

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP





## Forord

Denne oppgaven er skrevet som et avsluttende arbeide i undertegnede mastergradsstudie innen matvitenskap ved Universitetet for Miljø –og Biovitenskap i Ås. Universitetet i Ås, Nofima Mat i Ås, Nofima Mat i Stavanger og TINE ved Salmon Brands har bidratt med faglig kompetanse og økonomisk støtte til arbeidet.

Oppgavens tema er varmebehandling av laks hvor både sensoriske og matematiske tilnærminger er benyttet for å beskrive effekter av ulike kombinasjoner av tid og temperatur. I henhold til tilgjengelig materiale er matematiske modeller for prediksjon av temperaturforløp ikke tidligere benyttet med hensyn på å bestemme forsøksparametere ved oppsett av sensoriske forsøk.

Jeg vil gjerne takke min Hovedveileder Margrethe Hersleth ved UMB/Nofima Mat for god oppfølging, veiledning og verdifulle innspill gjennom oppgavens forløp. Jeg vil også takke Reidar Barfod Schüller og Morten Thyregod Paulsen for deres roller som biveiledere og Nofima Mat og TINE ved Salmon Brands for initiering av oppgavetema og finansiering av forsøk og råmateriale. I tillegg er jeg takk skyldig til de ansatte ved sensorisk avdeling ved Nofima mat, spesielt Jannike Olavesen og Inger-Johanne Fjøsne for profesjonell hjelp under det sensoriske forsøket.

Jeg skylder også en stor takk til Dagbjørn Skipnes ved Nofima Mat i Stavanger for hans mange bidrag med hensyn på praktisk og faglig støtte, spesielt med hensyn på delen som angår varmegjennomgang i næringsmidler.

Til slutt vil jeg takke min mamma og min samboer for hjelp med korrekturlesning og ekstra innsats på hjemmebane.

Ås, Desember 2010

Marianne K. Jansson

## Sammendrag

Norsk fiskerinæring har i dag utfordringer når det gjelder å øke videreføring av rund fisk. Utvikling av nye produkter vil kunne være viktig med hensyn på å øke økonomisk gevinst og for å skape konkurransefortrinn.

SALMA-laks er et nisjeprodukt og består av pre-rigor filetert oppdrettslaks av superior kvalitet. SALMA har lenge vært anerkjent for sin egnethet i retter hvor rå fisk er hovedingrediensen, spesielt i retter som sushi og sashimi. Fordi det i Norge er lange tradisjoner for varmebehandling av laks, er det imidlertid også ønskelig å bestemme hvordan SALMA-laks bør varmebehandles for best mulig å bevare råvarens gode kvalitet.

Forsøkene i denne oppgaven har hatt til hensikt å kartlegge om og hvordan den sensoriske profilen i SALMA-laks vil påvirkes ved bruk av ulike kombinasjoner av tid og temperatur når laksen varmebehandles i dampovn. Til den sensoriske vurderingen er et profesjonelt panel ansatt ved Nofima Mat benyttet. Panelet bestod av 9 dommere som tidligere har jobbet med råvarer av samme type i ulike sammenhenger.

I forsøksprosessen er også varmegjennomgang i råvaren undersøkt ved å konstruere en matematisk modell. Modellen er vurdert i forhold til evne til å predikere kjernetemperatur, og den er deretter benyttet som hjelpemiddel for å fastsette forsøksparametere for varmebehandling av prøver som inngikk i det sensoriske forsøket.

Resultatene fra forsøkene indikerer at ulike kombinasjoner av tid og temperatur vil resultere i ulike sensoriske profiler. De fleste egenskapene det er testet for, viser systematiske resultater i forhold til temperatur og oppholdstid i ovn hvor de mildest og hardest varmebehandlede prøvene viser flest forskjeller. Det er også vist at det er mulig å predikere varmegjennomgang i SALMA-laks ved hjelp av en matematisk modell.

## Summary

One of the main challenges of the Norwegian fish industry today is to increase development of new fish-based products. An increase in production of more raffined fish products would provide a competitive edge and might give increased income for the industry.

SALMA-salmon is an example of a Norwegian fish product that has been a success in the Norwegian and foreign markets recent years. This is pre-rigor filleted farmed Atlantic Salmon, and is considered an unique product. SALMA-salmon has experienced great success as an ingredient in typically raw fish dishes such as sashimi and sushi. However traditionally, salmon is often served in a cooked manner, and it is therefore of interest to examine the effect of heat treatment on SALMA-salmon and how to heat treat the fish to maintain the surperiore quality.

The trials in question have been conducted to examine the effects of different time and temperature combinations on the sensory profile of SALMA-salmon. A sensory panel consisting of 9 trained pannellists was included to discuss and validate the sensory attributes of cooked salmon. In addition, a mathematical model for describing heat transfer in the salmon samples during and after heat treatment was constructed. The model was assessed by a serial of heat treatment trials and used to construct trial parameters for the sensory experiments.

The results of the trials indicate significant differences between samples heat treated by different time and temperature combinations in respect to sensory attributes. The results also imply that a mathematical approximation and simulation might predict core temperatures of salmon samples during and after heat treatment.

## Innholdsfortegnelse

Forord.....	1
Sammendrag.....	2
Summary .....	3
Innholdsfortegnelse .....	4
1 Innledning.....	9
1.1 Problemstilling og målsetning for oppgaven.....	10
1.2 Avgrensning .....	10
2 Teori .....	11
2.1 Laks som råvare.....	11
2.1.1 SALMA.....	11
2.1.2 Anatomi og fysiologi.....	11
2.1.3 Kjemisk komposisjon .....	12
2.1.4 Rigorforløp .....	14
2.1.5 Pre-rigor filetering av oppdrettslaks .....	15
2.2 Varmeoverføring ved damp.....	17
2.3 Varmeinduserte endringer i laks.....	18
2.3.1 Fysiokjemiske endringer .....	18
2.3.1.1 Proteindenaturering .....	19
2.3.1.2 Vannbindingsevne og vanntap .....	20
2.3.1.3 Teksturendringer.....	21
2.3.1.4 Fargeendringer.....	22
2.3.1.5 Krymping av filet .....	22
2.3.2 Sensoriske endringer .....	22
2.4 Sensorikk.....	23
2.4.1 De humane sanser og persepsjon.....	23
2.4.1.1 Synssansen.....	24
2.4.1.2 Luktesansen .....	24
2.4.1.3 Smaksansen .....	25

	5
2.4.1.4 Følesansen .....	26
2.4.2 Sensoriske metoder.....	26
2.4.2.1 Deskriptive metoder .....	27
2.4.2.2 Affektive metoder/forbrukertester.....	28
2.5 Matematiske metoder .....	28
2.6 Statistiske analyser .....	29
2.6.1 Variansanalyse -ANOVA.....	29
2.6.2 Multivariable dataanalyser .....	30
3 Materialer og metoder .....	31
3.1 Oppgavens struktur.....	32
3.2 Prediksjon av varmegjennomgang .....	33
3.2.1 Resolutiv tilnærming .....	34
3.2.2 Råvarer .....	35
3.2.3 Tilberedningsutstyr.....	35
3.2.4 Måleutstyr.....	35
3.2.5 Prøvepreparering og metode for varmebehandling .....	36
3.2.6 Forforsøk med kokk .....	38
3.2.7 Utarbeiding, justering og validering av numerisk modell .....	38
3.2.7.1 Bestemmelse av varmegjennomgang i SALMA-laks.....	39
3.2.7.2 Kalkulering og simulering av varmegjennomgang i laksefileter.....	39
3.2.7.3 Validering og ferdigstillelse av analytisk modell som grunnlag forforsøksoppsett .....	41
3.3 Hovedforsøk .....	43
3.3.1 Råvarer og prøveuttak .....	43
3.3.2 Tilberedningsutstyr.....	43
3.3.3 Måleutstyr.....	44
3.3.4 Prøvepreparering og metode for varmebehandling .....	44
3.3.5 Beskrivende analyse .....	46
3.3.5.1 Trening og forforsøk.....	46
3.3.5.2 Hovedforsøk .....	46

3.3.6 Databehandling og statistiske analyser.....	52
4 Resultater.....	53
4.1 Prediksjon av varmegjennomgang .....	53
4.1.1 Bestemmelse av varmegjennomgang i SALMA laks.....	53
4.1.2 Bestemmelse av varmeovergangstall i dampovn.....	53
4.1.3 Modellens prediksjonsevne .....	54
4.1.4 Anvendelse av matematisk modell: generering av forsøksoppsett.....	60
4.2 Hovedforsøk: Instrumentelle og sensoriske vurderinger.....	63
4.2.1 Instrumentelle resultater .....	63
4.2.1.1 Vekttap .....	63
4.2.1.2 Minolta fargemåling .....	64
4.2.2 Sensoriske resultater.....	66
4.2.3 Temperaturresultater.....	71
5 Diskusjon.....	73
5.1 Prediksjon av varmegjennomgang .....	73
5.1.1 Modellens prediksjonsevne .....	73
5.1.2 Anvendelse av matematisk modell: Generering av forsøksoppsett.....	76
5.2 Hovedforsøk: instrumentelle og sensoriske vurderinger.....	78
5.2.1 Instrumentelle resultater .....	78
5.2.1.2 Minolta fargemåling .....	78
5.2.1.3 Vekt .....	78
5.2.2 Sensorisk vurdering av varmebehandlet laks .....	79
5.2.2.1 Utseende .....	80
5.2.2.2 Smak.....	82
5.2.2.3 Lukt .....	82
5.2.2.5 Tekstur.....	82
5.2.3 Den matematiske modellens prediksjonsevne ved hovedforsøk .....	84
5.3 Pågående studie ved UiS/Nofima Mat avd. Stavanger vs sensorisk profilering .....	86
6 Konklusjon .....	87



7 Forslag til videre arbeid.....	88
Referanser.....	90

## Vedlegg

- 1: Predikert og eksperimentelt målt temperaturforløp i kjernen av alle prøver ved validering av modell.
- 2: Egenskapsforklaringer benyttet ved sensorisk profilering.
- 3: Skala benyttet ved sensorisk profilering.
- 4: Tids/aktivitetsplan for gjennomføring av hovedforsøk inkludert randomisering av prøver og arbeidsfordeling.
- 5: Resultater fra profilerende analyse: gjennomsnittsverdier og  $-p$ -verdier.
- 6: Resultater for egenskapen hardhet (indre) behandlet ved hjelp av Tukey grupperingstest.

## Figurer

Figur 1: Skjematisk oppsett av prosess for fremstilling av pre-rigor filetert laks. ....	16
Figur 2: Kronologisk oppsett av trinn i forsøksprosessen. ....	32
Figur 3: Skjematisk oppsett av tilnærming for analyse av varmegjennomgang i SALMA laks. ....	34
Figur 4: Metode for tilskjæring av laksefileter. ....	37
Figur 5: Oppsett av laksestykket og temperaturlogger. ....	38
Figur 6: Varmebehandlet laks .....	41
Figur 7: Inndeling av maskenett og dimensjoner anvendt i den numeriske modellen .....	43
Figur 8: Fordeling av prøver på Brett før varmebehandling. ....	45
Figur 9: Prøver etter varmebehandling.....	47
Figur 10: Skjematisk oppsett av rekkefølge for sensorisk bedømming av prøveegenskaper.....	49
Figur 11: h-verdier derivert fra temperaturforsøk.....	54
Figur 12: Predikert og eksperimentelt målt temperaturforløp i kjernen av en prøve. (65°C).....	56
Figur 13: Predikert og eksperimentelt målt temperaturforløp i kjernen av en prøve. (95°C).....	57
Figur 14: Eksperimentelle datas avvik fra predikerte data (65°C). ....	58
Figur 15: Eksperimentelle datas avvik fra predikerte data (75°C) .....	58
Figur 16: Eksperimentelle datas avvik fra predikerte data (85°C) .....	59
Figur 17: Eksperimentelle datas avvik fra predikerte data.....	59
Figur 18: Predikert varmefordeling etter endt hviletid i et tverrsnitt av 5 prøver. ....	60
Figur 19: Konturplott av predikert varmefordeling etter endt hviletid i et tverrsnitt av 5 prøver .....	61
Figur 20: Vekttap uttrykt som prosent av opprinnelig vekt for kontrollstykker.....	63
Figur 21: Lyshet av prøver målt på overflaten av respektive kontrollstykker.....	64

Figur 22: Intensitet av rødt målt på overflaten av respektive kontrollstykker.....	65
Figur 23: Intensitet av gult målt på overflaten av respektive kontrollstykker.....	65
Figur 24: Sensoriske resultater for attributten Grovhet (indre).....	67
Figur 25: Sensoriske resultater for attributten Saftighet (indre).....	68
Figur 26: PCA correlation loadings plot av signifikante sensoriske egenskaper. ....	69
Figur 27: PCA score plot av prøver.....	70
Figur 28: Bi-Plot av kjerneegenskaper og prøver for indre teksturegenskaper.....	71

## Tabeller

Tabell 1: Forsøksvariabler for varmebehandling av prøver.....	46
Tabell 2: Attributter vurdert i sensorsik forsøk.....	51
Tabell 3: Gjennomsnittlig k-verdi med standardavvik målt i bellystyking av SALMA-laks.....	53
Tabell 4: Behandlingstemperatur, dimensjoner, estimert og eksperimentell kjernetemperatur og den eksperimentelle kjernetemperaturens avvik fra den estimerte kjernetemperaturen.....	55
Tabell 5: Varmebehandlingstider beregnet for hovedforsøk.....	62
Tabell 6: Gjennomsnittsverdier for sensoriske egenskaper.....	66
Tabell 7: Predikert og eksperimentelt målt kjernetemperatur i et kontrollstykke.....	72

## Likninger

Likning 1: Fouriers lov.....	18
Likning 2: Differensiell form av likning (1).....	40
Likning 3: Termisk diffusivitet.....	40
Likning 4: Formel for beregning av temperaturavvik.....	41

## 1 Innledning

Så langt tilbake som vår historie er kjent, har nordmenn livnært seg på fiske. På begynnelsen av 80-tallet begynte oppdrettsanlegg å dukke opp langs kysten, og Norges geografiske oppbygning legger godt til rette for kommersiell oppdrett av sjødyr. Oppdrett av laks har de siste årene utgjort en betydelig del av landets produksjon innen kategorien havbruk, med 85% andel av det totale salget av norsk oppdrettsfisk (SSB 2010b). Salg av laks har de siste årene tredoblet seg; fra en førstehandsverdi på 7500 millioner kroner i 1997 til en førstehandsverdi på omlag 23000 millioner kroner i 2009 (SSB 2010a), og næringen antyder at det er grunn til å kunne forvente en fortsatt økning i fremtiden.

En av utfordringene innen forvaltning av fiskeråstoff på nasjonal basis kan knyttes til mangel på tradisjoner for videreforedling av fiskeråstoff i Norge. Det er i dag flere foredlingsanlegg i Europa og Asia som baserer seg på norsk råstoff i form av rund fisk, noe som kan betraktes som en medvirkende faktor til den langsomme utviklingen innen videreforedling av fisk på nasjonal basis. Utviklingen går imidlertid i retning av økt videreforedling i Norge, noe som vil kunne gi økt fortjeneste på råvaren og økt sysselsetting innen kategorien fiskeri og havbruk.

I dagens samfunn kan man observere en stadig økende etterspørsel etter råvarer av premium kvalitet som ingredienser i måltider, i det hjemmelagede så vel som i restaurantmåltidet. SALMA-laks fra Salmon Brands er et eksempel på en slik råvare. Den gode kvaliteten blir i følge produsenten dokumentert gjennom en rekke forsøk som i hovedsak fokuserer på farge, kjøttkvalitet, fasthet, smak og mikrobiell kvalitet (SALMA 2010). Laksen som benyttes til SALMA er blant annet levendekjølt og filetert pre-rigor, noe som sikrer en ekstra fersk filet. På grunn av den gode kvaliteten, egner SALMA-laks seg til rå konsum i retter som sashimi og sushi. Det er imidlertid også ønskelig å varmebehandle laksen for å oppnå en annen spisekvalitet. For å kunne bevare den gode kvaliteten gjennom ulike prosesser for varmebehandling, er det derfor et behov for å undersøke hva slags effekt dette har på sensoriske egenskaper av SALMA-laks.

