

Temperaturmålinger av loddeprofil for EKKO II kretskort

Atle Skaugen

Forsvarets forskningsinstitutt/Norwegian Defence Research Establishment (FFI)

22. juli 2009

FFI-rapport 2010/00678

P: ISBN 978-82-464-1738-7

E: ISBN 978-82-464-1739-4

Emneord

Dampfase lodding

Loddeprofil

Kretskort

EKKO II

Godkjent av

Stian Løvold

Forskningssjef

Johnny Bardal

Avdelingssjef

Sammendrag

I forbindelse med produksjon av et EKKO II kretskort i OPEK prosjektet ved FFI, ble det oppdaget at RAM brikkene ikke lenger fungerte etter lodding i dampfaseovnen.

EKKO II kretskortet består av både blyholdige og blyfri komponenter, noe som i utgangspunktet ikke er forenelig da blyfrie komponenter trenger høyere temperatur enn blyholdige for å loddet.

Det ble antatt at loddeprofilen som ble brukt ikke var egnet for kortet slik at:

1. Komponentenes maksimale temperatur på 225 °C ble overskredet i loddeprosessen
2. Komponentenes maksimale temperaturgradient på 3 °C/sekund ble overskredet i loddeprosessen

For å sikre at komponentene skulle fungere etter neste lodding ble det utført temperaturmålinger på et defekt EKKO II kretskortet. Basert på målingene skulle en ny loddeprofil defineres som ikke overstiger kretskortkomponentenes maksimale temperatur og temperaturgradient.

Det ble festet temperatursensorer på tre komponenter på kretskortet, en FPGA-brikke og to RAMbrikker, samt en temperatursensor for å måle omgivelsestemperaturen. For å kunne måle kjernetemperaturen til komponentene ble det boret 2mm hull fra undersiden av kretskortet og inn til midten av FPGA- og RAMbrikkene som er festet på kretskortet. Temperatursensorene ble stukket inn i hullene og plassert godt mot innsiden av komponenten før hullene ble tettet med høytemperaturteip for strekkavlastning og termisk beskyttelse.

Det ble utført en rekke målinger og loddeprofilen som tilslutt ble valgt overskred ikke komponentens maksimale temperatur og hadde lavest temperaturgradient av alle temperaturprofilene vi testet. Et nytt EKKO II kretskort er nå blitt loddet med vellykket resultat ved bruk av denne temperaturprofilen.

Det er viktig å merke seg at den nye loddeprofilen ble stilt etter komponentenes loddeprofil og ikke loddetinnets loddeprofil. Dette betyr at profilen for optimal lodding nødvendigvis ikke er ivarettatt. Ved fremtidige målinger for å finne loddeprofiler bør temperaturen i et av loddepunktene måles sammen med eventuelle kritiske komponenter.

English summary

In connection with the production of an EKKO II circuit board in the OPEK project at FFI, it was discovered that the RAM circuits no longer functioned after soldering in the vapor phase oven. The EKKO II circuit board contains both lead and lead-free components, which in this case is not consistent since the lead-free components require higher temperature than the components containing lead to solder.

It was assumed that the soldering profile that was used was not suitable for the card so that:

1. The components maximum temperature of 225 °C was exceeded in the soldering process
2. The components maximum temperature gradient of 3 °C / second was exceeded in the soldering process

To ensure that the next EKKO II circuit board would survive the soldering, temperature measurements were carried out on a defect EKKO II circuit board. Based on the measurements, a new soldering profile was defined which did not exceed the components maximum temperature and temperature gradient.

Temperature sensors were mounted on three components on the circuit board, one FPGA chip and two RAM chips, and one additional temperature sensor was used to measure the ambient temperature. A 2mm hole was drilled through the circuit board and in to the middle of the FPGA and the two RAM chips mounted on the circuit board in order to measure the core temperature of the components. The temperature sensors were put through the drilled holes and placed with good contact with the components. A special tape for use in high temperature environment was then placed over the holes for cable anchorage and thermal protection.

A series of measurements was performed and the soldering profile which in the end was chosen did not exceed the components maximum temperature and had the lowest temperature gradient of all the profiles tested.

A new EKKO II circuit board has now successfully been made using the new soldering profile. It is however important to note that the new soldering profile defined was created based on the components soldering profile and not that of the tin solder. This means that this profile might not give optimal soldering, and it is therefore necessary to measure the temperature in one or several soldering points in addition to critical components in future measurements in order to find new soldering profiles.

Innhold

1	Innledning	7
1.1	Temperaturmålinger i FPGA- og RAM-brikker på EKKO II kretskort	7
2	Måleutstyr	7
2.1	Temperaturlogger	7
2.2	Temperatursensor	7
3	Dampfaseovn	8
4	Optimal lodding og repeterbarhet	9
5	Måleprogram	10
5.1	Variasjoner i omgivelsestemperatur ved forskjellige kortstørrelser	10
5.2	Temperaturmålinger på EKKO II kretskortkomponenter	13
5.2.1	Måling av tidligere brukte profiler	13
5.2.2	Forklaring til grafene	14
5.2.3	Målinger for å opprette ny loddeprofil	17
5.2.4	Forklaring til grafene	18
5.2.5	Temperaturmålinger av EKKO II loddeprofil 1	19
5.2.6	Temperaturmålinger av EKKO II loddeprofil 2	20
5.2.7	Temperaturmålinger av EKKO II loddeprofil 3	21
5.2.8	Temperaturmålinger av EKKO II loddeprofil 4	22
5.2.9	Temperaturmålinger av EKKO II loddeprofil 5	23
5.3	Diskusjon	24
6	Konklusjon	24

1 Innledning

1.1 Temperaturmålinger i FPGA- og RAM-brikker på EKKO II kretskort

I forbindelse med produksjon av et EKKO II kretskort i OPEK prosjektet ved FFI, ble det oppdaget at RAMbrikkene ikke lenger fungerte etter lodding i dampfaseovnen.

EKKO II kretskortet består av både blyholdige og blyfri komponenter, noe som i utgangspunktet ikke er forenelig da blyfrie komponenter trenger høyere temperatur enn blyholdige for å loddas.

Det ble antatt at loddeprofilen som ble brukt ikke var egnet for kortet slik at:

1. Komponentenes maksimale temperatur på 225 °C ble overskredet i loddeprosessen
2. Komponentenes maksimale temperaturgradient på 3 °C/sekund ble overskredet i loddeprosessen

For å sikre at komponentene skulle fungere etter neste lodding ble det utført temperaturmålinger på et defekt EKKO II kretskortet. Basert på målingene skulle en ny loddeprofil defineres som ikke overstiger kretskortkomponentenes maksimale temperatur og temperaturgradient.

2 Måleutstyr

2.1 Temperaturlogger

En Testo 177-T4 logger ble tilkoblet en PC, og dataene ble lagret ved hjelp av COMSOFT basic programmet som fulgte med Testo 177-T4 loggeren. Loggehastigheten ble satt til maksimal samplingsrate som er hvert 3. sekund.

