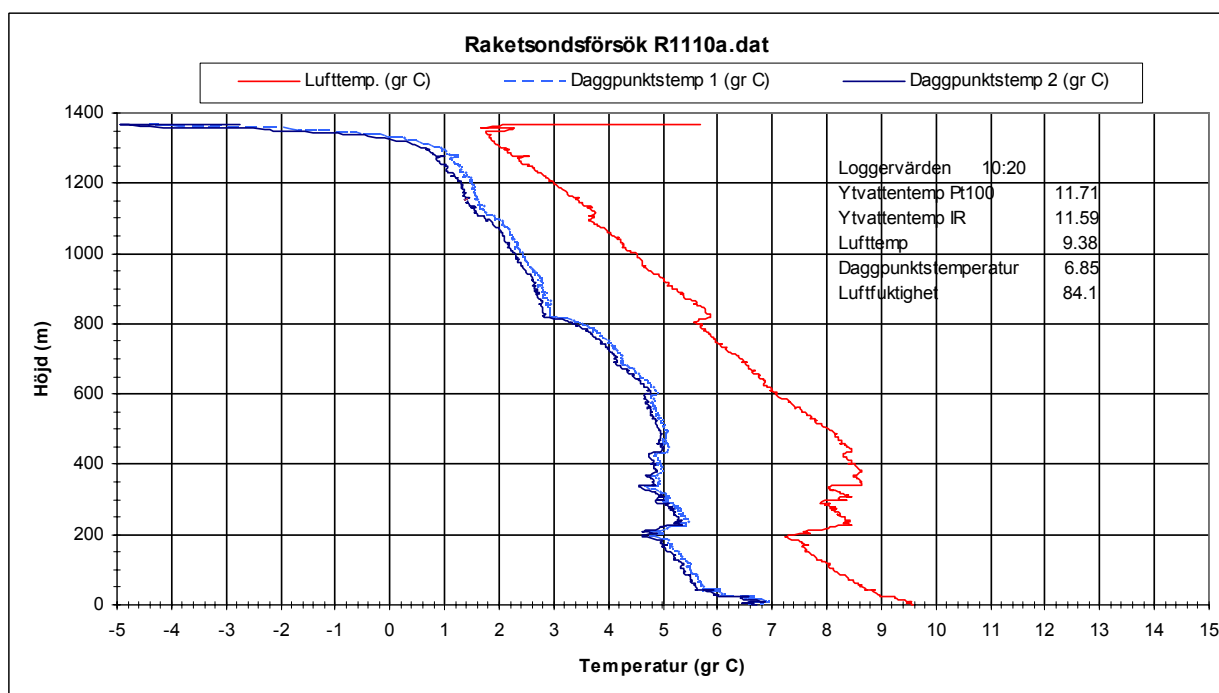


K. Ove S. Gustafsson, Edvard Karlsson, Melker Nordstrand

Prov av instrument för mätning av ytvattentemperatur samt raketsondsmätning av temperatur och luftfuktighet



TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Sensorteknik

Box 1165

SE-581 11 Linköping

FOI-R--1615--SE

April 2005

ISSN 1650-1942

Teknisk rapport

K. Ove S. Gustafsson, Edvard Karlsson, Melker Nordstrand

Prov av instrument för mätning av ytvattentemperatur samt raketsondsmätning av temperatur och luftfuktighet

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Sensorteknik Box 1165 SE-581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1615--SE	Klassificering Teknisk rapport
	Forskningsområde 6. Telekrig	
	Månad, år April 2005	Projektnummer E3063
	Delområde 61 Telekrigföring med EM-vapen och skydd	
	Delområde 2	
Författare/redaktör K. Ove S. Gustafsson Edvard Karlsson Melker Nordstrand	Projektledare K. Ove S. Gustafsson	
	Godkänd av	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig	
Rapportens titel Prov av instrument för mätning av ytvattentemperatur samt raketsondsmätning av temperatur och luftfuktighet.		
Sammanfattning (högst 200 ord) För att förbättra den befintliga "Lokal brytningsindexmodell" (LBM) som används för att beräkna radarstrålars utbredning behöver bland annat nya meteorologiska sensorer testas och utvärderas på fartyg. Arbetet har bedrivits inom FoT projektet 'Verifiering av vågutbredningsmodeller'. Denna rapport beskriver prover som gjorts med ett IR-instrument KT19.85 från Heitronics, som använts för att mäta ytvattentemperaturen, samt raketsonder typ RK91 från Vaisala för mätning av lufttemperatur och luftfuktighetsprofiler upp till 1000 meters höjd. Utrustningen har monterats på en bilfärja och under två dagar i oktober 2001 gjordes kontinuerliga mätningar av ytvattentemperatur med IR-instrument och PT100-element samt skjutning av sex raketsonder för profilmätningar. Under augusti till november 2002 var samma utrustning monterad på forskningsfartyget Urd och 20 raketsondering gjordes. Ytvattentemperaturmätningen med IR-instrument visade att metoden fungerar men att det finns ytterligare frågor som måste lösas. De inledande proven av raketsonder för mätning av lufttemperatur och luftfuktighet som funktion av höjden visade på positiva resultat. Ytterligare prover planeras och kommer att värderas i senare studier.		
Nyckelord IR-instrument, ytvattentemperaturmätning, raketsond, luftfuktighet, lufttemperatur, profilmätning.		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 28 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Sensor Tecknology P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping Sweden	Report number, ISRN FOI-R--1615--SE	Report type Technical Report
	Programme Areas 6 Electronic Warfare	
	Month year April 2005	Project no. E3063
	Subcategories 61 EW including EM Weapons and Protection	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) K. Ove S. Gustafsson Edvard Karlsson Melker Nordstrand	Project manager K. Ove S. Gustafsson	
	Approved by	
	Sponsoring agency	
	Scientifically and technically responsible	
Report title (In translation) Test of instrument measuring water surface temperature and rocket sonde measurements of temperature and humidity.		
Abstract (not more than 200 words) <p>In order to improve the existing "Local refractivity model" (LBM), for use in calculating radar propagation, it is necessary to test and evaluate new meteorological sensors (among other things) on ships. The work is a part of the defence research project <i>Verifying wavepropagation models</i>.</p> <p>This report describes tests performed using an infrared radiation pyrometer KT19.85 manufactured by Heitronics, which was used to measure the water surface temperature, and a rocket sonde type RK91 manufactured by Vaisala which was used to measure the air temperature profile and the air humidity profile from 1000 meters altitude.</p> <p>The equipment was installed into a car ferry, and during two days in October 2001 measurements were continuously performed of the water surface temperature using an IR-pyrometer and a Pt100-element. Six rocket sondes were launched which were to measure temperature and humidity profiles. During August through November 2002, the same equipment was installed into the research vessel "Urd" and 20 rocket sondes were launched.</p> <p>Water surface temperature measurements using the IR-pyrometer showed that the method worked, but additional questions are yet to be solved. The preliminary test of rocket sondes, used for measuring air temperature and air humidity as a function of altitude, showed a positive result. Additional tests are scheduled and they will be evaluated in future studies.</p>		
Keywords Infrared radiation pyrometer, water surface temperature, rocket sonde, humidity and temperature profiles, measurements		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 28 p.	
	Price acc. to pricelist	

Innehåll

1	Inledning	7
2	Utrustning	8
2.1	Mätning av lufttemperatur, luftfuktighet och vind	8
2.2	Mätning av ytvattentemperatur	8
2.3	Manuell mätning av ytvattentemperatur	9
2.4	Datainsamling	10
2.5	Raketsonder.....	10
2.6	Kontroll av IR-instrument KT19.85	12
3	Genomförande av mätningarna	14
3.1	Montering av utrustning och försöksgenomförande	14
3.2	Meteorologiska förhållanden under försöken	14
4	Resultat	16
4.1	Resultat raketsondering.....	16
4.2	Resultat ytvattentemperaturmätning	19
5	Diskussion	24
5.1	Inverkan av fukt på IR-instrumentets lins.....	24
6	Slutsats och kommentarer	27
7	Referenser	28

1 Inledning

Inom forskningsprojektet 'Verifiering av Vågutbredningsmodeller' och dess föregångare 'Vågutbredningsanalys för radio, radar och elektrooptiska system' är syftet att skapa kunskap om och utforma moderna metoder för att i realtid kunna analysera vågutbredningsförhållanden för radio/radar och elektrooptiska system över hav och kustområden. Den militära väderlektjänsten utvecklade en "Lokal brytningsindexmodell" (LBM), se referens [1, 2], för att bestämma förekomsten av ledskikt på plats för användning på fartyg. För att förbättra den befintliga "Lokal brytningsindexmodell" (LBM) som används för att beräkna radarstrålars utbredning behöver bland annat nya meteorologiska sensorer testas och utvärderas på fartyg.

Här redovisas inledande prov av utrustningen för att noggrannare mäta ytvattentemperaturen samt mätning av luftfuktighet och lufttemperatur för höjder upp till ca 1000 m. Mätningar genomfördes med utrustningen monterad på en bilfärja från Härnösands marina grupp under två dagar i oktober 2001, samt under tolv dagar hösten 2002 med utrustningen monterad på forskningsfartyget HMS Urd.

I den nuvarande LBM-utrustningen bestäms ytvattentemperaturen genom att mäta temperaturen med ett Pt100-element monterat i ett spolvattenrör som tar in vatten från ca 1,5 m djup. För att förbättra mätnoggrannheten har försök gjorts med ett IR-instrument som på optisk väg mäter ytvattentemperaturen.

Att med utgångspunkt från ytvattentemperatur, lufttemperatur, luftfuktighet och vindhastighet mätt på ca 10 m höjd beräkna gränsskiktets höjd, fungerar tillfredsställande endast upp till ca 400 m höjd. För att utöka mätområdet i höjddled har försök gjorts med raketsonder som mäter temperatur- och fuktighetsprofiler upp till 1000 m höjd. Raketsonderingarna genomfördes från bilfärjan under två dagar i oktober 2001.

2 Utrustning

2.1 Mätning av lufttemperatur, luftfuktighet och vind

På färjan användes för mätning av lufttemperatur och luftfuktighet givare och mätvärdesomvandlare typ HMP243 från Vaisala. Dessa givare hade monterats i ett fläktventilerat strålningskydd typ 43408 från R. M. Young Company.

Vindhastigheten mättes med ett skålkors Staggered Six och vindhastighetsgivare typ 1564B båda från Teledyne Geotech.

Vindriktningen mättes med en vindfana typ Quick One och vindriktningsgivare typ WS-201 också från Teledyne Geotech.