Flere forskere har tidligere ved hjelp av instrumentelle målinger beskrevet hvordan fysiokjemiske parametere i varmebehandlet laks endres med tid, temperatur og metode for varmebehandling (Bhattacharya et al. 1993; Kong et al. 2007). Studier er også gjort med hensyn på sensorisk analyse av varmebehandlet laks og ørret (González-Fandos et al. 2004; González-Fandos et al. 2005; Rodríguez et al. 2008; Rødbotten et al. 2009), men felles for det meste av dette arbeidet er at det fokuserer på å detektere og kvantifisere lukter og smaker som kan assosieres med kvalitetsforringelse og at det har som hensikt å kartlegge hvordan ulike parametere, for eksempel lagringsforhold, påvirker sensorisk holdbarhet av tilberedt laks. Resultater fra undertegnede forsøk vil fremskaffe informasjon om hvordan den sensoriske profilen av laks påvirkes av ulike kombinasjoner av tid og temperatur når den varmebehandles ved damp. I tillegg vil forsøket gi informasjon om hvorvidt en matematisk modell som beskriver varmegjennomgang vil muliggjøre prediksjon av kjernetemperatur i laks.

## 1.1 Problemstilling og målsetning for oppgaven

Det overordnede målet med oppgaven var å kartlegge hvordan sensoriske parametere i pre-rigor filetert laks vil påvirkes av endrede tid- og temperaturforhold ved varmebehandling. I tillegg har den til formål å undersøke hvorvidt det er mulig å konstruere en matematisk modell som beskriver varmegjennomgang i laks og som muliggjør prediksjon av steketid når en gitt kjernetemperatur skal oppnås.

## 1.2 Avgrensning

Fra et kommersielt standpunkt ville det kunne være interessant å ta for seg flere ulike typer varmebehandling, blant annet grilling og steking som er mye benyttede metoder for tilberedning av laks på storkjøkken. I tillegg ville det også kunne være interessant å undersøke effekter av konveksjonssteiking, som kanskje er blant de aller vanligste formene for varmebehandling av fisk på det private kjøkken.

På grunn av oppgavens omfang er det likevel mest hensiktsmessig å ta for seg en form for varmebehandling som lettere lar seg reproducere og som gjør at man kan minimere momenter som vil kunne skape støy i resultatene. Varmebehandlingen som er valgt som metode i denne oppgaven er derfor dampbehandling i kombinasjonsovn utstyrt med en vifte. Valget av denne type varmebehandling vil minske eventuell støy som ville kunne oppstå som følge av fordampning fra prøver, ukjente temperatureffekter, stekemedier og liknende.

Fordi det er mange faktorer som påvirker varmegjennomgang i næringsmidler, har en del av utfordringen ved oppgaven vært å standardisere og konstruere en metode som på best mulig måte er i stand til å gjengi det som reelt sett foregår på et storkjøkken når SALMA-laks tilberedes. Faktorer som vil kunne påvirke resultatet, er type ovner, stekebrett, garnityr, ulikt intervall mellom uttak fra ovn og servering til kunde. I tillegg vil varierende presisjon og nøyaktighet ved tilskjæring av laksen være forstyrrende faktorer. Hvor mange porsjoner som tilberedes i ovnen samtidig vil også kunne påvirke varmegjennomgangen.

## 2 Teori

Dette kapitlet vil oppsummere relevant bakgrunnsinformasjon om laks som råvare generelt og pre-rigor filetert laks spesielt. Sensoriske, matematiske og statistiske metoder vil også bli beskrevet.

### 2.1 Laks som råvare

#### 2.1.1 SALMA

Merkevaren SALMA ble lansert i 2004, er markedsført av Salmon Brands og eid av Tine (51%) og Bremnes Seashore (49%). Bremnes Seashore er et privateid selskap som står for 2% av verdens samlede produksjon av oppdrettslaks (Bremnes Seashore 2010).

Konseptet SALMA går i følge produsenten ut på, ved hjelp av levendekjøling, pre-rigor filetering og manuell tilskjæring, å levere et produkt med dokumentert høyere kvalitet enn den ferske og fryste fileter fra konvensjonelt slaktet oppdrettslaks holder. Dette er med hensyn på mikrobiologisk kvalitet, tekstur og farge. Tiden fra slaktetidspunkt til produktet er ferdig emballert og pakket skal være mindre enn fire timer.

Forbrukerundersøkelser har tidligere vist at å selge fisk uten skinn og bein øker kvaliteten på produktet slik kunden oppfatter det, og at det øker sannsynligheten for at kunden vil kjøpe produktet (Tronsen et al. 2003. Gjengitt etter Rødbotten et al. 2009). Således kan man hevde at måten SALMA-laks produseres og leveres på bidrar til å øke produktets kvalitet. SALMA hadde i 2009 en volumøkning på 75% (TINE kommunikasjon 2009), noe som viser en økende interesse for dette produktet blant forbrukere.

Det er dokumentert at SALMA-laks har fordeler med hensyn på kvalitet sammenliknet med konvensjonelt slaktet og fileterte laks. Disse fordelene er vist å være spesielt store med hensyn på mikrobiell kvalitet, men signifikante forskjeller er også funnet for farge og tekstur; pre-rigor fileter viser lavere mikrobiell belastning, forbedret fargekarakteristikk og fastere tekstur (Skjervold et al. 2001b). Det er imidlertid ikke gjort noen studier av effekt av varmebehandling på SALMA-laks.

#### 2.1.2 Anatomi og fysiologi

Fiskens anatomi og fysiologi har betydning for videreforedling og varmebehandling. Muskulaturen hos fisk skiller seg fra den hos videreutviklede pattedyr ved at den største delen av muskulatur finnes som langsgående fileter, og ikke som spesialiserte grupper med muskler som skilles fra hverandre ved hjelp av bindevevshinner og sener. Vi snakker derfor ikke om indrefilet, ytrefilet og så videre når det gjelder fisk. Fiskemusklene er bygget opp av traktformede myotomer adskilt av bindevevshinner som i et tverrsnitt vil fremstå som konsentriske ringer (Lynnum 2005).

Et muskelsegment, eller myotom, er bygget opp av en rekke muskelbunter som igjen er bygget opp av muskelfiber, og det er disse fiberne som defineres som muskelceller. Muskelcellen er omgitt av en

bindevevshinne og kan inneholde mange cellekjerner. I cellene finnes også myofibriller, og disse består hovedsakelig av de kontraktile proteinene aktin (~25%) og myosin (~50%). Det er konformasjonsmessige endringer i denne proteinstrukturen som forårsaker de teksturmessige endringene i fiskekjøttet gjennom rigorforløpet, slik det er beskrevet i avsnitt 2.3.1.3 (ibid.).

I motsetning til hos torsk, som har tykkfiskbeinet lokalisert mellom øvre og nedre muskelmasse, finner man i laks det tilsvarende beinet, kalt pinnbein, midt i den øvre muskelmassen. Dette kompliserer foredling av laks i pre-rigorfasen fordi pinnbeinet i denne delen av dødsforløpet sitter svært godt festet til fiskekjøttet. Påføring av mekanisk kraft for å fjerne pinnbeinet vil kunne resultere i store skader på fileten, og alternative manuelle metoder som involverer inndeling av filet i øvre og nedre loin er i dag benyttet ved pre-rigor-produksjon av laksefileter (Medjell et al. 2005). Det arbeides med å utvikle både semimaskinelle og rene maskinelle metoder for pre-rigor fjerning av pinnbein i laks (Schneider 2010).

### 2.1.3 Kjemisk komposisjon

Den kjemiske sammensetningen av laks vil variere med hensyn på flere faktorer, hvorav de viktigste er kjønn, alder, levested og årstid (Lynum 2005; Mørkøre & Rørvik 2001).

Hovednæringsstoffene i filet av laks generelt fordeler seg med omlag 69% vann, 18,4% protein, 9,9% fett og <0,1% glykogen (Lynum 2005). Produktinformasjon angitt på emballasjen av SALMA-laks angir et fettinnhold på 14%. Upublisert materiale hvor egenskaper i SALMA-laks undersøkes viser imidlertid et visst avvik fra dette, hvorav fettinnholdet er målt til å utgjøre 10,05% av fileten (Skipnes 2010a). Avviket kan forklares av sesongmessige variasjoner slik det tidligere er vist av Mørkøre & Rørvik (2001) dersom Salmon Brands benytter seg av en gjennomsnittsverdi eller en verdi målt på en annen tid av året.

Proteininnholdet i laks er tidligere vist å variere svært lite, og er relativt høyt i laks sammenliknet med hos andre fiskearter (Lynum 2005). Ovennevnte pågående studier viser imidlertid at proteininnholdet i SALMA-laks er høyere enn litteraturen angir med en andel på 21,75% (Skipnes 2010a). Proteinene man finner mest av i fiskemusklene er myofibrillære proteiner i form av aktin og myosin, bindevevsproteinene kollagen og sarkoplasmatiske proteiner (Kong et al. 2008).

Protein kan betraktes som en av de viktigste bestanddelene i fersk laks med hensyn på egenskaper som vil kunne påvirke eller påvirkes av videreforedling og varmebehandling. Fett kan imidlertid også spille en svært viktig rolle når det gjelder harskningsprosesser og sensoriske endringer knyttet til dette, spesielt med tanke på det høye innholdet av flerumettede fettsyrer. Laks er blant de middels fete til fete fiskeslagene, og kan i perioder med god tilgang på føde inneholde opp mot 30% fett. Fettinnholdet varierer med sesong, kjønn og alder, og det er vist at vanninnholdet samvarierer med andel fett i fileten. Det vil si at i perioder hvor forholdene ligger til rette for et høyt fettinnhold, vil fileten ha

tilsvarende lavt vanninnhold og omvendt. I villaks, som har et gjennomsnittlig fettinnhold på 9%, vil innholdet av flerumettede fettsyrer, enumettede fettsyrer og mettede fettsyrer fordele seg med henholdsvis 1,87, 4,31 og 1,74% (Lynum 2005). Det høye innholdet av flerumettede fettsyrer gjør laks spesielt utsatt for oksidative harskningsreaksjoner, noe som gjør optimale lagrings- og emballeringsforhold spesielt viktige for å sikre et produkt med optimal kvalitet.

Forskning viser at fettinnholdet for villaks og oppdrettslaks ikke er signifikant forskjellig dersom man korreterer for fiskens størrelse (Glover et al. 2009). Dette indikerer at oppdrettslaks ikke skiller seg signifikant fra villaks med hensyn på overordnet kjemisk komposisjon når man tar i betraktning at proteininnholdet er relativt konstant. Det er imidlertid vist at blant annet laksens fettsyreprofil vil påvirkes av førets fettsyreprofil, noe som kan påvirke oppdrettslaksens fysiske og ernæringsmessige kvalitet i en annen retning enn kvaliteten på villaks avhengig av hva slags type fôr den får (Bell et al. 2003).

Når det gjelder innhold av karbohydrat, foreligger dette i form av glykogenlagre i muskelen. Selv om andelen glykogen i forhold til vekt er relativt liten sammenliknet med pattedyr hvor innholdet er omtrent 1% av vekten, er mengden glykogen i muskelen en svært viktig faktor for hvordan rigorfasen forløper. Glykogeninnholdet spiller gjennom dets rolle i rigorforløpet også en indirekte rolle for laksens kvalitet og holdbarhet. Dette er omtalt i avsnitt 2.1.4. Innholdet av glykogen i musklene hos ustresset fisk varierer svært lite, men dersom fisken stresses vil lagrene raskt brytes ned (Lynum 2005).

Kjøttets rødfarge er en karakteristisk egenskap for laks. Hos pattedyr skyldes den røde fargen på muskelmassen proteinet myoglobin som lagrer oksygen. Hos fisk, derimot, er størstedelen av muskelmassen anaerob med unntak av den brune muskulaturen. Rødfargen i laks er derfor ikke et resultat av tilstedeværelse av myoglobin, men snarere fargestoffet astaxantin. Astaxantin er et karotenoid som gir laksekjøttet den karakteristiske rødfargen, og innholdet av dette er avgjørende for hvordan man oppfatter laksens visuelle kvalitet. For oppdrettslaks er det vanlig å tilsette karotenoidet i føret slik at ønsket rødfarge oppnås. Vitenskapelig arbeide er gjort for å undersøke hva som er optimalt innhold av astaxantin i føret i forhold til optimal farge på laksekjøttet (Wathne et al. 1998).

En studie er gjort for å avdekke om det finnes forskjeller i kjemisk innhold mellom ulike deler av laks, det vil si øvre og nedre loin og hale- og hodeorienterte filetdeler (Skjervold et al. 2001b). Resultatene indikerer at det ikke er signifikante forskjeller mellom de ulike stykningsdelene med hensyn på kjemisk komposisjon til tross for at laks er kjent for å lagre mer fett i bukpartiet (Lynum 2005). Visuelt kan man likevel observere at laks som sådan ikke er en homogen råvare blant annet med hensyn på fettfordeling. I forsøket gjort av Skjervold et al. (2001b) ble de ulike delene av laksen malt opp, og det er dermed kun den gjennomsnittlige kjemiske komposisjonen som er beregnet. Således kan disse resultatene ikke si noe om den lokale fettfordelingen innad i stykningsdelene.

I tillegg til hovednæringsstoffene, er laks også vist å være en god kilde til vitamin A (22 µg), vitamin D (8µg) og vitamin B<sub>12</sub> (9µg). Til sammenlikning har torsk et mye lavere innhold med henholdsvis 2, 1,5 og 1µg (Lynum, 2005). Dette har blant annet sammenheng med det høye fettinnholdet i laks.

#### 2.1.4 Rigorforløp

Når fisken går inn i dødsfasen, som er definert til å starte 5 minutter etter bløggetidspunktet, vil ulike kjemiske reaksjoner inntreffe som følge av at blodsirkulasjonen stopper opp. Den osmotiske likevekten vil forstyrres, beskyttelsesmekanismer mot bakterier svikter og kontroll av metabolismen vil opphøre. Når oksygentilførselen stopper opp, vil også red. –oks.-potensialet synke slik at cellerespirasjonen stopper og glykolysen starter. Glykolysens sluttprodukter vil gjøre at pH faller, noe som vil føre til denaturering av proteiner og frigjøring av proteolytisk enzymer. Når pH når muskelproteinenes isoelektriske punkt, som er punktet hvor proteinene har lavest vannbindingsevne, vil drypptapet fra fileten øke (Lynum 2005).

I en periode etter døden inntreffer, vil fiskekjøttet være fast og elastisk. Når respirasjonen stopper, vil imidlertid rigor mortis starte, og i denne fasen vil fiskekjøttet være hardt og uelastisk. Hva som forårsaker inntreden av rigor er ikke vitenskapelig vist, men stivheten skyldes at aktin –og myosinfilamentene i muskelen låses i hverandre og danner komplekset aktomyosin. Teorier går ut på at rigor mortis utløses av en nedre terskelverdi for ATP-innhold i muskelen (ibid.).

Etter en periode vil fiskemuskelene gå ut av rigor. Dette skyldes ikke oppløsning av aktomyosin-kompleksene, men trolig at aktinfilamentene løses fra det som kalles z-platene. Teksturen post rigor vil være bløtere og mindre fast enn pre-rigor, og fisken vil gi lett etter for fingertrykk som vil bli stående igjen som fordypninger (ibid.).

Varigheten av de ulike stadiene i rigorforløpet er avhengig av glykogeninnhold i muskel ved død tidspunktet og av temperatur. Levendekjøling og mindre grad av trenging i merd og tank før slakt er vist å forsinke inntreden av rigor og å forlenge rigorperioden (Skjervold et al. 1999; Skjervold et al. 2001a). Temperaturkontroll også under filetproduksjonen er viktig for å sikre en lang pre-rigorperiode og for å hindre svært kraftige rigorsammentrekninger. Lav produksjonstemperatur er også viktig for å hindre et uforholdsmessig stort vanntap da det er vist at høye temperaturer i produksjonslokalet vil kunne resultere i vekttap på opp mot 25% (Lynum 2005).

