av 4 looks bilder. Hvis man øker antall looks til 16, er det tilstrekkelig med en kontrast på 3 dB.

2.3 Tilbakespredning fra kjøretøy for ulike radarvinkler

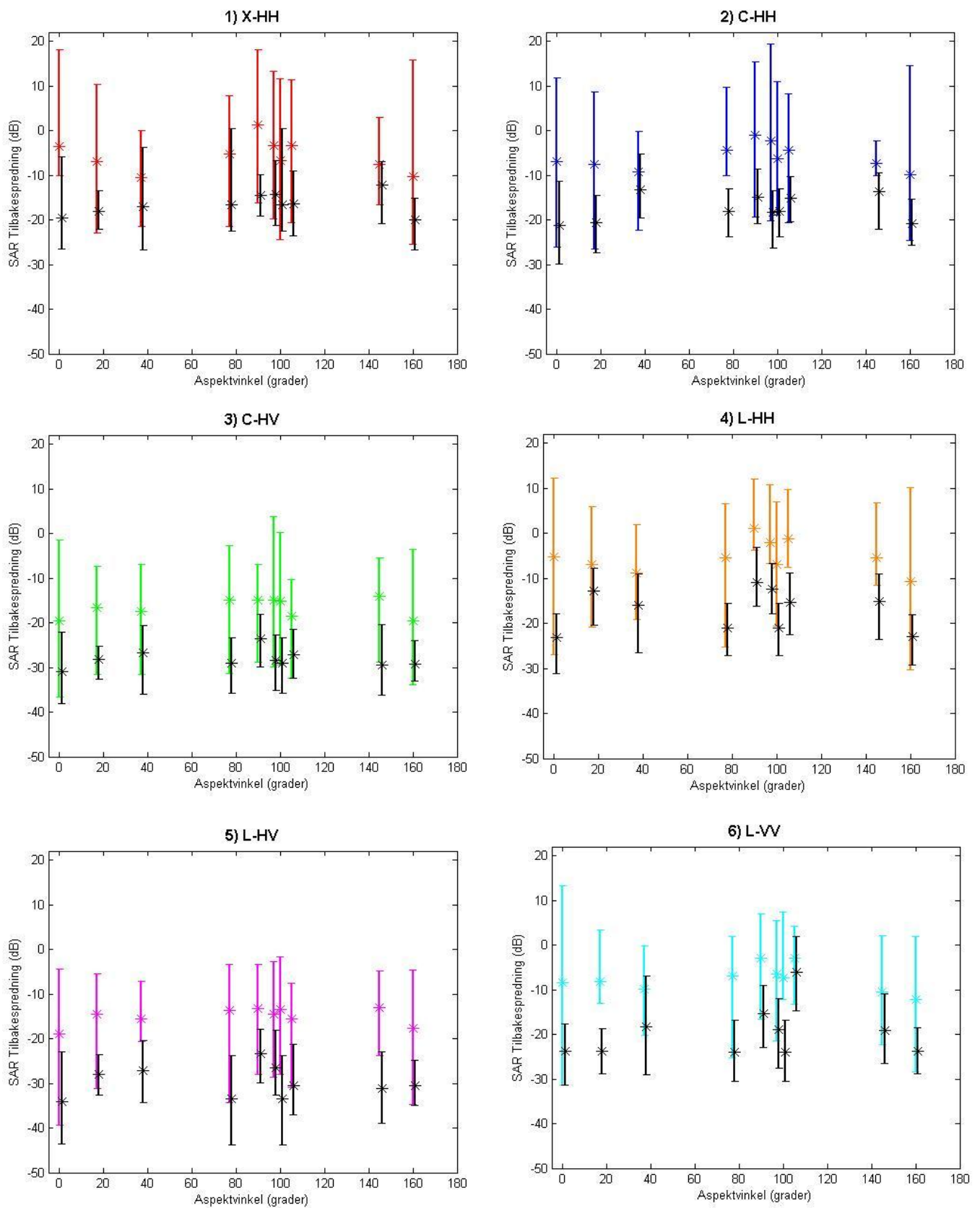
Grafisk fremstilling av tilbakespredningen til kjøretøy og bakgrunn versus aspektvinkler vises per frekvensbånd og polarisasjon i figur 7. Aspektvinklene varierer som tidligere nevnt fra 0 til 160 grader for våre parkeringsplasser. For hver aspektvinkel (p-plass) vises minimumsverdi, gjennomsnittsverdi og maksimumsverdi for kjøretøy (farge) og asfalt (svart). Denne studien har valgt å fokusere på tilbakespredning i forhold til aspektvinkel fordi det trolig er denne faktoren som påvirker synbarheten av kjøretøyet mest. Andre faktorer er innfallsvinkel, størrelse og type kjøretøy, parkeringstetthet og omgivelser rundt p-plassen, f.eks. kan høye bygninger og trær i en gitt vinkel sperre for sikten til radarstrålen. Noen av disse faktorene blir diskutert i oppgaven, dersom det antas å ha betydning for resultater og konklusjoner.

Kjøretøy i figur 7 er vist i farger og asfalt i svart. Som ventet er det et overlapp mellom de to klassene foruten der det aktuelle båndet er brukt som maske. Fordi det alt i alt er få kjøretøypiksler som ikke gir forhøyet tilbakespredning, skulle man kanskje tro at gjennomsnittsverdiene (*) for kjøretøy lå et stykke opp på øverste halvdel av de fargede stavene som viser kjøretøy. Slik er det ikke, gjennomsnittsverdiene ligger omtrent midt på stavene, og dette forteller antakelig at de høyeste verdiene for kjøretøy er like sjeldne som de lave.

Jo høyere kontrast man har mellom bakgrunn og objekt, jo sikrere kan man være på at det er et objekt man har funnet. For de aller fleste bånd, polarisasjoner og vinkler ligger gjennomsnittsverdiene for kjøretøy 10-15 dB over gjennomsnittet for asfalt. Maksimumsverdiene for kjøretøy ligger igjen 10-20 dB over gjennomsnittet for kjøretøy. Noen unntak finnes, spesielt i aspektvinklene 35 og 145 er kontrasten lavere. Disse to vinklene representerer busser fra samme p-plass, og omtales spesielt i avsnitt 2.6, *Store kjøretøy*.

SAR tilbakespredning versus aspektvinkel for kjøretøy og asfalt

Farget stav: kjøretøy, svart stav: asfalt, stjerne: gjennomsnittsverdi



Figur 7. Tilbakespredning fra kjøretøy og asfalt versus aspektvinkel for kjøretøy, for hvert bånd og polarisasjon. Kjøretøy vises med fargede staver fra minimum til maksimum. Asfalt vises med svarte staver fra minimum til maksimum. Stjerner viser gjennomsnittsverdier for begge klasser.

Det er ulike trender for likepol(1,2,4 og 6) og krysspól (3 og 5). For alle bånd og polarisasjoner har asfalt stor variasjon i tilbakespredningen. Høyeste tilbakespredning fra asfalt i forhold til kjøretøy har 6) L-VV i aspektvinkel 105. Denne p-plassen (Leiraveien) har store skader i asfalten.

I figur 7.6) L-VV sees veldig lav kontrast for P-plass J) LEI, Leiraveien, med aspektvinkel 105, fordi asfaltverdiene i dette båndet er overraskende høye. Dette belyses nærmere i avsnitt 2.5, *Tilbakespredning fra asfalt*. Aspektvinklene rundt 0, 90 og 160 gir de høyeste verdiene og største spredningen i kjøretøypiksler, spesielt for X og C bånd. Kjøretøy består av både store og små strukturer, og her kan de små strukturene som f.eks. mønster i grill og felger, vindusviskere og luftkanaler ha gitt sterke refleksjoner. Vinkler der radarpulsene treffer på kort og langsida av kjøretøyene, slik som 0, 90 og 180, vil i større grad speile signalet tilbake enn andre vinkler.

Krysspol (3 og 5) har verdier som ligger vesentlig lavere enn likepol (1,2,4 og 6). En sammenlikning av disse to hovedpolarisasjonstypene utdypes i neste avsnitt, *Krysspol og likepol*.

Innfallsvinkelen for de ulike p-plassene er ikke med i figur 7. Derfor er innfallsvinklene oppført i stigende rekkefølge sammen med gjennomsnittlig tilbakespredning fra hvert frekvensbånd og polarisasjon i tabell C, for å se om det kan påpekes noen sammenheng mellom disse. Flere faktorer enn innfallsvinkel skifter mellom de ulike p-plassene, så en sammenlikning av like forhold forøvrig, men med ulik innfallsvinkel, har ikke vært mulig. Denne studien kan ikke se at tilbakespredningen endrer seg i takt med innfallsvinkelen. Det som imidlertid sees av tabellen er at noen av p-plassene med tilnærmet lik innfallsvinkel har lignende tilbakespredningsverdier. P-plassene C og K er samme p-plass med innfallsvinkel 37,1 grader, med busser oppstilt i aspektvinklene 35 grader og 145 grader. Disse to gruppene av busser har veldig like tilbakespredningsverdier, gjennomsnittlig avvik mellom dem er 0,7 dB. Like tilbakespredningsverdier er det også på p-plassene H, F og I. P-plassene F og I er samme p-plass med innfallsvinkel 53,3 grader og biler parkert i aspektvinklene 77 grader og 100 grader. P-plass H er en egen plass med innfallsvinkel 53,3 grader og aspektvinkel 97 grader. Disse tre gruppene av biler har tilbakespredningsverdier som likner, bånd for bånd. Gjennomsnittlig avvik mellom de tre plassene er 1,2 dB. Det finnes også et eksempel på at p-plasser med forholdsvis like innfallsvinkler har store variasjoner seg imellom i tilbakespredningsverdiene for kjøretøy. P-plassene B, G og L har innfallsvinkler på henholdsvis 52,0 grader, 52,2 grader og 52,8 grader, og aspektvinkler på 17 grader, 90 grader og 160 grader. Her er gjennomsnittlig avvik mellom de tre plassene på 6,8 dB.

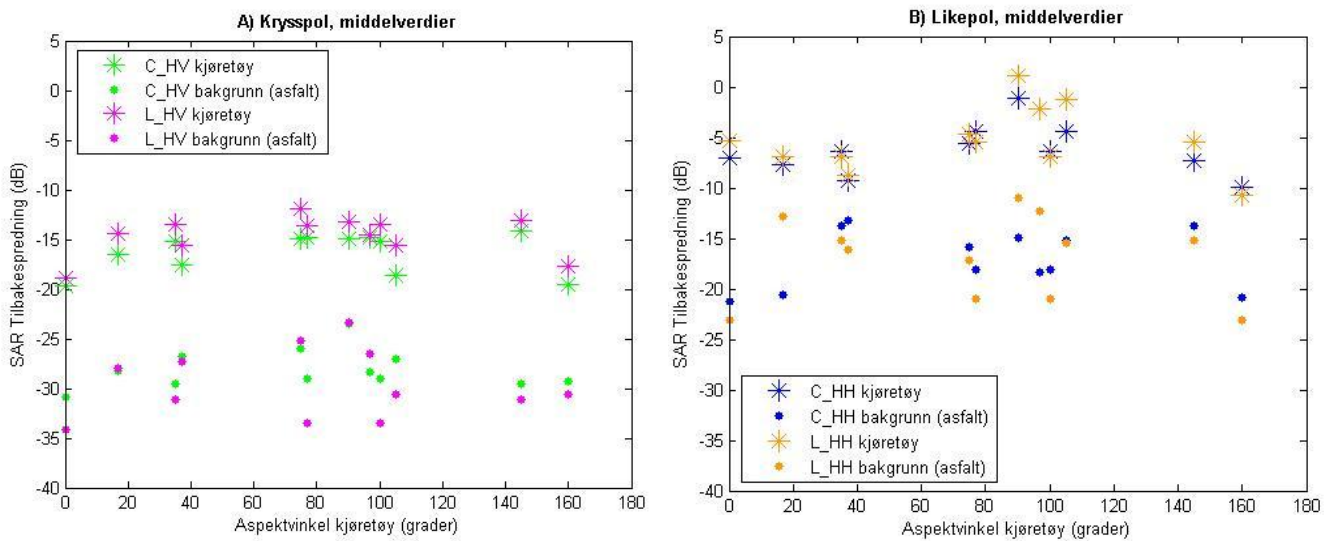
| Gjennomsnittlig tilbakespredning fra kjøretøy versus innfallsvinkel | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| θ inc | 31,0 | 37,1 | 37,1 | 38,0 | 39,7 | 43,5 | 52,0 | 52,2 | 52,8 | 53,3 | 53,3 | 53,3 |
| X-HH | -10,4 | -7,4 | -7,6 | -3,4 | -7,0 | -3,6 | -6,9 | 1,3 | -10,4 | -3,5 | -5,4 | -6,7 |
| C-HH | -9,3 | -8,2 | -7,3 | -4,4 | -5,5 | -7,0 | -7,7 | -1,1 | -10,0 | -2,2 | -4,4 | -6,4 |
| C-HV | -17,5 | -14,0 | -14,2 | -18,6 | -15,0 | -19,7 | -16,6 | -15,0 | -19,6 | -14,9 | -14,9 | -15,3 |
| L-HH | -8,8 | -5,6 | -5,5 | -1,3 | -4,7 | -5,3 | -6,9 | 1,1 | -10,8 | -2,2 | -5,5 | -7,0 |
| L-HV | -15,5 | -15,7 | -13,1 | -15,6 | -11,9 | -18,9 | -14,5 | -13,3 | -17,7 | -14,5 | -13,6 | -13,4 |
| L-VV | -9,8 | -10,5 | -10,6 | -3,0 | -5,8 | -8,4 | -8,3 | -3,0 | -12,1 | -6,4 | -7,1 | -7,5 |
| P-plass | D | C | K | J | E | A | B | G | L | H | F | I |
| Aspekt | 37 | 35 | 145 | 105 | 75 | 0 | 17 | 90 | 160 | 97 | 77 | 100 |

Tabell C. Gjennomsnittlige tilbakespredningsverdier fra kjøretøy for hvert bånd og polarisasjon er satt opp sammen med innfallsvinkel. Noen av p-plassene med tilnærmet lik innfallsvinkel har lignende tilbakespredningsverdier (C/K og H/F/I), mens andre har større variasjoner (B/G/L).