Både strålningskyddet och vindgivarna har varit monterade på en 1,5 m lång bom som skruvats fast på en antennmast som sitter på färjans högra sida ungefär mitt på färjan. Vindriktningsgivaren har monterats så att den visade 0° när fanan pekade mot färjans för. Vindgivarna satt på 7,5 m höjd, medan lufttemp och luftfuktighetsgivarna var varit på 6,9 m höjd över vattenytan.

Vid mätningarna på Urd användes samma utrustning för mätning av temperatur och luftfuktighet, medan vindmätningarna gjordes med fartygets egen utrustning. Temperatur- och luftfuktighetsgivarna var monterade på 10,6 m och vindmätaren på 12 m höjd.

2.2 Mätning av ytvattentemperatur

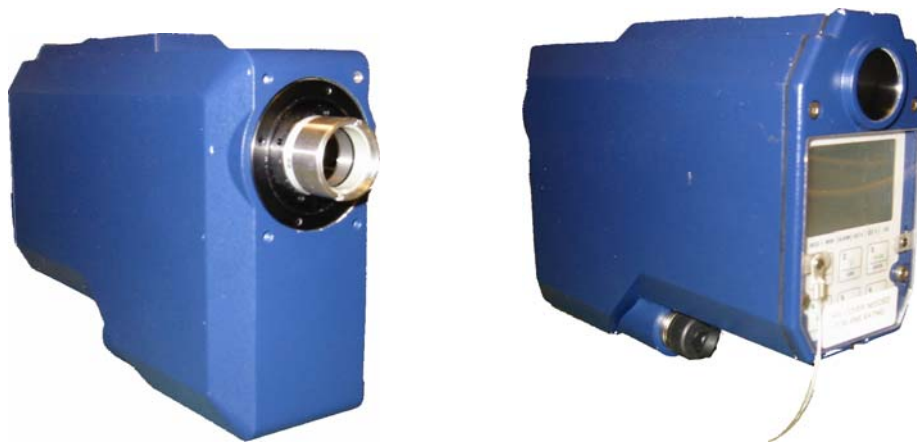
Ytvattentemperaturen på färjan mättes med två olika instrument. Ett Pt100-element kapslat i ett ca 15 cm långt rostfritt metallrör med diametern 3 mm. Metallröret hade monterats på främre delen av en smal plastflaska med barlast av metall och resten fylld med tätskum så att halva flaskan var över vattenytan. Metallröret var monterat tvärs över flaskan och böjt i 90° vinkel bakåt och nedåt efter sidan på flaskan så spetsen hamnade ca 1-2 cm under vattenytan i lugnt vatten. Flaskan har med en lina varit fastsatt på en hydraulisk kranarm, som sitter ca 2 m från färjans för. Kranarmen har varit förlängd med en träribba så att givaren hamnade ca 2 m ut från fartygssidan och 3-4 m från fören.

Ytvattentemperaturen mättes även med ett IR-instrument typ KT 19.85 från Heitronics. Instrumentet är känsligt för IR-strålning inom våglängdsområdet 9,6-11,5 µm och mätområdet är mellan -50°C och +200°C, emissionsfaktorn kan ställas mellan 0,10 och 1,00. Instrumenttillverkaren har angett att vid mätning av ytvattentemperatur bör emissionsfaktor mellan 0,9 till 0,95 användas.

Instrumentet har varit monterat på färjans högra sida ca 5 m från fören och på 5,7 m höjd över vattnet och har varit vinklat 15° från lodlinjen. Vid ett avstånd på 6 m mellan instrumentet och mätobjektet registrerar instrumentet strålning från en cirkulär yta med 0,3 m diameter. Under försöken har emissionsfaktorn växlats mellan 1,0, 0,95 och 0,92 för att få fram den mest lämpade faktorn. Instrumentet har förutom en teckendisplay både en analog utgång som ger en analog spänning proportionell mot mätt temperatur och en RS232-utgång med vilken man t.ex. kan styra instrumentets emissionsfaktor, sätta larmgränser samt även för att samla in mätvärden till en dator.

På Urd har vattentemperaturen mätts med ett Pt100-element och mätvärdesomvandlare typ PTU200 från Vaisala. Pt100-elementet har monterats i en kylvattenledning som förser fartygets motor med kylvatten, intaget av kylvattnet har varit på ca 1,5 m djup. Samma IR-instrument som på färjan har använts för mätning av ytvattentemperaturen, men det har varit monterat i den främre masten på 10,5 m höjd och vinklat ca 35° ut från fartygets lodlinje.

IR-instrumentet, se figur 1, som till form och storlek kan jämföras med en videokamera har under försöket varit monterat i en blank plåtlåda med måtten 50 x 50 x 25 cm, som på insidan isolerats med ca 1 cm tjockt isolermaterial.



Figur 1: IR-instrument KT19.85 för mätning av yttemperaturen.

2.3 Manuell mätning av ytvattentemperatur

Vid mätningarna på färjan har ytvatten hämtats upp med en plasthink ett tjugotal gånger och vattentemperaturen har manuellt mätts med en digital termometer typ 2804 från Yokogawa Electric Works Ltd. Vid varje provtagning har det digitala temperaturinstrumentet och ytvattentemperaturens Pt100-givarvärden avlästs och noterats manuellt. Efter försöket har temperaturgivarna till den digitala termometern och Pt100-elementet till ytvattentemperaturgivaren jämförts genom att båda givarna placerats i en termos med vatten och en magnetisk omrörare. Vattentemperaturen i termosen har varierats från 1°C till 21°C, och därefter har följande korrektionsformel för digitala temperaturinstrument räknats fram:

$$T = T_m + 0,0132 \cdot T_m - 0,3015 \quad (1)$$

där T är den korrigerade temperaturen (°C) och T_m är den avlästa temperaturen (°C). På Urd har inga manuell mätning av ytvattentemperaturen gjorts, i stället har vattentemperaturen mätts med den på fartyget befintliga sonderingsutrustningen som mäter vattentemperaturprofilen med ca 0,5 m intervall ned till ca 60 m djup, vid varje raketsondering.

2.4 Datainsamling

Vid mätningarna på färjan var alla givarna har varit ansluta till en logger typ 21X från Campbell Scientific, vilken har programmerats så den avläser alla givarna 1 gång varje sekund. Av sekundvärdena har den beräknat tio minuters medelvärden samt standardavvikelse, min och maxvärden. Loggern har varit ansluten till en dator av laptop typ på vilkens skärm man kontinuerligt kunde avläsa momentanvärden, och på vilken även mätdata lagrades. Registrerade vindhastigheter och vindriktningar är summan av verklig vind och färjans fart och riktning.

IR-instrumentet har även varit anslutet till en dator för att styra instrumentet så att den samlade in mätvärden varje sekund från instrumentet och beräknade 10 minuters medelvärden och standardavvikelse. IR-instrumentets emissionsfaktor styrdes så att under varje entimmesperiod mellan 0-10 och 30-40 minuter sattes emissionsfaktorn till 1,0, mellan 10-20 minuter och 40-50 minuter var faktorn 0,95 och mellan 20-30 minuter och 50-0 minuter var den 0,92.

Under mätningarna gjorda på Urd har mätvärdesomvandlarna HMP243 (lufttemperatur och luftfuktighet) och PTU200 (vattentemperatur) varit anslutna till en dator med programmet LBM igång, som förutom att det beräknar radarstrålars utbredning även kan samla in data från nämnda mätvärdesomvandlare och beräkna och lagra 10 minuters medelvärden. IR-instrumentdata har samlats in på liknande sätt som på färjan men här har emissionsfaktorn ändrats var tredje sekund mellan 1,0, 0,96, 0,95 och 0,94.

Vid varje raketsondering har noteringar gjorts om tid, latitud, longitud, molnmängd, molntyp, nederbörd, eventuell nederbörd, vindhastighet, vindriktning, vattentemperatur, uppskattad radarräckvidd samt radoräckvidd på VHF-bandet.

2.5 Raketsonder

Från Vaisala har inköpts raketsonder typ RK91 och tillhörande mottagarutrustning PP16 för profilmätning av lufttemperatur och luftfuktighet upp till 1000 m höjd.

Raketsonden består av en rakethylsa med styrfenor, en krutraketmotor och sondutrustning för mätning av lufttemperatur, luftfuktighet och lufttryck samt telemetriutrustning som sänder mätdata via radio, och en fallskärm, se figur 2 och 3.

Eftersom fuktgivarna är okapslade och ganska bräckliga är sänderna försedda med två luftfuktighetsgivare och ger alltså två fuktvärden.

Raketsonden skjuts upp från en startramp och efter ca 10 s har den nått sin högsta höjd, då skjuts sondutrustningen ut från rakethylsan, temperatur- och fuktgivarna fälls ut och fallskärmen vecklas ut. Sonden dalar mot marken med ca 2,5 m/s och under tiden sänder den varje sekund mätvärden på temperatur, fukt och tryck. En dator som är ansluten till radiomottagaren samlar in och lagrar mätdata.

Givarna i varje raketsond är individuellt kalibrerade och varje givares kalibreringskonstanter finns lagrade i sonden och sänds tillsammans med mätvärdena till mottagaren. I mottagaren separeras kalibreringskonstanterna från temperatur- och fuktvärdena och omräknas till verkliga värden som sedan sänds till datorn.

Mätområdet för temperaturen är mellan -50°C och $+60^{\circ}\text{C}$, mätområde luftfuktigheten 0-100 % och lufttryck 500-1080 hPa. Lufttrycksvärdena används för att bestämma höjden.



Figur 2: Raketsond av typen RK91 från Vaisala.