Endringen i pH etter død tidspunkt er noe mindre for fisk enn for pattedyr, noe som kan forklares av det lavere innholdet av glykogen. Dette er også, sammen med komposisjonen av fiskens mikroflora, en av årsakene til at fisk har kortere holdbarhet enn kjøtt, og dette gir spesielt utslag dersom fisken har vært stresset før død tidspunktet slik at glykogenreservene er brukt opp (Lynum 2005; Skjervold et al. 1999).



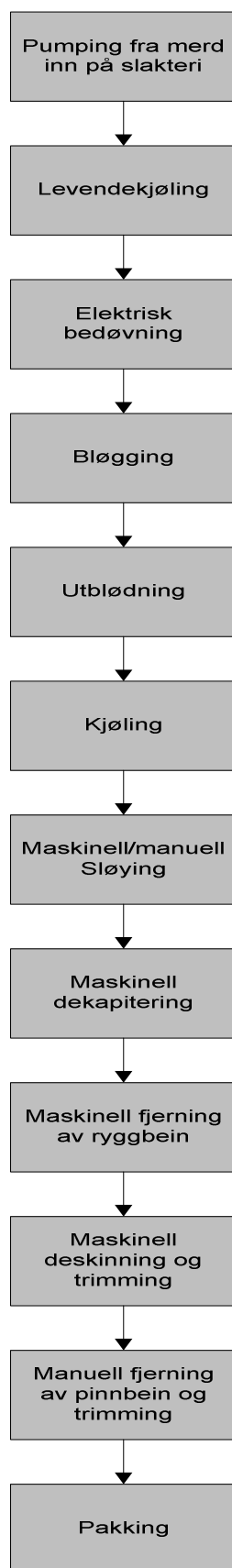
### 2.1.5 Pre-rigor filetering av oppdrettslaks

Det unike med pre-rigor filetert laks er, som betegnelsen indikerer, at den er filetert før laksen går inn i rigorfasen. SALMA-laks vil, slik det er omtalt innledningsvis, slaktes, fileteres og vakuumpakkes innen en tidsramme på 4 timer, og all behandling av fileten vil dermed skje før inntreden av rigor mortis. Dette gjør det mulig for produsent å ha laksen tilgjengelig på markedet 3-5 dager tidligere enn dersom fisken ville blitt modnet før filetering slik den konvensjonelle metoden går ut på (Medjell et al. 2005).

Det er fjerning av pinnbein som er den største utfordringen med tanke på produksjon av pre-rigor fileterte laksefileter. Den vanligste metoden for å omgå problemet, er ved å benytte manuell tilskjæring. Det er imidlertid kjent at nye metoder som muliggjør fjerning av pinnbein uten inndeling av fileten i øvre og nedre loin er under utvikling (Schneider 2010).

Ved pre-rigor filetproduksjon er det i forkant av bedøvning og bløgging vanlig å benytte seg av levendekjøling, som er en metode hvor fisken sendes inn i en tank med sjøvann som holder en temperatur på omlag 4°C. Ved å benytte denne metoden er det vist at man vil kunne oppnå en fisk som er roligere ved slaktetidspunktet, og dermed forsinke inntreden og forlenge forløpet av rigor mortis og gjøre rigorsammentrekningene mindre (Skjervold et al. 2001a). I tillegg vil kjøling av fisken i levende tilstand kunne sørge for en mer effektiv nedkjøling av fisken enn dersom den kun kjøles etter slaktetidspunkt da blodomløpet sørger for hurtigere nedkjøling (Medjell et al. 2005). Ved pre-rigor filetproduksjon er det særs viktig å holde temperaturen på råvaren og i produksjonslokalet lav. Dette er for å bremse opp rigorforløpet og for å hindre oppblomstring av mikroorganismer i produksjonsutstyr o.l. da fileter er spesielt utsatt for mikrobielt angrep sammenliknet med rund fisk.

De øvrige trinnene i slakte- og foredlingsprosessen for pre-rigor filetert laks skiller seg ikke vesentlig fra produksjonsmetoder benyttet ved produksjon av konvensjonelle fileter. Generelle trinn som inngår ved produksjon av pre-rigor filetert laks er vist i figur 1.



Figur 1: Skjematisk fremstilling av generelle produksjonstrinn ved fremstilling av pre-rigor filetert laks.

## 2.2 Varmeoverføring ved damp

Varmebehandling av næringsmidler har i flere tusen år vært benyttet for å endre næringsmidlers egenskaper når det gjelder spiselighet, smak, tekstur og utseende. Direkte varmebehandling ved hjelp av åpen ild var kanskje den metoden som tidligst ble tatt i bruk, men i nyere tid har stadig mer raffinerte metoder for varmebehandling blitt utviklet, blant annet varmebehandling ved bruk av damp.

I dag benyttes dampovner hovedsakelig på storkjøkken og i næringsmiddelindustrien, men et økende antall konveksjonsovner med dampfunksjon og rene dampovner for privat bruk har de siste årene dukket opp på markedet, noe som indikerer en økende interesse for denne metoden å tilberede mat i hjemmet på.

Dampovner som er tilpasset bruk i vanlige husholdninger markedsføres med en "sunnhetsprofil" hvor en av fordelene som hevdes er at man ikke behøver å tilsette maten fett. Blant andre fordeler som produsentene hevder er økt preserving av næringsstoffer, hurtig tining av frysede næringsmidler uten tap av vann, ingen overføring av lukt mellom næringsmidler og mulighet for andre bruksområder som for eksempel fjerning av skall på tomater og sterilisering av flasker og krukker (The Independent Electrical Retailer 2007; Electrolux Newsroom UK 2010). Forhandlerne viser imidlertid ikke til vitenskapelige resultater, og det er dermed usikkert hvorvidt påstandene lar seg verifisere.

Ved å benytte damp ved tilberedning av fisk og kjøtt, vil man kunne få en effektiv varmeoverføring mellom den omgivende atmosfæren i ovnen og næringsmiddelet som varmebehandles fordi varmeoverføringskoeffisienten vil stige med økende luftfuktighet. Når vann går over i dampfase vil entalpien øke, og denne energien vil kunne overføres direkte til næringsmiddelet dersom dampen kondenseres i kontakt med næringsmiddelets overflate. Kondensering på overflaten inntreffer når næringsmiddelet holder en lavere temperatur enn duggpunktstemperaturen til luften i ovnen. Disse og andre effekter vil gjøre at man kan oppnå ønsket temperatur i næringsmiddelet på kortere tid enn dersom man benytter luft som varmemedium.

Når man skal undersøke termisk konduksjon i et fast legeme, beregnes en energibalanse hvor man antar at mekanismer for varmeoverføring ved stråling er neglisjerbare. Ved hjelp av denne balansen kan man konstruere en likning som er i stand til å beskrive temperaturprofiler og varmefluxen i legemet. Likningens natur avhenger av legemets dimensjonsmessige utseende, og vil være forskjellig dersom man har rektangulære, sylindriske eller sfæriske koordinater. Dersom varmegjennomgang for rektangulære legemer skal beregnes, antar man at variasjon i temperatur kun forekommer langs x-aksen slik at temperaturen i legemet vil være en funksjon av koordinat langs x-aksen og tid. Varme som beveger seg inn og ut av legemet kan beskrives ved Fouriers lov. Til numeriske tilnærminger på varmeovergangsproblemer av konduktiv art blir derfor denne loven, som beskriver termisk konduksjon benyttet (Ibarz & Barbosa- Cánovas 2003). Loven er uttrykt som følger:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \nabla^2 T + \tilde{q}_G \quad (1) \text{ (ibid.)}$$

hvor

- $\rho$  er tettheten
- $C_p$  er varmekapasiteten
- $k$  er termisk konduktivitet
- $\tilde{q}_G$  er varmekilden
- $T$  er temperaturen i fisken og
- $t$  er tiden

Alle enheter benevnes i SI-enheter.

Likning 1 slår fast at tidsraten for varmeoverføring gjennom et materiale er proporsjonal til den negative gradienten i temperatur rett vinkelrett til det området som varmen flyter igjennom (ibid.).

## 2.3 Varmeinduserte endringer i laks

Varmebehandling av laks vil, ved egnede temperatur –og tidsforhold, gi et produkt som ikke bare oppfyller mikrobielle krav til næringsmidler, men riktig varmebehandling vil også kunne fremme utvikling av smak og aroma i råstoffet (McLay 1982 pp. 115-125. Gjengitt etter Rodríguez et al. 2008) Det er imidlertid vist at en rekke av fiskekjøttets bestanddeler er svært sensitive for varmepåvirkning, blant annet vil enkelte næringsstoffer, vannløselige vitaminer, mineraler og proteiner lekke ut, og proteinvev vil gjøres seigere og tørrere (Aitken & Connell 1979; Pigott & Tucker 1990 pp. 104-135. Gjengitt etter Rodríguez et al. 2008).

For kjøttprodukter betraktes tid-temperaturkontroll som en av de viktigste faktorene i tilberedningsprosessen (Cheng & Sun 2004). Fra industriens og storkjøkkenets synspunkt kan ofte kort tilberedningstid være ønskelig for å sikre høy produktivitet og effektivitet. Det er imidlertid vist at høye tilberedningstemperaturer kan gå på bekostning av produktets kvalitet med hensyn på økt koketap og dårligere teksturkvalitet (Bejerholm et al. 2004), noe som vil kunne være viktig for den sensoriske opplevelsen av det tilberedte produktet. For å sikre et produkt av høy sensorisk kvalitet er det derfor viktig at optimale tid-temperaturforhold benyttes.

### 2.3.1 Fysiokjemiske endringer

De fysiske endringene som finner sted i råmaterialet ved varmebehandling av laks vil i all hovedsak kunne relateres til proteindenaturering (Lynum 2005). Proteindenaturering som følge av varmepåvirkning vil således vektlegges i dette kapitlet.

### **2.3.1.1 Proteindenaturering**

Når fiskekjøttet varmebehandles, vil myofibrilproteinene denatureres. Denne prosessen er vist å forekomme i tre trinn hvorav det første trinnet involverer dissosiering av den kontraktile proteinstrukturen ved tilstedeværelse av salter. I det andre trinnet foldes proteinstrukturen ut som følge av oppvarming, og til slutt vil områder på de utfoldede proteinstrukturene aggregere via hydrogen – og disulfidbindinger og elektrostatiske og hydrofobe interaksjoner. På denne måten blir et tredimensjonalt protein- eller gelnettverk dannet (Stone et al. 1992; Roussel et al. 1990). Myofibrilproteinene er proteinene som antas å være det viktigste i forbindelse med geldanning (Lefevre et al. 2007). En undersøkelse viser at de ulike muskelproteinene reagerer ulikt på varmpåvirkning, og at de bidrar til utvikling av tekstur på ulike måter (Harris & Shorthouse 1988 pp. 245-290. Gjengitt etter Kong et al. 2007) .

Denaturering av muskelproteiner er temperaturavhengig: økende grad av varmebehandling gir økende grad av denaturering. Fordi muskelproteinene er konformasjonsmessig ulike, vil de kunne reagere forskjellig ved varmpåvirkning og denatureres ved ulike temperaturer slik det er vist for torsk (Skipnes et al. 2008).

For å undersøke hvilke temperaturer de ulike proteinene denatureres ved, kan man benytte den termoanalytiske teknikken Differential Scanning Calorimetry (DSC). Ved å måle temperaturflyt fra eller inn i prøvematerialet, vil resultatene kunne si noe om entalpiendringer i prøvematerialet som følge av proteindenaturering. Resultatene presenteres i form av en kurve med temperatur på x-aksen og dimensjonsløs y-akse hvor toppen i kurven representerer endringer i entalpi som følge av frigjort energi fra bindinger i proteinet når det foldes ut. Hvor langs x-aksen toppen befinner seg avhenger av hvilken temperatur det aktuelle proteinet denatureres ved. Slik kan man si noe om ved hvilke temperaturer de ulike proteinene denatureres i det aktuelle prøvematerialet. Denne metoden er tidligere benyttet av Skipnes et al. (2008) for å kartlegge entalpiendringer i torsk ved varmpåvirkning. En pågående studie gjøres ved UiS/Nofima Mat avd. Stavanger hvor hensikten er å kartlegge tilsvarende egenskaper i SALMA-laks. Resultater fra dette studiet viser at SALMA-laks og torsk viser noe ulike tendenser når det gjelder denaturering av proteiner (Skipnes 2010a).

For fisk er det registrert forskjeller i muskelproteinenes evne til å danne gel ved varmpåvirkning i henhold til hva slags type muskel de har sin opprinnelse fra; rød eller hvit muskeltype (Lefevre et al. 1999 pp. 365–391; Lefevre et al. 2007). Resultater indikerer at proteiner fra rød muskel generelt sett er mer varmestabile enn proteiner fra hvit muskel, og at dette skyldes en større andel hydrofobe interaksjoner ved oppvarming og påfølgende geldanning hos hvite muskelceller enn hos røde (Lefevre et al. 2007). Forsøket gjort av Lefevre et al (2007) indikerte også at denaturering av myofibriller og myosin i laks er et progressivt fenomen, det vil si at man vil få økende grad av denaturering med økende temperatur.

### **2.3.1.2 Vannbindingsevne og vanntap**

Vannbindingsevnen hos laksekjøtt er definert som den evnen kjøttet har til å holde på vann når en vannutskillende kraft påføres. Dersom vannbindingsevnen er dårlig vil dette kunne medføre økonomiske tap i form av tap av produktvekt og problemer med hensyn på produksjonsoperasjoner (Lynum 2005). Det er også sannsynlig at vannbindingsevnen vil kunne påvirke de sensoriske egenskapene ved produktet.

Det er de polare gruppene i proteinmolekylene som bestemmer vannbindingsevnen i fiskekjøtt ved at gruppene danner hydrogenbindinger med vannmolekyler som finnes tilstede i muskelen. Levende celler vil ha polare grupper i peptidbindinger og i R-grupper. Det som kalles hydratiseringsvann vil dannes når vannmolekyler samles rundt R-grupper med ulike ladninger. Bindingen mellom vannmolekyler og protein er sterkest i det innerste laget med vannmolekyler, og vil tape seg utover. Man kan således omtale det som ulike hydratiseringslag med fritt vann rundt. Omlag 10% av vannet som finnes i fiskemuskel er fast bundet som hydratiseringsvann. Fiskens vannbindingsevne er evnen den har til å holde på både hydratiseringsvann og det mer eller mindre frie vannet som er bundet av svakere elektrostatiske krefter (ibid.). Det er vist at lagring av laksefileter vil føre til en endring i proteinkomposisjonen i fiskekjøttet, og dermed til en endret vannbindingsevne (Wang et al. 2005).

Før varmebehandling, vil vannbindingsevnen som nevnt være avhengig av ladningen i de polare gruppene på proteinene. Disse ladningene vil påvirkes av endringer i pH, og vannbindingsevnen vil gradvis avta mot det isoelektriske punktet som ligger mellom 4,5-5,5 avhengig av proteintype og fiskeart. Varmepåvirkning av proteinene vil, som tidligere nevnt, føre til denaturering når aktuelle temperaturer nås. Dette vil føre til tap av de elektrostatiske bindingene og dermed dårligere vannbindingsevne.

I motsetning til vannbindingsevne, som er godt beskrevet i litteraturen, er tap av væske og materiale oppløst i væsken fra kjøtt og fisk under varmebehandling et fysisk fenomen som enda ikke er fullstendig kartlagt og forstått. Tidligere er det foreslått ulike modeller som søker å forklare dette, hvorav de fleste baserer seg på prinsippet om diffusjon (Chen et al. 1999; Ngadi et al. 1997; Pan et al. 2000; Shilton et al. 2002). Dette gir imidlertid ikke en dekkende forklaring på fenomenet da tap av væske også kan observeres i kjøtt som varmebehandles ved hjelp av kokende vann, noe som ville være umulig dersom diffusjon var den drivende kraften bak vanntapet. Dette støttes også opp av nyere forskning hvor man ved hjelp av NIR-målinger har kartlagt lokal vannfordeling i kjøtt under tilberedning (Wahlby & Skjøldebrand 2001). Flory-Rehnerteorien, som først ble foreslått i 1977 (van der Sman 2007), og som forklarer væsketap fra kjøtt med et krympende proteinnettverk grunnet proteindenaturering, er i dag en allment akseptert teori. Mekanismen er av enkelte sammenliknet med myseutskillelse fra ostemasse, og proteinnettverket er beskrevet som en "selvkrystende svamp" (selv squeezing sponge) (ibid.).