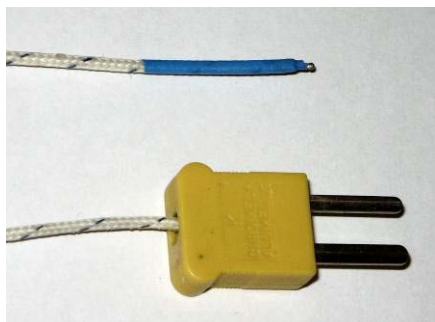


Figur 2.1: Testo 177-T4 termoelement logger

2.2 Temperatursensor

Dampfaseovnen kom med ferdig monterte termoelement K-type kompensasjonskabler og kontakter strukket fra utsiden av ovnen og frem til risten som føres inn i loddekammeret. K-type termoelementer ble derfor brukt som temperatursensorer under forsøket. K-type termoelement (chromel-alumel) er det mest vanlige termoelementet og temperaturområdet spenner fra -200 °C til +1350 °C.

Kablene ble avisolert og punktsveiset for sikre riktig posisjon på målepunktet.



Figur 2.2: K-type termoelement med kontakt

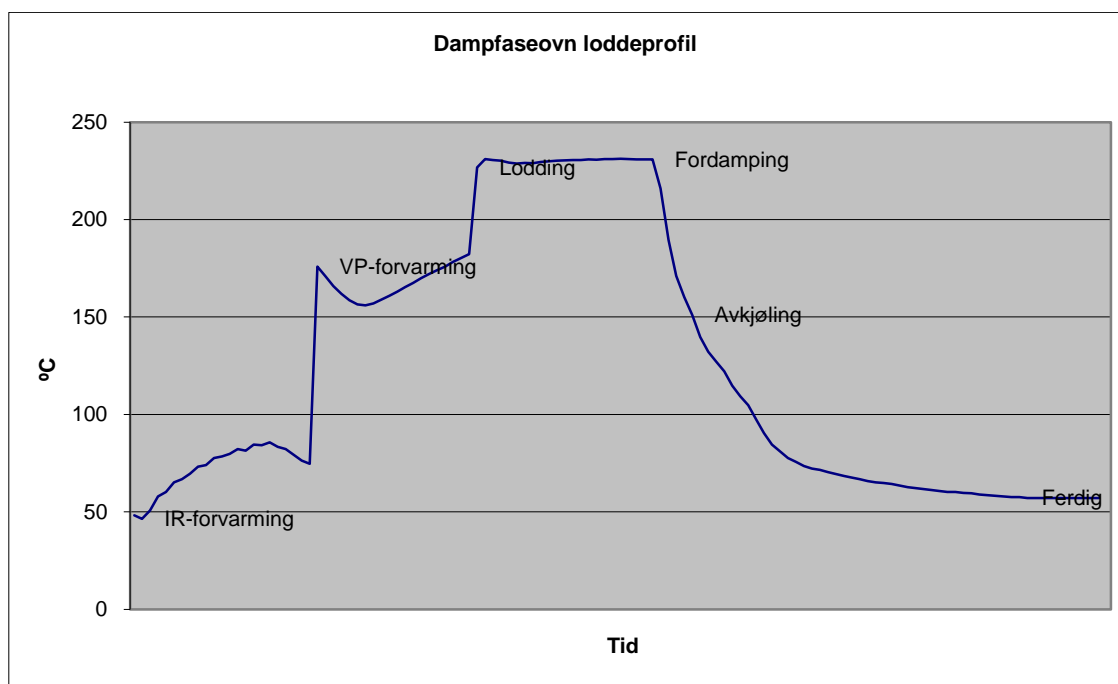
3 Dampfaseovn

Dampfaseovnen brukt på FFI er en IBL dampfaseovn type SLC500. Væsken som blir brukt i dampfaseovnen er en Galden væske med kokepunkt på 230 °C. Seks varmeelementer er montert i maskinen for å varme opp væsken. Det er mulig å velge antall varmeelementer som skal brukes for å regulere dampkonsentrasjonen i loddekammeret.

Ovnens loddeprosessen består av 5 steg, disse er beskrevet i Tabell 3.1 og Figur 3.1

Prosess	Variabler	
IR-forvarming	Tid	Kretskort og komponenter blir forvarmet ved hjelp av en pulserende IR-lampe.
VP-forvarming	Tid, posisjon i kammer	Kretskort og komponenter blir forvarmet i kammeret med gassen . Risten som fører kretskortet inn i loddekammeret kan stilles i en av 16 høydeposisjoner over loddedampen. Brukeren kan velge å kun bruke 1 valgt posisjon og regulere tiden risten skal stå her før den går ned i lodde posisjonen, eller la risen gradvis gå ned i dampen via 16 posisjonene ved å stille tiden risten skal ligge på hver av de enkelte posisjonene før risten går ned i loddeposisjonen.
Lodding	Tid	Kretskort og komponenter blir ned i gassen slik at komponentene loddes fast
Fordampning	Tid	Kretskort og komponenter løftes opp og ut av gassen og holdes i ro mens den kondenserte gassen renner vekk. Prosessen gjøres i kammeret.
Avkjøling	Tid	Kretskort og komponenter blir aktivt avkjølt ved hjelp av en vifte

Tabell 3.1: Forklaring av loddeprosessen og hvilke variabler som kan stilles



Figur 3.1: Loddeprofil og stegforklaring i dampfaseovn

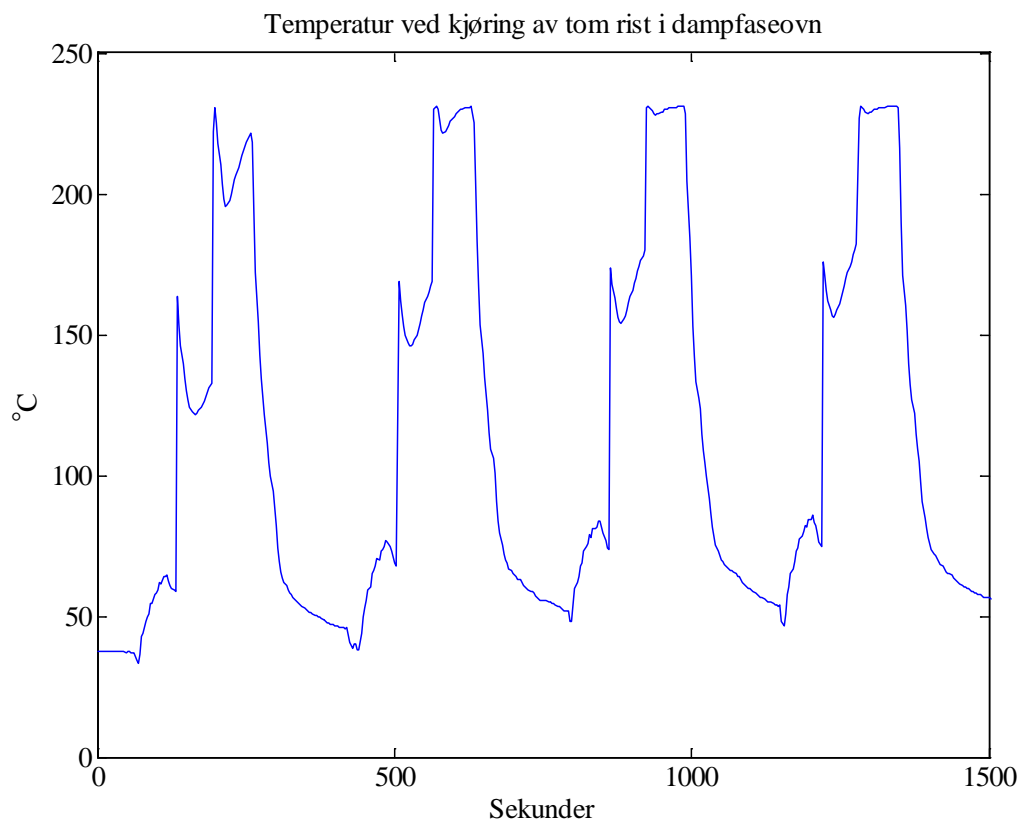
4 Optimal lodding og repeterbarhet

Det er viktig å oppnå optimale loddeforhold før kretskort legges inn i en dampfaseovn. Kjøring med ovnen tom viser at temperaturen på risten som fører kretskortet ned i loddedampen kan ha betydelig påvirkning på temperaturen i loddeprosessen.

