



FYS-3921

**MASTERGRADSOPPGAVE I KOMMUNIKASJON
OG MIKROELEKTRONIKK**

Videoanalyse av termo-fluidale egenskaper til bolus for
bruk innen hypertermisk behandling av brystkreft

Jill-Iren Karlsen Kvitberg

August, 2008

DET MATEMATISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET
Institutt for fysikk og teknologi

Universitetet i Tromsø

FYS-3921

MASTERGRADSOPPGAVE I KOMMUNIKASJON
OG MIKROELEKTRONIKK

Videoanalyse av termo-fluidale egenskaper til bolus for
bruk innen hypertermisk behandling av brystkreft

Jill-Iren Karlsen Kvitberg

August, 2008

Forord

Jeg vil gjerne takke min veileder Svein Jacobsen, som tilbydde meg denne spennende oppgaven. Han har vært veldig tålmodig med meg og latt meg kjenne hvor komplisert og tungt, men spennende det er å være forsker. Det har vært noen slitsomme måneder fulle av stress, men mest av alt har det vært morsomt å jobbe med denne oppgaven.

Takk til Yngve Birkelund og Øystein Klemetsen for hjelp med analytiske bidrag, og til administrasjonen på Institutt for Fysikk som har hjulpet til med det praktiske.

Takk til min samboer, katten Tordis Ingeborg, som så uselvisk lånte ut utstyr som lettet mine forsøk.

Og sist, takk til Universitetet I Tromsø som har gjort denne oppgaven mulig for meg.

Jill-Iren Kvitberg

Sammendrag

Varmeterapi (hypertermi) er en ny behandlingsmetode for krefttyper som ligger overfladisk plassert i kroppen. Prinsippet består i å varme opp vev til en temperatur på 42-45°C, noe som øker raten for celledød i vevet. En multilags likeformet applikator er utviklet spesielt for dette formålet. En av bestanddelene i denne applikatoren er vannbolusen. Dens hensikt er å sørge for kontrollert temperatur på pasientens hud under oppvarmingen for å forhindre skader relatert til varme. Hensikten med oppgaven er å avdekke begrensninger i bolusen som brukes klinisk i dag. Dette gjøres med forsøk på en eksperimentell laboratoriemodell. Det gjøres en analyse av bolusens termo-fluidale egenskaper gjennom analyse av videosekvenser hvor kontrastvæske anvendes. Dette skal korreleres mot punkttemperaturmålinger basert på fineroptiske sensorer. Analysen gjennomføres for varierende volumflow og vanntemperaturer. Bolusen har lav effektivitet. Det er hovedsakelig dårlig distribusjon av vann som forårsaker dette. Flere vanninntak og/eller annen utnyttelse av slangene som distribuerer vann i bolus kunne bidratt til å bedre dette. Dette må imidlertid ses i sammenheng med hvorvidt bolusen skal brukes horisontalt eller vertikalt på en pasient, da vanngjennomstrømningen i bolus påvirkes av dette. Effektiviteten til bolus øker imidlertid med økende volumflow. For de høyeste volumflowene tested er det imidlertid ikke forskjellene store, og en flow på 0.9 lpm har tilnærmet lik egenskap som en volumflow på 1.5 lpm. I forhold til valg av temperatur i bolus må det tas hensyn til varmeoverføring fra huden. Medier som er i kontakt med bolus påvirker temperaturen i betydelig grad. Resultatene fra forsøkene er fra fiberoptiske temperatursensorer og en videokamera. Disse resultatene er så videreforedlet gjennom MATLAB.

Innhold

1	Introduksjon	1
2	Metoder.....	7
2.1	Eksperimentelt oppsett.....	9
2.2	Utstyr.....	10
2.2.1	Bolus	10
2.2.2	Pumpe	10
2.2.3	Fiberoptisk termometer	12
2.2.4	Kamera	13
2.2.5	Kontrastvæske.....	13
2.2.6	Vakuumlukket væskebeholder/luftfelle.....	14
2.2.7	MATLAB.....	15
2.2.8	Annet utstyr.....	15
2.3	Praktisk metode.....	16
2.3.1	Forsøk 1: Temperaturmålinger, luft som last på side 1 vs fast medium som last på side 2	18
2.3.2	Forsøk 2: Temperaturmålinger, som forsøk 1 med mindre vann i bolus.....	19
2.3.3	Forsøk 3: Temperaturmålinger, luft som last på begge sider av bolus.....	19
2.3.4	Forsøk 4: Temperaturmålinger, fast medium som last på side 1 og luft som last på side 2	20
2.3.5	Forsøk 5: Temperaturmålinger, vertikal bolus med luft som last på begge sider.....	20
2.3.6	Forsøk 6: Temperaturmålinger, kontrastvæske i bolus.....	21
2.4	Analytisk metode.....	22
3	Resultater	25
3.1	Forsøk 1: Temperaturmålinger, luft som last på side 1 vs fast medium som last på side 2 .	27
3.2	Forsøk 2: Temperaturmålinger, som forsøk 1 med mindre vann i bolus.....	32
3.3	Forsøk 3: Temperaturmålinger, luft som last på begge sider av bolus.....	36
3.4	Forsøk 4: Temperaturmålinger, fast medium som last på side 1 og luft som last på side 2.	40
3.5	Forsøk 5: Temperaturmålinger, vertikal bolus med luft som last på begge sider.....	44
3.6	Forsøk 6: Temperaturmålinger, kontrastvæske i bolus	48
3.6.1	0.3 liter per minutt	48
3.6.2	0.9 liter per minutt	52

3.6.3	1.5 liter per minutt	56
4	Diskusjon	61
4.1	Temperaturmålinger	63
4.2	Temperaturmålinger vs kontrastvæske	65
4.3	Utstyr og forsøk	65
4.4	Videre arbeid	65
5	Konklusjon	67
A	Vedlegg: Resultater	71
B	Vedlegg: Lister	112
	Referanser og bibliografi	121

1 Introduksjon

Alle organismer, deriblant menneskekroppen, er bygd opp av celler. For at kroppen skal kunne vokse og for å erstatte ødelagte celler foregår celledeling der cellene lager eksakte kopier av seg selv. De nye cellene blir eksakte replika av de gamle på grunn av kroppens arvemateriale, genene. Det kan imidlertid skje at genene i de nye cellene blir skadet under celledelingen, noe som vanligvis blir registrert av kroppen, som så ødelegger de skadede cellene. Blir ikke disse cellene ødelagt kan de utvikle seg til kreftceller som igjen kan utvikle seg til en kreftsvulst ved videre celledeling. Det kreves gjerne fire til seks mutasjoner i cellenes genmateriale for å få en fullt utviklet kreftsvulst, og det kan ta opptil 20 år fra en feil ved celledelingen skjedde første gang til kreftsvulsten er stor nok til å bli oppdaget. Frie kreftceller kan bli transportert rundt i kroppen via blod- og lymfesystemet. Dermed kan de også feste seg andre steder i kroppen enn der de opprinnelig oppsto og danne dattersvulster, metastaser. Om kreften har spredd seg til flere organer gir dette dårligere prognose for å overleve enn om kreften er en lokalisert svulst [11].

I noen tilfeller dannes svulster av at enkelte celler deler seg raskere enn normalt et bestemt sted i kroppen. Disse cellene er ikke veldig ulike mor-cellene, har som oftest en definert avgrensning til normale celler og sprer seg ikke i kroppen. Dette er godartede kreftfrie svulster. Disse kan imidlertid skape problemer om de trykker på vevet rundt [11].

Årsaker til kreft kan være både arvelig betinget og avhengig av miljøfaktorer slik som tobakk, usunt kosthold, kjemiske stoffer, radioaktiv stråling og andre forurensende faktorer for menneskekroppen. Med unntak av tobakk betegnes imidlertid disse faktorene som risiko for kreft heller enn årsak, da det enda er vanskelig å si hvorfor noen får kreft og andre ikke. Korrelasjonen mellom røyking og lungekreft er imidlertid såpass veldokumentert at røyking anses for å være en årsaksfaktor. For vår del av verden er det tobakk og usunt kosthold som topper listen over risikofaktorer. Risikoen øker også generelt med alderen [11].

Kreft er en av verdens ledende årsaker til dødsfall, spesielt i den vestlige verden. Den påvirker oss alle. Rike som fattige, gamle som unge. Kreft sto for 7.9 millioner dødsfall i verden i 2007, og dette tilsvarte omtrent 13 % av alle dødsfall. Basert på kalkulasjoner vil dette tallet øke til 12 millioner i 2030. Imidlertid kunne omtrent 30 % av dødsfallene blitt forhindrede med riktige ressurser. Det er da betenkelig at det er land med lav og middels inntekt hvor ressursene for preventive tiltak, diagnostisering og behandling er begrenset eller ikke-eksisterende som er hardest rammet med 80 % av alle dødsfall forårsaket av kreft [14].

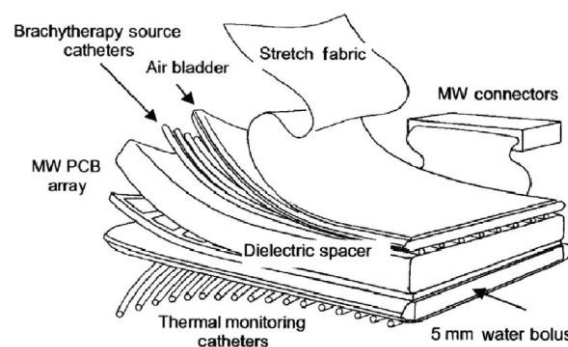
I Norge ble registrert 24 488 nye tilfeller av kreft i 2006. 12 903 tilfeller ble registrert for menn og 11 585 tilfeller for kvinner. Prostata-, kvinnelig bryst-, lunge- og tykktarmskreft er de vanligste kreftformene og står for halvparten av krefttilfellene. Med 2 673 nye tilfeller i 2006 er brystkreft den vanligste kreftformen for kvinner i Norge [1]. Det er den også for resten av verdens kvinner i dag. I tidsperioden 2002-2006 var hele 23 % av krefttilfeller blant den kvinnelige befolkning i Norge brystkreft [1], og i 2006 døde 676 norske kvinner av kreftformen. Fem til ti prosent av alle tilfeller av brystkreft er arvelig betinget [11].

For brystkreft er de mest aktuelle behandlingsformene operasjon, strålebehandling, cellegiftbehandling, anti-hormonbehandling og immunterapi. De forskjellige behandlingsformene kan utføres enten hver for seg eller i kombinasjon [11]. Brystkreft er en av flere typer kreft som ligger overfladisk plassert i kroppen. Varmeterapi (hypertermi) er en ny behandlingsmetode for slike krefttyper, og den

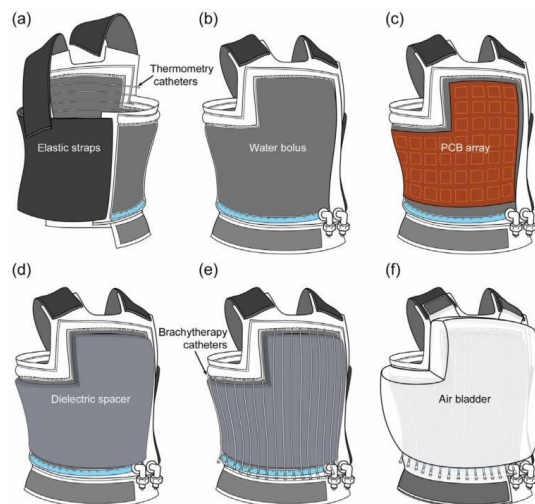
er i noe grad benyttet i kombinasjon med andre behandlingsmetoder ved noen sykehus i verden. Den har vist seg spesielt effektiv i kombinasjon med stråleterapi og cellegiftbehandling[4].

Prinsippet med hypertermisk behandling er å varme opp vev til en temperatur på ca 42-45°C i 30-60 minutter[6]. Dette gjøres for å drepe celler i det aktuelle området da raten for celledød i vev økes markant når temperaturen i vevet overstiger ca 42°C [10].

En multilags likeformet applikator utviklet spesielt for dette formål utfører oppvarmingen. Lagene består av (fra innerst til ytterst) termiske overvåkningskateter, en vannbolus, et PCB mikrobølgesett, et dielektrisk mellomlegg, radioterapikateter og en luftblære. Utenpå applikatoren er et elastisk feste som fester den til kroppen [4].



Figur 1.1: Skisse over lagene i en multilags applikator [4].



Figur 1.2: Diagrammer over de forskjellige lagene i en L-formet applikator [4].

Mikrobølgesettets hensikt i denne applikasjonen er å varme opp aktuelt vev i kroppen til ønsket temperatur for å drepe celler. Vannbolusens hensikt er å sørge for kontrollert temperatur på pasientens hud for å forhindre blemmer, brannså og andre skader under oppvarmingen. Dette

gjøres ved gjennomstrømning av sirkulerende deionisert vann. Vannbolusen skal også være koblingsmedium mellom mikrobølgesettet og pasientens hud [4].

Selv om prinsippet har vært kjent i noen hundre år, er moderne teknologibasert hypertermi et forholdsvis nytt behandlingsprinsipp. En konsekvens er at det ikke er blitt forsket mye på bolusens reelle egenskaper. Noe som det finnes få forskningsresultater på, er hvilke gjennomstrømningshastigheter og –mengder som er nødvendig vannbolusen for å bibeholde de spesifikasjoner som er satt til innretningen. Slik kunnskap vil være avgjørende for å oppnå best mulig terapeutisk effekt ved hypertermi.

I forprosjektet til denne mastergradsoppgaven, "Eksperimentell studie av termo-fluidale egenskaper til bolus for bruk innen hypertermisk behandling av brystkreft" levert i februar 2008 som prosjektoppgave i Kommunikasjon og Mikroelektronikk ved Universitetet i Tromsø [16], er det gjennomført initiale eksperimentelle tester av bolus som har gitt grunnlag for videre testing. Forprosjektet fokuserte på å få bygd en eksperimentell laboriemodell hvor bolusens tykkelse, gjennomstrømningsrate og strømningsfelt skulle monitoreres, og å teste strømningsfeltet i laboriemodellen under forskjellige miljøer og strømningshastigheter. I juni 2007 leverte E.L. de la Cruz Martínez inn sin mastergradsoppgave "Fluid-thermal properties of electromagnetically heated water boli used in thermal treatment of superficial cancer" i Kommunikasjon og Mikroelektronikk ved Universitetet i Tromsø [15], [5]. Martínez sin rapport omhandlet fluidale og termale egenskaper til en elektromagnetisk varmet vannbolus beregnet numerisk via endelig elementmetode implementert i COMSOL Multiphysics [5]. Forprosjektet ble inspirert av Martínez sin mastergradsoppgave.

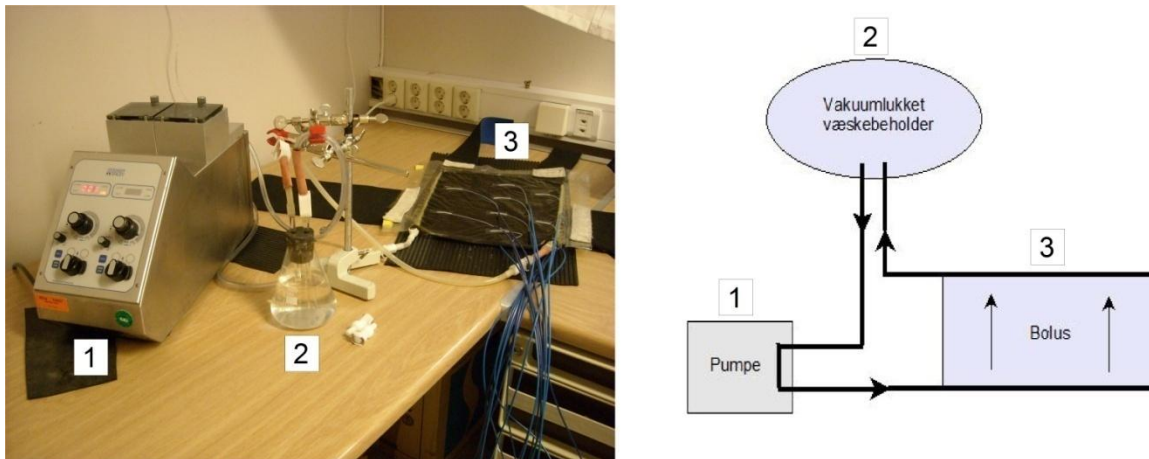
Denne oppgaven skal bruke grunnlaget fra de eksperimentelle testene fra forprosjektet for videre testing. Det skal gjøres en analyse av termo-fluidale egenskaper gjennom analyse av videosekvenser hvor kontrastvæske anvendes. Dette skal korreleres mot punkttemperaturmålinger basert på fiberoptiske sensorer.

Målet for denne oppgaven er å avdekke begrensninger i boli som brukes klinisk i dag. Analysen skal gjøres for varierende strømningshastigheter og vanntemperaturer. Frembrakte resultater skal anvendes til å foreslå designforbedringer for fremtidig realiseringer av koblingsmediet.

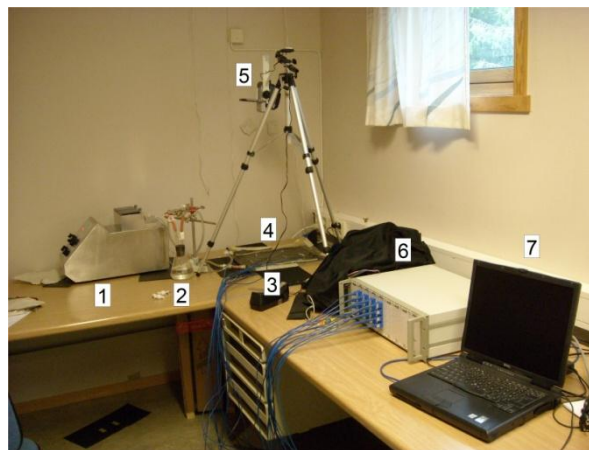
2 Metoder

2.1 Eksperimentelt oppsett

Å få gjennomført forsøk på bolus krevde et oppsett av en eksperimentell laboriemodell. Oppsettet består av utstyr som sirkulerer vann gjennom bolusen og utstyr som overvåker prosessen. Utstyr benyttet er blant annet pumpe, fiberoptisk termometer og kamera. Oppsettet som sirkulerer vann gjennom bolus er vist i Figur 2.1, mens det samme oppsettet utbygd med overvåkningsutstyr er vist i Figur 2.2.



Figur 2.1: Bilde til venstre og skisse til høyre av enkelt eksperimentelt oppsett. Nr. 1 viser pumpen, nr. 2 vakuumlukket væskebeholder og nr. 3 bolus.



Figur 2.2: Fullstendig oppsett for horisontal bolus med gummi som last under og luft over. Nr. 1 er pumpe, 2 er vakuumlukket væskebeholder, 3 er bolus, 4 er temperatursensorer, 5 er kameraet med stativ, 6 er modulenheten for temperaturmåling og 7 er PC som tar inn temperaturmålingene.

2.2 Utstyr

2.2.1 Bolus

Den testede bolusen er en 38x30x0.5 cm rektangulær vannbolus. Vannbolus er en del av en applikator laget for hypertermisk behandling av kreft. Overflaten er laget av 2 tynne lag med polyvinylklorid, mest kjent som PVC. PVC-overflatene er forseglet i kantene med varmebehandling slik at overflatene danner et lukket rom som inneholder et lukket porøst celloskum for å holde 5 mm konstant tykkelse lateralt. Det er lagt inn to 33 cm lange Tygon-slanger med huller i langs hver langside for å pumpe vann inn og trekke vann ut av bolus. Disse hullene er laget med mellom 1.5 og 0.8 cm mellomrom ettersom hvor på slangen de er. Nærmest væskeinntaket er avstanden mellom hullene 1.5 cm, mens lengst unna væskeinntaket er avstanden 0.8 cm. Slangene er av type Tygon R-3603 med en ytre diameter på 6.35 mm og en indre diameter på 3.175 mm. Bolusen festes til kroppen ved hjelp av 4 elastiske fester og brukes slik som i Figur 2.3. I bruk er bolusen designet for å ha væskeinntaket nedenfra og opp langs sidekanten av bolusen.

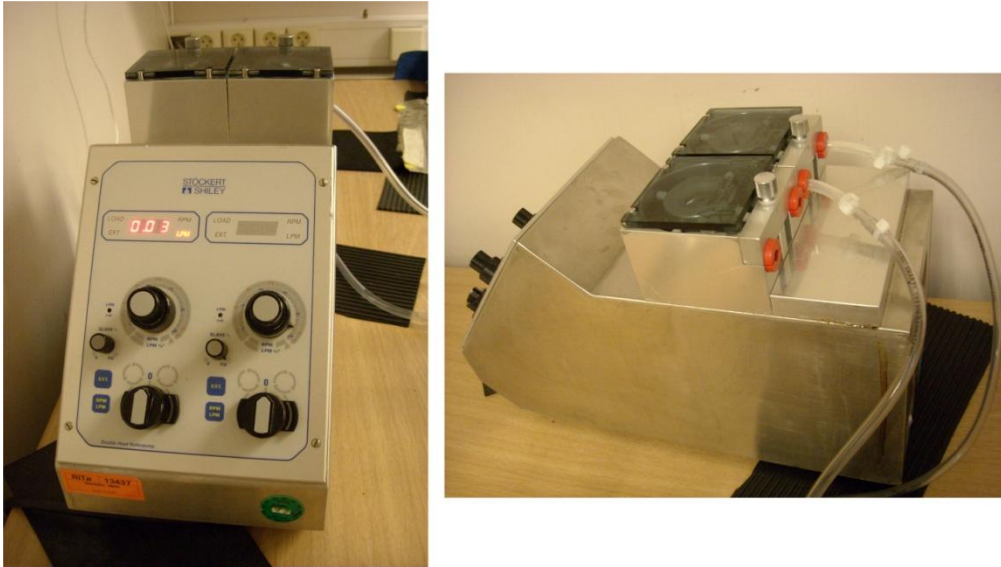


Figur 2.3: Bilde av bolusmodellen [5].

For senere referanser er de to overflatene til bolus kalt "side 1" og "side 2". Side 1 er siden som er ment vendt inn mot kroppen, mens side 2 er ment ut fra kroppen (og kan sees på Figur 2.3). I forsøk der bolus ligger horisontalt er side 1 siden som vender opp, mens side 2 vender ned. I forsøk der bolus henger vertikalt er side 1 vendt ut fra veggen, mens side 2 er vendt mot veggen.

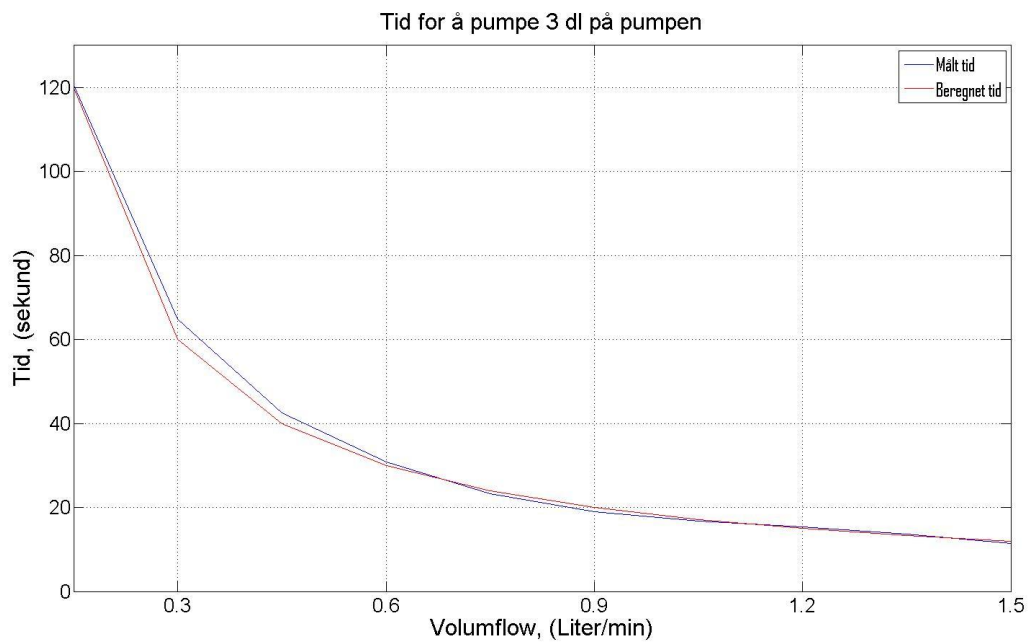
2.2.2 Pumpe

For å pumpe vann gjennom systemet ble det brukt en dobbelhodet Stöckert Shiley rullepumpe. Den kan konfigureres ut fra både liter per minutt, forkortet lpm, og omdreininger per minutt, og har en pumpekapasitet på opp til 1.6 liter per minutt. Pumpen er peristaltisk og fungerer slik at et sirkulerende hode presser vannet gjennom en slange.



Figur 2.4: Dobbelthodet Stöckert Shiley Rullepumpe.

Figur 2.5 viser en test av pumpens reelle kapasitet i forhold til teoretisk kapasitet.



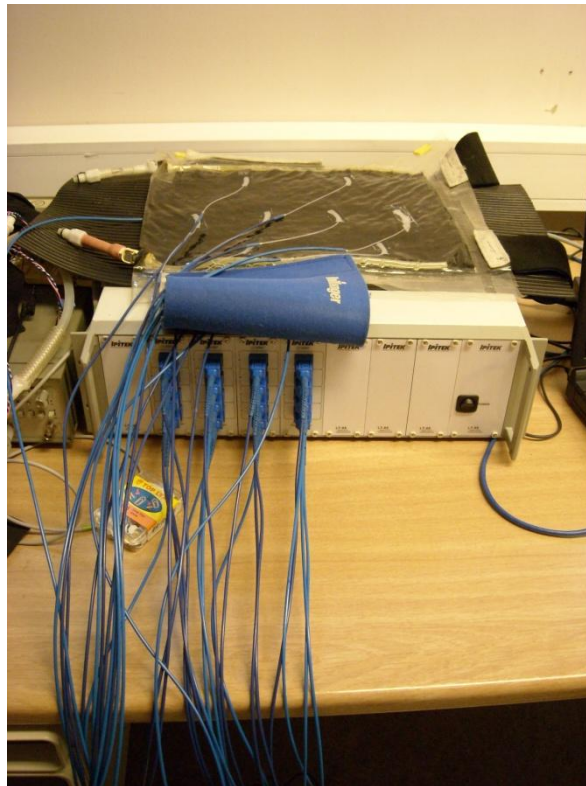
Figur 2.5: Sammenlikner graf av beregnet og målt tid for pumpen for å pumpe 3 dl vann.

Tabell 2.1: Vannhastigheter for ulike verdier av volumflow.

Volumflow, v (lpm)	Vannhastighet (m/s)
0.30	0.6315
0.60	1.2631
0.90	1.8946
1.20	2.5261
1.50	3.1576

2.2.3 Fiberoptisk termometer

Som sensor for å måle temperaturen på utsiden av bolus brukes et fiberoptisk termometer fra produsenten Iptek. Modellen heter LumiTherm X5R Rack Mount og sammen med modulen LumiTherm X5 utgjør disse en modul-løsning for et "optisk termopar". Hver modul har 4 kanaler og det er plass til 7 moduler. Modellen bruker et Windows-basert brukergrensesnitt som kontrollerer og konfigurerer hver modul gjennom en Ethernet forbindelse fra en vertsscomputer til rack mount-enheten. Sensorene koplet til modulene er LT-X5 BLUE. Dette er et fiberoptisk termometer som er immun for elektromagnetisk interferens, radiofrekvenser og mikrobølger. De har en nøyaktighet på $\pm 1^{\circ}\text{C}$ og har et virkeområde på -40 til 120°C [12].



Figur 2.6: Bolus med påfestede temperatursensorer liggende oppå modulenheten.

2.2.4 Kamera

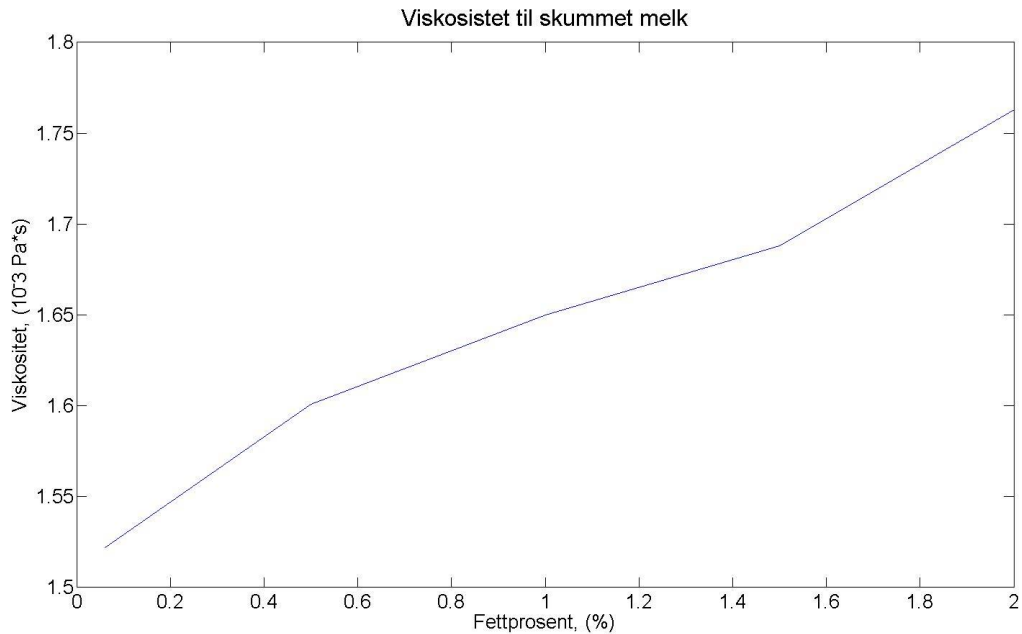
Forsøkene ble filmet av et Canon HV20 kamera. Dette kameraet har 2.96 megapiksler per bilde og 1920x1080 oppløsning via en HD CMOS sensor. Overføring til pc ble gjort via CV-250F DV kabel fra HDV/DV utgang på kamera til et DV-kort installert på PC. Kameraet tok 25 bilder per sekund [9].



Figur 2.7: Canon HV20 [9].

2.2.5 Kontrastvæske

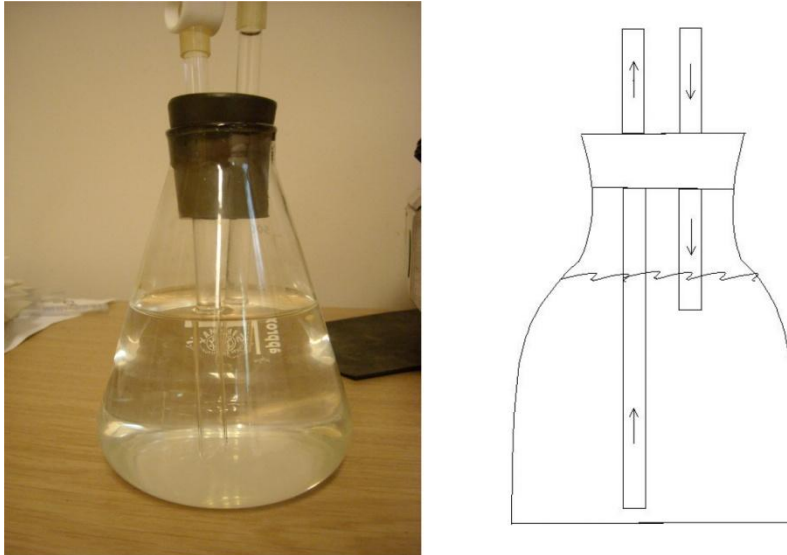
Skummet melk med et fettinnhold på 0.1% er brukt som kontrastvæske. Dette på grunn av melks generelle farge, dens ikke ødeleggende effekt på bolus og annet utstyr og samt tilgjengelighet. Melkens hvite farge har stor kontrast mot mørk bakgrunn, noe som er praktisk i prosjektets forsøk siden det porøse materialet i bolusen er svart på farge. Skummet melk har imidlertid noe høyere viskositet enn vann blant annet siden den inneholder fett. Skummet melk med fettprosent på 0.1% har en viskositet på ca $1.525 \cdot 10^{-3}$ Pa•s, mens vann har viskositet på $1 \cdot 10^{-3}$ Pa•s. Den brukte kontrastvæsken har dermed en viskositet på ca 1.5 ganger vanns viskositet. Viskositeten på skummet melk med ulike fettprosent kan sees i Figur 2.7.



Figur 2.8: Effekten på tilført fett for viskositeten til skummet melk med 0.06% fett [7].

2.2.6 Vakuumlukket væskebeholder/luftfelle

Luft i bolus er ødeleggende for dens brukerspesifikasjoner blant annet fordi den danner refleksjoner for innsendte EM-bølger. For å unngå dette er det laget en luftfelle i en vakuumlukket væskebeholder. Hensikten med denne luftfellen er å fange eventuell luft som kommer fra bolus så den ikke føres tilbake i sirkulasjonskretsen. Den er konstruert slik at væsken ut fra en glassbeholder hentes i rør fra bunnen av beholderen. Væsken inn i beholderen pumpes ut et stykke over beholder slik at eventuelle luftbobler fra bolus heller stiger mot væskeoverflaten enn trekkes videre i kretsen. En gummitropp med åpning til rørene inn og ut av beholderen hindrer luft i å slippe inn i beholderen. Prinsippet kan sees på Figur 2.9. Videre brukes lufttette ventiler og klemmer på tygon-slangene for å hindre luft i å trenge inn i kretsen når man for eksempel bytter væske i væskebeholderen.



Figur 2.9: Bilde av den vannfellen til venstre og en skisse av dens prinsipp til høyre.

2.2.7 MATLAB

MATLAB er en softwareapplikasjon som er blitt brukt til å bearbeide og trekke relevant informasjon ut av alle resultater. Utgaven som ble brukt er MATLAB R2007b.

MATLAB, forkortelse av "matrix laboratory", er et høynivå teknisk databehandlingspråk og interaktivt miljø for algoritmeutvikling, datavisualisering, dataanalyse og numerisk databehandling. Språket i MATLAB kalles M-kode og løser tekniske databehandlingsproblemer raskere enn tradisjonelle programmeringsspråk som C, C++ og Fortran. MATLAB er utviklet av The MathWorks [13].

2.2.8 Annet utstyr

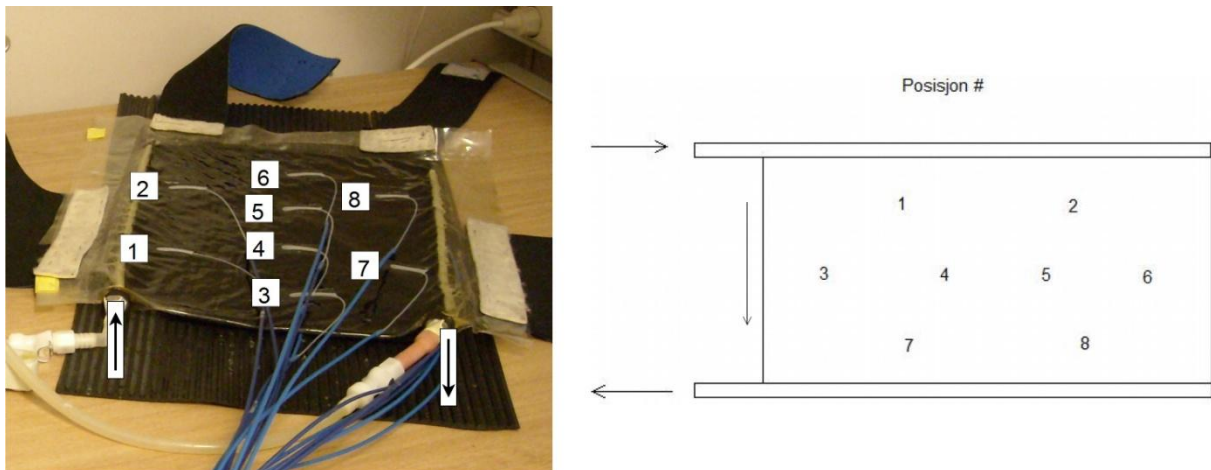
Annet utstyr som ble brukt for gjennomføring av forsøk er vann, computer, tygon-slanger, klemmer, ventiler, gummimatte, fiskesnøre, hyssing, tegnestifter, papir, beholder i plastikk og et Meterman TPP1-C nedsenkingstermometer.

I mangel på en beviselig rett temperaturmåler som referanse, er den absolutte nøyaktigheten til Meterman-termometeret usikkert i forhold til kalibrering. En eventuell usikkerhet er imidlertid ikke større enn enten ca +2 til -2 °C fra absoluttverdi.

2.3 Praktisk metode

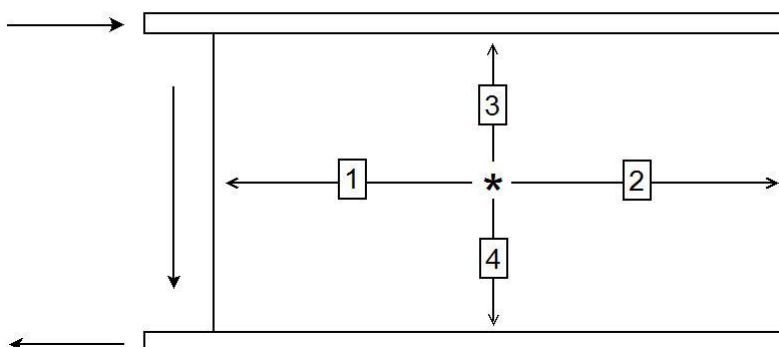
Det ble tilført varmere vann til bolussystemet for å registrere hvordan det varmere vannet strømmet gjennom bolusen. For å sirkulere væske gjennom bolus ble det satt opp en krets bestående av bolus, en pumpe, vakuumlukket beholder og tygon-slanger med ventiler og klemmer. Væsken som kjøres gjennom bolus ble trukket ut fra den vakuumlukkede beholderen og inn gjennom pumpen før den ble presset inn i bolusen. Fra bolusen ble væsken trukket ut på motsatt siden som den kom inn, og videre ned i den lukkede væskebeholderen. Væsken pumpes mellom enhetene gjennom tygon-slanger. Figur 2.1 viser dette oppsettet.

Før de første forsøkene ble gjennomført ble det fiberoptiske termometeret kalibrert ved hjelp av isvann, romtemperatur og Meterman-termometeret. Videre ble 16 temperatursensorer festet på strategiske plasser på bolusen. De ble plassert parvis på 8 forskjellige plasser, der den ene sensoren i paret skulle måle temperaturen på oversiden av bolusen den aktuelle plassen mens den andre sensoren skulle måle nedsiden av bolusen. Plasseringen av de ulike sensorparene er vist i Figur 2.10. For å enkelt kunne sammenlikne forskjellige temperaturmålinger med hverandre har sensorene ikke vært tatt av bolus mellom forsøkene, slik at eventuelle differanser i sammenlikninger av målinger ikke skulle skyldes forskjellig plassering av sensorer for forskjellige forsøk.



Figur 2.10: Posisjonsoversikt over posisjonen til de forskjellige temperatursensorparene på bolusen.

Retninger



Figur 2.11: Viser definisjonen av retninger brukt i Tabell 2.2 for posisjonen *.

Tabell 2.2: Plassering i cm for hver sensor i forhold til bolusens sidekanter.

		Retning:			
		1	2	3	4
Posisjon/Side:	1/1:	12.5	24.8	2.5	24.1
	1/2:	12	25	2.5	24.5
	2/1:	26.2	11.4	2.5	25
	2/2:	26.1	11.3	2.5	25
	3/1:	6.1	31.7	14	12
	3/2:	6	32	13.5	12.9
	4/1:	15	23	13.5	13.5
	4/2:	15	23	13.4	13.7
	5/1:	23	15	13.5	13.9
	5/2:	23	15	13.5	14
	6/1:	31.4	6.7	14	13.9
	6/2:	31.4	6.8	13.9	14
	7/1:	12.9	24.7	22.7	4.1
	7/2:	13	25	22.9	4.4
	8/1:	27.8	9.9	22.4	5.3
	8/2:	28	10	22.5	5.5

Tabell 2.2 og Figur 2.11 gir den absolutte plasseringen av temperatursensorene på bolus. Retning 1 og 2 er definert fra sensoren og til respektiv kortside, mens retning 3 og 4 er definert fra sensoren og til respektiv vannledende tygon-slange. Det porøse materialet i bolusen dekker ikke bolusens areal fullstendig og tygon-slangene er flyttet fra kantene av bolus og inn mot dette materialet.

For å teste om pumpen holdt flowspesifikasjonen ble det kjørt et forsøk der tiden ble målt på hvor lang tid forskjellige pumpehastigheter brukte på å pumpe 3 dl vann. Denne tiden ble målt manuelt med stoppeklokke.

Temperaturmålingene ble tatt inn til PC ved hjelp av en ethernet-kabel, og videre lagret til en tekstfil via Ipiteks egen applikasjon som kontrollerer temperatursensorene. Under filming av bolus lagres sekvensen på kassett i kameraet. Sekvensen overføres så via DV-kabel til en computer.

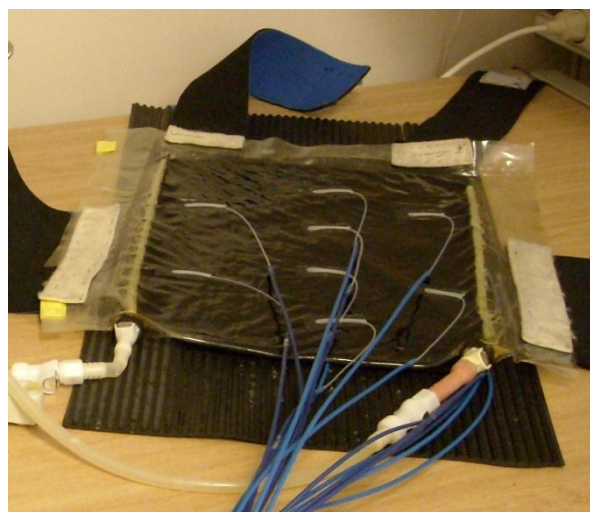
Det er flere kilder til unøyaktighet i forsøkene. Meterman-termometeret, som er blitt brukt som temperaturreferanse på kalibrering av temperatursensorer og andre mindre temperaturmålinger, har en unøyaktighet på absolutt temperatur. Men ettersom samme termometer er blitt brukt som referanse for alle målinger, er den relative nøyaktigheten høy. For resultatene av forsøkene er det ikke lagt vekt på absolutte temperaturer, men heller relative temperaturer.

En annen kilde til unøyaktighet er at temperaturmålingene, kameraet og pumpen ikke alle blir startet på likt. Starttidspunkt til pumpen blir manuelt registrert og resultatene for kameraet og temperaturmålingene blir samkjørt i etterkant basert på denne manuelle registreringen. Dette fører til en usikkerhet på ca 1 sekund mellom temperaturmålingene, kameraet og starttidspunkt for forsøket. Posisjoneringen av temperatursensorene bidrar til samme type unøyaktighet. Sensorene på side 1 og 2 for de ulike posisjonene er prøvd plassert normalt på hverandre, men enkelte sensorpar har en differanse i plassering på opptil 0.5 cm. Dette kan skape noe unøyaktighet i forhold til beregning av temperatur og tidsdifferanse mellom sidene.

En siste kjent kilde til unøyaktighet er at disse forsøkene ikke er gjort under ideelle forhold. Det vil eksistere miljøfaktorer som påvirker resultater, som for eksempel ulik lufttemperatur under ulike forsøk.

2.3.1 Forsøk 1: Temperaturmålinger, luft som last på side 1 vs fast medium som last på side 2

Bolusen er lagt på en gummimatte og har luft som last på side 1 slik som Figur 2.11 viser. Vann med høyere temperatur enn eksisterende vann i bolusen pumpes inn for å måle reaksjonen på begge sider av bolus. Det ble gjort forsøk for pumpehastighetene 0.3, 0.6, 0.9, 1.2 og 1.5 liter per minutt.



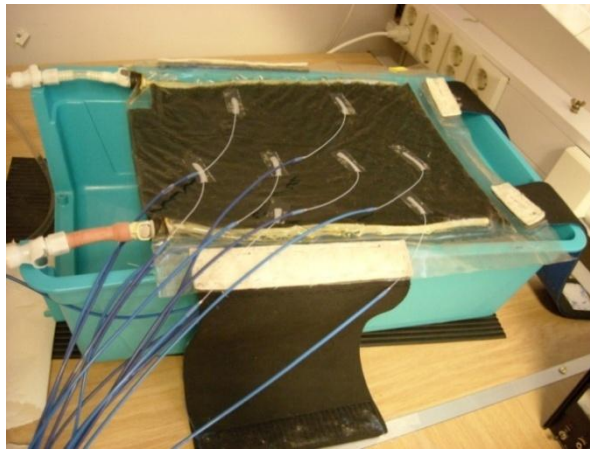
Figur 2.12: Eksperimentoppsett av bolus for forsøk 1 og 2.