2.4 Krysspol og likepol

Det er kjent fra lærebøker og artikler at tilbakespredningsverdier i krysspol ligger i størrelsesorden 10 -15 dB lavere enn likepol [5,8]. Dette gjelder også for denne studien. Båndene med krysspol

har gjennomsnittlige tilbakespredningsverdier for kjøretøy på $-15 \text{ dB} \pm 3 \text{ dB}$, mens bånd med likepol ligger på $-5 \text{ dB} \pm 5 \text{ dB}$, se figur 8.



Figur 8. Krysspøl (A) ligger 10 – 15 dB lavere enn likepol (B). Krysspøl har jevnest tilbakespredning fra kjøretøy og størst kontrast mellom kjøretøy og asfalt.

For bånd med likepol sees en topp i tilbakespredningsverdiene for kjøretøy rundt 90 graders aspektvinkel, mens det for krysspøl ikke finnes en tilsvarende topp. Dette er i tråd med resultatene fra DLR [5]. Likepolverdiene i toppen ligger fra -5 dB til 3 dB , mens de i resten av vinklene ligger fra -12 dB til -5 dB . Innbyrdes mellom C-HH og L-HH varierer verdiene 1-3 dB, og de to båndene skifter på å ligge høyest. For krysspøl ligger L-HV konsekvent 1-3 dB over C-HV for alle aspektvinkler.

Gjennomsnittlig tilbakespredning fra bakgrunnen for krysspøl varierer med 0 – 5 dB mellom de to frekvensbåndene tatt fra samme p-plass. Tilsvarende avstander mellom frekvensbåndene for likepol ligger på 0 – 8 dB, altså er det et litt større avvik mellom dem. Felles for begge polarisasjonstyper er at tilbakespredningen fra kjøretøy gir liten spredning mellom frekvensbånd med lik polarisasjon, mens bakgrunnen varierer mer. Dersom vi midler alle bakgrunnsverdiene innen hvert bånd, ville både C-HV og L-HV ligge rundt -28 dB til -29 dB og C-HH og L-HH ville begge ligge på ca. -18 dB . Ved støyreduksjon vil derfor variasjoner i bakgrunnsverdier mellom frekvensbånd med samme polarisasjon jevnes ut.

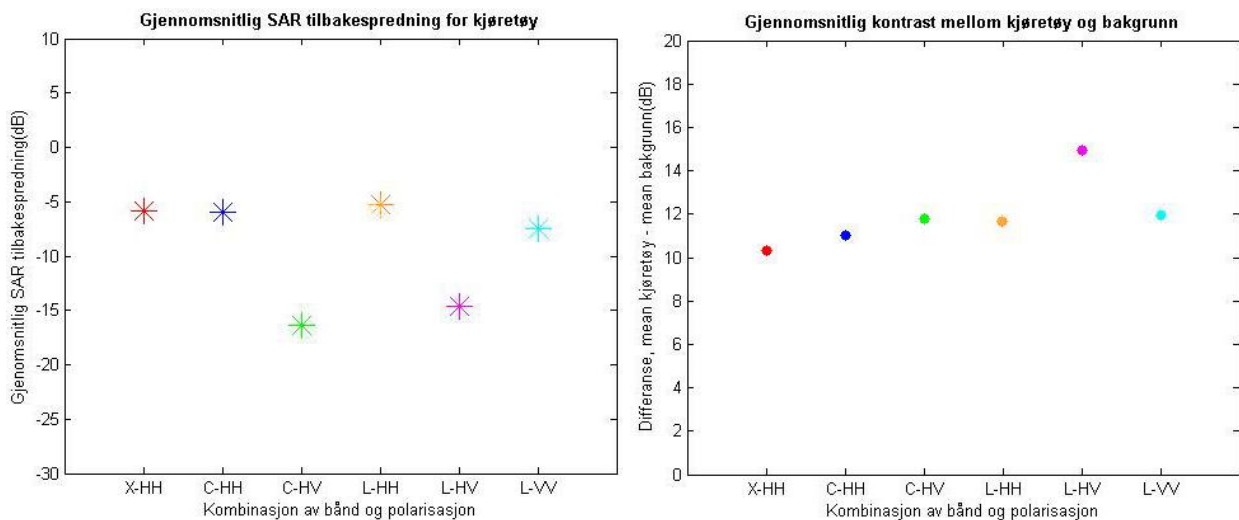
Selv om tilbakespredningsverdiene ligger høyere for likepolbåndene, ligger kontrastene mellom kjøretøy og asfalt høyest i krysspøl. Størst avstand mellom kjøretøy og asfalt er det i krysspøl på p-plassene med 35 grader aspektvinkel og 145 grader aspektvinkel. Ved likepol har de samme p-plassene kanskje lavest kontrast. Disse to P-plassene er en og samme P-plass med busser oppstilt i 2 ulike vinkler, C; BUS_35 og K; BUS_145. Bussene har tydelig bedre synbarhet ved krysspøl enn likepol, og L-bånd var ved visuell analyse bedre enn X-bånd og C-bånd. Se også figur 10 i kapittel 2.6, *Store kjøretøy*.

Krysspøl har altså jevnere tilbakespredningsverdier og bedre kontrast mellom kjøretøy og asfalt enn likepol. Største avstander mellom gjennomsnittsverdiene for kjøretøy og asfalt har L-HV. En

sammenlikning av båndene når det gjelder gjennomsnittlig tilbakespredning fra kjøretøy og kontrast mellom kjøretøy og asfalt kommer i neste kapittel.

2.5 Gjennomsnittsverdier av tilbakespredning og kontrast

To parametere som er viktige ved deteksjon av kjøretøy er signalstyrken på tilbakespredningen fra kjøretøyene og kontrasten mellom kjøretøy og asfalt. Gjennomsnittsverdier av tilbakespredning for kjøretøy og kontrast til bakgrunnen i alle aspektvinkler innen hvert frekvensbånd/ polarisasjon kan gi en overordnet sammenlikning mellom båndene og polarisasjonene. Figur 9 viser en grafisk fremstilling av disse gjennomsnittsverdiene.



Figur 9. Likepolbåndene X-HH, C-HH og L-HH har høyest gjennomsnittlig signalstyrke, rundt -5 dB. L-VV ligger rundt -3 dB. Best gjennomsnittlig kontrast har krysspolbåndene, med L-HV som det beste, med verdi rundt 15 dB.

Likepolbåndene gir høyest gjennomsnittlig signalstyrke, og HH kombinasjonene ligger høyere enn VV for L-bånd. Man kan kanskje tenke seg at det gjelder for de øvrige frekvensbåndene også. X-HH, C-HH og L-HH har alle gjennomsnittlig tilbakespredning fra kjøretøy mellom -5 og -6 dB. L-VV har verdi -7,5 dB, mens L-HV har -14,6 dB. Lavest ligger C-HV med -16,4 dB.

Krysspol innenfor hvert frekvensbånd har best gjennomsnittlig kontrast mellom kjøretøy og asfalt, og L-HV har høyest differanse på hele 15,0 dB. L-VV har 12,5 dB, mens L-HH har 11,6 dB. C-HV ligger på 11,7 dB, mens C-HH har 11,0 dB. X-HH har lavest kontrast, med gjennomsnittlig verdi på 10,3 dB.

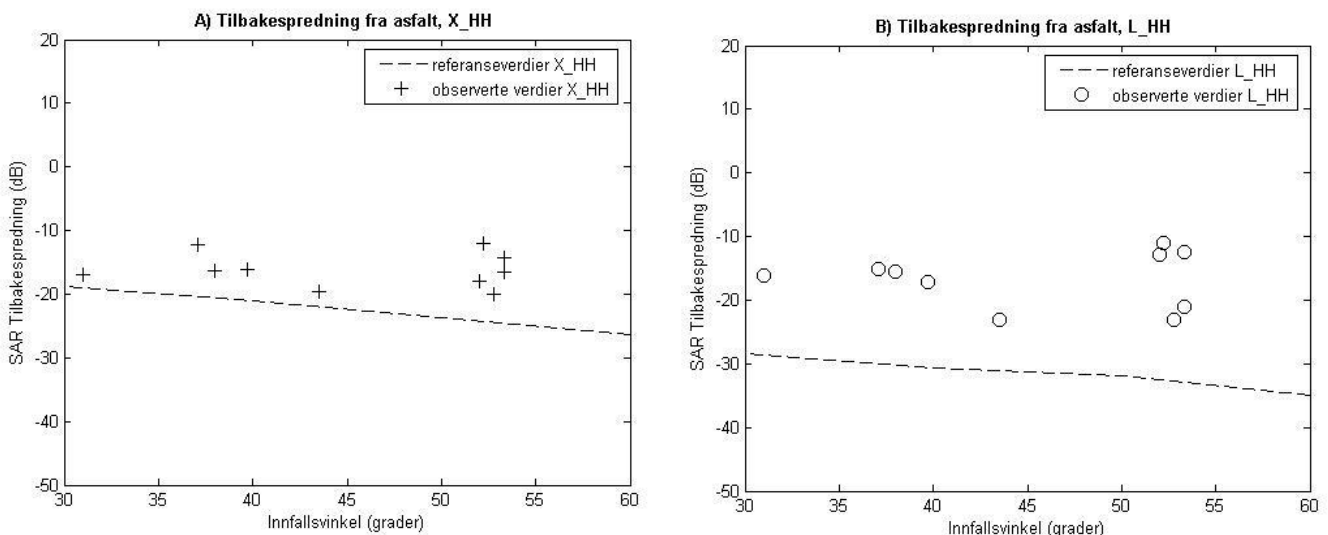
I og med at HH-kombinasjonen gir høyest signalstyrke innen hvert frekvensbånd, og HV-kombinasjonen gir best kontrast, kan det være aktuelt å tenke seg en kombinasjon av disse to polarisasjonene til bruk ved deteksjon av biler. Hvilken av disse to parametrene som er viktigst, kan avhenge av metoden som benyttes for deteksjon. Palubinaskas m.fl. fra DLR hevder at krysspolbåndene med en RCS verdi fra 0 til 10 dB m² har for lav signalstyrke til at de er egnet for deteksjon av kjøretøy [4]. Likepolbåndene i deres studie har RCS verdier fra 10 til 15 dB m². De oppgir at asfalt har en RCS verdi på ca. -20 dB m², men beskriver ikke en forskjell på likepol og krysspol og har således ikke tatt hensyn til kontrastene til hvert enkelt frekvensbånd når de utelukker krysspolbåndene.

2.6 Tilbakespredning fra asfalt

Når det gjelder bakgrunnsverdier, kan det komme som en overraskelse at tilbakespredningen fra asfalt har såpass store variasjoner som figurene viser. Asfalt har en tilnærmet jevn overflate, og har dermed ikke noen aspektvinkel. Det er derfor ingen grunn til at tilbakespredningen fra asfalt skal variere mellom de ulike aspektvinklene for kjøretøy, men likevel viser figur 7 og figur 8 at bakgrunnsverdiene varierer betydelig. Det er imidlertid ikke logisk at aspektvinkelen for kjøretøy skulle forårsake denne variasjonen.

I følge boken *Handbook of radar scattering statistics for terrain* av Ulaby og Dobson [9], synker tilbakespredningen fra asfalt når innfallsvinkelen øker. Boken regnes som et referanseverk når det gjelder tilbakespredningsverdier. Verdiene er fremkommet ved radaropptak av den samme asfalten ved forskjellige innfallsvinkler. Deres resultater viser at tilbakespredningen fra asfalt synker forholdsvis jevnt etter som innfallsvinkelen øker. Tilbakespredningen fra asfalt i denne studien følger ikke samme trend, se figur 10 der tilbakespredning fra asfalt for X-HH og L-HH satt opp etter innfallsvinkel. De observerte verdiene er alle fra forskjellige p-plasser som sannsynligvis er dekket av ulik asfalt. Dette ser ut til å ha en innvirkning på tilbakespredningsverdiene. De observerte verdiene er alle høyere enn referanseverdiene, og mens de observerte verdiene i X-HH og L-HH er ganske like og varierer fra -21 dB til -12 dB, ligger referanseverdiene for X-HH rundt -20 dB og referanseverdiene for L-HH rundt -30 dB. Avviket mellom observerte verdier og referanseverdier er åpenbart størst i L-HH. For referanseverdiene oppgis standardavvik på 4-5 dB for X-HH, mens det er for få målinger for L-HH til å oppgi dette. De observerte verdiene har standardavvik på 2-3 dB for begge bånd.