Figur 4.1 viser at temperaturen først er stabil etter å ha kjørt ovnen tom 3 ganger.

Temperatursensoren på risten ble derfor brukt for å måle at omgivelsestemperaturen var stabil og ved riktig temperatur før målingene med kretskort ble utført.

Denne rutinen kan med fordel innføres for alle loddinger for å sikre stabil og riktig temperatur, samt å kunne brukes som dokumentasjon ved eventuelle problemer som kan oppstå på bakgrunn av loddeprosessen.



Figur 4.1: Lufttemperaturen i dampfaseovn ved kjøring av tom rist

5 Måleprogram

Resultatene vist i dette notatet er tatt ut fra måleprogrammet som er vist i Tabell 5.1

	Mål
1	Se innvirkning på temperaturen i dampfasekammeret ved forskjellig kretskortstørrelser og kretskort med forskjellig varmekapasitet
2	Måle temperatur og temperaturgradienten til komponentene på EKKO II kretskortet med de to tidligere brukte loddeprofilene.
3	Lage en loddeprofil for EKKO II kretskortet som ivaretar loddeprofilen til komponentene og loddepastaen.

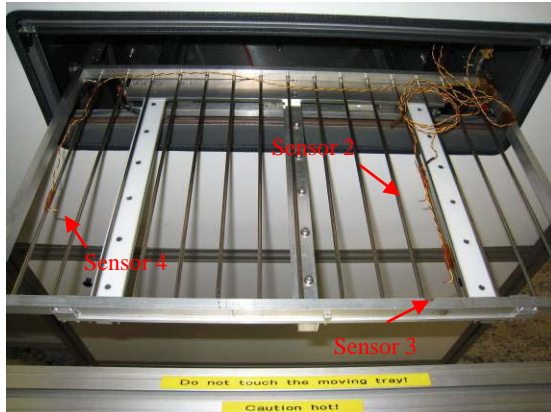
Tabell 5.1: Måleprogram

5.1 Variasjoner i omgivelsestemperatur ved forskjellige kortstørrelser

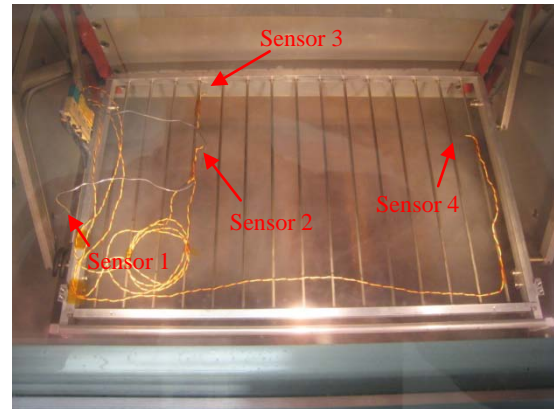
Det ble gjort fire enkle målinger for å se hvordan lufttemperaturen i loddekammeret varierer med størrelsen på kortene som settes inn. Tre temperatursensorer ble montert på risten for å måle omgivelsestemperaturen rundt kretskortene som vist i Figur 5.1. Det ble brukt tre kort i forskjellig størrelse og med forskjellig antall jordlag som vist i Tabell 5.2.

Kort nummer	Dimensjon	Signal lag	Jord/power lag	Totalt antall lag
1	10,0 X 16,0 cm	2	0	2
2	10,0 X 16,0 cm	4	4	8
3	29,0 X 26,5 cm	4	4	8