Man er kjent med at det er flere faktorer som påvirker væsketap fra laks i rå tilstand, blant annet er nivå av stress påført før slakt og rigorforløp viktige faktorer for å forutsi vanntapets omfang. I tillegg vil temperatur og lagringsforhold kunne påvirke: det er blant annet vist at man i produksjonslokaler hvor temperaturen er høy kan få vanntap som tilsvarer opp mot 25% av fiskens vekt (Lynum 2005).

Koketap er en definisjon som benyttes om total andel materiale som tapes fra et næringsmiddel ved varmebehandling (Skipnes et al. 2007). Det er vist av Kong et al. (2007) at koketapet ved varmebehandling av laks ved 121°C varierte mellom 14 og 22%, og at dette bestod av >85% vann med oppløste lipider, collagen, gelatin, muskelfragmenter og koagulert sarkoplasmatiske protein. Liknende resultater med hensyn på andel vann av koketap er fremskaffet av Ofstad et al. (1995). Det er midlertid grunn til å anta at mildere varmebehandling vil resultere i mindre koketap grunnet mindre grad av proteindenaturering ved lavere temperaturer.

Ulike studier er gjort med hensyn på å kartlegge effekt av varmpåvirkning på vannbindingsevnen og koketap i fisk (Ofstad et al. 1995; Kong et al. 2007; Kong et al. 2008; Skipnes et al. 2008).

### **2.3.1.3 Teksturendringer**

Når proteiner i laks denatureres som følge av varmpåvirkning, vil dette påvirke tekturen. Dette er blant annet et resultat av vanntap og hardning av proteinnettverket. Laksens evne til å motstå skjærkrefter har tidligere blitt benyttet som en indikator for mørhet, og er av flere vist å være en viktig faktor for å bestemme forbrukeraksept (Sigurgisladottir et al. 1999; Jonsson et al. 2001). Motstanden laks demonstrerer ved påvirkning av skjærkrefter er vist å variere med ulike varmebehandlingsforløp (Bhattacharya et al. 1993; Kong et al. 2007).

Fordi varmebehandlet laks har en tendens til å flake seg ved påføring av kraft, kan det være vanskelig å utføre teksturmålinger av denne type prøvemateriale. Flere ulike måleceller finnes for å måle tekstur i muskelråvare, og for laks er det måleceller av typen Kramer som har blitt mest benyttet (Dunjaski 1979). Denne typen målecelle består av flere blader som sitter sammen på én celle og som ovenfra trykkes gjennom prøvematerialet med en bestemt kraft. Det er imidlertid rapportert om problemer ved bruk av kramerceller ved teksturmålinger på laks (Kong et al. 2007) fordi metoden involverer komprimering av prøven, noe som vil kunne føre til unøyaktige resultater. Alternative måleceller med flere blader har derfor blitt benyttet i nyere tid (ibid.).

En studie gjort av Bhattacharya et al. (1993) viste at hydrotermisk varmebehandling (60- 100°C) av laks i ulike tidsintervall gav prøver med større utslag på hardhet, sammenhengighet, elastisitet og tygghet enn tilsvarende teksturparametere målt i rå laks. Økende temperatur og tidsintervall gav økende utslag for disse parametere. Resultatene viste imidlertid også at forlenget behandlingstid ved høye temperaturer (90-100°C) gav prøver med et redusert utslag. Dette ble satt i sammenheng med

mørningsreaksjoner i fiskekjøttet. Annet arbeide som involverer hardere varmebehandling med temperaturer opp mot de benyttet for sterilisering viser liknende tendenser (Kong et al. 2007).

Resultatene fra vitenskapelige forsøk indikerer at hvor på fileten målingene gjøres påvirker resultater for teksturegenskaper i laks. Sigurgisladottir med fler (1999) har rapportert om fastere muskel i prøver tatt nær haledelen enn prøver tatt nær hodedelen i rå filet. Dette kan relateres til høyere innhold av uløselig kollagen i halen (Montero & Borderais 1989). Det er imidlertid usikkert hvorvidt liknende resultater vil kunne fremskaffes for varmebehandlede prøver.

#### **2.3.1.4 Fargeendringer**

En viktig kvalitetsindikator for laks er farge. Farge måles vanligvis ved hjelp av CIE L\*, a\*, b\* skalaen, hvor de ulike bokstavene henholdsvis angir lyshet, intensitet av rødt og intensitet av gult. Metoden baserer seg normalt på colorimetrisk og spektrofotometriske metoder hvor lys reflektert fra objektets overflate måles. Fordi metoden vanligvis involverer måling av kun et lite område på objektets overflate, gir resultatene et lite representativt bilde av større prøver med heterogene overflater slik man ofte finner i næringsmidler generelt og tilberedt laks spesielt (Kong et al. 2007). En nyere metode som involverer bruk av Computer Vision Systems (CVS) kan imidlertid gi et mer representativt bilde av farge da hele prøvearealet måles samtidig (ibid.).

Tidligere er det vist at varmebehandling vil påvirke fargen i laks ved at man vil få økt utslag på lyshet og lavere verdier for intensitet av rød og gult (Bhattacharya et al. 1994). Dette skyldes trolig at proteinene i kjøttet denatureres og vil reflektere lyset på en annen måte slik at fiskekjøttet fremstår som lysere og mer opakt.

#### **2.3.1.5 Krymping av filet**

Søm følge av at proteinnettverket trekker seg sammen og mister væske ved varmpåvirkning slik det er beskrevet i avsnitt 2.3.1.2, vil man kunne oppleve at laksefileten krymper ved varmebehandling. Dette er vist av Kong et al. (2007) hvor laksestykker tatt fra ulike deler av fileten viste mellom 17 og 25% krymping ved varmebehandling tilsvarende sterilisering (121,1°C i 20 minutter). Her ble det funnet signifikante forskjeller i krymping i stykker tatt fra ulike deler av fileten; Stykker tatt fra hoderegionen viste større grad av krymping enn stykker fra de andre delene av fileten. Årsaken til dette er større andel hvit muskulatur i denne regionen (ibid.).

#### **2.3.2 Sensoriske endringer**

I henhold til tidligere eksperimenter utført med hensyn på varmebehandling av fisk hvor både sensoriske og instrumentelle målinger er benyttet (McLay 1982 pp. 115-125. Gjengitt etter Rodríguez et al. 2008), og i henhold til kunnskap om varmeinduserte kjemiske endringer, vil man forvente at varmebehandling vil kunne føre til endringer i de sensoriske egenskapene hos laks. Det er også naturlig å anta at type og grad av varmebehandling vil kunne spille inn med hensyn på tid, direkte og



indirekte varmekilder og eventuelle bruningsreaksjoner. Studier viser sammenhenger mellom tid, temperatur og tilberedningsmetoder og kvalitetsparamtere som farge, koketap og motstand mot kraft (Kong et al. 2007; González-Fandos et al. 2005).

Sensoriske panel er benyttet i flere eksperimenter hvor effekter av varmebehandling av laks har vært undersøkt (González-Fandos et al. 2004; González-Fandos et al. 2005; Rodríguez et al. 2008; Rødbotten et al. 2009). Her har de sensoriske dataene i de fleste tilfeller vært ment for å beskrive endring i kvalitet med typiske vurderte attributter som grad av harskhet og lukt forbundet med fordervingsreaksjoner. Lite er imidlertid gjort for å måle varmeinduserte sensoriske endringer i laks spesielt og fisk generelt med hensyn på andre sensoriske attributter som for eksempel sjøsmak, hardhet, saftighet og farge.

Når det gjelder kjøtt finnes det mer vitenskapelig materiale å vise til når det gjelder sensorikk og effekt av varmpåvirkning, blant annet sensoriske endringer ved pannesteking av svin (Meinert et al. 2007). Her er det vist at ulike temperaturer i pannen gir flere signifikante forskjeller med hensyn på utslag på de sensoriske attributtene det er testet for.

## **2.4 Sensorikk**

Sensorikk er et av de nyeste anerkjente feltene innen vitenskapelig analyse av næringsmidler, og dette fagfeltet har de siste tiårene vært i kontinuerlig ekspansjon (Meilgaard et al. 1999). Behovet for sensorisk analyse for industriell forskning og produktutvikling er økende, spesielt fordi det de siste tiårene har vært en kraftig økning i salg av industrielt tilvirkede næringsmidler (Sensorisk studiegruppe 2000). Sensorisk evaluering kan defineres som en metode som benyttes for å vekke, måle, analysere og tolke de menneskelige sansenes responser på produkter (Stone & Siedel 1993; Lawless & Heymann 1998).

Det er viktig å sikre kontrollerte omgivelser og å minske støy når man gjennomfører sensoriske målinger. Eksempler på tiltak er randomisert merking av prøver, randomisert serveringsrekkefølge og bruk av individuelle avlukker for dommerne (Lawless & Heymann 1998). For å sikre resultater med lite støy, er det også essensielt at panelet som benyttes består av trenede dommere som jevnlig testes for deres evner til å bedømme prøver, for eksempel gjennom å benytte grunnsmakstester (Sensorisk studiegruppe 2000).

### **2.4.1 De humane sanser og persepsjon**

Instrumentet som benyttes innen sensorikk, er de menneskelige sansene. Ved å benytte sansene kan næringsmiddelet beskrives med hensyn på utseende, lukt, tekstur og smak. Tilnærmingen kan være subjektiv eller objektiv, avhengig av hva man ønsker å avdekke. Dette vil omtales nærmere i avsnitt 2.4.2.

De humane sansene er i stand til å oppfatte kjemiske endringer i det omgivende miljøet. Når et kjemisk stoff aktiverer ett eller flere av sanseorganene, vil en rekke fysiologiske reaksjoner utløses. Avhengig av arv og tillæring hos det enkelte individet, vil disse reaksjonene igjen utløse respons i form av sensorisk opplevelse (Sensorisk studiegruppe 2000). Sansene er et verktøy for å tolke omgivelsene man befinner seg i slik at man kan reagere deretter. Normalt sett vil de ulike sansene påvirkes i følgende rekkefølge: Syns-, lukte-, smak- og til slutt følesansen. Rekkefølgen kan imidlertid være forskjellig mellom individer.

Man er avhengig av å benytte et godt trent panel når prøver skal bedømmes i en vitenskapelig sammenheng. Det er vanlig å trene panelet i henhold til ulike retningslinjer avhengig av hva og hvordan noe skal bedømmes, og standardiserte skalaer benyttes både ved trening og under bedømmingen. For at resultatene skal kunne være en så nøyaktig beskrivelse av prøven som mulig, må også andre variabler, som for eksempel omgivende faktorer kontrolleres. For å oppnå akkreditering av sensoriske metoder, må forholdene være i henhold til bestemte standarder. Også internasjonelle standarder er utarbeidet med hensyn på å kontrollere omgivende faktorer. Standardene tar for seg blant annet design av testrom, båser, område for prøvepreparering og faktorer som lyssetting, luftsirkulasjon og temperatur (Meilgaard et al. 1999).

Til tross for god kontroll med omgivelser, er det kjent at andre faktorer også kan påvirke human persepsjon og dermed også vurderinger gitt av et sensorisk panel. Dette kan være faktorer av fysiologisk eller psykologisk art, og disse må man være kjent med og ta hensyn til ved gjennomføring av sensoriske eksperimenter (ibid.).

#### **2.4.1.1 Synssansen**

Synet er sansen som er avgjørende for at man som menneske skal kunne orientere seg i omgivelsene. Det er vist at omlag 10% av hjernen er involvert i å tolke signalene som øynene sender.

Synssansen er konstruert slik at lys som slippes gjennom øyelinsen fokuseres i retina. I retina finnes staver som konverterer lyset til nerveimpulser, og disse sendes videre til hjernen via den optiske nerven. Det er vist at det kan være vanskelig å maskere et objekts utseende med hensyn på farge og andre utseenderelaterte attributter. I tilfeller hvor dette er nødvendig for å fremskaffe spesifikke sensorske resultater, som for eksempel i enkelte tilfeller hvor forskjellstester benyttes, er det viktig å avdekke om maskering av utseende har vært vellykket. Dersom dette ikke gjøres, kan ukorrekte konklusjoner med hensyn på forskjeller i smak eller tekstur gjøres (Sensorisk studiegruppe 2000). Matens utseende, og kanskje spesielt farge er av viktighet for hvordan den oppfattes.

#### **2.4.1.2 Luktesansen**

Luktesansen gir informasjon om hva slags næringsmiddel man blir presentert for og hva slags tilstand det er i. Luktesansen kan også gi oss en indikasjon på hvordan maten vil smake før den puttes i

munnen, og når maten blir fortært, samspiller den med smakssansen og hjelper til med å avgjøre om man skal fortsette å spise. Den hedoniske verdien av luktesansen kan således sies å samvariere med metthetsfølelsen hvilket impliserer at informasjonen som sendes fra lukt- og smaksorganene samles på samme sted i hjernen (Sensorisk studiegruppe 2000). Sammen gir luktesansen og smaksansen en større smaksopplevelse enn dersom hvert av sanseorganene skulle benyttes for seg.

Luktorganet består av sanseepiteler som dekker den øvre delen av nesehulen og kan deles inn i mer spesialiserte undergrupper; Sanseceller, støtceller og basalceller. Sansecellen er utstyrt med en utløper, og denne ender via et nervefiber i luktelappen. Ytterst på sansecellen finner man scilier, og det er disse som antas å inneholde reseptormolekylene. Hvert reseptormolekyl er kodet av ett gen, og det finnes omlag 1000 ulike reseptormolekyler, det vil si at omlag 1% av menneskets totale antall gener koder for reseptormolekyler. Det er usikkert hvor følsomt menneskets luktesans er. Det gjøres stadig arbeid for å dokumentere hvorvidt dyrenes luktesans har lavere terskel for de samme luktestoffene sammenliknet med menneskets (ibid.).

Adaptasjon er et kjent fenomen som gjelder for alle sanser. Dette involverer tap av følsomhet for en bestemt type stimuli når sansen har vært stimulert en stund. I enkelte tilfeller ved forlenget stimuli, kan habituering forekomme, hvilket innebærer tilvenning til stimulien slik at man ikke lenger registrerer at stimulien er til stede. Kryssadaptasjon er når stimuli av ett type luktestoff påvirker hvordan man oppfatter en annen type stimuli (ibid.).

Lukteintrykk er av svært hedonisk karakter, det vil si at de kan vekke følelser og reaksjoner enten av positiv eller negativ art avhengig av hvilket individ som stimuleres. Det er diskutert hvorvidt den hedoniske dimensjonen med hensyn på persepsjon av lukt er en konsekvens av arv eller læring, men man går ut ifra at læring er med i det totale bildet (Ibid.).

Det er kjent at det forekommer nedsatt eller bortfall av følsomhet for enkelte lukter hos bestemte individer. Dette fenomenet kalles anosmier, og kan komme av at individet mangler genet som koder for en aktuell sansecelle. Eksempler på ofte forekommende anosmier er mangel på evne til å detektere rånelukt og kortkjededede fettsyrer i meieriprodukter. Alder er en annen faktor som kan påvirke sensitivitet for luktpåvirkning, hvorav aldersgruppen 15-65 år er den som viser minst variasjoner i luktfølsomhet. Det er også kjent at kvinner er mer følsomme for enkelte luktestoffer enn menn, noe som antas å ha sammenheng med at kjønnetens ulike hormonstoffer. Det er viktig å tenke på slike faktorer når sensoriske analyser skal utføres (ibid.).

Lukt er på grunn av sin utpregede hedoniske karakter, en svært viktig egenskap ved næringsmidler.