En studie av spektral karakteristikk av asfalt viser at overflaterrefleksjon for bølgelengder i nanometerområdet påvirkes av aldring og sprekker i asfalten [8]. Det er da nærliggende å tro at disse faktorene også kan ha betydning for SAR tilbakespredning. Det er logisk å tenke seg at store sprekker og hull i asfalten vil reflektere radarstråler bedre enn en glatt asfaltoverflate, men kanskje gir også mindre ujevnheter utslag i tilbakespredningen. Også andre studier [10] har



Figur 10. Tilbakespredning fra asfalt for observerte verdier og referanseverdier til Ulaby og Dobson [9] i A) X-HH og B) L-HH, for innfallsvinkler 30 – 60 grader. De observerte verdiene er høyere enn referanseverdiene. Avviket er størst i L-HH.

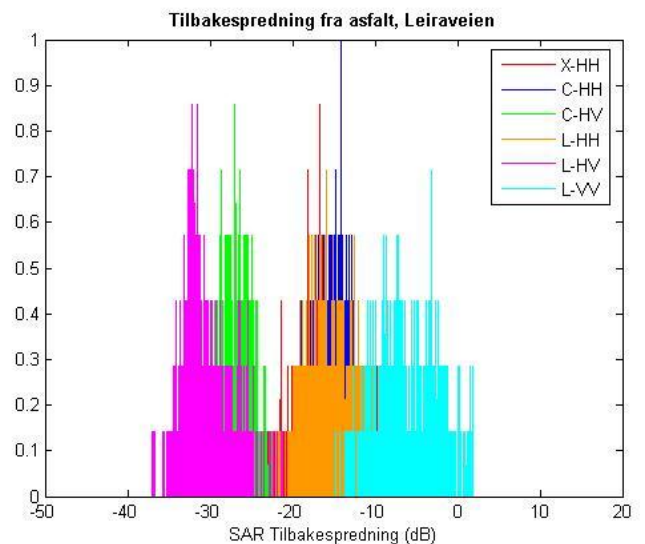
tilbakespredning fra asfalt som ikke samsvarer med referanseverdiene fra *Handbook of radar scattering statistics for terrain*[9]. Det at observerte verdier skiller seg fra referanseverdier kan tolkes som at asfalt ikke er en homogen overflate, men varierer med flere parametere enn innfallsvinkel.

Effekten av skader i asfalten kan variere med bånd og polarisasjon, og et tydelig eksempel på det er tilbakespredningen fra p-plass J) LEI, Leiraveien. Denne p-plassen har store hull og sprekker som delvis er fylt med grus, mens andre steder vokser det gress i sprekkene, se figur 11A. For krysspol ligger de fleste tilbakespredningsverdiene fra asfalt i denne studien i området -35 dB til -25 dB, mens de for likepol ligger i området -20 dB til -10 dB. Det gjør de også på p-plassen Leiraveien, med unntak for bånd L-VV, hvor tilbakespredningen ligger i området -10 dB til 0 dB, altså 10 dB høyere enn normalt, se figur 11B.

Det er ikke så uvanlig at ujevnheter gir forhøyet tilbakespredning, men det er litt spesielt at en polarisasjon gir et utslag på 10 dB i forhold til de andre. Dette viser at de fysiske mekanismene bak SAR tilbakespredning i ulike frekvensbånd og polarisasjoner er kompleks og noen ganger vanskelig å forutsi.



A) Bilde fra Leiraveien



B) Histogram av asfalt fra Leiraveien

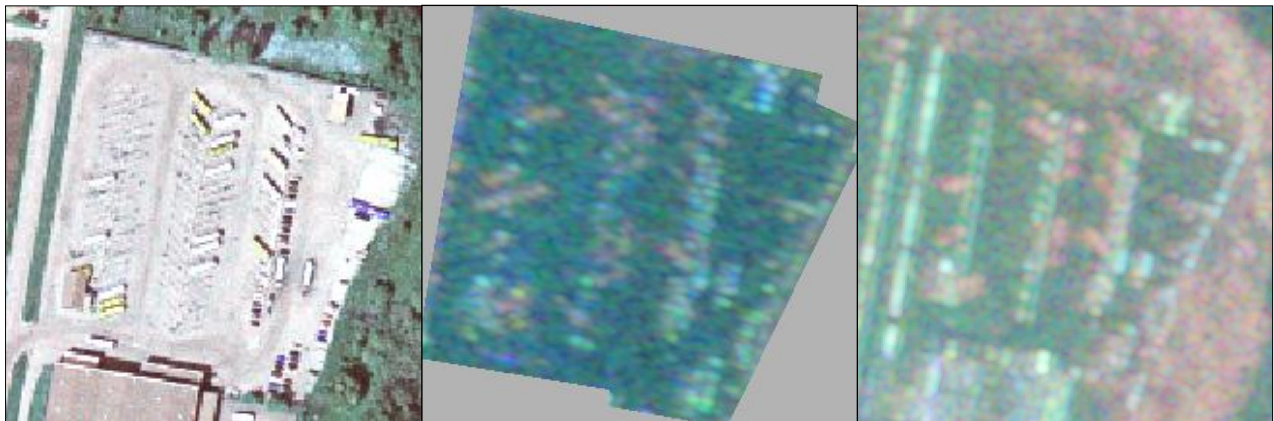
Figur 11. P-plass Leiraveien har store sprekker og hull. Dette gir seg utslag i forhøyet tilbakespredning på rundt 10 dB, men kun for bånd L-VV.

2.7 Store kjøretøy

P-plass C) BUS_35 og K) BUS_145 er den samme parkeringsplassen med busser oppstilt i henholdsvis 35 og 145 grader aspektvinkel. Det er også noen vanlige personbiler på plassen. Ved eksperimentering med utsnitt og tersklingsmasker viste det seg at bussene ble kategorisert som bakgrunn i X-HH og C-HH. C-HV skilte seg ut som klart bedre til å avbilde bussene enn HH kombinasjonene, se figur 12b. Dette er i tråd med kontrastforskjellene som ble påpekt i avsnitt 2.4, *Krysspol og likepol*. Alle L-bånd fikk frem deler av bussene ved terskling, og best maske hadde L-HV, selv om denne ikke var nøyaktig nok til å bli brukt, se figur 12c. Store kjøretøy har store strukturer, og L-bånd avbilder store strukturer på kjøretøy bedre enn X-bånd og C-bånd fordi L-bånd har større bølgelengde.

2.8 Tersklingsmasker

Som tidligere nevnt, ble tersklingsmasker utført for hver enkelt P-plass for alle bånd og polariseringer. Deretter ble den mest korrekte tersklingsmasken valgt manuelt, og benyttet som maske for alle bånd og polariseringer for den aktuelle p-plassen. Statistikk ble så generert av maskerte utsnitt av hele p-plasser og egne utsnitt av kun asfalt fra hver av dem. Dersom ingen av maskene var gode nok, ble utsnittene redusert til kun å inneholde kjøretøy, evt. ble det foretatt manuell avlesning av intensitetsverdier som en siste utvei.



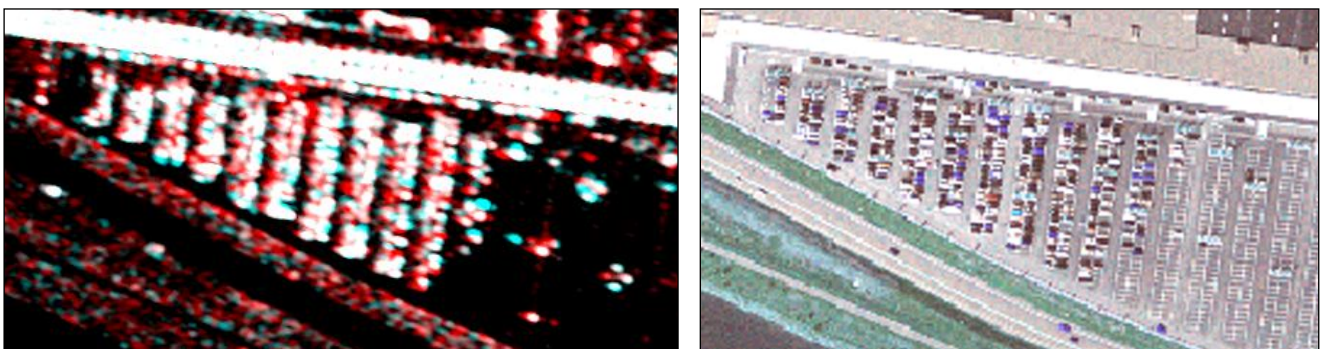
a) Optisk BUS_35 og BUS_14

b) SAR C-HV+C-HH+X-HH

c) SAR L-HV+L-HH+L-VV

Figur 12. Bussene på denne p-plassen har bedre synbarhet i krysspolar enn i likepolar, begge bånd med krysspolar er vist i rødt i b) og c). Aller tydeligst vises bussene i L-HV, det røde båndet i c). C-HH og X-HH viser hovedsakelig biler og ikke busser.

Ofte var det flere masker som var akseptable, og både 1. valg og 2. valg av masker er notert i tabell D. Det at en spesiell kombinasjon av bånd og polarisasjon kan generere en akseptabel tersklingsmaske forteller at denne kombinasjonen avbilder kjøretøy mer nøyaktig geografisk sett enn andre kombinasjoner. Med dette menes at omrisset av uttersklede kjøretøy best samsvarer med de kjøretøy som kan sees i den optiske fasiten, se figur 13. Grad av nøyaktig avbildning er en egenskap ved synbarhet av kjøretøy som skal vurderes i denne studien.



Figur 13. P-plass A) NVM, Norges Varemesse.

Til venstre; SAR. Rødt viser X-HH, grønt og blått (turkis) viser C-HH. Hvitt utslag viser at frekvensbåndene har fullstendig overlapp. Her ble X-HH valgt som tersklingsmaske. Begge bånd vil gi en akseptabel tersklingsmaske selv om det er noen ulikheter mellom dem.

Til høyre: Optisk fasit.

For de 12 P-plassene ble 9 masker godkjent, 2 utsnitt av kun kjøretøy ble benyttet og en av plassene krevde manuell avlesning. Av de 9 maskene som ble valgt, var fordelingen slik:




| Aspekt | 0° | 17° | 37° | 77° | 90° | 97° | 100° | 105° | 160° |
|---------------------------------------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------------------|
| P-plass | A | B | D | F | G | H | I | J | L |
| Maske | X-HH | L-VV | L-HV | C-HH | L-HH | L-HH | L-VV | L-HH | X-HH (+C-HH+L-HH) |
| 2. valg maske dvs. også akseptabel | C-HH | X-HH | ingen | X-HH | X-HH | L-VV | X-HH | X-HH | ingen |

Tabell D. Tersklingsmaskene som ble brukt, og 2. valgene som også var akseptable forteller hvor nøyaktig kjøretøyene ble avbildet i de ulike bånd og polarisasjoner i forhold til den optiske fasiten.

6 av 9 masker kommer fra L-bånd og 6 av 9 masker har HH polarisasjon. Det er de tre p-plassene med busser og trailere som er utelatt fra tabellen fordi maskene ble underkjent. Det er imidlertid ikke noen tvil om at bussene hadde mest korrekt gjengivelse i L-HV. For p-plassen med trailere var det ikke tilsvarende kontrastforskjeller mellom krysspøl og likepol som for bussene. P-plassen inneholder et sirkus i tillegg til trailerne, og hele plassen er veldig full. Ved visuell analyse ble alle L-båndene karakterisert som bedre enn X bånd og C bånd. Best resultat ble oppnådd med en tersklingsmaske av alle 3 L-bånd addert. Det er derfor holdepunkter for å si at L bånd avbilder kjøretøy mest nøyaktig i en del av tilfellene. Verdt å merke seg er at X-HH var 2. valg som maske for 5 av aspektene. I og med at X-HH er førstevalget for 2 masker, så er den kombinasjonen akseptabel for 7 av 9 masker. For p-plass L er X-HH satt opp sammen med de to andre HH kombinasjonene. Her er masker fra alle tre båndene addert fordi hver og en av dem utelot noen kjøretøy. Det var imidlertid X-HH som hadde den beste masken av disse.