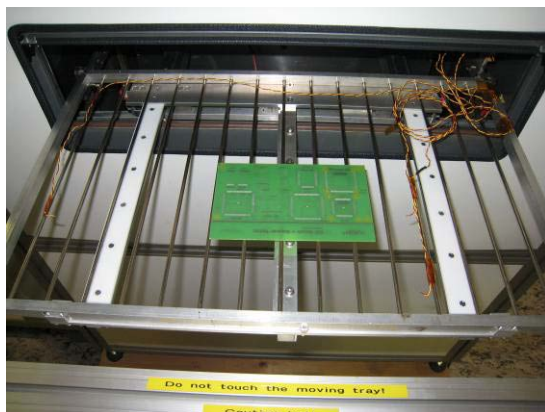
Tabell 5.2: Kretskort oversikt



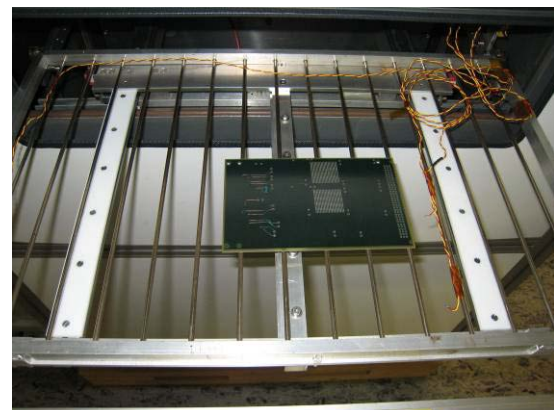
Figur 5.1: Sensor oversikt



Figur 5.2: Sensor oversikt



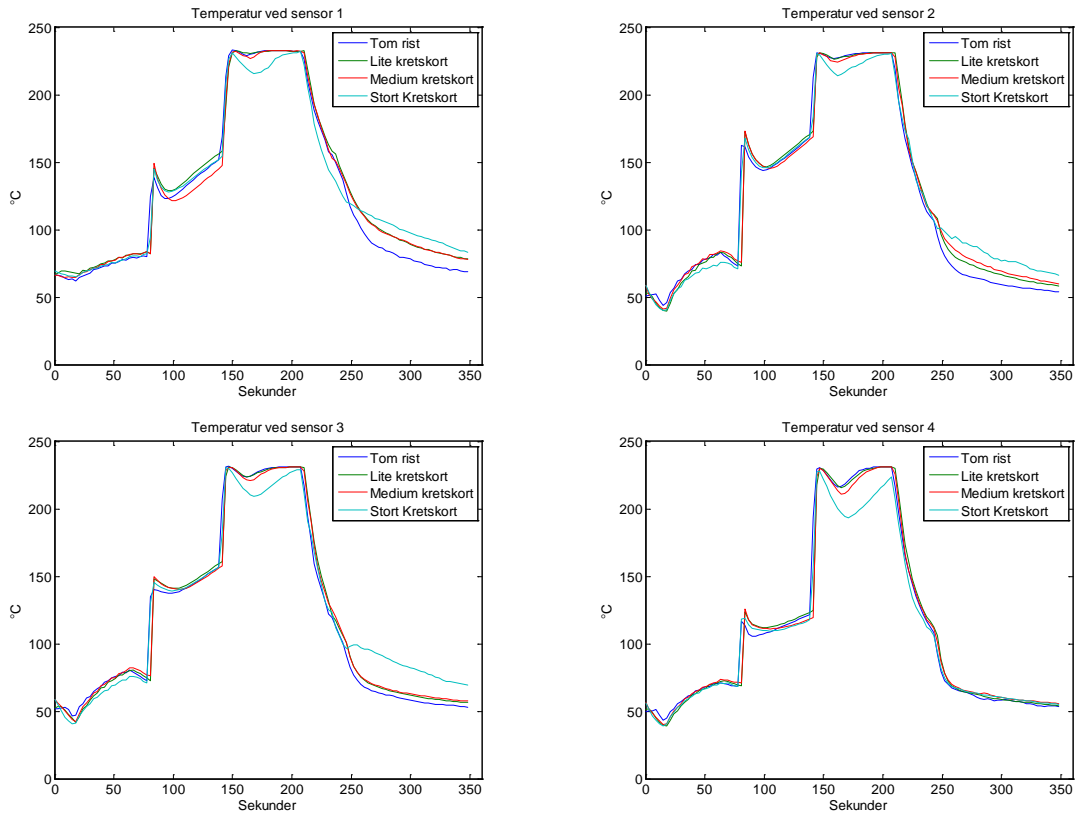
Figur 5.3: Kort 1, lite



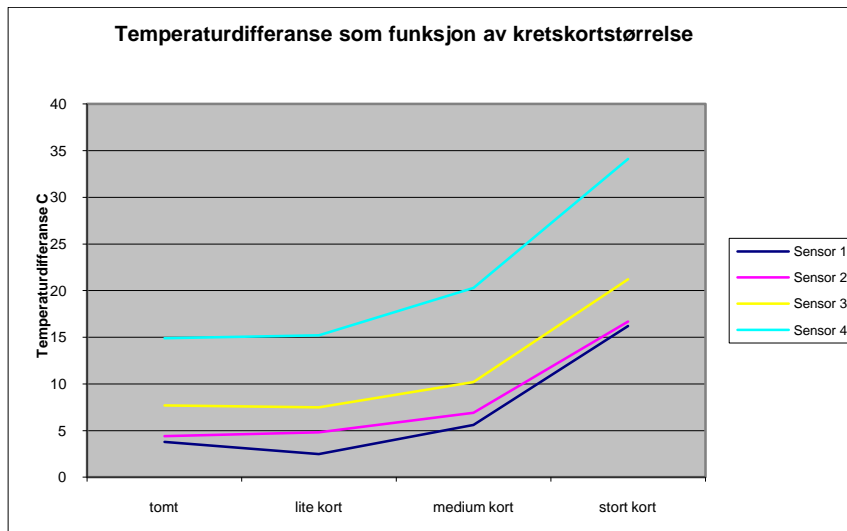
Figur 5.4: Kort 2, mellomstort



Figur 5.5: Kort 3, stort



Figur 5.6: Temperaturforskjell ved ulike kretskortstørrelser



Figur 5.7: Temperaturdifferanse mellom maksimums- og minimumstemperatur i loddefasen

Som grafene i Figur 5.6 viser er temperaturfallet i loddefasen som skjer mellom 150 og 210 sekunder ganske lite for det lille og mellomstore kortet, ca 4-7 grader. Det store kortet ser derimot ut til å kjøle ned temperaturen i dampfasekammeret med 15 – 20 grader.

Temperaturdifferansen mellom maksimal temperatur og temperaturfallet i loddefasen vises i grafene i Figur 5.7.

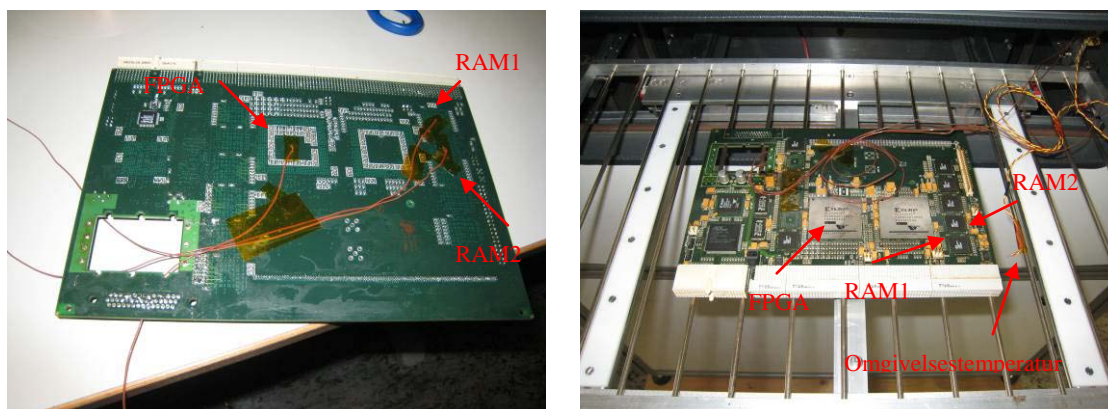
Det er viktig å merke seg at denne målingen viser hvor mye temperaturen i dampfasekammeret synker og kan ikke direkte relateres til hvor stor innvirkning kortstørrelse har på kvaliteten på loddningene.

5.2 Temperaturmålinger på EKKO II kretskortkomponenter

Ved disse målingene ble det festet temperatursensorer på tre komponenter på kretskortet, en FPGA-brikke og to RAM-brikker, samt en på risten i ovnen for å måle omgivelsestemperaturen. Figur 5.8 viser plassering av sensorene.

For å måle kjernetemperaturen til komponentene var det nødvendig å feste temperatursensoren inne i komponenten. Prototypverkstedet på FFI hjalp til med å bore 2mm hull fra undersiden av kortet og inn til midten av komponentene.

Temperatursensorene ble så stukket inn i hullene på undersiden av kortet og plassert godt mot innsiden av komponenten. Hullene ble tettet med en høytemperaturteip for strekkavlastning og termisk beskyttelse som vist i Figur 5.8.



Figur 5.8: Plassering av temperatursensorer

5.2.1 Måling av tidligere brukte profiler

Kortet ble kjørt med de to profilene kortet tidligere var prøvd loddet med for å se hvordan profilene påvirket temperaturen i komponentene. De to profilene er beskrevet i Tabell 5.3, hvor profilen med 2 varmeelementer var den originale innstillingen og profilen med 4 varmeelementer er profilen som ble brukt på EKKO II kretskortet som feilet.