2.3.2 Forsøk 2: Temperaturmålinger, som forsøk 1 med mindre vann i bolus

Samme oppsett som forsøk 1, men bolusen inneholder mindre vann enn forsøk 1. Vann med høyere temperatur enn eksisterende vann i bolusen pumpes inn for å måle reaksjonen på begge sider av bolus. Det ble gjort forsøk for pumpehastighetene 0.3, 0.9, og 1.5 liter per minutt.

2.3.3 Forsøk 3: Temperaturmålinger, luft som last på begge sider av bolus

En beholder i plastikk ble demontert og fiskesnøre strukket over den nederste delen. Bolusen ble lagt på fiskesnøret og hadde dermed luft som last på begge sider samtidig som den lå tilnærmet plant. Vann med høyere temperatur enn eksisterende i bolus ble pumpet inn for å måle reaksjonen på begge sider av bolus. Det ble gjort forsøk for pumpehastighetene 0.3, 0.9, og 1.5 liter per minutt.



Figur 2.13: Eksperimentoppsett av bolus for forsøk 3.

2.3.4 Forsøk 4: Temperaturmålinger, fast medium som last på side 1 og luft som last på side 2

Samme oppsett for forsøk 3, men denne gangen ble det skåret opp biter av en gummimatte og lagt oppå bolus. En remse gummimatte dekket posisjon 1 og 2, en dekket posisjon 3, en dekket 4,5 og 6 og en dekket 7 og 8. Gummiremsene skulle bidra til å skape last med fast medium over bolus mens det var luft som last under. Oppsettet kan sees på Figur 2.13. Det ble kjørt forsøk med varmere vann pumpet inn i bolusen for pumpehastighetene 0.3, 0.9 og 1.5 lpm.



Figur 2.14: Eksperimentoppsett av bolus for forsøk 4.

2.3.5 Forsøk 5: Temperaturmålinger, vertikal bolus med luft som last på begge sider

Bolusen ble hengt på veggen og justert til å henge relativt loddrett og ut fra veggen ved hjelp av hyssing, tegnestifter og papir. Den ble hengt slik at den hadde luft som last på begge sider. Oppsettet kan sees på Figur 2.14. Det ble kjørt forsøk med varmere vann pumpet inn i bolusen for pumpehastighetene 0.3, 0.9 og 1.5 lpm.

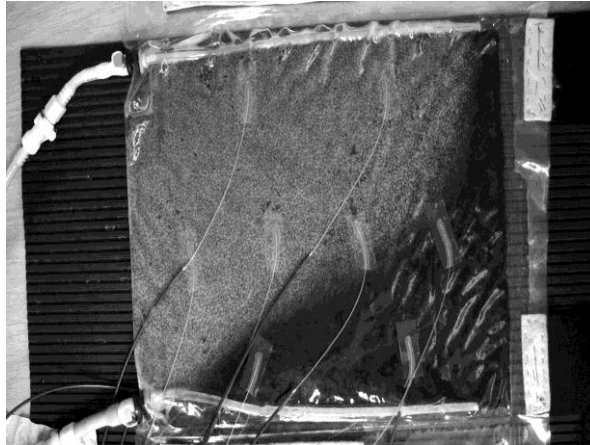


Figur 2.15: Eksperimentoppsett for forsøk 5.

2.3.6 Forsøk 6: Temperaturmålinger, kontrastvæske i bolus

Samme oppsett som i forsøk 1. Kontrastvæske med lavere temperatur enn eksisterende vann i bolus pumpes inn i sirkulasjonskretsen. Forsøket både filmes og måles med temperatursensorene for å sammenlikne hvordan kontrastvæsken brer seg visuelt med hvordan temperaturene i bolus er til samme tid. Det ble gjort forsøk for pumpehastighetene 0.3, 0.9, og 1.5 liter per minutt.

I bruk er gjennomstrømningsvæsken vann, men for å få et visuelt bilde av hvordan strømmingen inne i bolus er brukes kontrastvæske, i dette tilfellet skummet melk.



Figur 2.16: Bolus halvfull av hvit kontrastvæske.

2.4 Analytisk metode

Tekstfilene fra temperaturmålingene kan enkelt lastes inn i MATLAB for videre behandling, men filmsekvensene fra forsøkene er i formatet M2T så de er konvertert til mpg-filer for å lettest mulig kunne laste de inn i MATLAB.

Med å lage tilpassede skript i MATLAB trekkes relevant informasjon ut fra filmsekvensene og måledataene fra temperaturmålingene. For temperaturmålingene er det spesielt sett på når målesensorene har nådd sitt temperaturmaksimum og sensorenes temperaturverdi ved det aktuelle tidspunktet, og differanser mellom tid for maksimum mellom topp og bunn på bolus. For forsøkene med kontrastvæske er det spesielt sett på korrelasjonen mellom temperaturmålingene og de tilhørende filmsekvensene på områdene tid for maksimumstemperatur og tid for temperaturrespons på tilført kontrastvæske. Siden det under forskjellige forsøk ikke alltid har vært operert under like miljøer, for eksempel ulike enheter eller temperaturer, er resultatene under enkelte sammenlikninger gjort om til prosentvise avvik.

Temperaturmaksimum er i dette prosjektet definert som høyeste detekterte temperatur (eller eventuelt laveste om det tilførte vannet er kaldere enn det eksisterende vannet i bolus) i temperaturmålingene. For kontrastverdier er maksimum definert som høyeste kontrastverdi i samme tidsområde som temperaturmaksimum for temperaturmålinger. Tid for respons for temperaturmålingene er definert som tidspunktet temperatursensorene først reagerer på tilført vann.

All informasjon vedrørende forsøkene er hentet ut ved hjelp av relativ grunnleggende matematiske prinsipper. Temperaturmålingene er lastet inn til MATLAB som vektorer. Maksimumsdeteksjonene er gjort ved å lete etter den aktuelle vektors høyeste eller laveste verdi og dens tidspunkt. Prosentvise avvik mellom forskjellige målinger, for eksempel over- og undersiden av et punkt, er gjort ved å velge maksimumstemperatur for oversiden av punktet som referanse og deretter konvertere de aktuelle verdier til prosenter av referansen. Avvik som ikke er representert prosentvis er regnet ut ved differanse mellom sammenliknede verdier. For å kunne framstille sammenliknet informasjon fra forskjellige miljøer i samme diagram ble de konvertert til prosentvis framstilling, manipulert til å ha samme y-verdi for $x=0$, og eventuelt speilvendt. Å speilvende en graf er for eksempel nødvendig i et forsøk der den ene grafen beveger seg positivt langs y-aksen mens den andre beveger seg negativt. For å sammenlikne maksimums- og responstider for temperaturmålingene med visuelle bilder av bolus på samme tid ble tiden for de aktuelle tider detektert og bildene fra disse tidene hentet ut direkte fra mpg-filen av MATLAB. Visuelle effekter og farger er lagt på bildene for enkelt å kunne se hvilket punkt og hvilke måledata som er presentert i hvert enkelt bilde av bolus.

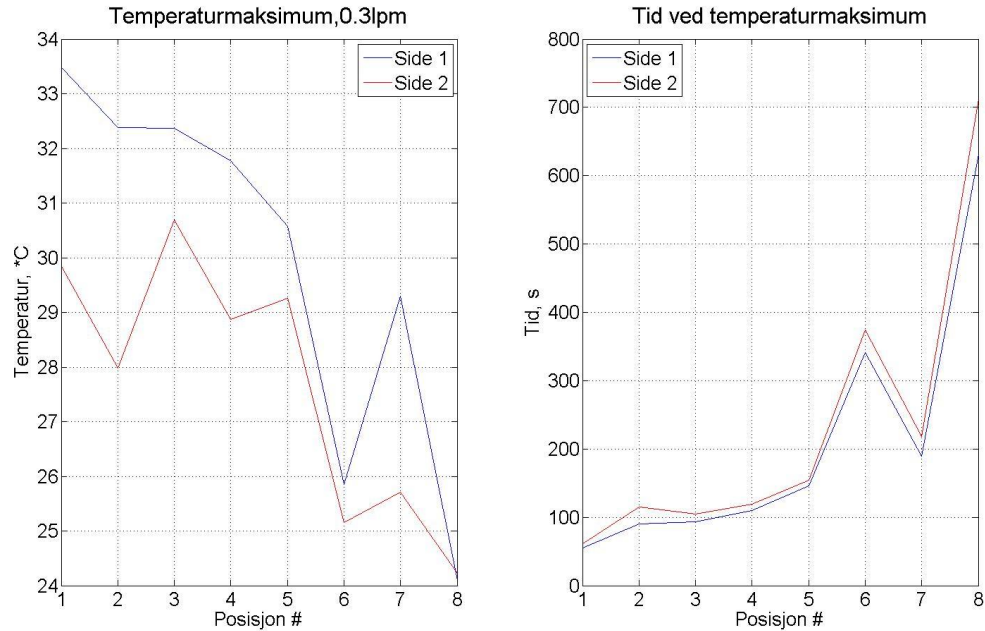
På grunn av gjenskin av lys i bolusen og blinkende temperatursensorer var grafen som ble hentet ut for å vise kontrastverdi i et punkt per tid meget ustabil. For å gjøre den mer robust ble kontrastverdien i punktet der temperaturmålerne sto hentet ut som et gjennomsnitt av kontrastverdiene i en maske på 5x5 pixler rundt dette punktet. Da dette ikke var tilstrekkelig ble det senere videre glattet ved hjelp av funksjoner i MATLAB. Dette jevnet ut kontrastverdigrafen og gjorde den mer leservennlig og enklere å sammenlikne med andre relevante resultater.

Store mengder data og ustabil ethernet-tilkobling til fiberoptisk enhet gjorde at hvert forsøk ikke ble kjørt lengre enn 5-10 min.

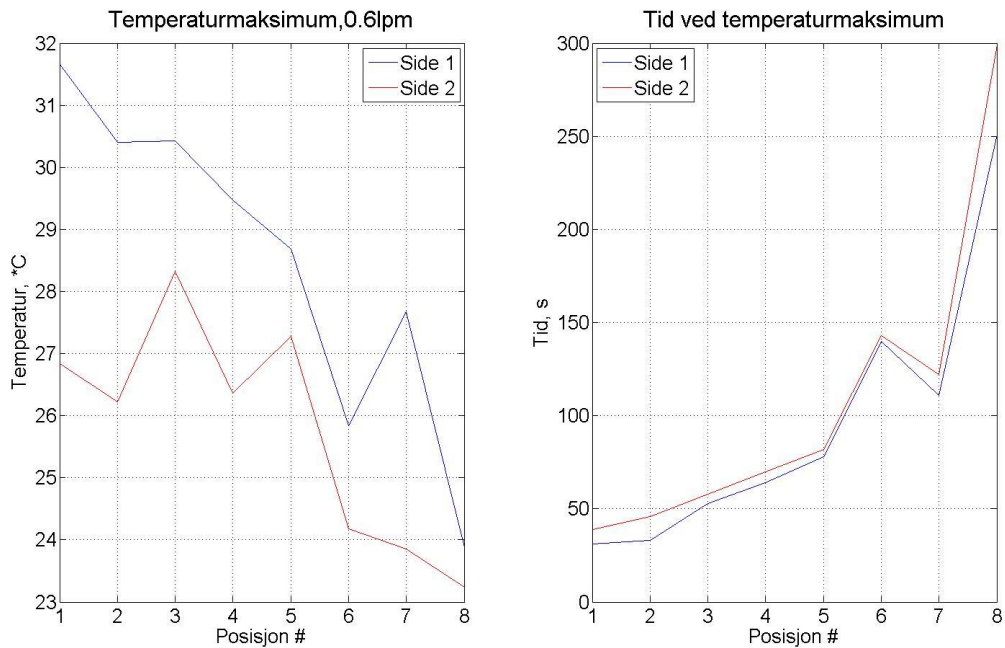
En del figurer, som viser samme typer resultater men for ulike forsøker, har samme skalering for å enkelt kunne sammenlikne ulike forsøk med hverandre.

3 Resultater

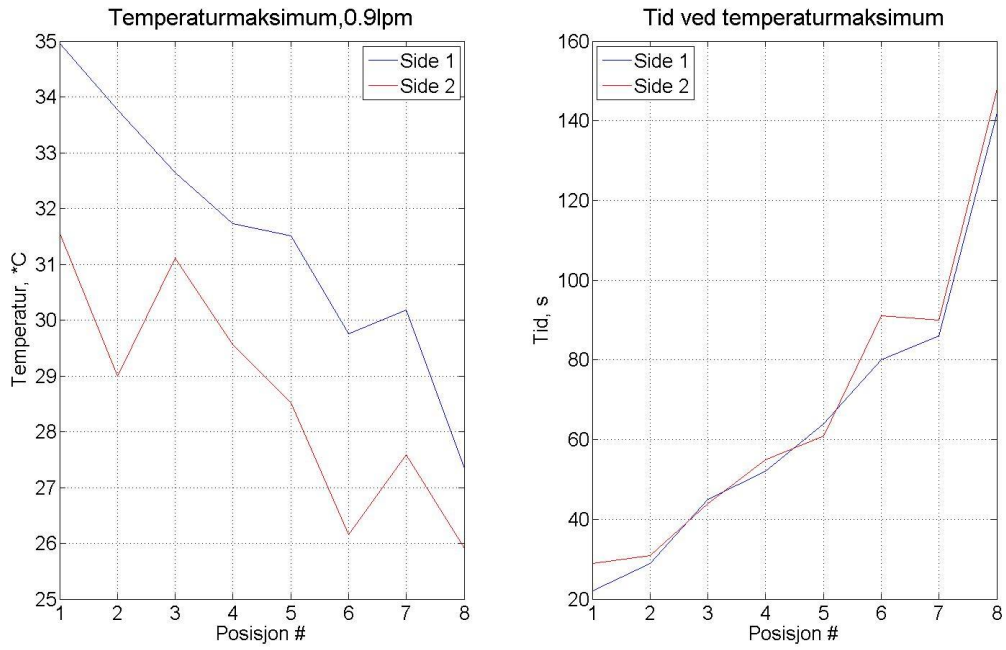
3.1 Forsøk 1: Temperaturmålinger, luft som last på side 1 vs fast medium som last på side 2



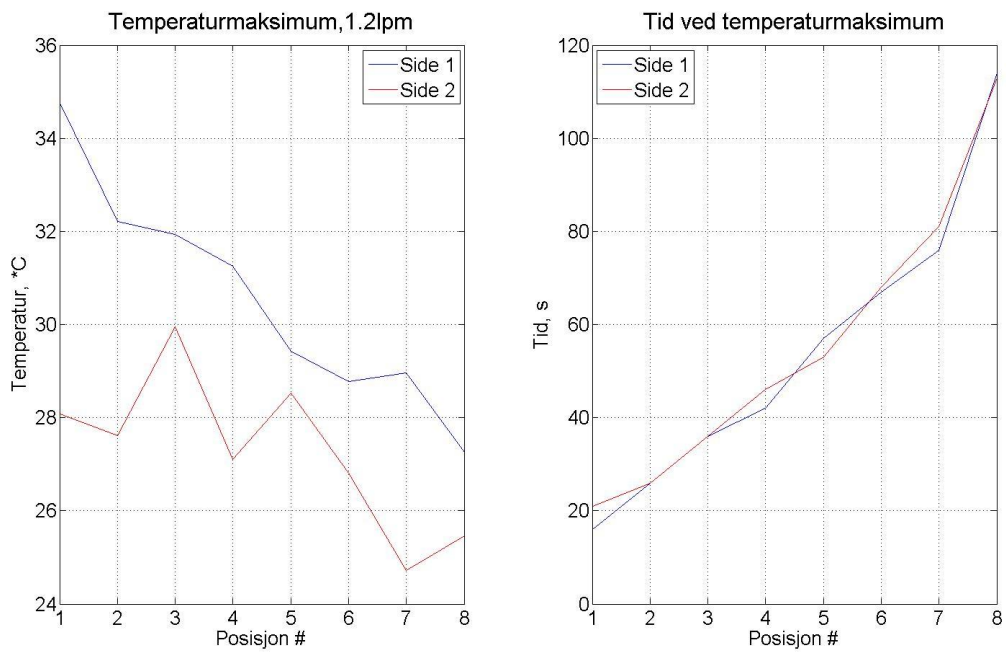
Figur 3.1: Temperaturmaksimumsverdi (venstre) og observert tid for maksimum (høyre) for posisjoner på bolus. Volumflow= 0.3 lpm.



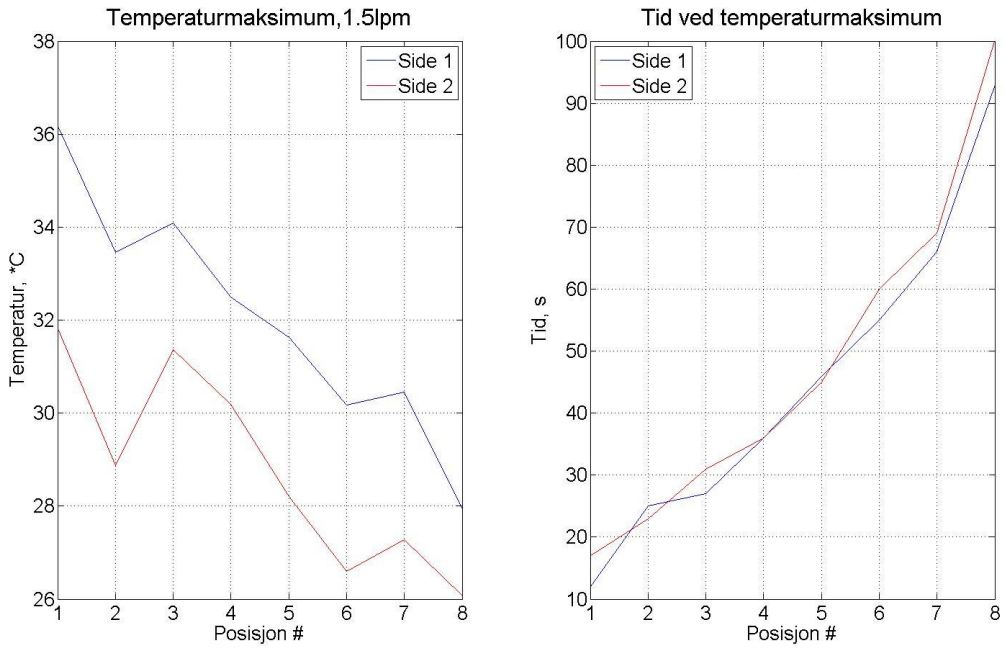
Figur 3.2: Samme som Figur 3.1 for volumflow=0.6 lpm.



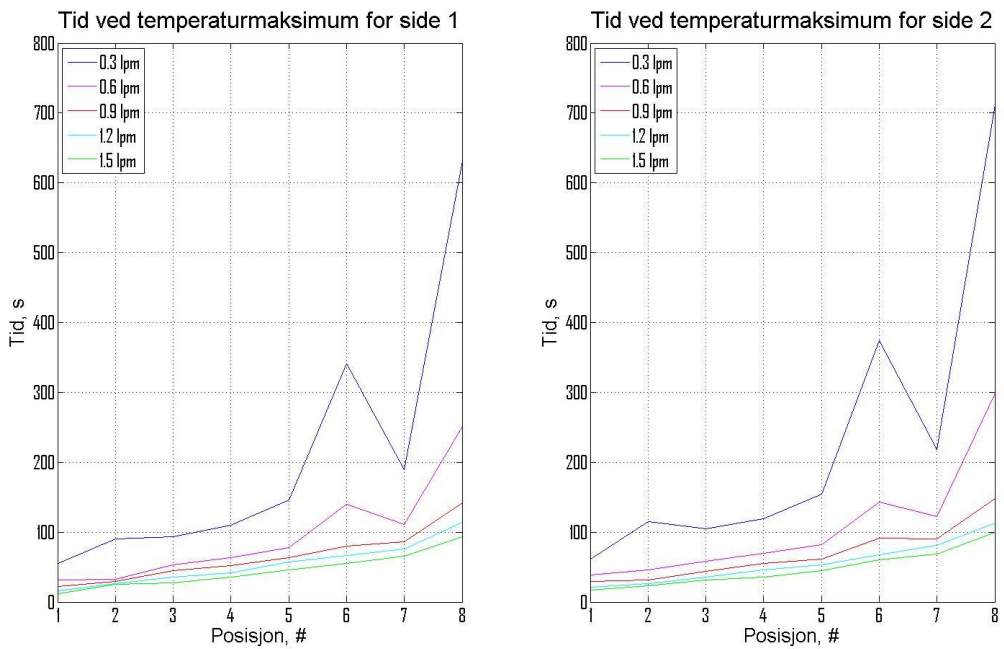
Figur 3.3: Samme som Figur 3.1 for volumflow=0.9 lpm.



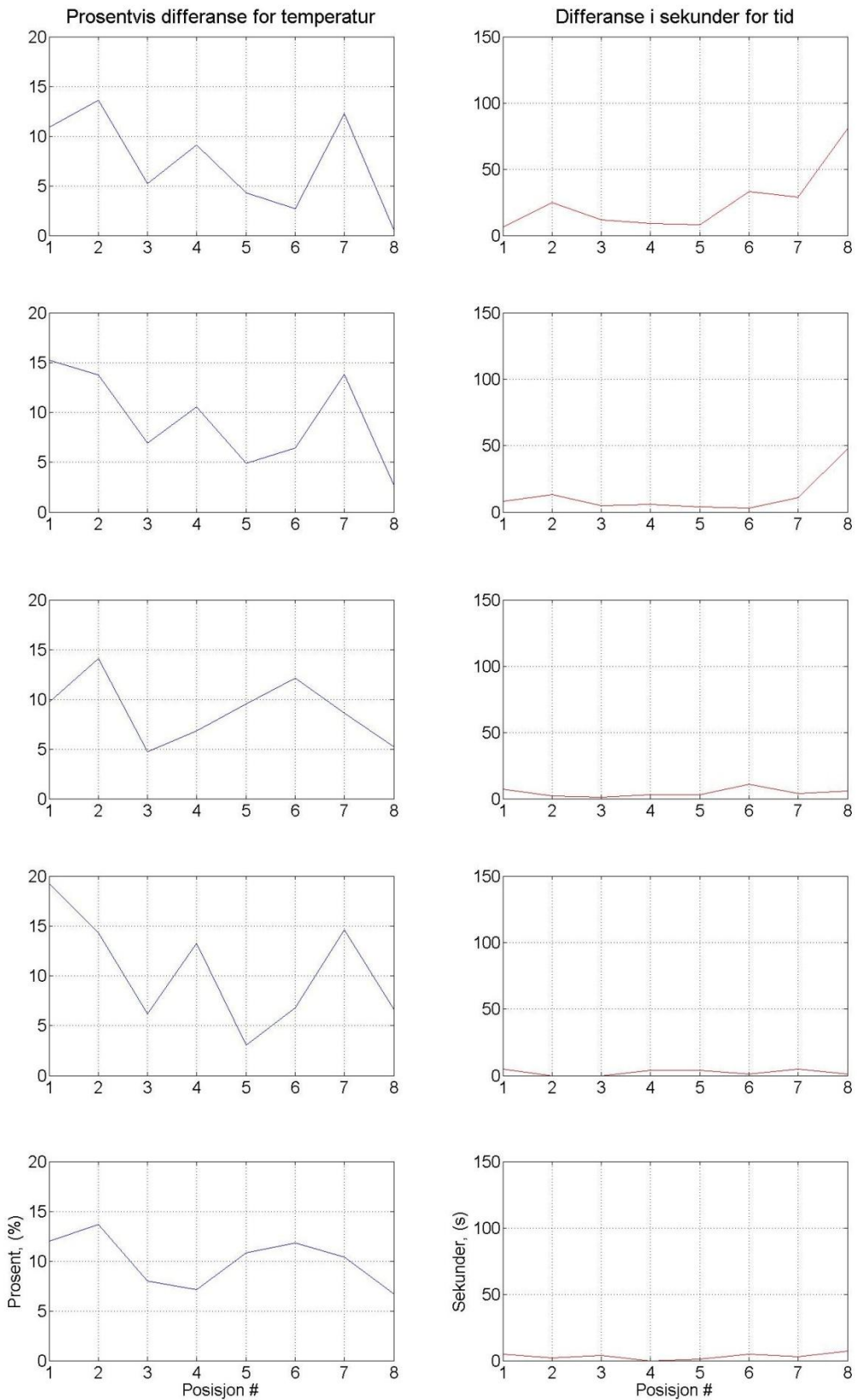
Figur 3.4: Samme som Figur 3.1 for volumflow=1.2 lpm.



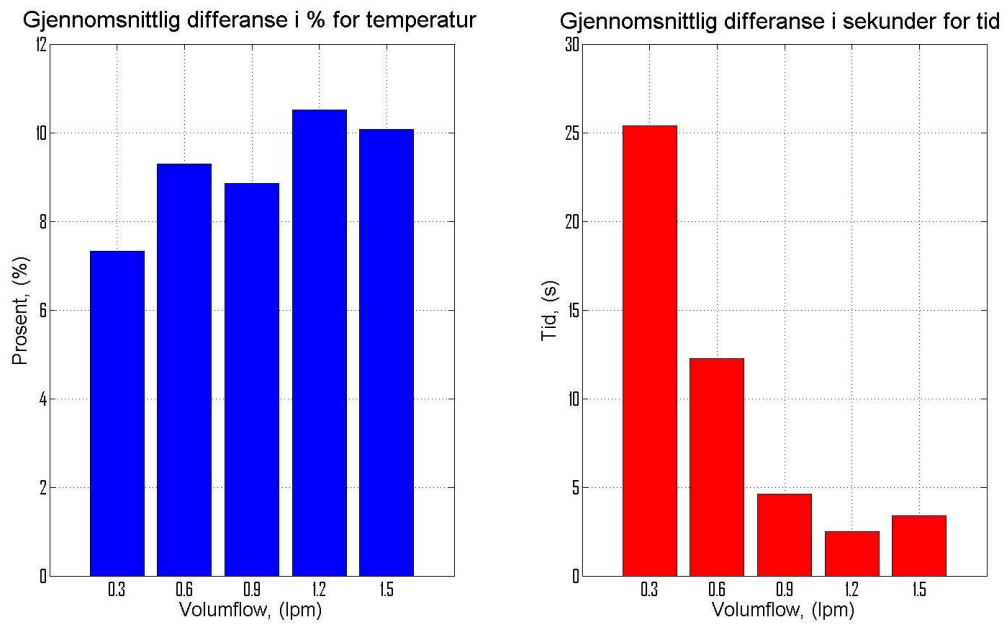
Figur 3.5: Samme som Figur 3.1 for volumflow=1.2 lpm.



Figur 3.6: Tid for temperaturmaksimum for side 1 (venstre) og side 2 (høyre) av bolus.

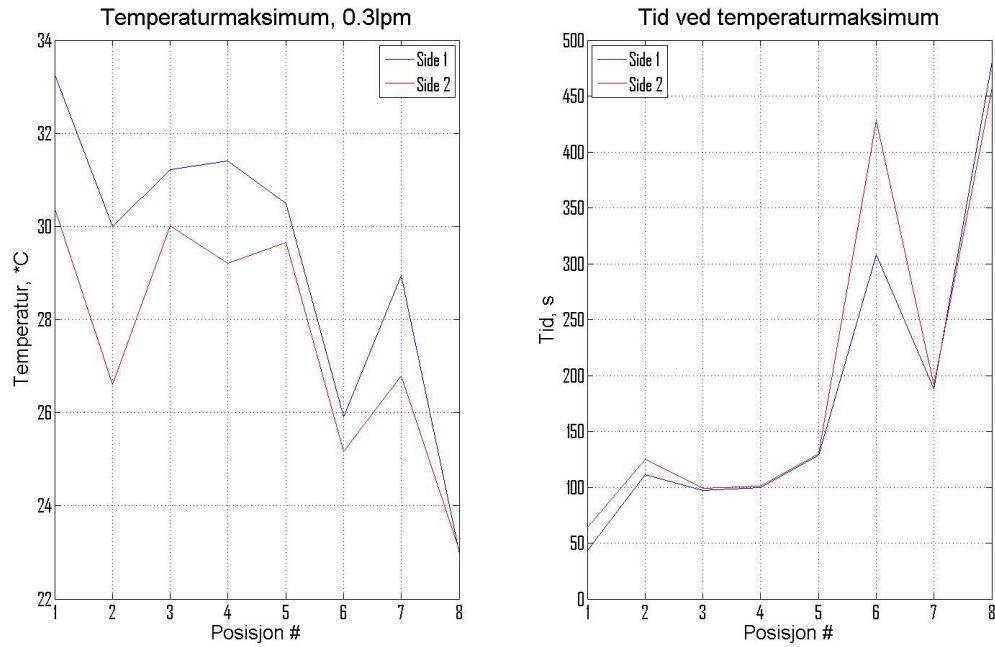


3.7: Rad 1: 0.3 lpm. Rad 2: 0.6 lpm. Rad 3: 0.9 lpm. Rad 4: 1.2 lpm. Rad 5: 1.5 lpm.

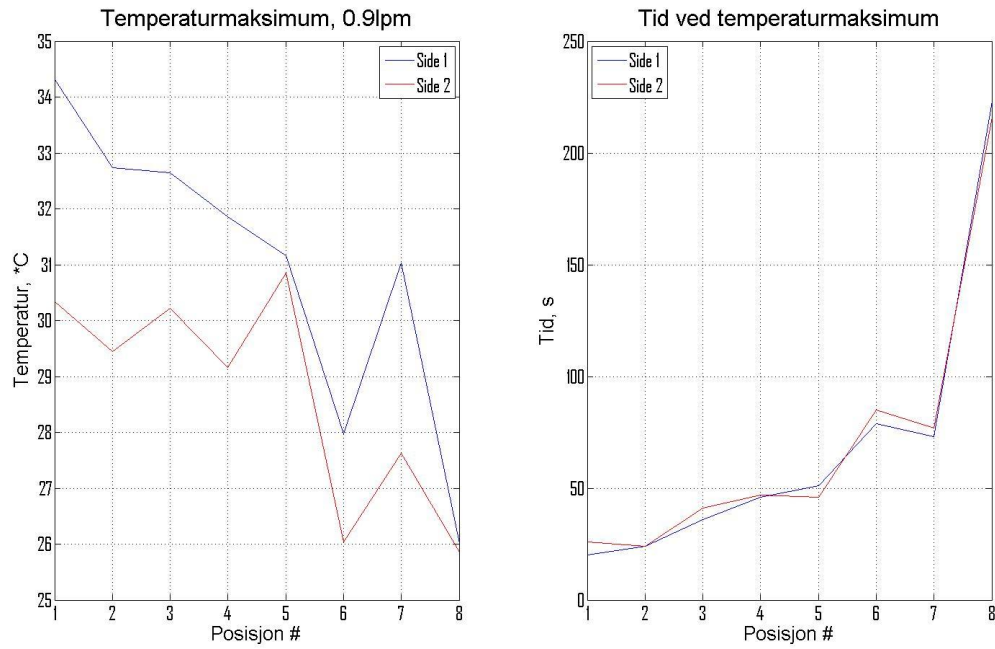


Figur 3.8: Gjennomsnittlig differanse mellom side 1 og 2 for temperatur (venstre) og tid for maksimum (høyre).

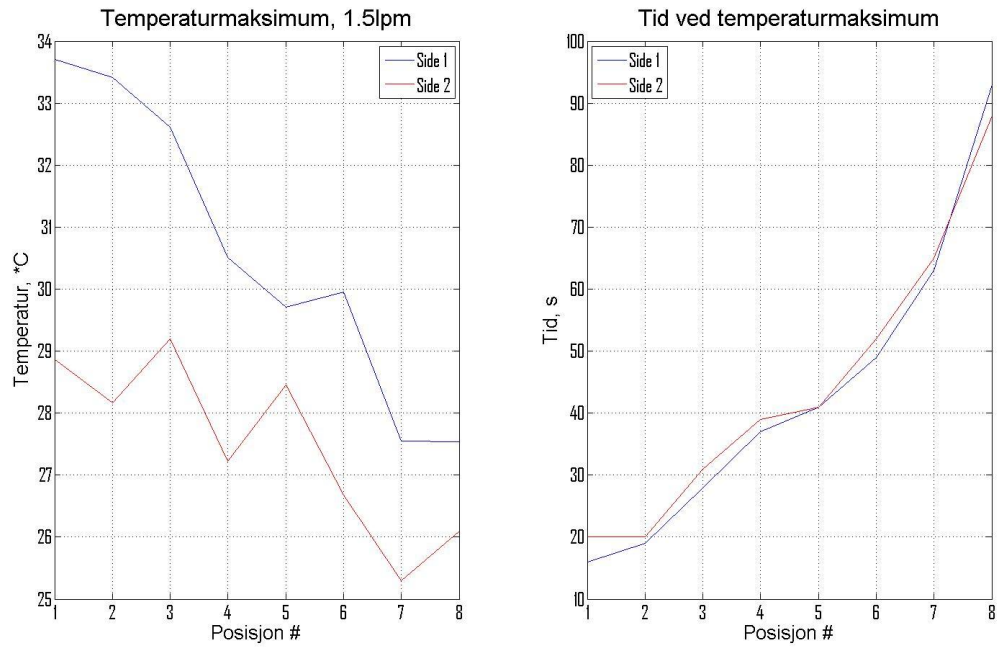
3.2 Forsøk 2: Temperaturmålinger, som forsøk 1 med mindre vann i bolus



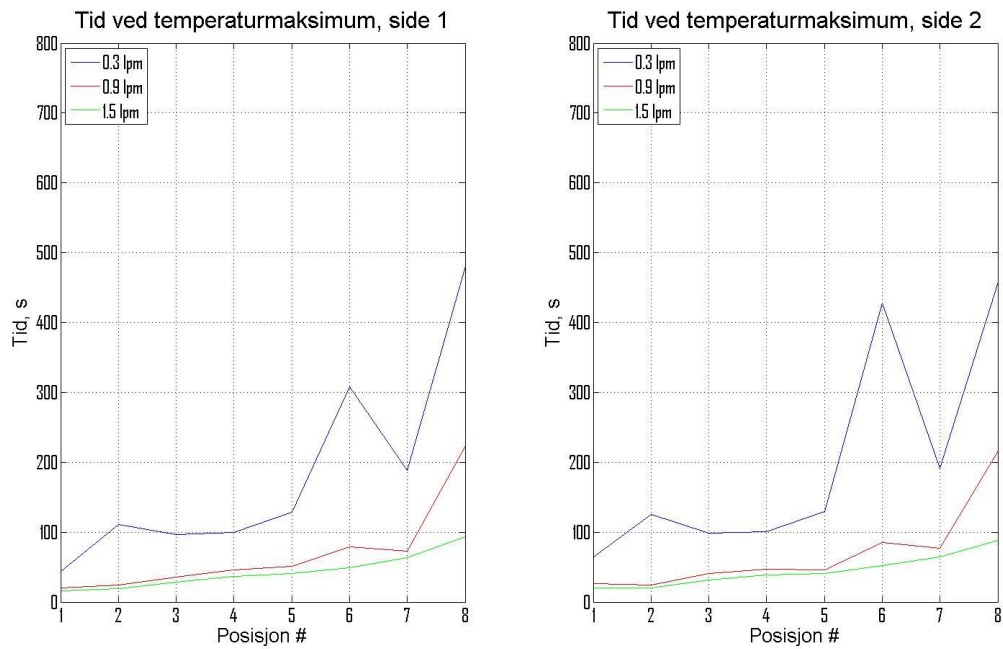
Figur 3.9: Temperaturmaksimumsverdi (venstre) og observert tid for maksimum (høyre) for posisjoner på bolus. Volumflow= 0.3 lpm.



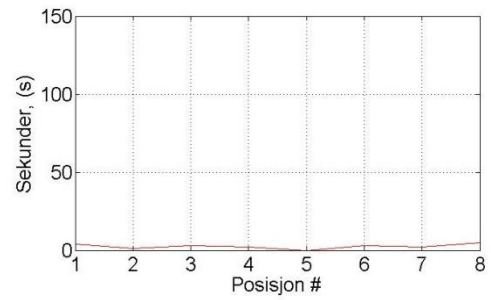
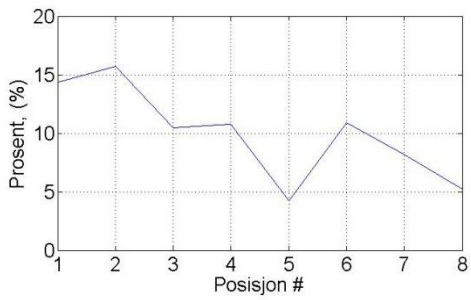
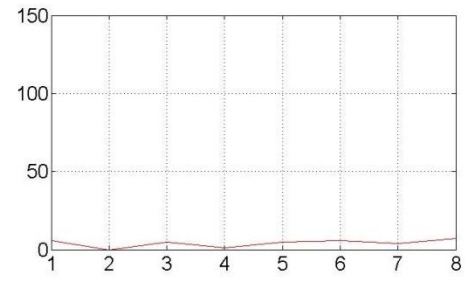
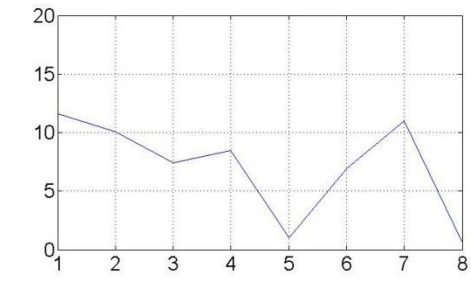
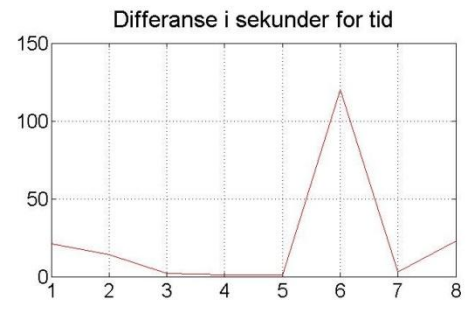
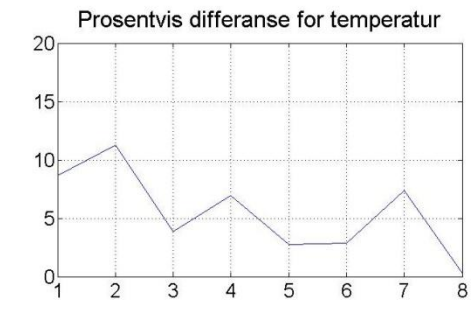
Figur 3.10: Samme som Figur 3.9 for volumflow=0.9 lpm.



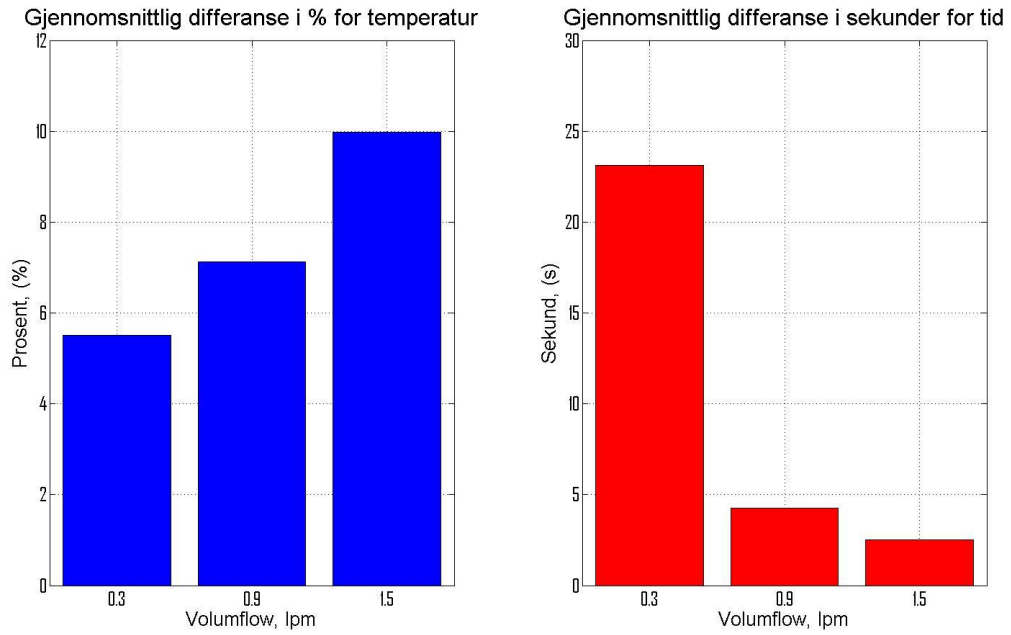
Figur 3.11: Samme som Figur 3.9 for volumflow=1.5 lpm.



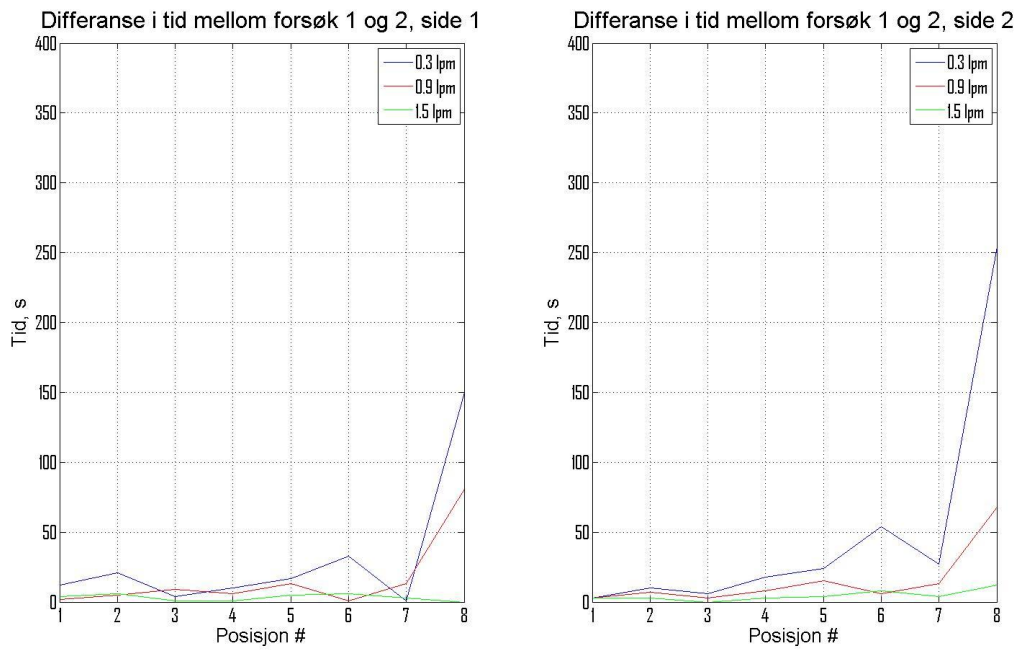
Figur 3.12: Tid for temperaturmaksimum for side 1 (venstre) og side 2 (høyre) av bolus.



3.13: Rad 1: 0.3 lpm. Rad 2: 0.9 lpm. Rad 3: 1.5 lpm.