Vid beräkningen av raketsondens tryckvärden till höjd har sista värdet som sonden sänder antagits vara på höjden 0 m och följande formel har använts för beräkning av höjden mellan två på varandra följande tryckvärden (Δp):

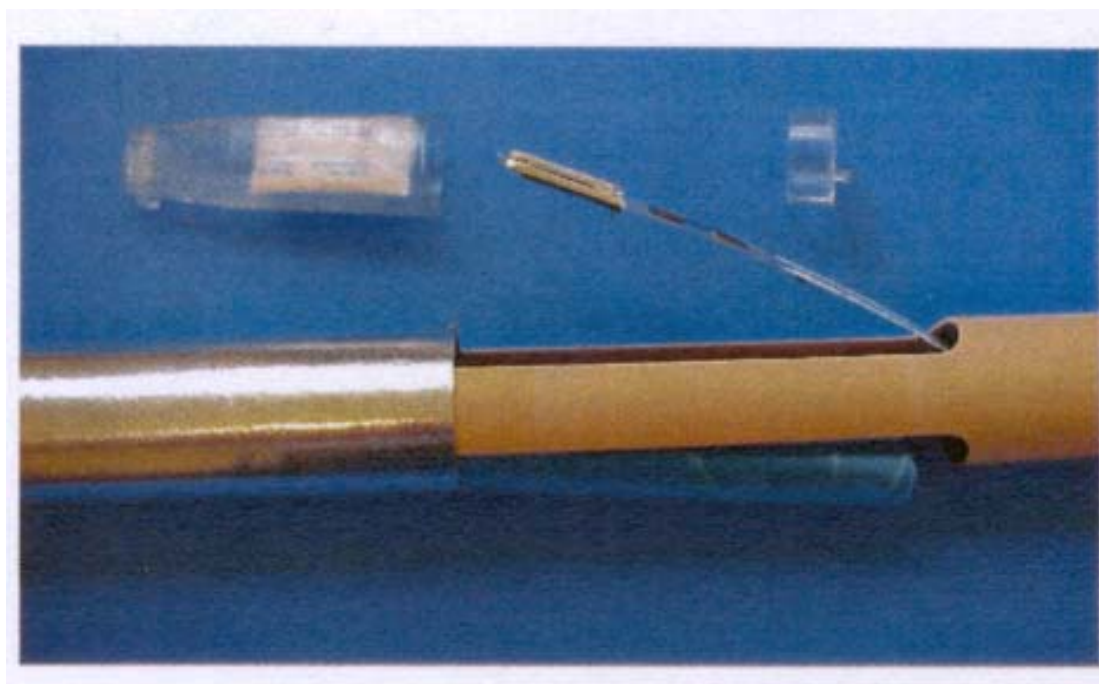
$$\Delta z = -287 \cdot T_A \cdot \frac{\Delta p}{g \cdot p} \quad (2)$$

Höjdskillnaden, Δz , fås i m när lufttemperaturen, T_A , ges i K, jordaccelerationen $g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$ och tryck skillnaden och trycket ges i hPa. Därefter har totala höjden erhållits genom att summera serien av Δz .

För att kunna presentera både temperatur- och fuktighetsprofilerna i samma diagram har relativa luftfuktighetsvärdena omräknats till daggpunkter enligt följande formel:

$$T_d = \frac{1}{\left(\frac{1}{T_A} - \frac{461,5}{2,5 \cdot 10^6} \cdot \ln\left(\frac{rh}{100}\right) \right)} - 273 \quad (3)$$

där T_d är daggpunkten har enheten $^{\circ}\text{C}$, relativa luftfuktigheten är given i %.

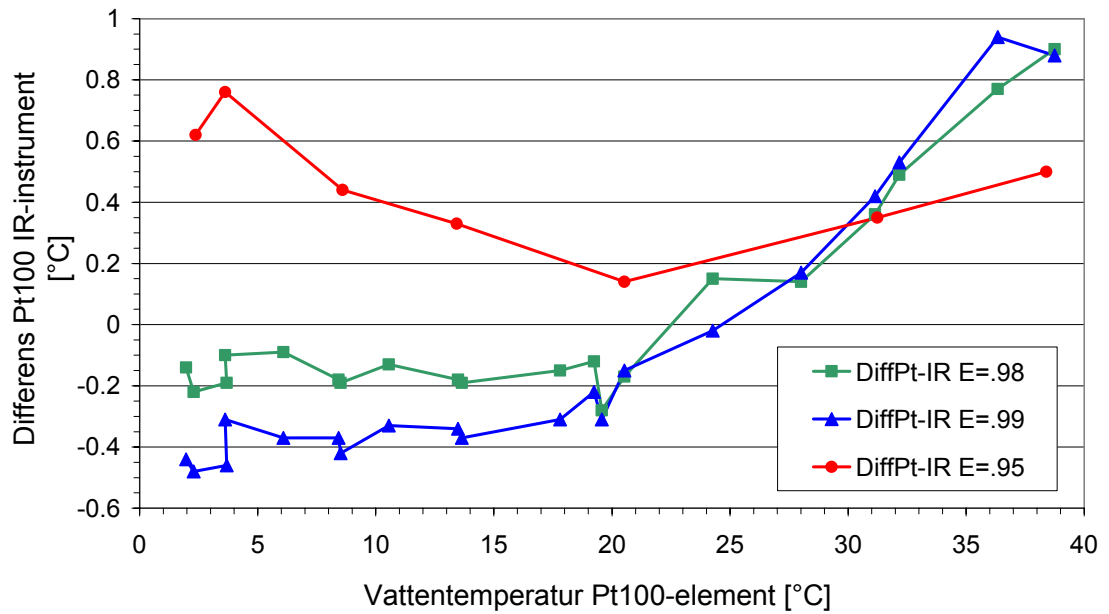


Figur 3: Utfälld sensorbom samt fallskärm (på undersidan av raket röret) hos raketsond av typen RK91.

2.6 Kontroll av IR-instrument KT19.85

För leveranskontroll av IR-instrument för ytvattentemperaturen typ KT 19.85 från Heitronics gjordes följande kalibrerings mätningar. Instrumentet monterades ca 10 cm ovanför en termos med vatten och med en magnetomrörare i termosen. Dessutom monterades ett Pt100-element så att dess spets hamnade ca 5 mm under vattenytan i termosen. Pt100-elementet och IR-instrumenter anslöts till en Campbell-logger som programmerats att göra en mätning i sekunden och sedan varje minut beräkna medelvärdet och standardavvikelsen. Genom att hålla Pt100-givaren på olika djup i termosen och samtidigt titta på momentanvärden från loggern kunde ingen noterbar skillnad märkas i temperaturen mellan olika djup i termosen.

Vattentemperaturen varierades i steg om 2-5°C från 2°C till 39°C och vid varje temperatur har IR-instrumentets emissionsfaktor varierats mellan 0,99, 0,98 och 0,95. Med emissionsfaktorn 0,98 har differensen mellan Pt100-givaren och IR-instrumentet varit mellan -0,2°C och +0,3°C inom intervallet 2-30°C, med 0,99 har differensen varit mellan -0,5°C och 0,2°C och med 0,95 har den varit 0,1-0,8°C, se figur 4.



Figur 4. Temperaturdifferens mellan Pt100-element och IR-instrument i termos med olika vattentemperaturer.

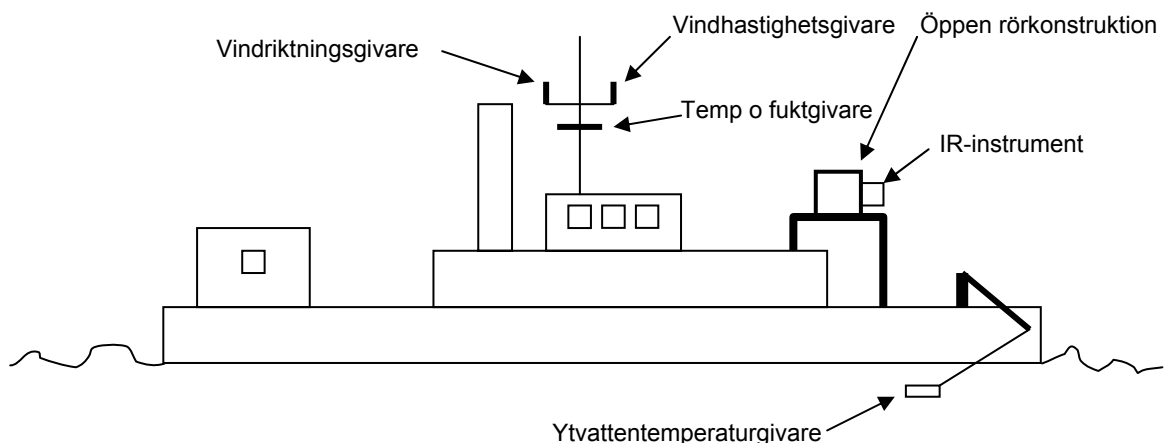
3 Genomförande av mätningarna

3.1 Montering av utrustning och försöksgenomförande

Utrustningen monterades på bilfärja vid kaj under eftermiddag den 2001-10-10. Färja är 28 m lång och ca 5 m bred och kommer från Härnösands marina grupp. I figur 5 visas en principskiss över montaget av sensorer.

Påföljande morgon efter att utrustningen startats och kontrollerats startade färden ut till det avlysta skjutfältsområdet som tog ca en timme. Väl på plats togs kontakt med Sundsvalls flygplats för att få tillstånd att avfyra sondraketer. Därefter avfyrades fyra st raketer första dagen och två raketer den andra dagen med ca en timmes mellanrum. Uppskjutningen och mottagningen av data från de första fem sönerna fungerade utmärkt. Mätvärdesöverföringen för den sjätte sonden fungerade fram till avfyrning då den bröts i ca 4 minuter, trots att signalstyrkan var normal. Tre mätvärden kunde mottas innan signalstyrkan momentant minskade till ca 30, vilket indikerar att sonden landat i vatten.

Datainsamlingen av vind och temperaturer pågick hela tiden under försöksdagarna och även under den mellanliggande natten, förutom under ca 20 minuter vid avgång och landning. Vid dessa tillfällen var färjan spänningslös vid omkoppling från landström till ombordström.



Figur 5: Skiss av färja med givarplaceringar.

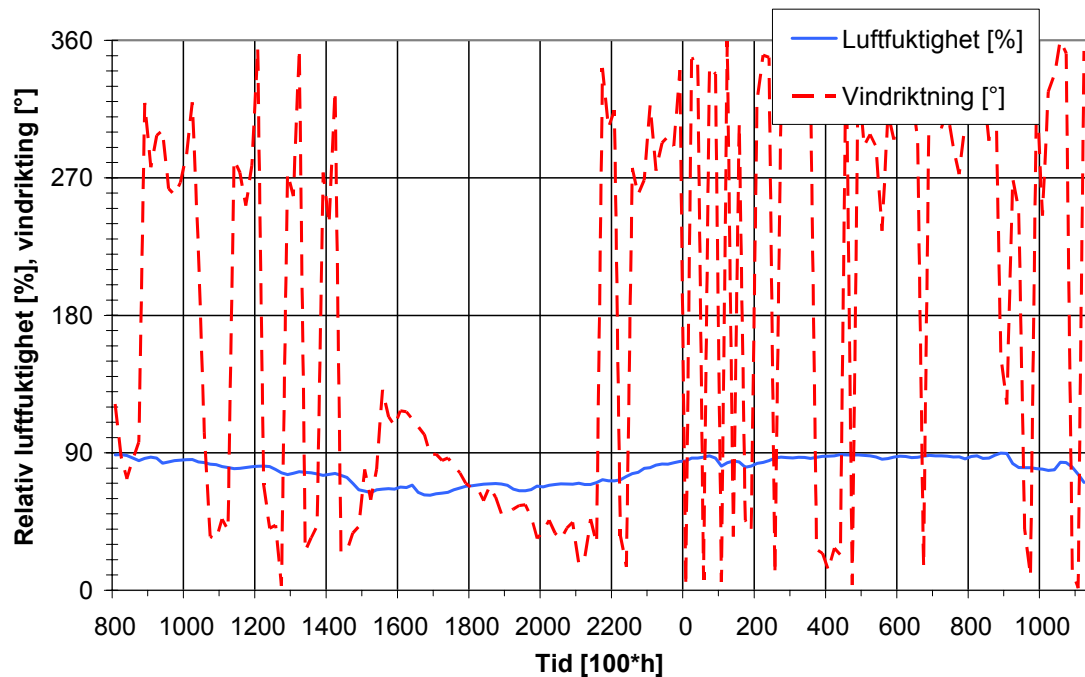
3.2 Meteorologiska förhållanden under försöken

De uppmätta värden på meteorologiska förhållanden under tiden för försöket presenteras i figurerna 6 och 7.