VP-preheat setting(SVP-Stop): Single position(0)

VP-preheat posisjon: 7

	Profil for 2 varmeelementer	Profil for 4 varmeelementer
IR-Preheat	45 sekunder	45 sekunder
VP-Preheat	60 sekunder	25 sekunder
Soldering	65 sekunder	50 sekunder
Evaporation	15 sekunder	15 sekunder
Cooling	120 sekunder	120 sekunder
Total tid	305 sekunder	255 sekunder

Tabell 5.3: Profiler brukt for 2 og 4 varmeelementer

5.2.2 Forklaring til grafene

Sensorene er vist hver for seg i hvert sitt vindu med temperaturen og temperaturgradienten.

Grafen for temperaturen inneholder også en rød linje som viser maksimal temperaturen for RAM brikkene på 225 °C.

Grafen for temperaturgradienten viser temperaturforskjellen i °C/sekund og de to røde strekene viser den maksimale temperaturforandringen komponentene er spesifisert for, 3 °C/sekund.

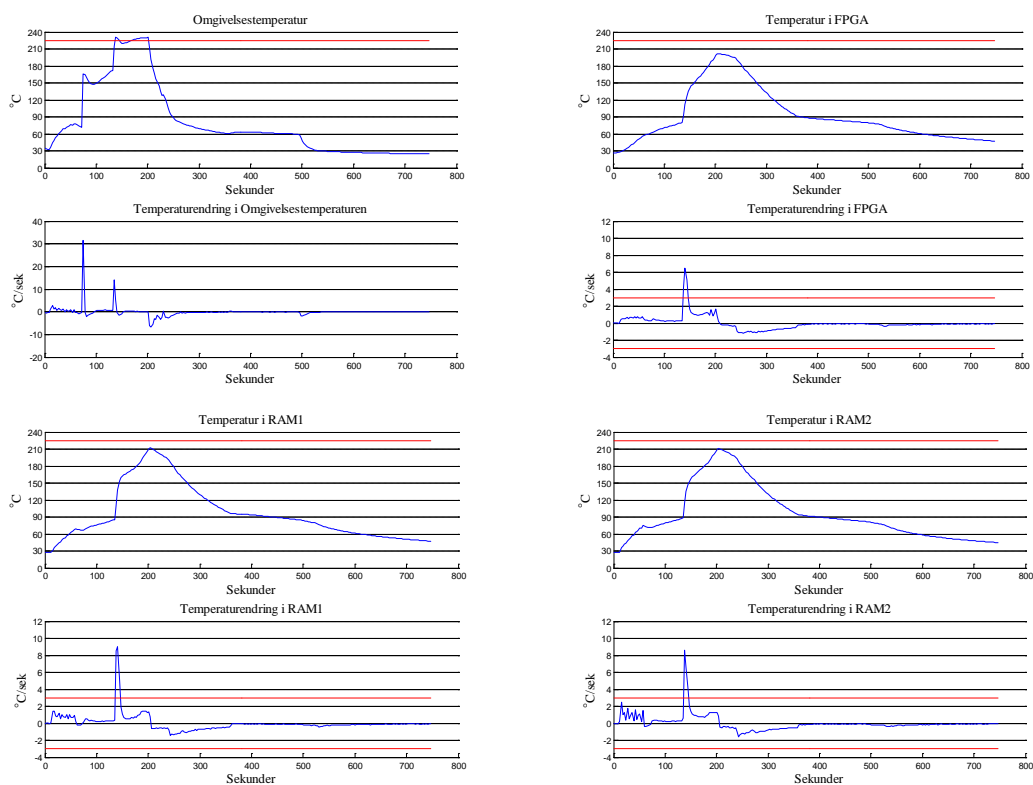
5.2.2.1 Temperaturmålinger av original profil med 2 varmeelementer

Maksimal målt temperatur

FPGA	RAM1	RAM2	Luft temperatur
201,8 °C	212,9 °C	211,2 °C	231,1 °C

Maksimal temperaturgradient

FPGA	RAM1	RAM2	Luft temperatur
6,5 °C/sekund	9,0 °C/sekund	8,6 °C/sekund	31,6 °C/sekund



Figur 5.9: Temperatur og temperaturendring i dampfaseovn og komponenter med original profil for 2 varmeelementer

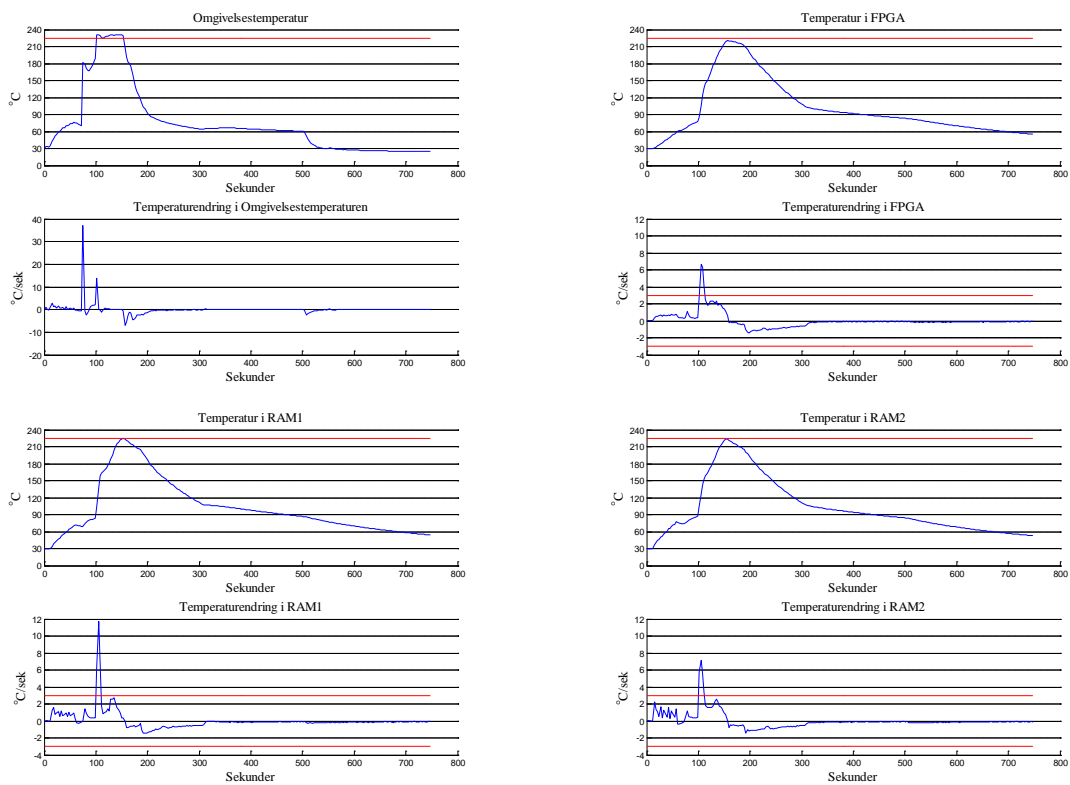
5.2.2.2 Temperaturmålinger av original profil med 4 varmeelementer

Maksimal målt temperatur

FPGA	RAM1	RAM2	Luft temperatur
220,9 °C	224,2 °C	223,2 °C	231,1 °C

Maksimal temperaturgradient

FPGA	RAM1	RAM2	Luft temperatur
6,7 °C/sekund	11,7 °C/sekund	7,2 °C/sekund	37,1 °C/sekund



Figur 5.10: Temperatur og temperaturendring i dampfaseovn og komponenter med profil for 4 varmeelementer

5.2.3 Målinger for å opprette ny loddeprofil

Målingene av de to loddeprofilene viste at komponentene ikke oversteg maksimaltemperaturen, men temperaturoendringen ble for høy for RAMbrikkene.