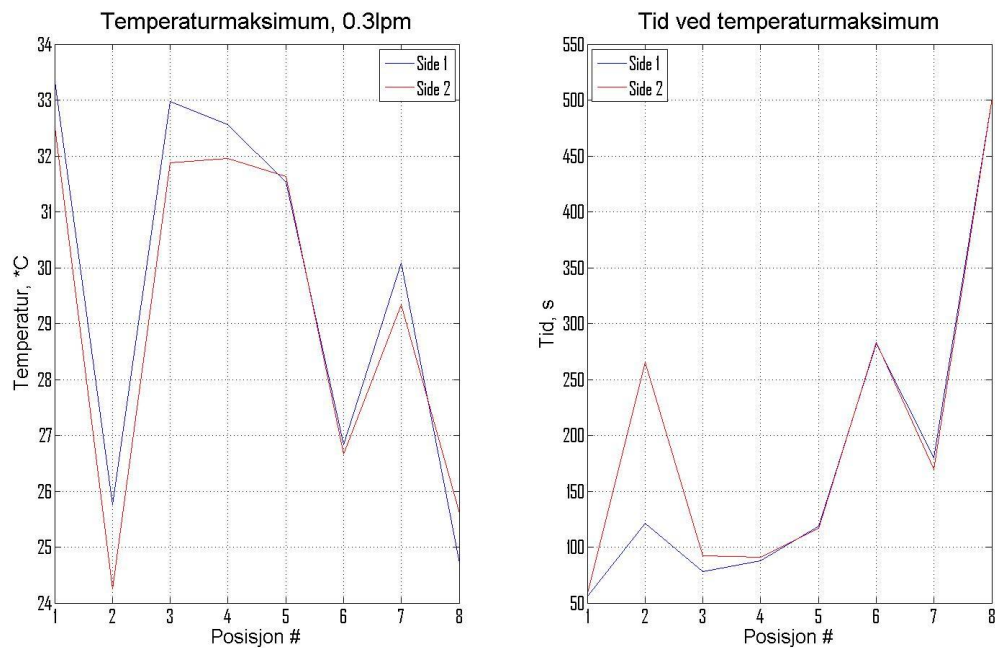


Figur 3.14: Gjennomsnittlig differanse mellom side 1 og 2 for temperatur (venstre) og tid for maksimum (høyre).

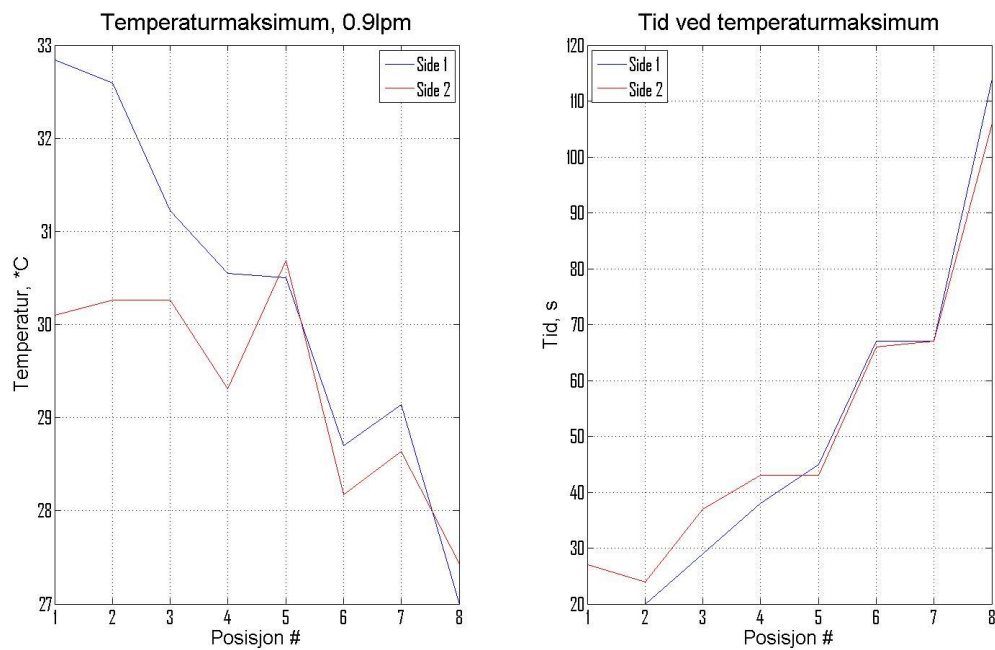


Figur 3.15: Differanse i tid mellom forsøk 1 og 2 for side 1 (venstre) og 2 (høyre).

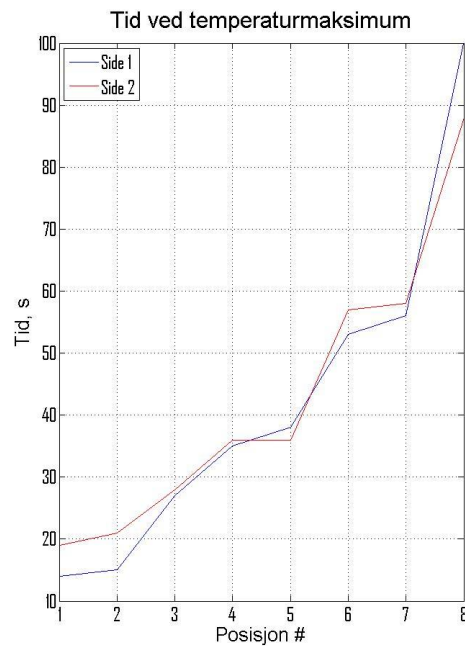
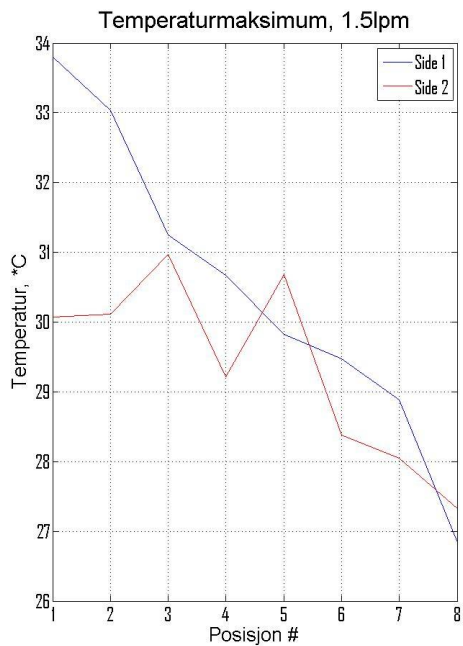
3.3 Forsøk 3: Temperaturmålinger, luft som last på begge sider av bolus



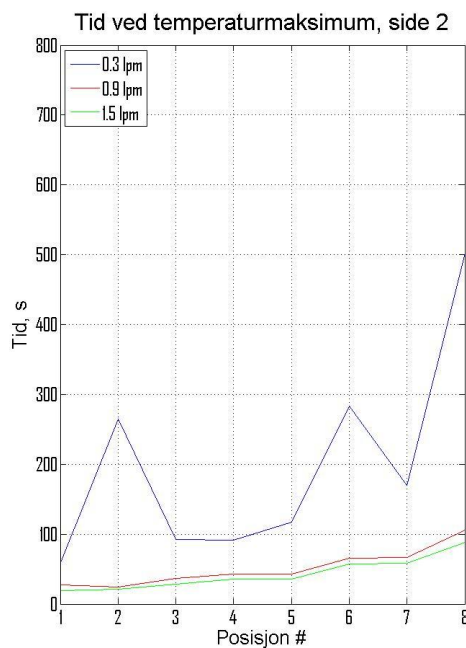
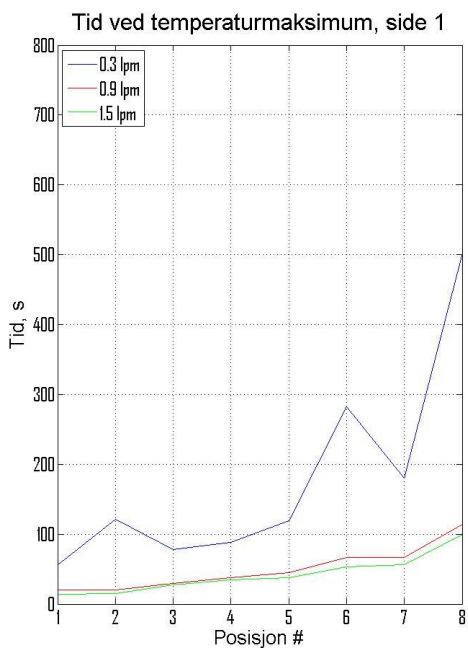
Figur 3.16: Temperaturmaksimumsverdi (venstre) og observert tid for maksimum (høyre) for posisjoner på bolus. Volumflow= 0.3 lpm.



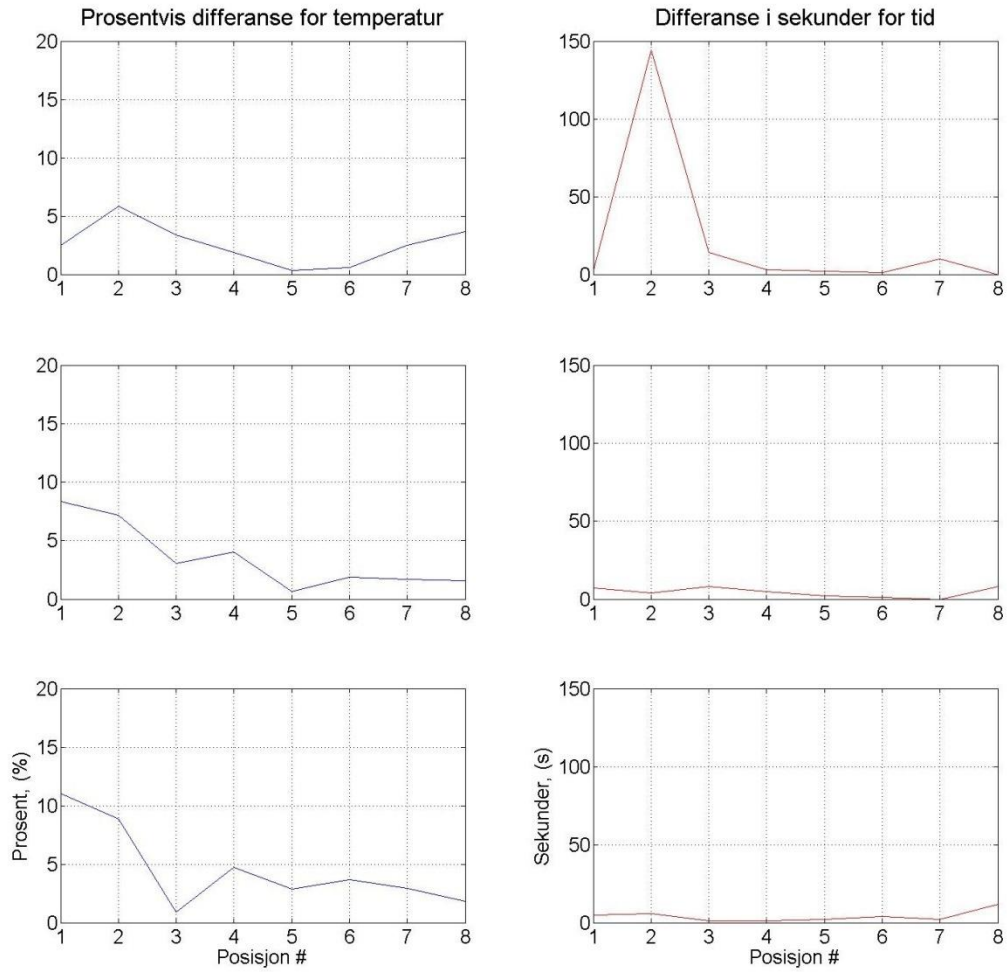
Figur 3.17: Samme som Figur 3.17 for volumflow=0.9 lpm.



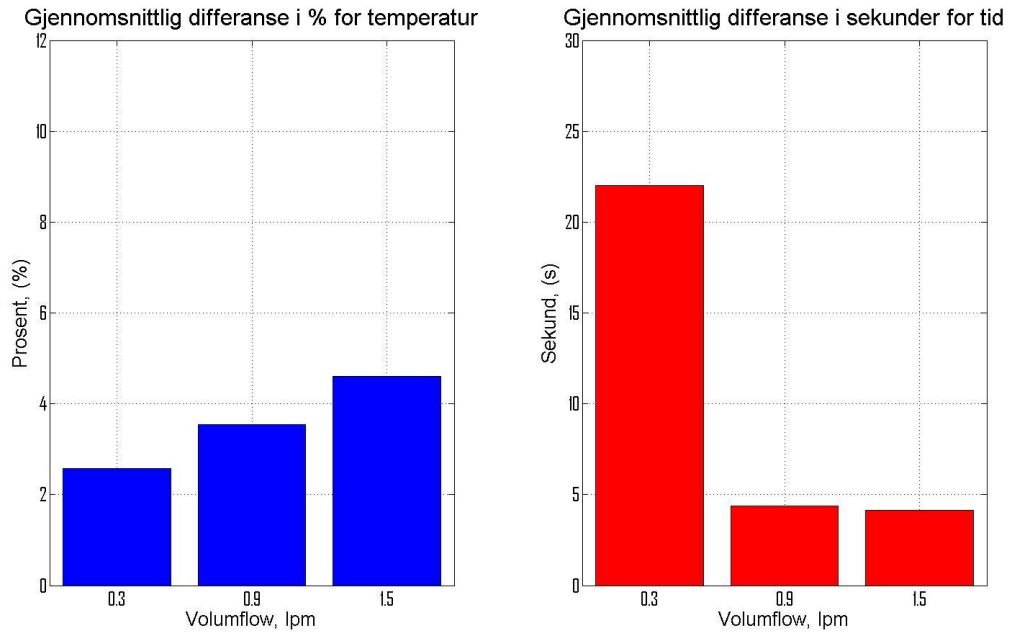
Figur 3.18: Samme som Figur 3.17 for volumflow=1.5 lpm.



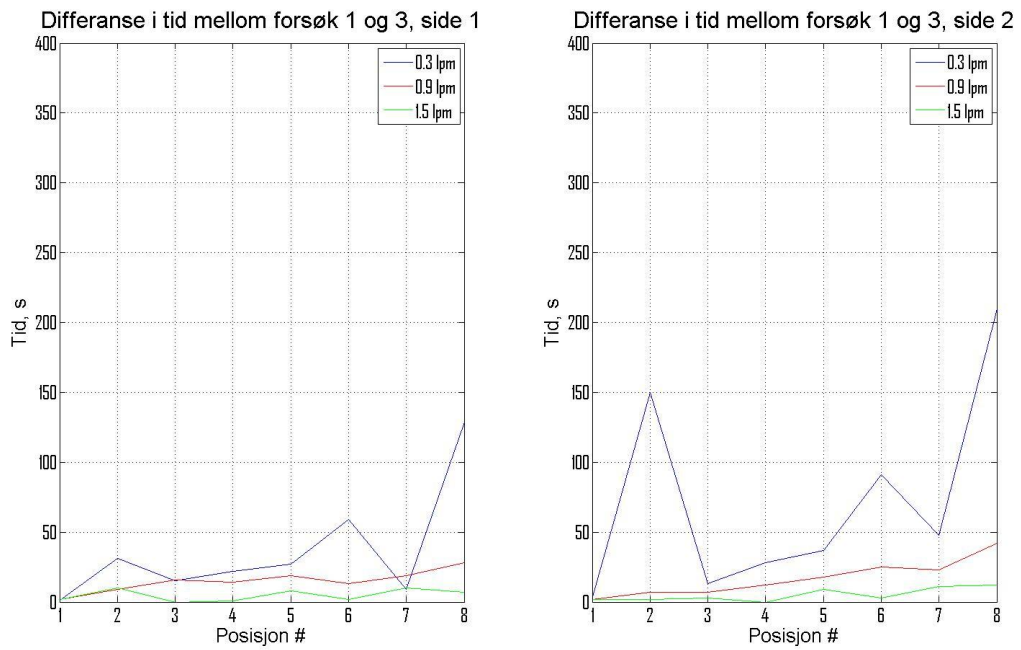
Figur 3.19: Tid for temperaturmaksimum for side 1 (venstre) og side 2 (høyre) av bolus.



3.20: Rad 1: 0.3 lpm. Rad 2: 0.9 lpm. Rad 3: 1.5 lpm.

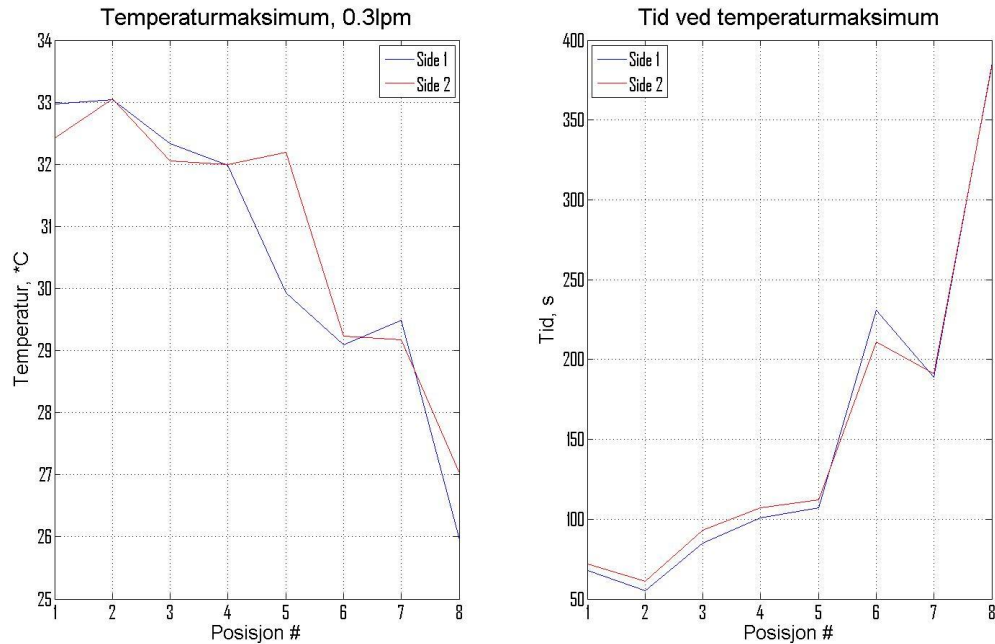


Figur 3.21: Gjennomsnittlig differanse mellom side 1 og 2 for temperatur (venstre) og tid for maksimum (høyre).

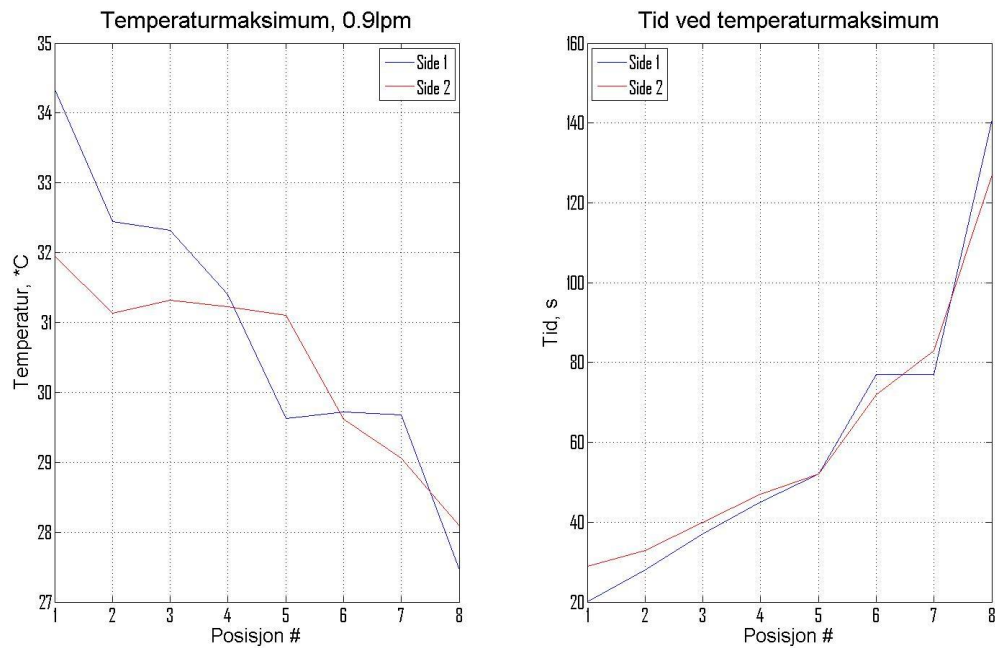


Figur 3.22: Differanse i tid mellom forsøk 1 og 3 for side 1 (venstre) og 2 (høyre).

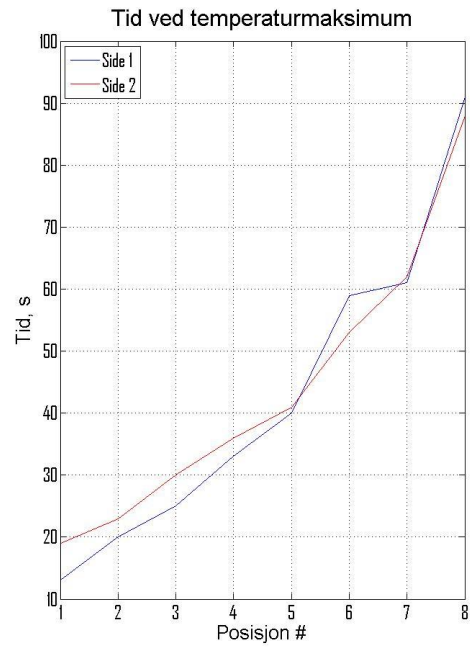
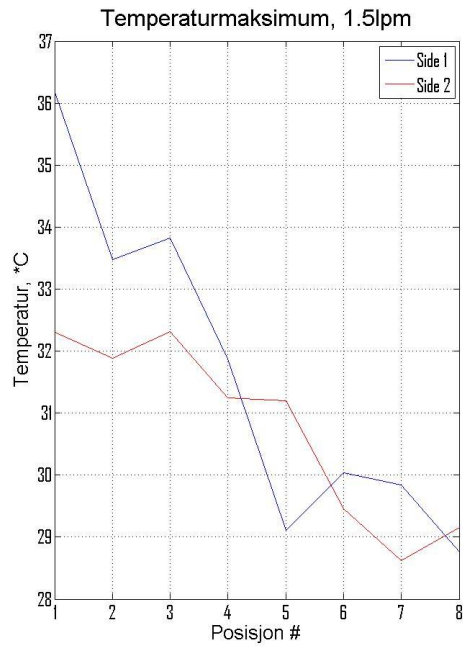
3.4 Forsøk 4: Temperaturmålinger, fast medium som last på side 1 og luft som last på side 2



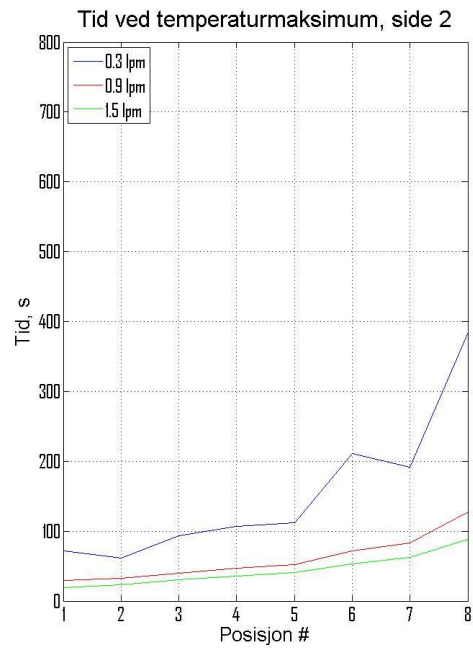
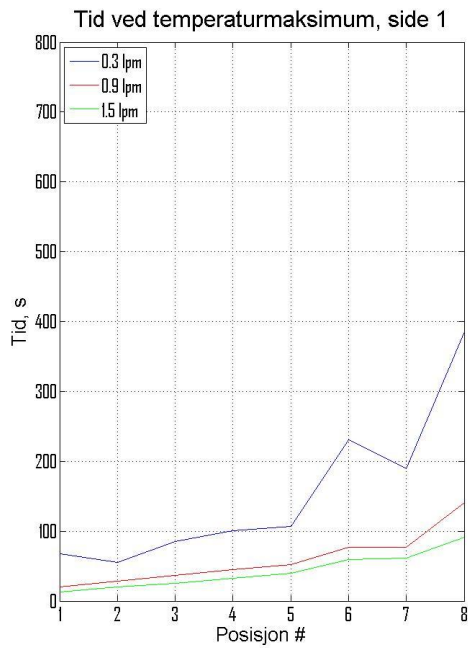
Figur 3.23: Temperaturmaksimumsverdi (venstre) og observert tid for maksimum (høyre) for posisjoner på bolus. Volumflow= 0.3 lpm.



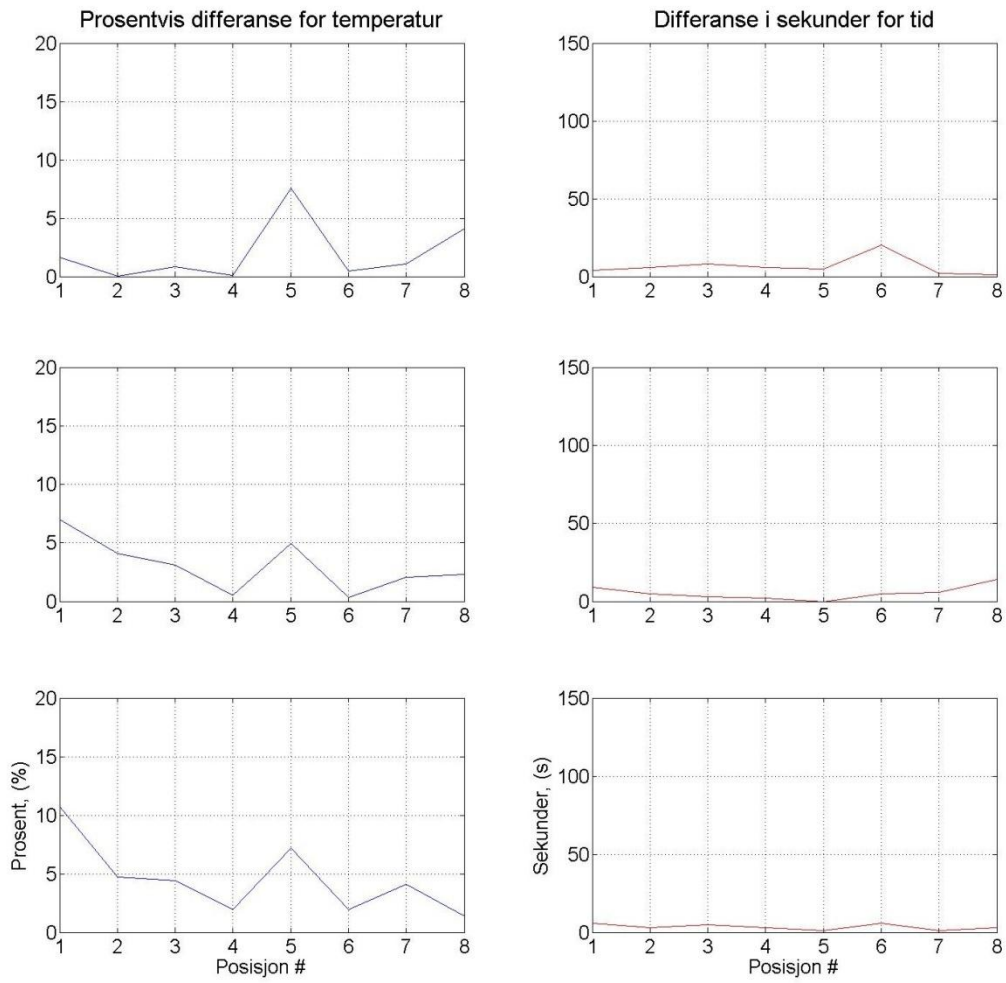
Figur 3.24: Samme som Figur 3.25 for volumflow=0.9 lpm.



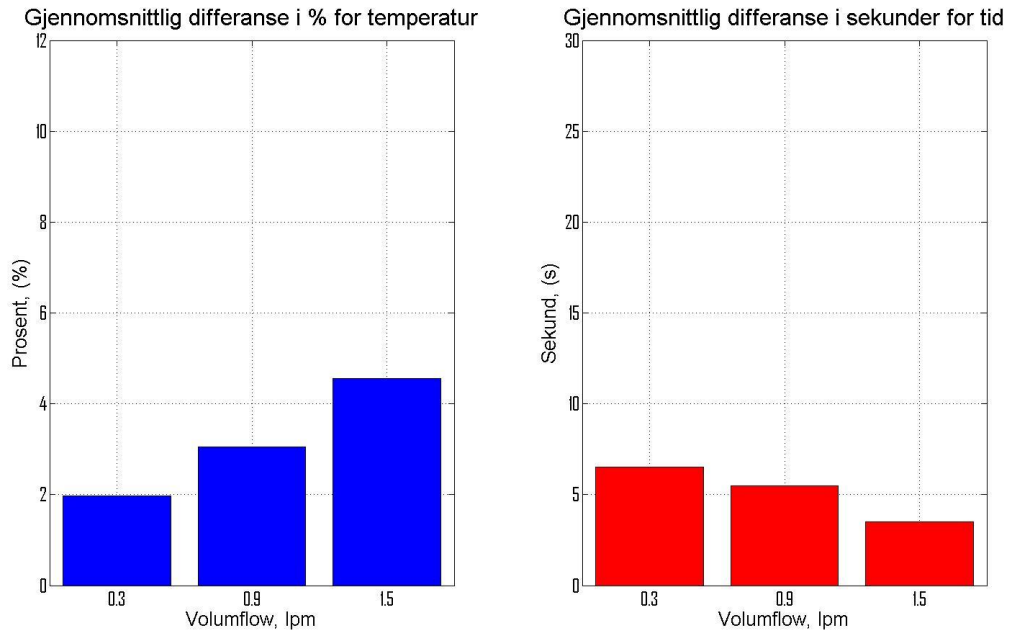
Figur 3.25: Samme som Figur 3.25 for volumflow=1.5 lpm.



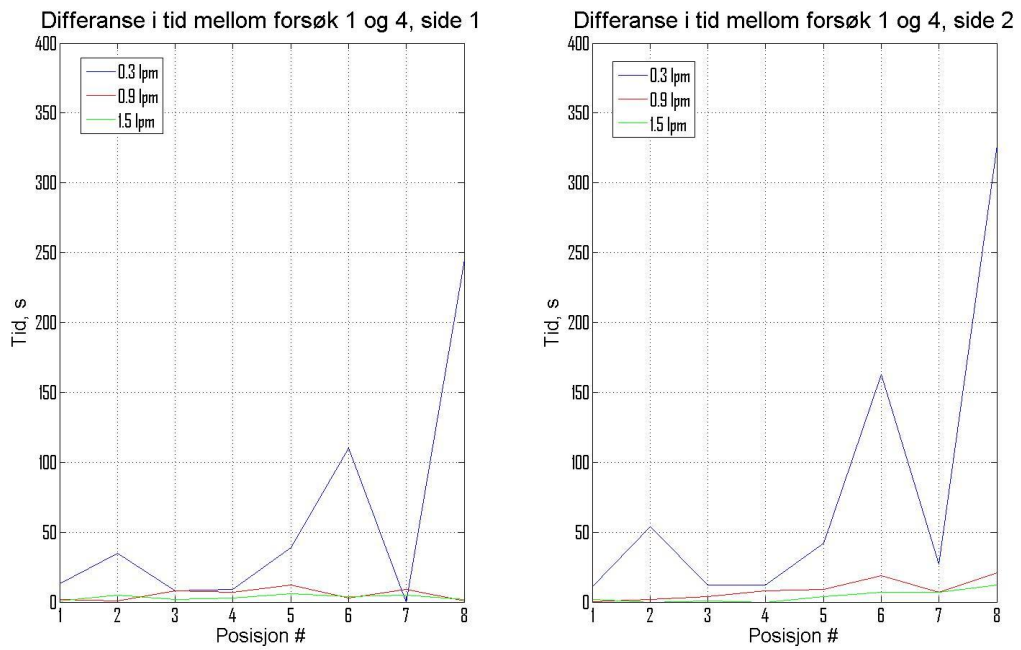
Figur 3.26: Tid for temperaturmaksimum for side 1 (venstre) og side 2 (høyre) av bolus.



3.27: Rad 1: 0.3 lpm. Rad 2: 0.9 lpm. Rad 3: 1.5 lpm.

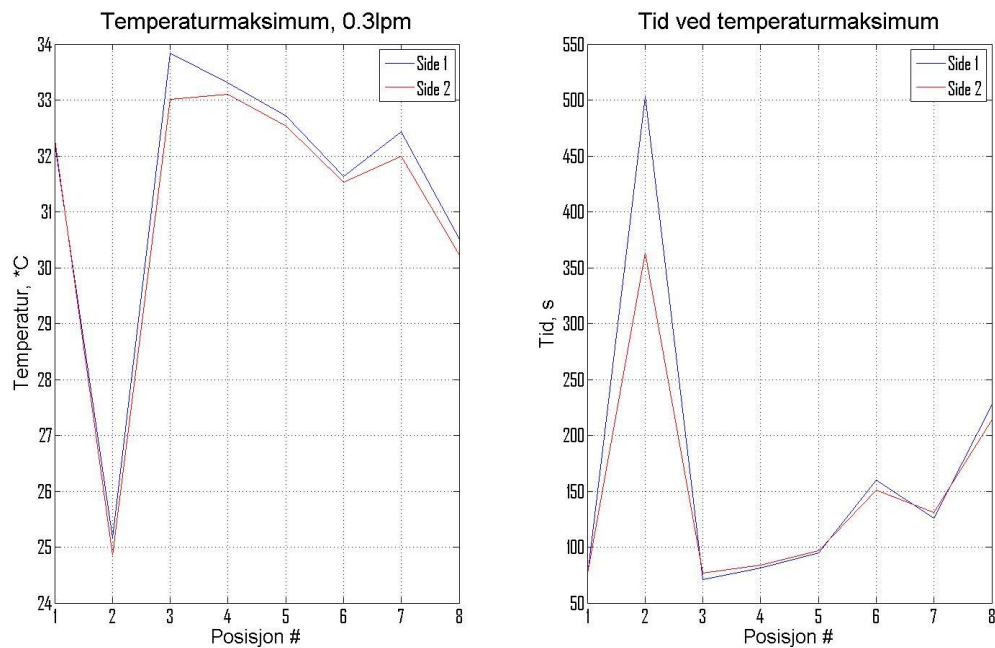


Figur 3.28: Gjennomsnittlig differanse mellom side 1 og 2 for temperatur (venstre) og tid for maksimum (høyre).

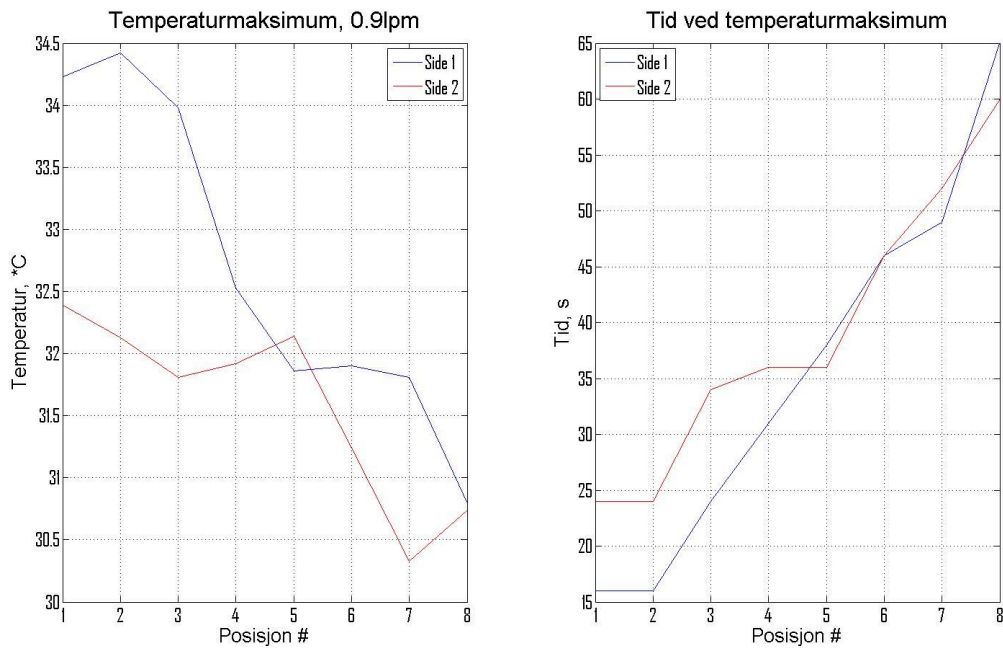


Figur 3.29: Differanse i tid mellom forsøk 1 og 4 for side 1 (venstre) og 2 (høyre).

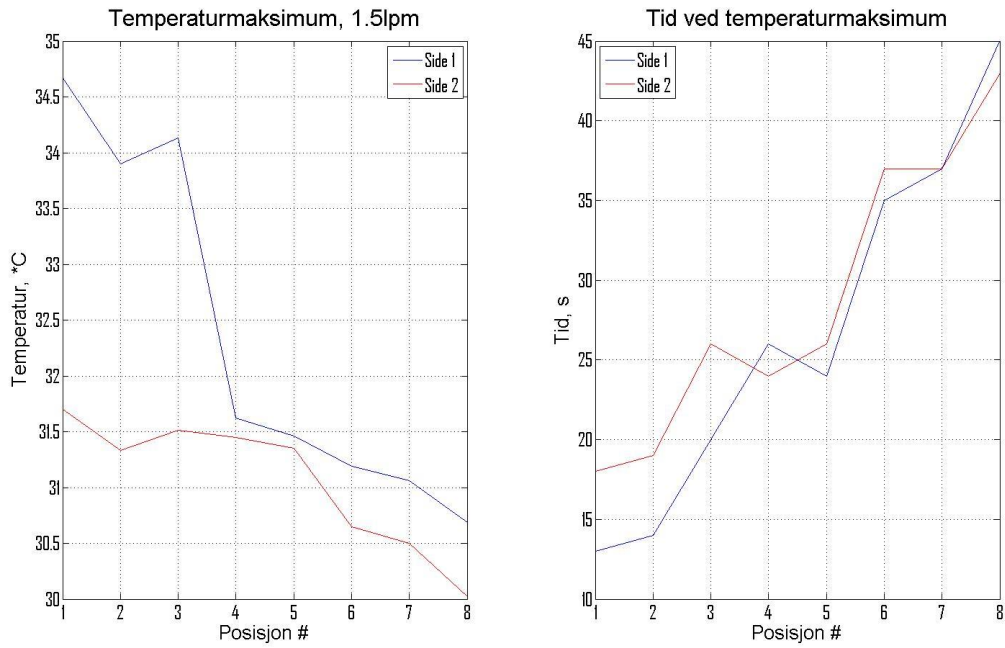
3.5 Forsøk 5: Temperaturmålinger, vertikal bolus med luft som last på begge sider



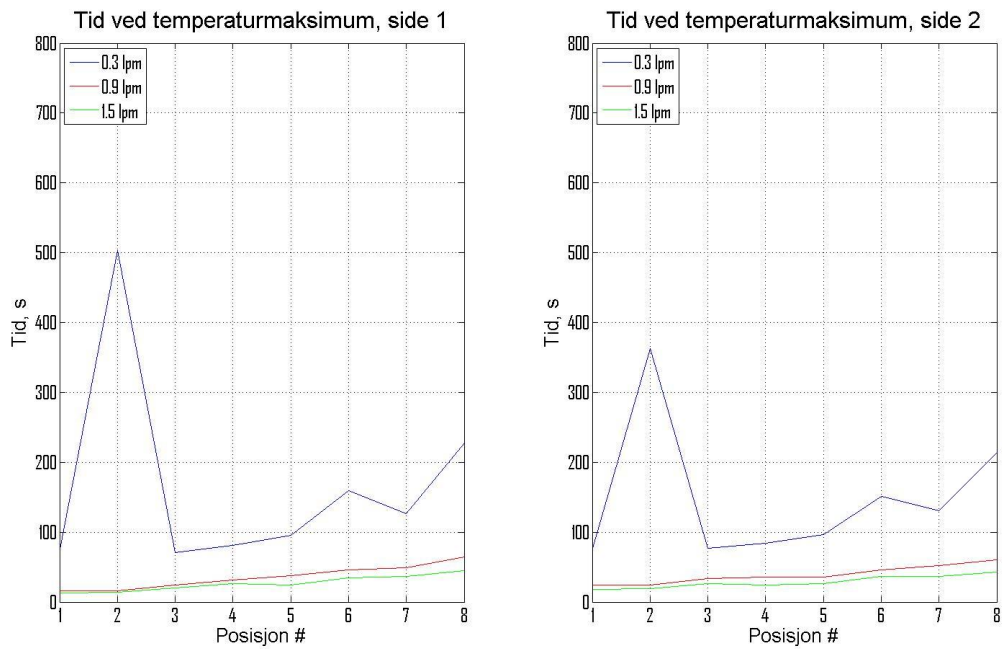
Figur 3.30: Temperaturmaksimumsverdi (venstre) og observert tid for maksimum (høyre) for posisjoner på bolus. Volumflow= 0.3 lpm.



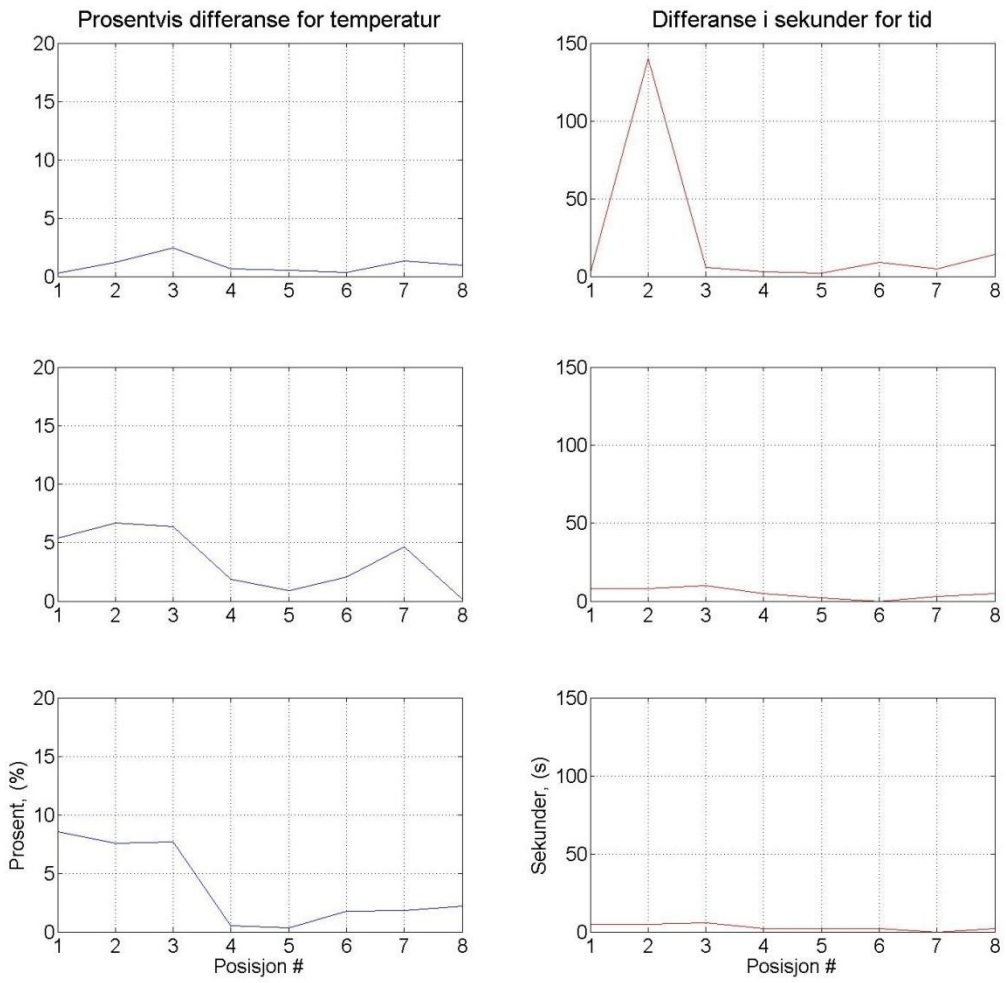
Figur 3.31: Samme som Figur 3.33 for volumflow=0.9 lpm.



