

FFI RAPPORT

KAMERASTATIVER TIL BRUK I ET DEPLOYERBART PERIMETEROVERVÅKINGSSYSTEM

PALM Hans Christian, JØDAHL Hege, BRAATHEN Bjørn

FFI/RAPPORT-2004/00969

FFI-V/835/350

Kjeller 23. mars 2004

**KAMERASTATIVER TIL BRUK I ET
DEPLOYERBART
PERIMETEROVERVÅKINGSSYSTEM**

PALM Hans Christian, JØDAHL Hege, BRAATHEN
Bjørn

FFI/RAPPORT-2004/00969

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT
Norwegian Defence Research Establishment
Postboks 25, 2027 Kjeller, Norge

P O BOX 25
 NO-2027 KJELLER, NORWAY
REPORT DOCUMENTATION PAGE

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-2004/00969	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED	3) NUMBER OF PAGES 33
1a) PROJECT REFERENCE FFI-V/835/350	2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	
4) TITLE KAMERASTATIVER TIL BRUK I ET DEPLOYERBART PERIMETEROVERVÅKINGSSYSTEM Camera stands for use in a deployable camera perimeter surveillance system		
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) PALM Hans Christian, JØDAHL Hege, BRAATHEN Bjørn		
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)		
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH: IN NORWEGIAN:		
a) <u>Camera stands</u>	a) <u>Kamerastativ</u>	
b) <u>Estimation of displacement and rotation</u>	b) <u>Estimering av forflytning og rotasjon</u>	
c) <u>Image processing</u>	c) <u>Bildebehandling</u>	
d) <u>Surveillance</u>	d) <u>Overvåkning</u>	
e) <u>International operations</u>	e) <u>Internasjonale operasjoner</u>	
THESAURUS REFERENCE:		
8) ABSTRACT The security of troops participating in international operations are utmost important. A well performing perimeter surveillance of the camps is hence required. Cameras will likely be a part of such systems either as a surveillance sensor or for verification purposes. In both these contexts robust camera stands are needed for generating stable images. Also in international operations, the transport distances are likely to be large. Thus, weight and volume have to be kept to a minimum. We have designed and tested three different camera stand concepts. One is based on a trussed pole, either being identical to the aluminium stands the road authorities are using, or being made of steel, one is simply an aluminium pole (tube) fastened to the ground with guy ropes, and one based on a tripod. All stands but the trussed pole are tested at Bodø Airport, which is known to be a very windy location. (A trussed pole of steel has already been tested with good results at a camp in Kosovo, and this pole has similar performance as a trussed pole of aluminium). Image sequences are recorded daily for each stand. For each sequence, image displacement and image rotation are estimated and recorded. The results show that the aluminium pole has virtually no displacements or rotations when the wind speed is less than 25-30 m/s. The tripod shows a similar performance for as low wind speeds as 5-10 m/s. Furthermore, the trussed pole used in Kosovo, has demonstrated a good performance during the last year. Thus, we recommend use of either the trussed poles or the aluminium pole. The tripod has to be developed further if it is to be used.		
9) DATE 2004-03-23	AUTHORIZED BY This page only Jan Ivar Botnan	POSITION Director

ISBN 82-464-0815-1

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

INNHOOLD

	Side	
1	INNLEDNING	7
2	KAMERAMASTER	8
2.1	Fagverksmast – FFI	8
2.1.1	Konstruksjon	8
2.1.2	Volum og vekt	9
2.1.3	Montering	9
2.2	Fagverksmast – Kosovo	10
2.2.1	Konstruksjon	10
2.2.2	Volum og vekt	10
2.2.3	Montering	11
2.3	Bardunert aluminiumsrør	12
2.3.1	Konstruksjon	12
2.3.2	Volum og vekt	13
2.3.3	Montering	13
2.4	Tripodmast	14
2.4.1	Konstruksjon	14
2.4.2	Volum og vekt	15
2.4.3	Montering	15
2.5	Fortrinn og ulemper til de ulike alternativene	16
2.5.1	Fagverksmast	16
2.5.2	Bardunert mast	16
2.5.3	Tripodmast	16
3	ALGORITME FOR AUTOMATISK REGISTRERING AV KAMERAFLYTNING	17
3.1	Beregning av pikselforflytninger	17
3.1.1	Utvelgelse av piksler for template matching	17
3.1.1.1	Måling av inhomogenitet	18
3.1.1.2	Måling av stasjonaritet	19
3.1.1.3	Valg av piksler	19
3.1.2	Template matching	21
3.1.3	Estimering av translasjon og rotasjon	21
4	IMPLEMENTERING AV KAMERAFLYTNINGSALGORITMEN	22
5	LANGTIDSTESTER	23
5.1	Montering	23
5.1.1	Bardunert aluminiumsmast	23
5.1.2	Tripodmast	25
5.2	Resultater	27

6	OPPSUMMERING OG KONKLUSJON	32
	Litteratur	33

KAMERASTATIVER TIL BRUK I ET DEPLOYERBART PERIMETEROVERVÅKINGSSYSTEM

1 INNLEDNING

Sikkerheten til mannskaper som deltar i internasjonale operasjoner er av vital betydning, og en god perimeterovervåkning av leirene ved bruk av relevante overvåkningssensorer vil være ett av bidragene i bestrebelsene med å øke sikkerheten til norske styrker. Kameraer vil ofte inngå i en perimeterovervåkning enten som én (av flere) overvåkingssensor(er) eller til å verifisere alarmer som (de benyttede) overvåkingssensorene har generert. Uansett hvilken kontekst kameraene benyttes i, vil det være behov for stødige og stive kameramaster for å sikre stabile bilder (dette for å slippe en elektronisk kamerastabilisering). Ved etablering i internasjonale operasjoner vil det også generelt være lange transportavstander, hvilket medfører at vekt og volum på mastene bør være så lavt som mulig.

Vi har konstruert, laget og testet ut tre ulike stativkonsepter som alle kan være anvendelige i internasjonale operasjoner. De er stabile (stive), og de har relativt liten vekt og volum.

Det ene er basert på en fagverksmast. Masta kan enten være i aluminium med trekantet tverrsnitt – identisk med en av de mastene som vegvesenet benytter, eller den kan være av stål med firkantet tverrsnitt. Masta er montert på en aluminiumsplate, og stabilitet sikres ved å legge (lokal) masse oppå denne. Alternativt kan den støpes fast i bakken.

Masta i det andre konseptet er et aluminiumsrør. Røret er tredd oppå en (konisk) pigg som er stukket ned i bakken og bardunert fast. Bardunene er festet helt øverst i masta sammen med festet for kamerahuset.

Masta i det tredje konseptet er en tripodmast. Mastebainene møtes i en enkel kardang, og i denne er det festet en stang som kamerahuset igjen er festet i. I bunnen av stanga er det en tung masse som sikrer at masta som kamerahuset er festet i henger i lodd.

To av disse kameramastene er langtidstestet på Bodø flystasjon for å undersøke hvordan de påvirkes av kraftig vind. Testingen er gjort v.h.j.a. et dataprogram som er utviklet for automatisk registrering av kameraforflytning. Ved samtidig å registrere vindhastigheten, er det bygget opp statistikk over kameraforflytning (d.v.s stabilitet) som funksjon av vindhastighet.

I utgangspunktet så vi for oss at to forskjellige metoder kunne brukes for automatisk analyse av kameraforflytning. Den ene forutsetter kun translatorisk bevegelse, den er basert på projeksjoner og er veldig lite regnekrevende¹. Den andre håndterer små rotasjoner og er basert på template

¹ Projeksjonsmetoden projiserer både referansebildet og innkommende bilde ned i hver av bildeaksene (absisise og ordinat), og finner deretter det beste samsvar mellom hvert sett av projeksjoner (x -forflytning og y -forflytning beregnes altså uavhengig av

matching. Initielt finnes et sett områder der det antas at det kan være gunstig (les: lett) å registrere kameraforflytning). Fra referansebildet genereres en template rundt senteret av hvert slikt område. Deretter foretas en template matching rundt hvert senter, og til slutt estimeres forflytning og rotasjon på bakgrunn av samtlige matchinger. Denne metoden har klart å håndtere tilstrekkelig store rotasjoner tilfredsstillende, og vi har derfor basert oss på denne.

I neste kapittel vil vi presentere kameramastene som er konstruert. Deretter vil vi kort se på hvilken avbildingsfeil vi kan forvente dersom kameramasta ikke er stiv (les: roterer om bakkepunktet). Så presenterer vi algoritmen for registrering av kameraforflytning samt implementasjonen av denne. Deretter vil vi beskrive langtidstestene og resultatene fra disse, og til slutt vil vi komme med en oppsummering og konklusjon.