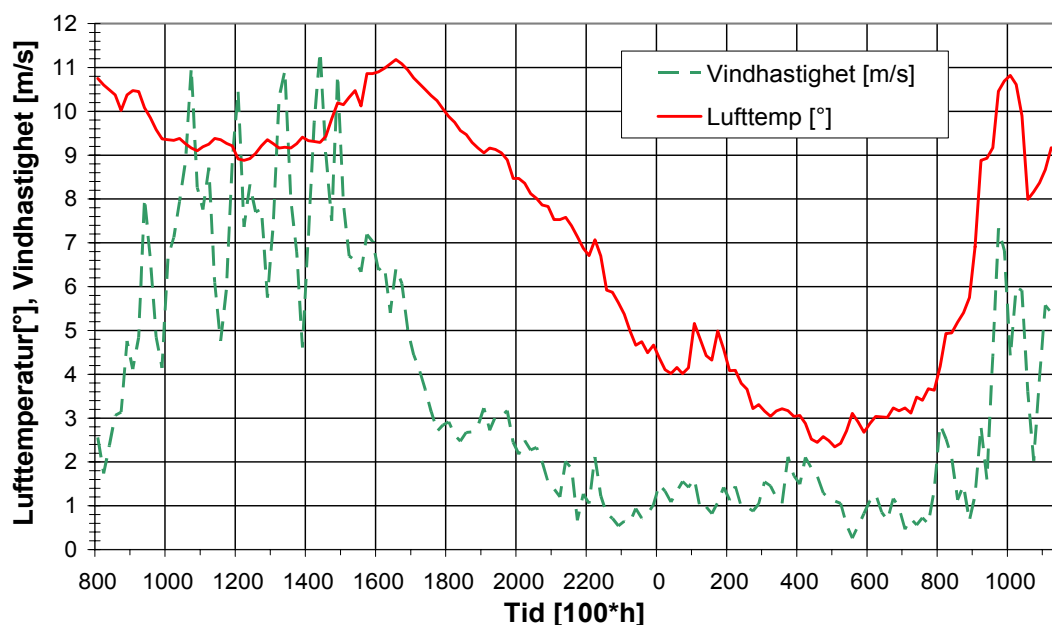
Vid raketuppskjutningarna var färjans för riktad mot vinden men tiden mellan uppskjutningarna kryssade färjan omkring för att hålla sig inom skjutområdet, därav de varierande vindriktningar och vindhastigheter. Uppmätta vindhastigheter är summan av färjans fart och verklig vindhastighet, färjans fart under gång har varit ca 1,5-2 m/s. Vindriktningen är inte hellre kompenserad för färjans riktning. Under tiden färjan låg vid kaj var fören riktad mot väster.

Den 11 oktober lämnade färjan hamnen kl 08:40 och var tillbaka kl 15:20. Raketuppskjutningarna gjordes mellan kl 10:15-14:40. Under försöket den 11 oktober var det molnigt hela dagen, men solen tittade fram genom enstaka molnuggar och lätt regn föll tidvis under dagen. Vid 15-tiden började det klarna upp från väster och vid 18-tiden var det helt molnfritt och det varade åtminstone fram till kl 22:00.

Den 12 oktober avgick färjan kl 07:45 och återvände till hamnen kl 11:10 med raketuppskjutningar mellan kl 09:00-10:00. Den 12 oktober var det mulet men inget regn under försöksperioden.



Figur 6: Vindriktning och luftfuktighet under försök den 2001-10-10--12.



Figur 7: Lufttemperatur och vindhastighet under försök den 2001-10-11--12.

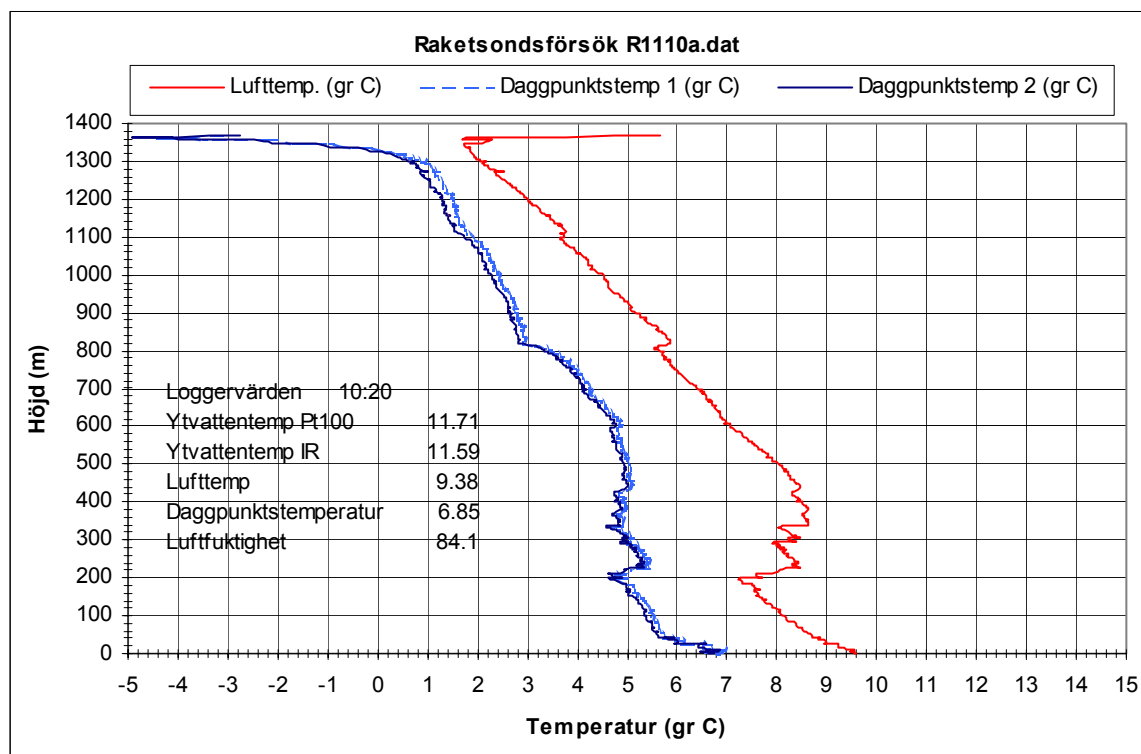
4 Resultat

4.1 Resultat raketsondering

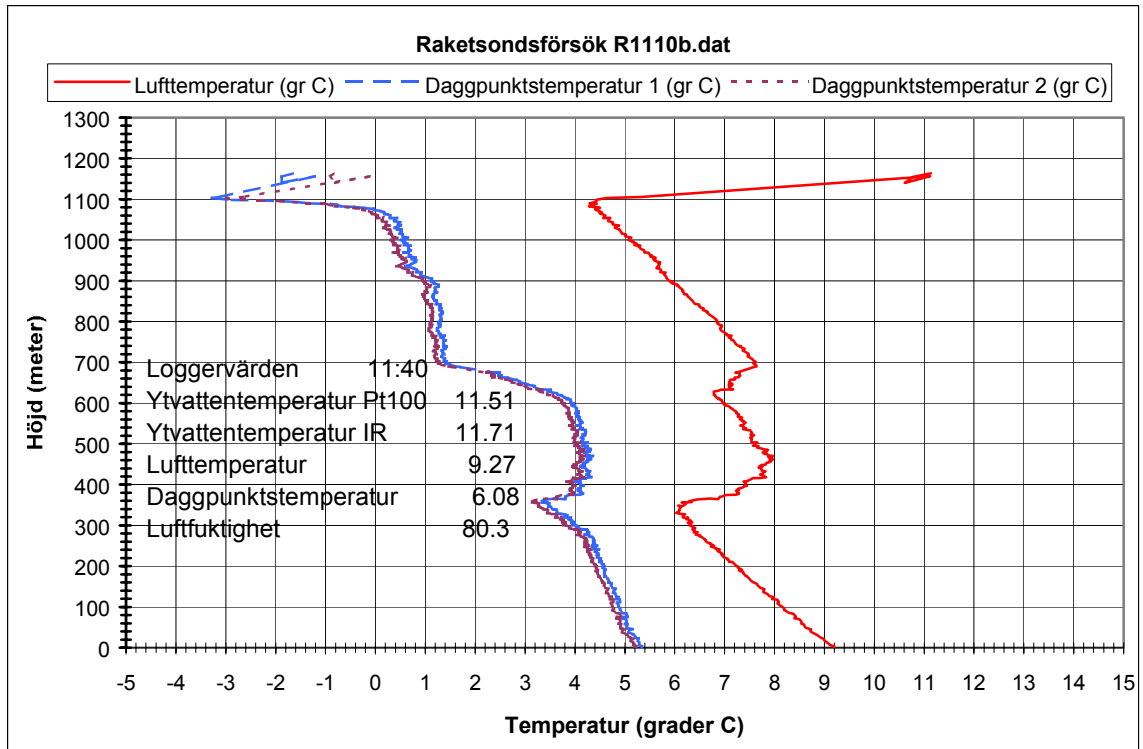
Resultatet från de fem fungerande raketsonderna som avfyrares från bilfärjan redovisas i diagramform i figurerna 8-12. I figurerna har även 10-minutersmedelvärden på uppmätta meteorologiska parametrar skrivits in.

I försöken R1110a.dat-R1110d.dat stämmer sondernas temperatur- och fuktighetsvärden väl överens med 10-minutersmedelvärden, men för R1112a.dat stämmer loggervärdena dåligt överens med slutvärdena från sonden. Loggerns temp- och fuktvärden var 8,88°C respektive 83,0 % medan sondvärdena var 6,8°C och 80,5 %. Det beror troligen på att denna sond landade på mark eller i ett träd med andra förhållanden, eftersom den fortsatte att sända ytterligare 20 minuter efter det att tryckvärdena slutade ändras, och att tryckvärdena under den tiden var 3 hPa lägre än vid avfyringen, vilket motsvara höjden 26 m.