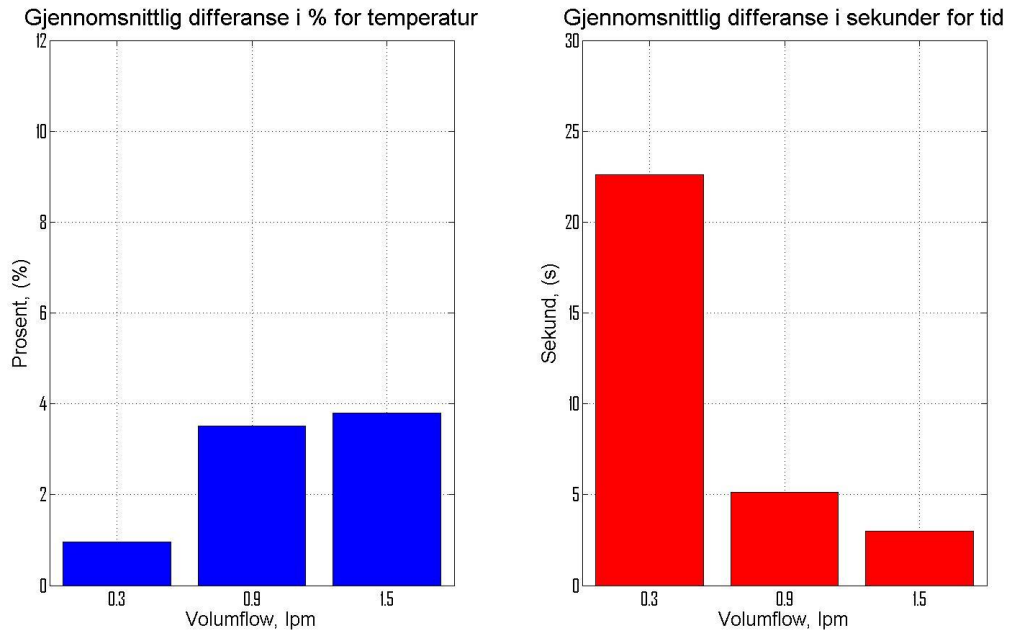
Figur 3.32: Samme som Figur 3.33 for volumflow=1.5 lpm.



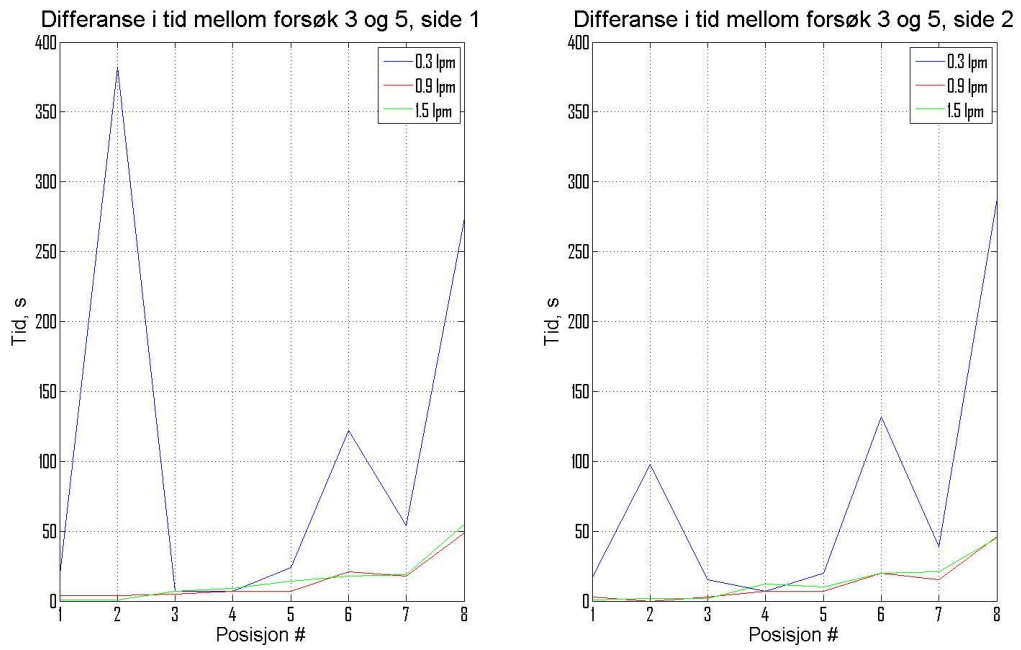
Figur 3.33: Tid for temperaturmaksimum for side 1 (venstre) og side 2 (høyre) av bolus.



3.34: Rad 1: 0.3 lpm. Rad 2: 0.9 lpm. Rad 3: 1.5 lpm.



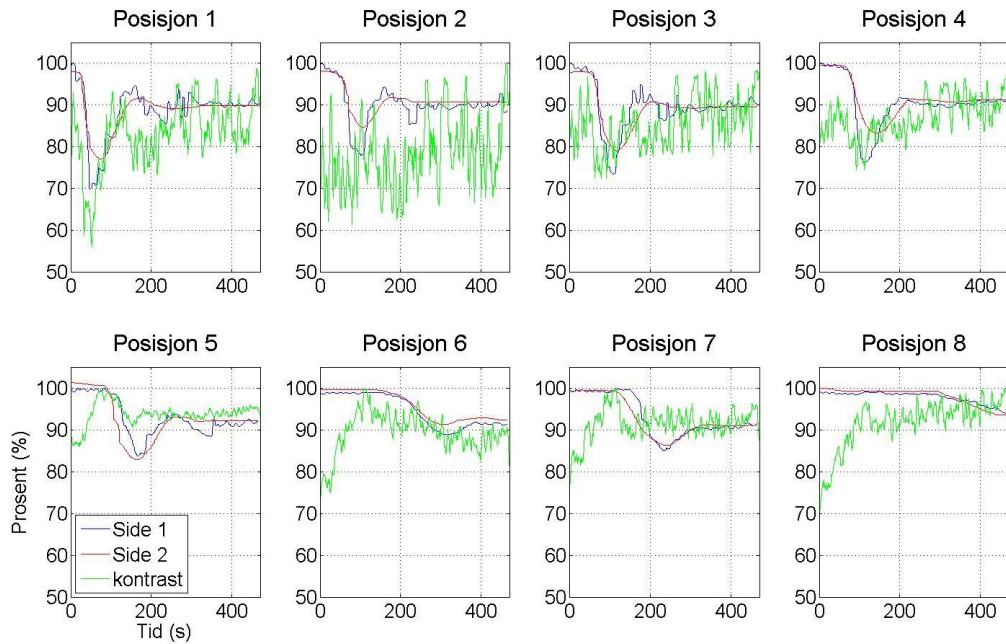
Figur 3.35: Gjennomsnittlig differanse mellom side 1 og 2 for temperatur (venstre) og tid for maksimum (høyre).



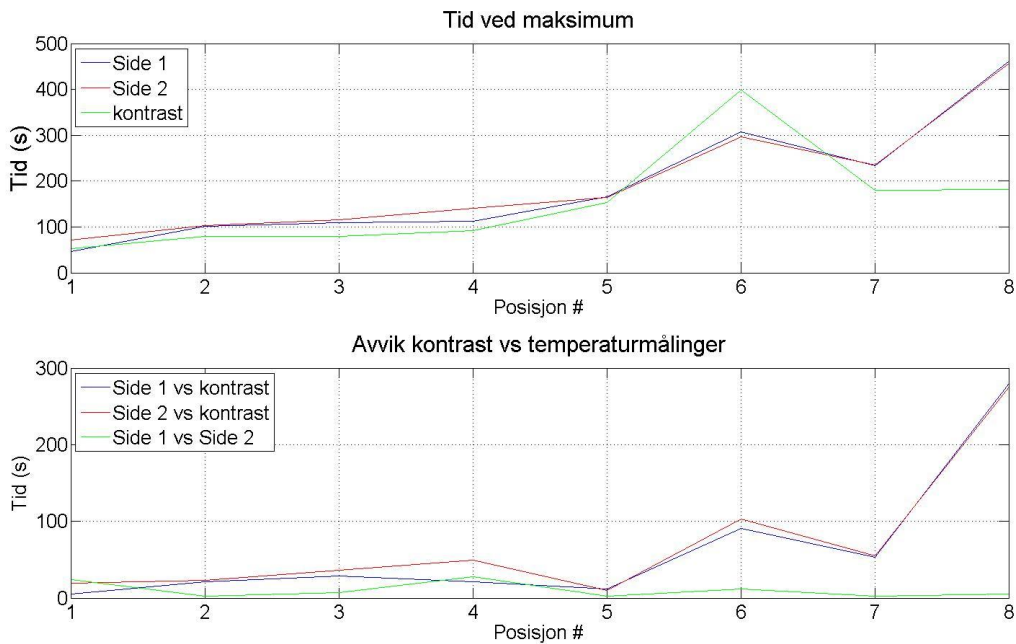
Figur 3.36: Differanse i tid mellom forsøk 3 og 5 for side 1 (venstre) og 2 (høyre).

3.6 Forsøk 6: Temperaturmålinger, kontrastvæske i bolus

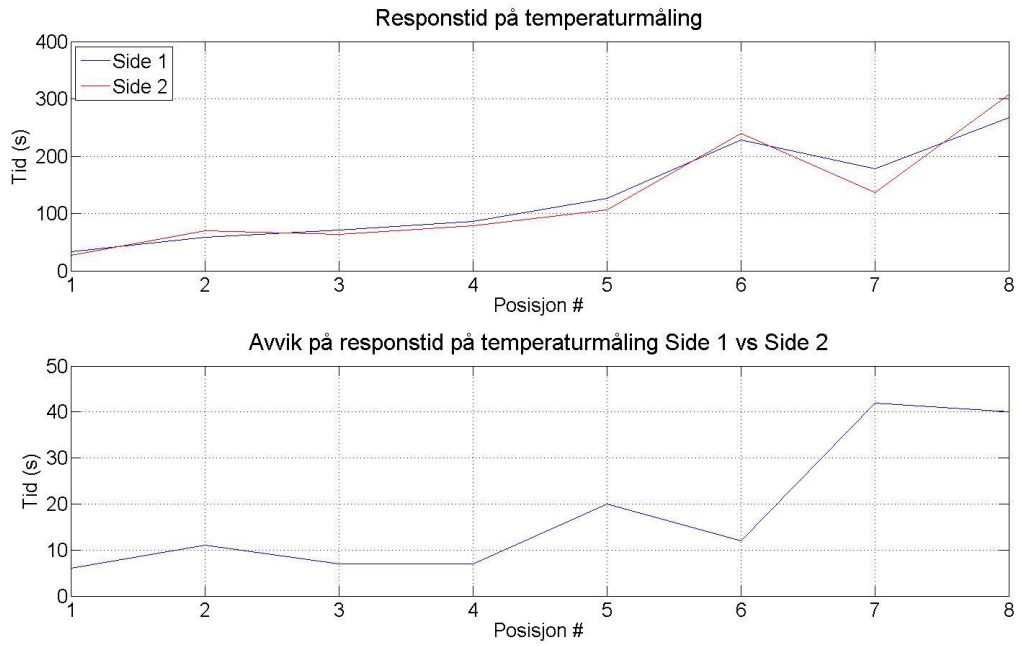
3.6.1 0.3 liter per minutt



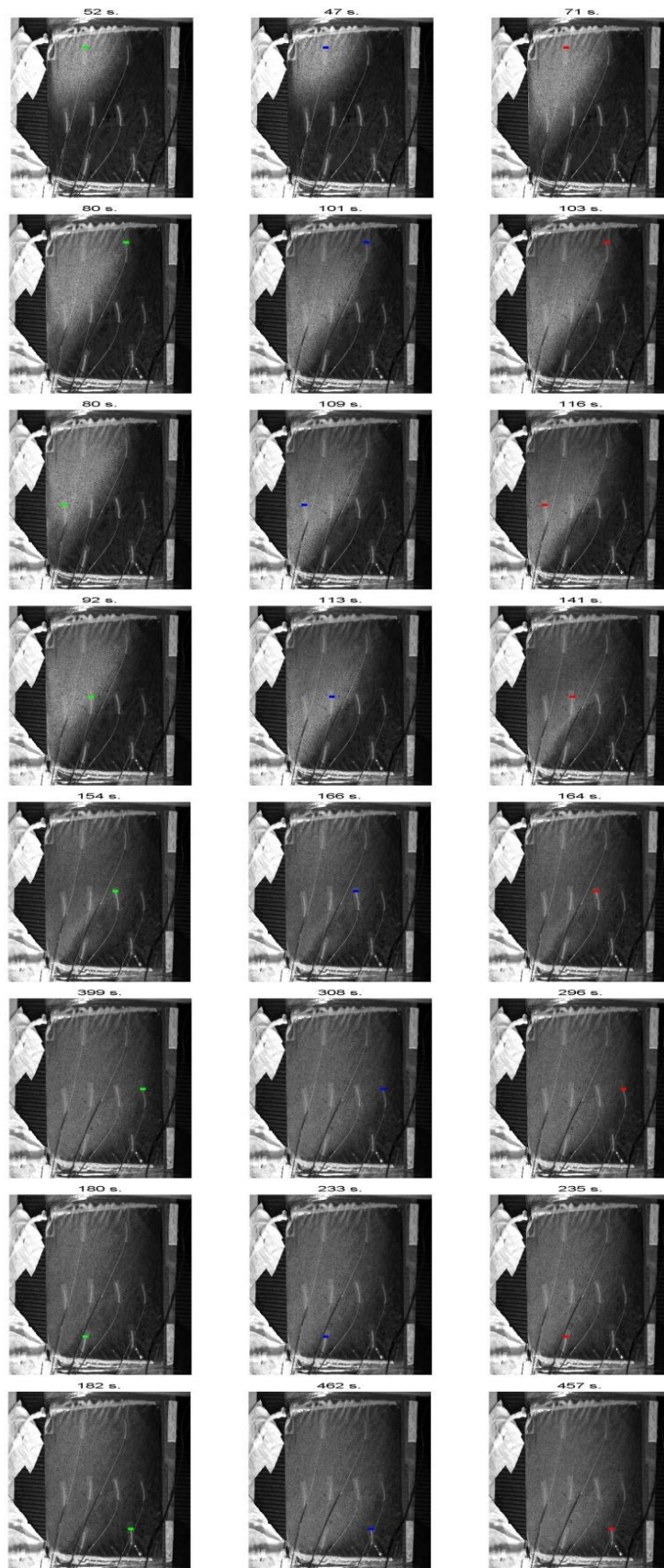
Figur 3.37: Temperaturmålinger og kontrastverdier konvertert til prosent.



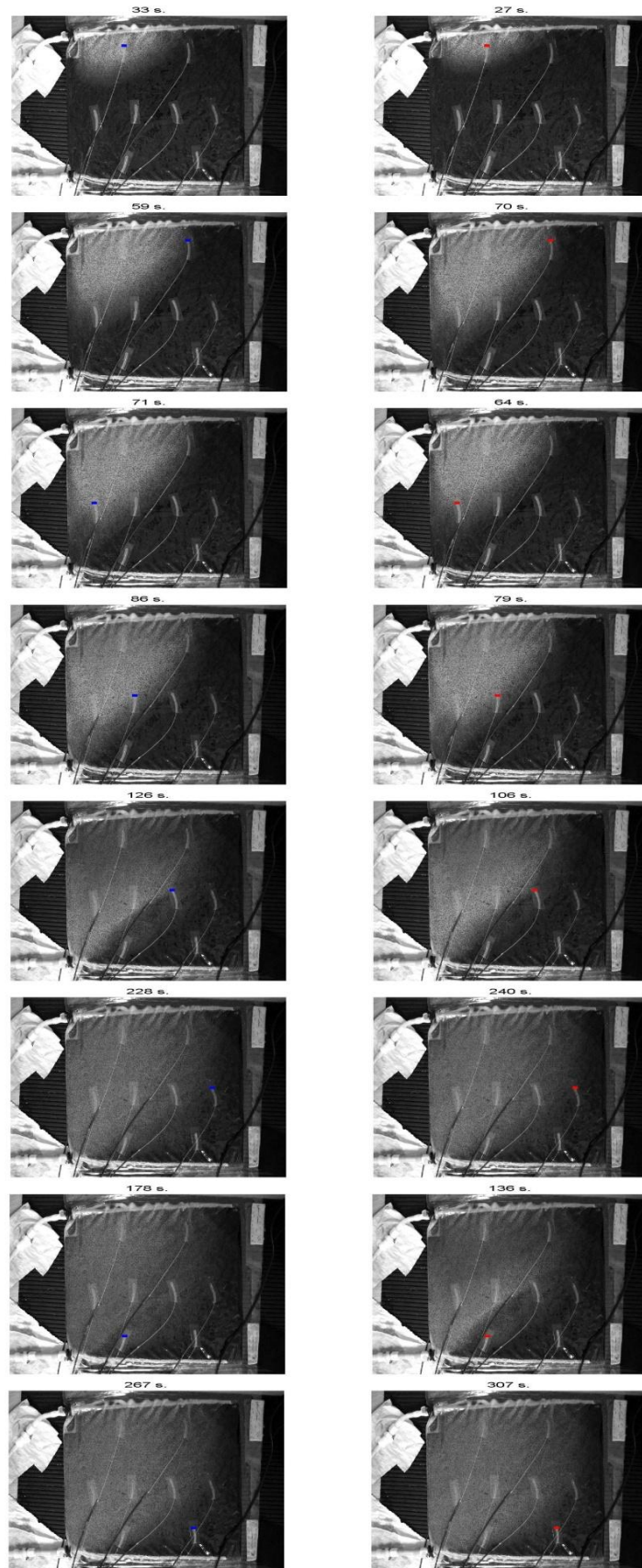
Figur 3.38: Maksimumtid (øverst) og avvik i maksimumtid (nederst).



Figur 3.39: Responstid (øverst) og avvik for responstid mellom side 1 og 2 (nederst).

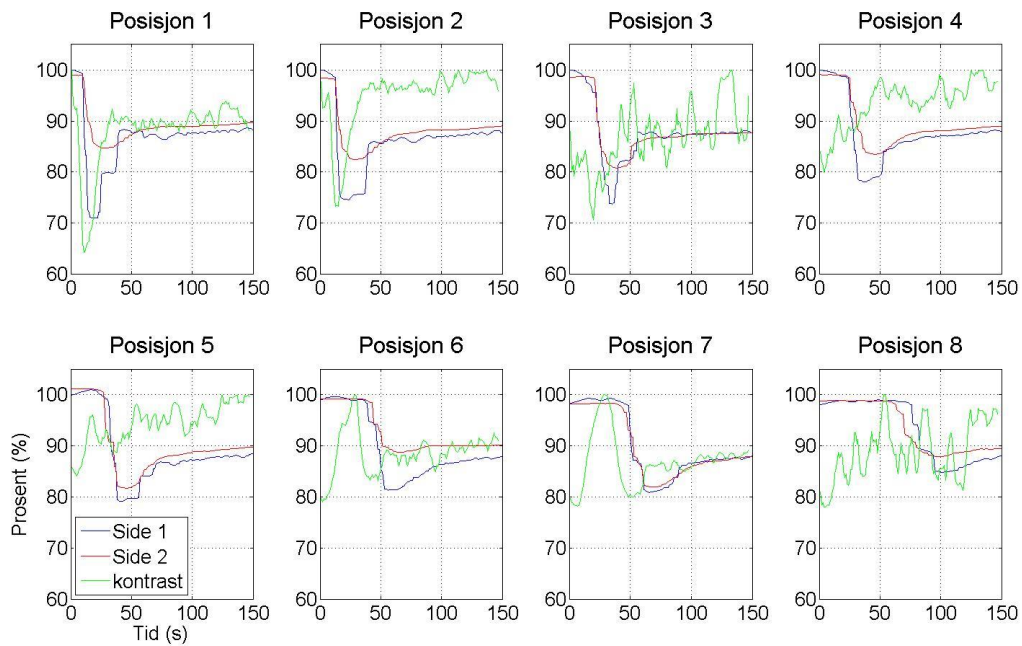


Figur 3.40: Bilder av bolus ved ulike maksimumstider. Tid for maksimum over bildet. Kolonne 1: kontrast, kolonne 2: side 1, kolonne 3: side 2. Rad 1: posisjon 1, rad 2: posisjon 2, rad 3: posisjon 3, osv.

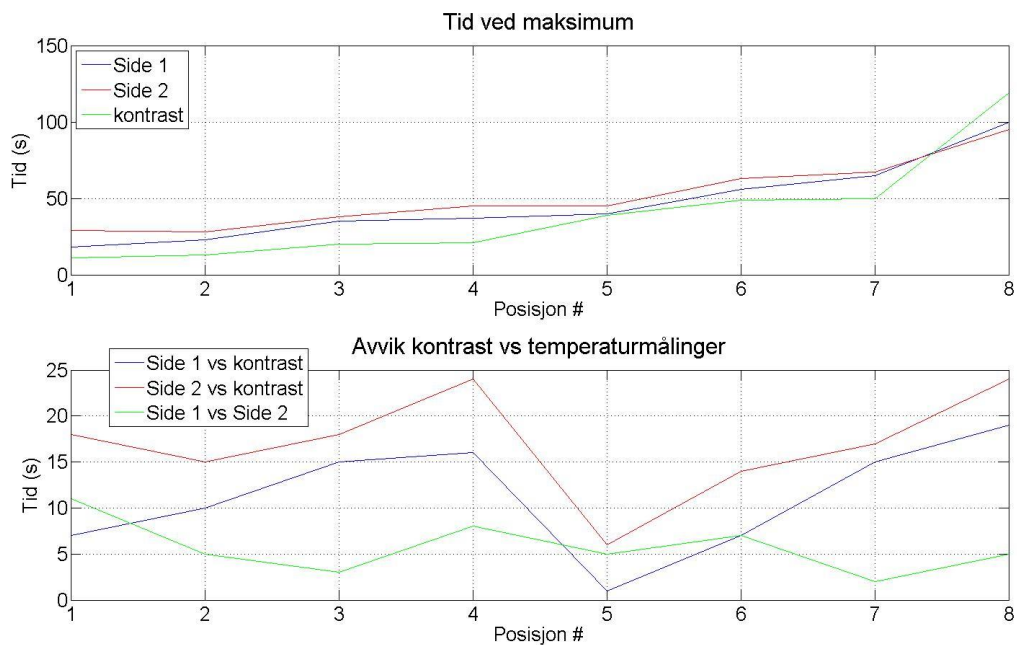


Figur 3.41: Bilder av bolus ved ulike responstider. Tid for respons over bildet. Kolonne 1: side 1, kolonne 2: side 2. Rad 1: posisjon 1, rad 2: posisjon 2, rad 3: posisjon 3, osv.

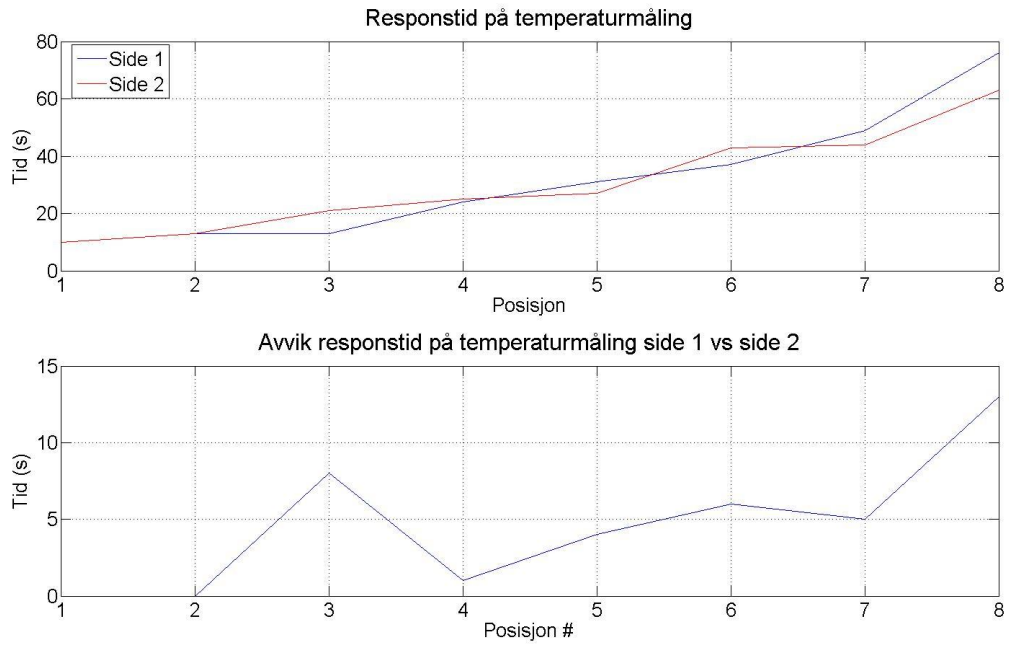
3.6.2 0.9 liter per minutt



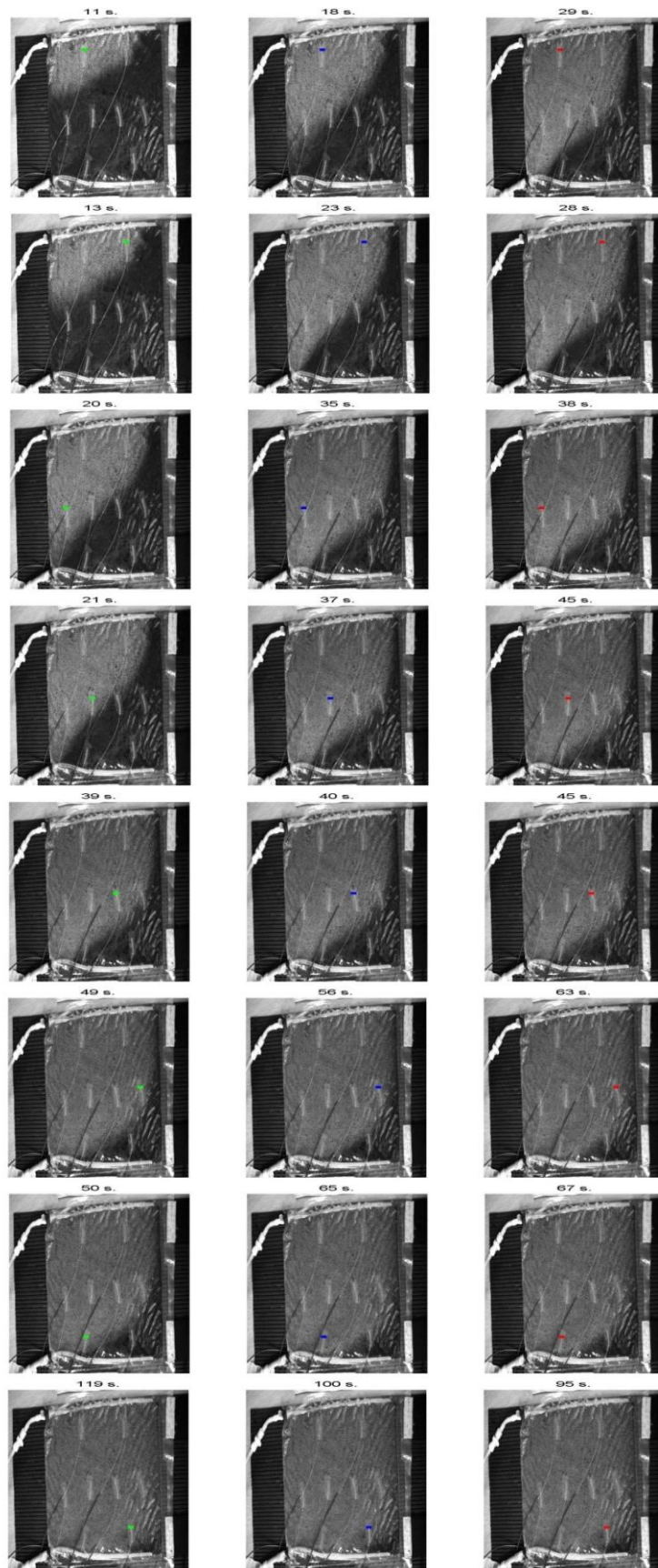
Figur 3.42: Temperaturmålinger og kontrastverdier konvertert til prosent.



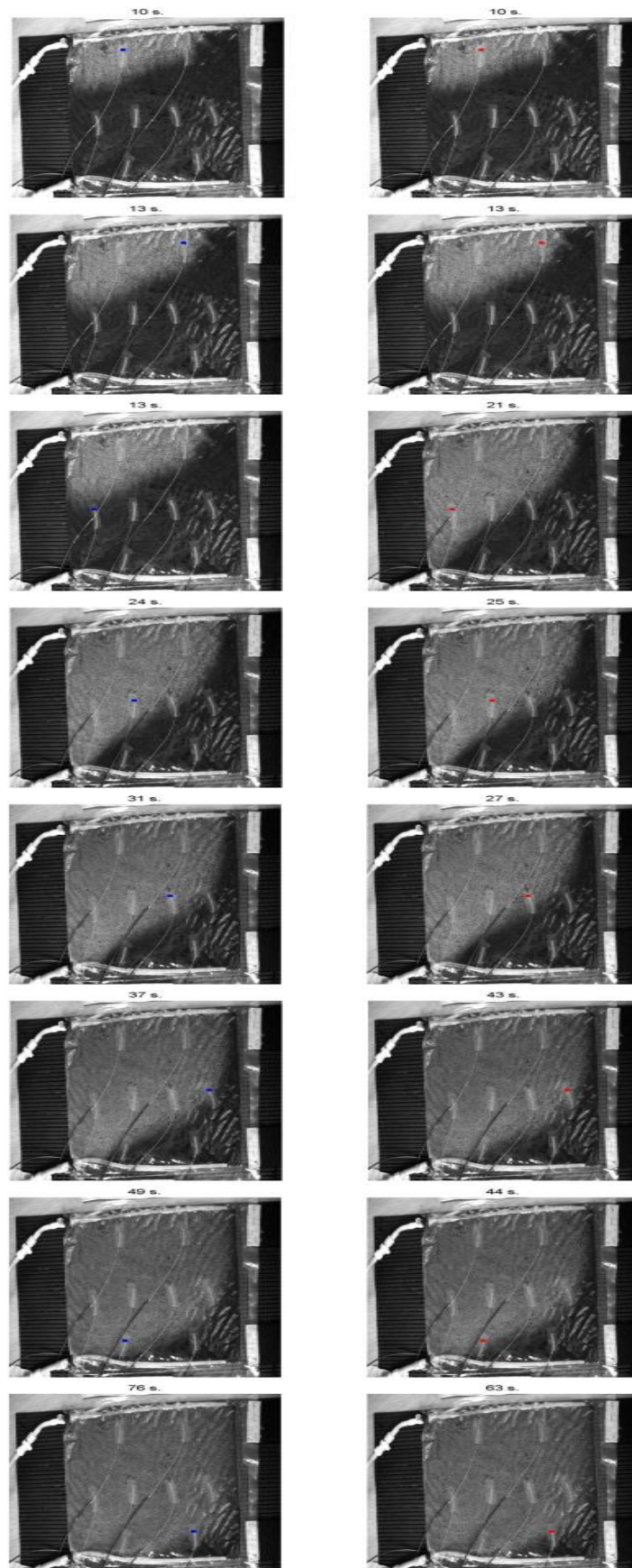
Figur 3.43: Maksimumstid (øverst) og avvik i maksimumstid (nederst).



Figur 3.44: Responstid (øverst) og avvik for responstid mellom side 1 og 2 (nederst).

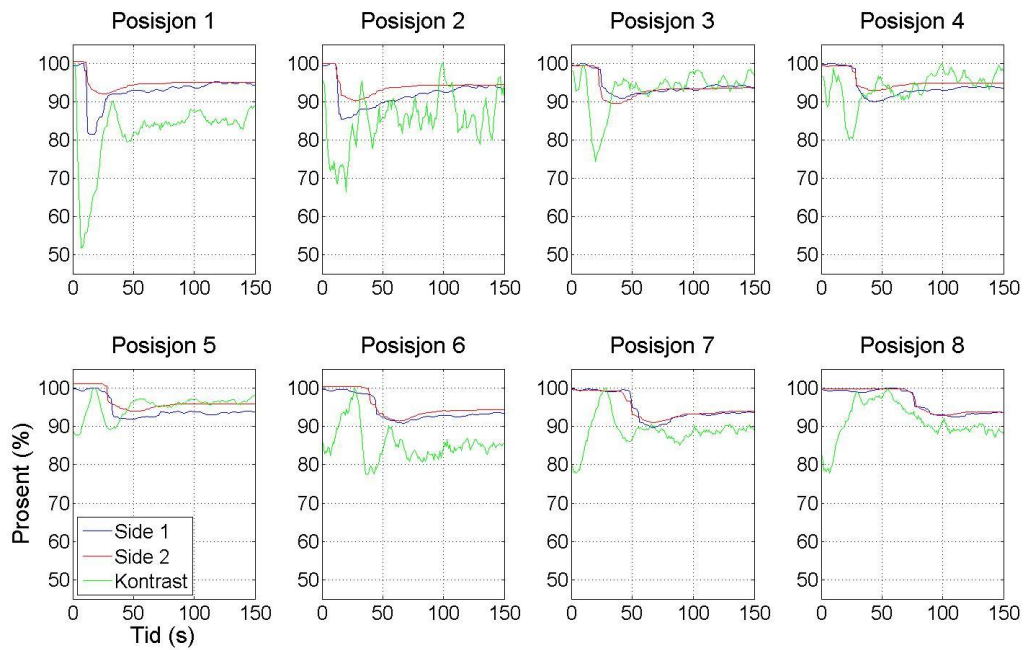


Figur 3.45: Bilder av bolus ved ulike maksimumstider. Tid for maksimum over bildet. Kolonne 1: kontrast, kolonne 2: side 1, kolonne 3: side 2. Rad 1: posisjon 1, rad 2: posisjon 2, rad 3: posisjon 3, osv.

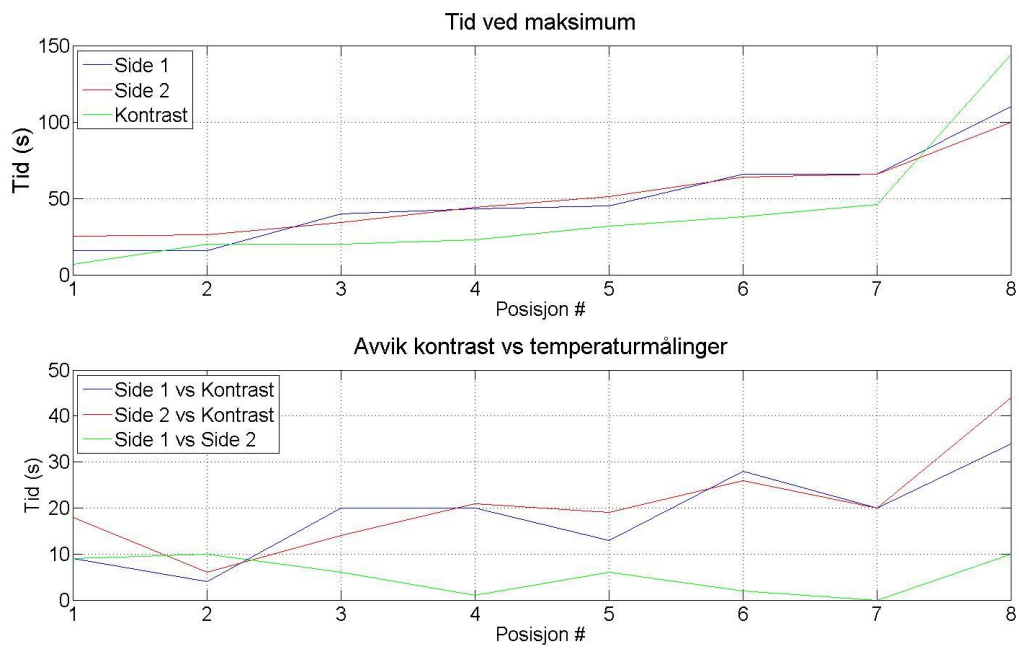


Figur 3.46: Bilder av bolus ved ulike responstider. Tid for respons over bildet. Kolonne 1: side 1, kolonne 2: side 2. Rad 1: posisjon 1, rad 2: posisjon 2, rad 3: posisjon 3, osv.

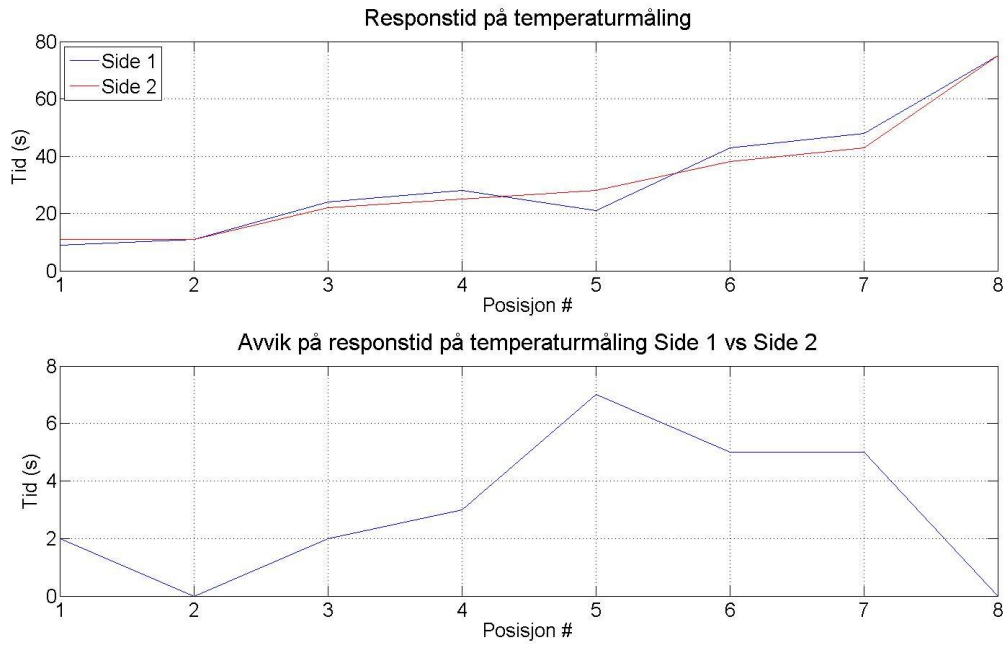
3.6.3 1.5 liter per minutt



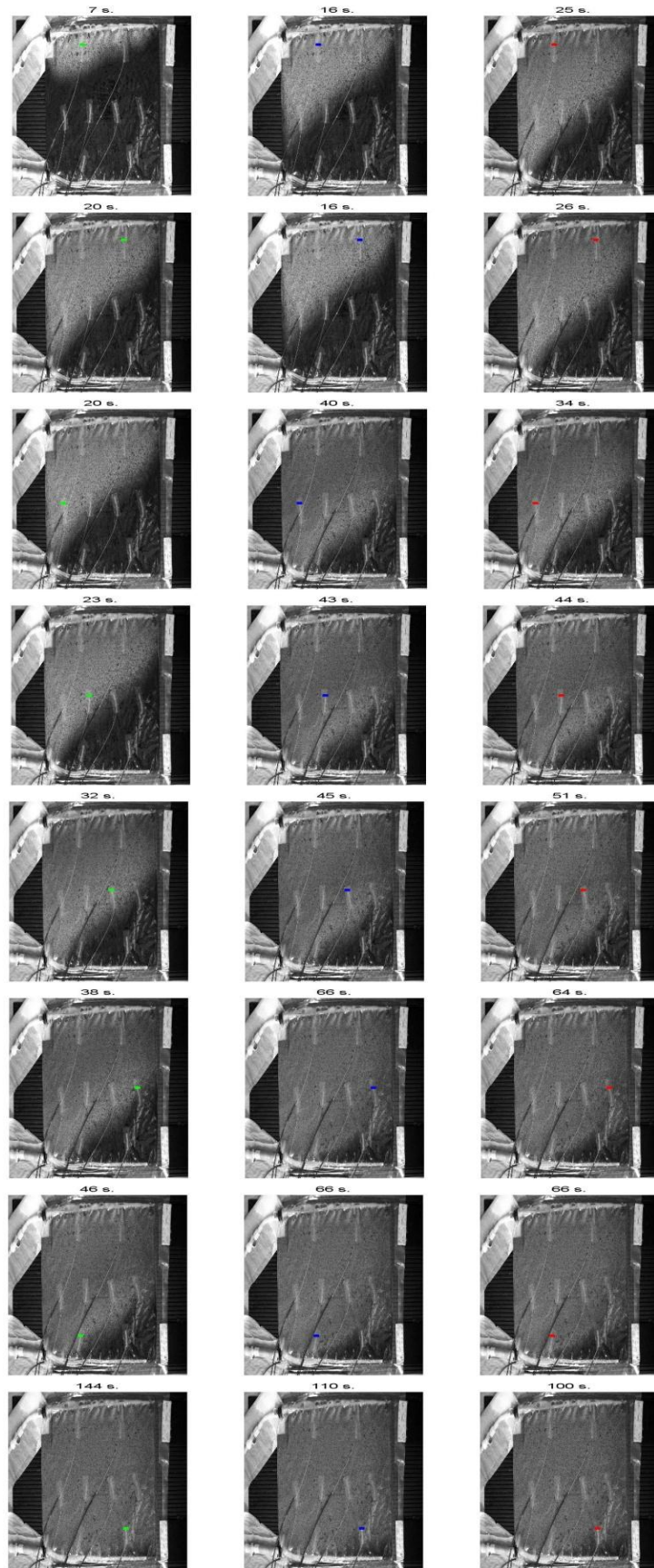
Figur 3.47: Temperaturmålinger og kontrastverdier konvertert til prosent.



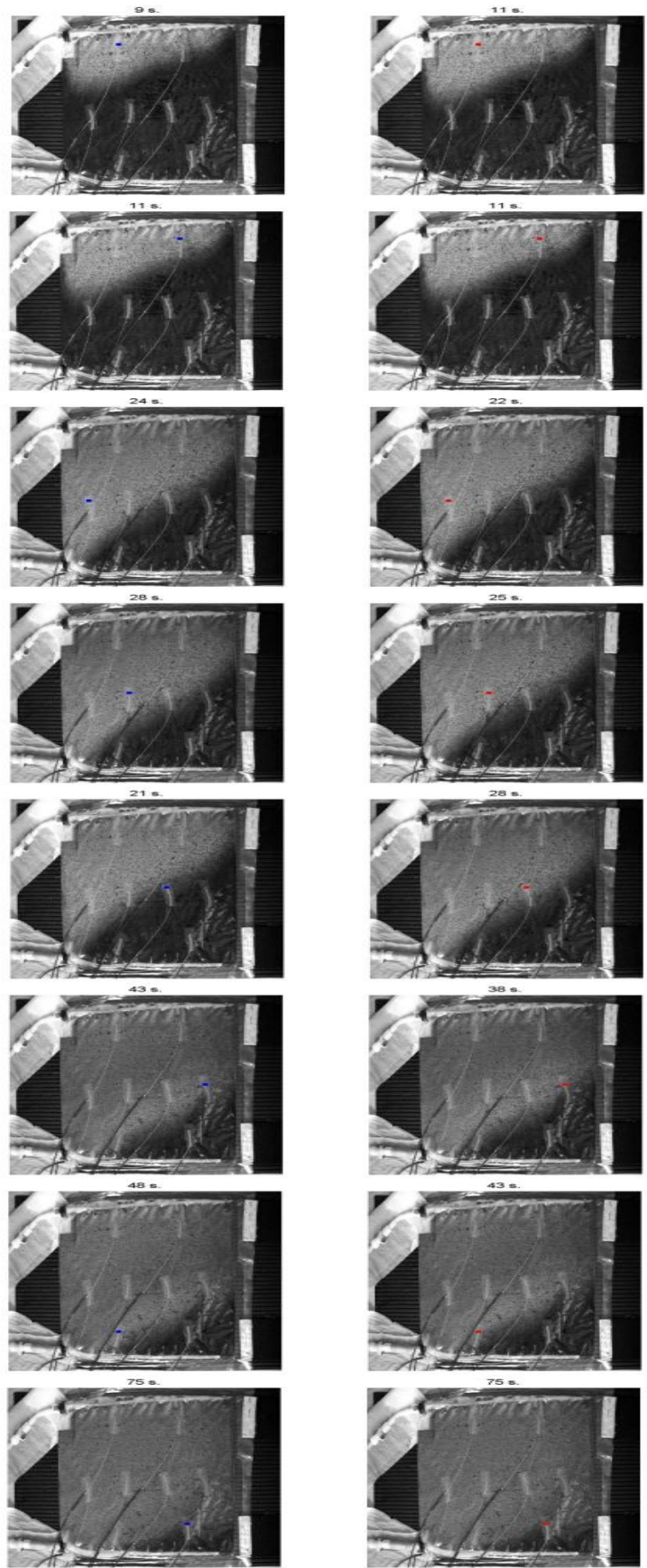
Figur 3.48: Maksimumstid (øverst) og avvik i maksimumstid (nederst).



Figur 3.49: Responstid (øverst) og avvik for responstid mellom side 1 og 2 (nederst).



Figur 3.50: Bilder av bolus ved ulike maksimumstider. Tid for maksimum over bildet. Kolonne 1: kontrast, kolonne 2: side 1, kolonne 3: side 2. Rad 1: posisjon 1, rad 2: posisjon 2, rad 3: posisjon 3, osv.



Figur 3.51: Bilder av bolus ved ulike responstider. Tid for respons over bildet. Kolonne 1: side 1, kolonne 2: side 2. Rad 1: posisjon 1, rad 2: posisjon 2, rad 3: posisjon 3, osv.