2.9 Pauli dekomposisjon

Det finnes ulike dekomposisjonsmuligheter for fullpolarimetrisk data. Pauli dekomposisjon lager 3 nye komponenter som hver inneholder intensiteter etter hvilken type refleksjon signalet har fått fra bakken. Tabell E viser de 3 ortogonale komponentene, hvor $S_x = S_{hv} + S_{vh}/2$

| Decomposition | Scattering type | Interpretation |
|-------------------|--|--------------------------------------|
| $S_{hh} + S_{vv}$ | odd-bounce (single bounce)  | sphere, surface, corner reflector |
| $S_{hh} - S_{vv}$ | even-bounce (double bounce)  | dihedral |
| $2S_x$ | even-bounce $\pi/4$ tilted (volume diffusion)  | tilted dihedral |

Tabell E. Pauli dekomposisjon. Fullpolarimetrisk data settes sammen til 3 komponenter og vises som RGB. Rødt for odd bounce, grønt for dobbel bounce og blått for even-bounce tilted/ volume diffusion. Hentet fra [1].

Det ble foretatt Pauli dekomposisjon på bildene i L bånd i denne studien. Utslaget for kjøretøy på de ulike P-plassene er hovedsakelig rødt og grønt for 90 graders flater, og blått ellers, som vist i tabell F. Rødt utslag kommer fra direkte tilbakespredning, eventuelt odde antall refleksjoner, dersom radarpulsen har blitt kastet mellom flere flater før tilbakespredning. Grønt utslag kommer

fra like antall refleksjoner, og blått utslag kommer fra volumspredning, altså flere mindre bidrag summert fra radarpulsen som har spredt seg på et ujevnt område. De sterkeste tilbakespredningsverdiene kom fra piksler med rødt utslag, litt svakere tilbakespredning kom fra piksler med grønt utslag, og blått utslag hadde svakest verdier.

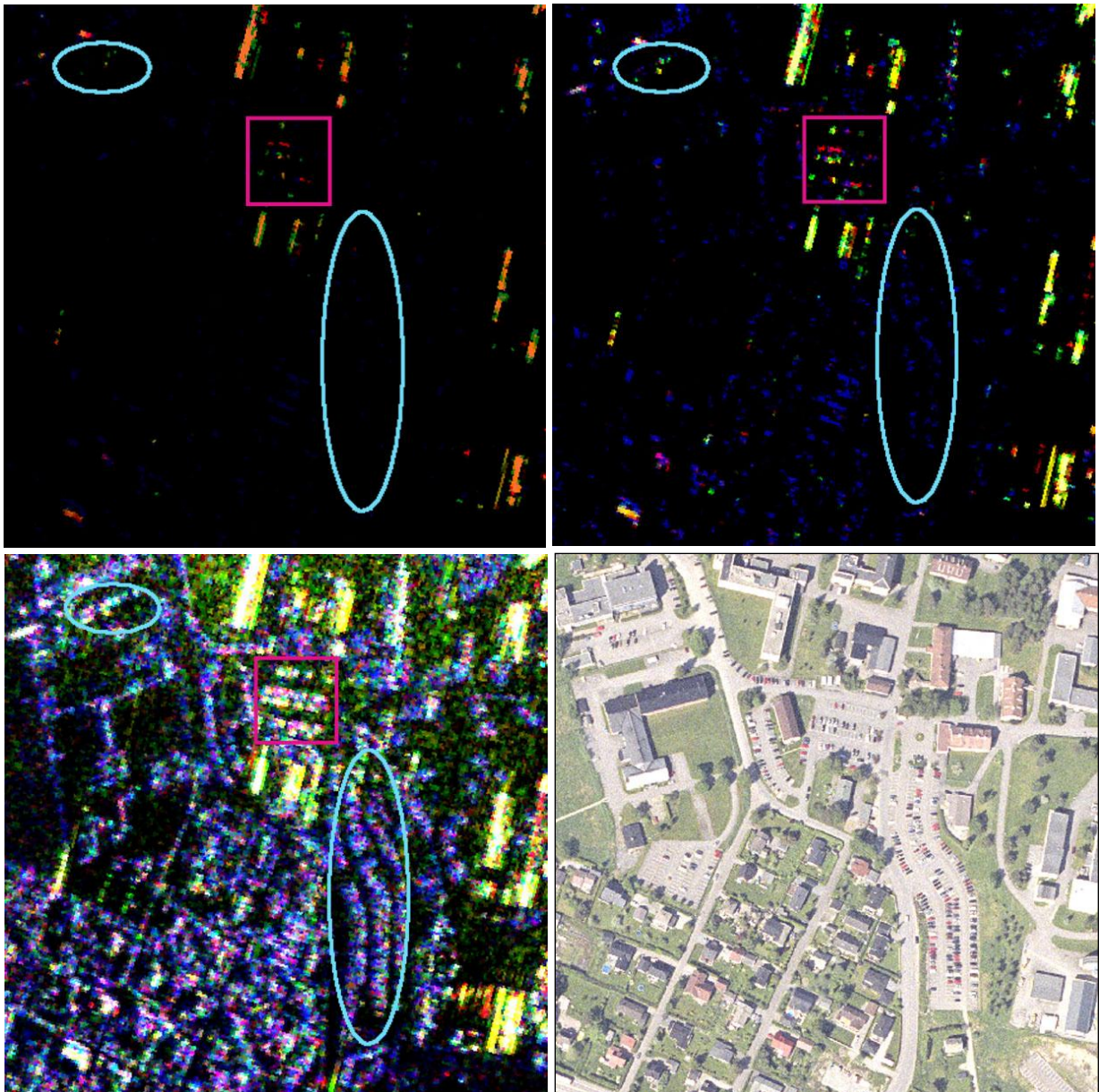
Det er ikke overraskende at flater med 90 graders aspekt kan gi direkte tilbakespredning (odd-bounce), samt et ekstra ”sprett” (even-bounce). Tydeligst er dette for SAR-bilder av bebyggelse, der bygninger vinkelrett til bildeopptaket trer kraftig frem i rødt og delvis i grønt. Kjøretøyene med 0 graders aspekt har kortenden av kjøretøyene stående 90 grader mot radarpulsene, og det er disse flatene som gir rødt og grønt utslag.

Et unntak fra rødt og grønt utslag forårsaket av kjøretøy med 90 graders flater, er p-class J) LEI med aspektvinkel 105 grader, og miks av alle farger. Hvorvidt kjøretøyene på plassen har hatt noen strukturer som er vinklet slik at de står vinkelrett på radarpulsene, eller om den hullete asfalten kan ha gitt tilbakespredning med direkte og partalls-refleksjoner vites ikke (se figur 11). Uansett kan nok ikke denne p-plassen regnes som representativ for hvilke resultater man kan forvente å få ved deteksjon av kjøretøy.

| P-class | Aspekt | θ inc | Utslag i Pauli dekomposisjon | Tilbakespredningstype |
|------------|--------|-----------------|--|---|
| A. NVM | 0° | 43° | Sterkest rødt utslag, så grønt, så blått. | odd-bounce, even-bounce volumspredning |
| B. IFE | 17° | 52° | Hovedsakelig blått utslag | volumspredning |
| C. BUS_35 | 43° | 52° | Hovedsakelig blått utslag Busser her med aspekt 90° har kun rødt utslag | Busser med aspekt 90°: odd- bounce |
| D. IVN | 37° | 31° | Hovedsakelig blått utslag | volumspredning |
| E. LST | 39° | 75° | Hovedsakelig blått utslag | volumspredning |
| F. FLY_e | 77° | 53° | Hovedsakelig blått utslag | volumspredning |
| G. FFI | 90° | 52° | Hovedsakelig rødt og grønt. Noe blått. | odd-bounce, even-bounce (volumspredning) |
| H. UNI | 97° | 53° | Hovedsakelig blått utslag | volumspredning |
| I. FLY_w | 100° | 53° | Hovedsakelig blått utslag | volumspredning |
| J. LEI | 105° | 38° | Miks av alle farger. | odd-bounce, even-bounce volumspredning |
| K. BUS_145 | 145° | 37° | Hovedsakelig blått utslag Busser her med aspekt 90° har kun rødt utslag | Busser med aspekt 90°: odd- bounce |
| L. JLG | 160° | 52° | Hovedsakelig blått utslag | volumspredning |

Tabell F. Pauli dekomposisjon av P-plassene. Aspektvinkler på 0 grader og 90 grader gir odd-bounce (rødt) og even-bounce (grønt), mens alle andre aspektvinkler gir volumspredning (blått).

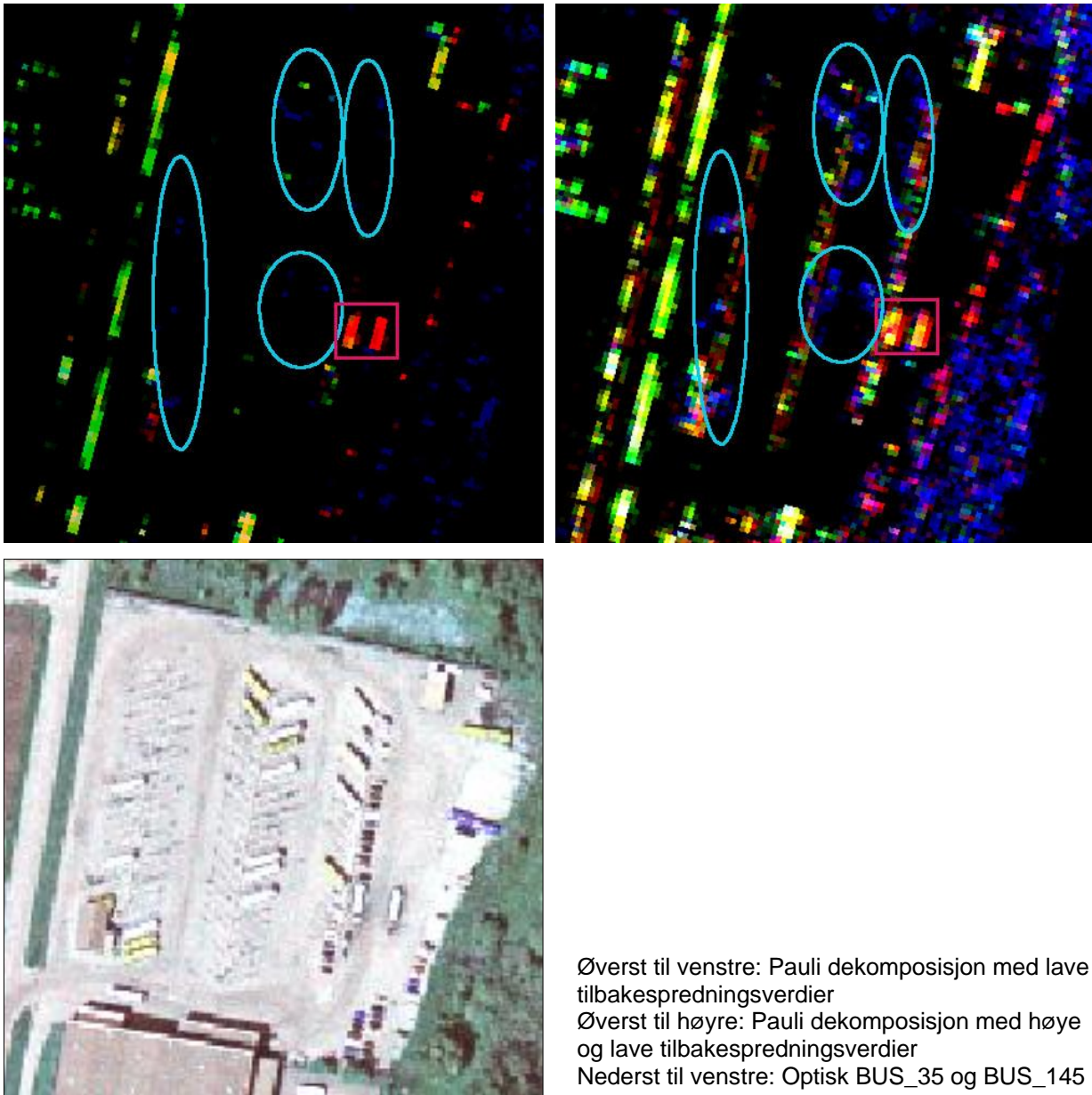
I og med at det er et temmelig tydelig skille mellom 90 graders flater og andre viser dette at dekomposisjonen fungerer meget godt for kjøretøy. Fra kjøretøy kan man forvente rødt og grønt utslag ved aspektvinkel 0 og 90 grader, og blått i øvrige aspektvinkler. Et eksempel på dette vises i figur 14, med 3 ulike Pauli dekomposisjon oversiktsbilder av 3 nærliggende p-plasser. De 3 oversiktsbildene har ulik signalstyrke, fra svak øverst til venstre, middels øverst til høyre, til sterk nederst til venstre. Optisk bilde av samme utsnitt vises nederst til høyre. P-plassen som er markert med en rosa firkant har aspektvinkel 90 grader, de to andre som er markert med turkise ellipser har aspektvinkler på 17 og 97 grader. P-plassen med aspektvinkel 90 grader har røde og grønne utslag, de andre to har hovedsakelig blått utslag. Dette viser at fullpolarimetri med dekomposisjon kan gi verdifull tilleggsinformasjon om retningen som kjøretøy er plassert i.