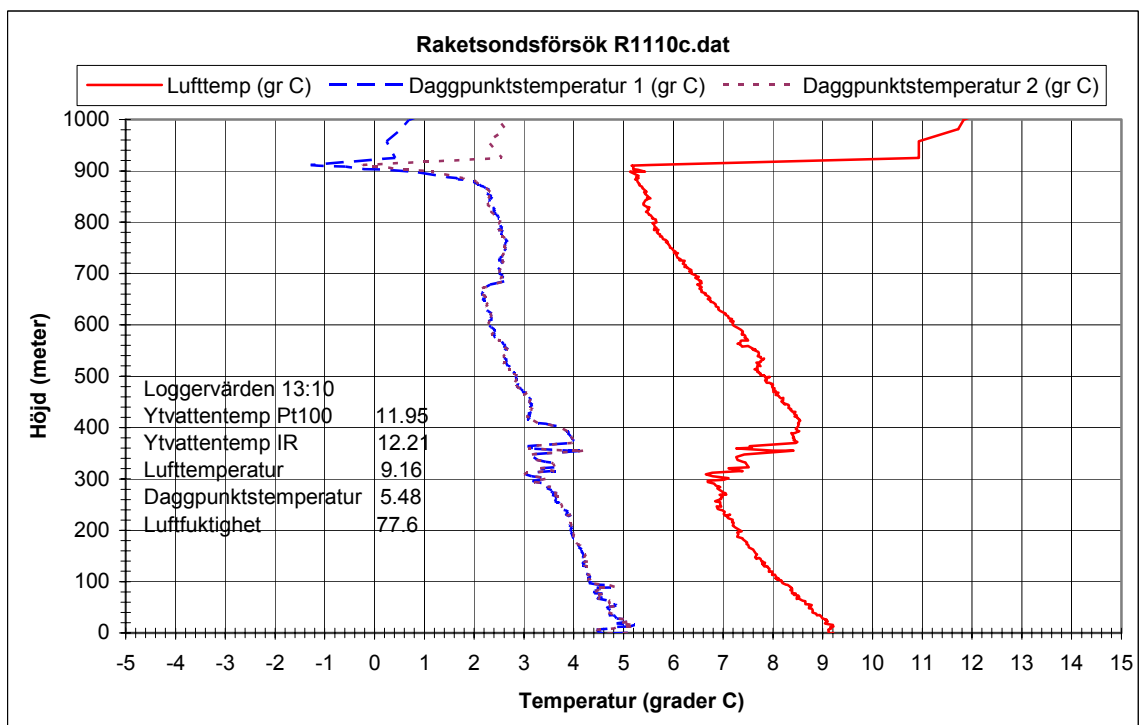
Resultat från raketskjutningarna från Urd hösten 2002 kommer att presenteras i en separat rapport.



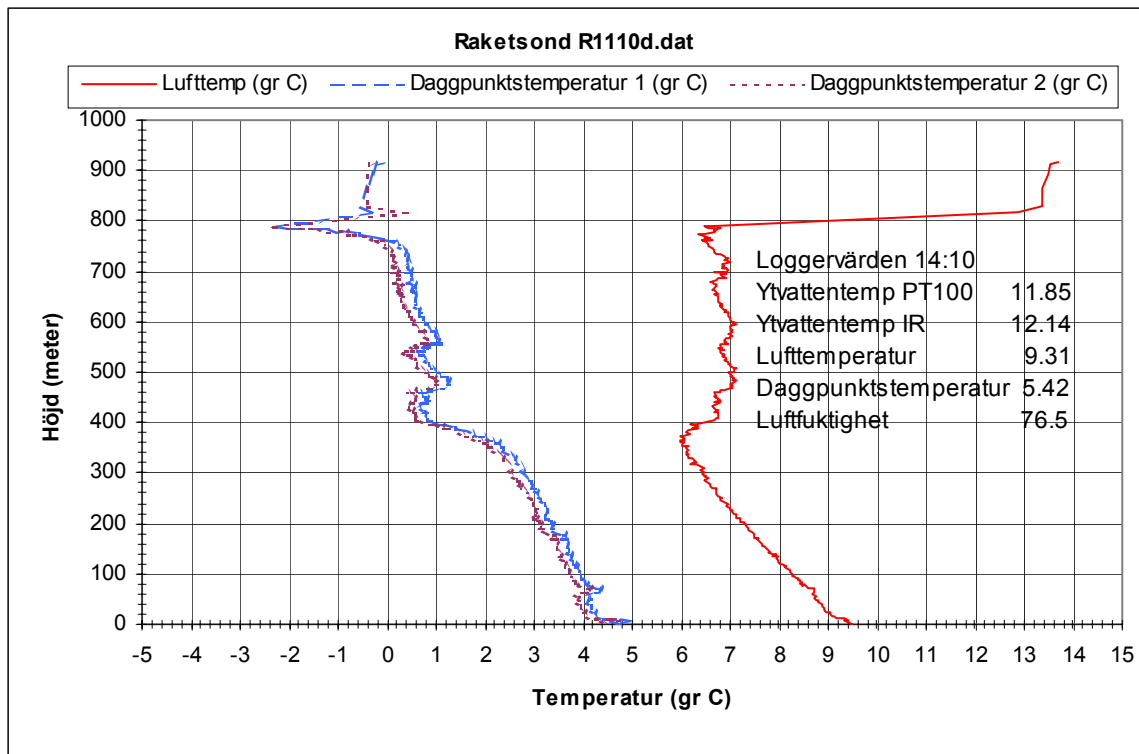
Figur 8: Raketsondsförsök R1110a genomförda 2001-10-11.



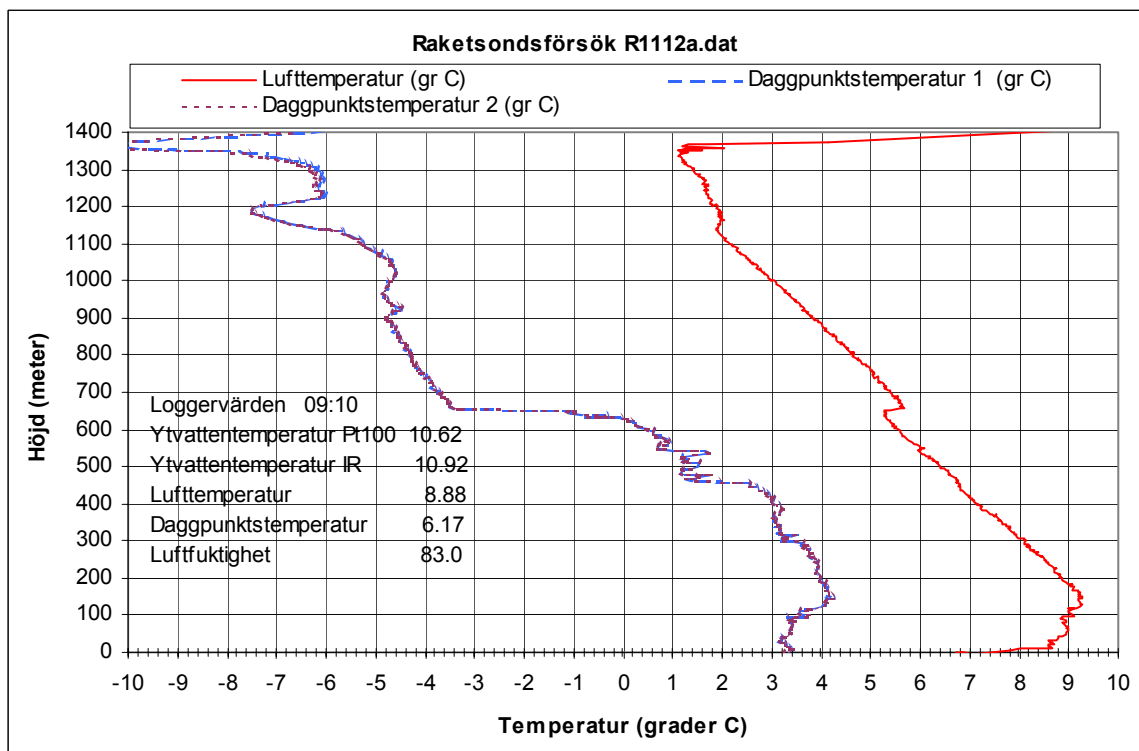
Figur 9: Raketsondsförsök R1110b genomförda 2001-10-11.



Figur 10: Raketsondsförsök R1110c genomförda 2001-10-11.



Figur 11: Raketsondsförsök R1110d genomförda 2001-10-11.

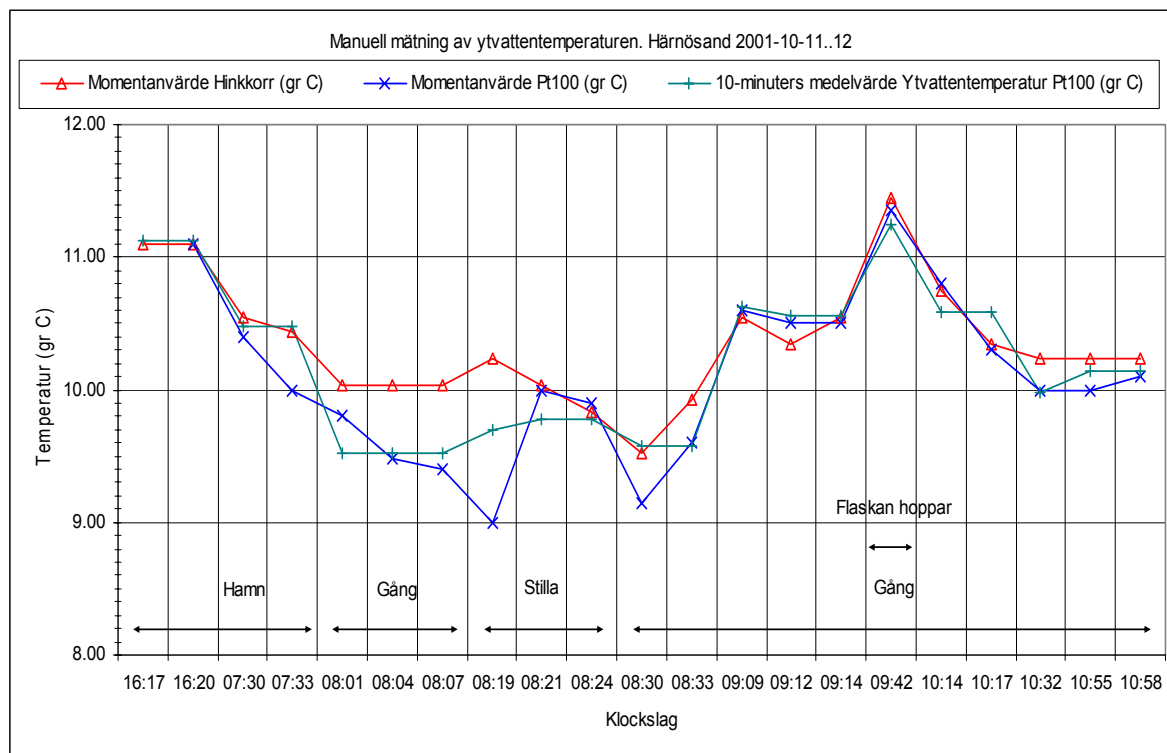


Figur 12: Raketsondsförsök R1112a genomförda 2001-10-12.