2 KAMERAMASTER

Vi vil i dette kapitlet presentere de ulike kameramastene som er testet ut. På bakgrunn av våre skisser, er de alle konstruert og bygget ved Fellesverkstedet ved FFI.

2.1 Fagverksmast – FFI

2.1.1 Konstruksjon

Denne masta er basert på samme masta som vegvesenet benytter til å montere til dels store vegskilt. Noen bilder av prototypen er vist i Figur 2.1.



Figur 2.1 Kameramast basert på fagverksmast. Bildet til venstre viser foten til masta, bildet til venstre viser hele masta, og bildet til høyre viser masta der aluminiumsfoten er gravd ned i bakken.

Selve masta har et trekantet tverrsnitt der hver side består av ekstrudert aluminium. Konstruksjonen er svært stabil samtidig som den er relativt lett. I den øvre enden er det montert en toppplate som kamerahuset er montert på. I bunnen er det en bunnplate. I denne er det montert tre

hverandre). Innledende tester viste imidlertid at projeksjonsmetoden var uhyre følsom overfor selv små rotasjoner, og den måtte derfor forkastes.

bolter som igjen er skrudd ned i et aluminiumsrør som igjen er montert på en bunnplate. Bunnplaten er kvadratisk med sidelengde lik langsiden til en Europall. Utenpå bunnplaten monteres en trevegg satt sammen av langsidenes fra to “europallvegger”. Et antall veggelementer monteres over hverandre slik at den får ønsket høyde. Over bunnplaten hives (lokal) masse slik at masta står stødig.

2.1.2 Volum og vekt

Masta har et tverrsnitt lik en likevinklet trekant med side 21 cm. Dette er en velegnet form med tanke på transport. Vi kan lagre 16 master i en boks med rektangulært tverrsnitt og med bredde og høyde lik 1.89 m og 0.21 m. Volumet på dette blir 1.6 m^3 . Til masta hører bunn- og topplater. Bunnplata har form av en likesidet trekant med side 38 cm, og topplata er en likesidet trekant med side 24.5 cm. For 16 master blir volumet til hhv. topp og bunnplater 0.005 m^3 og 0.012 m^3 . Vekta på masta ble målt til 28 kg med topp og bunnplater. Vekta på disse platene skulle bli 13.5 kg og 32.5 kg^2 . (Nettovekten på en mast er derved 25.15 kg og for 16 master 450.5 kg.)

Foten til kameramasta er skrudd sammen, og transportvolumet er derfor beskjedent.

“Festerøret” har en diameter på 34 cm, det er 20 cm høyt og 3 cm tykt. Rør til 16 kameraer kan transporteres i ei kvadratisk kasse med (utvendig) side på 36 cm. Volumet blir 0.41 m^3 . Vekta til rørene for 16 kameraer blir 252.5 kg.

Bunnplata til foten er kvadratisk med side lik den lengste siden i en “europall”; d.v.s. 1.18 m. Den er pr. i dag 12 mm tykk. Realistisk vil denne bli halvert. Volumet på denne blir 0.13 m^3 for 16 enheter. Vekta blir på 361 kg for 16 enheter.

Det er 6 labber som holder “festerøret” og bunnplata sammen. En slik labb har form av et rektangel med sider 20 cm og 2.5 cm satt sammen med et trapes med grunnlinje på 38.5 cm og høyder 20 cm og 5 cm. Til sammen gir dette en flate på 0.053 m^2 . Tykkelsen på hver labb er 12mm. For 16 enheter (96 labber) blir volumet 0.061 m^3 . Vekta blir på 165 kg.

Europallvegg: En høyde (20 cm høy) veier 9 kg pr. stk. Til hver kameramast trengs 2 stk., hvilket medfører en totalvekt på 128 kg for 16 enheter.

Totalvekt blir altså 1515 kg for 16 master (enhetsvekt: 94.7 kg).

I en 20 fots ISO-container³ er det i prinsippet mulig å få plass til ca. 200 stativer. En maksimalvekt på 13 tonn innebærer likevel en begrensning på 137 stativer.

2.1.3 Montering

Ved “langtidsprøvemontering” på FFI ble bunnplaten med mastefestet grav ned i plenen. Hullet

² Egenvekta på aluminium er 2.7 kg/dm^3 .

³ Dette er containere med lengde, bredde og høyde lik h.h.v. 20', 8' og 8' 6'' (= 6.10m, 2.44m og 2.59m).

som ble gravd var på 1,5 x 1,5 x 0,4 m. Bunnen på hullet ble fylt opp med strøsingel for å få plan flate. Bunnplaten med feste til kameramasta ble plassert i hullet, og strøsingel og lokal masse ble lagt tilbake oppå bunnplaten. Masta ble deretter skrudd fast på festene, og satt i lodd vha festeskruene. Høyt tyngdepunkt (midt på masta) gjorde det litt vanskelig for en person alene å entre masta på skruene. Ved mer vind ville det vært et større problem.

Tidsforbruk: ca 2 timer for én person.

Figur 2.2 viser bunnplata med mastefestet før det ble fylt masse over bunnplata.



Figur 2.2 Bunnplate for feste av fagverksmast.

2.2 Fagverksmast – Kosovo

2.2.1 Konstruksjon

En tilsvarende type fagverksmast ble montert på Lebane leir i Kosovo i forbindelse med at kameraovervåkningssystemet OPAK ble installert der. Forskjellen på de to mastene er at “Kosovo”-mastene er firkantmaster av stål (kvadratisk tverrsnitt), mens “FFI”-mastene er trekantmaster i aluminium. En annen forskjell angår monteringen. For løsningen i Kosovo hadde ikke deployerbarhet noen relevans. Derfor ble det valgt en enklere festeanordning for mastene som bestod av en ramme med fire gjengestenger på toppen. Denne ramma ble støpt ned i bakken. Gjengestengene ble montert til masta på en tilsvarende måte som for “FFI”-masta.⁴

2.2.2 Volum og vekt

I og med at masta er av stål, blir den ganske tung, ca. 50 kg. For et 16-kamerasystem gir dette en vekt på 800 kg. Ramma og gjengestengene veier imidlertid lite, ca. 5 kg pr. enhet, hvilket blir 80 kg for et 16-kamerasystem. Hesco-bastionen (se neste avsnitt) har også en beskjeden vekt i samme størrelsesorden som ramma og gjengestengene. Dette betyr at totalvekten for et 16-kamerasystem derfor er i underkant av 1000 kg.

⁴ Merk at dette prinsippet også er relativt deployerbart i og med at masta er skrudd fast til mastefestet. Skal kameramasta flyttes, er det bare å støpe ned en (ny) ramme på den nye kameraposisjonen og montere masta på denne.

Siden i det kvadratiske tverrsnittet er 17 cm. Dette gir et lastevolum for et 16-kamerasystem på 1,85 m³. Volumet av rammefestene er beskjedent. I en ISO-container vil det være plass til ca. 200 master (som forutsettes støpt fast). Eventuelle Hesco-bastioner er ikke inkludert.

2.2.3 Montering

Monteringen foregikk ved å støpe ned mastefestene, som altså besto av en ferdig ramme med fire gjengestenger på toppen. Det ble laget en enkel forskaling til støpingen. Festene ble støpt i Hesco-bastioner⁵ og gravd ned i bakken. Mastene ble skrudd fast på festene, og satt i lodd v.hj.a. festeskruene.

Tidsforbruk: ca 2 timer for én person (i tillegg til maskinhjelp).

Figur 2.3 viser en mast i Kosovo påmontert kamera, lys og kamerakontrollboks.



Figur 2.3 Fagverksmast i Kosovo påmontert kamera, lys og kamerakontrollboks.

⁵ Hesco-bastioner er "sekker" på ca 1x1x1,5 m som (vanligvis) fylles med lokale masse (stein/grus/jord) og benyttes i sikringen av en leir.

2.3 Bardunert aluminiumsrør

2.3.1 Konstruksjon

Dette er en enkel konstruksjon bestående av et aluminiumsrør som nederst er presset ned på en kon og som øverst har bardunfester. Bilder av masta er vist i Figur 2.4.