#### **2.4.1.3 Smaksansen**

Det finnes fem modaliteter eller grunnsmaker; Salt, surt, søtt, bittert og umami, hvorav den sistnevnte har blitt oppdaget og allment akseptert de seneste årene (Sensorisk studiegruppe 2000).

Til forskjell fra luktesansen, baserer smakssansen seg på små samlinger av celler på tungen, i munnhulen og i enkelte områder i svelg og hals (Meilgaard et al. 1999). Disse samlingene kalles smaksløker, og befinner seg i spesialiserte strukturer i form av isolerte løker; som bladformede papiller, sopplignende papiller eller som vollgravspapiller. På oversiden av smaksløkene finnes en pore som sørger for kontakt med saliva i munnhulen. Smaksstoffer vil løses i saliva, og stoffene vil bindes til cilia som befinner seg ved poreåpningen, og herfra vil neurotransmittere frigis. Disse vil stimulere smaksnervene slik at signaler vil kunne sendes til hjernen, og smaken vil oppfattes (Lawless and Heymann 1998).

Som for luktsansen, viser også smaksansen adaptasjon ved forlenget stimuli. For å unngå adaptasjon, er det derfor viktig for paneldeltakere å ta små munnfuller og ta pauser mellom prøver. Variasjoner i følsomhet for spesielt bittert kan observeres i befolkningen.

#### **2.4.1.4 Følesansen**

I huden og i munnhulen finnes sanseorganer som er meget følsomme. Selv svært små vibrasjoner, som for eksempel et vindpust, vil kunne agere som stimuli på dette sanseorganet. I huden finner man frie nerveender som reagerer på stimuli som berøring, trykk, varme og kulde. Dette er sanseapparatet til det som kalles den taktile følesansen: disse nerveendene kan registrere egenskaper ved miljøet som er relatert til geometri av partikler eller grad av fuktighet. Den kinestetiske følesansen, derimot, registrerer kraftpåvirkning ved hjelp av nervefibre i muskler, sener og ledd (Meilgaard et al. 1999).

Hos mennesket er følesansen best utviklet i fingrene (Sensorisk studiegruppe 2000), men liknende nerver som viser større følsomhet enn nerver på kroppen finnes også i ansiktet, på leppene og på tungen. Dette muliggjør deteksjon av endringer i motstand mot påføring av kraft, partikkelstørrelse, sammenhengighet og andre teksturmessige egenskaper ved næringsmidler (Meilgaard et al. 1999).

Teksturegenskaper ved næringsmidler er komplekse, og er av Meilgaard et al. (1999) definert som en manifestasjon av et næringsmiddels indre oppbygning og struktur med hensyn på reaksjon på stress målt som mekaniske egenskaper av den kinestetiske følesansen og geometriske partikler og fuktegenskaper målt ved hjelp av den taktile følesansen.

#### **2.4.2 Sensoriske metoder**

Ulike sensoriske metoder egner seg for ulike problemstillinger. For å avgjøre hvilken metode som skal benyttes, må man ha innsikt i hva de ulike metodene dreier seg om og hva slags type data de er i stand til å generere. Sensoriske metoder er tradisjonelt sett delt inn i to kategorier:

1. Objektive tester
2. Affektive tester (forbrukertester)

Objektive tester benyttes ofte i vitenskapelig sammenheng. Til slike tester benyttes vanligvis trente panel eller såkallede ekspertpaneler. Forbrukertester omfatter ulike former for affektive tester som for eksempel kan søke å vise grad av liking av et produkt i en bestemt gruppe i befolkningen.

Sensoriske metoder er, i likhet med omgivelser under bedømmningen, underlagt spesifikke retningslinjer gjennom ulike standarder, blant annet ISO 9000 (Meilgaard et al. 1999).

#### **2.4.2.1 Deskriptive metoder**

Når man ønsker å innhente detaljert kvantitativ informasjon om næringsmidler med hensyn på utseende, smak, lukt og tekstur, er det hensiktsmessig å benytte deskriptive sensoriske metoder. Slike metoder har av Lawless & Heymann (1998) blitt omtalt som de mest sofistikerte verktøyene innen sensorikk og vitenskap.

Deskriptive metoder muliggjør objektiv beskrivelse av den sensoriske kvaliteten av prøver. Det finnes flere ulike metoder innen deskriptiv sensorikk som er basert på ulike filosofier og tilnærminger, og som egner seg for ulike problemstillinger. Felles for disse er at de søker å beskrive definerte egenskaper ved et objekt (Lawless & Heymann 1998). Egenskapene som beskrives kan variere i forhold til hva slags prøvemateriale som analyseres og hva man ønsker å avdekke, men omfatter som oftest utseende, lukt, smak og tekstur (Bejerholm et al. 2004). Informasjonen som innhentes kan blant annet benyttes for å utvikle standarder for sensorisk kontroll i industrisammenheng eller for å registrere endringer i sensorisk profil over tid (Meilgaard et al. 1999). Resultatene kan også benyttes til å avgjøre om prøver er signifikant forskjellige og til å rangere prøver i forhold til hverandre med intensitet av attributter som referanse (Bejerholm et al. 2004).

Ved bruk av beskrivende analyse er det svært viktig at paneldeltakerne er i stand til å detektere alle de sensoriske attributtene det testes for. Det er også viktig at de sensoriske dommerne er trent i å rangere intensitet av attributtene i henhold til en gitt skala slik at forskjeller mellom prøver vil være kvantifiserbare (Meilgaard et al. 1999) og at de er i stand til å utføre konsekvente bedømminger over tid (Lawless & Heymann 1998). En av skalaene som benyttes innen beskrivende analyse er kategoriskalaen. Denne består av et begrenset antall ord eller tall, og er konstruert slik at det er like intervaller mellom kategorier eller tallinndelinger. Den mest benyttede skalainndelingen for kategoriskalaer er 1 til 9. Linjeskalaen er en annen type skala som benyttes ved beskrivende analyse. Denne består av en 15 cm lang, kontinuerlig skala hvor paneldeltakeren markerer intensiteten av en vurdert attributt uahengig av forhåndsinndelte trinn. I tillegg anvendes også en såkalt "magnitudo" skala hvor intensitet av attributter vurderes opp mot et fritt valgt tall (Meilgaard et al. 1999).

Størrelsen på panelet er en annen viktig faktor når beskrivende analyse skal gjennomføres. Vanligvis benyttes paneler med 8 til 12 dommere, men i tilfeller hvor det er kritisk å oppdage svært små

variasjoner i attributter knyttet til et produkt kan det imidlertid være aktuelt å benytte seg av større paneler.

#### **2.4.2.2 Affektive metoder/forbrukertester**

Affektive metoder omfatter en rekke ulike former for tester av subjektiv art. Felles for disse er at hovedformålet er å vurdere subjektiv respons i en bestemt målgruppe, for eksempel hos nåværende eller potensielle kunder i form av preferanse eller aksept som følge av eksponering for et produkt eller en produktidè. Slike metoder er mye benyttet i industriell sammenheng for effektivt å kunne identifisere og nå aktuelle målgrupper (Meilgaard et al. 1999).

Preferansetesting er en affektiv metode som benyttes for å vurdere respons i form av preferanse i et utrenet panel. Her vil forbruker angi preferanse av ett produkt fremfor et annet. Som oftest benyttes denne metoden i industrimessig sammenheng med hensikt å avdekke produkt-kundeforhold med hensyn på nylansering, endring eller reposisjonering av et produkt i markedet, men den kan også benyttes til egnede forskningsrelaterte formål (Lawless & Heymann 1998). Dersom man ønsker å avdekke grad av liking for et produkt, vil man benytte en aksepttest. Denne vil kunne gi informasjon om i hvilken grad kunden liker det aktuelle produktet.

Affektive tester er av hedonisk art, det vil si at de er subjektive (hedonisk= vellyst) og baserer seg på enkeltindividers persepsjon og erfaring (Sensorisk studiegruppe 2000). Det er derfor viktig at man vet noe om deltakerne i et slikt panel for å kunne vite om de er representative for gruppen man ønsker å nå. For eksempel vil en person som i utgangspunktet ikke liker meieriprodukter med stor sannsynlighet angi lav grad av liking for et nytt yoghurtprodukt. Brukerne av produkter klassifiseres i henhold til forbruk av produkt i forhold til normalforbruk. Dersom det er et nytt produkt som skal vurderes, må potensielle målgrupper avdekkes i forkant av den sensoriske undersøkelsen (Meilgaard et al. 1999).

Størrelsen på panelet er også her en svært relevant faktor for testens utfall. Det er viktig at antall deltakere er tilstrekkelig stort til at et gjennomsnitt av vurderingene kan betraktes som representativt. Typisk antall deltakere er mellom 100 og 500 personer (Meilgaard et al. 1999).

## **2.5 Matematiske metoder**

Det er tidligere vist at det er mulig å konstruere en analytisk modell for korrekt å beregne steketid for kjøtt varmebehandlet ved hjelp av damp (Bottani & Volpi 2009). Liknende modeller er også generert for å simulere varmebehandling av biffpateer ved bruk av damp (Tran et al. 2002) og beregning av steketid for kjøtt ved bruk av konveksjonsovn (Goñi & Salvadori 2010). Når det gjelder fisk generelt har det vært mulig å predikere varmegjennomgang i en frityrstekt torskerett (Skipnes 2010b). Det er imidlertid lite som er gjort for å beregne varmegjennomgang i laks.

Ved å benytte en analytisk modell som gjengir virkelige forhold, vil det være mulig å predikere tilberedningstid med hensyn på ulike inputverdier som dimensjoner og behandlingstemperatur og en "targetverdi" for eksempel i form av kjernetemperatur. Modellen kan i sin tur blant annet benyttes til å designe forsøksoppsett med et minimalt antall forforsøk, undersøke varmfordeling i råvaren under hele varmebehandlingsforløpet, undersøke hva slags temperaturmessige effekter variasjoner i råvaregeometri vil kunne gi og sammenlikne ulike metoder for oppvarming. En slik modell vil således også kunne muliggjøre et mer reproducerbart resultat i storkjøkkensammenheng med hensyn på kjernetemperaturer på tross av dimensjonsmessige variasjoner i råmaterialet.

Ved hjelp av likningen for varmeovergang ved konduksjon (jamfør likning 1 i avsnitt 2.2), kan finite element modelling (FEM) programmet Comsol Multiphysics beregne parametere som er involvert i varmeovergangsproblemer. Dette programmet tillater input både av todimensjonal og tredimensjonal geometri, noe som muliggjør behandling av en rekke problemer. Programvaren er tidligere benyttet for løsning av varmeovergangsproblemer i næringsmidler (Bottani & Volpi 2009; Goñi & Salvadori 2010).

Ved prediksjon av varmegjennomgang er det kritisk at næringsmiddelets og systemets termodynamiske egenskaper vurderes og undersøkes nøye (Bottani & Volpi 2009). En av parameterne som, blant andre, bør vurderes er næringsmiddelets varmeledningsevne ( $k$ ). For laks er denne parameteren tidligere vist å være 0,47 W/mK (Rahman 2009) og 0,41 W/mK og 0,23 W/mK når fisken holder en temperatur på henholdsvis 5 og 25°C (Zhu et al. 2008). En annen parameter som også er viktig å fastsette ved slike problemer, er spesifikk varmekapasitet ( $C_p$ ). For laks er denne i litteraturen oppgitt til å være 3600 J/kgK (Rahman 2009).

## 2.6 Statistiske analyser

Til dataanalyse ble variansanalyse og multivariable dataanalyser benyttet. Disse metodene vil omtales i korthet.

### 2.6.1 Variansanalyse -ANOVA

Variansanalyse (ANOVA- Analysis of Variance) er den mest benyttede statistiske testen for data fra beskrivende analyse. Hensikten med slik analyse er vanligvis å undersøke om det er systematiske forskjeller mellom prøver for de bedømte egenskapene. Til tross for at metoden forutsetter normalfordelte data, hvilket ikke alltid er tilfelle for sensoriske vurderinger, er ANOVA en anerkjent metode for analyse grunnet dens robusthet (Næs & Risvik 1996). I litteraturen blir sensoriske data derfor behandlet som intervallskala (Lea et al. 1997).

For sensoriske data har man to kilder til variasjon i data; variasjon innen hver prøve som følge av at dommerne bedømmer ulikt og systematisk variasjon mellom prøver. Flere tiltak er aktuelle for å

minskede støy i sensoriske vurderinger, slik det er omtalt under avsnitt 2.4.1. Å benytte replikater er i tillegg også aktuelt.

### **2.6.2 Multivariable dataanalyser**

Menneskets sanseapparat er multidimensjonalt; mange inntrykk behandles samtidig, noe som vil generere store mengder data som er vanskelig å behandle. Multivariable dataanalyser er derfor hensiktsmessig å benytte ved vurdering av sensoriske data fordi disse tillater analyse av systematisk variasjon for mange variabler samtidig.

Principal Component Analysis (PCA) er et eksempel på en slik analysemetode som er mye benyttet når sensoriske data skal vurderes. I PCA reduseres all data til et datasett  $x$ , med  $p$  variabler og  $n$  prøver, til en ”struktur”-del og en ”støy”-del, såkalte Principal Components. Et PCA-plott forklarer varians mellom prøver i henhold til Principal Components hvor en prosentvis andel av variansen forklares av de ulike komponentene. Komponentene fremstår i form av to eller tre akser (PC1, PC2 og PC3) hvor sammenheng mellom variabler fremgår.

Det er også mulig å benytte correlation loadings hvilket innebærer at både prøver og egenskaper vil orientere seg i henhold til komponentene. På denne måten kan man på en effektiv måte undersøke om det finnes ukjente kilder til støy eller mønster som bør undersøkes (Lawless & Heyman 1998).

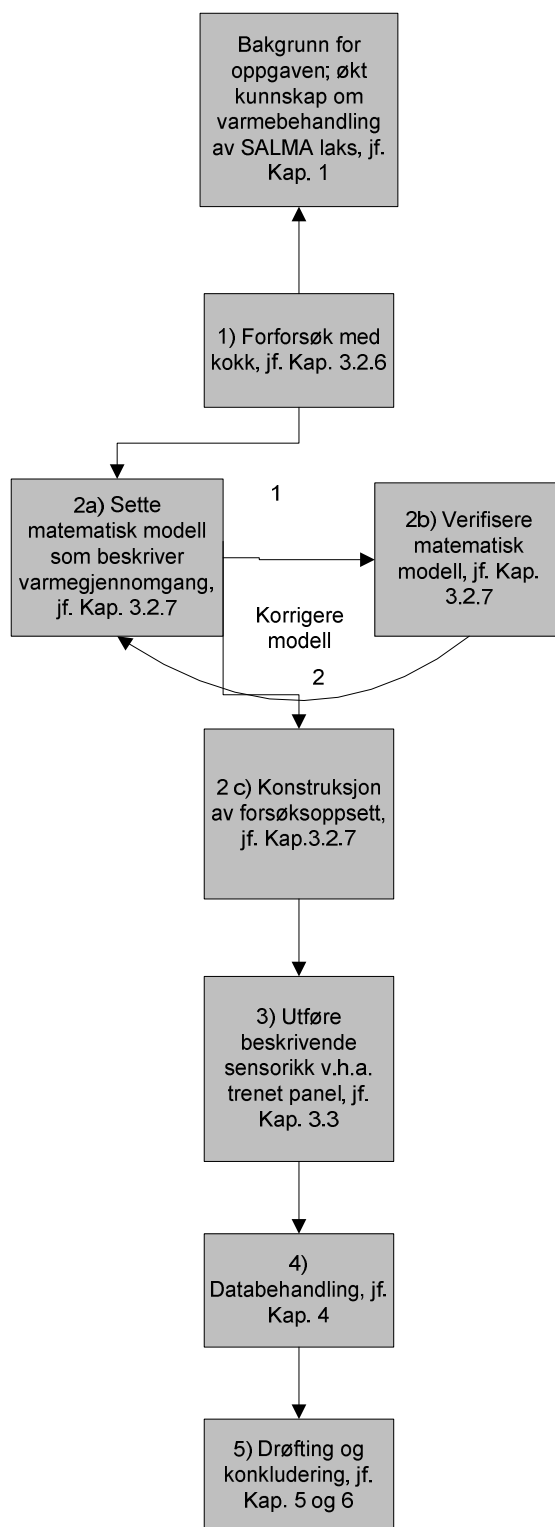


### **3 Materialer og metoder**

I dette kapitlet vil metoder og prosedyrer aktuelle for de ulike delene av oppgaven presenteres og beskrives. Dette inkluderer materialer og metoder benyttet ved preparering av prøvemateriale, varmebehandling, forforsøk, prediksjon av varmegjennomgang og ved beskrivende analyse. Valg av instrumenter og statistiske analyser vil også belyses. Kapitlet omfatter i tillegg oppgavens overordnede struktur hvor de ulike trinnene i forsøksprosessen er satt i sammenheng.