Figur 14.

Pauli dekomposisjon oversiktsbilder som omfatter 3 p-plasser med ulik aspektvinkel. P-plass H) UNI, markert med liten turkis ellipse, har aspektvinkel 97 grader og får hovedsakelig blått utslag. P-plass G) FFI, markert med rosa firkant, har aspektvinkel 90 grader og får rødt og grønt utslag samt noe blått. Nederst til høyre vises utslaget fra FFI hovedsakelig i gult, men dette skyldes at programvaren gir gule og hvite verdier når fargekanalen går i metning. Fargevisningen skaleres ujevnt når den ene kanalen er veldig mye større enn de andre to. P-plass B) IFE, markert med stor turkis ellipse, har aspektvinkel 17 grader og får overveiende blått utslag.

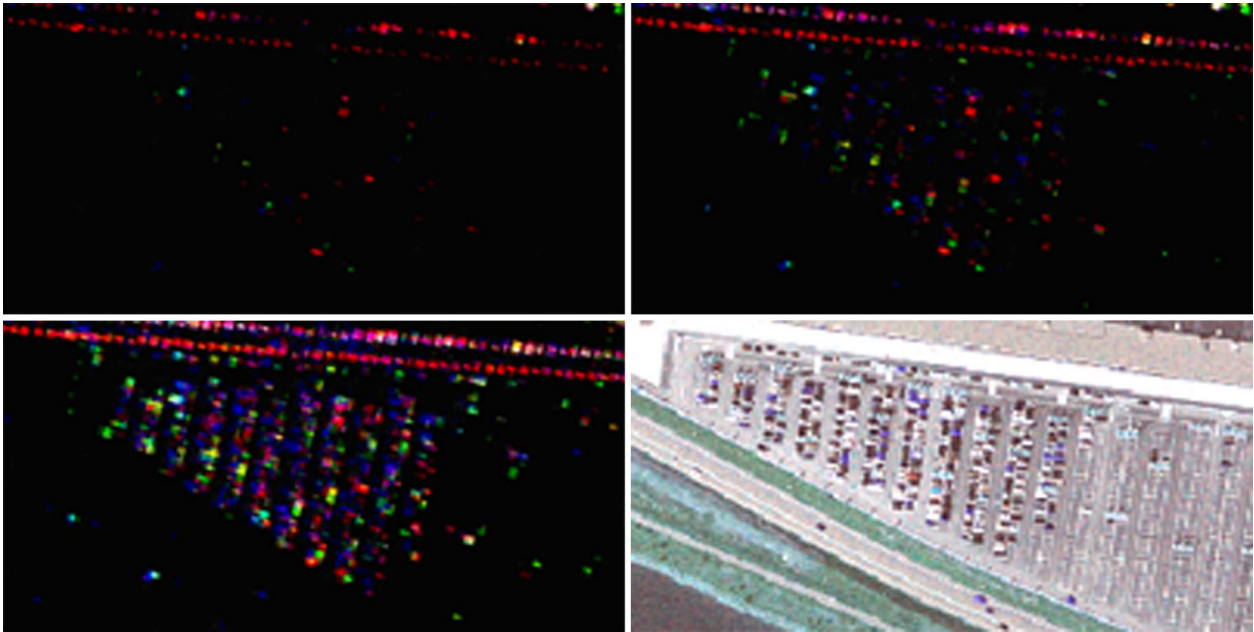
Et annet eksempel på Pauli dekomposisjon vises i figur 15, der p-plass C) BUS_35 og K) BUS_145 (en og samme p-plass) har blått utslag på bussene som er oppstilt med aspektvinkler 35 grader og 145 grader. To busser som er oppstilt med aspektvinkel 90 grader får rødt utslag. Figuren vises i to ulike gjengivelser av bildet. Til venstre vises kun piksler med høy signalstyrke, mens til høyre er også pikslene med lavere signalstyrke tatt med. Det er tydelig at de sterkeste signalene kommer fra piksler med rødt og grønt utslag i dekomposisjonen, noe også figur 16 illustrerer.



Figur 15.

Strukturer med aspektvinkel 90 grader gir røde og grønne utslag ved Pauli dekomposisjon. Disse strukturene har de høyeste tilbakespredningsverdiene. Busser med aspektvinkel 90 grader, markert med rosa firkant, får rødt utslag og høye verdier. Til høyre går bussene over i gult, men dette skyldes at programvaren gir gule og hvite verdier når fargekanalen går i metning. Fargevisningen skaleres ujevnt når den ene kanalen er veldig mye større enn de andre to. Busser med aspektvinkler 35 grader og 145 grader, markert med turkise ellipser, får blått utslag og lavere tilbakespredningsverdier.

Figur 16 viser p-class A) NVM, Norges Varemesse med aspektvinkel 0 grader. Tilbakespredning fra kjøretøy er en miks av alle tilbakespredningstypene, og sterkest signal kommer fra odd-bounce, så even-bounce og deretter volumspredning.



Figur 16.

P-class NVM, Norges varemesse med aspektvinkel 0 grader. Pauli dekomposisjon viser at tilbakespredningen fra kjøretøy her har sterke signaler fra odd-bounce, så even-bounce og deretter volumspredning.

Øverst til venstre: Pauli dekomposisjon med lave tilbakespredningsverdier, Øverst til høyre: Pauli dekomposisjon med lave og middels tilbakespredningsverdier, Nederst til høyre: Pauli dekomposisjon med høye, middels og lave tilbakespredningsverdier. Nederst til venstre: Optisk NVM.

3 Diskusjon

3.1 Utsnitt

Bildematerialet som er brukt til å generere statistikk er utsnittsbilder av hele p-plasser, hvor kjøretøy maskeres ut, samt egne mindre utsnitt kun av asfalt fra den aktuelle plassen. For kjøretøy er grunnlaget for statistikken tilbakespredningsverdier fra den fysiske plasseringen til alle kjøretøyene på p-plassen. For asfalt er grunnlaget et mindre område av asfalt, med minst mulig støy. Med støy menes innslag av ikke-asfalt objekter. Alle utsnitt vil inneholde speckle.

Tanken bak den valgte metoden er at for å beskrive synbarhet av kjøretøy på en representativ måte, må man også beskrive de kjøretøyene som ikke har gitt høy tilbakespredning. Ved klassifisering av p-plassen i kjøretøy og asfalt, basert på intensitetsverdier fra en slik statistikk, vil toppen av histogrammet for hele p-plassen ikke være representativ for noe av klassene, se figur 6 i avsnitt 2.1 *Statistikkgrunnlag*. Det er dermed et stort antall piksler som befinner seg i et grenseland av kjøretøy, asfalt og støy (dvs. piksler som verken representerer kjøretøy eller asfalt), og dette kan forårsake store klassifiseringsfeil. Dersom man skulle dele klassene ved terskling etter hvor de to histogrammene krysset hverandre, ville kjøretøyklassen bli altfor stor.

To opplagte alternativ til de valgte utsnittene finnes:

1. Eget utsnitt kun av lyse kjøretøy sammen med eget utsnitt kun av asfalt
2. Utsnittsbilde av hele p-plasser og maskere ut kjøretøy som før, men bruke den inverse masken til å beskrive asfalt

Alternativ 1 vil gi kjøretøyklassen en høy minimumsverdi og det vil bli en bedre separasjon av klassene. Det vil også med denne metoden være et stort antall piksler som ikke er representative for noen av klassene, men disse vil lettere kunne plasseres i en bakgrunnsklasse fordi kjøretøyklassen får så liten spredning. Dette alternativet vil ikke beskrive kjøretøy som ikke gir høy tilbakespredning.

Alternativ 2 vil gi et stort overlapp mellom klassene og histogrammene vil flytte mer over i hverandre enn for den valgte metoden. Kjøretøy vil bli beskrevet likt som i den valgte metoden, mens asfalt vil bli beskrevet med mer større variasjon grunnet innslag av ikke-asfalt objekter.

3.2 Terskling og maskering

Utsnittsbildene av p-plassene ble tersklet i alle 6 kombinasjoner av frekvensbånd og polarisasjon og deretter inspisert manuelt for å finne den beste masken til felles bruk. Som fasit på riktig maske brukes kjøretøyene i det optiske bildet.

Som tersklingsalgoritme brukes Otsu's metode [9], som søker å finne en global tersklingsverdi som gir størst spredning mellom klassene samtidig som den gir minst spredning innad i hver klasse. Otsu har vist seg som en god metode for datasett der størrelsesforholdet mellom klassene ikke er større enn 1:10 [11]. Det er ikke forsøkt andre tersklingsalgoritmer, fordi Otsu ga akseptable resultater. En lokal algoritme som Niblack [12], bruker en gitt vindusstørrelse å terskle innen, typisk lik størrelsen på objektet man ønsker å terskle ut + litt margin. Avhengig av gitt vindusstørrelse ville tersklingen blitt optimalisert for å terskle ut store eller mindre kjøretøy, ikke begge. Videre vil en lokal algoritme lettere terskle ut bakgrunnsstøy i de områdene hvor det ikke

finnes kjøretøy. Algoritmen vil i utgangspunktet dele inn hvert vindu i forgrunn og bakgrunn, men dette kan også unngås.

En felles maske vil sammenlikne tilbakespredningsverdiene til de samme pikslene for de ulike bånd og polarisasjoner, basert på kjøretøyenes fysiske plassering. Valget av den fysiske plasseringen som sammenlikningsgrunnlag ble begrunnet i forrige avsnitt med at man også må beskrive de kjøretøyene som ikke har gitt høy tilbakespredning.

Et alternativ til felles maske er å lage en tersklingsmaske for hvert frekvensbånd og polarisasjon. Sammenlikningsgrunnlaget ville da vært verdiene og mengden til de pikslene som ble tersklet ut for hver maske. Avstanden mellom kjøretøy og asfalt ville blitt tydeligere i hvert bånd. Kjøretøy som ikke hadde god synbarhet ville blitt ignorert med denne metoden. Man ville kun sammenliknet data for de kjøretøyene med god synbarhet i hvert bånd og polarisasjon.

3.3 Tilgjengelighet fra fly og satellitt

SAR bilder fra satellittene Envisat og ERS, har vært mest tilgjengelig og dermed mest brukt til forskningsformål i Norge. Begge disse opererer i C-bånd. Man kan således tenke seg at det finnes arkiv bl.a. hos FFI med tidligere bearbejdede bilder som kunne vært brukt som bakgrunnsmateriale ved deteksjon av ansamlinger av kjøretøy, f.eks. ved bruk av *change detection*. Denne metoden registrerer og analyserer endringer mellom to eller flere datasett. Det kan derfor være ekstra interessant å undersøke hvilken informasjon man kan trekke ut av bildene i C-bånd. Dette har ikke denne studien tatt hensyn til. Det ble i stedet valgt å arbeide helt parallelt med X-bånd, C-bånd og L-bånd, og kun kommentere tilgjengeligheten av de ulike båndene. Dette skyldes delvis at studien hadde en tidsbegrensning, men også at X-bånd er blitt mer aktuell med oppskytingen av TerraSAR-X i juni 2007.

Det har vært utført få SAR flyopptak over Norge, kun et begrenset antall opptak fra 1995 og 2003 finnes. For å kunne utføre slike opptak må Norge leie kapasitet fra andre lands SAR-fly, og dette er kostbart. Denne typen opptak kan derfor sies å være lite tilgjengelig, uansett bånd og polarisasjon.

3.4 Fyllprosent

For å beregne størrelsesorden for ansamlinger av kjøretøy, ville det vært ønskelig med en automatisk algoritme som detekterte og beregnet antall kjøretøy eller arealet kjøretøyene opptar, i forhold til tilgjengelig antall plasser eller areal. Det har ikke lyktes denne studien å komme frem til en felles løsning som gir tilfredsstillende resultater for de fleste p-plassene, på den tiden som har vært avsatt til oppgaven. Flere fremgangsmåter har vært eksperimentert med, uten å finne en algoritme som gir gode resultater uten apriori informasjon om p-plassen. Her omtales 3 av fremgangsmåtene.

Den første bruker tersklingsmasken som mål på andel kjøretøy, den andre bruker middelveiden til kjøretøy og den tredje bruker medianen til kjøretøy. Fasit for fyllprosent har blitt regnet ut for p-plass A, NVM, Norges varemesse, ved å telle antall parkerte biler og tilgjengelige p-plasser. For de øvrige p-plassene har fasit for fyllprosent blitt anslått ved å se på optisk bilde av plassen. 9 p-plasser av 11 mulige er med i oversikten. De to som er utelatt er C), K) Bussoppstilling, som har en blanding av busser og kjøretøy og tidligere har vist seg problematisk, og E) Lillestrøm stadion, som er fylt helt opp med et sirkus og derfor vanskelig å eksperimentere med. For alle fremgangsmåter gjelder:

$$k = \text{antall kjøretøypikslers}, b = \text{antall bakgrunns pikslers}, \text{ fyllprosent} = k * \text{vekt} / k + b$$

Den første metoden som ble forsøkt er kanskje den enkleste og mest intuitive fremgangsmåten for å beregne fyllprosent; terskle bildet i kjøretøy og bakgrunn og beregne fyllprosent på bakgrunn av hvor stor del av p-plassen kjøretøyene opptar.

$$k \geq \text{tersklingsverdi}, b < \text{tersklingsverdi} \quad (3.4.1)$$

Med denne metoden terskles hver kombinasjon av bånd og polarisasjon for hver p-plass, fordi det må beregnes fyllprosent kun av de kjøretøy som er synlige. Resultatene fra dette forsøket er listet opp i *appendiks B, Eksempler på beregninger av fyllprosent som ikke førte frem, Metode 1*. Vektingen er satt til 1.0 fordi det ikke lyktes å komme frem til en felles vekting pr. bånd og polarisasjon som ga gode resultater. I parentes etter hver beregnet fyllprosent vises den vektingen av kjøretøypikslene som ville gitt korrekt svar.