4 Diskusjon

4.1 Temperaturmålinger

I de overvåkede punktene økte temperaturen og dannet en topp, maksimumstemperatur, like etter det tilførte vannet nådde det aktuelle punktet. Deretter falt temperaturen ved punktet før det etter hvert stabiliserte seg siden det tilførte vannet med tiden blandet seg helt med det eksisterende vannet i bolusen.

Effektiviteten til bolusen øker når volumflowen øker. For volumflow 0.9 lpm og høyere er det imidlertid ikke store differansene på tidsbruk for gjennomstrømning i bolus. Det vil si at selv om effektiviteten øker med økende volumflow kan funksjonaliteten til en bolus med volumflow 0.9 lpm holde tilnærmet samme standard som en med volumflow 1.5 lpm.

Gjennomstrømningen i bolus er best for kort distanse mellom vanninntak og uttak. Vannet bruker lengre tid på å nå områdene diagonalt fra inntak og uttak, som for eksempel posisjon 2,6 og 8. Grunnen til dette er distribusjonsprinsippet for tygonslangene i bolus. Tygonslangene distribuerer og trekker ut vannet fra like store huller plassert på slangene med ulike intervaller. Hastigheten på distribusjonen og trekket synker per lengdeenhet tygonslange fra vanninntak/uttak. Dette er fordi væskefronten mister kraft for hvert hull den passerer. Hadde imidlertid hullenes intervaller vært enda større eller hullene vært mindre nært vanninntaket og uttaket i forhold til lengre inn i bolusen kunne distribusjonen vært jevnere.

Verdien på maksimumstemperaturene i de ulike posisjonene blir mindre dess lengre bort fra vanninntaket posisjonen er lokalisert. Dette er fordi det tilførte vannet i mindre grad er blandet med det eksisterende vannet i bolusen nær vanninntaket til bolusen. Dermed strekker maksimumstemperaturene tidlig i strømningsfeltet i bolus seg nærmere temperaturen på tilført vann enn senere nært vannuttaket. Dette kan ses i Figur 3.37, Figur 3.38 og Figur 3.37.

Mønster som går igjen i målingene er at temperaturmaksimum for en posisjon som oftest er høyere for side 1 enn for side 2. Imidlertid er type last på sidene og om bolusen er vertikal eller horisontal avgjørende for størrelsen på differansen mellom side 1 og 2, og for sannsynligheten for at side 2 har høyere temperaturmaksimum enn side 1. Bolus med lik last på begge sider har mindre temperaturdifferanse mellom sidene enn ved ulik last. Dette er fordi varmeoverføringskoeffisienten er ulik for ulike medium, men lik last på begge sider av bolus gir lik varmeoverføring for begge sider. Ideelt sett skulle da temperaturreaksjonene på sidene vært helt like, noe den ikke er. Men i forhold til forsøk med ulik last på sidene er differansen mellom sidene merkbart mindre. Differansen som imidlertid eksisterer kan tilskrives at forsøket ikke er i et ideelt miljø.

Det faste mediumet som last, gummimatten, har imidlertid en mye større varmeoverføringskoeffisient i forhold til en gass som luft. Dermed oppstår en kjølede effekt og temperaturen for siden med last gummimatten som last er gjennomsnittlig lavere enn for siden med luft. Prinsippet med varmeoverføring kan vises med Newtons lov for varmeoverføring utenfra:

$\delta E = h * (T - T_0)$, der δE er overføring av energi mellom mediene, h er varmeoverføringskoeffisient og T_0 er temperaturen på omgivelsene [6]. Etter en stund vil $T - T_0$ bli mindre og $\delta E \rightarrow 0$.

Varmeoverføringen forklarer også hvorfor temperaturen på de to sidene går mot hverandre. Det vil foregå en varmeoverføring mellom vannet på de to sidene og differansen mellom temperaturene vil

med tiden utjevnes. I dette tilfellet fungerer det faste mediumet kjølede på bolusen. Hadde derimot bolusen ligget mot hud vil huden som last ført til en varmende effekt på bolusen og bunntemperaturen ville sannsynligvis gjennomsnittlig vært høyere enn temperaturen på toppen av bolusen.

Andre mønster som går igjen er at den gjennomsnittlige temperaturdifferansen mellom sidene øker for økende volumflow, mens den gjennomsnittlige tidsdifferansen for maksimumstemperaturer minker for økende volumflow. Og mens tidsdifferansen for 0.9 lpm og høyere volumflow alltid er relativt stabil og jevn, har 0.3 lpm større sannsynlighet for at enkelte posisjoner har stor tidsdifferanse. Derfor har den også mye høyere gjennomsnittlig tidsdifferanse enn de andre volumflowene. Dette er fordi volumflow 0.3 lpm oftere har for lav hastighet på vannet som strømmer gjennom bolus til at det dannes definerte temperaturmaksimum. Dette gjelder spesielt for posisjoner langt unna vanninntaket og uttaket der det tilførte vannet har rukket å blande seg med det eksisterende vannet i bolusen.

Temperaturen for side 2 er mer stabil enn for side 1 for mindre tidsintervaller. For side 1 hopper den mer mellom verdier. Dette bedres jo lengre bort fra vanninntaket man kommer. Grunnen til dette er at vannfronten ut fra vanninntaket i bolusen er turbulent. Lengre ut i bolusen går den imidlertid over til å bli laminær. Instabiliteten minker dersom begge sidene har lik last.

Plasseres bolusen vertikalt forandres vanngjennomstrømningen gjennom bolusen for laveste volumflow, 0.3 lpm. For horisontalt plasserte boluser er de tregeste posisjonene 6 og 8. Posisjon 2 er den tredje tregeste og en god del raskere enn 6 og 8. For vertikalt plasserte boluser forandres dette. Der er posisjon 2 den tregeste med posisjon 8 og 6 som henholdsvis den andre og tredje tregeste, og en god del raskere enn posisjon 2. Den vertikale bolusen er også generelt raskere for posisjoner nært vannuttaket av bolusen enn horisontale.

Bare ett forsøk er gjort av vertikal bolus. Det er av vertikal bolus med vanninntak horisontalt langs bolusens øverste kant. Resultater fra forprosjektet til denne mastergradsoppgaven, " Eksperimentell studie av termo-fluidale egenskaper til bolus for bruk innen hypertermisk behandling av brystkreft" [16] viser at vanngjennomstrømningen gjennom vertikal bolus er ulik for ulike plasseringer av vanninntak og uttak. Når resultatene i denne oppgaven viser at området rundt posisjon 2 er området med dårlig vanngjennomstrømning, er det ikke gitt at resultatet ville vært det samme for andre posisjoneringer av bolusen vertikalt.

I følge teorien skulle temperaturmålingene for side 1 i forsøk 4 vise det samme som temperaturmålingene for side 2 i forsøk 1 og 2, og målingene for side 2 skulle vise det samme som målingene for side 1 i forsøk 1 og 2. Dette fordi forsøk 4 og forsøk 1 og 2 hadde like typer laster men plassert omvendt på bolusen. Side 2 burde derfor ha hatt en tydelig høyere maksimumstemperatur for alle posisjoner enn side 1. Dette er ikke tilfellet. Grunnen er at forsøket ikke er tilstrekkelig likt forsøk 1 og 2. I forsøk 1 og 2 lå bolusen plant på en gummimatte. I forsøk 4 lå bolusen tilnærmet plant på snører medbiter av gummimatten oppå sensorene. På grunn av gravitasjon og at bolusen ikke ligger fullstendig plant i forsøk 4 er kontaktflaten mellom bolusen og gummien dårligere i forsøk 4 enn i forsøk 1 og 2. Dermed vil ikke varmeoverføringen mellom last og bolus være like stor i forsøk 4, og resultatet blir ulikt fra forsøk 1 og 2.

4.2 Temperaturmålinger vs kontrastvæske

På grunn av refleksjon i bolusen ble deteksjonen av kontrastverdiene for kontrastvæsken noe ustabil.

Tidsdifferansen for temperaturmaksimum respons mellom side 1 og side 2 er relativt liten for volumflow 0.9 lpm og over. Den ligger under 10 sek. Differansene for 0.3 lpm kan ligge opp mot 40 sek. Den visuelle kontrasten i bolus har generelt en raskere maksimumstid enn temperaturmålingene.

Bildene av bolus ved de detekterte maksimums- og responstider viser at temperaturmålingene og kontrastdeteksjonen ikke korrelerer med visuell maksimum- og responstid av kontrastvæske. Visuelt ville det vært naturlig å angi responsen som ytterste visuelt detekterbare grense for kontrastvæskefronten i bolus. For temperaturmaksimum ville det vært naturlig å definere den som den hviteste grensen i kontrastvæskefronten, der kontrastvæsken er maksimalt blandet med eksisterende vann i bolus og væsken i bolus er på sitt hviteste. Som det kan ses på Figur 3.40-41-45-46-50-51, korrelerer ikke disse visuelle definisjonene av maksimum og respons med de målte resultatene.

Grunnen til dette for temperaturmålingene er tykkelsen til PVC-overflaten på bolusen. Disse har en tykkelse på noen mm, og derfor tar det tid før temperaturforandringer overføres gjennom materialet. Hadde temperaturen kunne blitt målt inne i bolusen i stedet for på utsiden, eller med infrarød temperaturmåling, ville korrelasjonen mellom temperaturmålinger og det visuelle blitt mer nøyaktig. En utregning av forsinkelsen hadde også vært mulig for å kunne detektere den egentlige gjennomstrømningen bedre.

4.3 Utstyr og forsøk

Siden ethernet-tilkoblingen var så ustabil ble varigheten på enkelte forsøk noe kortere enn ønsket. For de høyere gjennomstrømningshastighetene over 0.9 lpm var det tilstrekkelig med 5-10 minutters forsøk, men for hastighetene under 0.9 lpm var 5-10 minutter forsøk noe kort. Da fortrinnsvis for målepunktene lengst borte fra vanninntaket til bolusen siden fullstendig temperaturreaksjonen fra tilført væske i disse punktene noen ganger ikke ble registrert i sin helhet. Men dette er ikke lagt vekt på under analysen av resultatene da det er tilstrekkelig data å analysere.

Manuell registrering av starttid for flere observasjonsinstrumenter og sensorpar som ikke er fullstendig normalt på hverandre gjør at det er usikkerhet knyttet til resultatene. Det er ukjent hvor mye en forskjell på 5 mm mellom sensorparene utgjør i tidsdifferanse mellom parene, men usikkerheten for starttiden for målingene er bare omtrent 1 sekund.

Annen unøyaktighet i målingene er at temperatursensorene ligger utenpå bolusen og ikke inne i. Derfor vil sensorene ha en ukjent forsinkelse i forhold til vanngjennomstrømningen.

4.4 Videre arbeid

Forsøkene i dette prosjektet er gjort med en rektangulær bolus. Nyere og bedre utgaver av boluser enn denne som nå er testet er lagd. Der har de blant annet tatt hensyn til at en rektangulær bolus er dårlig tilpasset en menneskekropp og det er derfor laget vester som er spesielt tilpasset torso, boluser med L-form. I tillegg har de tatt hensyn til at Tygon-slanger for å distribuere væsken i bolusen fungerer relativt dårlig. Den har begrenset fleksibilitet til å følge konturer og liggende løs i bolusen

kan den skifte posisjon ved bevegelse. Derfor er nyere boluser laget med vannkanaler som er forseglet ved varmebehandling.

Videre arbeid innenfor dette feltet kunne være å gjøre disse forsøkene med en L-formet bolus. L-formet bolus er en nyere utgave enn rektangulær bolus, og den er mer praktisk ved at den er bedre formet etter kroppen. Siden den har en annen form og en annen plassering av vanninntak og uttak vil det være spennende å sammenlikne vanngjennomstrømningen i den bolusen sammenliknet med en rektangulær bolus. Det vil også kunne være spennende å gjøre forsøk med bolusene der temperaturen ble overvåket av et infrarødt varmekamera, og å monitorere effekten fra varmeroverføring fra hud.

Forbedringer som kunne bedre vanngjennomstrømningen i den rektangulære bolusen er å lage større distanse mellom hullene nært inngangen og mindre distanse mellom hullene langt fra inngangen. Den rektangulære bolusen er allerede konstruert med forskjellige intervaller mellom hullene i Tygon-slangen desto lengre distansen til inngangen til bolusen er. Balansen mellom væskedistribusjonen nært og langt fra inngangen til bolusen kunne imidlertid vært bedret om dette ble gjort. Et annet alternativ til er å lage mindre hull nært inngangen og større hull lengre borte fra inngangen. Videre kunne tygon-slangene i bolus blitt erstattet med vannkanaler forseglet ved varmebehandling for å hindre endring av posisjon for vannkanalen inn i bolusen og for å øke fleksibiliteten på bolusen.

Noe annet som kunne bedre gjennomstrømningen er å ha 2 (eller flere) væskeinntak. Ved væskeinntak både ovenfra og ned langs sidekanten og nedenfra og opp langs samme sidekant med væskestrømning mot hverandre i tygon-slangen ville man sannsynligvis kunne forhindre dårlig og ikke-eksisterende trykk ut fra slangen. Det samme kunne vært praktisert ved uttrekket fra bolusen da man har muligens ville kunnet forhindre områder i slangen uten trekkraft. Et annet alternativ til flere væskeinntak er å plassere væskeinntakene normalt på Tygon-slangen. For eksempel ville 2 slike væskeinntak være plassert ved $\frac{1}{4}$ lengde og $\frac{3}{4}$ lengde av Tygon-slangen. De to inntakene ville hatt hvert sitt slangeintervall på $\frac{1}{2}$ slange å fordele væske på, der de to halve intervallene er plassert på hver side av inntaket.

5 Konklusjon

Dette prosjektet har fokusert på egenskapene til en rektangulær vannbolus, som er den del av en kombinasjonsapplikator for hypertermi i kreftbehandling. Hensikten til prosjektet er å skaffe bedre kunnskap om bolusens egenskaper og dens konstruksjon, og da spesielt med tanke på dens termofluidale egenskaper gjennom analyse av videosekvenser hvor kontrastvæske anvendes. Dette korreleres mot punktemperaturmålinger basert på fiberoptiske sensorer.

Forsøk på bolusen viste at økende volumflow gir bedre vanddistribusjon i bolusen. Forskjellene er imidlertid ikke store for volumflow 0.9 lpm og høyere, noe som vil si at egenskapene for bolus med volumflow 0.9 lpm kan holde tilnærmet samme standard som en med volumflow 1.5 lpm. Økende volumflow gir også bedre korrelasjon mellom sidene på bolus i forhold til tiden brukt på å distribuere vannet, men det gir dårligere korrelasjon mellom temperaturene på de to sidene av bolus.

Der er store forskjeller i vanddistribusjonen mellom de ulike områdene i bolus. Området fra posisjon 1 til posisjon 7 er det mest effektive med best distribusjon, mens området fra posisjon 2 til 8 er det minst effektive. Områder med best gjennomstrømning vil ha best effekt av tilført vann med en annen temperatur. Gjennomstrømningen kunne vært bedret med flere vanninntak og/eller bedre utnyttelse av tygon-slangene i som distribuerer vann i bolus. For eksempel kunne distansene mellom hullene som distribuerer vannet ut fra slangen vært større nært vanninntaket og uttaket og mindre lengre bort fra vanninntak og uttak.

Hvilken type last bolusen har på sidene har mye å si for hvordan temperaturen inne i bolusen reagerer. Last i form av gass, som luft, påvirker ikke temperaturen inne i bolusen i like stor grad som et fast medium som for eksempel gummi eller hud. Faste stoffer vil ha en kjølede eller varmende effekt på temperaturen på vannet inne i bolusen. På samme måte vil bolusen ha en kjølede effekt på huden. Denne effekten er imidlertid mest effektiv om bolusen har en høyest mulig kontaktflate med mediumet.

De fleste forsøkene gjort i dette prosjektet er gjort på horisontal bolus. I bruk har imidlertid bolus sitt virke i vertikal tilstand. Det ene vertikale forsøket viser at vandgjennomstrømningen forandres om bolusen er vertikal i forhold til horisontal. Forprosjektet til denne oppgaven viste at gjennomstrømningen i bolus er ulik for ulike vertikale posisjoner.

Sammenlikning mellom temperaturmålinger og bilder av bolus med kontrastvæske i viser en tilnærmet konstant forsinkelse. Temperatursensorene reagerer stort sett alltid senere enn det som visuelt kan ses på bolusen. Dette er imidlertid misvisende da sensorene måler temperaturen på utsiden av bolusen og ikke inne i. Det kan derfor antas at kontrastvæskefronten ved målte temperaturmaksimum egentlig ligger noen sekund foran.

Det er en del usikkerhet forbundet med nøyaktigheten til forsøkene. Spesielt i forhold til den absolutte verdien på temperaturmålingene og tiden for temperaturmaksimum. Imidlertid fokuserer ikke prosjektet på absolutt temperaturverdi, og da er det tilstrekkelig at de relative temperaturverdiene er nøyaktige.

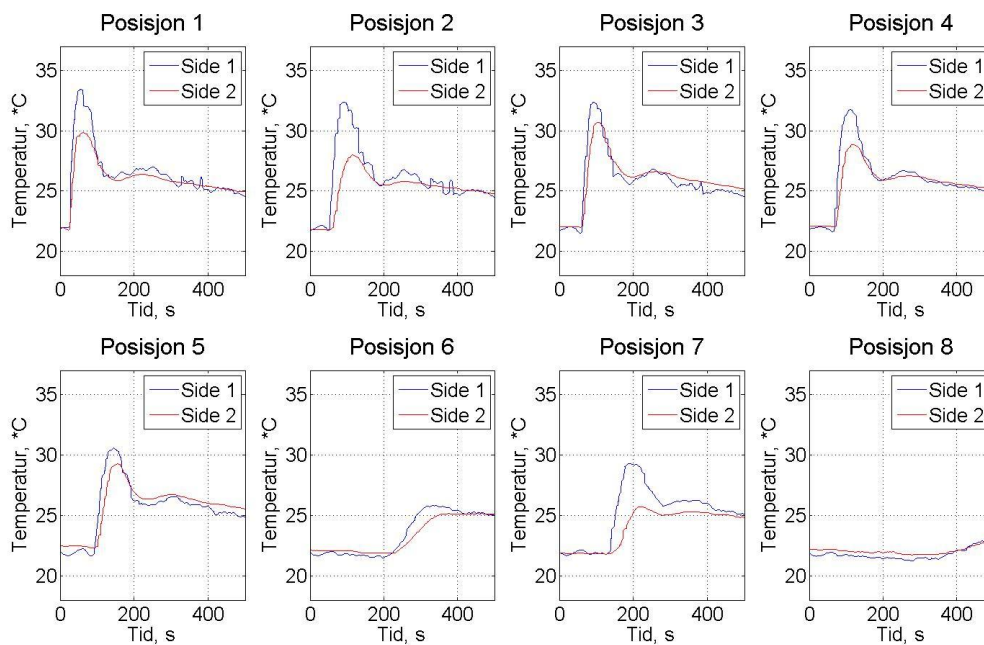
Videre arbeid med dette temaet kunne vært å gjøre samme type forsøk som i denne oppgaven på en L-formet bolus. Et slikt forsøk kunne blitt utvidet med å måle temperatur med infrarødt varmekamera eller infrarøde temperatursensorer for begge bolusene.

A Vedlegg: Resultater

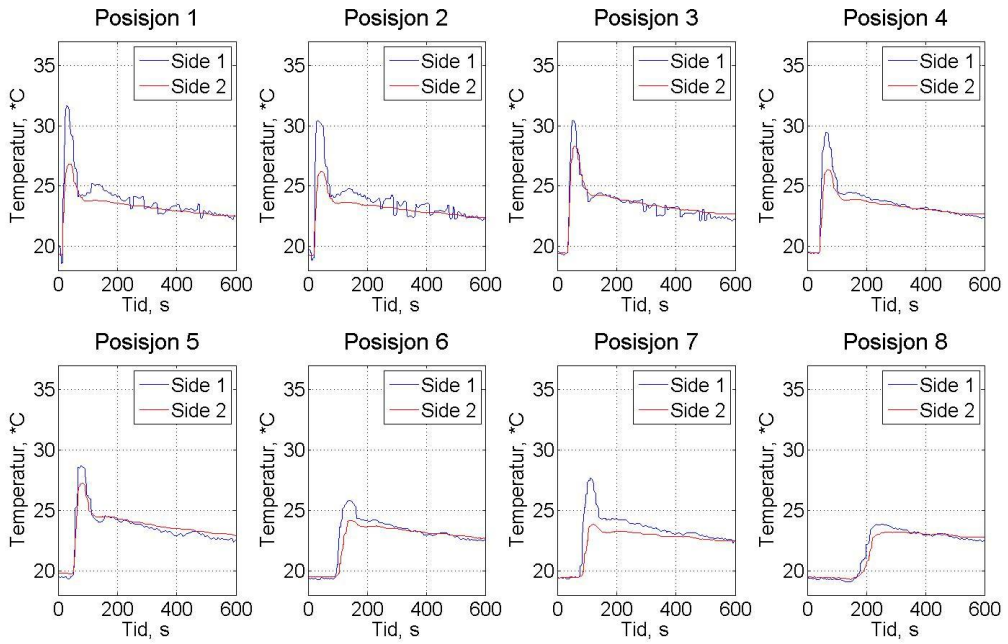
A.1 Forsøk 1: Temperaturmålinger, luft som last på side 1 vs fast medium som last på side 2

Tabell A.1: Temperatur på eksisterende og tilført vann i bolus.

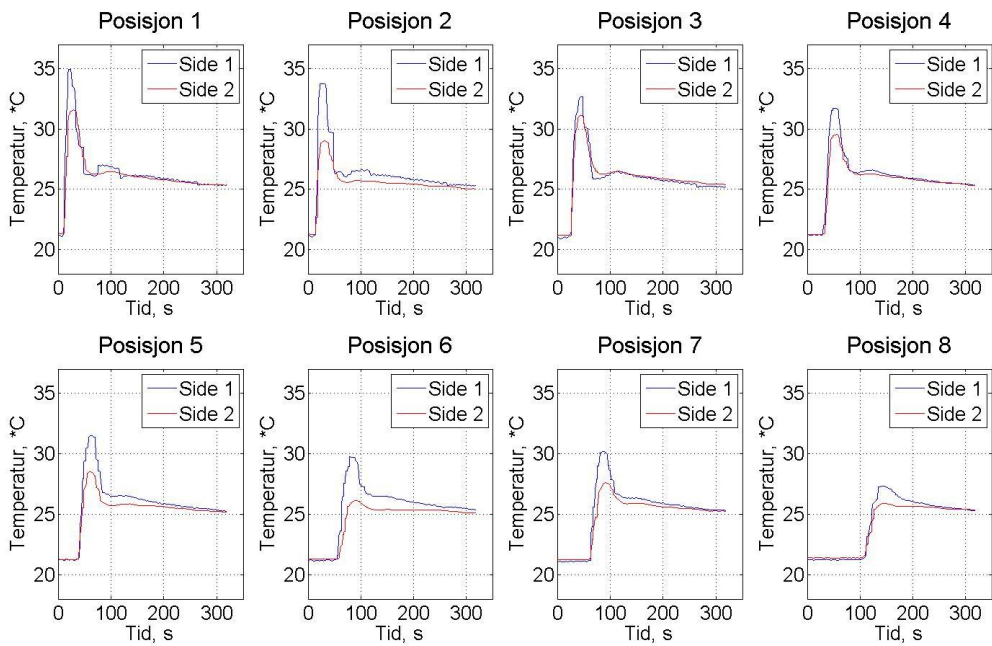
Volumflow (lpm)	Starttemperatur vann i bolus (°C)	Temperatur tilført vann, ca 3dl (°C)
0.3	22.5	45.4
0.6	19.6	41.5
0.9	21.5	45.7
1.2	21.5	42.2
1.5	21.7	43.5



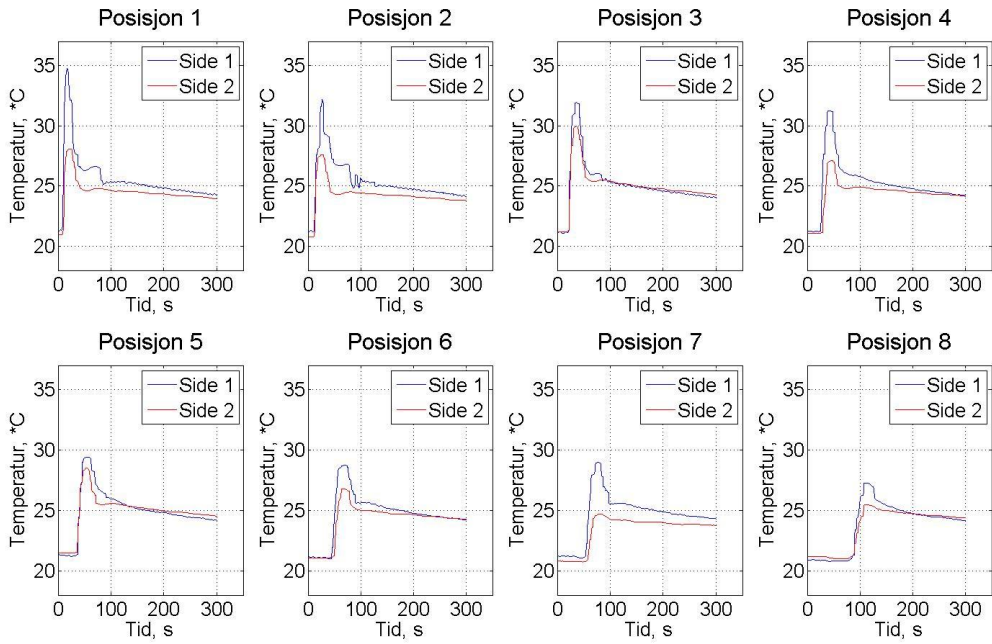
Figur A.1: Volumflow = 0.3 lpm.



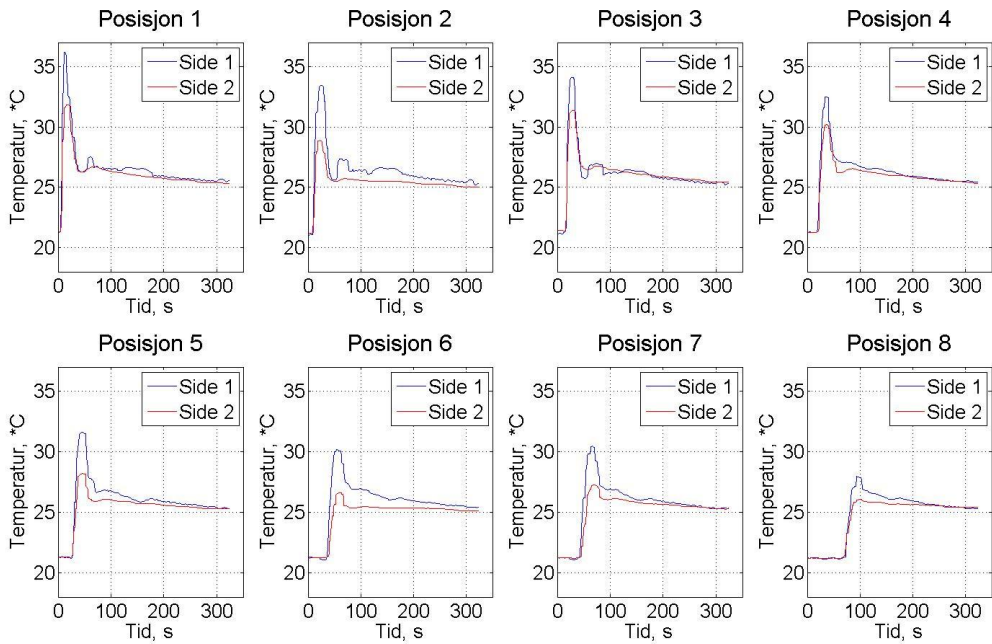
Figur A.2: Volumflow = 0.6 lpm.



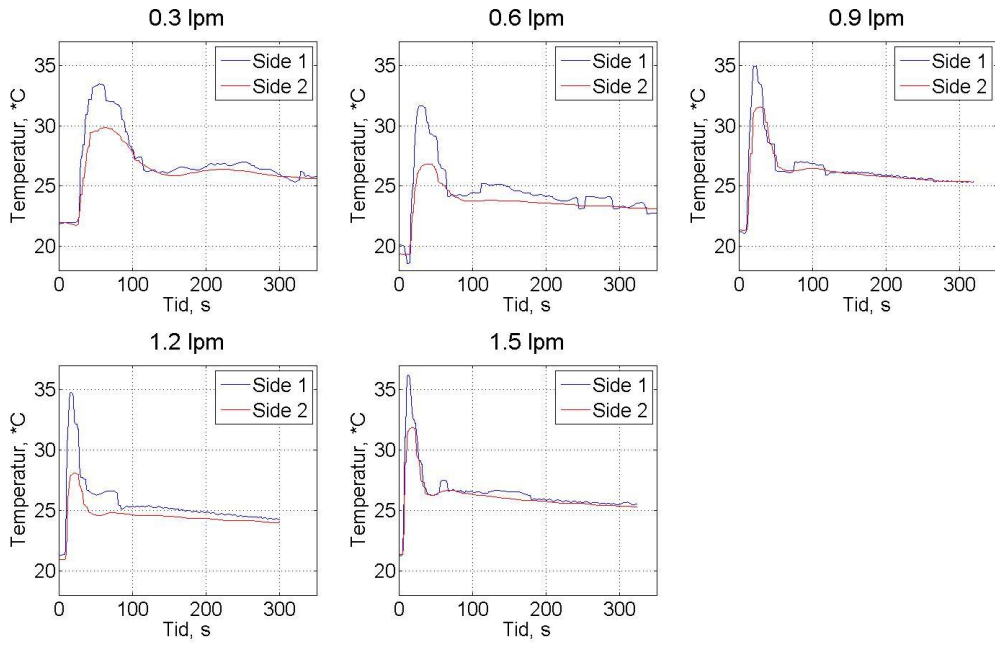
Figur A.3: Volumflow = 0.9 lpm.



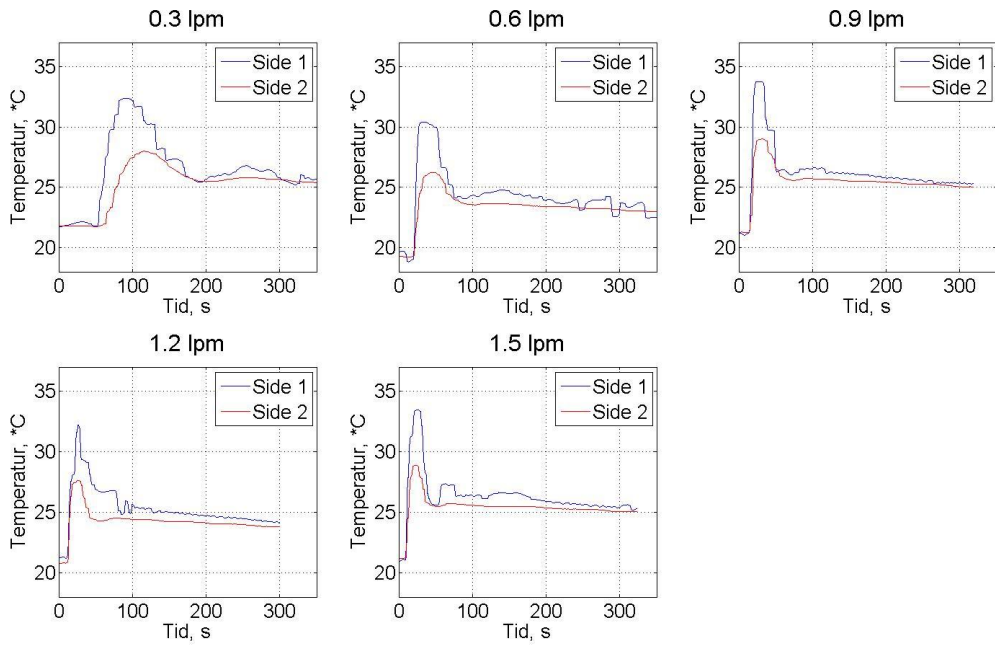
Figur A.4: Volumflow = 1.2 lpm.



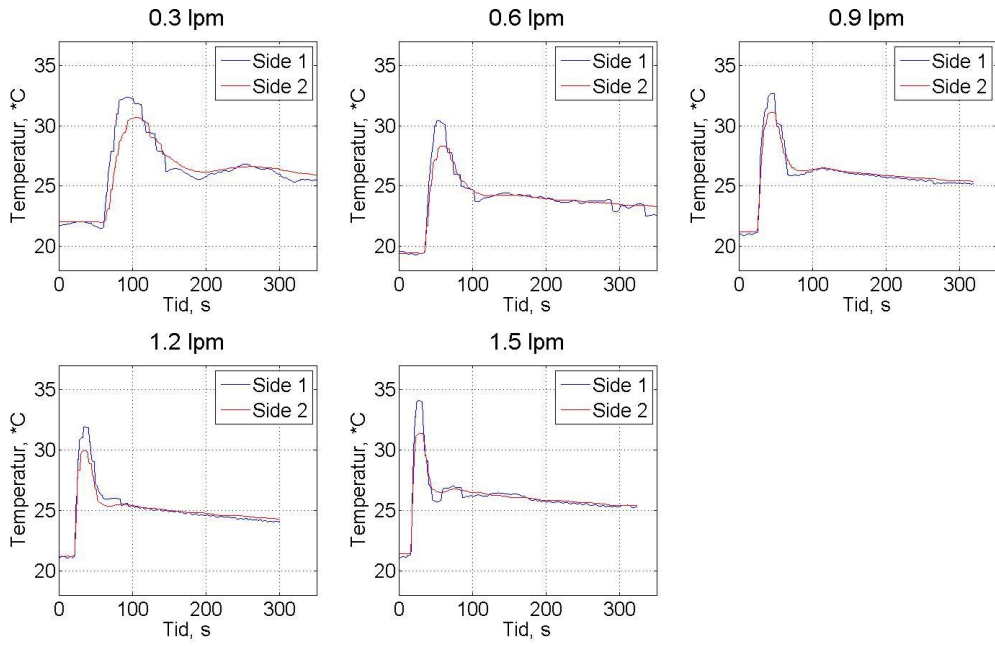
Figur A.5: Volumflow = 1.5 lpm.



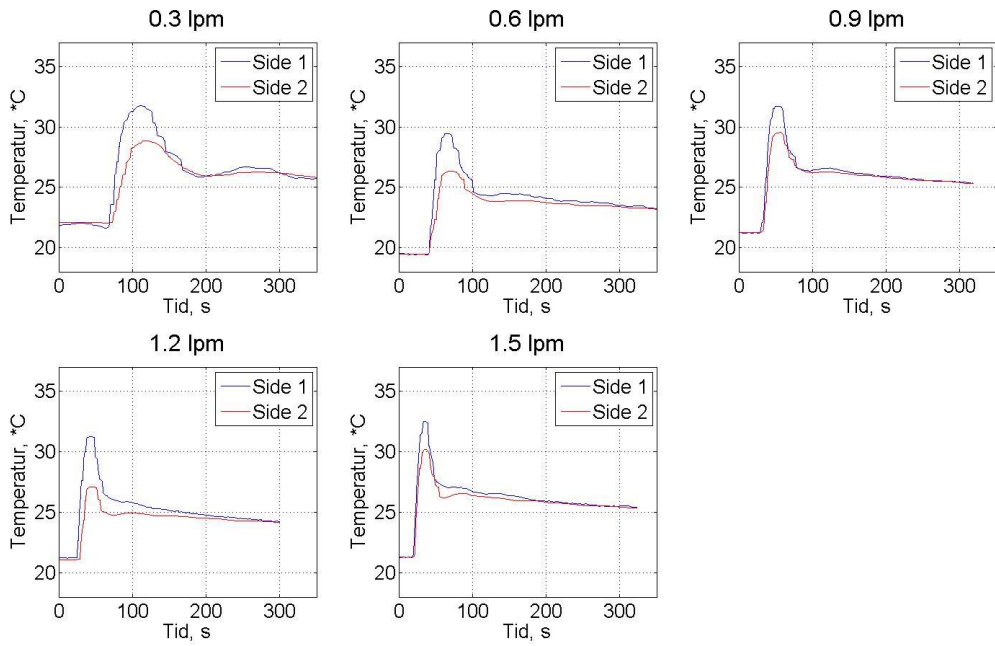
Figur A.6: Posisjon 1.



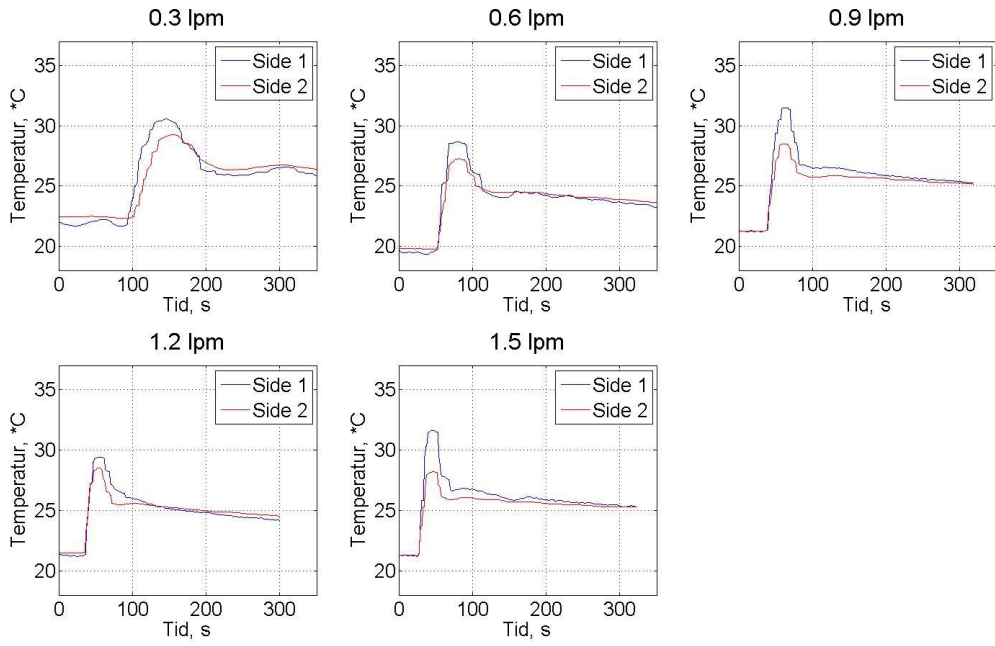
Figur A.7: Posisjon 2.



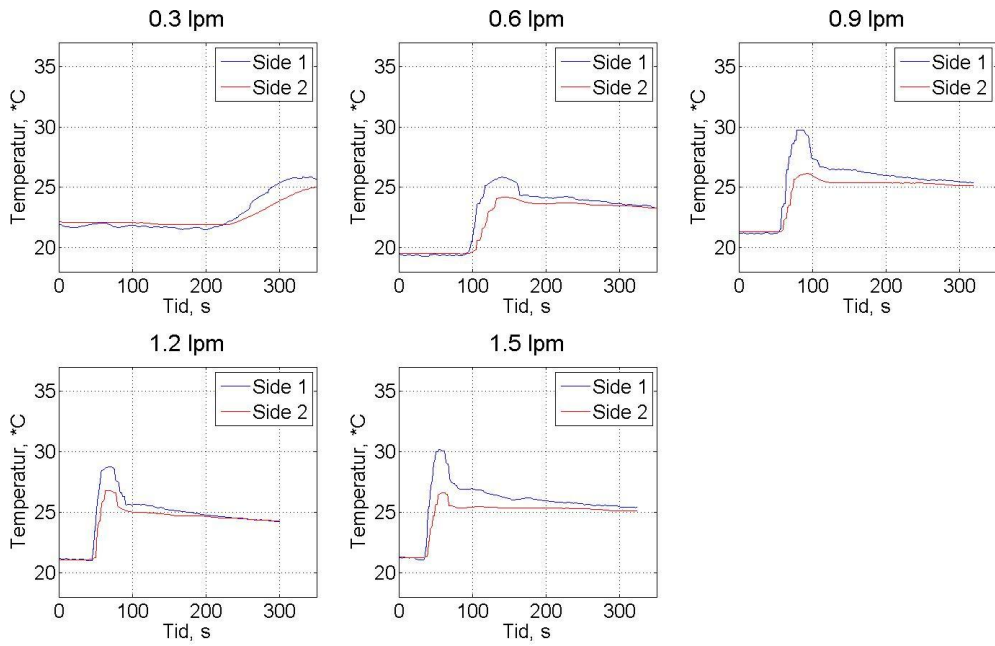
Figur A.8: Posisjon 3.



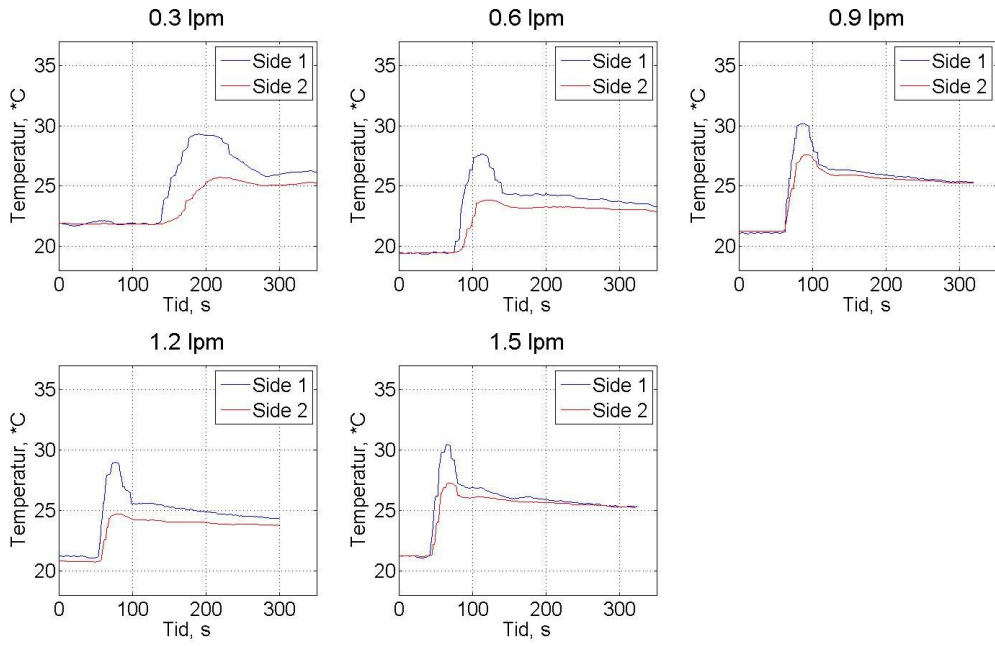
Figur A.9: Posisjon 4.



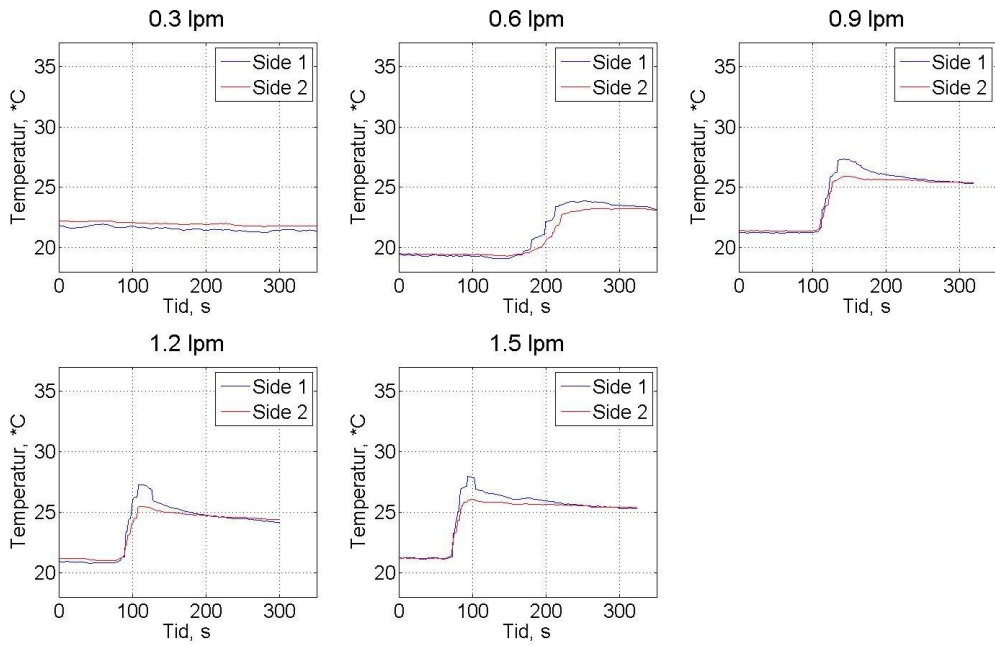
Figur A.10: Posisjon 5.