For å drive ut eventuell fukt og minimere stresset på komponentene bør temperaturen i komponentene stige roligere opp til rundt 120 grader før kretskortet går inn i loddeprosessen, hvor den største temperaturgradienten opptrer.

Nye loddeprofiler ble testet for å prøve å minimere stresset på komponentene under loddingen. Tabell 5.4 og Tabell 5.5 viser innstillingene som her ble brukt. I tillegg til å forandre tidene ble Vapor phase preheat posisjonen også senket fra posisjon 7 til posisjon 8 som ligger noe lenger ned i dampen i EKKO II loddeprofil 1 til 3. EKKO II loddeprofil 4 og 5 brukte flere steg i vapor phase preheat prosessen for å prøve å få en lavere temperaturgradient inn i loddeseonen.

Solder level(0/1/2): 2 varmeelementer i bruk
VP-preheat setting(SVP-Stop): Single position(0)
VP-preheat posisjon: 8

	EKKO II loddeprofil 1	EKKO II loddeprofil 2	EKKO II loddeprofil 3
IR-Preheat	45 sekunder	45 sekunder	45 sekunder
VP-Preheat(8)	60 sekunder	120 sekunder	100 sekunder
Soldering	65 sekunder	65 sekunder	65 sekunder
Evaporation	15 sekunder	15 sekunder	15 sekunder
Cooling	120 sekunder	120 sekunder	120 sekunder
Total tid	305 sekunder	365 sekunder	345 sekunder

Tabell 5.4: Profiler brukt for 2 og 4 varmeelementer

Solder level(0/1/2): 2 varmeelementer i bruk
VP-preheat setting(SVP-Stop): Step Sweep(1)
VP-preheat posisjon: 8, 11

	EKKO II loddeprofil 4	EKKO II loddeprofil 5
IR-Preheat	45 sekunder	45 sekunder
VP-Preheat	Step Sweep(1)	Step Sweep(1)
Posisjon 8	100 sekunder	95 sekunder
Posisjon 11	15 sekunder	10 sekunder
Soldering	45 sekunder	45 sekunder
Evaporation	15 sekunder	15 sekunder
Cooling	120 sekunder	120 sekunder
Total tid	340 sekunder	330 sekunder

Tabell 5.5: Profiler brukt for 2 og 4 varmeelementer

5.2.4 Forklaring til grafene

Sensorene er vist hver for seg i hvert sitt vindu med temperaturen og temperaturgradienten. Grafen for temperaturen inneholder også en rød linje som viser maksimal temperaturen for RAM brikkene på 225 °C.

Grafen for temperaturgradienten viser temperaturforskjellen i °C/sekund og de to røde strekene viser den maksimale temperaturforandringen komponentene er spesifisert for, 3 °C/sekund.

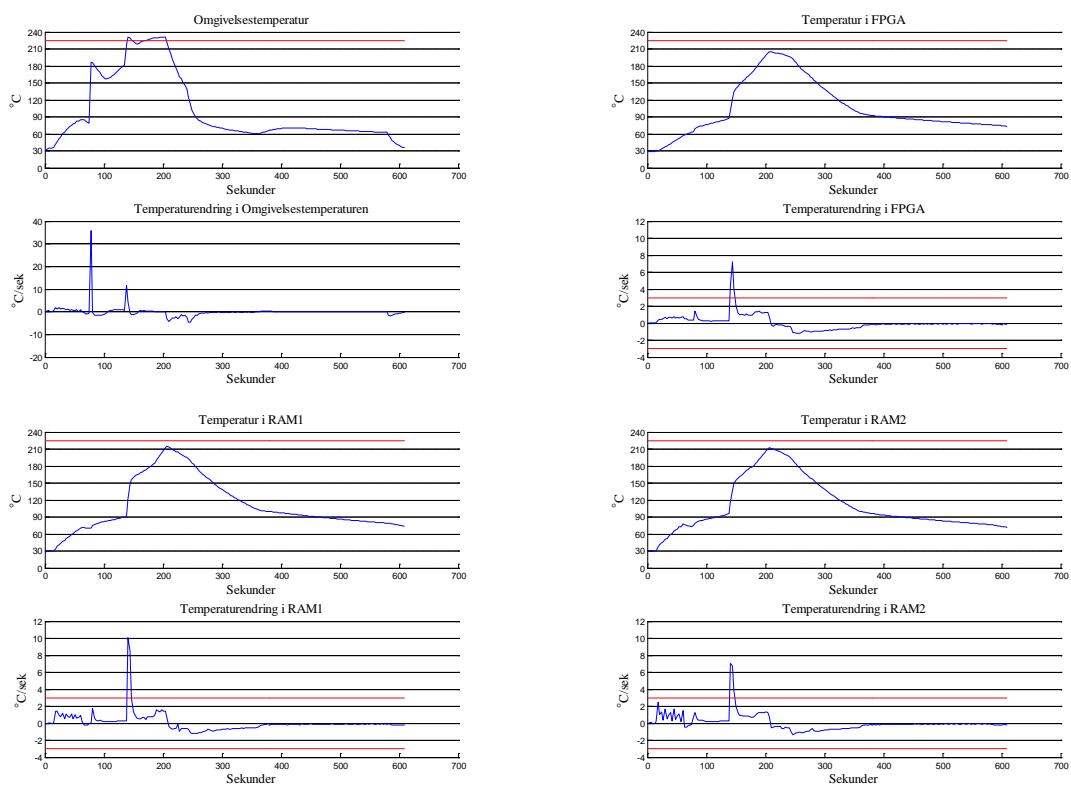
5.2.5 Temperaturmålinger av EKKO II loddeprofil 1

Maksimal målt temperatur

FPGA	RAM1	RAM2	Luft temperatur
205,1 °C	214,4 °C	212,8 °C	231,2 °C

Maksimal temperaturgradient

FPGA	RAM1	RAM2	Luft temperatur
7,2 °C/sekund	10,1 °C/sekund	7,1 °C/sekund	35,9 °C/sekund



Figur 5.11: Temperatur og temperaturendring i dampfaseovn og komponenter med EKKO II loddeprofil 1