Korrekt vekting er forholdsvis jevn mellom ulike bånd og polariseringer innen samme p-plass, variasjonsbredde er 0,7, og typisk spredning er 0,3. Dette betyr ingenting for å klare å finne en felles vekting pr. bånd og polarisasjon. Man kan tenke seg at hver kombinasjon av bånd og polarisasjon har sin egen vekting, men de ulike p-plassene må ha samme vekting for samme kombinasjon dersom metoden skal være en felles løsning uten apriori informasjon om p-plassen. Mellom de ulike p-plassene varierer korrekt vekting mer, med variasjonsbredde på 1,0 og typisk spredning på 0,7. Dette vil si at vektingen må dobles fra en p-plass til en annen for å gi korrekt resultat, og en kompromissverdi for å gi et grovt anslag er utelukket.

Det er et skille i korrekt vekting mellom p-plasser som har høy fyllprosent og p-plasser som har lav fyllprosent. P-plassene B, D, F og L har fyllprosent i følge fasiten på henholdsvis 80 %, 65 %, 70 % og 50 %. Disse 4 p-plassene har så like resultater at en kompromissverdi i flere av båndene vil kunne være mulig. P-plassene A, I og J har fyllprosent på henholdsvis 29,7 %, 35 % og 30 %. Også disse har like resultater med hverandre. P-plasser med høy fyllprosent skal i følge denne metoden ha en høyere vekting av kjøretøypikslene enn p-plasser med lav fyllprosent. Dette er ikke overraskende. Arealet som terskles ut per kjøretøy er større enn kjøretøyets virkelige areal. Tilbakespredningen reflekteres via bakken og andre kjøretøy i tillegg til fra kjøretøyet selv. Kjøretøy som står tett vil gi forhøyet tilbakespredning i færre piksler per kjøretøy, enn de som står spredt, og dermed må de kompenseres med høyere vekting ved beregning av fyllprosent ved hjelp av areal.

To p-plasser får ikke plass i noen av gruppene, det er G) og H) med fyllprosent på henholdsvis 55 % og 30 %. Dette til tross for at fyllprosentene samsvarer med hver sin gruppe. Disse to har resultater som ligger midt mellom de to andre gruppene, og deres korrekte vekting samsvarer med hverandre. De danner således sin egen gruppe. Det som er felles for disse to p-plassene er at de har aspektvinkler på 90 grader og 97 grader, og de høyeste tilbakespredningsverdiene i studien.

Den andre metoden som ble forsøkt tar i bruk middelverdi og standardavvik fra de tersklede kjøretøyene i metode 1, mens bakgrunnsverdiene baserer seg på egne asfaltutsnitt som tidligere i studien.

$$\begin{aligned} \mu \text{ kjøretøy} - 1 \sigma < k < \mu \text{ kjøretøy} + 1 \sigma \\ \mu \text{ asfalt} - 2 \sigma < b < \mu \text{ asfalt} + 2 \sigma \end{aligned} \quad (3.4.2)$$

Det ble forsøkt med 1 og 2 standardavvik både for kjøretøy og asfalt, og det jevneste resultatet ble valgt. Like fullt er resultatene svært ujevne. Variasjonsbredde for korrekt vekting er mellom p-

plassene på 2,0, med typisk spredning på 1,4. Resultatene er listet opp i *appendiks B, Eksempler på beregninger av fyllprosent som ikke førte frem, Metode 2*.

Histogrammet for de tersklede kjøretøyene ligner ikke på noen normalfordeling (se figur 6A), og dermed vil ikke middelvei ± 1 std representere 68 % av fordelingen. Ei heller vil middelvei ± 2 std representere 95 % av fordelingen, trolig vil mange bakgrunnsverdier bli innlemmet i fordelingen ved å sette nedre grense for kjøretøy ved middelvei $- 2$ std. Kanskje er det bedre å ta utgangspunkt i medianen enn i middelveien, og dette ble forsøkt i metode 3.

$$\begin{aligned} \text{medianverdi kjøretøy} - 1 \sigma < k < \text{medianverdi kjøretøy} + 1 \sigma \\ \text{medianverdi asfalt} - 2 \sigma < b < \text{medianverdi asfalt} + 2 \sigma \end{aligned} \quad (3.4.3)$$

Også her ble det forsøkt med 1 og 2 standardavvik både for kjøretøy og asfalt, og det jevneste resultatet ble valgt. Spredningen med denne metoden er den største, med variasjonsbredde på 2,2 og typisk spredning på 1,4. Det jevneste båndet er L-VV, og selv om maksimal spredning er 1,3 så er 5 av p-plassene ganske jevne, med beregnet vektning mellom 1,4 og 1,6. Ved å velge en kompromissverdi på 1,5 vil disse 5 p-plassene få resultater med en feilmargin på 5 %. Akseptabelt anslag for 5 av 9 p-plasser er ikke et godt resultat, og mer komplekse metoder bør kanskje tas i bruk, men dette ligger utenfor denne studien å utføre.

Man kan tenke seg at det finnes apriori informasjon om områder hvor det er interessant å overvåke ansamlinger av biler. Det vil være ønskelig å ha bildeopptak med få eller ingen kjøretøy på de aktuelle plassene, og vil se på endringene i forhold til dette. Da har man en referanse der strukturer som lyktestolper og annet trer tydelig frem uten at de forveksles med kjøretøy. Dette er det typiske scenarioet ved overvåking med "change detection". I et slikt tilfelle vil det være greit å ha ulik vektning for ulike aspektvinkler, kombinasjoner av bånd og polarisasjoner og man vil også kunne justere vektningen etter hvor tett oppstilling den aktuelle plassen har. Med dette lagt til grunn, vil det kanskje være mulig å bygge videre på metode 1, hvor $k \geq$ tersklingsverdi, $b <$ tersklingsverdi. Dette er den av metodene som har minst variasjonsbredde og lavest spredning. Resultatene fra metode 1 viser følgende trender:

- Lav fyllprosent gir lavere vektning enn høy fyllprosent, slik som p-plass A) NVM og J) LEI
- Tett oppstilling gir lavere vektning enn ved større spredning av kjøretøy, slik som p-plass A) NVM og I) FLY_w
- Aspektvinkelen til kjøretøyene vil påvirke beregningen av fyllprosent på samme måte som den påvirker synbarheten av kjøretøy
- Beregninger i krysspol-kombinasjoner har tilsynelatende lik variasjonsbredde og spredning som likepol-kombinasjoner

Et mulig alternativ til metode 1, 2 og 3, som alle er histogrambaserte, er å telle antall biler ved hjelp av lokale maksima. Man ville funnet frem til en høy tersklingsverdi som kun får med toppene. Hvert kjøretøy har typisk en toppverdi med lavere verdier rundt. Det kan også forekomme to topper per kjøretøy. Antall topper satt opp mot antall tilgjengelige plasser ville representert fyllprosenten. En ulempe ved denne metoden er at man måtte kjent antall tilgjengelige plasser på forhånd, evt. kunne man estimert dette ut fra arealet på p-plassen.

4 Konklusjon

Målet med denne studien var å rangere X-HH, C-HH, C-HV, L-HH, L-HV og L-VV med tanke på synbarhet av kjøretøy. Synbarhet av kjøretøy kan være styrken på tilbakespredningen, kontrasten mellom kjøretøy og bakgrunn og/eller at båndet registrerer tilbakespredning fra flest mulig kjøretøy. Man kan også hevde at det er god synbarhet dersom det er mulig å detektere kjøretøy med en fast algoritme i det aktuelle båndet.

I denne studien har det kommet frem at HH-båndene har størst gjennomsnittlig tilbakespredning, alle rundt -5 dB. Best gjennomsnittlig kontrast har L-HV på rundt 15 dB mellom kjøretøy og bakgrunn. Krysspol har bedre kontrast enn likepol, og lange bølgelengder bedre enn korte. X-HH er det båndet som avbilder kjøretøy, utenom busser og trailere, mest nøyaktig, dvs. den geografiske utstrekningen til kjøretøyene samsvarer best med den optiske fasiten. De store kjøretøyene sees tydeligst i krysspol, og L-HV gjengir dem sterkere enn C-HV.

Hvis et bånd og polarisasjon skal fremheves som best, vil det bli X-HH fordi det gjengir kjøretøy mest korrekt geografisk sett og har blant de høyeste tilbakespredningsverdiene i studiene. Kontrasten mellom kjøretøy og bakgrunn er den laveste i denne studien, men gjennomsnittsverdien er allikevel på 10,3 dB. En viktig negativ egenskap ved dette båndet er at store kjøretøy har dårlig synbarhet. Dermed er dette båndet kun å anbefale for god synbarhet av mindre kjøretøy.

Dersom studien skal anbefale to polarisasjoner innenfor et bånd vil rangeringen bli følgende:

- 1) L-HH sammen med L-HV gir god kontrast i størrelsesorden 10 – 15 dB og god synbarhet også av store kjøretøy som busser og trailere. Den geografiske nøyaktigheten er middels i denne studien. Riktignok var 6 av 9 masker fra L-båndet, men 3 av disse var fra L-VV. Likevel er L-HH å anbefale på grunn av høye tilbakespredningsverdier og L-HV på grunn av den høye kontrasten og god synbarhet av store kjøretøy.
- 2) X-HH sammen med X-HV gir gjennomsnittlig kontrast mellom kjøretøy og asfalt i området 10 – 11 dB. X-HV er ikke tilgjengelig i denne studien, men man kan tenke seg at trender for de andre båndene også gjelder for X-bånd. X-HH har den mest nøyaktige geografiske gjengivelsen av kjøretøy ved bruk av et bånd. Store kjøretøy vil ikke avbildes godt i denne kombinasjonen.
- 3) C-HH sammen med C-HV gir jevn kontrast mellom kjøretøy og asfalt på 11-12 dB. Store kjøretøy vil avbildes middels godt. Avviket i geografisk nøyaktighet vil kanskje være størst i denne kombinasjonen.

Fullpolarimetri kan gi verdifull tilleggsm informasjon om f.eks. retningen til kjøretøy. Pauli dekomposisjon viser odd-bounce og even-bounce for kjøretøy med 0 grader og 90 grader aspektvinkel, og hovedsakelig volumspredning for øvrige aspektvinkler.

Studien skulle også undersøke om fyllprosent lot seg enkelt anslå på bakgrunn av intensitetsverdier. Dette synes ikke å være tilfelle, i det minste ikke med de metodene som det er eksperimentert med her.