Figur 2.4 Bilder av prototypen til kameramasta basert på et bardunert aluminiumsrør

Idéen bak denne masta er at den skal være rask å plassere ut i en første fase av en leiretablering, samtidig som det skal være mulig å forbedre monteringen i ettertid slik at den blir mer stabil. Selve masta består av et aluminiumsrør med en ytre diameter på 9 cm. På denne er det montert en sirkulær topplate som både barduner og kamerahus er festet i. Det er seks hull til barduner. Tanken bak dette er at det ved etablering slås ned tre bardunfester. Disse vil generelt ikke gi noe stabilt resultat over tid fordi grunnen vil gi etter for presset fra bardunene. Derfor tenker vi oss at det i etterkant av etableringen kan monteres permanente bardunfester som f.eks. er støpt fast i bakken (derfor seks bardunfestehull i topplaten). I bunnen av bunnplata (kamerafoten) er det festet en pigg som slås ned i bakken. På den måten sikres at bunnplata står stødig. Over bunnplata er det festet en kon som aluminiumsrøret trees ned på. Ved at røret tres ned på en kon, er vi ikke avhengig av at bunnplata står i vater. Bardunene består av like lengder med wire og kjetting. Mellom kjetting og wire er det en strekkfisk. Øverst i bardunfestet er det sveiset fast en ring, og kjettingen festes i denne ringen med en sjakk⁶. Dermed kan en bardun umiddelbart få

⁶ Monteringen kan forenkles vesentlig ved at det i stedet for en ring sveises fast en "grisehale" øverst på bardunfestet. Kjettingen festes da i bardunfestet ved at den tres på denne "grisehalen".

omtrent riktig lengde, og “grovmonteringen” gjøres derfor svært raskt. Selve bardunfestet består av et 5×5 cm vinkeljern som er 70 cm langt.

2.3.2 Volum og vekt

Masta har som sagt en ytre diameter på 9 cm og en godstykkelse på 3 mm. Det betyr at hver mast har en vekt på om lag 10 kg. Med tanke på transport kan vi lagre 16 kameramaster i en boks med kvadratisk tverrsnitt med sider på 36 cm. Volumet med fire meter lange master blir da 0.52 m³. Totalvekt for 16 master blir 160 kg.

Bunnplata er kvadratisk med sider 30 cm og tykkelse 1 cm, og det er montert en pigg under og en kon over. Begge disse kan skrues fast, og dermed blir volumet ubetydelig. Vekta er målt til å være 5 kg for én bunnplate med pigg og kon. Totalvekt for 16 stk. blir da 80 kg.

Barduner og fester vil ha et lite volum som vi ikke har gjort noe forsøk på å kvantifisere. Vekten har vi i prototypen målt til å være 20 kg. Dette er relativt mye. Det er imidlertid grunn til å tro at dette kan reduseres. Dette kan f.eks. gjøres dersom en mindre andel av bardunen består av kjetting (men da på bekostning av mindre frihet ved valg av sted for å slå ned bardunfestet) og/eller ved å lage bardunfestet med noe annet enn vinkeljern som i seg selv er ganske tungt. Men uansett: For prototypen vil en totalvekt for 16 stk. være 320 kg.

Totalvekt blir altså 560 kg for 16 master (enhetsvekt: 35 kg).

I en 20 fots ISO-container vil det være plass til ca. 700 master. En maksimalvekt på 13 tonn innebærer dog en begrensning på 370 stativer (ved bruk av prototypens tunge barduner og fester).

2.3.3 Montering

Det bardunerte aluminiumsrøret ble først montert på plenen på FFI, hvor grunnen består av leirjord. Det ble først prøvd med relativt små bardunfester, runde stålplugger med lengde ca 40 cm. Disse ga ikke godt nok feste ved stramming av bardunene, og ble byttet ut med vinkeljern på 70 cm. De nye festene ble etter litt slit slått helt ned i bakken. Masten ble reist opp, og bardunene festet. Det bør være to personer til denne monteringen. Bardunene ble til slutt strammet opp og masta vatret vha strekkfisker. Problemet med denne monteringen er å få ned bardunfestene på en slik måte at de gir nok hold til stramming av vaierne. Ved steinete grunn vil det være vanskelig å få festene langt nok ned i bakken. Etter noen uker hadde bardunene slakket seg noe fordi grunnen hadde gitt seg rundt bardunfestene.

Tidsforbruk: ca 1/2 time for to personer.

Figur 2.5 viser resultatet ved bruk av runde stålplugger som bardunfeste.



Figur 2.5 Første forsøk på bardunfester ble for dårlig. Grunnen har gitt seg ved stramming av bardunene

2.4 Tripodmast

2.4.1 Konstruksjon

Prinsippet for løsningen med tripodmast er vist i Figur 2.6.



Figur 2.6 Prinsippskisse til tripodmasta.

Prinsippet bak dette konseptet er at kameraet monteres på en stang som er opphengt i en enkel kardang. I stangens lengste frie ende (d.v.s. nederst) monteres det en eller annen form for bal-

last. På den måten vil stangen alltid rette seg inn vertikalt. Om ønskelig kan i tillegg ballasten barduneres fast i benene for å hindre at kameraet “svaier” under kraftig vind. Ved bruk av kardang unngås bruk av teleskopiske bein som ellers vil medføre mer vekt, mer mekanisk slark, større risiko for feil, og ikke minst større kostnad.

Kameraet er montert i 4 meters høyde, og dimensjonen på ballasten er slik at med en egenvekt på 2.5 ville den veie ca. 150 kg. Stabiliteten på konstruksjonen er naturligvis først og fremst avhengig av vekten på ballasten.

Stativet er bygd opp av 1” stålrør. Selve ballastbeholderen kan være alt fra en storsekk eller tønne fylt med lokal masse, til en eller annen improvisasjon som f.eks. stein opphengt i en medbragt jekketalje.

Den skisserte løsningen baserer seg på en mast som bør være enkelt å framstille, billig, forholdsvis lett, enkel å transportere (i demontert eller sammenfoldet tilstand), enkel å montere, og den gir et kamera som alltid vil være i vater og som peker i samme azimutvinkel (men som selvsagt vil følge bevegelser/setninger vertikalt i grunnen). Dersom det er så kraftig vind der hvor et kamera er utplassert at kameraet begynner å svaie (slik at bildene blir ustabile), kan dette avhjelpes ved å bardunere ballasten fast nederst på kamerastativene.

2.4.2 Volum og vekt

Stativet er som nevnt bygd opp av 1” stålrør (33.7mm x 2.6 mm), og vekten er da ca. 31 kg uten ballastbeholder. Totalvekt for 16 master er om lag 770 kg. Sammenslått har masta en lengde på 5 meter, med tverrsnitt som en likevinklet trekant med side 17 cm. Dette betyr at 16 master kan få plass i en 5 meter lang eske med rektangulært tverrsnitt hvis bredde og høyde er 68 cm og 60 cm. Volumet av en slik eske er 2 m^3 .

Materialvalget er mest et spørsmål om pris og varighet. Her er stålrør benyttet, men aluminium er minst like aktuelt. Vektmessig blir imidlertid ikke forskjellen så veldig stor for lange, slanke konstruksjoner. Stangen som bærer kameraet kan selvfølgelig være et aluminiumsrør fordi det hovedsakelig er utsatt for strekk.

I en 20 fots ISO-container vil det være plass til ca. 400 master (eksklusiv ballastbeholdere).

2.4.3 Montering

Da tripodmasta ble montert på plenen på FFI, ble den da satt opp uten ballast på midtstanga og uten kamera eller kamerahus på toppen. Oppsettingen ble utført av to personer og gikk da veldig greit. Det ble observert at stativet virket noe vinglete.

Tidsforbruk: ca 5 min for to personer (uten ballast og kamera).

2.5 Fortrinn og ulemper til de ulike alternativene

2.5.1 Fagverksmast

Fortrinn:

- Solid konstruksjon. Kan trolig klare seg uten noen form for barduner (men det er sikkert kjekt å ha “sikkerhetsbarduner” som en sikkerhetsforanstaltning for å forhindre at masta kan velte – men disse stilles det ingen krav til med tanke på stabilisering av masta).
- Enkel å montere, enkel å justere (les: få masta i lodd).

Ulemper:

- Masta krever et relativt plant terreng ellers vil masta vagge (gjelder “FFI”-masta)⁷.
- Konstruksjonen til “FFI”-masta er forholdsvis tung med en enhetsvekt på rundt 85 kg. Enhetsvekta til “Kosovo”-masta er også høy; ca. 60 kg.
- Bruk av “Kosovo”-masta (hvis mastefeste støpes fast i bakken) krever i praksis maskinhjelp.

2.5.2 Bardunert mast

Fortrinn:

- Lav vekt; ved utplassering vil enhetsvekt for masta pluss fot være rundt 25 kg ekskl. barduneringswire, strekkfisker etc.
- Relativ enkel å utplassere; foten slås fast i bakken, masta festes til denne, til slutt rettes den opp/inn v.hj.a. bardunene.

Ulemper:

- Det kan være vanskelig å slå ned tilstrekkelig gode fester.
- Konstruksjonen er i stor grad avhengig av bardunene. I den første innledende fasen er hele masta også avhengig av bardunfestene. Selv etter at permanente bardunfester er lagd i ettertid, må fremdeles bardunene jevnlig ettersees slik at disse er stramme. Dette for å sikre at masta ikke står og svaier.