### 3.1 Oppgavens struktur

Oppgaven er delt inn i tre overordnede deler. De ulike delene representerer trinnene i forsøksprosessen slik det er vist i figur 2.



Figur 2: Kronologisk oppsett av trinn i forsøksprosessen. Trinnene er nummererte i henhold til rekkefølge for gjennomføring.

Initiering av oppgaven ble gjort etter innspill fra Salmon Brands, på bakgrunn av et ønske om å undersøke sensoriske egenskaper ved SALMA- laks ved ulike kombinasjoner av tid og temperatur ved varmebehandling. Det første trinnet i forsøksprosessen var et kjøkkenforsøk med en profesjonell kokk hvor grunnleggende forutsetninger for varmebehandling og servering av SALMA-laks ble diskutert og demonstrert. Påfølgende trinn involverte konstruksjon av en matematisk modell og innhenting og vurdering av eksperimentelle temperaturdata med hensyn på varmegjennomgang i SALMA-laks. Dette ble etterfulgt av konstruksjon av forsøksoppsett og sensorisk vurdering av prøver i form av en beskrivende analyse. De siste trinnene utgjorde statistisk behandling av innhentet data og vurdering og drøfting av denne.

### **3.2 Prediksjon av varmegjennomgang**

Når anbefalinger gis med hensyn på varmebehandling av kjøtt og fisk, formidles dette ofte i form av sluttemperatur i kjernen. For å kunne beregne steketid i forhold til kjernetemperatur, må råvarens motstand mot varmegjennomgang vurderes slik at sammenliknbare resultater kan fremskaffes i ulike situasjoner, for eksempel med tanke på variasjoner i råvarens dimensjoner og behandlingstemperatur. Næringsmidlers motstand mot varmegjennomgang er gitt ved ulike matematiske parametere som sammen med gitte fysiske forhold teoretisk sett ved hjelp av egnede matematiske formler vil kunne beskrive temperaturmessige endringer i råvaren. Følgende avsnitt beskriver hvilken metodiske tilnærming som er benyttet for eksperimentelt å undersøke hvorvidt innhentede data bekrefter denne teorien.

### 3.2.1 Resolutiv tilnærming

Ulike trinn ble benyttet for å konstruere en modell med evne til å predikere varmegjennomgang i laksefileter, det vil si modellering, validering og tilpasning. Tilnærmingen er gjengitt i figur 3.



Figur 3: Skjematisert oppsett som illustrerer resolutiv tilnærming med hensyn på å konstruere analytisk modell for varmegjennomgang i SALMA-laks.

I forkant av eksperimentet ble kokk fra Salmon Brands konsultert som omtalt i avsnitt 3.2.6 (jamfør trinn 1 i figur 3).

Det første delen av forsøket innebar å konstruere en matematisk modell for varmegjennomgang i et laksestykke med definerte dimensjoner som gjennomgår varmebehandling i dampovn (jamfør trinn 2 i figur 3) med påfølgende hviletid i rumtemperatur. Eksperimentell verdi for varmegjennomgangskoeffisient i SALMA-laks ( $k$ ) ble innhentet slik det er omtalt i avsnitt 3.2.7.1. Nødvendige empiriske data ble innhentet fra litteratur. Dette er omtalt i avsnitt 3.2.7.2.

Varmeovergangskoeffesienten i ovnen ( $h$ ) som ble benyttet på dette stadiet var også av empirisk art innhentet på grunnlag av tidligere benyttede verdier (Bottani & Volpi 2009). Modellen ble så løst numerisk, og en forventet omtrentlig steketid for laksen med hensyn på ønsket kjernetemperatur ble generert.

I neste trinn ble modellen testet eksperimentelt ved at laksen ble varmebehandlet i henhold til betingelsene satt i den numeriske modellen. Eksperimentelle data ble deretter benyttet for å vurdere og estimere de termiske parameterne anvendt i den numeriske modellen for så å validere modellens evne til å predikere kjernetemperatur (jamfør trinn 3-4 i figur 3). Eksperimentelle data ble ved hjelp av to eksperimenter innhentet for alle de aktuelle behandlingstemperaturene.

Post validering ble modellen benyttet for å konstruere et forsøksdesign for oppgavens hovedforsøk hvor variabler var tid og temperatur (jamfør avsnitt 3.2.7.3). Ved å simulere ulik oppholdstid i ovnen, ble et forsøksdesign basert på behandlingstemperatur i ovn og kjernetemperatur i laksestykker satt opp slik det er vist i tabell 1 i avsnitt 3.3.4. Designet var ment som forsøksoppsett for ovennevnte hovedforsøk.

### **3.2.2 Råvarer**

Som råvarer for forsøket ble SALMA-laks innkjøpt i den lokale dagligvarehandelen benyttet. SALMA-laks er skinnfri og beinfri filet som er pre-rigor filetert og vacuumpakket. Kun stykningsdel belly ble benyttet i forsøket. Slaktetidspunktet var henholdsvis 5 og 6 dager før forsøktidspunktet. Til forsøket ble totalt 6 fileter med en omtrentlig gjennomsnittsvekt på 750 gram benyttet.

Til forforsøk med kokk, jamfør avsnitt 3.2.6, ble 2 fileter av samme type som ovennevnte benyttet.

### **3.2.3 Tilberedningsutstyr**

En elektrisk kombinasjonsovn fra produsenten Electrolux av typen air-o-steam Combi lengtewise 6 GN 1/1-electric ble benyttet til varmebehandlingen av prøvene.

Ovnen er bygget av 304 rustfritt stål og har en separat vannbeholder for dampgeneratoren. I tillegg er ovnen utstyrt med en vifte som skal sørge for uniform temperaturfordeling i kokekammeret ved at forvarmet og humidisert luft blåses inn i kammeret. Den er også utstyrt med et hygrometer som angir luftfuktigheten i ovnen ved bruk av dampfunksjonen og 6 temperatursensorer som angir temperaturen med en nøyaktighet på  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

### **3.2.4 Måleutstyr**

6 trådløse temperaturloggere av typen Tracksense Pro fra produsenten Ellab ble benyttet for å måle og loggføre temperaturen i laksestykkene underveis i varmebehandlingsprosessen såvel som i hvilefasen.

Temperaturloggerne bestod av 316 rustfritt stål og hadde elektronikk forseglet i vann- og temperaturbestandig materiale. Loggerne kan operere i temperaturområdet  $-30^{\circ}\text{C}$  til  $+150^{\circ}\text{C}$  og ved et

ytre trykk på mellom 1 mbar og 10 bar. Loggernes kapasitet med hensyn på varighet av temperaturmåling vil, når loggføring av temperatur gjøres med ett sekunds intervaller, være 24 timer. Loggerne er utstyrt med en sensor for måling av temperatur. Dette er i realiteten to sensorer; En som har til hensikt å måle omgivende temperatur og en som har til hensikt å måle kjernetemperatur.

For avlesning av loggerne, ble en avlesningsstasjon tilhørende loggersettet benyttet. Denne laster inn temperaturinformasjonen fra loggerne og gjør den loggede dataen tilgjengelig.

Temperaturdata ble loggført med ett sekunds intervaller.

### 3.2.5 Prøvepreparering og metode for varmebehandling

En standard metode for tilskjæring av laksestykkene ble benyttet slik det er vist i figur 4 a- 4 d.



(a)



(b)



(c)



(d)

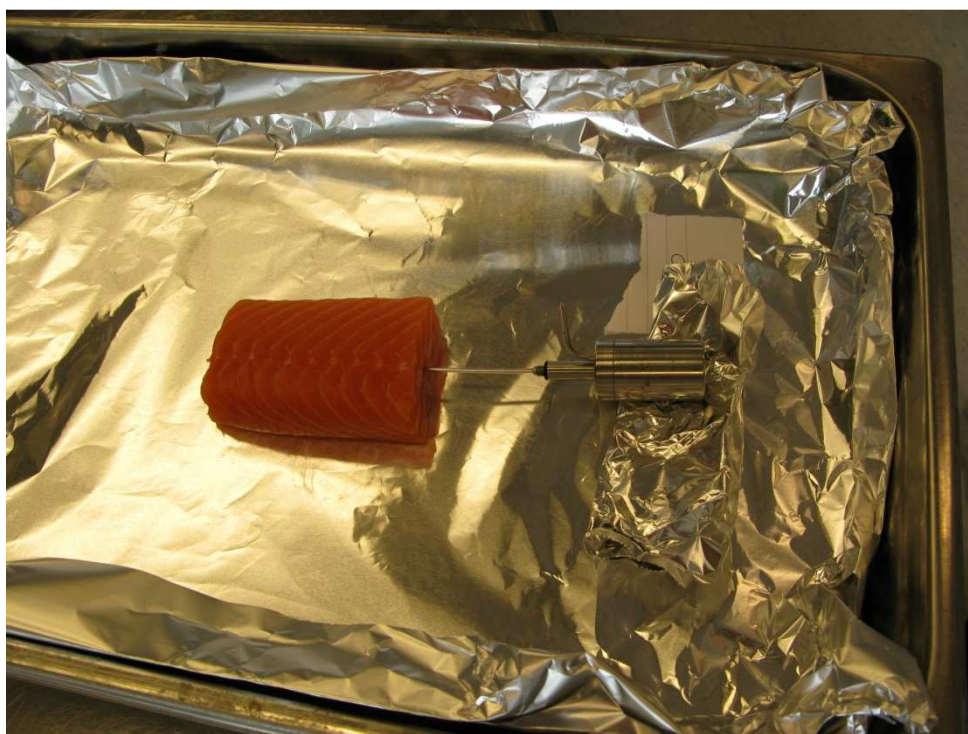
Figur 4: Metode for tilskjæring av laksefileter. Figuren viser a) tverrsnitt av fileten b) snitt  $\approx 6$  cm målt fra siden av fileten hvor pinnbeinet er skjært vekk c) dybde av snitt d) buksiden av snitt brettet inn under fileten.

Tilskjæringsmetoden vist i figur 4 a - 4 d ble benyttet ved alle forsøkene. Metoden, som sørget for et størst mulig ensartet kvadratisk resultat og optimal utnyttelse av råmateialet, ble utarbeidet i samråd med en erfaren kokk, jmfør avsnitt 3.2.6. Påfølgende trinn involverte vannrett tilskjæring av laksestykkets overflate. Størrelsen på stykkene varierte noe på grunn av naturlig variasjon i dimensjoner innad i og mellom fileter, og de nøyaktige dimensjonene ( $\pm 0,1$  cm) ble registrert for senere justering av den matematiske modellen.

Laksestykkene ble plassert enkeltvis på et stekebrett av stål med en bunntykkelse på 0,3 cm. Mellom prøven og stekebrettet ble standard aluminiumsfolie egnet for næringsmidler benyttet.

Aluminiumsfolien er ikke inkludert i den matematiske modellen. En temperaturmåler ble plassert i prøvenes dimensjonsmessige sentrum, og prøvene ble deretter plassert på kjølelager ved  $4^{\circ}\text{C}$  i minimum 2 timer.

Prøvene ble deretter varmebehandlet ved 65, 75, 85 og 95°C i henholdsvis 19, 11, 10 og 9 minutter. Alle prøvene fikk en påfølgende hviletid i romtemperatur med 5 minutters varighet. Denne delen av temperaturforløpet er heretter omtalt som hviletid. Tre parallelle prøver ble benyttet for hver tid/temperaturkombinasjon. Etter avsluttet varmebehandling ble brettene med prøvene umiddelbart fjernet fra ovnen og plassert i romtemperatur. Loggføring av temperatur fortsatte i minimum 5 minutter etter at prøvematerialet var fjernet fra ovnen, det vil si i tiden som er definert som hviletid.



Figur 5: Oppsett av laksestykke og temperaturlogger.

### 3.2.6 Forforsøk med kokk

I samråd med Salma Brands ble kokk Stefan Andersson benyttet som ressursperson i det første delforsøket. Andersson har mange års erfaring som kokk, både i gourmet –og i storkjøkkensammenheng. Hans oppgave var å sette rammebetingelser for forsøket i forhold til hvordan en tilnærmet optimal tekstur i tilberedt laks fortrinnsvis bør være og hva slags behandlingsbetingelser en slik kvalitet vil kreve. I tillegg skulle generelle råd med hensyn på råvaretilberedning og behandling gis. En standard tilskjæringsmetode for prøver ble utarbeidet slik det er vist i figur 4.

### 3.2.7 Utarbeiding, justering og validering av numerisk modell

Når eksperimentelle data (jmfør punkt 3 i figur 3) var blitt innhentet, ble disse benyttet til å konstruere matematiske modeller som beskrev hver enkelt prøve med hensyn på virkelige dimensjoner av prøvematerialet, eksperimentelle starttemperaturer, behandlingstemperaturer og behandlingstider.

Deretter ble data innhentet eksperimentelt sammenliknet med data predikert av matematisk modell.

Den ukjente faktoren, varmeovergangstallet i dampovnen ( $h$ ), ble så justert for hver



behandlingstemperatur slik at predikert og eksperimentelt temperaturforløp viste størst mulig grad av samvariasjon for alle paralleller. Samme verdi for  $h$  ble benyttet innad i hver temperaturgruppe.

### **3.2.7.1 Bestemmelse av varmegjennomgang i SALMA-laks**

Ved hjelp av en konduktivitetmåler ble varmegjennomgang i SALMA-laks, stykningsdel belly undersøkt. Råmaterialet ble kjøpt i en lokal dagligvareforretning i Stavanger. Utstyret benyttet var en konduktivitetmåler av typen Decagon KD-2 og en dampovn av ukjent type.

Målingen ble foretatt ved fire ulike temperaturer på fiskekjøttet, henholdsvis 4, 17, 40 og 60°C +/- 0,1-3,5°C. Målingene ved 4°C ble utført i kjølerom, ved 17°C ble de gjort i produksjonshall og målingene ved 40°C og 60°C ble gjort i dampovn. Alle verdiene ble målt diagonalt på fiberretningen, og det ble vist at den aktuelle målemetoden ikke gir signifikant forskjellige resultater ved måling i henholdsvis transvers og longitudinal retning. Det ble gjort 3 parallelle målinger for temperaturene 4 og 17°C, 4 for 40°C og 5 parallelle målinger for 60°C.

Måling av varmegjennomgang i SALMA-laks ble gjort ved Nofima Mat i Stavanger i regi av Dagbjørn Skipnes som en del av undertegnede's masteroppgave.

### **3.2.7.2 Kalkulering og simulering av varmegjennomgang i laksefileter**

For å kunne predikere utvikling i kjernetemperatur i prøvematerialet, ble programvaren Comsol Multiphysics benyttet. Dette er et Final Element-program som ved hjelp av bestemte fysiske parametere kan beregne varmefordeling i et gitt legeme over en gitt tidsperiode.

Til dette er likningen for varmeovergang ved konduksjon gitt ved Fouriers lov ( jamfør likning 1) benyttet.