Referanser

- [1] Dan Johan Weydahl, Kompendie i faget UNIK4510
- [2] Nasjonalt senter for romrelatert opplæring, VKII Romteknologi
<http://www.romteknologi.no/books/36/6.html>, besøkt 27.8.2007
- [3] Federation of American Scientists
<http://www.fas.org/spp/guide/russia/earth/almaz.htm>, besøkt 27.8.2007
- [4] US Department of Transportation, Central Federal Lands Highway Division
http://www.cflhd.gov/techDevelopment/completed_projects/geotech/insar/_documents/15_references_glossary.pdf, besøkt 27.8.2007
- [5] Palubinskas, G.; Runge, H.; Reinartz, P. Radar signatures of road vehicles
Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. IGARSS apos;04. Proceedings. 2004 IEEE
International Volume 2, Issue , 20-24 Sept. 2004 Page(s): 1498 - 1501 vol.2 Digital Object Identifier
10.1109/IGARSS.2004.1368705
- [6] Japan Aerospace Exploration Agency
<http://www.eorc.jaxa.jp>, besøkt 31.08.2007
- [7] Danmarks Tekniske Universitet, Informatik og Matematisk Modellering
<http://www2.imm.dtu.dk/~jmc/02501/speckle.pdf>, besøkt 31.08.2007
- [8] M. Herodl, D. Roberts: Spectral characteristics of asphalt road aging and deterioration: implications for remote-sensing application. Applied optics, vol. 44, No. 20
- [9] Fawwaz T. Ulaby og M. Craig Dodson: Handbook of radar scattering statistics for terrain
- [10] Dan Johan Weydahl and Richard Olsen ANALYSIS OF ASAR POLARISATION SIGNATURES FROM URBAN AREAS (AO-434), *Norwegian Defence Research Establishment (FFI)*
- [11] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," IEEE Trans. Sys., Man., Cyber., vol. 9, pp. 62–66, 1979
- [12] Fritz Albregtsen: Segmentation by Non-Contextual Thresholding Methods – Error Versus Relative Object Area, Department of Informatics, University of Oslo.
- [13] Wayne Niblack, An Introduction to Digital Image Processing, Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, 1990
- [14] Dan Johan Weydah: Change detection tecniques for ERS-1 SAR images. FFI/Rapport-94/02914

Appendiks

Appendiks A Tilbakespredningsverdier for p-plasser i Lillestrøm

| P-plass Navn | Fork | UTM32/WGS84 | Aspekt | θ Inc | Bånd | Tilbakespredning kjøretøy | | | | Bakgrunn | | Kommentar |
|-----------------------|--------|--------------------------|--------|--------|---------|---------------------------|----------------------|-------|--------|----------|------|--|
| | | | | | | mean | min | max | std | mean | std | |
| A. Norges varemesse | NVM | 614580.18, 6647598,00 | 0° | 43,42° | 1. X-HH | -3.59 | -10.04 | 18.16 | 4.64 | -19.63 | 2.61 | Maske:X-HH |
| | | | | 43,52° | 2. C-HH | -7.01 | -26.06 | 11.84 | 5.26 | -21.30 | 2.41 | |
| | | | | | 3. C-HV | -19.65 | -36.66 | -1.37 | 4.57 | -30.90 | 2.27 | |
| | | | | | 4. L-HH | -5.29 | -26.96 | 12.26 | 6.61 | -23.12 | 2.25 | |
| | | | | 43,60° | 5. L-HV | -18.91 | -39.31 | -4.37 | 5.89 | -34.17 | 2.70 | |
| | | | | | 6. L-VV | -8.41 | -31.28 | 13.36 | 6.10 | -23.80 | 2.22 | |
| B. IFE | IFE | 614291,00 6647598,00 | +17° | 52,00° | 1. X-HH | -6.85 | -22.95 | 10.38 | 5.02 | -18.02 | 2.00 | Maske:L-VV |
| | | | | 52,00° | 2. C-HH | -7.65 | -26.46 | 8.62 | 4.79 | -20.63 | 2.75 | |
| | | | | | 3. C-HV | -16.57 | -31.62 | -7.31 | 4.05 | -28.25 | 1.49 | |
| | | | | | 4. L-HH | -6.87 | -20.86 | 5.98 | 3.58 | -12.87 | 3.20 | |
| | | | | 52,10° | 5. L-HV | -14.46 | -31.24 | -5.4 | 3.98 | -27.94 | 2.32 | |
| | | | | | 6. L-VV | -8.30 | -12.96 | 3.42 | 3.01 | -23.69 | 2.36 | |
| C. Bussoppstilling | BUS_35 | 615670.22, 6649550.16 | +35° | 37,08° | 1. X-HH | -7.42 | | | | -12.31 | 2.27 | Ingen maske brukbar, manuell avlesning i ERDAS |
| | | | | 37,18° | 2. C-HH | -8.24 | | | | -13.77 | 2.11 | |
| | | | | | 3. C-HV | -13.95 | ikke beregnet/avlest | | | -29.56 | 2.24 | |
| | | | | | 4. L-HH | -5.56 | | | -15.17 | 2.72 | | |
| | | | | 37,22° | 5. L-HV | -15.73 | | | -31.16 | 3.63 | | |
| | | | | | 6. L-VV | -10.50 | | | -19.19 | 2.46 | | |
| D. Isakveien | IVN | 615557.70, 6647252,70 | +37° | 30,89° | 1. X-HH | -10.48 | -21.50 | 0.02 | 3.78 | -16.95 | 2.80 | Maske:L-HV |
| | | | | 30,99° | 2. C-HH | -9.27 | -22.34 | -0.28 | 3.52 | -13.23 | 2.39 | |
| | | | | | 3. C-HV | -17.53 | -31.53 | -6.91 | 3.51 | -26.77 | 2.30 | |
| | | | | | 4. L-HH | -8.79 | -19.15 | 1.99 | 3.55 | -16.08 | 2.50 | |
| | | | | 31,07° | 5. L-HV | -15.54 | -20.69 | -7.07 | 3.06 | -27.25 | 2.76 | |
| | | | | | 6. L-VV | -9.82 | -20.17 | -0.23 | 3.49 | -18.39 | 3.43 | |
| E. Lillestrøm stadion | LST | 615289.20, 6648892.36 | +75° | 39,63° | 1. X-HH | -6.96 | -18.43 | 9.24 | 4.16 | -16.05 | | Trailere. Utsnitt kun av trailere. (Maske: L*3) Bakgrunn lest av i ERDAS |
| | | | | 39,74° | 2. C-HH | -5.52 | -17.65 | 8.49 | 3.97 | -15.83 | | |
| | | | | | 3. C-HV | -14.96 | -24.18 | -4.83 | 3.15 | -26.05 | | |
| | | | | | 4. L-HH | -4.72 | -11.9 | 3.27 | 2.60 | -17.15 | | |
| | | | | 39,73° | 5. L-HV | -11.94 | -25.22 | -0.8 | 3.43 | -25.20 | | |
| | | | | | 6. L-VV | -5.75 | -15.27 | 5.59 | 3.29 | -16.77 | | |
| F. Flystripa, øst | FLY_e | 614005.96, 6650039.02 | +77° | 53,28° | 1. X-HH | -5.36 | -21.40 | 7.69 | 4.68 | -16.57 | 4.28 | Maske:C-HH |
| | | | | 53,45° | 2. C-HH | -4.44 | -10.21 | 9.65 | 3.53 | -18,07 | 1.90 | |
| | | | | | 3. C-HV | -14.87 | -31.43 | -2.76 | 4.32 | -29.04 | 2.34 | |
| | | | | | 4. L-HH | -5.52 | -25.27 | 6.53 | 4.18 | -21.00 | 2.07 | |
| | | | | 53,46° | 5. L-HV | -13.64 | -34.22 | -3.37 | 5.07 | -33.48 | 3.08 | |
| | | | | | 6. L-VV | -7.05 | -25.20 | 1.99 | 4.41 | -23.90 | 2.19 | |

Appendiks A Tilbakespredningsverdier for p-plasser i Lillestrøm

| P-plass Navn | Fork | UTM32/WGS84 | Aspekt | θ Inc | Bånd | Tilbakespredning kjøretøy | | | | Bakgrunn | | Kommentar |
|--------------------|---------|--------------------------|--------|--------|---------|---------------------------|--------|--------|------|----------|------|--|
| | | | | | | mean | min | max | std | mean | std | |
| G. FFI | FFI | 614233.30, 6650321.10 | +90° | 52,11° | 1. X-HH | 1.25 | -16.22 | 18.14 | 5.95 | -14.60 | 1.87 | Maske:L-HH |
| | | | | 52,20° | 2. C-HH | -1.07 | -19.37 | 15.40 | 5.63 | -14.92 | 2.49 | |
| | | | | | 3. C-HV | -14.97 | -28.74 | -7.02 | 3.68 | -23.53 | 2.46 | |
| | | | | | 4. L-HH | 1.09 | -3.77 | 12.04 | 3.51 | -10.96 | 2.67 | |
| | | | | 52,21° | 5. L-HV | -13.28 | -27.94 | -3.37 | 4.21 | -23.38 | 2.87 | |
| | | | | | 6. L-VV | -3.03 | -16.64 | 6.97 | 4.19 | -15.44 | 2.55 | |
| H. Unik | UNI | 614087.70, 6650379,30 | +97° | 53,28° | 1. X-HH | -3.47 | -19.88 | 13.34 | 6.14 | -14.25 | 2.30 | Maske:L-HH |
| | | | | 53,35° | 2. C-HH | -2.23 | -20.23 | 19.35 | 7.51 | -18.34 | 2.64 | |
| | | | | | 3. C-HV | -14.85 | -28.66 | -2.69 | 4.46 | -28.39 | 2.40 | |
| | | | | | 4. L-HH | -2.17 | -6.7 | 10.65 | 3.60 | -12.36 | 2.45 | |
| | | | | 52,20° | 5. L-HV | -14.48 | -28.66 | -2.69 | 4.46 | -26.45 | 2.81 | |
| | | | | | 6. L-VV | -6.44 | -21.4 | 5.52 | 5.17 | -18.94 | 3.47 | |
| I. Flystripa, vest | FLY_w | 614005.96, 6650039.02 | +100° | 53,28° | 1. X-HH | -6.70 | -24.47 | 11.57 | 4.51 | -16.56 | 4.28 | Maske:L-VV En del biler også 40° |
| | | | | 53,45° | 2. C-HH | -6.37 | -18.93 | 10.88 | 3.91 | -18.07 | 1.90 | |
| | | | | | 3. C-HV | -15.25 | -29.55 | 0.17 | 3.80 | -29.04 | 2.34 | |
| | | | | | 4. L-HH | -6.95 | -20.70 | 6.93 | 3.71 | -28.00 | 2.07 | |
| | | | | 53,46° | 5. L-HV | -13.43 | -28.07 | -1.60 | 3.75 | -33.48 | 3.08 | |
| | | | | | 6. L-VV | -7.45 | -12.30 | 7.31 | 3.15 | -23.90 | 2.19 | |
| J. Leiraveien | LEI | 615535.43, 6649271.59 | +105° | 37,88° | 1. X-HH | -3.38 | -20.53 | 11.42 | 6.39 | -16.41 | 2.44 | Maske:L-HH |
| | | | | 38,06° | 2. C-HH | -4.43 | -20.65 | 8.29 | 5.74 | -15.21 | 1.99 | |
| | | | | | 3. C-HV | -18.62 | -32.46 | -10.34 | 4.03 | -27.06 | 1.84 | |
| | | | | | 4. L-HH | -1.26 | -7.66 | 9.6 | 3.73 | -15.45 | 2.60 | |
| | | | | 38,10° | 5. L-HV | -15.55 | -30.96 | -7.61 | 3.97 | -30.56 | 2.61 | |
| | | | | | 6. L-VV | -2.98 | -13.18 | 4.21 | 3.02 | -6.13 | 3.40 | |
| K. Bussoppstilling | BUS_145 | 615670.22, 6649550.16 | +145° | 37,08° | 1. X-HH | -7.55 | -16.54 | 2.87 | 4.01 | -12.31 | 2.27 | Utsnitt kun av busser. (Maske:C-HH) Forøvrig best synbarhet i L-bånd (L-HV) |
| | | | | 37,18° | 2. C-HH | -7.32 | -10.19 | -2.39 | 1.75 | -13.77 | 2.11 | |
| | | | | | 3. C-HV | -14.19 | -28.75 | -5.41 | 6.04 | -29.56 | 2.24 | |
| | | | | | 4. L-HH | -5.51 | -11.6 | 6.73 | 4.16 | -15.17 | 2.72 | |
| | | | | 37,22° | 5. L-HV | -13.11 | -23.82 | -4.93 | 4.46 | -31.16 | 3.63 | |
| | | | | | 6. L-VV | -10.58 | -22.3 | 2.06 | 4.99 | -19.19 | 2.46 | |
| L. Jonas Lies gate | JLG | 613637.10, 6648413,10 | +160° | 52,80° | 1. X-HH | -10.38 | -25.57 | 15.89 | 6.71 | -20.08 | 1.77 | Maske:HH*3 X-HH+C-HH+L- HH |
| | | | | 52,85° | 2. C-HH | -9.96 | -24.67 | 14.51 | 5.81 | -20.86 | 2.24 | |
| | | | | | 3. C-HV | -19.58 | -33.80 | -3.68 | 5.08 | -29.33 | 1.72 | |
| | | | | | 4. L-HH | -10.76 | -30.26 | 10.17 | 6.13 | -23.03 | 2.57 | |
| | | | | 52,87° | 5. L-HV | -17.66 | -34.72 | -4.66 | 5.75 | -30.62 | 1.88 | |
| | | | | | 6. L-VV | -12.11 | -28.48 | 1.95 | 5.86 | -23.76 | 2.15 | |

Appendiks BEksempler på beregninger av fyllprosent som ikke førte frem

$$\text{Fyllprosent} = k * \text{vekt} / k + b$$

| p-lass | A) NVM | B) IFE | D) IVN | F) FLY e | G) FFI | H) UNI | I) FLY w | J) LEI | L) JLG |
|----------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|
| θ aspekt | 0 | 17 | 37 | 77 | 90 | 97 | 100 | 105 | 160 |
| θ inc | 43,5 | 52,0 | 30,9 | 53,3 | 52,1 | 53,3 | 53,3 | 37,9 | 52,8 |
| fasit | = 29,7 % | ≈ 80 % | ≈ 65 % | ≈ 70 % | ≈ 55 % | ≈ 30 % | ≈ 35 % | ≈ 30 % | ≈ 50 % |