Figur A.11: Posisjon 6.



Figur A.12: Posisjon 7.



Figur A.13: Posisjon 8.

A.2 Forsøk 2: Temperaturmålinger, som forsøk 1 med mindre vann i bolus

Tabell A.2: Temperatur på eksisterende og tilført vann i bolus.

Volumflow (lpm)	Starttemperatur vann i bolus (°C)	Temperatur tilført vann, ca 3dl (°C)
0.3	21.7	44
0.9	21.6	44.8
1.5	21	45.1

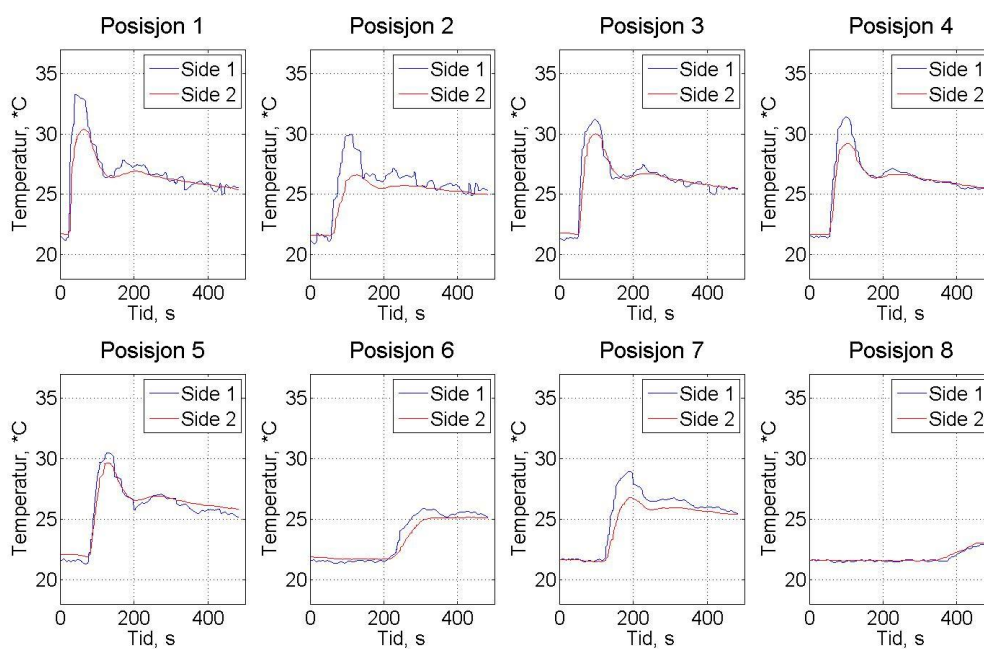


Figure 1: Volumflow = 0.3 lpm.

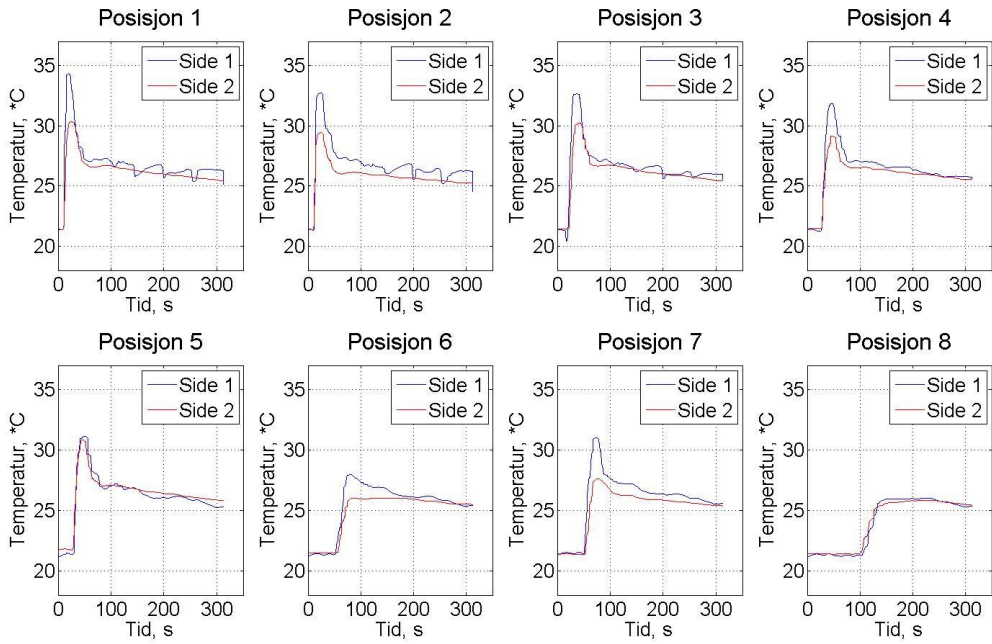


Figure 2: Volumflow = 0.9 lpm.

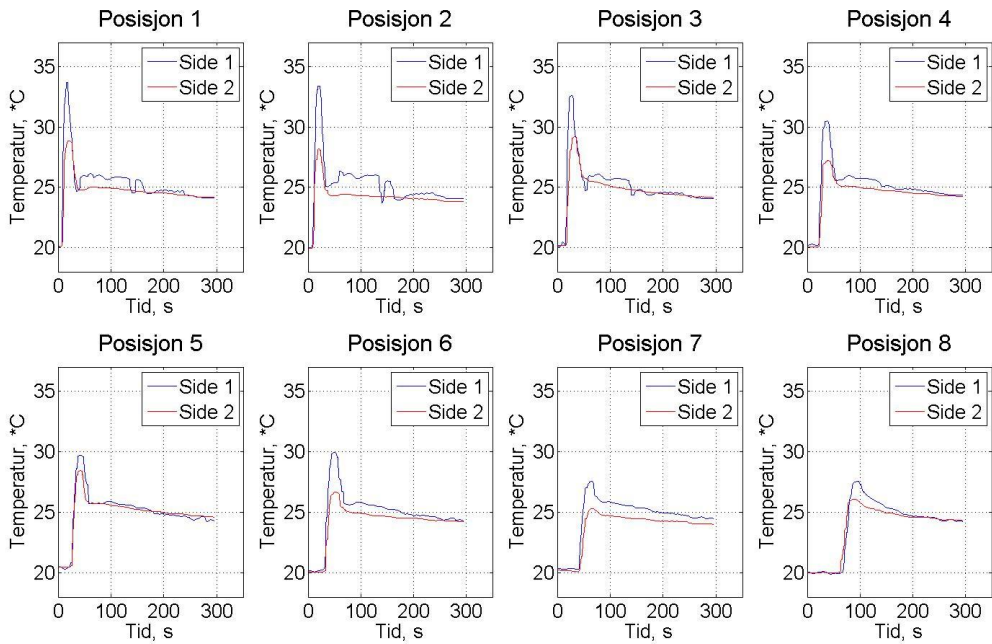
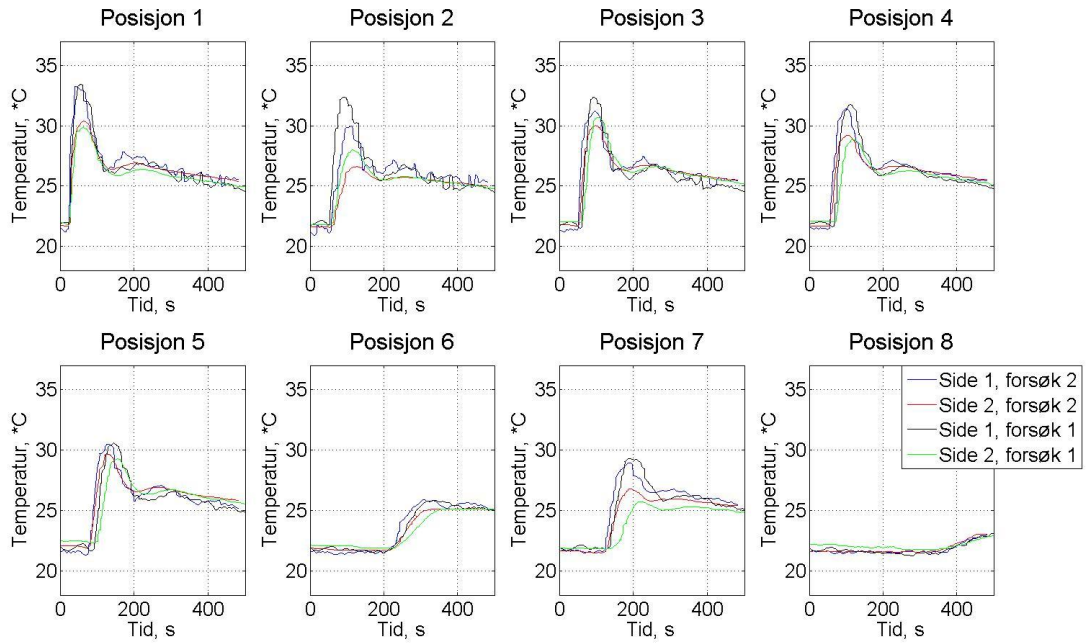
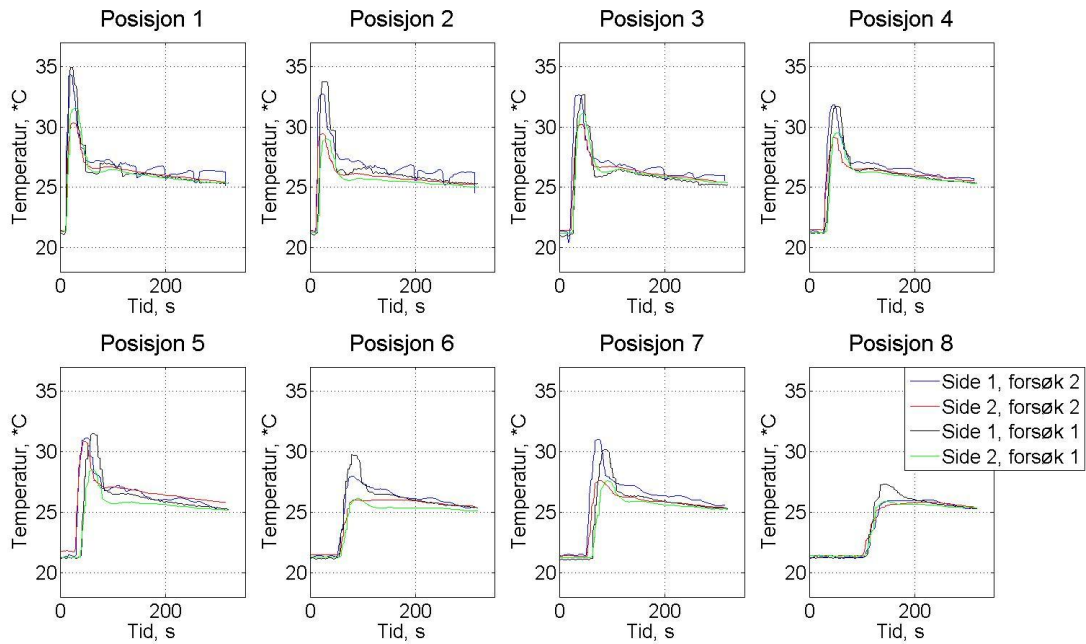


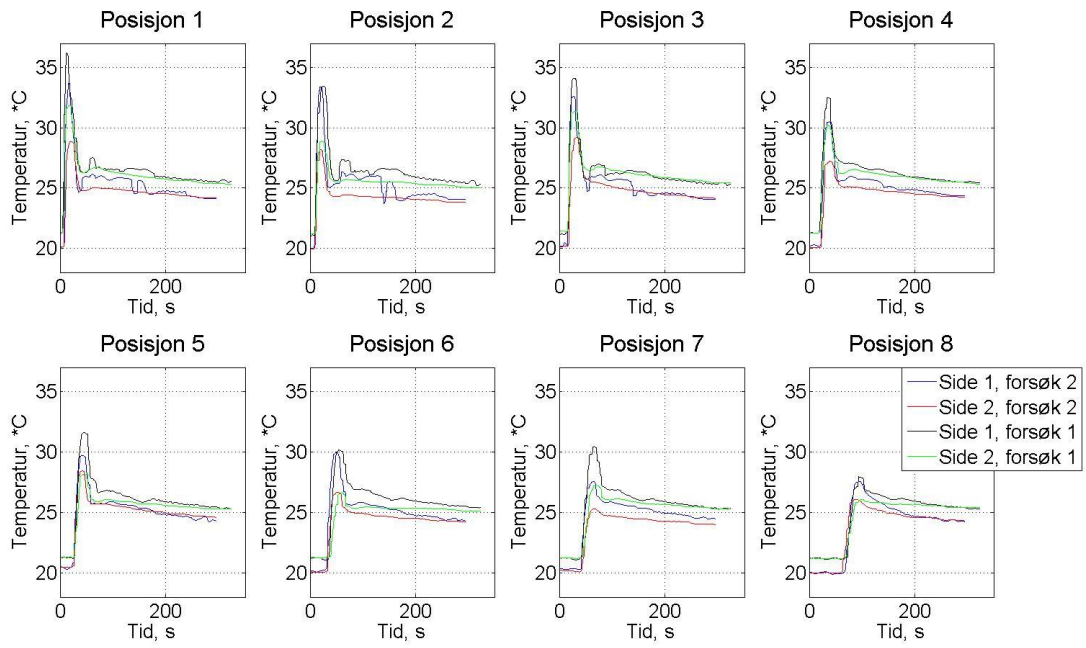
Figure 3: Volumflow = 1.5 lpm.



Figur A.14: Sammenlikner forsøk 1 og 2. Volumflow = 0.3 lpm.



Figur A.15: Samme som **Figur A.14**. Volumflow = 0.9 lpm.

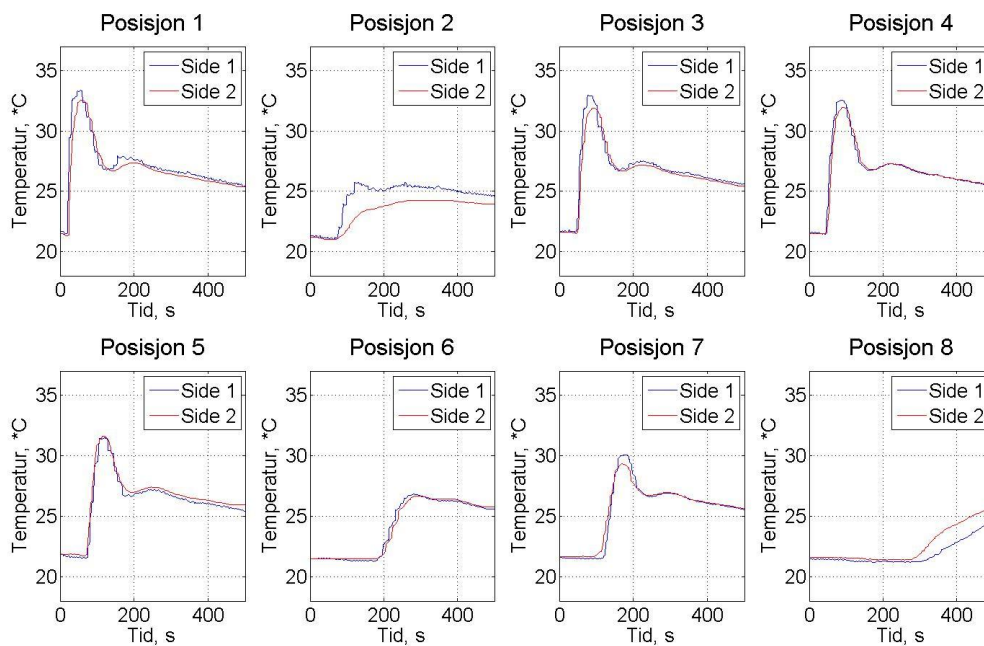


Figur A.16: Samme som Figur A.14. Volumflow = 1.5 lpm.

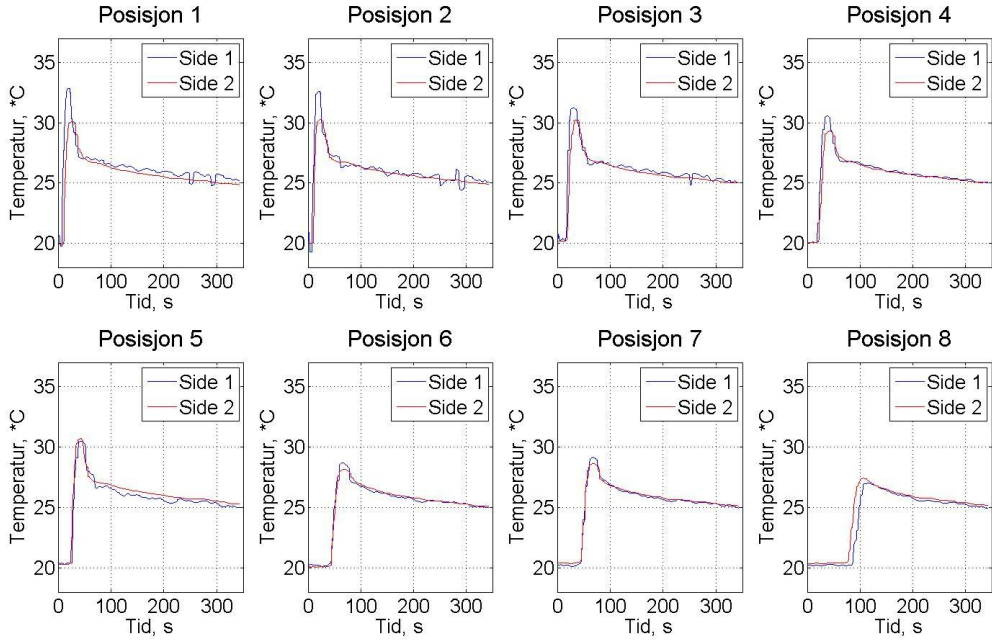
A.3 Forsøk 3: Temperaturmålinger, luft som last på begge sider av bolus

Tabell A.3: Temperatur på eksisterende og tilført vann i bolus.

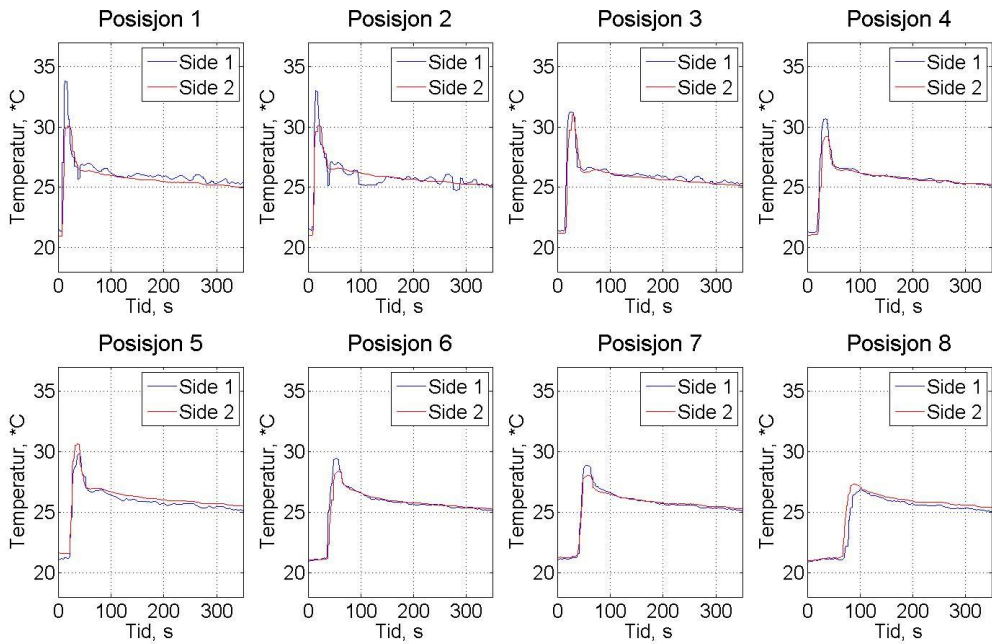
Volumflow (lpm)	Starttemperatur vann i bolus (°C)	Temperatur tilført vann, ca 3dl (°C)
0.3	22.1	42.8
0.9	20.3	42.6
1.5	21.9	42.7



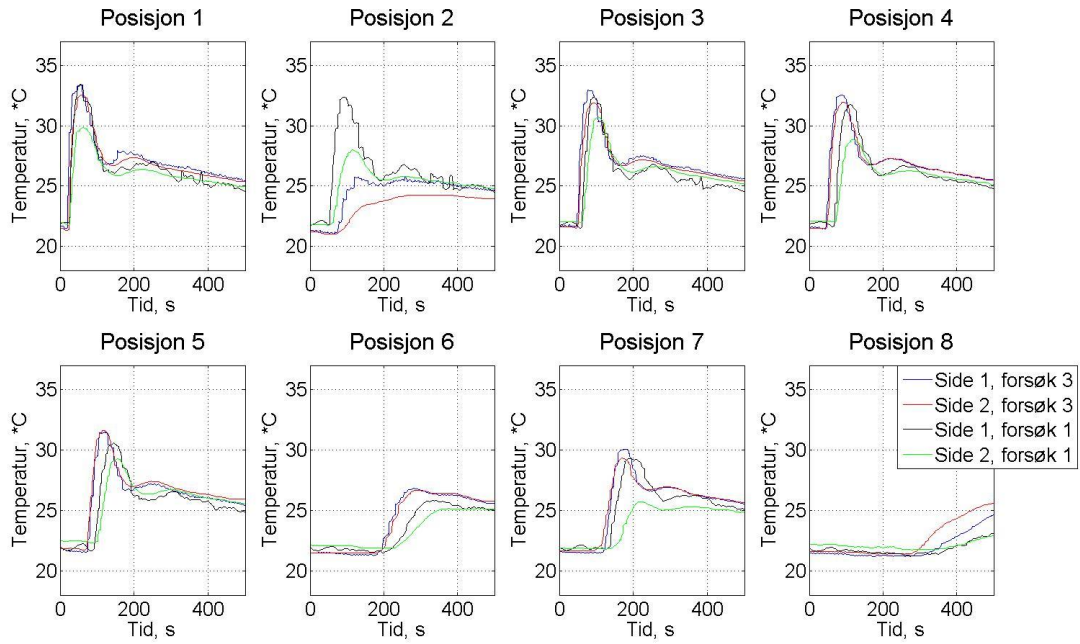
Figur A.17: Volumflow = 0.3 lpm.



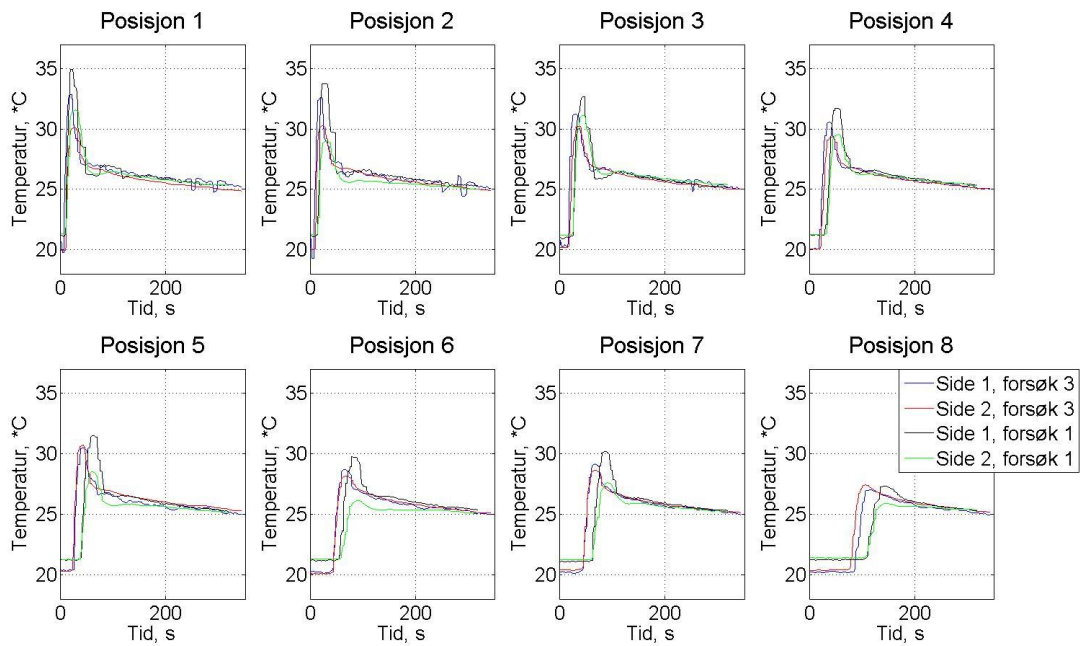
Figur A.18: Volumflow = 0.9 lpm.



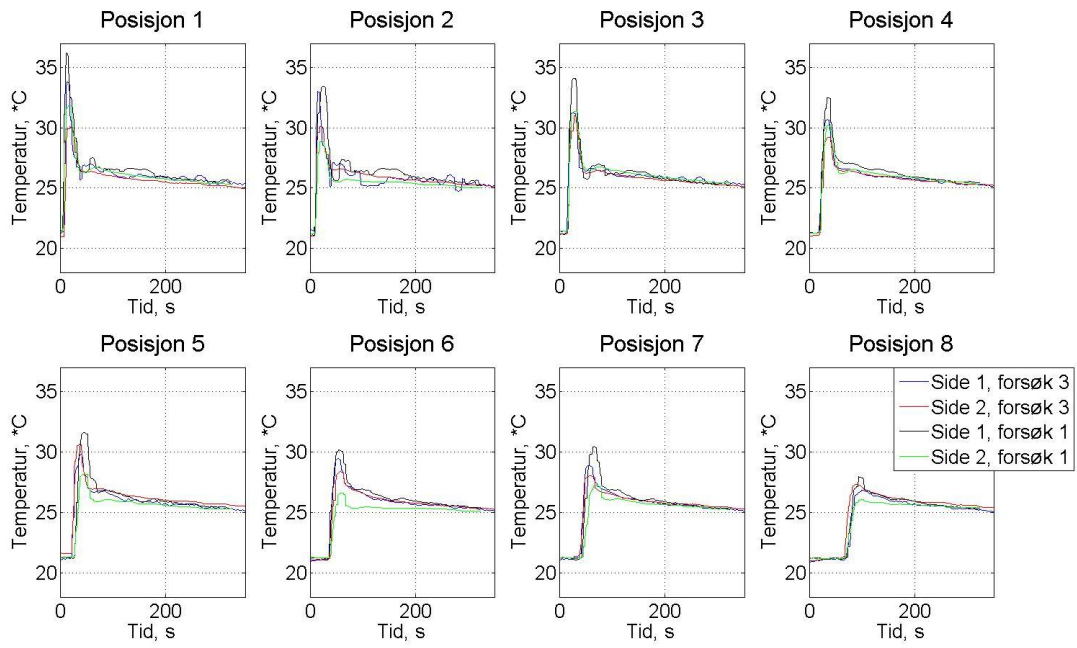
Figur A.19: Volumflow = 1.5 lpm.



Figur A.20: Sammenlikner forsøk 1 og 3. Volumflow = 0.3 lpm.



Figur A.21: Samme som Figur A.20. Volumflow = 0.9 lpm.

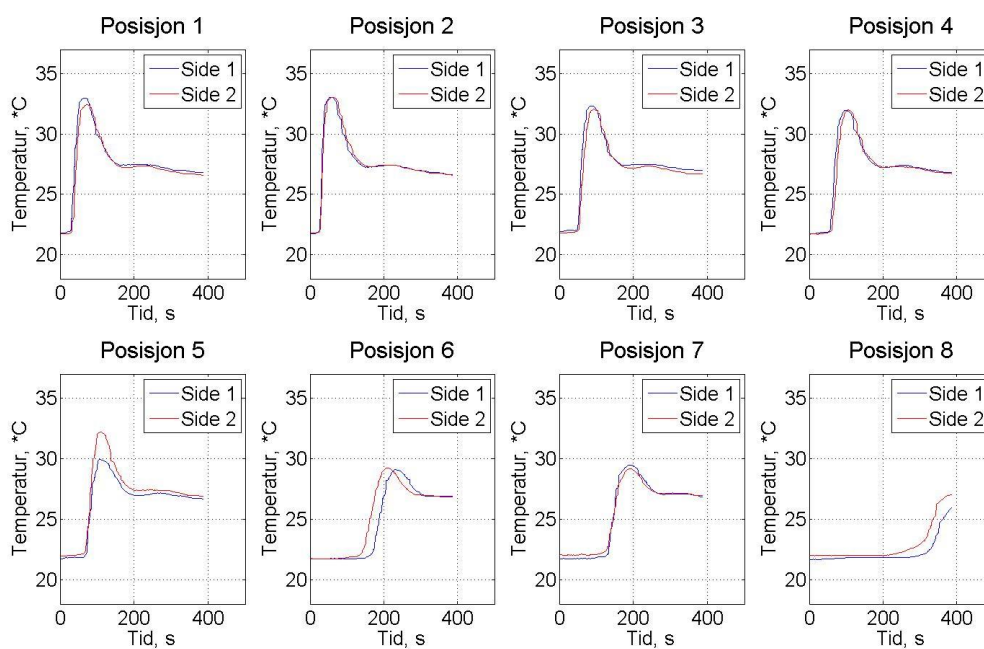


Figur A.22: Samme som Figur A.20. Volumflow = 1.5 lpm.

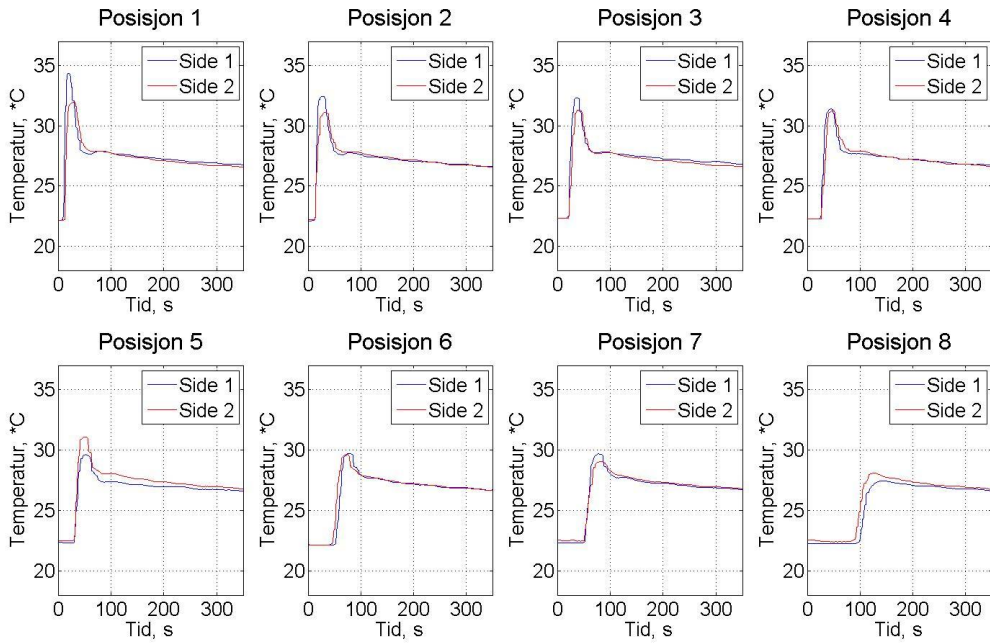
A.4 Forsøk 4: Temperaturmålinger, fast medium som last på side 1 og luft som last på side 2

Tabell A.4: Temperatur på eksisterende og tilført vann i bolus.

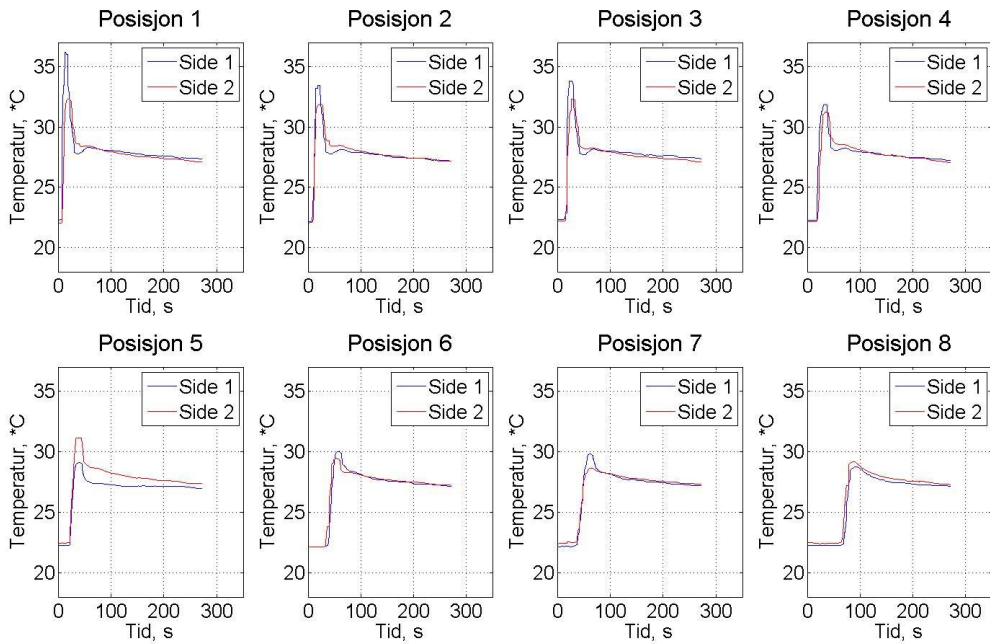
Volumflow (lpm)	Starttemperatur vann i bolus (°C)	Temperatur tilført vann, ca 3dl (°C)
0.3	21.6	43.8
0.9	22.2	42.6
1.5	22	44.5



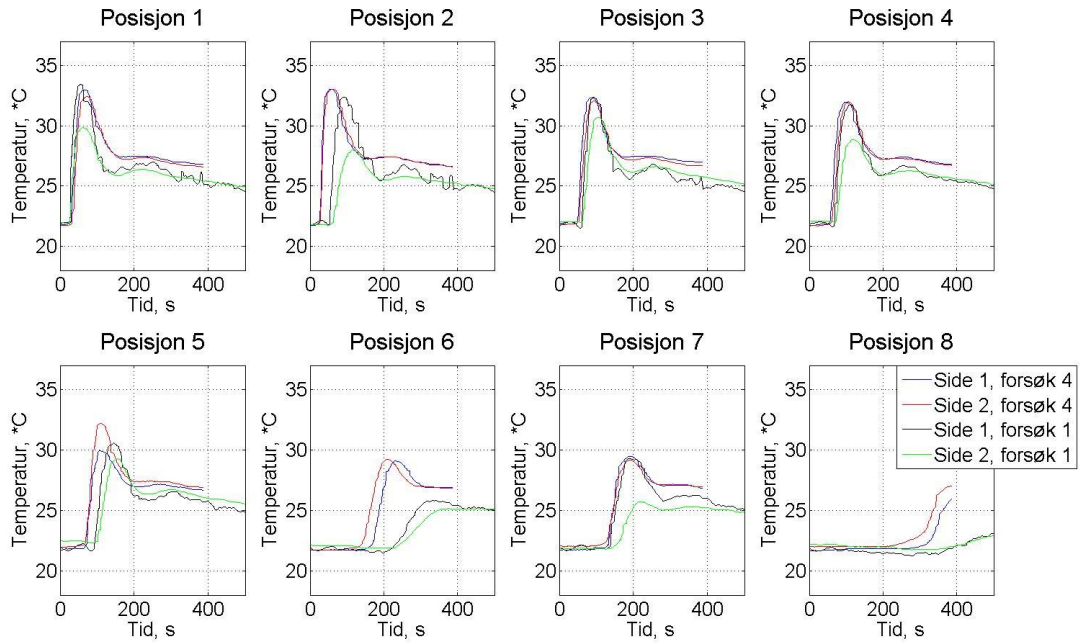
Figur A.23: Volumflow = 0.3 lpm.



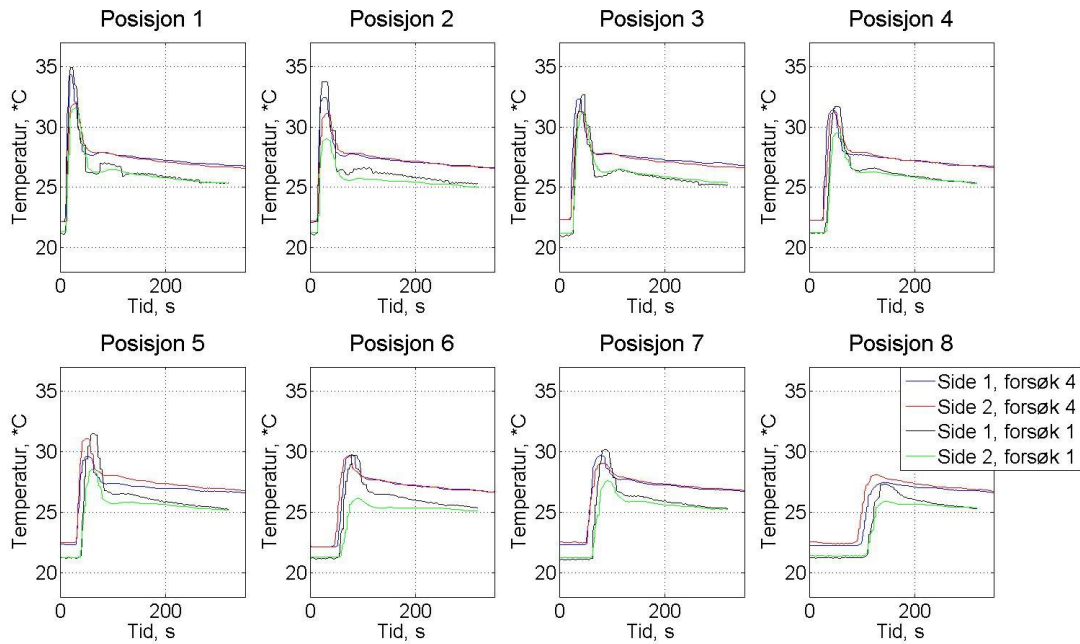
Figur A.24: Volumflow = 0.9 lpm.



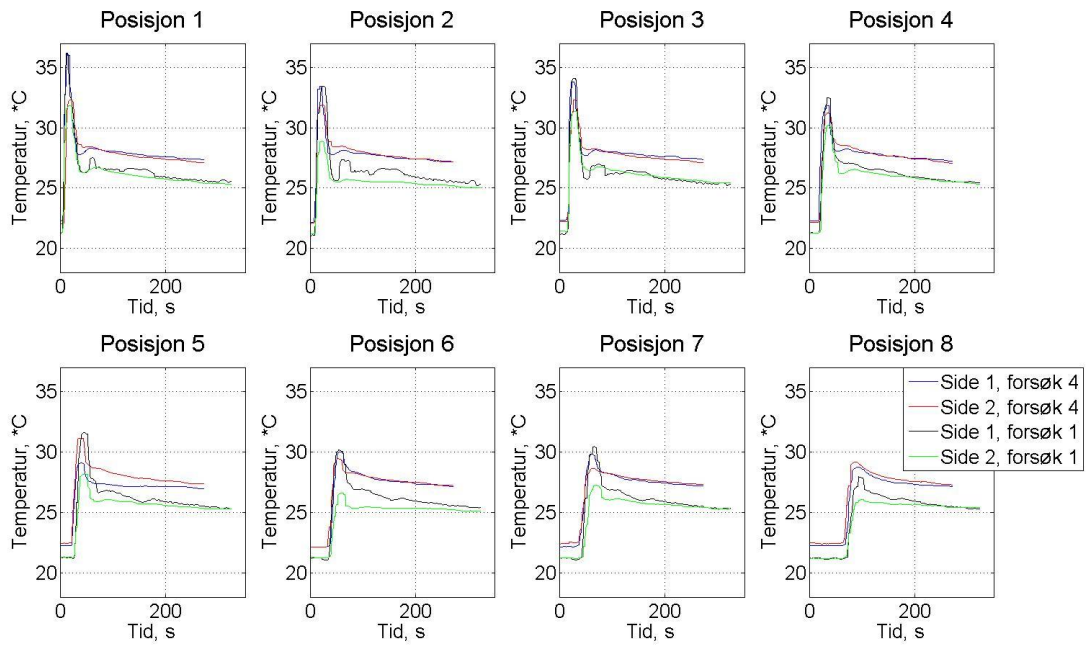
Figur A.25: Volumflow = 1.5 lpm.



Figur A.26: Sammenlikner forsøk 1 og 4. Volumflow = 0.3 lpm.



Figur A.27: Samme som **Figur A.26**. Volumflow = 0.9 lpm.

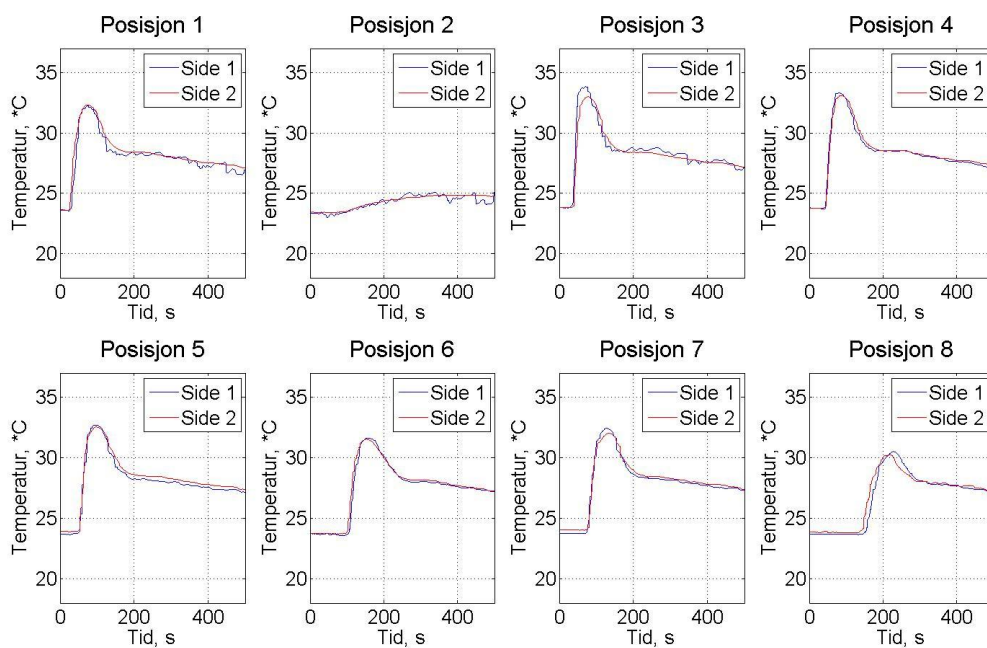


Figur A.28: Samme som **Figur A.26**. Volumflow = 1.5 lpm.

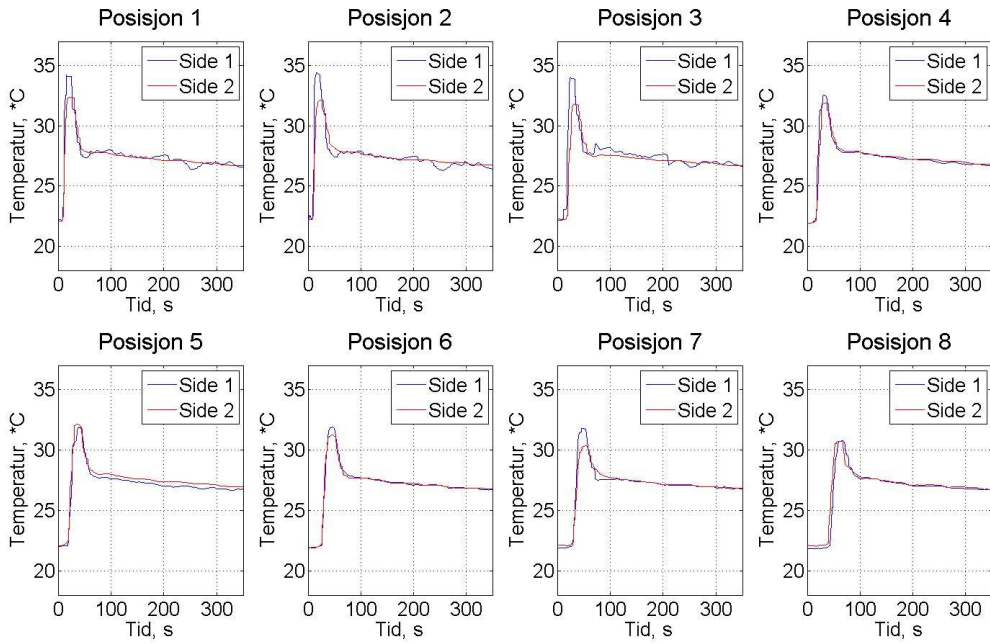
A.5 Forsøk 5: Temperaturmålinger, vertikal bolus med luft som last på begge sider

Tabell A.5: Temperatur på eksisterende og tilført vann i bolus.