4.2 Resultat ytvattentemperaturmätning

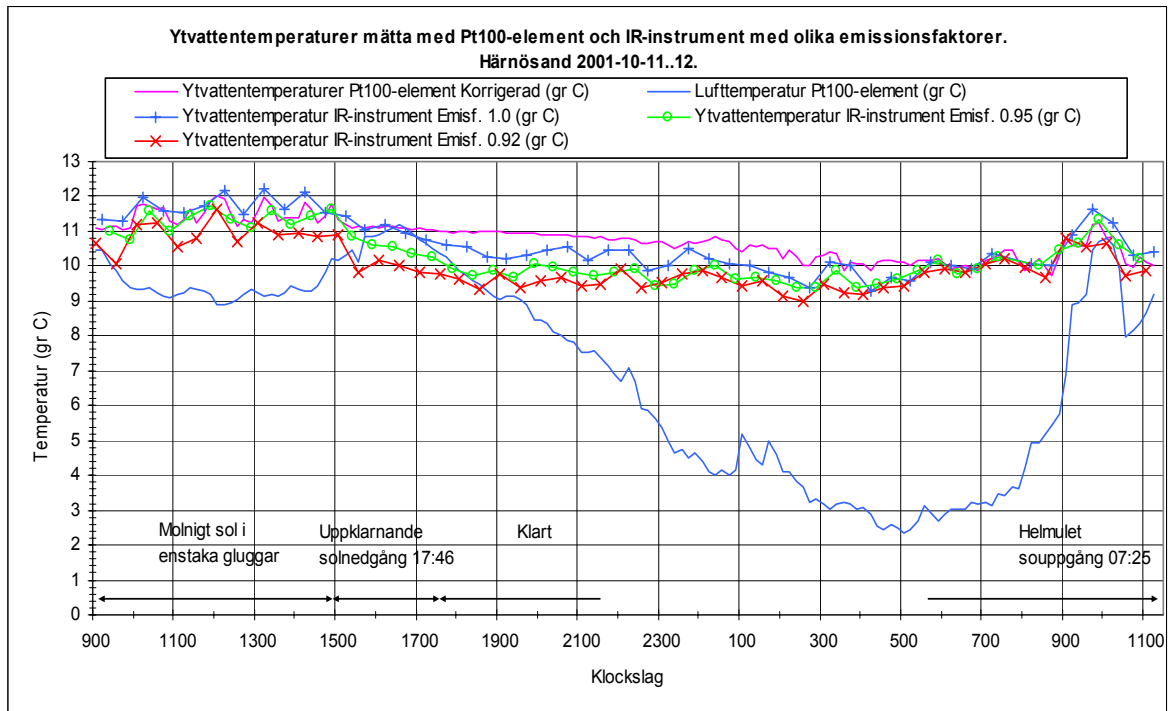
Vid jämförelse av mätresultaten från ytvattentemperaturmätningen gjorda på färjan med manuell mätning med vatten i hink och tio minuters medelvärden från Pt100-elementet, framgår att skillnaderna i de flesta fallen är mindre än 0,15°C utom under två perioder.

Vid den första av dessa två perioder har fyra manuella temperaturmätningar i vatten upphämtat med hink, s.k. hinkmätningar, visat i medeltal 0,52°C högre temperatur än Pt100-termometern. Dessa mätningar gjordes mellan kl 08:01-08:19. Vid den andra perioden, under tiden 08:21-08:33, har hinkmätningarna visat i medeltal 0,18°C. Under dessa två perioder har lufttemperaturen varit ca 5°C lägre än ytvattentemperaturen. Då ytvattentempgivaren tidvis varit ovanför vattenytan och därför troligen visat för låg temperatur, har 10-minutersvärdena för ytvattentemperaturen under dessa två perioder ökat med 0,52°C respektive 0,18°C, se figur 13.

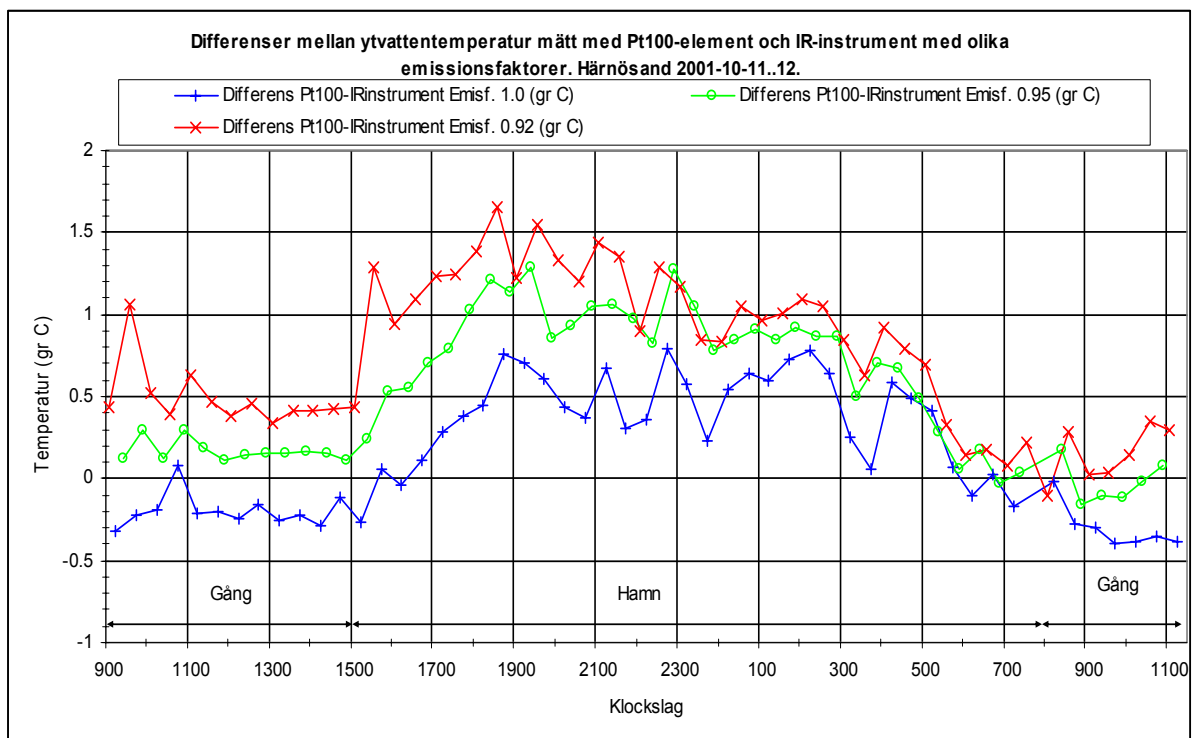


Figur 13: Manuell mätning av ytvattentemperatur.

Den bästa överensstämmelsen på uppmätt ytvattentemperatur mellan Pt100-element och IR-instrumentet erhöles med emissionsfaktorn 0,95 och när färjan var under gång, se figur 14 och 15. Under dessa perioder var skillnaderna ca $\pm 0,2^\circ\text{C}$. Under tiden färjan låg i hamn och där ingen sjögång förekom uppmättes skillnader på 0,5-1,3°C.

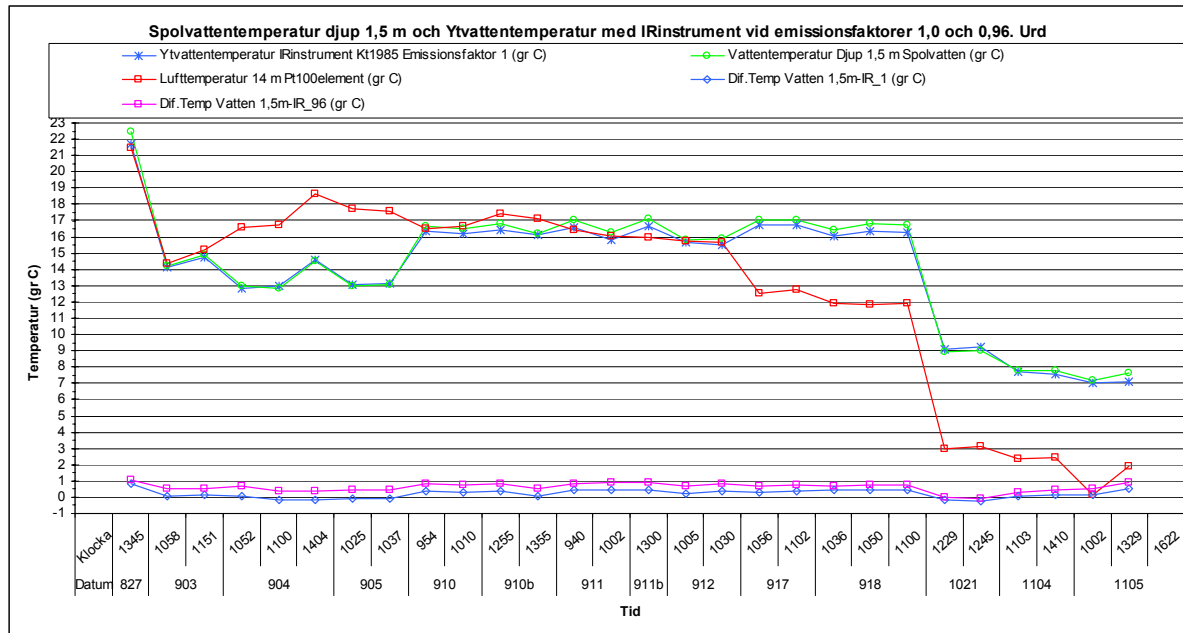


Figur 14: Uppmätt ytvattentemperatur med Pt-100element och IR-instrument med olika emissionsfaktorer.