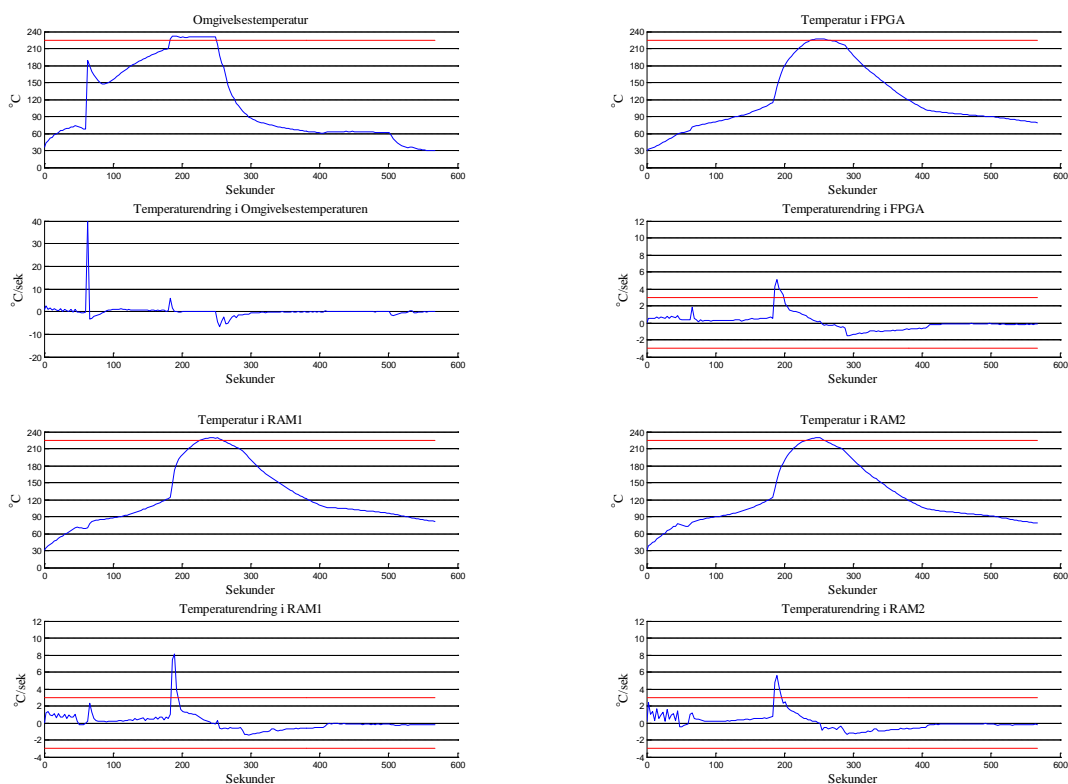
5.2.6 Temperaturmålinger av EKKO II loddeprofil 2

Maksimal målt temperatur

FPGA	RAM1	RAM2	Luft temperatur
227,7 °C	229,5 °C	229,3 °C	231,9 °C

Maksimal temperaturgradient

FPGA	RAM1	RAM2	Luft temperatur
5,1 °C/sekund	8,1 °C/sekund	5,6 °C/sekund	40,4 °C/sekund



Figur 5.12: Temperatur og temperaturendring i dampfaseovn og komponenter med EKKO II loddeprofil 2

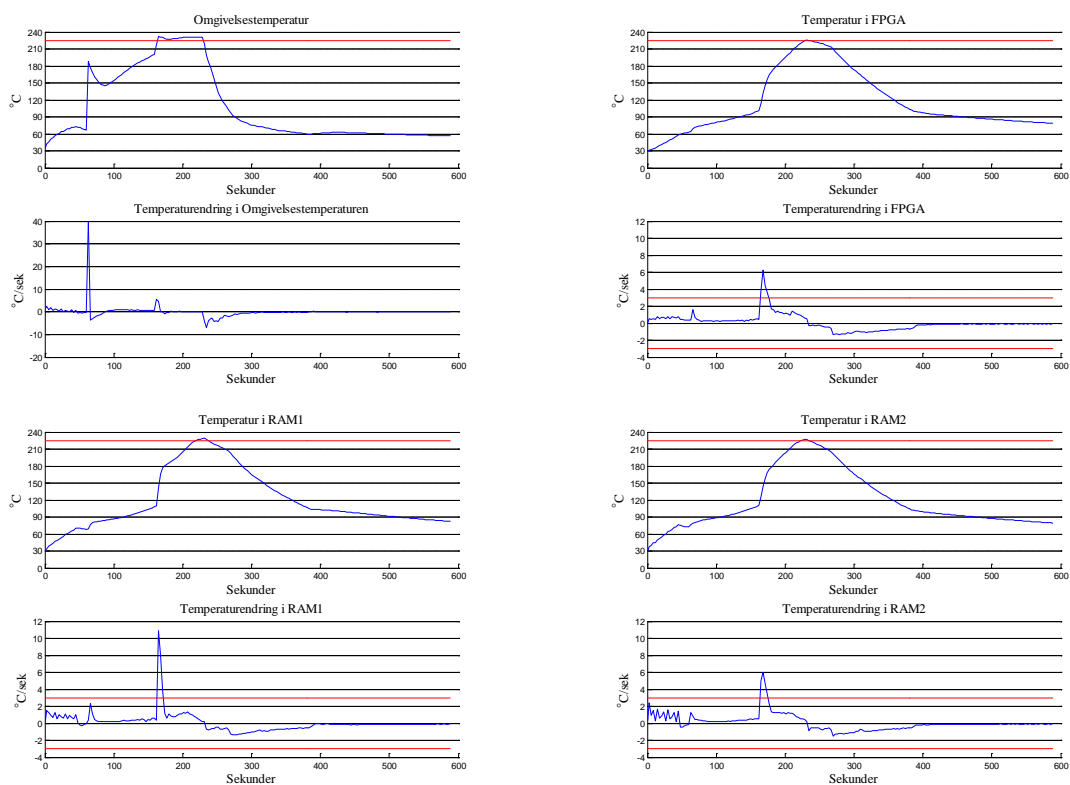
5.2.7 Temperaturmålinger av EKKO II loddeprofil 3

Maksimal målt temperatur

FPGA	RAM1	RAM2	Luft temperatur
225,8 °C	229,0 °C	227,7 °C	231,6 °C

Maksimal temperaturgradient

FPGA	RAM1	RAM2	Luft temperatur
6,2 °C/sekund	10,9 °C/sekund	6,0 °C/sekund	40,3 °C/sekund



Figur 5.13: Temperatur og temperaturendring i dampfaseovn og komponenter med EKKO II loddeprofil 3

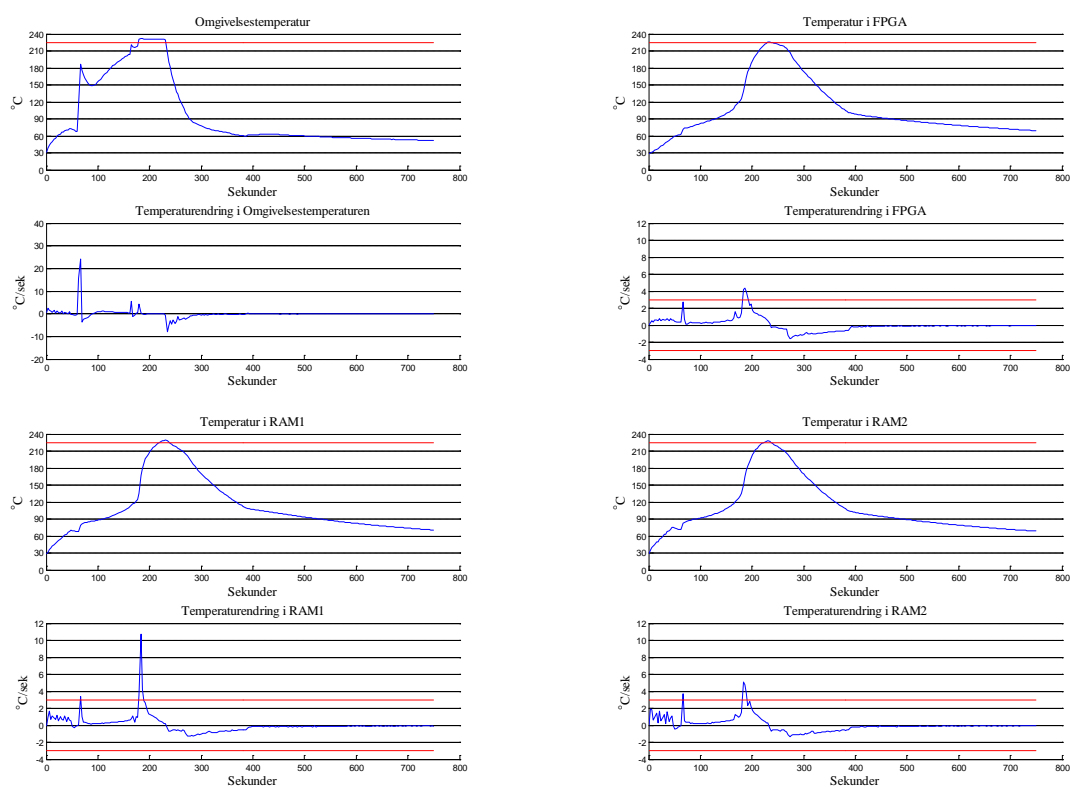
5.2.8 Temperaturmålinger av EKKO II loddeprofil 4