2.5.3 Tripodmast

Fortrinn:

- Lav vekt, bare 31 kg pluss ballastholder.
- Enkel å montere. Kardangen sørger for vertikal kameramast uavhengig av grunnforhold og variasjoner i disse.

⁷ Begge de to første punktene under *ulemper* kan omgås dersom man for hver kameraposisjon graver et hull og støper fast mastefestene. Da trengs kun masta pluss tre bolter og en festeanordning til boltene. Totalenhetsvekt blir da i overkant av 30 kg. Men det går selvsagt en del tid med til å utføre dette arbeidet.

Ulemper:

- Masta vil generelt være følsom overfor vind etc. Spørsmålet er hvor kraftig må vinden være for å gi en uakseptabel endring i kameratilstanden (rotasjon)⁸.
- Noen steder kan det kanskje kunne være vanskelig å slå ned tilstrekkelig gode fester for kamerabeinene.

3 ALGORITME FOR AUTOMATISK REGISTRERING AV KAMERAFLYTNING

Vi er avhengig av studere forflytningen i en bildesekvens bestående av et sett bilder tatt opp i sann tid. Datasystemet, som skal registrere kameraforflytningen, har imidlertid ikke sanntidskapasitet. Vi har derfor valgt å først hente inn *samtlig*e bilder fra et kamera i et tidsvindu på 8 sekunder. Deretter foretas analysen, og relevant statistikk beregnes og lagres. Denne prosessen med først å hente bilder og deretter prosessere disse, gjentas innenfor et predefinert tidsintervall.

Algoritmen vi har benyttet for registrering av kameraforflytning mellom to bilder består av tre hoveddeler. Først beregnes pikselforflytningen i ulike deler av bildet (altså en “optisk flyt”). Deretter benyttes denne til å estimere kameraets translasjon og rotasjon. Til slutt beregnes relevant statistikk etter at alle forflytninger for hele tidsintervallet er estimert.

I det etterfølgende vil vi beskrive de ulike delene av algoritmen.

3.1 Beregning av pikselforflytninger

Beregningen av forflytningen til et gitt piksel er basert på template matching (2). Dette er en teknikk som er relativt lite beregningskrevende. Den er ikke skalerings- eller rotasjonsinvariant. Manglende skaleringsinvarians er ikke noe problem i vår anvendelse. Manglende rotasjonsinvarians kan imidlertid være det. Nå vil imidlertid de rotasjonene vi kan forvente være temmelig små. Dessuten vil den erfaringsmessig kunne håndtere små til moderate rotasjoner.

Vi kan i praksis ikke beregne forflytningen til hvert piksel i bildet. For det første vil det være altfor ressurskrevende, og for det andre vil det være vanskelig i homogene områder av scenen. Vi ønsker derfor kun å beregne forflytningen for et relativt lite antall representative piksler. I det neste avsnittet vil vi beskrive hvordan dette er gjort.

3.1.1 Utvalgelse av piksler for template matching

For at et område skal være gunstig for template matching, må det være inhomogent og samtidig stasjonært. Inhomogenitet er nødvendig for at samme punkt i bildet skal kunne redetekteres, og stasjonaritet er påkrevd slik at det er samsvar mellom referansebilde og innkommende bilde.

⁸ Dette kan selvsagt enkelt avhjelpes ved å bardunere fast ballasten til beina.

Strategien som foreslås i dette kapitlet er basert på en kombinasjon av disse to egenskapene.

3.1.1.1 Måling av inhomogenitet

Et enkelt mål for inhomogenitet i et gitt piksel er å beregne “standardavviket” til intensitetene i et lite område rundt pikslet. Desto *større* homogenitet, desto *lavere* standardavvik. For at dette målet ikke skal være altfor følsomt overfor små detaljer i bildet, evt. punktstøy etc., er referansebildet først preprosessert med et 5×5 -medianfilter. Av robusthetshensyn benytter vi også absoluttsum i stedet for kvadratsum (som jo er det vanlige) i estimatoren. Den blir altså seende ut som⁹

$$\sigma_r[i, j] = \frac{1}{(2n+1)^2} \sum_{k=i-n}^{i+n} \sum_{l=j-n}^{j+n} |b_{ref}[k, l] - b[k, l]|. \quad (3.1)$$

Figur 3.1 viser bildet KOSSA (medianfiltrert) sammen med det korresponderende inhomogenitetsbildet.



Figur 3.1 Bildet KOSSA (medianfiltrert) sammen med det korresponderende inhomogenitetsbildet. Vindusstørrelsen som er benyttet i beregningen av inhomogenitetsbildet er 21×21 piksler. Inhomogenitetsbildet er normalisert for å utnytte det tilgjengelige dynamiske området.

Figur 3.2 viser tilsvarende er det første bildet i sekvensen 8.1 fra sekvensserien *host97*.

⁹ Merk at likning (3.1) (som standardavviksestimator) ikke er forventningsrett. Skulle dette være ønsket (hvilket ikke er noe poeng for oss), må den multipliseres med $\sqrt{\pi/2}$.



Figur 3.2 Det første bildet i sekvensen 8.1 fra sekvensserien host97 (medianfiltrert) sammen med det korresponderende inhomogenitetsbildet. Vindusstørrelsen som er benyttet i beregningen av inhomogenitetsbildet er 21×21 piksler. Inhomogenitetsbildet er normalisert for å utnytte det tilgjengelige dynamiske området.

3.1.1.2 Måling av stasjonaritet

Stasjonaritet i et piksel vil si at pikslet avbilder samme punktet i scenen i et hvert tidspunkt. I disse pikslene er det kun bildestøyen (fotonstøy og elektronisk generert støy i kameraet) som gir opphav til endringer i intensitetsnivået. Dette vil typisk gjelde for piksler som avbilder asfalt, husvegger etc. I “urolige” områder der f.eks. gress, greiner, etc, beveger seg, vil det i tillegg være en variasjon i signalnivået. En enkel måte å måle stasjonaritet vil være å ta m bilder i rekkefølge fra kameraet, og beregne standardavviket til intensitetsfordelingen til hvert piksel. Antall bilder, m , må velges så stort at man er rimelig sikker på å fange opp bevegelser i bildet. Vi har også her valgt å estimere standardavviket med estimatoren basert på absoluttverdi, tilsvarende som i likning 4.2. Tidsstandardavviksbildet er postprosessert med et 5×5 glattingsfilter.

I figur 4.3 er stasjonaritetsbildet generert på bakgrunn av de 20 første bildene i sekvensen 8.1 fra sekvensserien host97.



Figur 3.3 Det første bildet i sekvensen 8.1 fra sekvensserien host97 (medianfiltrert) sammen med det korresponderende standardavviksbildet. Det sistnevnte bildet er generert på bakgrunn av de 20 første bildene i sekvensen, og det er normalisert for å utnytte det tilgjengelige dynamiske området. Som vi ser er tilnærmet hele bildet stasjonært. Det er bare noe av vegetasjonen i høyre bildekant som har beveget seg.

3.1.1.3 Valg av piksler

Gitt egenskapsbildene beregnet som beskrevet i de to foregående avsnittene, må de antatt gunstige punktene velges ut. For å rekapitulere litt, så ønsker vi å finne fram til inhomogene og stasjo-

nære områder. Dersom vi subtraherer stasjonaritetsbildet fra inhomogenitetsbildet, vil vi få et egenskapsbildet som oppfyller vårt behov. Desto større intensitet det er i et område i dette bildet, desto større er differansen mellom inhomogenitet og stasjonaritet, og desto mer gunstig er det for vår bruk¹⁰.

Først utmaskes alle pikslene som ligger tilstrekkelig nærme bilderanda (slik at vi kan være rimelig sikre på at de terrengpunktene til de pikslene vi velger ut også vil være synlig i bildene vi skal undersøke). Utvelgelsen gjøres deretter som følger: Som første punkt velges pikslet med størst differanse. Deretter maskes alle pikslene ut som ligger nærmere enn r piksler fra det valgte pikslet. Dette gjøres for at det skal bli en viss avstand mellom to punkter. Deretter velges neste punkt som det punkt som har størst differanse blant de gjenværende punktene og et nytt område maskes ut. Denne prosessen med utvelgelse og utmaskelse gjentas inntil et ønsket antall punkter er valgt.

Figur 3.4 viser et sett med 15 punkter som er valgt for bildet KOSSA. Siden dette bildet ikke er noen del av en bildesekvens, er utvelgelsen foretatt utelukkende fra inhomogenitetsbildet.