Følgende betingelser ble satt for den analytiske modellen:

- Den initielle temperaturfordelingen i prøvematerialet er homogen.
- Fisken antas å være homogen og isotropisk, hvilket impliserer at  $\rho$  og  $C_p$  er konstante, og at  $k$  er lik i alle retninger (Ibarz & Barbosa- Cánovas 2003).
- Energiabsorpsjon som skyldes kjemiske reaksjoner er neglisjerbar.
- Endringer i varme som følge av fordampning av vann fra prøvematerialet mens det befinner seg inne i ovnen er neglisjerbar grunnet bruk av damp.
- En todimensjonal fasong antas, og eventuelle termiske endeeffekter vil dermed neglisjeres i modellen.
- Fordampning av vann fra fiskens overflate etter uttak fra ovn inkluderes ikke i beregningene. Beregning av fordampningens påvirkning av varmeflyt vil involvere beregning av massetransport, og grunnet oppgavens omfang er dette ikke prioritert.

- Det ses bort ifra endring i prøvematerialets dimensjoner som følge av varmeinduserte endringer. Således er det utgangsstørrelsen på stykkene som benyttes til beregningene.

Med utgangspunkt i disse antakelsene, kan en varmeoverføringslikning beskrives i henhold til Fouriers lov. Fouriers likning (jmfør likning 1) fastslår at hastigheten på varmeoverføring gjennom et materiale, som i dette tilfellet er laks og stål, er proporsjonal til den negative gradienten i temperaturen og til arealet som befinner seg rett vinklet i forhold til gradienten som varmen flyter gjennom. Det er likningens differensielle form som er aktuell for å undersøke flytrater med hensyn på tid (Ibid.).

Når systemet er todimensjonalt, vil likningen ta følgende form:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2) \text{ (ibid.)}$$

Hvor  $\alpha$  er termisk diffusivitet og leddene for x og y er endring i temperatur knyttet til respektive dimensjoner. Termisk diffusivitet er forholdet mellom termisk konduktivitet, tetthet og spesifikk varmekapasitet og er uttrykt ved likningen:

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad (3) \text{ (ibid.)}$$

Likningene 1 og 2 ble løst ved hjelp av programvaren Comsol Multiphysics versjon 3.5.

Modellen ble konstruert i to dimensjoner og representerte et tverrsnitt av laksestykket. En enkel, kvadratisk fasong på prøvematerialet ble antatt med utgangspunkt i dimensjonene  $b = 6,0 \text{ cm}$   $h = 2,0 \text{ cm}$  hvor endeeffekter ble antatt å være neglisjerbare. Dybden ble likevel holdt konstant på  $9,5 \text{ cm} \pm 0,2 \text{ cm}$  for å eliminere variasjoner som ville kunne oppstått som en følge av utelatte endeeffekter.

k-verdien i SALMA ble målt eksperimentelt slik det er beskrevet i avsnitt 3.2.7.1, og ble vist å være tilnærmet  $0,41 \text{ W/mK}$  i transvers retning for alle temperaturer det er testet for. For laks er k tidligere vist å være  $0,47 \text{ W/mK}$  (Rahman 2009) og  $0,41 \text{ W/mK}$  og  $0,23 \text{ W/mK}$  ved en fisketemperatur på henholdsvis  $5$  og  $25^\circ\text{C}$  (Zhu et al. 2008). Verdier for  $\rho$  og  $C_p$  ble valgt i henhold til tilgjengelig litteratur, og ble satt til  $1050 \text{ kg/m}^3$  (Lekang 2008) og  $3600 \text{ J/kgK}$  (Rahman 2009), henholdsvis.

Modellen ble vurdert ved hjelp av en påfølgende validering som ble gjort ved hjelp av varmebehandlingseksperimenter etterfulgt av en vurdering slik det er beskrevet i avsnitt 3.2.7.3.

Standard innstillinger angitt i programvaren ble benyttet med hensyn på inndeling av grid (maskenett) i forhold til beregninger. Ved kalkulering av kjernetemperatur ble kjernen satt i ett punkt gitt ved stykkets dimensjonsmessige sentrum.

### 3.2.7.3 Validering og ferdigstillelse av analytisk modell som grunnlag for forsøksoppsett

For å vurdere robustheten av den numeriske modellen og muliggjøre beregning av varmeovergangstall ( $h$ ) i ovnen, ble varmebehandlingseksperimenter utført for alle temperaturer som var aktuelle i forhold til forsøksoppsettet. Dette ble også gjort med hensyn på usikkerheten knyttet til varmeovergangstallet i ovnen. Prøvepreparering og metode for varmebehandling er tidligere beskrevet i avsnitt 3.2.5 og utstyr for varmebehandling og dataregistrering er beskrevet i avsnitt 3.2.3 og 3.2.4.



Figur 6: Laks varmebehandlet ved henholdsvis 95°C i 9 minutter (t.v.) og ved 65 °C i 19 minutter etter endt hviletid. Plassering av temperaturloggere og opplegg på stekebrett med aluminiumsfolie som vist i figuren er representativ for alle prøvene i forsøket.

Etter at varmebehandlingseksperimentet var gjennomført ble eksperimentelle data avlest og sammenliknet med predikerte data funnet i henhold til metode beskrevet i avsnitt 3.2.7.2. Verdien som i forkant av eksperimentet fremstod som ukjent var varmeovergangstallet i ovnen ( $h$ ). Denne ble funnet ved å benytte manuelt å justere  $h$  i den numeriske modellen til predikerte data viste best mulig samsvar med eksperimentelle data for alle prøver. Samme verdi for  $h$  ble benyttet for parallelle prøver.

Avvikene i eksperimentelle temperaturdata i forhold til predikerte data ble gitt i prosent og er beregnet som den eksperimentelle kjernetemperaturens avvik fra den predikerte etter følgende formel:

$$\frac{\text{eksperimentell kjernetemp.} - \text{predikert kjernetemp.}}{\text{predikert kjernetemp.}} \times 100 = \text{Avvik (\%)} \quad (4)$$

De analytiske modellene som ble satt opp for hver enkelt behandlingstemperatur dannet grunnlaget for forsøksoppsettet for oppgavens hovedforsøk med hensyn på kjernetemperaturer og behandlingstemperaturer. Kjernetemperaturer ble satt til 50, 60 og 70°C, og behandlingstemperaturer

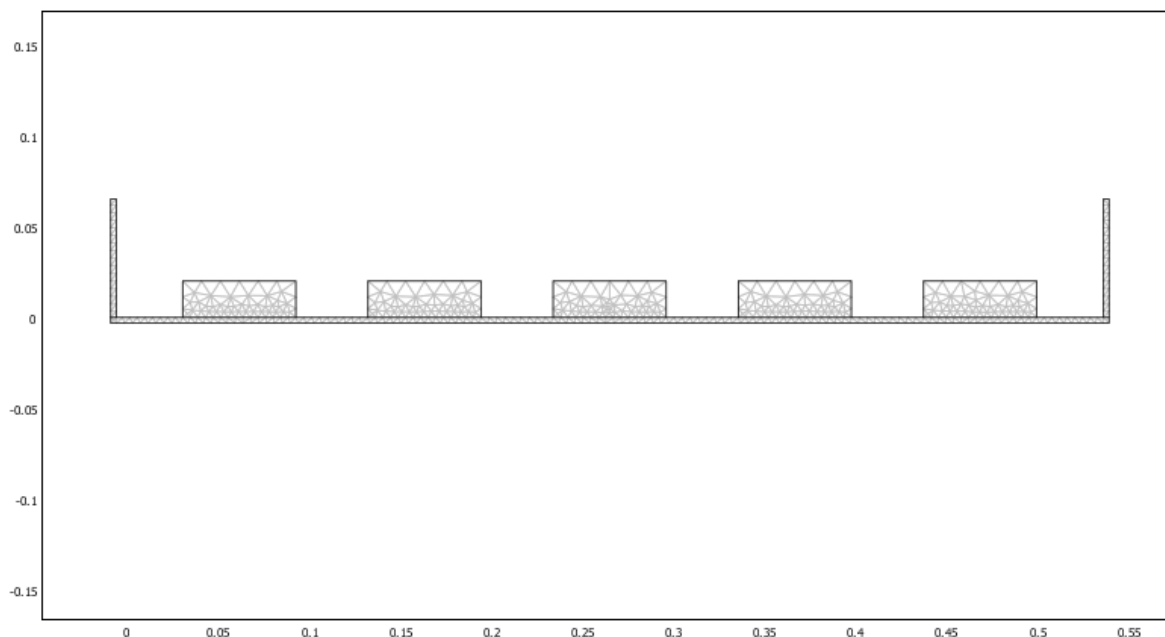
ble satt til 65, 75, 85 og 95°C. Ikke alle kombinasjoner av kjerne og -behandlingstemperaturer ble benyttet på grunn av utfordringer med hensyn på tidsbegrensninger og åpenbare umulige temperaturkombinasjoner. Temperaturene ble valgt med bakgrunn i anbefalinger gjort av en erfaren kokk.

Behandlingstider for prøvene ble deretter beregnet ved hjelp av den numeriske modellen. Det simulerte temperaturforløpet bestod av varmebehandling med individuell tid og temperatur og 5 minutters hviletid i romtemperatur, og kjernetemperaturer ble angitt som temperatur i kjernen etter endt hviletid. Grunnet funn av ulike h-verdier ved de forskjellige behandlingstemperaturene, ble fire ulike endelige modeller satt opp, én for hver behandlingstemperatur. Behandlingstidene er funnet manuelt ved å variere tid i ovn med hensyn på å oppnå gitt kjernetemperatur.

Grunnet avrunding til nærmeste 15. sekund for behandlingstid og manuell tilpasning av modellen, foreligger det et visst avvik mellom de opprinnelig bestemte kjernetemperaturene og predikerte kjernetemperaturer (jamfør tabell 7). Dette er omtalt i diskusjonsdelen under avsnitt 5.2.3.

De endelige modellene angir det predikerte temperaturforløpet i kjernen av et tverrsnitt av den midterste av fem fileter slik det er vist i figur 7. Dimensjonen på stykningsdelene angitt i modellen er satt til  $b=6$  og  $h=2$  cm., og størrelsen på brettet er  $b=22,5$ cm og  $h=0,3$  cm. Sidene på brettet angitt med  $h=6,5$  cm.

Starttemperaturen i filetene i den endelige modellen ble satt til 5°C på bakgrunn av erfaringer gjort underveis i temperaturforsøk.



Figur 7: Maskenetttest inndeling og dimensjoner anvendt i den endelige numeriske modellen.

Maskenettet som ble benyttet ved kalkulering av varmegjennomgang hadde 565 maskepunkter og 1984 frihetsgrader. Kjernetemperaturen ble beregnet i det dimensjonsmessige sentrum av det midterste stykket.

### 3.3 Hovedforsøk

Hovedforsøket omfattet sensoriske målinger av preparerte lakseprøver varmebehandlet ved ulike tid- og temperaturbetingelser, endring i vekt og måling av fargeparametere på overflaten etter tilberedning. Aktuelle metoder og materialer beskrives i dette kapitlet.

#### 3.3.1 Råvarer og prøveuttak

Råvarene benyttet i det sensoriske hovedforsøket var SALMA-laks (jamfør avsnitt 3.2.2) fra slakteriet Bremnes Seashore i Bømlo. Filetene ble valgt ut og pakket ved anlegget og hadde en gjennomsnittsvekt på 720 gram. Alt prøvematerialet ble slaktet, filetert, vakuumpakket og pakket i lystette polystyrenkasser 9. september 2010 og sendt med kjølebil til Oslo og til TINEs felles kjølelager. Prøvematerialet ble deretter videresendt til Nofima i Ås ved hjelp av kjøletransport den 10. september. Her ble filetene oppbevart i polystyrenkassene ved 4°C i et temperaturkontrollert kjølerom til forforsøket og hovedforsøket ble gjennomført henholdsvis den 15. og 16. september.

#### 3.3.2 Tilberedningsutstyr

Tilberedningsutstyret er tidligere beskrevet i avsnitt 3.2.3.

### 3.3.3 Måleutstyr

Måleutstyret og fremgangsmåten var den samme som beskrevet i avsnitt 3.2.4. Loggføring av temperatur ble imidlertid gjort med 10 sekunders intervaller.

Til registrering av vekt ble en vekt av typen Mettler PL 300 benyttet. Vekten ble registrert i et kontrollstykke etter tilskjæring i rå tilstand og etter varmebehandling og hviletid ved at prøven ble fjernet fra stekebrettet ved hjelp av en stekespade.

Til måling av farge ble en Minolta fargemåler benyttet.

### 3.3.4 Prøvepreparering og metode for varmebehandling

Hver prøve bestod av en laksebit med målene 6x2x9,5 cm. Laksestykkene ble posjonert i henhold til prosedyre gjengitt i figur 4 i avsnitt 3.2.5. Påfølgende trinn involverte vannrett tilskjæring av laksestykkets overflate slik at en mest mulig ensartet kvadratisk fasong kunne oppnås. Alle stykkene ble skåret til med en presisjon på +/- 0,2 cm. Fra hver filet ble tre prøvestykker skåret til.

Kontrollstykket ble veid etter tilskjæring.

Laksestykkene ble plassert på et stekebrett av stål med en bunntykkelse på 0,3 cm dekket med alumineumsfolie. Det var 10 stykker på hvert brett inkludert en kontrollprøve. Kontrollprøven fikk en temperaturlogger plassert i sentrum og ble plassert på høyre rekke som nummer tre nedenfra. I stekebrettens respektive ender ble det plassert hvite papirkluter for å suge opp noe av væsken under tilberedning. Oppsettet av prøver er vist i figur 8. Prøvene ble oppbevart på kjølelager ved 4°C i minimum 2 timer før varmebehandling. Uttak fra kjølelager ble gjort omlag 2 minutter før varmebehandling.



Figur 8: Fordeling av prøver på brett før varmebehandling. Prøve nummer tre fra bunnen til høyre var kontrollstykket. Bildet viser hvite kluter som ble plassert langs kortsider med hensikt å samle opp væske avgitt fra prøver.

Prøvene ble deretter varmebehandlet i henhold til temperaturer og tider angitt i tabell 1. To parallelle prøver ble benyttet for hver tid/temperaturkombinasjon. Etter avsluttet varmebehandling ble brettene med prøvene umiddelbart fjernet fra ovnen og plassert i romtemperatur for hviletid slik det tidligere er beskrevet i avsnitt 3.2.5. Loggføring av temperatur i kontrollstykket fortsatte gjennom hele hviletiden. Påfølgende prosedyre for prøvebehandling er beskrevet i avsnitt 3.3.6.

Prøver navngas i henhold til kombinasjon av ovnstemperatur og oppholdstid i ovn angitt i tabell 1. Prøvene 85/9,5 og 95/10,75 er imidlertid henholdsvis omtalt som 85/9:30 og 95/10:45 slik at det ikke skulle oppstå missforståelser med hensyn på behandligstider under hovedforsøket. Tidene presentert i tabell 1 er beregnet på bakgrunn av predikerte data, jamfør avsnitt 3.2.7.3.

Tabell 1: Forsøksvariabler for varmebehandling av prøver. Tabellen viser prøvenes respektive oppholdstid i ovn uttrykt i minutter.

	Ovnstemperatur (°C)			
	65	75	85	95
<b>Kjernetemperatur (°C)</b>				
<b>50</b>	15	11	9,5	8
<b>60</b>		16	13	10,75
<b>70</b>				15

### 3.3.5 Beskrivende analyse

Den beskrivende analysen ble utført ved Nofima Mats sensoriske laboratorium som er akkreditert av Norsk Akkreditering og innredet i henhold til ISO 8589-1988. Dommerne som deltok i analysearbeidet er valgt ut og trent i samsvar med standardene ISO/DIS 8586-1-1993 og ISO 6658-1985 og er fast ansatt ved Nofima Mat.

#### 3.3.5.1 Trening og forforsøk

Dommerpanelet ble introdusert for ekstremprøver under et treningsforsøk. Ved dette treningsforsøket fikk panelet utdelt tre ekstremprøver som var tilberedt i henhold til på forhånd antatte ekstremverdier for tid-og temperaturforhold. Disse prøvene var således ikke korrekte med hensyn på kjernetemperaturer vist i figur 1, men satte rammer for forsøket. I etterkant ble et plenumsmøte holdt hvor prøvematerialet, bedømte egenskaper og metodikk ble evaluert. Av denne seansen fikk man informasjon om hvilke attributter som ikke burde inkluderes i hovedforsøket og om flere egenskaper som burde legges til. I tillegg fikk man diskutert problemstillinger i forbindelse med metodikk ved bedømmning, spesielt med hensyn på oppdeling av prøvematerialet.