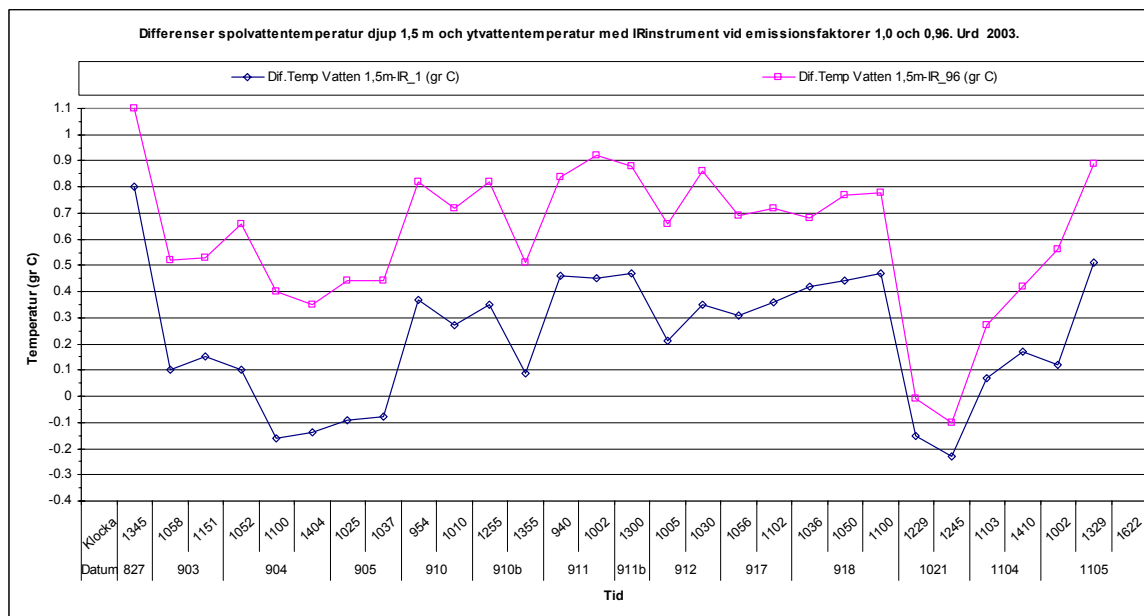


Figur 15: Ytvattentemperaturdifferens mellan Pt-100element och IR-instrument vid olika emissionsfaktorer.

I figur 16 visas tio minuters medelvärde av lufttemperatur, ytvattentemperatur från IR-instrument och spolvattentemperatur från 1,5 m djup och i figur 17 differensen mellan spolvattentemperatur och IR-ytvattentemperatur med emissionsfaktorerna 1,0 och 0,96 vid tidpunkter för varje raketsondsuppskjutning från Urd under hösten 2002.



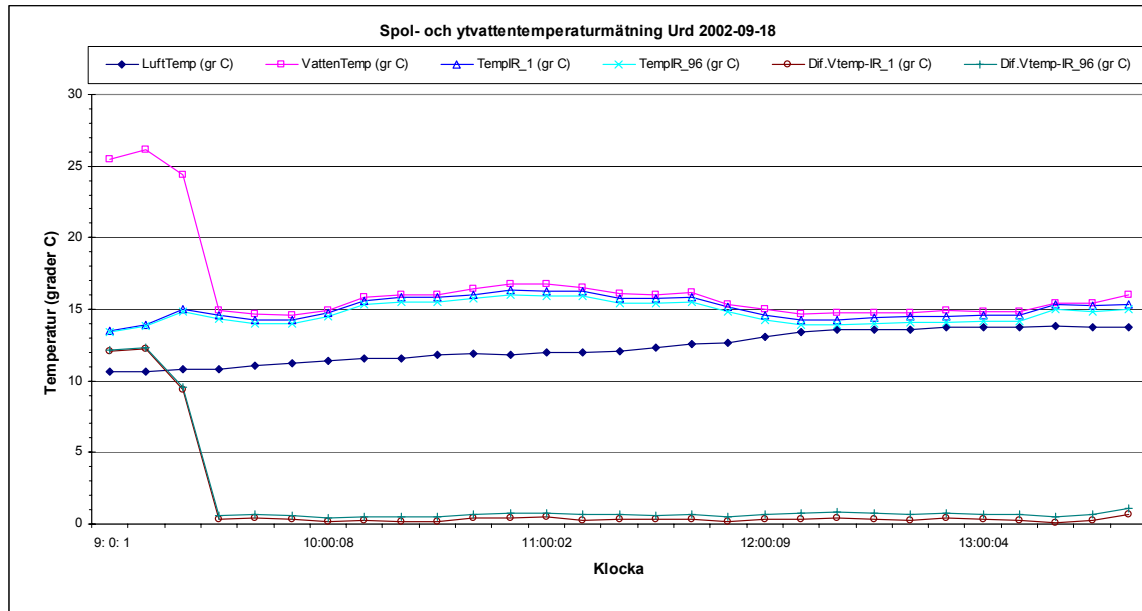
Figur 16: Spolvatten- och ytvattentemperatur hösten 2002.



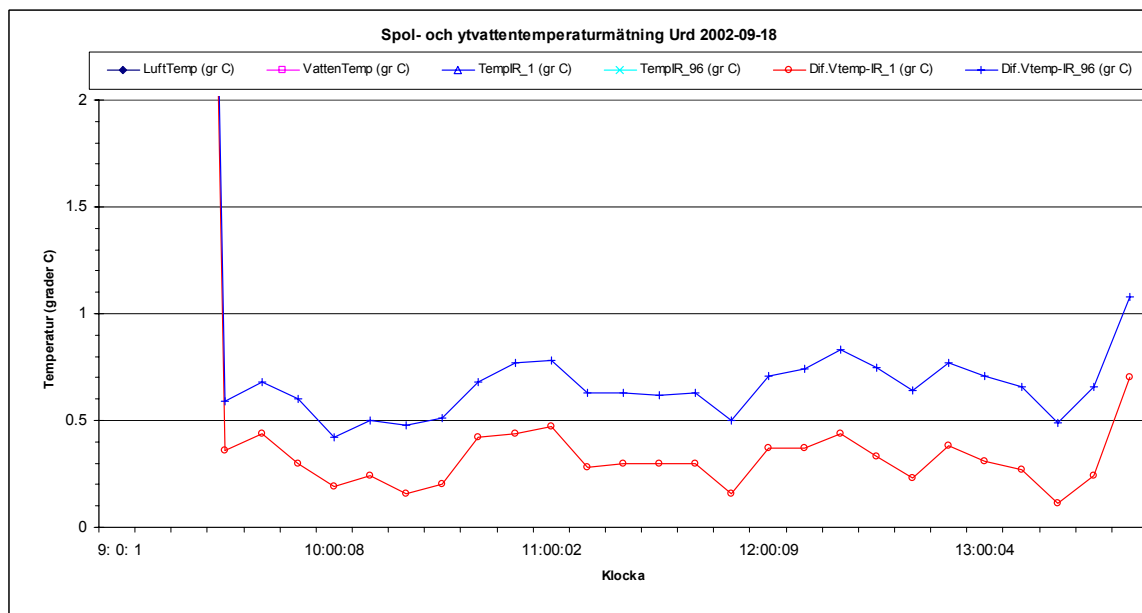
Figur 17: Differens mellan spolvattentemperatur- och IR-ytvattentemperaturmätning hösten 2002.

I figur 18 och 19 visas ett exempel på en enskild dagmätning av temperaturer under färden ut till raketsondsskjutplatsen och tillbaka till hamn med fartyget Urd. Raketsonderingen gjordes kl 10:50 tio km från närmaste ö. Gångtiden från hamn till

skjutplatsen är ca två timmar. Att de tre första mätvärdena på vattentemperaturen avviker från senare värden beror på att vattentemperaturgivaren har varit monterad i ett kylvattenrör till fartygets motor, och när fartygets motor inte går är det inget vattenflöde i röret och vattnet värms av värmen från maskinrummet.



Figur 18: Spolvatten- och IR-ytvattentemperaturmätning Urd 2002-09-18.



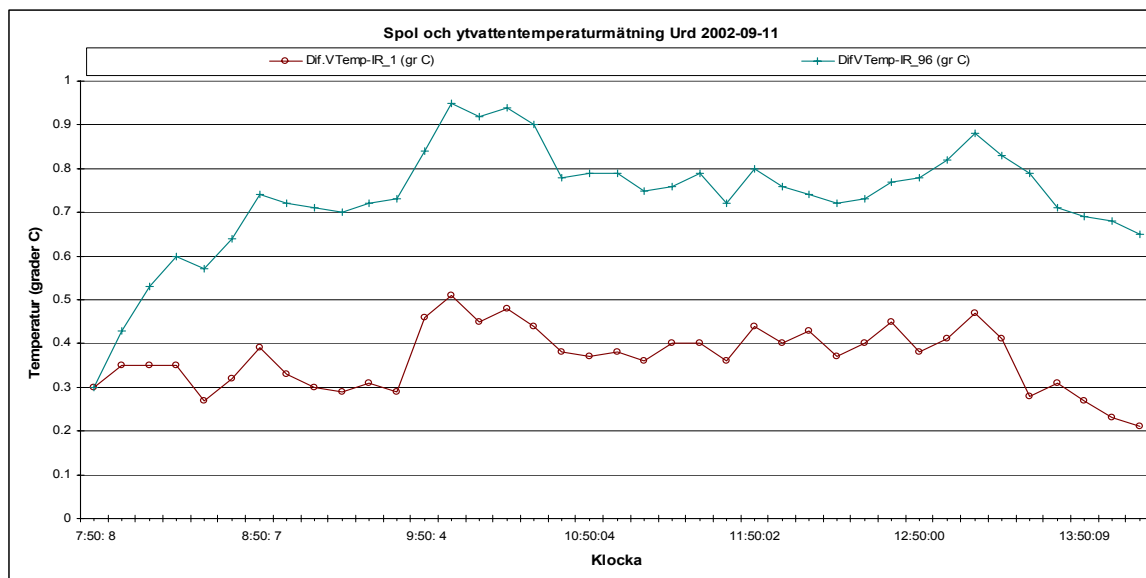
Figur 19: Differens mellan spolvattentemperatur och IR-ytvattentemperatur Urd 2002-09-18.

Mätningarna av ytvattentemperatur med IR-instrument och vattentemperaturmätning med Pt100-element på 1,5 m djup på Urd under hösten 2002 visar att emissionsfaktor 1,0 bör användas vid mätning med IR-instrument och att inga större skillnader märks mellan de två mätmetoderna. Under mätperioden har det förekommit perioder när lufttemperaturen har varit högre, lika och lägre än vattentemperaturen och vindhastigheten varierat mellan

1 och 10 m/s. Maximal skillnad vid emissionsfaktor 1,0 är 0,8°C och medelvärdet ligger på ca 0,23°C medan vid faktor 0,96 är största skillnaden 1,1°C och medelvärdet ligger på 0,63°C. Under mätperioden har inga perioder med ingen vind och stark solinstrålning eller utstrålning inträffat, vid vilka stora skillnader mellan ytvattentemperaturen och vattentemperaturen på 1,5 m djup kan inträffa.