Figur 3.4 Bildet KOSSA (medianfiltrert) overlagret senterpunktene for de 15 (antatt) beste matcheområdene sammen med det korresponderende utvelgelsesbildet (som i dette tilfellet er identisk med inhomogenitetsbildet). Vindusstørrelsen som er benyttet i beregningen av inhomogenitetsbildet er 21×21 piksler. Inhomogenitetsbildet er normalisert for å utnytte det tilgjengelige dynamiske området.

Figur 3.5 viser tilsvarende et sett med 15 punkter valgt for bildesekvensen 8.1 fra sekvensserien host97. Inhomogenitetsbildet og stasjonaritetsbildet er h.h.v. vist i Figur 3.2 og Figur 3.3.

¹⁰ Alternativt kunne en tenke seg å benytte forholdet mellom disse bildene i stedet for differansen. Når vi ikke har gjort dette, så skyldes det en frykt for at et slikt forholds-bilde vil være svært følsomt overfor verdiene i stasjonaritetsbildet.



Figur 3.5 Det første bildet i sekvensen 8.1 fra sekvensserien *host97* (medianfiltrert) overlappet senterpunktene for de 15 (antatt) beste matcheområdene sammen med det korresponderende utvelgelsesbildet. Utvelgelsesbildet er normalisert for å utnytte det tilgjengelige dynamiske området.

3.1.2 Template matching

Template matching har vi beskrevet tidligere¹¹. Vi gir derfor bare en kort beskrivelse her. Ved template matching rundt et gitt punkt, vil templatens bestå av pikslene i referansebildet i et område rundt dette punktet. Dette matches så mot det innkommende bilde. La en template T ha størrelse $(2m+1) \times (2m+1)$. Samsvarsverdien, d.v.s matcheverdien, i punktet $[i, j]$ er nå gitt som

$$D[i, j] = \sum_{k=-m}^m \sum_{l=-m}^m |T[k, l] - b[i+k, j+l]|. \quad (3.2)$$

Det punktet i søkeområdet S som gir best samsvarverdi velges som matchepunkt, m.a.o.

$$[\hat{y}, \hat{x}]^t = \arg \left\{ \min_{(i,j) \in S} \{D[i, j]\} \right\}. \quad (3.3)$$

(For ordens skyld: Det finnes flere andre samsvarsmål enn sum av absoluttverdier. Vi har tidligere testet flere av dem (2), og på bakgrunn av denne testen er det at vi har gjort dette valget.)

I vår implementering har vi benyttet templatere på 25×25 piksler ($m = 25$) og søkeområdet har vært på 21×21 piksler.

3.1.3 Estimering av translasjon og rotasjon

Vi antar at sammenhengen mellom et piksel $\mathbf{x} = [x, y, 1]^t$ i et innkommende bilde og det korresponderende pikslet \mathbf{x}_{ref} i et referansebilde (d.v.s. det pikslet som avbilder samme punkt i terrenget) er gitt ved transformasjonen

$$\mathbf{x} = \mathbf{A} \mathbf{x}_{ref} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & T_x \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & T_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \mathbf{x}_{ref}. \quad (3.4)$$

der α er rotasjonsvinkel, T_x og T_y er h.h.v., horisontal og vertikal translasjon. (Vi antar altså at det ikke er noen endringer i skaleringen mellom de to bildene.) Fra template matchingen har vi

¹¹ Se f.eks. (2) for inngående beskrivelse.

et sett med k punkter som angir korrespondansen mellom punkter i referansebildet og innkommende bilde. La \mathbf{X} være punktene fra template matchingen lagret radvis;

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} \mathbf{x}_1^t \\ \mathbf{x}_2^t \\ \vdots \\ \mathbf{x}_k^t \end{pmatrix}.$$

Tilsvarende betegner \mathbf{X}_{ref} de korresponderende punktene til \mathbf{X} i referansebildet. Elementene i \mathbf{A} estimeres ved hjelp av minste kvadraters metode slik at følgende kriterium minimaliseres

$$J = \text{tr}\left\{\left(\mathbf{X}_{ref} \mathbf{A}^t - \mathbf{X}\right)^t \left(\mathbf{X}_{ref} \mathbf{A}^t - \mathbf{X}\right)\right\}. \quad (3.5)$$

Løsningen på dette minimaliseringsproblemet er gitt som¹²

$$\hat{\mathbf{A}}^t = \left(\mathbf{X}_{ref}^t \mathbf{X}_{ref}\right)^{-1} \mathbf{X}_{ref}^t \mathbf{X}. \quad (3.6)$$

Fra dette estimatet har vi at

$$\hat{T}_x = \hat{A}(1,3)$$

og

$$\hat{T}_y = \hat{A}(2,3).$$

For estimeringen av rotasjonsvinkelen har vi antatt at det ikke er estimert noen skalering mellom referansebilde og innkommende bilde. En måte å estimere rotasjonsvinkelen på kan være som følger

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{2} \sin^{-1} \left(\frac{\left(\hat{A}(1,1) + \hat{A}(2,2)\right) \left(\hat{A}(1,2) - \hat{A}(2,1)\right)}{2} \right). \quad (3.7)$$

Dette valget er gjort i håp om i stor grad å minimalisere numeriske feil fordi vi benytter alle fire elementene som inneholder rotasjonen i matrisa.

4 IMPLEMENTERING AV KAMERAFLYTNINGSALGORITMEN

Forflytningsalgoritmen beskrevet i forrige kapittel er implementert i C på en standard PC. På denne PCen er det installert et “grabbekort” fra National Instruments og to ADAM-moduler¹³. Grabbekortet ble benyttet til å lese inn bilder fra videokameraene. Den ene ADAM-modulen ble brukt til å styre et relé som bestemmer hvilket kamera som skal sende videosignalene inn på grabbekortet. Den andre ADAM-modulen ble benyttet til å lese av en vindmåler.

Til grabbekortet fulgte det med programrutiner for å lese bildesekvenser fra kortet. Implemente-

¹² Se f.eks. (4), avsnitt 5.12.3, pp 177-179.

¹³ ADAM-moduler er moduler som kan lese fra / skrive til PCens serieport.

ringen har da bestått i å konfigurere grabbekortet, lage en rutine for å lese inn et sett etterfølgende bilder (og som er basert på de medfølgende programrutinene), utvikle kode for registrering av forflytninger i en bildesekvens, samt utvikle kode for styring av ADAM-modulene (herunder innlesning av data fra vindmåleren).

Forflytningene har bare vært registrert i et gitt tidsrom på døgnet da det har vært lyst. Hver bildesekvens har bestått av 200 bilder, d.v.s. de er tatt opp over et tidsvindu på åtte sekunder.

Implementeringen kan illustreres ved følgende “kvasi-kode”:

```

WHILE TRUE DO
BEGIN
    tid = FinnTid(); // Les inn tid på døgnet.
    IF ((tid > Tid_start) AND (tid <= Tid_stopp)) THEN
    BEGIN
        VeksleKamera(); // Veksler mellom kamera 1 og kamera 2.
        Seq = LesBildeSekv(); // Leser inn et sett bilder fortløpende.
        vind = LesVind(); // Leser av vindmåleren.
        forflytninger = EstimerForflytning(); // Bildehandlingen gjøres her.
        <Skriv resultatet til fil.>;
    END;
END;

```

5 LANGTIDSTESTER

Tilgjengelig hardware har gjort at vi har måttet begrense oss til å teste ut to kameramaster på Bodø flystasjon. Valget falt da på det bardunerte aluminiumsrøret og tripodmasta. Årsaken til at vi valgte bort fagverksmasta er at denne har en stivhet som er tilsvarende den fagverksmasta som er benyttet i Lebane leir i Kosovo og som har vist seg å fungere godt der. Fra oppsettet i Kosovo har vi ikke fått noen indikasjoner eller tilbakemeldinger på at mastene ikke er tilstrekkelig stabile.

5.1 Montering

5.1.1 Bardunert aluminiumsmast

Det bardunerte aluminiumsrøret beskrevet i avsnitt 2.3 ble montert på Bodø hovedflystasjon. Det ble satt opp på en bakketopp, hvor det var et lite lag med jord/grus oppå fjellet. Det ble først forsøkt å få ned mastefestene som besto av 70 cm vinkeljern, men det ble ikke godt nok feste til disse (se Figur 5.1). Det ble derfor fjernet masse ned til fjellet, boret hull, og satt ned ekspansjonsbolter (12 mm) med øye for feste til kjettingen (vist i Figur 5.2). Dette gikk veldig greit, men det forutsetter egnet fjellgrunn og tilgang til slagdrill. Masten ble heist opp med kamera og

kamerahus ferdig montert. Den ble satt i lodd vha stramming av bardunene.