Maksimal målt temperatur

FPGA	RAM1	RAM2	Luft temperatur
226,0 °C	229,1 °C	228,0 °C	231,9 °C

Maksimal temperaturgradient

FPGA	RAM1	RAM2	Luft temperatur
4,4 °C/sekund	10,7 °C/sekund	5,1 °C/sekund	24,2 °C/sekund



Figur 5.14: Temperatur og temperaturendring i dampfaseovn og komponenter med EKKO II loddeprofil 4

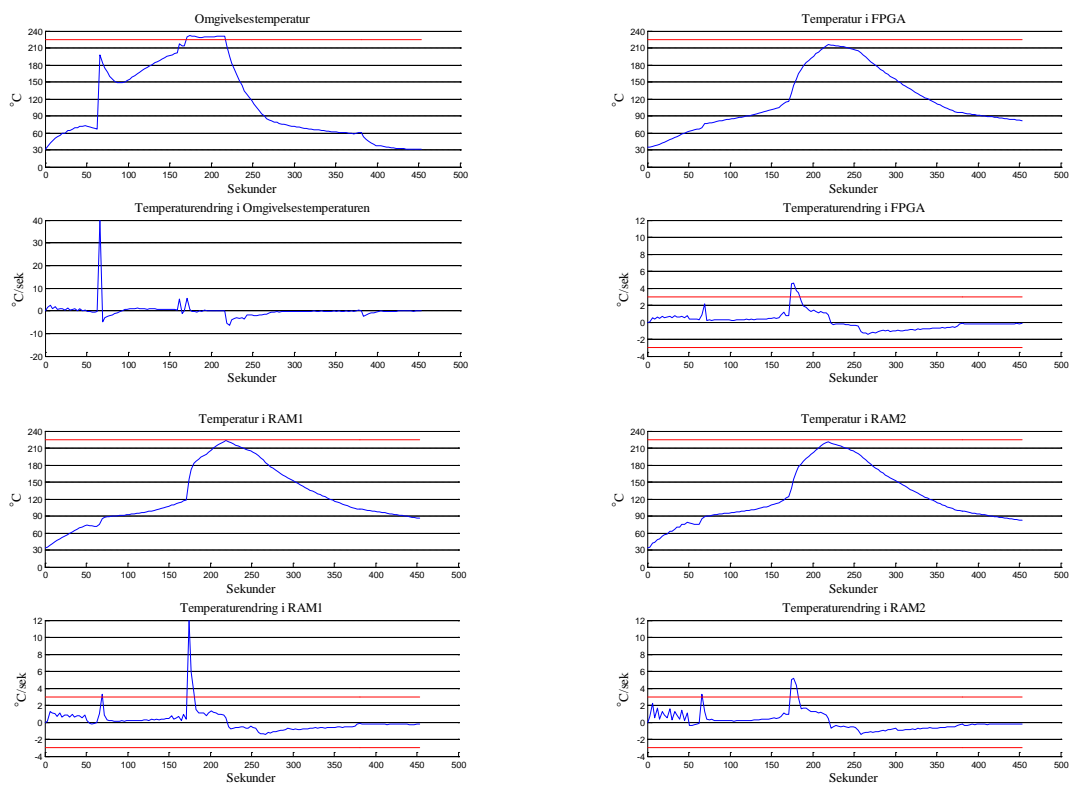
5.2.9 Temperaturmålinger av EKKO II loddeprofil 5

Maksimal målt temperatur

FPGA	RAM1	RAM2	Luft temperatur
215,7 °C	223,1 °C	220,8 °C	231,7 °C

Maksimal temperaturgradient

FPGA	RAM1	RAM2	Luft temperatur
4,6 °C/sekund	12,0 °C/sekund	5,2 °C/sekund	43,8 °C/sekund



Figur 5.15: Temperatur og temperaturendring i dampfaseovn og komponenter med EKKO II loddeprofil 5

5.3 Diskusjon

Tabell 5.6 viser temperaturgradientene til de tre komponentene ved de forskjellige profilene. Temperaturproben i RAM1 har antakeligvis ikke hatt god nok kontakt med komponenten og dermed blitt påvirket av omgivelsestemperaturen, da temperaturgradienten er såpass mye høyere enn de to andre komponentene. En har derfor valgt å se bort fra målingene på RAM1.

	FPGA (°C/sekund)	RAM1 (°C/sekund)	RAM2 (°C/sekund)	Lufttemperatur (°C/sekund)	Maks temperatur oversteget
2 varmeelementer profil	6,5	9,0	8,6	31,6	Nei
4 varmeelementer profil	6,7	11,7	7,2	37,1	Nei
EKKO II profil 1	7,2	10,1	7,1	35,9	Nei
EKKO II profil 2	5,1	8,1	5,6	40,4	Ja
EKKO II profil 3	6,2	10,9	6,0	40,3	Ja
EKKO II profil 4	4,7	10,7	5,1	24,2	Ja
EKKO II profil 5	4,6	12,0	5,2	43,8	Nei

Tabell 5.6: Oppsummering av temperaturgradienten til de forskjellige komponentene mot de forskjellige profilene

6 Konklusjon

I samarbeid med Øyvind Thingsrud og Trond Hellum på EKKO II prosjektet ble vi enige om å bruke EKKO II profil 5 for å lodde det neste kretskortet, da denne profilen ikke overskrider komponentens maksimale temperatur og har lavest temperaturgradient.

Et nytt EKKO II kretskort er nå loddet med vellykket resultat.

Det er viktig å merke seg at den nye loddeprofilen ble stilt etter komponentenes loddeprofil og ikke loddetinnets loddeprofil. Dette betyr at profilen for optimal lodding nødvendigvis ikke er ivaretatt. Ved fremtidige målinger for å finne loddeprofiler bør temperaturen i et eller flere av loddepunktene måles sammen med eventuelle kritiske komponenter.