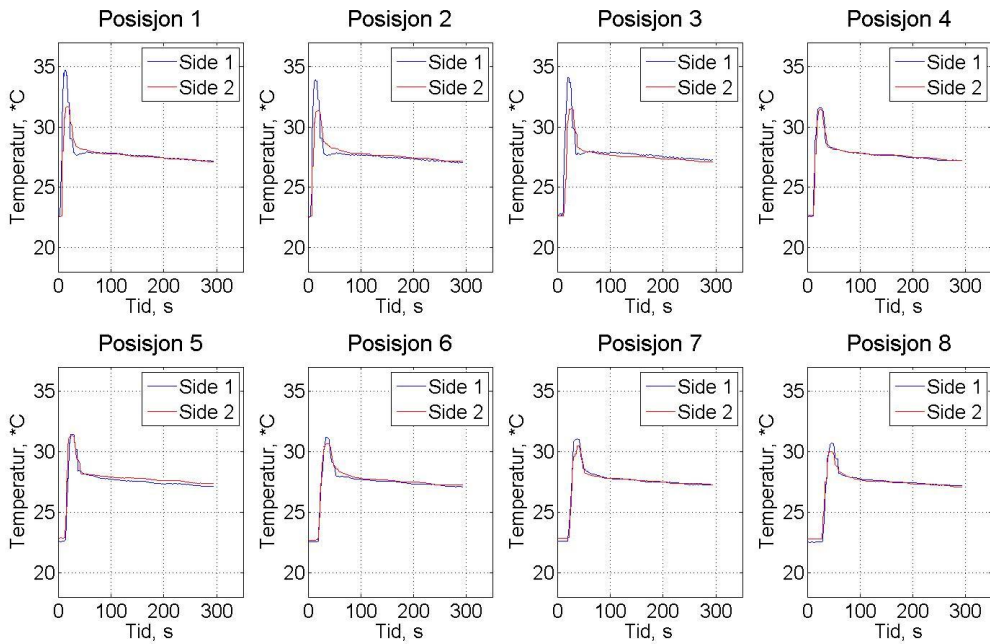
Volumflow (lpm)	Starttemperatur vann i bolus (°C)	Temperatur tilført vann, ca 3dl (°C)
0.3	23.6	44.4
0.9	21.3	43.6
1.5	22.5	42.3



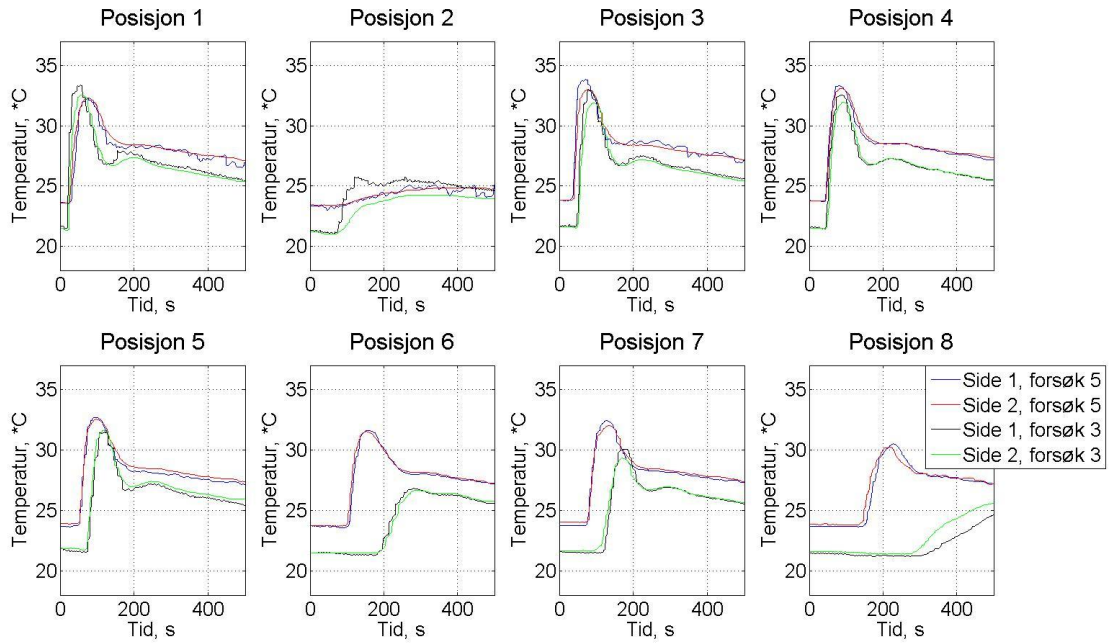
Figur A.29: Volumflow = 0.3 lpm.



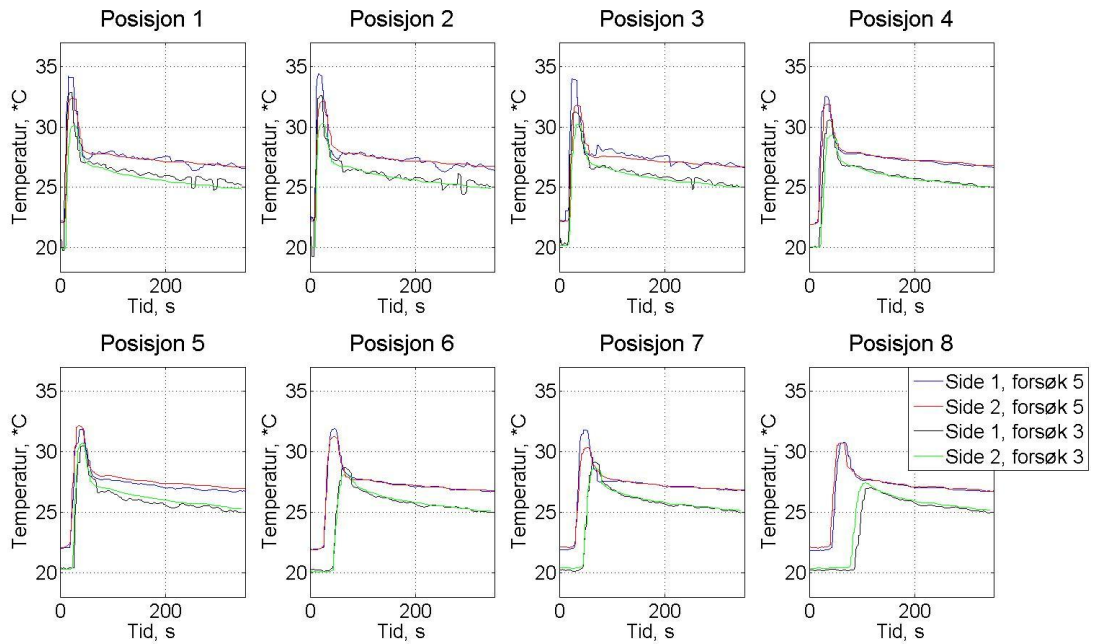
Figur A.30: Volumflow = 0.9 lpm.



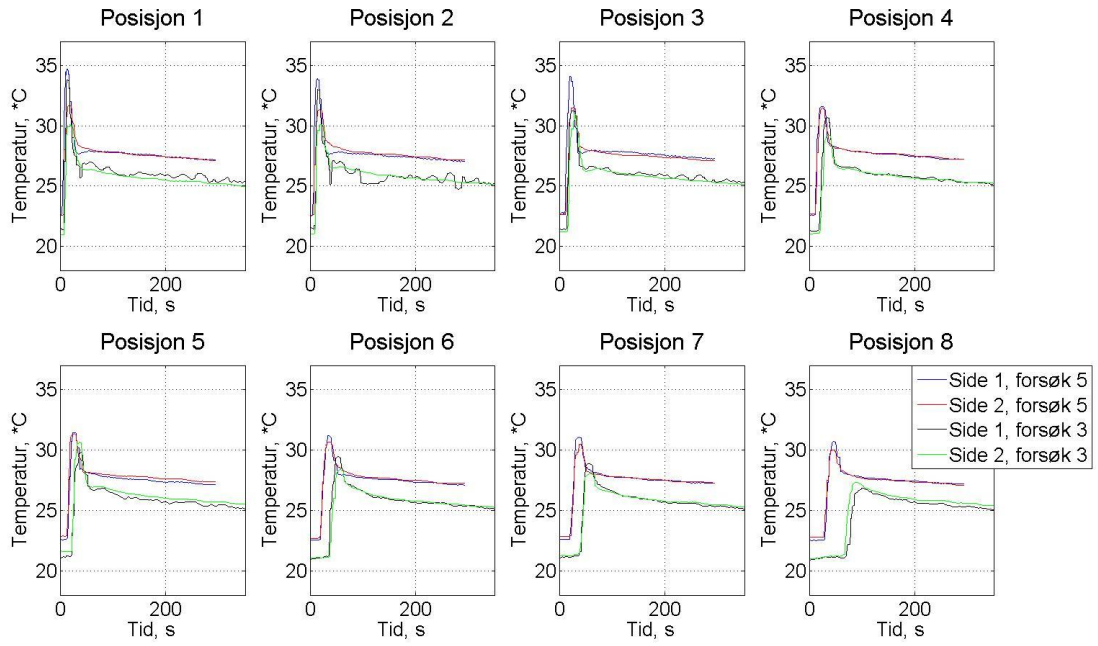
Figur A.31: Volumflow = 1.5 lpm.



Figur A.32: Sammenlikner forsøk 3 og 5. Volumflow = 0.3 lpm.



Figur A.33: Samme som **Figur A.32**. Volumflow = 0.9 lpm.



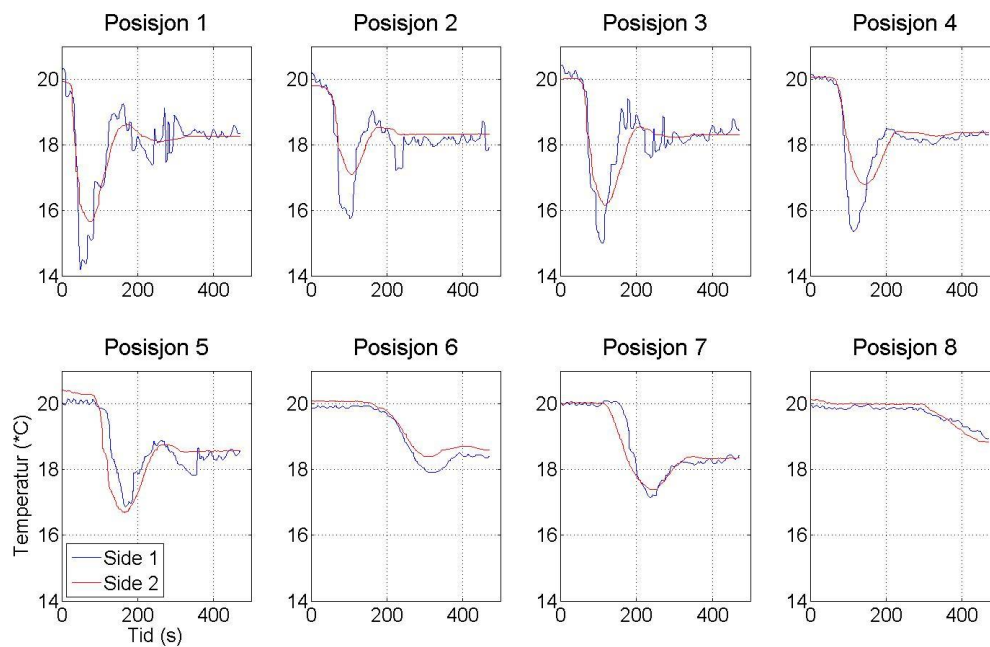
Figur A.34: Samme som **Figur A.32**. Volumflow = 1.5 lpm.

A.6 Forsøk 6: Temperaturmålinger, kontrastvæske i bolus

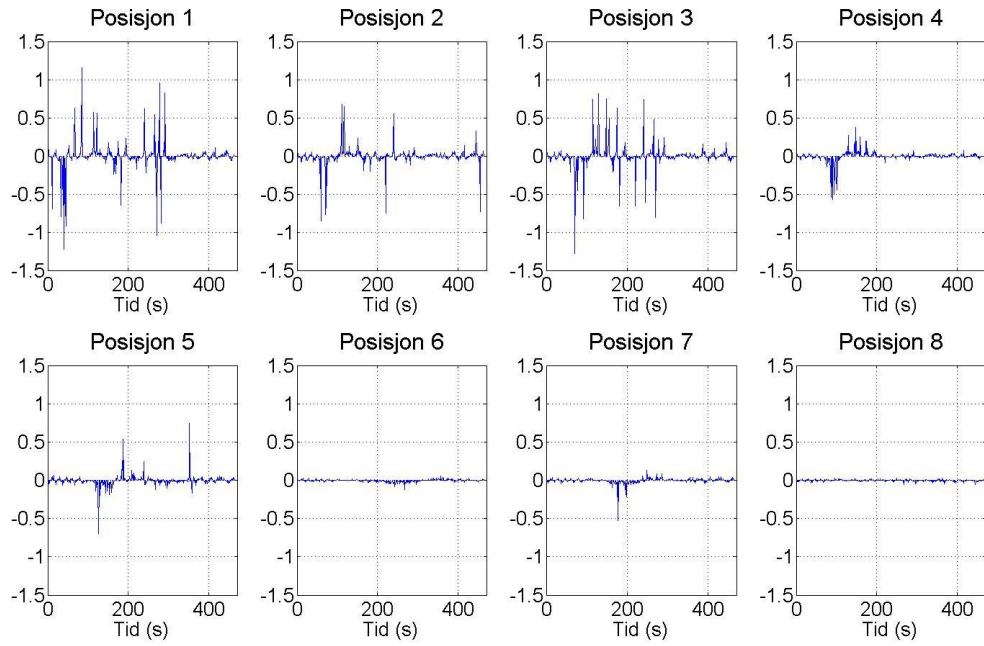
Tabell A.6: Temperatur på eksisterende og tilført væske i bolus.

Volumflow (lpm)	Starttemperatur vann i bolus (°C)	Temperatur kontrastvæske, ca 3dl (°C)
0.3	20.3	11.9
0.9	21	9.3
1.5	22.7	16.7

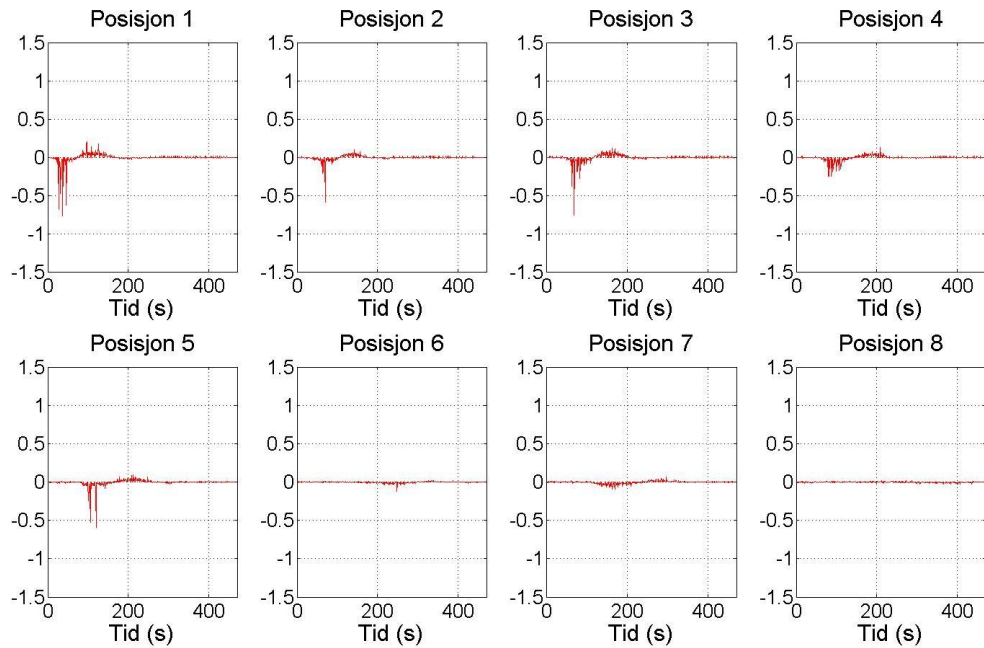
A.6.1 0.3 liter per minutt



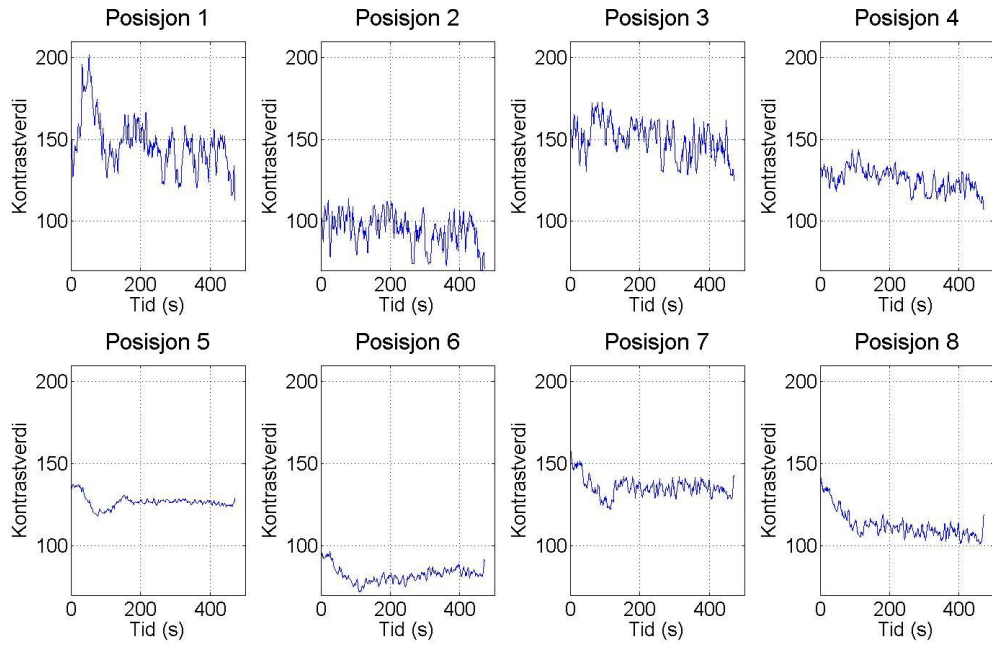
Figur A.35: Temperaturmåling. Volumflow = 0.3 lpm.



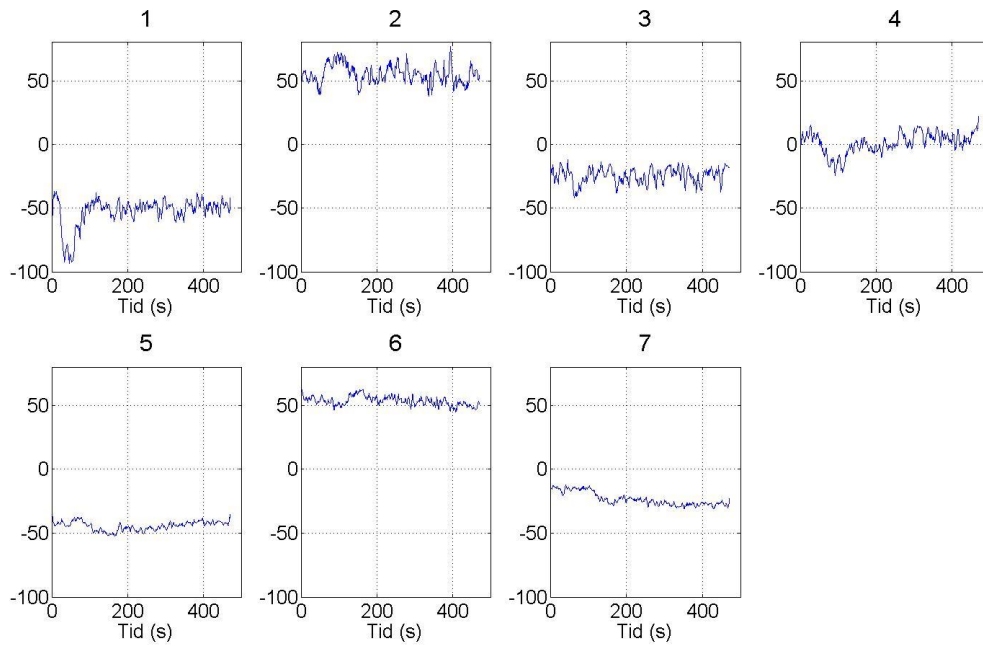
Figur A.36: Temperaturmåling for side 1 derivert.



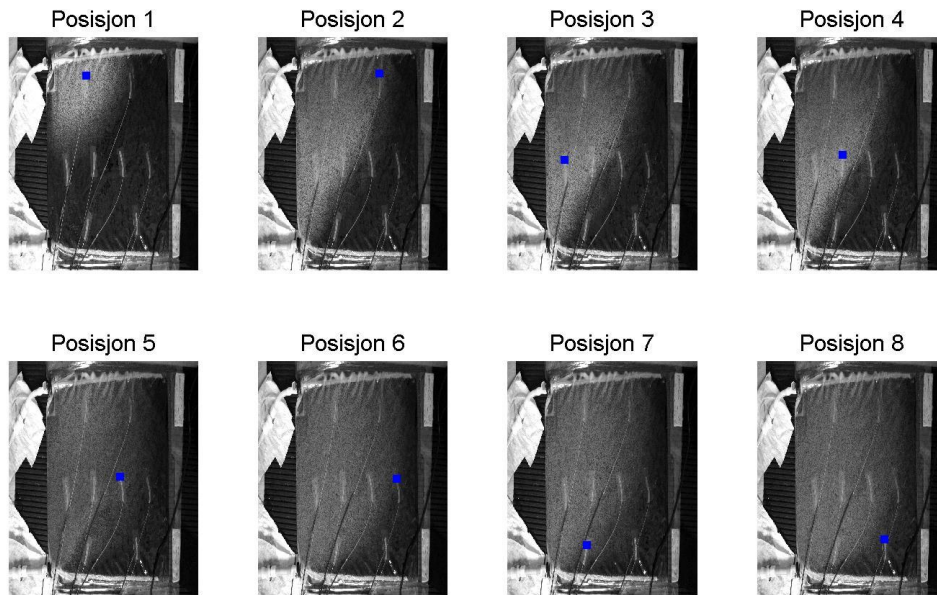
Figur A.37: Temperaturmåling for side 2 derivert.



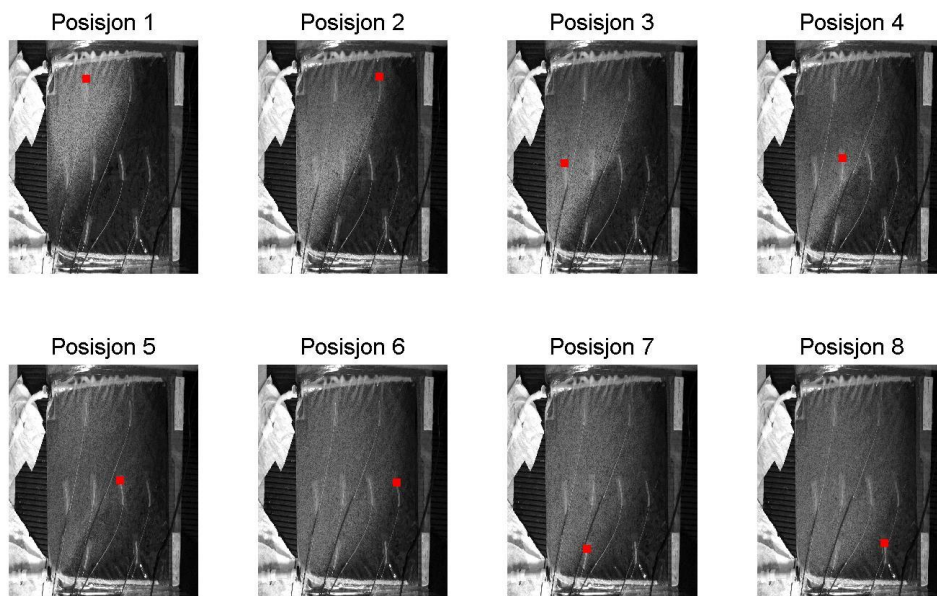
Figur A.38: Glattet kontrasverdi. Volumflow = 0.3 lpm.



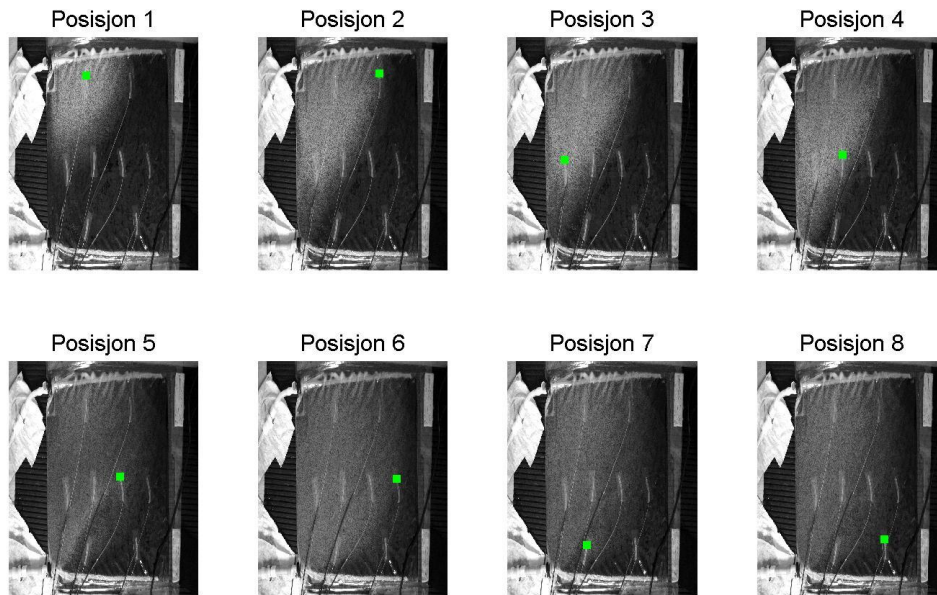
Figur A.39: Kontrastverdi derivert.



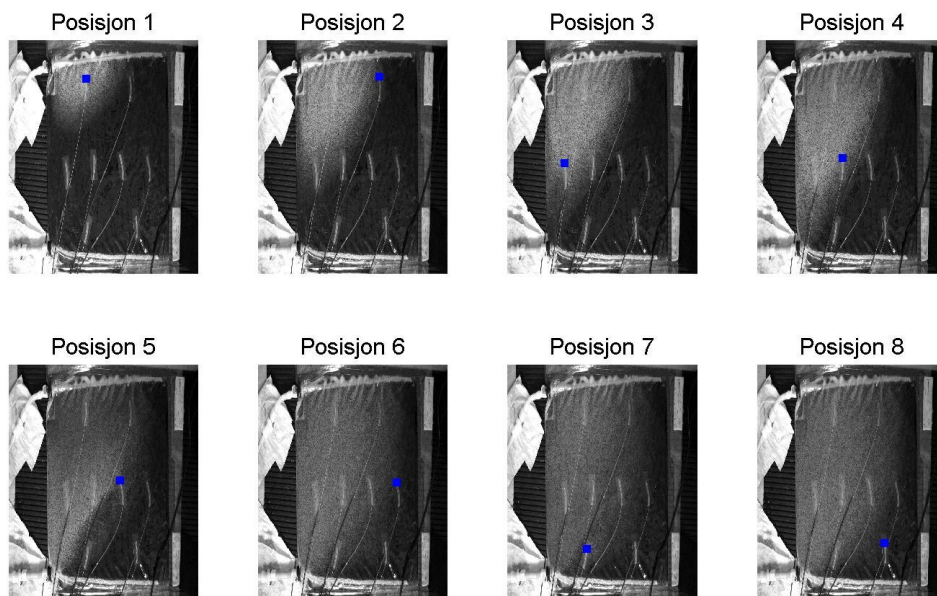
Figur A.40: Bilder av bolus ved maksimumstid for hver posisjon, side 1.



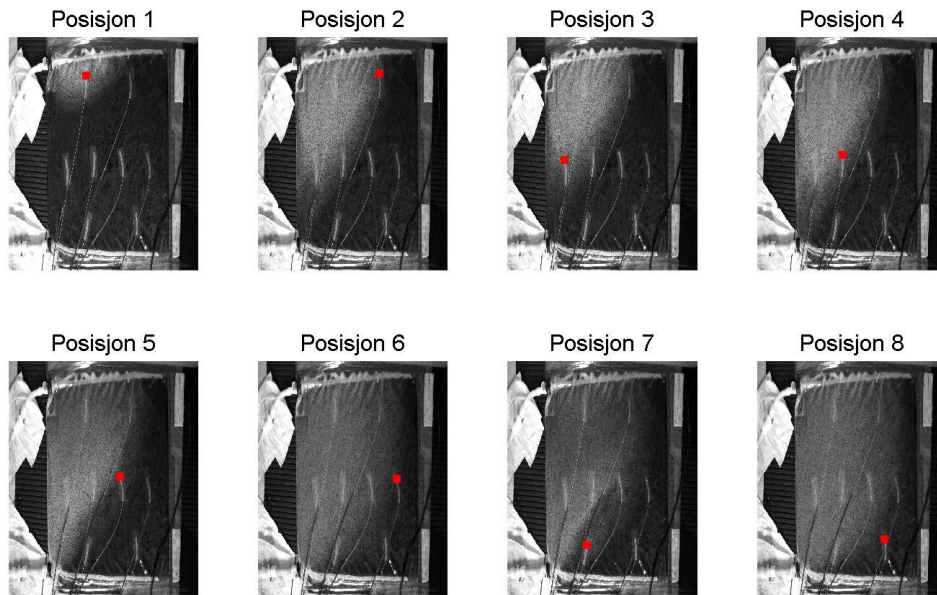
Figur A.41: Bilder av bolus ved maksimumstid for hver posisjon, side 2.



Figur A.42: Bilder av bolus ved maksimumstid for hver posisjon, kontrast.

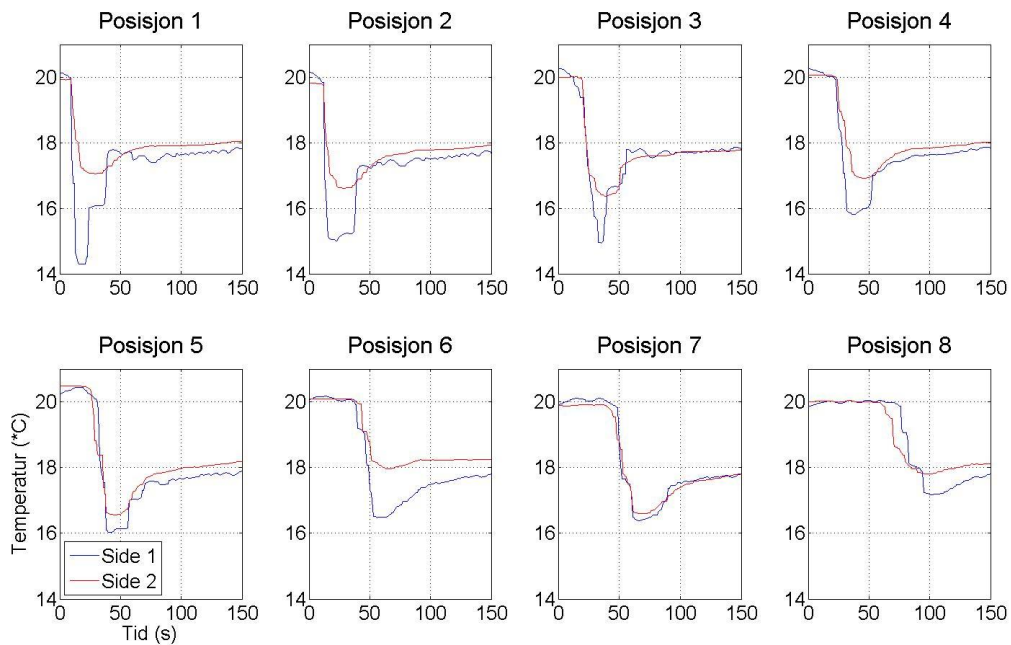


Figur A.43: Bilder av bolus ved reponstid for hver posisjon, side 1.

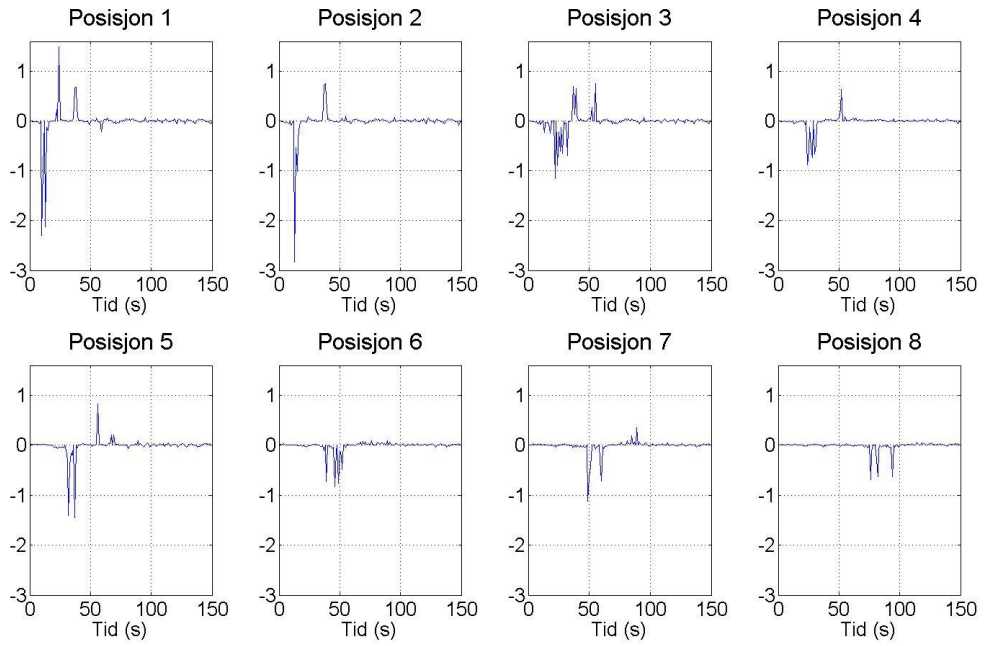


Figur A.44: Bilder av bolus ved reponstid for hver posisjon, side 2.

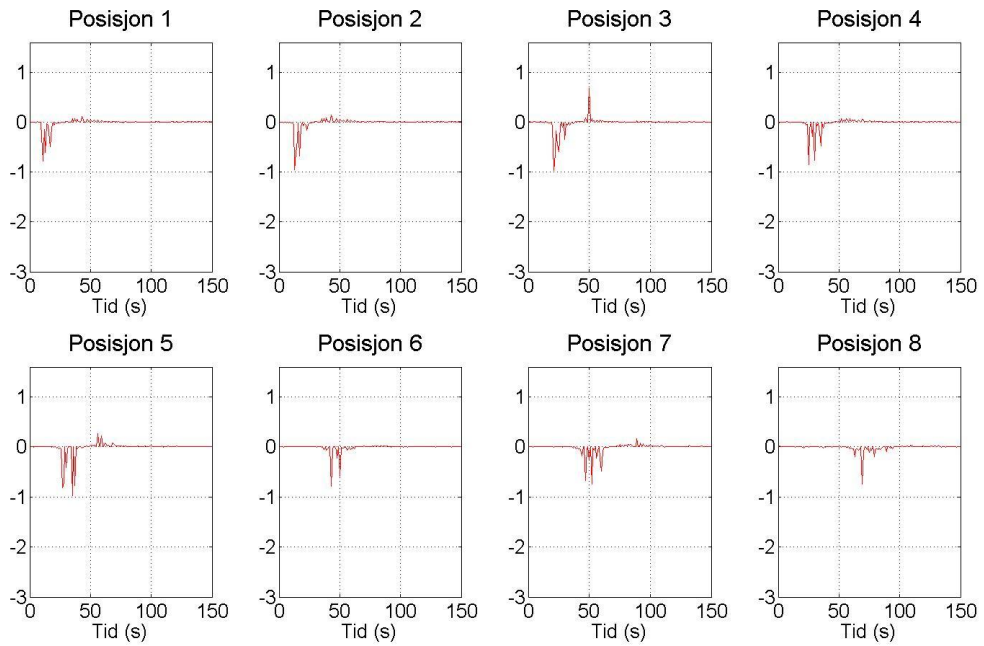
A.6.2 0.9 liter per minutt



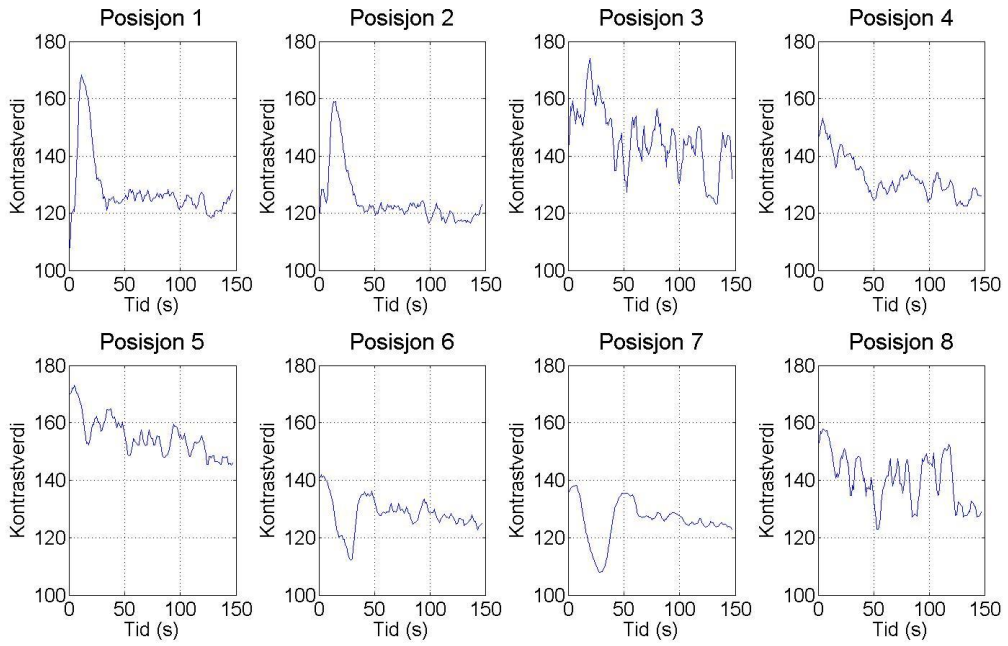
Figur A.45: Temperaturmåling. Volumflow = 0.9 lpm.



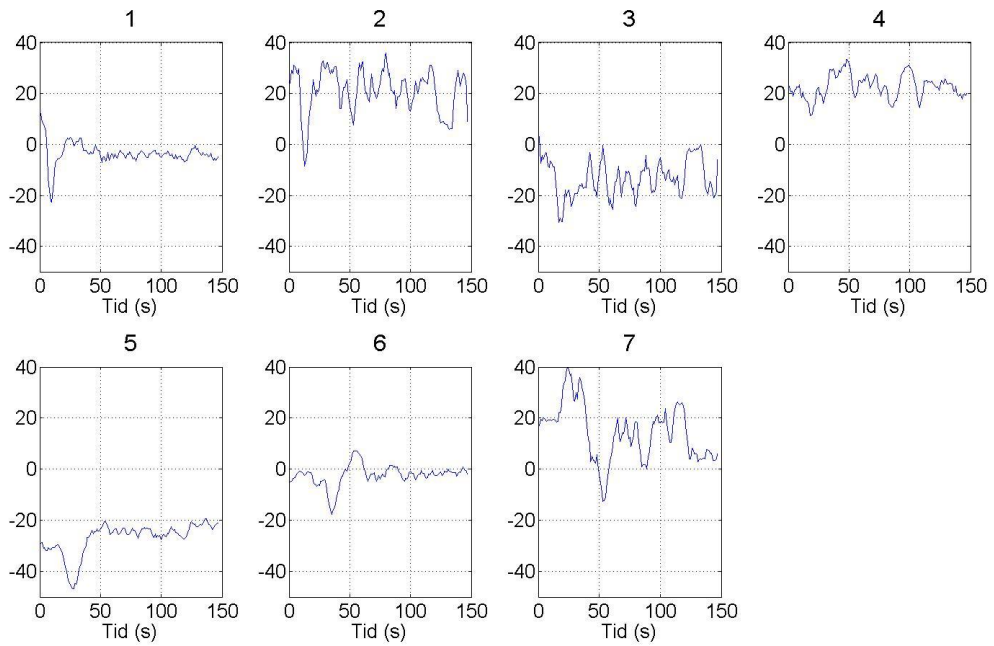
Figur A.46: Temperaturmåling for side 1 derivert.



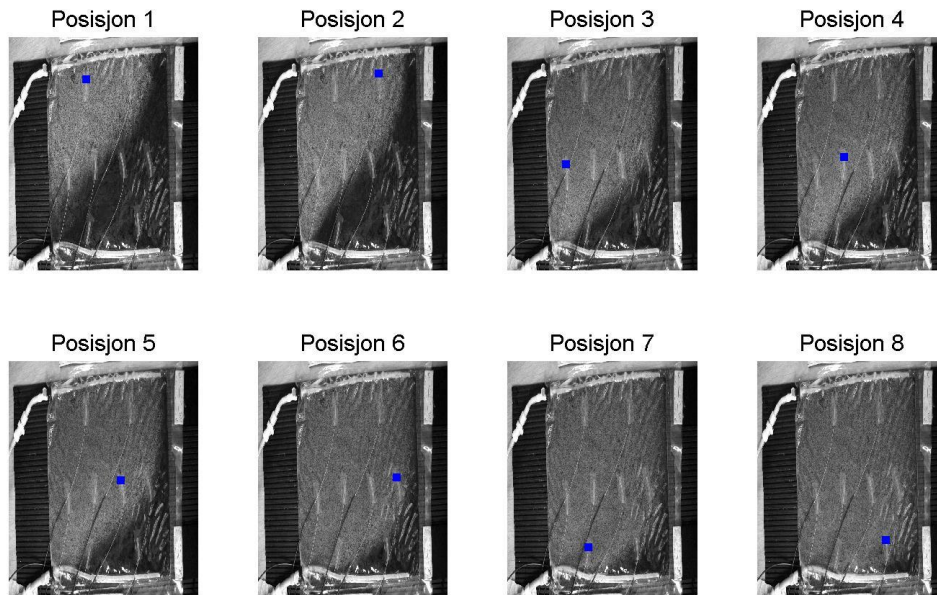
Figur A.47: Temperaturmåling for side 2 derivert.



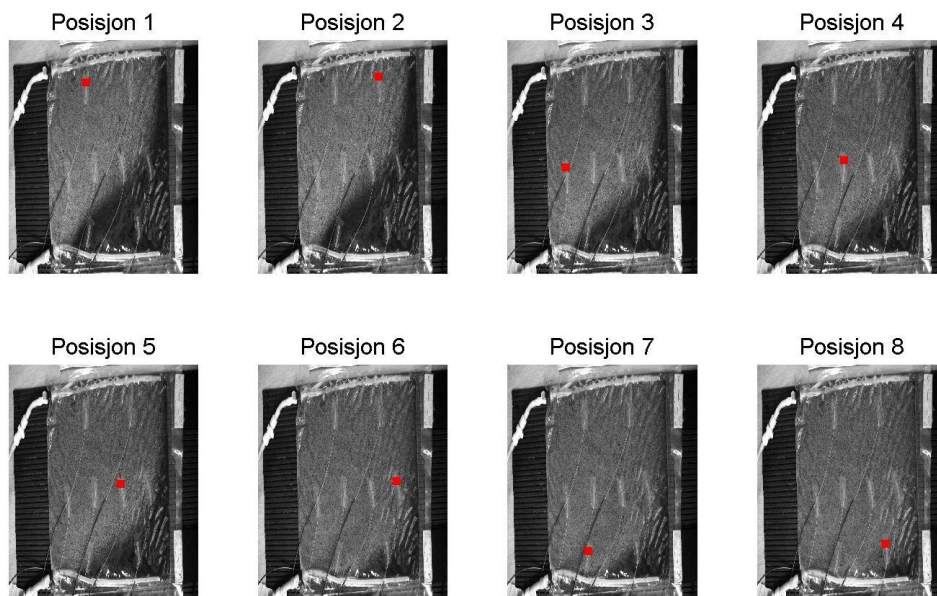
Figur A.48: Glattet kontrasverdi. Volumflow = 0.9 lpm.