Tidsforbruk: ca 1/2 - 1 time for 2 personer.



Figur 5.1 Slik kan bardunfestene se ut ved steinete grunn og en kraftig sleggefører. Dette er bunnen på festet (av vinkeljern), som engang i tiden var spiss.



Figur 5.2 Ekspansjonsbolt med øye boret og slått ned i bakken.



Figur 5.3 Bardunert mast ferdig montert på Bodø flystasjon.

5.1.2 Tripodmast

Kamera og kamerahus ble montert før masta ble reist opp. Kamerahuset har en vekt på rundt 10 kg. Med denne vekta på toppen av masta var det ikke enkelt å sette den opp. Det gikk greit å få den i loddrett stilling, men da beina ble trukket ut bøyde de seg på toppen. Problemet er at stålrørene, som utgjør beina på masta, er klemte sammen i toppen (se Figur 2.6), noe som gjør beina veldig svake i dette punktet. Masta måtte tas ned og rettes opp flere ganger før oppsettingen ble vellykket. Nederste del på beina skal trækkes ned i bakken, noe som gikk greit.

Som ballast ble det benyttet en 20 liters murerbøtte fylt med betong. Vekta på ballasten ble da ca 40 kg. Det ble lagt inn et loddrett rør i bøtta, slik at den kunne tres utenpå midtstolpen i ettertid. Bøtta ble tredd på masta, og stoppet på undersiden v.hj.a. en gjengestang. Monteringen av denne gikk forholdsvis greit, men det krever to personer, hvorav en må løfte ganske tungt. Ved bruk av tyngre ballast må det maskinell hjelp til for opphenging av denne.

Det ble observert forholdsvis store svingninger på midtstolpen ved mye vind. Midtstolpen ble derfor etter noen uker bardunert fast i bunnen på mastebeina.

Tidsforbruk: ca 1-2 timer for to personer.



Figur 5.4 Tripodmast med kamerahus, uten ballast.



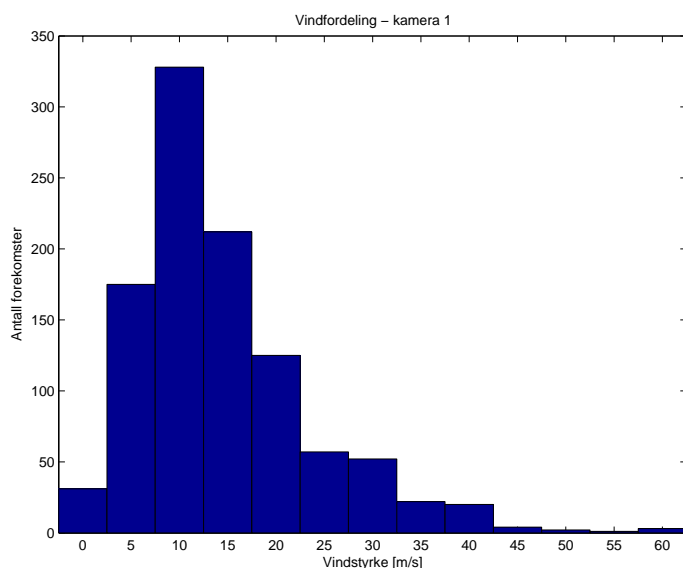
Figur 5.5 Tripodmast ferdig montert med 40 kg ballast.

5.2 Resultater

Mastene var ferdig montert i Bodø den 30. oktober 2003, og registrering av forflytninger har blitt foretatt daglig fram til og med 12. januar 2004. Vi har bare foretatt registreringer i den perioden av døgnet da sola er over horisonten¹⁴. Resultatene har jevnlig blitt overført til FFI via modem. Dersom “store” forflytninger har blitt registrert¹⁵, så har vi samtidig lagret et bilde av situasjonen slik at vi i ettertid har hatt mulighet til å avgjøre om forflytningen faktisk er reell eller om den skyldes dårlig sikt¹⁶.

Bildene som er registrert ved store forflytninger er undersøkt i ettertid (manuelt). Dersom disse skyldes dårlig sikt, er alle målingene for den aktuelle dagen forkastet. Samtlige øvrige målinger er benyttet. For kamera 1 har dette resultert i målinger på 1032 sekvenser, og for kamera 2 målinger på 1024 sekvenser.

Figur 5.6 og Figur 5.7 viser fordelingen av vindhastighet i måleperioden. I Figur 5.8 er den kumulative vindfordelingen vist.

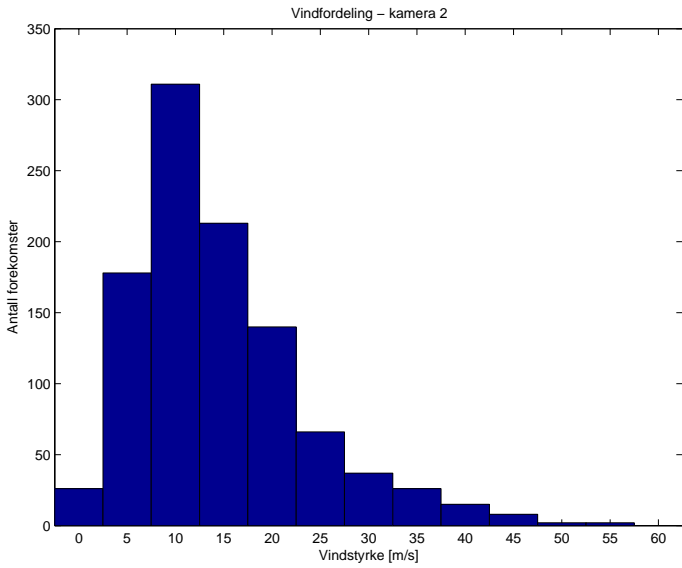


Figur 5.6 *Histogram over målte vindhastigheter for det bardunerte aluminiumsrøret (merk at dette er “spotmålinger” og ikke målinger som er midlet over et visst tidsintervall slik at disse tallene indikerer sterkere vind enn det en vil finne i offisiell statistikk).*

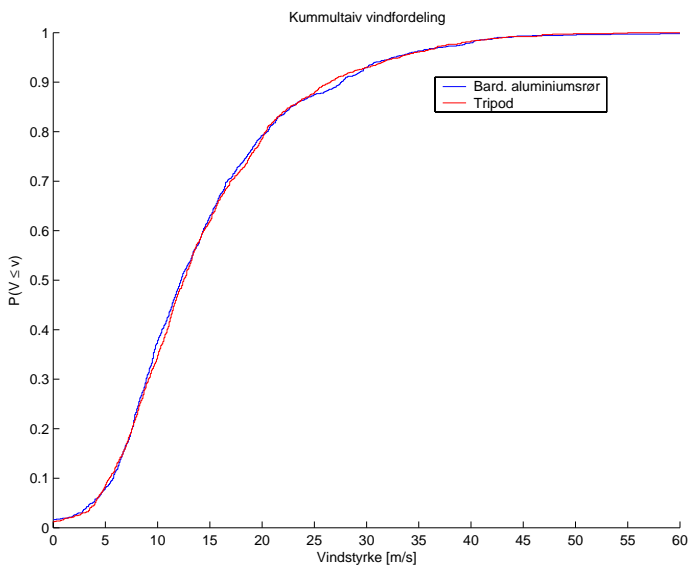
¹⁴ Prosedyre for beregning av solposisjon er beskrevet i (5).

¹⁵ Translatoriske forflytninger større enn 1 piksel og rotasjon større enn 1 grad.

¹⁶ Ved dårlig sikt blir posisjoneringen til template matchingen usikker/gal, og følgelig blir også forflytningsestimeringen usikker.



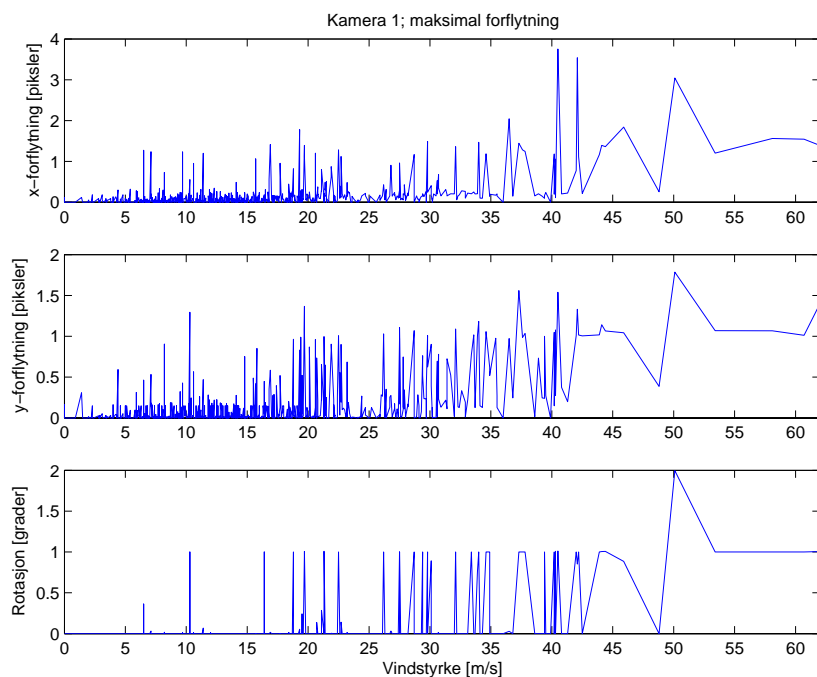
Figur 5.7 Histogram over målte vindhastigheter for tripodmasta.