Vid fyra av tolv dagars IR-temperaturmätning har vattentemperaturen under hela dagen varit konstant ca 0,4°C lägre med emissionsfaktor $\varepsilon = 0,96$ än med $\varepsilon = 1,0$. Dock har under åtta dagar, vid IRmätningarnas start på morgonen, skillnaden i uppmätt vattentemperatur med $\varepsilon = 0,96$ och $\varepsilon = 1,0$ varit mellan 0 och 0,15°C. Sedan har temperaturen mätt med $\varepsilon = 0,96$ sakta sjunkit för att efter ca en timme vara 0,4°C lägre än med $\varepsilon = 1,0$ och så förbli till dess mätningen avslutas, se figur 20.

Endast ett tiominuters IR-temperaturmedelvärde har varit starkt avvikande från vattentemperaturvärde mätt med Pt100-element och det inträffade den 21 oktober kl 11:10 och det var 7,15°C medan Pt100-värdet var 8,35°C.



Figur 20: Differens mellan vattentemperatur mätt med Pt100-element och IR-instrument vid emissionsfaktor 1.0 och 0,96 under en dag.

5 Diskussion

Efter dessa två mätperioder tycks emissionsfaktor 1,0 vara den bästa vid mätning av ytvattentemperatur till havs med IR-instrument och att noggrannheten är tillfredsställande för användning i LBM. En anledning till att så stora skillnader uppmättes när färjan låg i hamn, kan bero på att vattenytan var täckt med oljefilm eller något annat som förändrar vattnets emission.

För att testa denna hypotes mättes temperaturen med PT100element och IR-instrument KT19.85 med olika emissionsfaktorer på rent vatten och vatten med oljefilm i en termos. Av denna mätning framgår att IR-instrumentet visar marginellt högre temperatur när det finns oljefilm på vattenytan än med rent vatten, se tabell 1. Eventuell oljefilm på vattenytan tycks inte förklara det förhöjda mätvärdet hos IR-instrumentet vid mätning i hamn. Detta eftersom IR-instrumentet visade omvända förhållandet vid laboratoriemätningarna.

Ytterligare anledningar till deviationen mellan IR-termometern och Pt100-instrumentet på vattenytan kan vara hamnbassängens vattenkvalité, med en förmodad förhöjning av partiklar från botten. Några ytterligare tester av detta gjordes inte.

Tabell 1: Temperaturmätning på rent vatten och vatten med oljefilm i termos.

	Pt100element (°C)	IR E= 1.0 (°C)	IR E = 0.98 (°C)	IR E=0,95 (°C)	IR E=0,9 (°C)
Rent vatten	16,97	17,32	17,05	16,65	16,18
Vatten med 2 små oljedroppar	17,01	17,57	17,24	16,81	16,64
Vatten med 6 små oljedroppar	17,06	17,62	17,65	17,40	17,05

Mätningar av luftfuktighet samt temperatur som funktion av höjden med hjälp av raketsond kommer att analyseras vidare tillsammans med LBM senare.

5.1 Inverkan av fukt på IR-instrumentets lins

En havs- eller vattenyta kan approximeras, i radians hänseende, med en gråkropp eller icke-svartkropp vilket innebär att strålningen från ytan består av både emitterad strålning och reflekterad strålning. Med den uppsättning av IR-instrument som används i dessa prov kommer strålningen som träffar detektorn består av radiansen från vattenytan, reflekterad strålning ursprungligen från himmelsstrålning och strålning från atmosfären mellan vattenytan och instrumentet. Himmelsstrålningen är en sammanfattning av flera strålningskällor som solstrålning (månstrålning), himmelsstrålning (strålning från hela atmosfären i en riktning vid molnfria förhållande), molnens strålning (med strålningen från atmosfären mellan molnen och detektorn alternativt vattenytan).

Den totala radiansten, L_t , som träffar en detektor vid avsaknad av solinstrålning kan approximativt skrivas som, enligt [4]

$$L_t = \tau \cdot \varepsilon \cdot L_{bb}(T_{vY}) + \tau \cdot \rho \cdot L_H + L_L \quad (4)$$

där

τ	transmission mellan vatten ytan och sensorn
ε	emissiviteten hos vattenytan
$L_{bb}(T_{vY})$	svartkroppsstrålningen hos kropp med vattenytans temperatur
ρ	vattenytans reflektans
L_L	strålningen från luften mellan sensor och mätpunkten på vattenytan
L_H	radiansten från himlen uppmätt vid vattenytan

Dessutom kan Kirchoff's strålningslag för vattenytan skrivas som

$$\rho + \varepsilon + \tau_v = 1 \quad (5)$$

där emissiviteten ersätter absorptionen och τ_v avser transmissionen genom vattnet. Det innebär att då lagen om energins konservering tillsammans med det faktum att IR-strålningen inte kan transporteras igenom vatten, vilket betyder att $\tau_v = 0$, så kan sambandet mellan reflektansen, ρ , och emittansen, ε , skrivas som:

$$\rho = 1 - \varepsilon \quad (6)$$

I figur 20 visas ett diagram där temperaturdifferensen mellan mätningar med PT100 instrument placerat i spolvattenröret och IR-instrumentet inställt för olika emissivitetstal inte skiljer sig åt från början. Efter ca en timmes mätning har differenserna för de olika emissiviteterna skilt sig ca 0,4-0,5°C. Denna differens mellan differenserna kvarstår under resten av dagen.

En teori varför denna temperaturdifferens inte skiljer sig åt för de olika emissivitetstalen förrän efter någon timmes användning av IR-systemet är följande: Kameran monterad i isolerat hus kyls långsamt ner under natten då systemet står avstängt. När IR-systemet sätt igång på morgonen har ytterluften värmts upp något och eftersom systemet är monterat på ett fartyg har atmosfären (utanför instrumenthuset) hög luftfuktighet. Luft med hög luftfuktighet dras in i det isolerade (nerkylda) instrumenthuset där, det på grund av isoleringen, fortfarande kalla IR-instrument får en beläggning av fukt. IR-instrumentet, på vars optik kondenserad vatten finns som ett filter, körs igång och det tar någon timme innan den av morgonsolen uppvärmda luften värmer upp IR-instrumentet. Det filter som vattenfilmen på IR-instrumentets optik utgör kan beskrivas som ett spektralt filter som släpper igenom faktor, β , av irradiansten som träffar optiken (och vanligtvis skulle nå detektorn). Detektorn nås av strålningen från filtret i sig själv och den strålning som släpps igenom "vattenfiltret" detta kan skrivas som

$$L_{Detekt} = (1 - \beta) \cdot L_t + \beta \cdot L_{Filter} \quad (7)$$

Om denna vattenfilm som bildas mycket snabbt (sekunder) ger upphov till en för IR strålning ogenomträngligt filter med faktor $\beta = 1$ kommer detektorn att mäta strålningen från filtret. Det troliga är att vattenbeläggningen kommer att långsamt torka och försvinna av den passerande relativt fuktiga luften.

Beroende på hur IR-instrumentet kompenserar för emissiviteten i den algoritm som beräknar temperaturen kommer temperaturen att från början uppfattas som lika oberoende av insatt emissivitetsvärde. För att förenkla resonemanget kan vi, då sträckan mellan vattenytan och IR-termometern är relativt kort bortses från radiansen L_L och transmissionsdämpningen ($\tau=1$) i irradiansekvationen (4) ovan. Instrumentets algoritm måste, när det använder emissiviteten, anta eller mäta ett värde som påverkas av omgivningens temperatur. Då instrumentet inte mäter bakgrundsstrålningen kan man anta att en termometer är monterad i instrumentet som används för att uppskatta bakgrundsstrålningen, L_{omg} . (Om inte en ändå enklare förfarande används där man antar ett enda emissivitetsvärde oavsett inställningen.) Den uppmätta irradiansen kan då skrivas som

$$L_{Mätvärde} = \varepsilon \cdot L_{objekt} + (1 - \varepsilon) \cdot L_{omg} \quad (8)$$

Ett värde på emissiviteten, ε , ansätts och mätvärdet på irradiansen (därmed temperaturen) på objektet justeras i förhållande till bakgrunden. Om strålningen från objektet egentligen kommer från objektivlinsen har L_{objekt} och L_{omg} samma värde (då de har samma temperatur) vilket visar att $L_{Mätvärde}$ är oberoende av emissiviteten.

6 Slutsats och kommentarer

Ytvattentemperaturen är av stor betydelse för bestämma förekomsten och egenskapen hos leddskikt. Ytvattentemperaturens är också betydelsefull vid bestämning av fartygets bakgrundssignatur för eventuell anpassning av egensignatur i framtiden. Därför är en noggrann bestämning av ytvattentemperaturen från fartyg viktig.

Behovet av alternativa mätmetoder av ytvattentemperaturen, till mätning av temperaturen i kylvattenintaget eller dess ledning, kommer att accentueras ytterligare med större fartyg. Då metoden att mäta temperaturen i kylvattenledningar kan antas bli mera störd med större fartyg, då kylvattnet tas från större djup på större fartyg.

Ytvattentemperaturmätningarna med hjälp av IR-termometer visade att metoden fungerar men att det finns ytterligare frågor som måste lösas. Frågan om differensen mellan Pt100-termometern och IR-instrumentet och inverkan av oljespill eller annan förorening av vattnet bör utredas vidare.

De inledande proven av instrument för mätning av lufttemperatur och luftfuktigheten som funktion av höjden med s.k. raketsond visade på positiva resultat. Ytterligare prov planeras och kommer att värderas i senare studier.

7 Referenser

1. Edvard Karlsson, Börje Asp, Gunnar Eriksson och Marcus Rundgren (2001). Vågutbredningsanslys för radio och radar, FOI-R--0099--SE, juni 2001.
2. Edvard Karlsson, Ann- charlotte Nilsson och Melker Nordstrand (1988). Lokal brytningsindex modell på fartyg. Beskrivning av beräkningsmetodik och mätsystem. FOA Rapport E 40037, december 1988.
3. Infrared Radiation Pyrometer KT19.8, Operating Instruction, Heitronics Infrarot Messtechnik GmbH, 1998.
4. Vaisala Oyj., Introducing the Vaisala RFM Refractive Index Measurement System, hemsida: www.vaisala.com/page.asp?section=29357.
5. Schwenger Frédéric and Repasi Endre (2003). Sea surface simulation for testing of Multiband imaging sensors. SPIE konferens Targets and Backgrounds IX: Characterization and representation. (ed. Wendell R. Watkins, Dieter Clement, William R. Reynolds). Proceedings of SPIE Vol. 5075, p. 72-84.
6. Ove Gustafsson, Gunnar Eriksson, Peter Holm, Arne Hågård, Edvard Karlsson, Melker Nordstrand, Rolf Persson, Pontus von Schoenberg och Åsa Waern (2003). Slutrapport för projektet Vågutbredningsanalys för radio, radr och elektrooptiska system. FOI Användarrapport FOI-R--0985--SE.