Metode 1. $k \geq$ tersklingsverdi, $b <$ tersklingsverdi

- vekt er satt til 1.0 for alle bånd og polarisasjoner, fordi det ikke lyktes å finne en felles verdi pr. bånd og polarisasjon som gir gode resultater
- tall i parentes bak hver fyllprosent angir riktig vekt

| | | | | | | | | | |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| X-HH (avvik) | 34% (0.9) | 50% (1.6) | 41% (1.6) | 41% (1.7) | 46% (1.2) | 23% (1.3) | 52% (0.7) | 33% (0.9) | 29% (1.7) |
| C-HH (avvik) | 34% (0.9) | 49% (1.6) | 42% (1.5) | 40% (1.8) | 50% (1.1) | 28% (1.1) | 44% (0.8) | 33% (0.9) | 33% (1.5) |
| C-HV (avvik) | 36% (0.8) | 50% (1.6) | 45% (1.4) | 42% (1.7) | 54% (1.0) | 47% (0.6) | 56% (0.6) | 39% (0.8) | 32% (1.6) |
| L-HH (avvik) | 39% (0.8) | 51% (1.6) | 39% (1.7) | 47% (1.5) | 41% (1.3) | 27% (1.1) | 49% (0.7) | 38% (0.8) | 38% (1.3) |
| L-HV (avvik) | 38% (0.8) | 56% (1.4) | 40% (1.6) | 48% (1.5) | 54% (1.0) | 45% (0.7) | 54% (0.6) | 44% (0.7) | 41% (1.2) |
| L-VV (avvik) | 35% (0.8) | 50% (1.6) | 52% (1.3) | 46% (1.5) | 47% (1.2) | 32% (0.9) | 47% (0.7) | 50% (0.6) | 34% (1.5) |

Metode 2. μ kjøretøy – $1 \sigma < k < \mu$ kjøretøy + 1σ , μ asfalt – $2 \sigma < b < \mu$ asfalt + 2σ

- vekt er satt til 1.0 for alle bånd og polarisasjoner, fordi det ikke lyktes å finne en felles verdi pr. bånd og polarisasjon som gir gode resultater
- tall i parentes bak hver fyllprosent angir riktig vekt

| | | | | | | | | | |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| X-HH (avvik) | 32% (0.9) | 52% (1.5) | 29% (2.2) | 28% (2.5) | 41% (1.3) | 22% (1.4) | 36% (1.0) | 28% (1.1) | 31% (1.6) |
| C-HH (avvik) | 34% (0.9) | 52% (1.5) | 27% (2.4) | 39% (1.8) | 51% (1.1) | 32% (0.9) | 77% (0.5) | 27% (1.1) | 31% (1.6) |
| C-HV (avvik) | 30% (1.0) | 61% (1.3) | 37% (1.8) | 39% (1.8) | 48% (1.1) | 54% (0.6) | 67% (0.5) | 35% (0.9) | 35% (1.4) |
| L-HH (avvik) | 41% (0.7) | 32% (2.5) | 29% (2.2) | 47% (1.5) | 47% (1.2) | 21% (1.4) | 67% (0.5) | 33% (0.9) | 40% (1.3) |
| L-HV (avvik) | 32% (0.9) | 61% (1.3) | 31% (2.1) | 50% (1.4) | 49% (1.1) | 38% (0.8) | 81% (0.4) | 38% (0.8) | 51% (1.0) |
| L-VV (avvik) | 33% (0.9) | 67% (1.2) | 35% (1.9) | 48% (1.5) | 45% (1.2) | 23% (1.3) | 73% (0.5) | 28% (1.1) | 36% (1.4) |

Metode 3. medianverdi kjøretøy – $1 \sigma < k <$ medianverdi kjøretøy + 1σ , medianverdi asfalt – $2 \sigma < b <$ medianverdi asfalt + 2σ

- vekt er satt til 1.0 for alle bånd og polarisasjoner, fordi det ikke lyktes å finne en felles verdi pr. bånd og polarisasjon som gir gode resultater
- tall i parentes bak hver fyllprosent angir riktig vekt

| | | | | | | | | | |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| X-HH (avvik) | 22% (1.3) | 39% (2.1) | 31% (2.1) | 32% (2.2) | 30% (1.8) | 15% (2.0) | 44% (0.8) | 20% (1.5) | 17% (2.9) |
| C-HH (avvik) | 23% (1.3) | 45% (1.8) | 31% (2.1) | 26% (2.7) | 36% (1.5) | 19% (1.6) | 71% (0.5) | 16% (1.9) | 21% (2.4) |
| C-HV (avvik) | 23% (1.3) | 46% (1.7) | 33% (2.0) | 31% (2.3) | 41% (1.3) | 44% (0.7) | 65% (0.5) | 27% (1.1) | 22% (2.3) |
| L-HH (avvik) | 25% (1.2) | 37% (2.2) | 29% (2.2) | 36% (1.9) | 32% (1.7) | 17% (1.8) | 57% (0.6) | 23% (1.3) | 29% (1.7) |
| L-HV (avvik) | 24% (1.2) | 54% (1.5) | 30% (2.2) | 46% (1.5) | 43% (1.3) | 38% (0.8) | 82% (0.4) | 33% (0.9) | 35% (1.4) |
| L-VV (avvik) | 21% (1.4) | 57% (1.4) | 40% (1.6) | 38% (1.8) | 34% (1.6) | 22% (1.4) | 65% (0.5) | 36% (0.8) | 25% (2.0) |

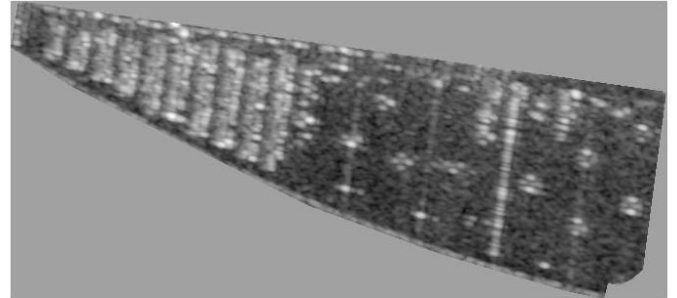
Appendiks COversikt over p-plasser i studien

SAR bildene er vist i X-HH

A) NVM, Norges Varemesse

Innfallsvinkler: X bånd:43,4° C-bånd:43,5° L-bånd:43,6°

Aspektvinkel kjøretøy: 0°



B) IFE

Innfallsvinkler: X bånd:52,0° C-bånd:52,0° L-bånd:52,2°

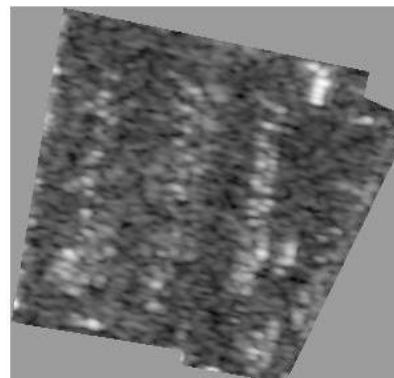
Aspektvinkel kjøretøy: 17°



C) BUS_35, Bussoppstilling

Innfallsvinkler: X bånd:37,1° C-bånd:37,2° L-bånd:37,2°

Aspektvinkel kjøretøy: 35°



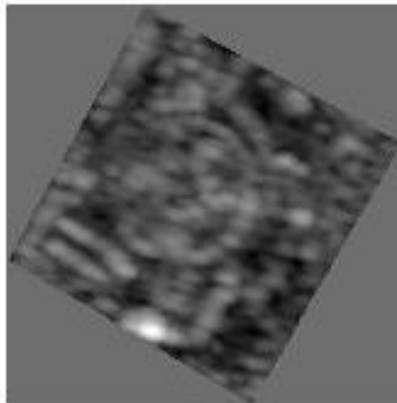
D) IVN, Isakveien

Innfallsvinkler: X bånd:30,9° C-bånd:31,0° L-bånd:31,1°
Aspektvinkel kjøretøy: 37°



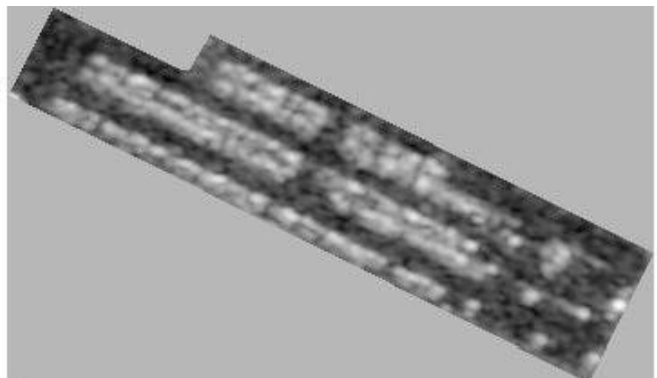
E) LST, Lillestrøm stadion

Innfallsvinkler: X bånd:39,6° C-bånd:39,7° L-bånd:39,7°
Aspektvinkel kjøretøy: 75°



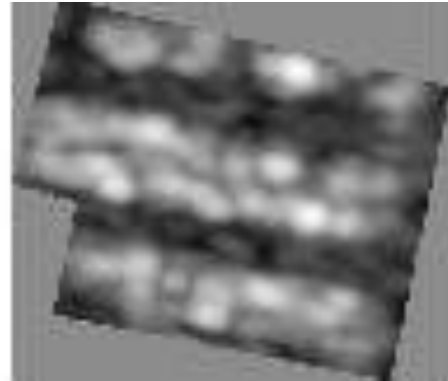
F) FLY_e, Flystripa øst

Innfallsvinkler: X bånd:53,3° C-bånd:53,5° L-bånd:53,5°
Aspektvinkel kjøretøy: 77°



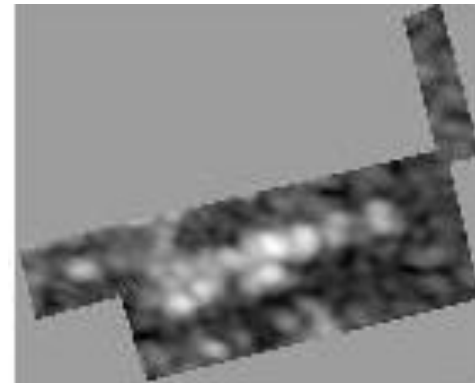
G) FFI

Innfallsvinkler: X bånd: $52,1^\circ$ C-bånd: $52,2^\circ$ L-bånd: $52,2^\circ$
Aspektvinkel kjøretøy: 90°



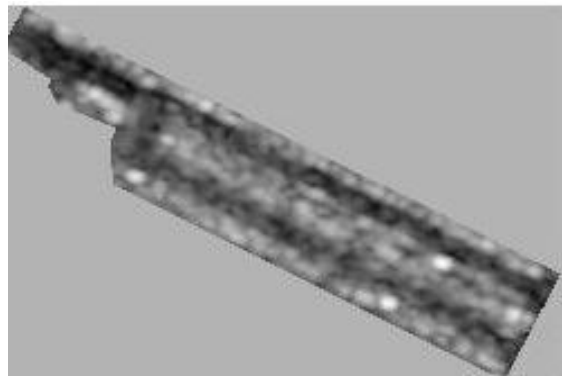
H) Unik

Innfallsvinkler: X bånd: $53,3^\circ$ C-bånd: $53,4^\circ$ L-bånd: $52,2^\circ$
Aspektvinkel kjøretøy: 97°



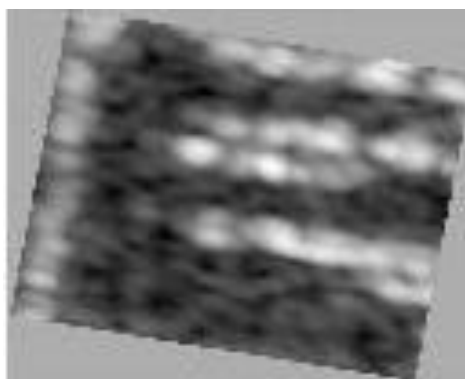
I) FLY w, Flystripa vest

Innfallsvinkler: X bånd: $53,3^\circ$ C-bånd: $53,5^\circ$ L-bånd: $53,5^\circ$
Aspektvinkel kjøretøy: 100°



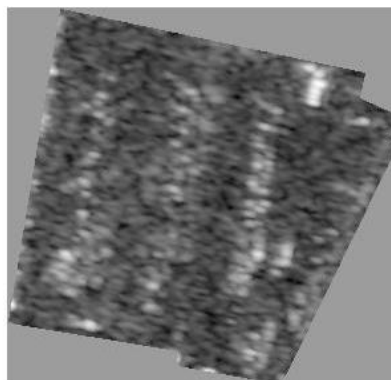
J) LEI, Leiraveien

Innfallsvinkler: X bånd:37,9° C-bånd:38,1° L-bånd:38,1°
Aspektvinkel kjøretøy: 105°



K) BUS_145, Bussoppstilling (lik som C)

Innfallsvinkler: X bånd:37,1° C-bånd:37,2° L-bånd:37,2°
Aspektvinkel kjøretøy: 145°



L) JLG, Jonas Lies gate

Innfallsvinkler: X bånd:52,8° C-bånd:52,9° L-bånd:52,9°
Aspektvinkel kjøretøy: 160°