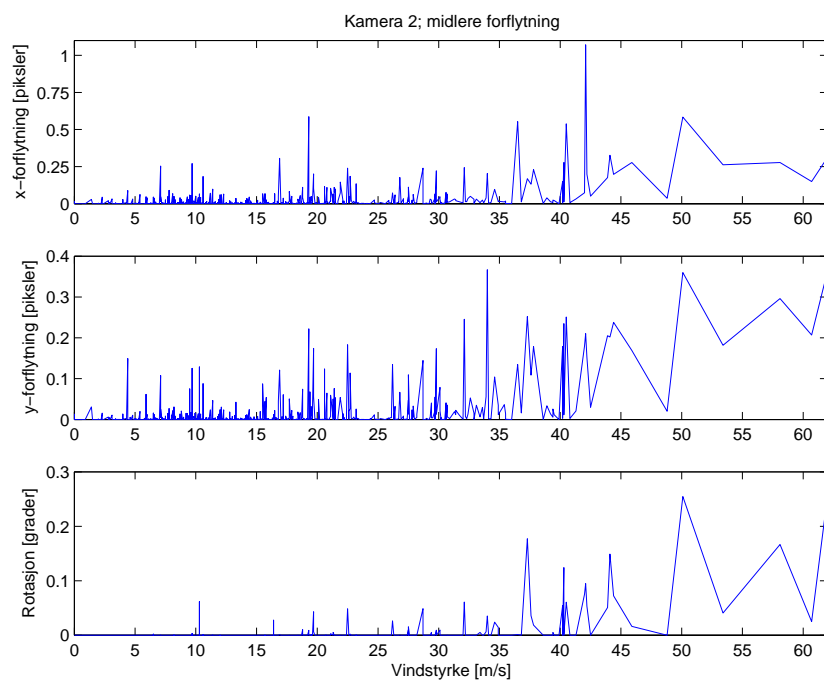
Figur 5.8 Kumulativ vindfordeling i målingene.

For hver bildesekvens (fra hvert kamera (les: kameramast)) registreres vindhastighet, maksimal forflytning langs x - og y -retningen, maksimal rotasjon om kameraaksen, midlere forflytning langs x - og y -retningen og midlere rotasjon om kameraaksen.

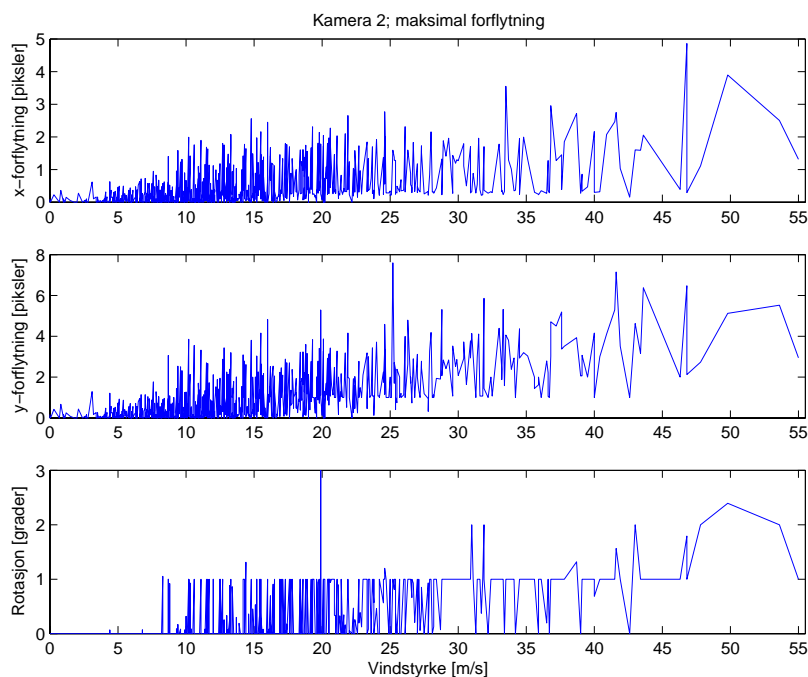
Figur 5.9 viser maksimale forflytninger og rotasjonsvinkel som funksjon av vindhastighet som ble observert fra kameraet montert på det bardunerte aluminiumsrøret. Figur 5.10 viser tilsvarende de midlere verdiene. Figur 5.11 og Figur 5.12 viser maksimale og midlere forflytning-er/rotasjonsvinkel som ble observert fra kameraet montert på tripodmasta.



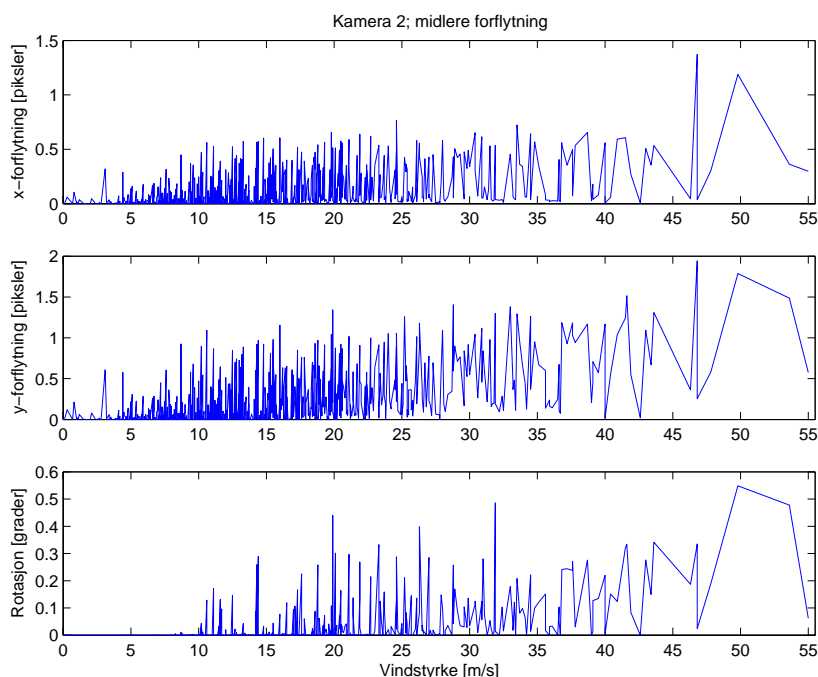
Figur 5.9 Maksimale forflytninger og rotasjonsvinkel for kamera montert på det bardunerte aluminiumsrøret, generert på bakgrunn av målinger på 1032 sekvenser i perioden fra 1. november 2003 til og med 14. januar 2004.



Figur 5.10 Midlere forflytninger og rotasjonsvinkel for kamera montert på det bardunerte aluminiumsrøret, generert på bakgrunn av målinger på 1032 sekvenser i perioden fra 1. november 2003 til og med 14. januar 2004.