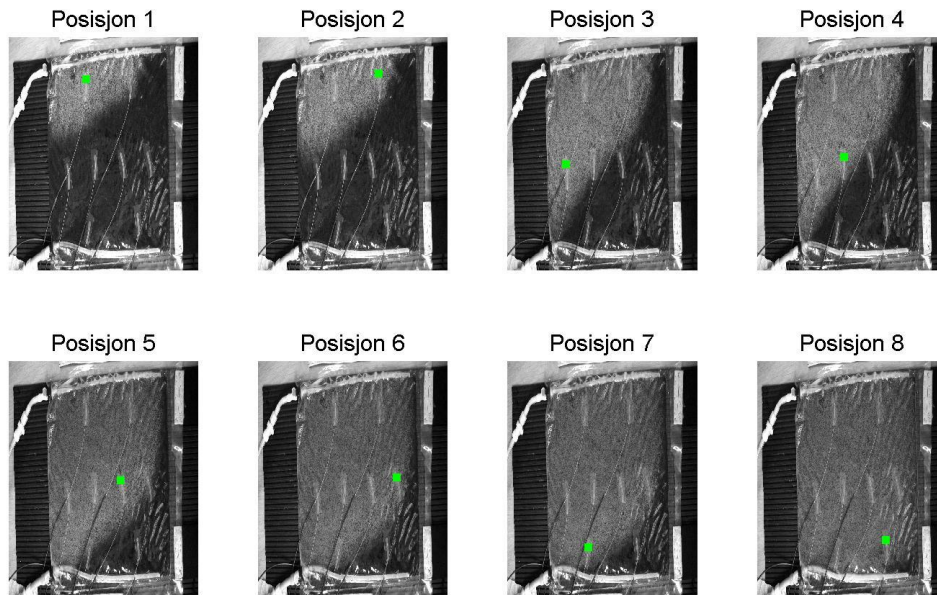
Figur A.49: Kontrastverdi derivert.



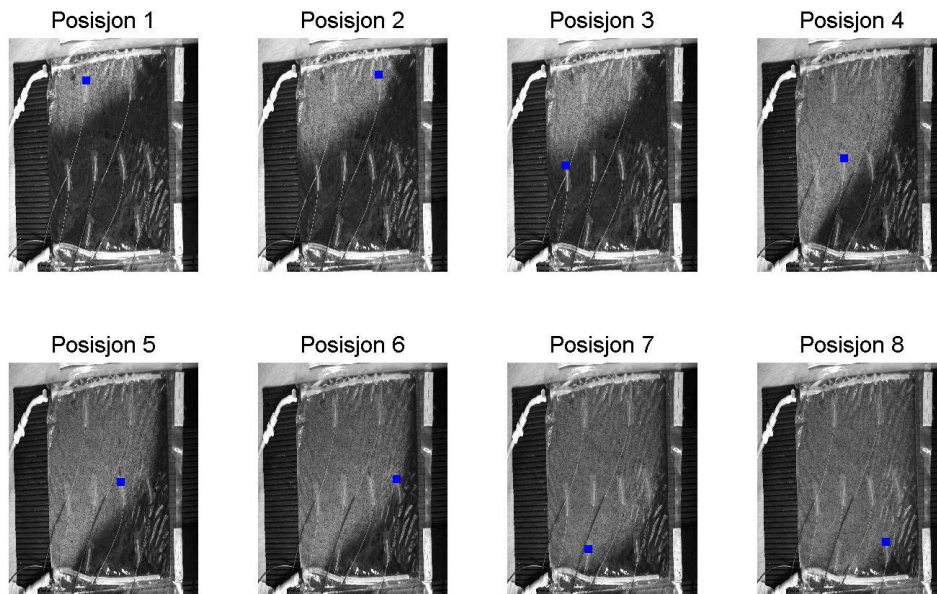
Figur A.50: Bilder av bolus ved maksimumstid for hver posisjon, side 1.



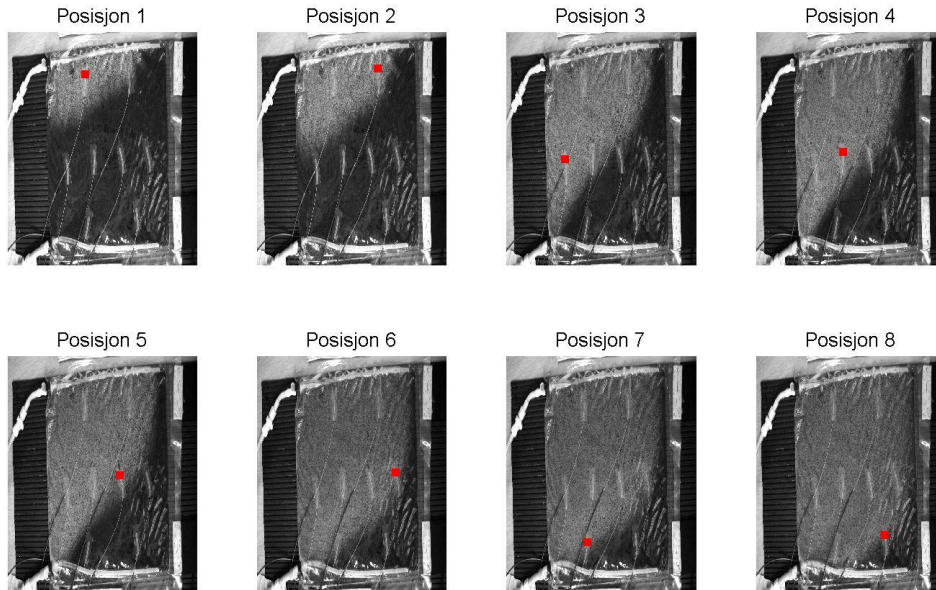
Figur A.51: Bilder av bolus ved maksimumstid for hver posisjon, side 2.



Figur A.52: Bilder av bolus ved maksimumstid for hver posisjon, kontrast.

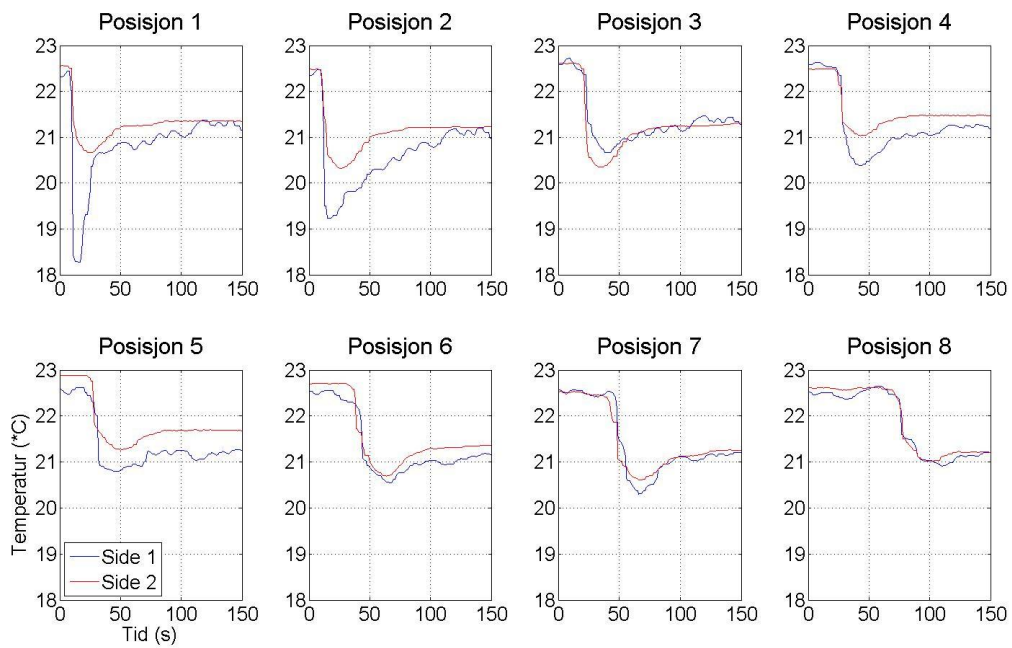


Figur A.53: Bilder av bolus ved responstid for hver posisjon, side 1.

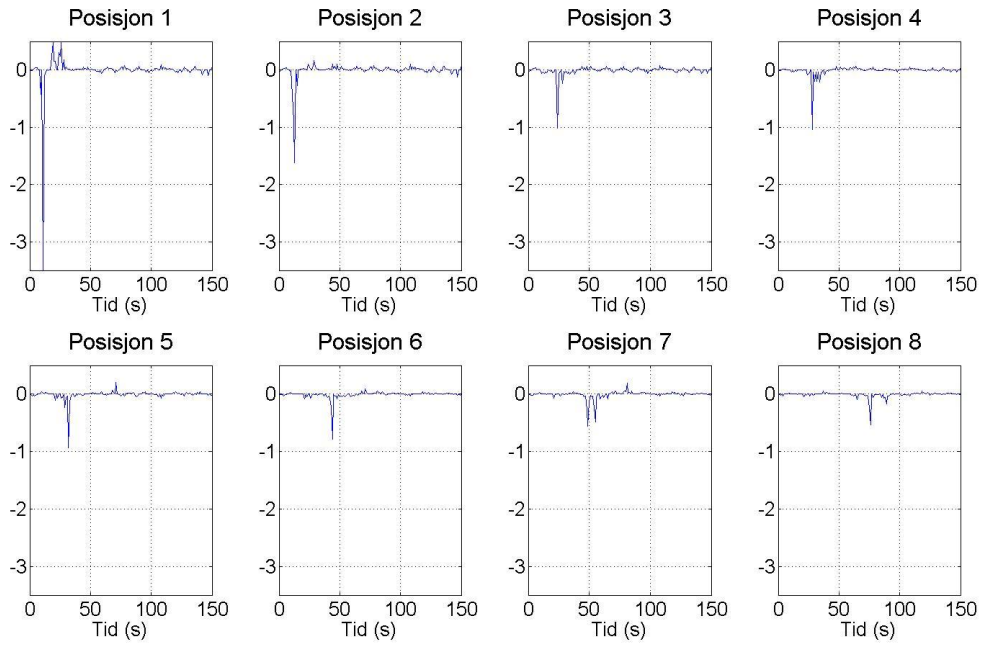


Figur A.54: Bilder av bolus ved responsstid for hver posisjon, side 2.

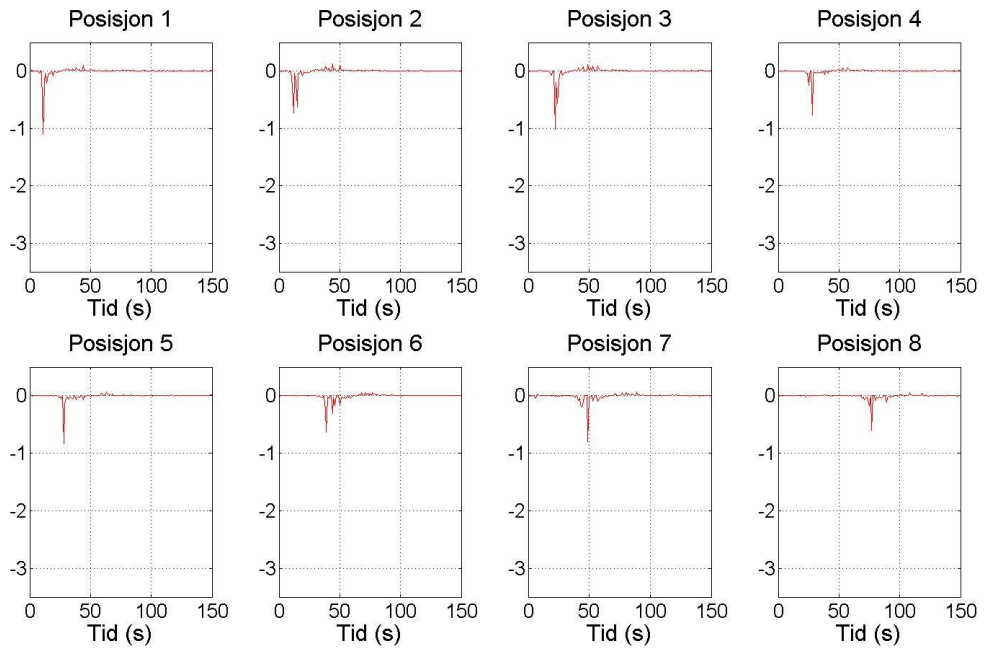
A.6.3 1.5 liter per minutt



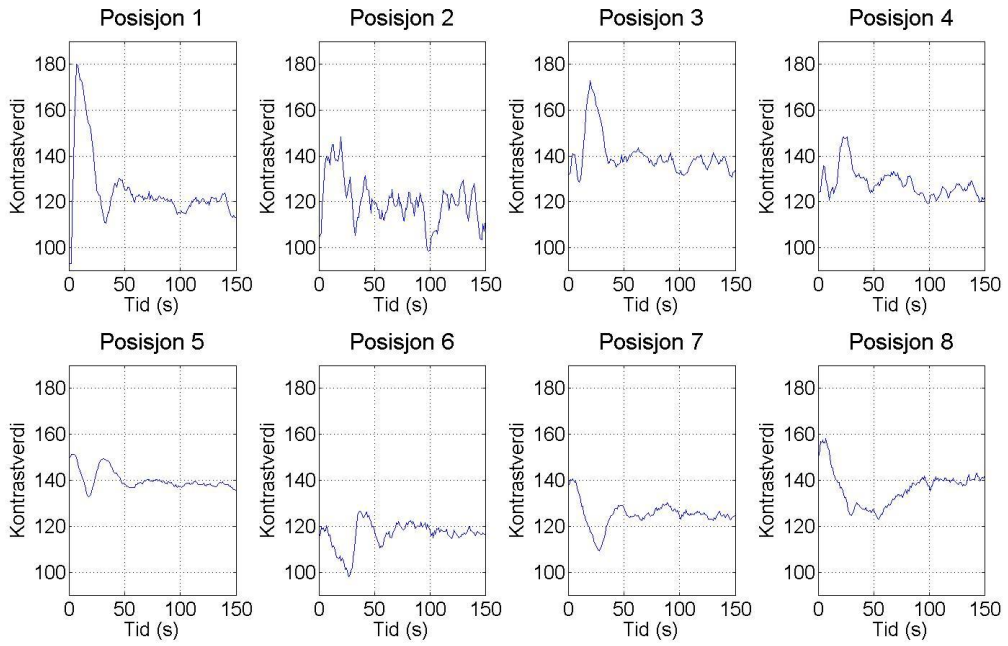
Figur A.55: Temperaturmåling. Volumflow = 1.5 lpm.



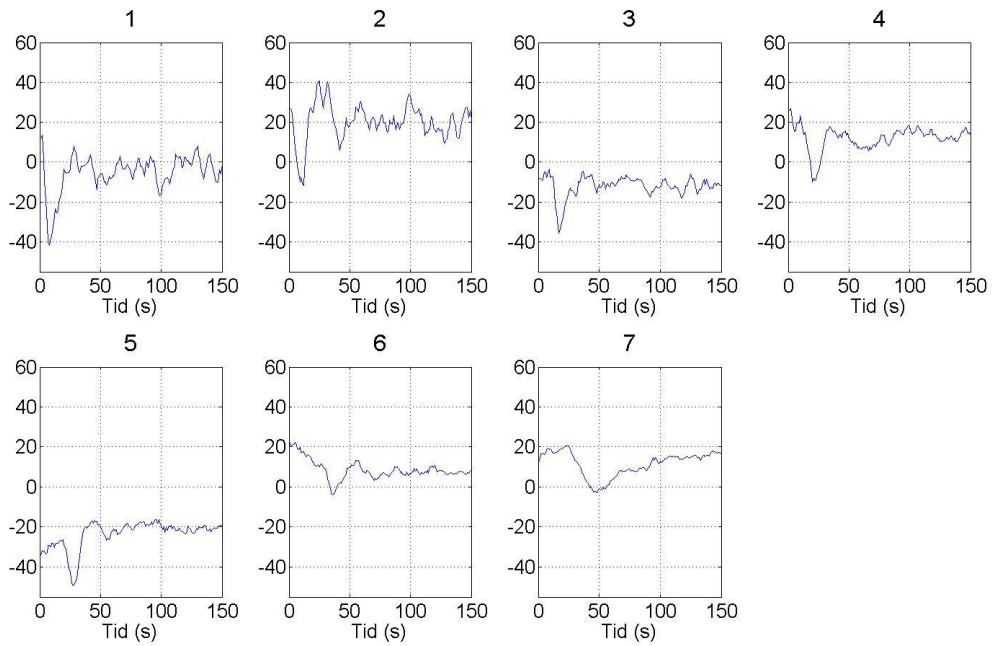
Figur A.56: Temperaturmåling for side 1 derivert.



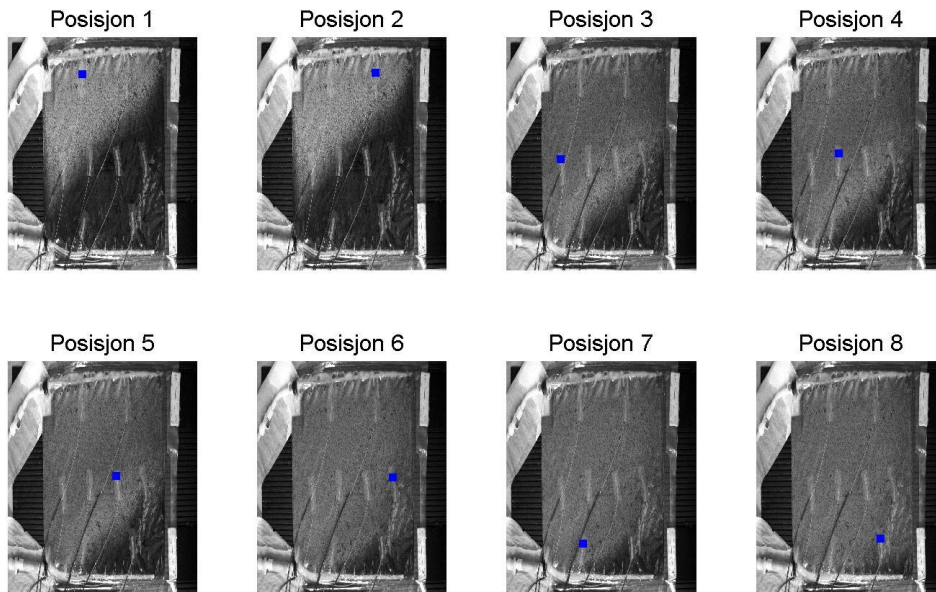
Figur A.57: Temperaturmåling for side 2 derivert.



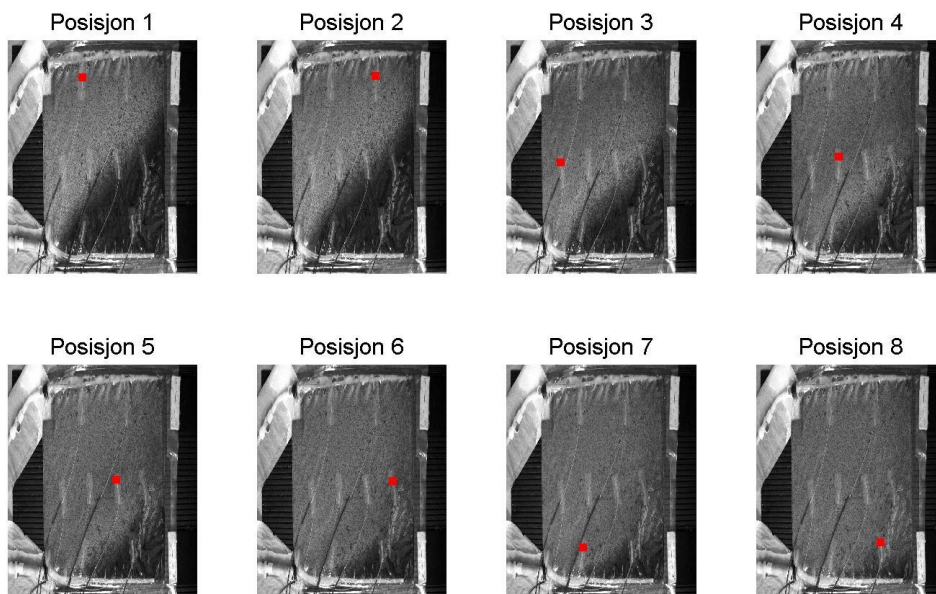
Figur A.58: Glattet kontrasverdi. Volumflow = 1.5 lpm.



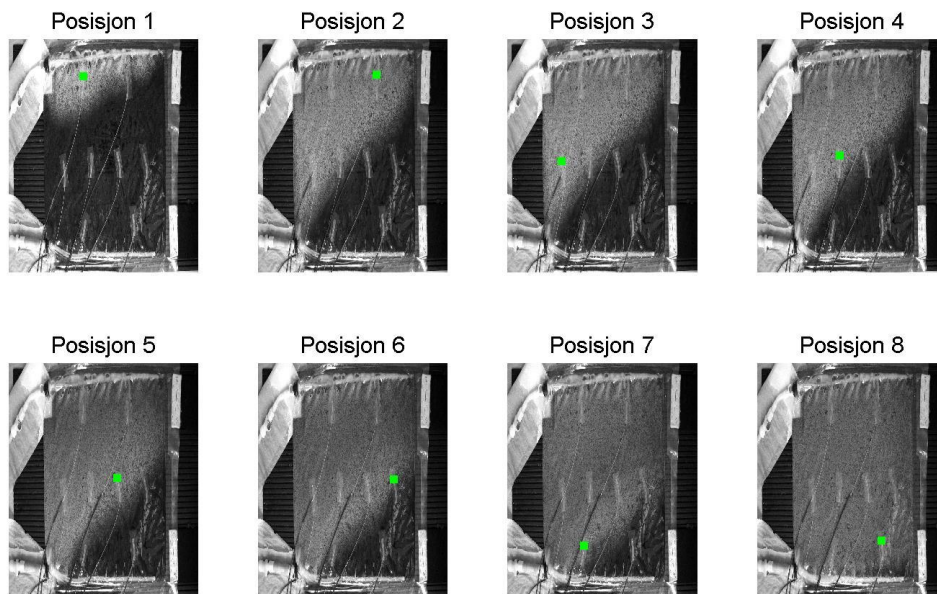
Figur A.59: Kontrastverdi derivert.



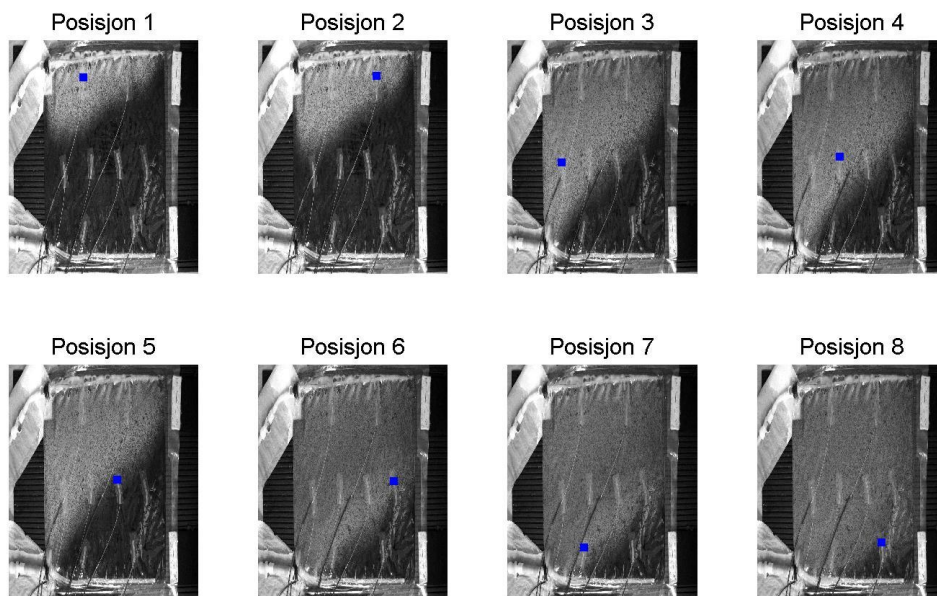
Figur A.60: Bilder av bolus ved maksimumstid for hver posisjon, side 1.



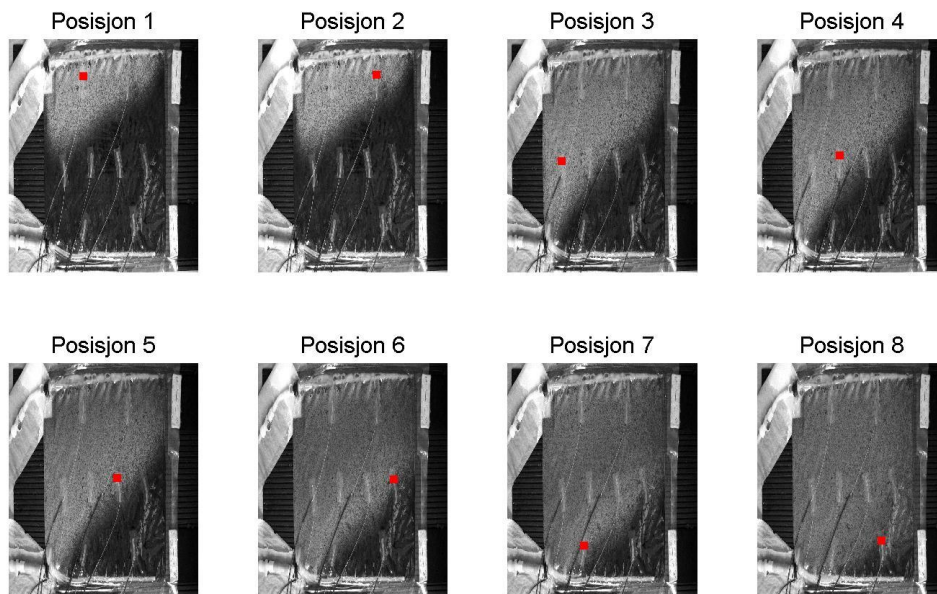
Figur A.61: Bilder av bolus ved maksimumstid for hver posisjon, side 2.



Figur A.62: Bilder av bolus ved maksimumstid for hver posisjon, kontrast.



Figur A.63: Bilder av bolus ved responstid for hver posisjon, side 1.



Figur A.64: Bilder av bolus ved responstid for hver posisjon, side 2.

B Vedlegg: Lister

A.1 Figurliste rapport

Figur 1.1: Skisse over lagene i en multilags applikator [4].	4
Figur 1.2: Diagrammer over de forskjellige lagene i en L-formet applikator [4].	4
Figur 2.1: Bilde til venstre og skisse til høyre av enkelt eksperimentelt oppsett. Nr. 1 viser pumpen, nr. 2 vakuumlukket væskebeholder og nr. 3 bolus.	9
Figur 2.2: Fullstendig oppsett for horisontal bolus med gummi som last under og luft over. Nr. 1 er pumpe, 2 er vakuumlukket væskebeholder, 3 er bolus, 4 er temperatursensorer, 5 er kameraet med stativ, 6 er modulenheten for temperaturmåling og 7 er PC som tar inn temperaturmålingene.	9
Figur 2.3: Bilde av bolusmodellen [5].	10
Figur 2.4: Dobbelthodet Stöckert Shiley Rullepumpe.	11
Figur 2.5: Sammenlikner graf av beregnet og målt tid for pumpen for å pumpe 3 dl vann.	11
Figur 2.6: Bolus med påfestede temperatursensorer liggende oppå modulenheten.	12
Figur 2.7: Canon HV20 [9].	13
Figur 2.8: Effekten på tilført fett for viskositeten til skummet melk med 0.06% fett [7].	14
Figur 2.9: Bilde av den vannfellen til venstre og en skisse av dens prinsipp til høyre.	15
Figur 2.10: Posisjonsoversikt over posisjonen til de forskjellige temperatursensorpårene på bolusen.	16
Figur 2.11: Viser definisjonen av retninger brukt i Tabell 2.2 for posisjonen *.	17
Figur 2.12: Eksperimentoppsett av bolus for forsøk 1 og 2.	18
Figur 2.13: Eksperimentoppsett av bolus for forsøk 3.	19
Figur 2.14: Eksperimentoppsett av bolus for forsøk 4.	20
Figur 2.15: Eksperimentoppsett for forsøk 5.	20
Figur 2.16: Bolus halvfull av hvit kontrastvæske.	21
Figur 3.1: Temperaturmaksimumsverdi (venstre) og observert tid for maksimum (høyre) for posisjoner på bolus. Volumflow= 0.3 lpm.	27
Figur 3.2: Samme som Figur 3.1 for volumflow=0.6 lpm.	27
Figur 3.3: Samme som Figur 3.1 for volumflow=0.9 lpm.	28
Figur 3.4: Samme som Figur 3.1 for volumflow=1.2 lpm.	28
Figur 3.5: Samme som Figur 3.1 for volumflow=1.2 lpm.	29
Figur 3.6: Tid for temperaturmaksimum for side 1 (venstre) og side 2 (høyre) av bolus.	29
Figur 3.7: Rad 1: 0.3 lpm. Rad 2: 0.6 lpm. Rad 3: 0.9 lpm. Rad 4: 1.2 lpm. Rad 5: 1.5 lpm.	30
Figur 3.8: Gjennomsnittlig differanse mellom side 1 og 2 for temperatur (venstre) og tid for maksimum (høyre).	31
Figur 3.9: Temperaturmaksimumsverdi (venstre) og observert tid for maksimum (høyre) for posisjoner på bolus. Volumflow= 0.3 lpm.	32
Figur 3.10: Samme som Figur 3.9 for volumflow=0.9 lpm.	32
Figur 3.11: Samme som Figur 3.9 for volumflow=1.5 lpm.	33
Figur 3.12: Tid for temperaturmaksimum for side 1 (venstre) og side 2 (høyre) av bolus.	33
Figur 3.13: Rad 1: 0.3 lpm. Rad 2: 0.9 lpm. Rad 3: 1.5 lpm.	34
Figur 3.14: Gjennomsnittlig differanse mellom side 1 og 2 for temperatur (venstre) og tid for maksimum (høyre).	35
Figur 3.15: Differanse i tid mellom forsøk 1 og 2 for side 1 (venstre) og 2 (høyre).	35
Figur 3.16: Temperaturmaksimumsverdi (venstre) og observert tid for maksimum (høyre) for posisjoner på bolus. Volumflow= 0.3 lpm.	36

Figur 3.17: Samme som Figur 3.17 for volumflow=0.9 lpm.	36
Figur 3.18: Samme som Figur 3.17 for volumflow=1.5 lpm.	37
Figur 3.19: Tid for temperaturmaksimum for side 1 (venstre) og side 2 (høyre) av bolus.	37
3.20: Rad 1: 0.3 lpm. Rad 2: 0.9 lpm. Rad 3: 1.5 lpm.	38
Figur 3.21: Gjennomsnittlig differanse mellom side 1 og 2 for temperatur (venstre) og tid for maksimum (høyre).	39
Figur 3.22: Differanse i tid mellom forsøk 1 og 3 for side 1 (venstre) og 2 (høyre).	39
Figur 3.23: Temperaturmaksimumsverdi (venstre) og observert tid for maksimum (høyre) for posisjoner på bolus. Volumflow= 0.3 lpm.	40
Figur 3.24: Samme som Figur 3.25 for volumflow=0.9 lpm.	40
Figur 3.25: Samme som Figur 3.25 for volumflow=1.5 lpm.	41
Figur 3.26: Tid for temperaturmaksimum for side 1 (venstre) og side 2 (høyre) av bolus.	41
3.27: Rad 1: 0.3 lpm. Rad 2: 0.9 lpm. Rad 3: 1.5 lpm.	42
Figur 3.28: Gjennomsnittlig differanse mellom side 1 og 2 for temperatur (venstre) og tid for maksimum (høyre).	43
Figur 3.29: Differanse i tid mellom forsøk 1 og 4 for side 1 (venstre) og 2 (høyre).	43
Figur 3.30: Temperaturmaksimumsverdi (venstre) og observert tid for maksimum (høyre) for posisjoner på bolus. Volumflow= 0.3 lpm.	44
Figur 3.31: Samme som Figur 3.33 for volumflow=0.9 lpm.	44
Figur 3.32: Samme som Figur 3.33 for volumflow=1.5 lpm.	45
Figur 3.33: Tid for temperaturmaksimum for side 1 (venstre) og side 2 (høyre) av bolus.	45
3.34: Rad 1: 0.3 lpm. Rad 2: 0.9 lpm. Rad 3: 1.5 lpm.	46
Figur 3.35: Gjennomsnittlig differanse mellom side 1 og 2 for temperatur (venstre) og tid for maksimum (høyre).	47
Figur 3.36: Differanse i tid mellom forsøk 3 og 5 for side 1 (venstre) og 2 (høyre).	47
Figur 3.37: Temperaturmålinger og kontrastverdier konvertert til prosent.	48
Figur 3.38: Maksimumstid (øverst) og avvik i maksimumstid (nederst).	48
Figur 3.39: Responstid (øverst) og avvik for responstid mellom side 1 og 2 (nederst).	49
Figur 3.40: Bilder av bolus ved ulike maksimumstider. Tid for maksimum over bildet. Kolonne 1: kontrast, kolonne 2: side 1, kolonne 3: side 2. Rad 1: posisjon 1, rad 2: posisjon 2, rad 3: posisjon 3, osv.	50
Figur 3.41: Bilder av bolus ved ulike responstider. Tid for respons over bildet. Kolonne 1: side 1, kolonne 2: side 2. Rad 1: posisjon 1, rad 2: posisjon 2, rad 3: posisjon 3, osv.	51
Figur 3.42: Temperaturmålinger og kontrastverdier konvertert til prosent.	52
Figur 3.43: Maksimumstid (øverst) og avvik i maksimumstid (nederst).	52
Figur 3.44: Responstid (øverst) og avvik for responstid mellom side 1 og 2 (nederst).	53
Figur 3.45: Bilder av bolus ved ulike maksimumstider. Tid for maksimum over bildet. Kolonne 1: kontrast, kolonne 2: side 1, kolonne 3: side 2. Rad 1: posisjon 1, rad 2: posisjon 2, rad 3: posisjon 3, osv.	54
Figur 3.46: Bilder av bolus ved ulike responstider. Tid for respons over bildet. Kolonne 1: side 1, kolonne 2: side 2. Rad 1: posisjon 1, rad 2: posisjon 2, rad 3: posisjon 3, osv.	55
Figur 3.47: Temperaturmålinger og kontrastverdier konvertert til prosent.	56
Figur 3.48: Maksimumstid (øverst) og avvik i maksimumstid (nederst).	56
Figur 3.49: Responstid (øverst) og avvik for responstid mellom side 1 og 2 (nederst).	57

Figur 3.50: Bilder av bolus ved ulike maksimumstider. Tid for maksimum over bildet. Kolonne 1: kontrast, kolonne 2: side 1, kolonne 3: side 2. Rad 1: posisjon 1, rad 2: posisjon 2, rad 3: posisjon 3, osv.	58
Figur 3.51: Bilder av bolus ved ulike responstider. Tid for respons over bildet. Kolonne 1: side 1, kolonne 2: side 2. Rad 1: posisjon 1, rad 2: posisjon 2, rad 3: posisjon 3, osv.	59

B.2 Tabelliste rapport

Tabell 2.1: Vannhastigheter for ulike verdier av volumflow.	12
Tabell 2.2: Plassering i cm for hver sensor i forhold til bolusens sidekanter.	17

B.3 Figurliste vedlegg

Figur A.1: Volumflow = 0.3 lpm.	73
Figur A.2: Volumflow = 0.6 lpm.	74
Figur A.3: Volumflow = 0.9 lpm.	74
Figur A.4: Volumflow = 1.2 lpm.	75
Figur A.5: Volumflow = 1.5 lpm.	75
Figur A.6: Posisjon 1.	76
Figur A.7: Posisjon 2.	76
Figur A.8: Posisjon 3.	77
Figur A.9: Posisjon 4.	77
Figur A.10: Posisjon 5.	78
Figur A.11: Posisjon 6.	78
Figur A.12: Posisjon 7.	79
Figur A.13: Posisjon 8.	79
Figur A.14: Sammenlikner forsøk 1 og 2. Volumflow = 0.3 lpm.	82
Figur A.15: Samme som Figur A.14 . Volumflow = 0.9 lpm.	82
Figur A.16: Samme som Figur A.14 . Volumflow = 1.5 lpm.	83
Figur A.17: Volumflow = 0.3 lpm.	84
Figur A.18: Volumflow = 0.9 lpm.	85
Figur A.19: Volumflow = 1.5 lpm.	85
Figur A.20: Sammenlikner forsøk 1 og 3. Volumflow = 0.3 lpm.	86
Figur A.21: Samme som Figur A.20 . Volumflow = 0.9 lpm.	86
Figur A.22: Samme som Figur A.20 . Volumflow = 1.5 lpm.	87
Figur A.23: Volumflow = 0.3 lpm.	88
Figur A.24: Volumflow = 0.9 lpm.	89
Figur A.25: Volumflow = 1.5 lpm.	89
Figur A.26: Sammenlikner forsøk 1 og 4. Volumflow = 0.3 lpm.	90
Figur A.27: Samme som Figur A.26 . Volumflow = 0.9 lpm.	90
Figur A.28: Samme som Figur A.26 . Volumflow = 1.5 lpm.	91
Figur A.29: Volumflow = 0.3 lpm.	92
Figur A.30: Volumflow = 0.9 lpm.	93
Figur A.31: Volumflow = 1.5 lpm.	93
Figur A.32: Sammenlikner forsøk 3 og 5. Volumflow = 0.3 lpm.	94
Figur A.33: Samme som Figur A.32 . Volumflow = 0.9 lpm.	94
Figur A.34: Samme som Figur A.32 . Volumflow = 1.5 lpm.	95
Figur A.35: Temperaturmåling. Volumflow = 0.3 lpm.	96
Figur A.36: Temperaturmåling for side 1 derivert.	97
Figur A.37: Temperaturmåling for side 2 derivert.	97
Figur A.38: Glattet kontrasverdi. Volumflow = 0.3 lpm.	98
Figur A.39: Kontrastverdi derivert.	98
Figur A.40: Bilder av bolus ved maksimumstid for hver posisjon, side 1.	99
Figur A.41: Bilder av bolus ved maksimumstid for hver posisjon, side 2.	99

Figur A.42: Bilder av bolus ved maksimumstid for hver posisjon, kontrast.....	100
Figur A.43: Bilder av bolus ved reponstid for hver posisjon, side 1.....	100
Figur A.44: Bilder av bolus ved reponstid for hver posisjon, side 2.....	101
Figur A.45: Temperaturmåling. Volumflow = 0.9 lpm.....	101
Figur A.46: Temperaturmåling for side 1 derivert.....	102
Figur A.47: Temperaturmåling for side 2 derivert.....	102
Figur A.48: Glattet kontrasverdi. Volumflow = 0.9 lpm.....	103
Figur A.49: Kontrastverdi derivert.....	103
Figur A.50: Bilder av bolus ved maksimumstid for hver posisjon, side 1.....	104
Figur A.51: Bilder av bolus ved maksimumstid for hver posisjon, side 2.....	104
Figur A.52: Bilder av bolus ved maksimumstid for hver posisjon, kontrast.....	105
Figur A.53: Bilder av bolus ved responsstid for hver posisjon, side 1.....	105
Figur A.54: Bilder av bolus ved responsstid for hver posisjon, side 2.....	106
Figur A.55: Temperaturmåling. Volumflow = 1.5 lpm.....	106
Figur A.56: Temperaturmåling for side 1 derivert.....	107
Figur A.57: Temperaturmåling for side 2 derivert.....	107
Figur A.58: Glattet kontrasverdi. Volumflow = 1.5 lpm.....	108
Figur A.59: Kontrastverdi derivert.....	108
Figur A.60: Bilder av bolus ved maksimumstid for hver posisjon, side 1.....	109
Figur A.61: Bilder av bolus ved maksimumstid for hver posisjon, side 2.....	109
Figur A.62: Bilder av bolus ved maksimumstid for hver posisjon, kontrast.....	110
Figur A.63: Bilder av bolus ved responstid for hver posisjon, side 1.....	110
Figur A.64: Bilder av bolus ved responstid for hver posisjon, side 2.....	111

B.4 Tabelliste vedlegg

Tabell A.1: Temperatur på eksisterende og tilført vann i bolus.....	73
Tabell A.2: Temperatur på eksisterende og tilført vann i bolus.....	80
Tabell A.3: Temperatur på eksisterende og tilført vann i bolus.....	84
Tabell A.4: Temperatur på eksisterende og tilført vann i bolus.....	88
Tabell A.5: Temperatur på eksisterende og tilført vann i bolus.....	92
Tabell A.6: Temperatur på eksisterende og tilført væske i bolus.	96

Referanser og bibliografi

- [1] Bray, F. et al., (2006), *Cancer in Norway 2006; Cancer incidence, mortality, survival and prevalence in Norway*, Kreftregisteret, Institutt for populasjonsbasert kreftforskning, Oslo.
- [2] Gonzales, R.C. & Woods, R.E., (2008), *Digital Image Processing, Third edition*, Pearson Prentice Hall/Pearson Education Inc, Upper Saddle River, New Jersey 07458.
- [3] Juang, T., Neumann, D., Schlorff, J. & Stauffer, P.R., (2004), *Construction of a conformal water bolus vest applicator for hyperthermia treatment of superficial skin cancer*, Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS, Radiation Oncology Department, University of California at San Francisco, CA, USA/Bionix Development Corp., Paoli, PA, USA.
- [4] Juang, T, Stauffer, P.R, Neuman, D.G & Schlorff, J.L, (2006), *Multilayer conformal applicator for microwave heating and brachytherapy treatment of superficial tissue disease*, International Journal of Hyperthermia, Department of Radiation Oncology, University of California at San Francisco, San Francisco, CA, USA/Bionix Development Corp., Paoli, Pennsylvania, USA.
- [5] de la Cruz Martínez, E.L, (2007), *Fluid-thermal properties of electromagnetically heated water boli used in thermal treatment of superficial cancer*, Mastergradsoppgave I Kommunikasjon og Mikroelektronikk, Det Matematisk-Naturvitenskapelige Fakultet, Institutt for Fysikk og Teknologi, Universitetet i Tromsø, Tromsø.
- [6] Nordling, C. & Österman, J., (2006), *Physics Handbook for Science and Engineering, eight edition*, Studentlitteratur, Lund.
- [7] Phillips, L.G, McGiff, M.L, Barbano, D.M & Lawless, H.T, (1995), *The influence of fat on the sensory properties, viscosity, and color of lowfat milk*, Journal of Dairy Science Vo.78 No.6 1995, Northeast Dairy Foods Research Center, Department of Food Science, Cornell University, Ithaca, NY 14853.
- [8] Stauffer, P. et al., (2004), *Combination applicator for simultaneous heat and radiation*, Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS, Oncology Department, University of California at San Francisco, CA, USA/Bionix Development Corp., Paoli PA, USA.
- [9] http://www.canon.no/About_Us/News/Consumer_Releases/Cons_070201_HV20.asp?ComponentID=425432&SourcePageID=25106
- [10] <http://www.helse-bergen.no/avd/kreftavdelingen/tema/hypertermi/hypertermi.htm>
- [11] <http://www.kreftregisteret.no/ramme.htm?start.htm>
- [12] <http://www.ipitek.com/products/sensors/contact.htm>
- [13] <http://www.mathworks.com/products/matlab/description1.html>

[14]<http://www.who.int/cancer/en/>

[15]<http://www.ub.uit.no/munin/handle/10037/1099>

[16]Kvitberg,J.I.K, (2008), *Eksperimentell studie av termo-fluidale egenskaper til bolus for bruk innen hypertermisk behandling av brystkreft*, Prosjektoppgave I Kommunikasjon og Mikroelektronikk, Det Matematisk-Naturvitenskapelige Fakultet, Institutt for Fysikk og Teknologi, Universitetet i Tromsø, Tromsø.