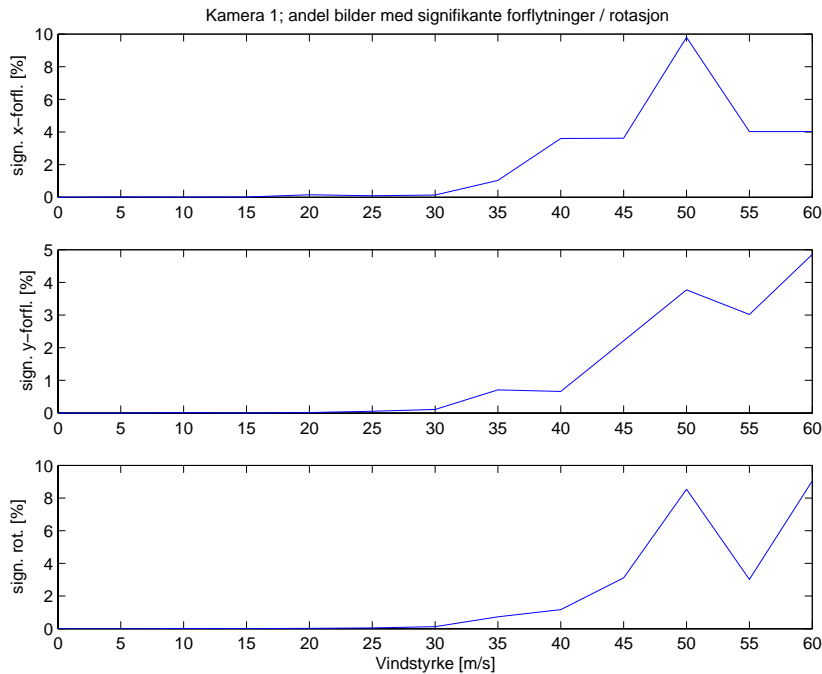
Figur 5.11 Maksimale forflytninger og rotasjonsvinkel for kamera montert på tripodmasta, generert på bakgrunn av målinger på 1024 sekvenser i perioden fra 1. november 2003 til og med 14. januar 2004.



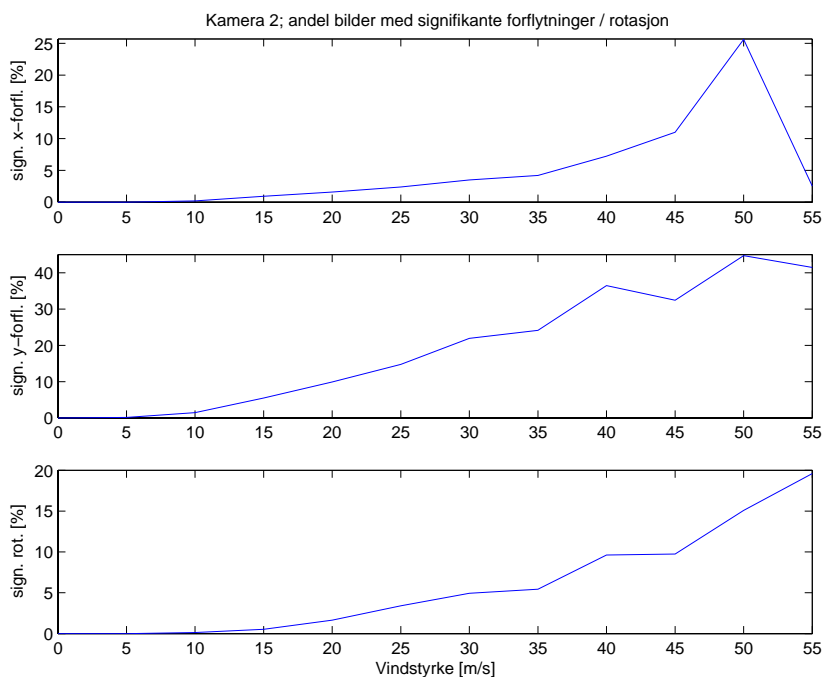
Figur 5.12 Midlere forflytninger og rotasjonsvinkel for kamera montert på tripodmasta, generert på bakgrunn av målinger på 1024 sekvenser i perioden fra 1. november 2003 til og med 14. januar 2004.

Kvalitativt bedømt viser figurene at det bardunerte aluminiumsrøret gir vesentlig mindre forflytninger og rotasjon enn tripodmasta. Hvor mye dette i praksis betyr er det vanskelig å danne seg noe inntrykk av på bakgrunn av figurene, fordi disse ikke sier noe om *hyppigheten* av forflyt-

ningene. Erfaringsmessig vet vi at forflytninger som er mindre enn 1 piksel ikke utgjør noe problem for analysen, og rotasjon rundt bildeaksen som er mindre enn 1° går også bra. På denne bakgrunn har vi laget plot (histogram) som viser andelen av målinger som overgår disse verdiene som funksjon av vindhastighet. Figur 5.13 viser resultatene for det bardunerte aluminiumsrøret, og Figur 5.14 viser resultatene for tripodmasta.



Figur 5.13 Andel bilder i kameraet montert på det bardunerte aluminiumsrøret med signifikante avvik (forflytninger mer enn 1 piksel og rotasjon mer enn 1°).



Figur 5.14 Andel bilder i kameraet montert på tripod med signifikante avvik (forflytninger mer enn 1 piksel og rotasjon mer enn 1°).

I Figur 5.13 og Figur 5.14 blir forskjellene mellom kamerastativene tydelige. Hvis vi tar utgangspunkt i at et bildeanalyse-system bør kunne håndtere stativbevegelser i ca. 1% av tiden¹⁷, ser vi at det bardunerte aluminiumsrøret fungerer svært godt. Det har kun et svært lite antall tilfeller av signifikante avvik før vindstyrken blir ca. 25-30 m/s. Selv på vindfylte lokasjoner som Bodø inntreffer dette bare i rundt 10% av tiden (under forutsetning av at målingene våre er representative); jmf. Figur 5.8. Tripoden derimot viser de samme tendensene allerede ved 5-10 m/s som det bardunerte aluminiumsrøret viser ved 25-30 m/s. På et sted som Bodø er dette situasjoner som er oppfylt i ca. 85% av tiden. Dette betyr at tripodmasta ikke kan benyttes på vindfylte steder med mindre den blir stivere. Det er tydelig at å bardunere midtstolpen i masta til kamerabeinene ikke er tilstrekkelig.

Vi har ikke fått testet fagverksmastene i Bodø. Dette hadde vært interessant. Imidlertid så har fagverksmasta i stål med kvadratisk tverrsnitt (tidligere i rapporten kalt "Kosovo"-masta) i skrive stund vært i bruk i mer enn ett år uten at vi har indikasjoner på at den ikke er tilstrekkelig stabil.

6 OPPSUMMERING OG KONKLUSJON

Vi har i denne rapporten beskrevet fire ulike kamerastativer som alle kan benyttes i en deployerbar anvendelse. To av dem er basert på fagverksmaster, én er basert på et bardunert aluminiumsrør, og én er en tripod.

Begge fagverksmastene har tilnærmet samme stivhet. En av dem er benyttet i installasjonen av periferiovervåkingssystemet OPAK ved Lebane leir i Kosovo. Vi har ikke fått indikasjoner eller tilbakemeldinger derfra som tilsier at denne masta ikke er tilstrekkelig stiv.

Det bardunerte aluminiumsrøret og tripoden er testet ut på Bodø flystasjon. Kameraer er montert på hvert av stativene, bildesekvenser er tatt opp og lagret på en PC. Vindhastigheten på opptakstidspunktet er også registrert. En bildebehandlingsalgoritme er utviklet for å estimere bevegelser i disse sekvensene. Resultatene fra registreringene (bildesekvensene) er overført til FFI over et telefonmodem. Resultatene fra disse viser at vindstyrken må bli 25-30 m/s før det blir forflytning/rotasjon i minst 1% av målingene som er så store at de *kan* skape problemer for et bildeanalyse-system. For tripoden inntraff samme situasjon allerede ved en vindstyrke på ikke mer enn 5-10 m/s.

Vi vil derfor anbefale bruk av enten en fagverksmast eller det bardunerte aluminiumsrøret. Disse er de eneste mastene som er tilstrekkelig stive av de som vi har testet. Dersom vekt og tid for oppsetting ikke er kritiske, synes en fagverksmast å være å anbefale. Dette fordi en slik mast krever lite/intet vedlikehold etter at den er plassert ut. Dersom vekt og/eller oppsettingstid er av stor betydning, bør det bardunerte aluminiumsrøret benyttes. Denne masta krever imidlertid jevnlig vedlikehold av barduneringen.

¹⁷ Dersom halv bilderate benyttes (12.5 Hz), gir dette i snitt en kamerarystelse for hvert 80. sekund, hvilket bør kunne kreves av et godt bildeanalyse-system.

Litteratur

- (1) Melen K (1994): *Geometrical modelling and calibration of video cameras for underwater navigation*, dr.ing.-avhandling, Norges Tekniske Høgskole..
- (2) Palm H C (1992): *A comparison of several similarity criteria to be used in template matching*, FFI/NOTAT-92/4012, Forsvarets forskningsinstitutt
- (3) Gonzalez R C, Woods R E (1993): *Digital image processing*, Addison-Wesley, Reading, MA.
- (4) Duda R O, Hart P E (1973): *Pattern Classification and Scene Analysis*, John Wiley & Sons, New York, NY.
- (5) Palm H C, Salberg A-B, Broberg B (1999): *Håndtering av objektskygge i sceneanalyse*, FFI/RAPPORT-99/06248, Forsvarets forskningsinstitutt, (Konfidensielt)