Forforsøket ble gjennomført i forbindelse med hovedforsøket og involverte kalibrering av panelet i forhold til de ulike egenskapene som inngikk i bedømmingen. Forforsøket omfattet to demoprøver som ble diskutert i plenum. Dette var ekstremprøve høy og ekstremprøve lav. Denne seansen ble etterfulgt av en sensorisk bedømmning av de samme prøvene. Resultatene ble deretter diskutert i plenum, og panelet ble kalibrert. Forforsøket ble gjennomført som første seanse på forsøksdag 1; 15. september.

#### 3.3.5.2 Hovedforsøk

Et tidligere utviklet vokabular for beskrivelse av attributtene til SALMA-laks ble benyttet i panelets bedømmning. Bedømmingen ble gitt på en 9 punkts ustrukturert kontinuerlig intervallskala hvorav 1 svarte til ingen intensitet og 9 svarte til tydelig intensitet (jamfør vedlegg 3).



Den beskrivende analysen ble gjennomført over en tidsperiode på to dager: den 15. og 16. september 2010 og ble delt inn i tre sesjoner. Forforsøket ble gjort samme dag som første sesjon av hovedforsøket slik det er beskrevet i avsnitt 3.3.5. Paneldeltakerne var 9 trente sensoriske dommere som regelmessig har blitt testet for nøyaktighet og evne til å reproducere resultater.

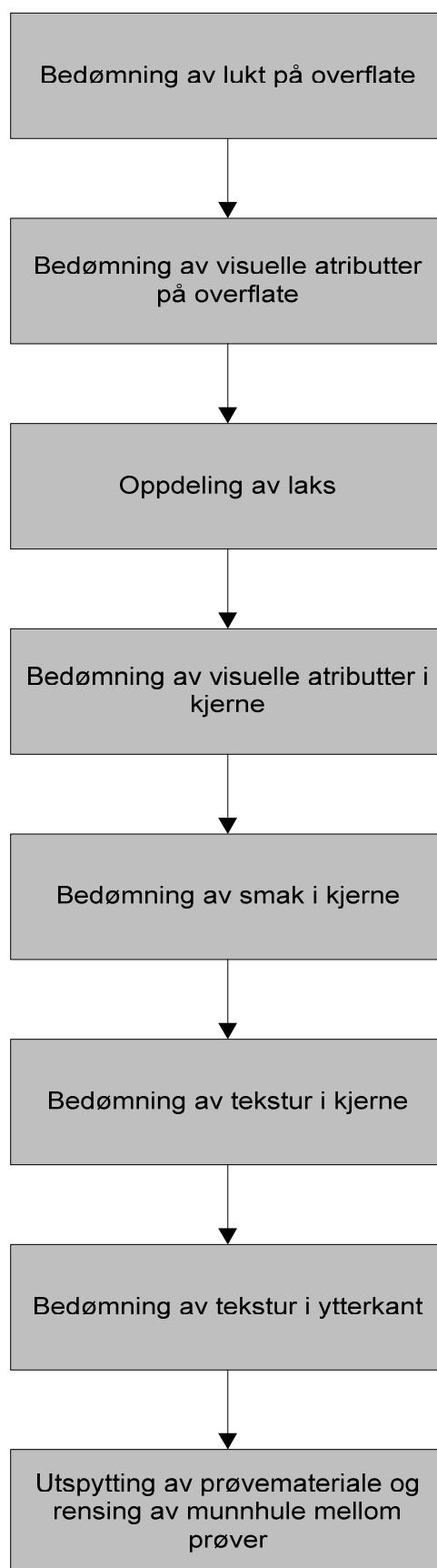
Hovedforsøket omfattet totalt 8 prøver x 2 (ett gjentak), og hver prøvebatch bestod av 9 prøver til sensorisk evaluering + ett kontrollstykke for temperaturlogging og instrumentelle analyser. Hver enkelt dommer fikk konsekvent prøver fra samme del av fileten. Kontrollprøven ble imidlertid tatt fra ulike deler av fileten. Prøvene ble varmebehandlet i henhold til tider vist i tabell 1 i avsnitt 3.3.4. Etter gitt varmebehandling, ble alle prøver bortsett fra kontrollstykket plassert i romtemperatur i 3 minutter. Prøvene ble deretter flyttet til individuelle tallerkener forvarmet til 50°C og servert fortløpende til panelet. Servering ble gjort etter 3 minutter fordi antatt tid fra prøvene ble fjernet fra stekebrettet til dommernes vurdering av kjerneegenskaper var 2 minutter. Forvarmingen av tallerkenene ble gjort for best mulig å gjengi forhold beskrevet i den numeriske modellen. Kontrollstykket ble liggende på brettet som ble benyttet under varmebehandling til nøyaktig fem minutter hadde passert, og vekt og fargeutslag ble deretter målt i denne prøven.



Figur 9: Prøver etter varmebehandling.

Prøvene ble servert i tilfeldig rekkefølge med minimum 5 minutters intervall. Pauser for panelet ble lagt inn der det var nødvendig på grunn av steketider. Ingen definert modell for randomisering ble benyttet da visse hensyn måtte tas i forhold til steketid og ovnstemperatur. Alle dommerne mottok samme prøve samtidig som følge av utfordringer med hensyn på tilgjengelig utstyr og tilberedning av prøvene, og prøvene ble servert én og én. Panelets evaluering av prøvene som inngikk i hovedforsøket foregikk monadisk, og koding av prøver ble derfor ikke benyttet. Dommernes tid til evaluering av prøvene var begrenset til 5 minutter, men individuelt tempo ble benyttet i evalueringen innen denne gitte rammen.

De sensoriske egenskapene ble vurdert i henhold til utdelt skjema med sensoriske attributter og egenskapsforklaringer vist i tabell 2. Under innledende treningsforsøk og forforsøk mottok dommerne instruksjoner i forhold til hvilken rekkefølge som prøvenes egenskaper skulle bedømmes, jamfør figur 10.



Figur 10: Skjematisk oppsett av rekkefølge for sensorisk bedømmning av prøveegenskaper.

Ved oppdeling av prøven fikk dommerne beskjed om å skjære over stykket midt på, i transvers retning. Dette ble gjort med en spiss kniv uten sagtenner. Umiddelbart etter oppdeling ble farge i kjernen bedømt som et gjennomsnitt av de to snittflatene. Kjernen som skulle bedømmes var definert som en 1x1 cm kubisk bit midt i prøven, og smak og tekstur ble derfor bedømt på hver sin snittflate.

Sesjon 1 ble gjennomført på dag 1 og omfattet 6 prøver uten gjentak. Sesjon 2 og 3 ble gjennomført på dag 2 og omfattet henholdsvis 6 og 4 prøver. Oppsettet for forsøket med hensyn på tidsskjema for gjennomføring og randomisering av prøver er gjengitt i vedlegg 4.

Et tidligere benyttet vokabular for bedømming av laks ble benyttet ved trening av panelet. Dette inkluderte utseende, lukt, smak -og teksturrelaterte egenskaper. Treningsforsøket avdekket imidlertid et behov for å tilføre enkelte attributter som dommerne skulle bedømme. Attributtene ”proteinutfellelse” og ”fuktighet på overflate” ble således innført. Attributtene som ble bedømt er vist i tabell 2. Attributforklaringer er angitt i vedlegg 2.

Tabell 2: Attributter vurdert i sensorsik forsøk. Utfyllende beskrivelse av attributter er angitt i vedlegg 2.

<b>LUKT</b>	
	Syrliglukt
	Metallukt
	Sjølukt
<b>UTSEENDE</b>	
	Proteinutfellelse
	Fuktighet på overflaten
<b>FARGE (ytre)</b>	
	Fargetone
	Fargestyrke
	Hvithet
<b>FARGE (indre)</b>	
	Fargetone
	Fargestyrke
	Hvithet
<b>SMAK (indre)</b>	
	Syrligsmak
	Saltsmak
	Metallsmak
	Bittersmak
	Sjøsmak
	Harsksmak
<b>TEKSTUR (indre)</b>	
	Grovhet
	Hardhet
	Fethet
	Saftighet
<b>TEKSTUR (ytre)</b>	
	Grovhet
	Hardhet
	Fethet
	Saftighet

### 3.3.6 Databehandling og statistiske analyser

Det ble ikke benyttet statistiske metoder ved databehandling for matematisk modellering av varmegjennomgang eller for instrumentelle målinger. For varmegjennomgang er hver enkelt parallell vurdert selvstendig, og fargeresultater er presentert som et gjennomsnitt av to målinger. Vekttap fra prøver er presentert som et gjennomsnitt av to målinger inklusive standardavvik.

De sensoriske resultatene ble analysert ved hjelp av variansanalyse (ANOVA). Dette ble gjort ved hjelp av programvaren SAS. ANOVA ble benyttet for å identifisere signifikante forskjeller for ulike sensoriske attributter i smaksprofilen til laks varmebehandlet ved ulike kombinasjoner av tid og temperatur. Prøver hvor  $p < 0,05$  er vurdert som signifikant forskjellige.

Principal Component Analysis (PCA) er i denne oppgaven benyttet for å få frem eventuelle grupperinger av prøver med hensyn på kjernetemperatur og å undersøke hvilke egenskaper som forklarer variasjon mellom prøver. Det er også benyttet et correlation loadings- plot av sensoriske egenskaper. I dette har man to ellipser og når en sensorisk egenskap befinner seg mellom de to ellipsene betyr det at minimum/mer enn 50 prosent av variasjonen i denne egenskapen kan beskrives av de to komponentene i modellen (PC1 og PC2). PCA-plots ble utarbeidet ved hjelp av databehandlingsprogrammet Panel Check.

## 4 Resultater

I dette kapittelet vil resultater fremskaffet i henhold til metoder gjennomgått i kapittel 3 presenteres. Dette omfatter eksperimentelle data innhentet ved verifisering av numerisk modell for prediksjon av varmegjennomgang, resultater fra instrumentelle målinger og sensoriske data.

Resultatene fremskaffet fra forforsøk med kokk (jamfør avsnitt 3.2.6) ble benyttet som grunnlag for metodikk for de påfølgende delene av forsøket. Disse resultatene er omtalt i kapittelet som omhandler metoder og vil derfor ikke gjengis i denne delen av oppgaven.

### 4.1 Prediksjon av varmegjennomgang

For hver enkelt prøve ble en individuell modell med hensyn på dimensjoner, tid og temperatur konstruert. Andre inputparametere som er benyttet i modellene er de samme for alle prøvene, slik det er omtalt i avsnitt 3.2.7.2.

#### 4.1.1 Bestemmelse av varmegjennomgang i SALMA laks

Hensikten med eksperimentelt å bestemme varmegjennomgangen ( $k$ -verdien) i SALMA, var å avdekke hvorvidt verdien for  $k$  vil være den samme som verdier funnet for fileter fra konvensjonelt slaktet laks slik det er vist av Zhu et al (2008) og Rahman (2009), og for å minimere antall ukjente faktorer ved beregning av varmeovergangsproblemer. Resultater er presentert i tabell 3.

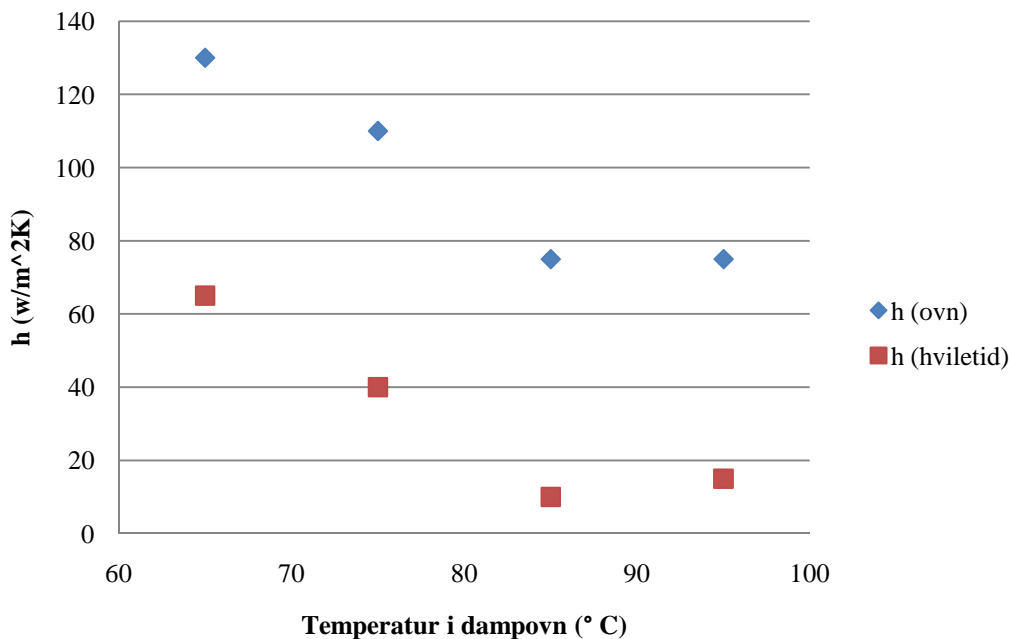
Tabell 3: Gjennomsnittlig  $k$ -verdi ( $W/(mk)$ ) med standardavvik målt i bellystykning av SALMA.

Temperaturgruppe	N	$k$ ( $W/(mk)$ )	Standardavvik
4	3	0,40667	0,01528
17	3	0,4133	0,0208
37	4	0,4125	0,0206
58	6	0,4167	0,0557

Resultatene viser at det ikke er noen stor forskjell i  $k$ -verdi i bellystykning av Salmalaks ved ulike temperaturer, og at gjennomsnittsverdien for alle målingene er tilnærmet 0,41  $W/mK$ . En svakt økende trend kan imidlertid observeres.

#### 4.1.2 Bestemmelse av varmeovergangstall i dampovn

Varmeovergangstallet i ovnen ( $h$ ) var den ukjente faktoren i forkant av eksperimentet, og det man ønsket å finne svar på gjennom varmeeksperimentene. Det ble gjort undersøkelser for alle behandlingstemperaturene som var aktuelle for det overordnede eksperimentet. Resultater med hensyn på tilpassede  $h$ -verdier ( $h$  (ovn) og  $h$  (hviletid)) er presentert i figur 11.



Figur 11: h-verdier derivert fra temperaturforsøk. Verdiene er funnet ved at den matematisk modellen i etterkant er justert for å beskrive virkelige temperatureffekter. Varmeovergangskoeffesienten, h har benevnningen  $W/m^2K$ , og temperatur er gitt i  $^{\circ}C$ .

Av figur 11 kan man se at det ble funnet ulike verdier for h for de ulike behandlingstemperaturene i ovn og under hviletid i romtemperatur. Man kan også observere at verdiene funnet for h (hviletid) er lavere enn de som ble funnet for h (ovn). Verdiene for h (ovn) viser en synkende trend for h med økende ovnstemperatur, slik resultatene også viser for h (hviletid). Man kan også observere at utviklingen i h- verdi (ovn) og h-verdi (hviletid) viser høy grad av samvariasjon.

#### 4.1.3 Modellens prediksjonsevne

For å vurdere modellens evne til å predikere temperaturforløp, ble eksperimentelle data innhentet ved hjelp av varmebehandlingseksperimenter. h (ovn) og h (hviletid) ble deretter justert slik det er omtalt i avsnitt 3.2.7.3. Eksperimentelle resultater ble så sammenliknet med predikerte resultater. Utfall fra denne sammenlikningen er presentert i tabell 4.



Tabell 4: Behandlingstemperatur, dimensjoner, estimert og eksperimentell kjernetemperatur og den eksperimentelle kjernetemperaturens avvik fra den estimerte kjernetemperaturen. Avvik er uttrykt i prosent.

<b>Prøve</b>	<b>Behandlingstemperatur</b>	<b>Størrelse (BxHxL)</b>	<b>Predikert kjernetemperatur</b>	<b>Eksperimentell kjernetemperatur</b>	<b>Prosentvis avvik</b>
<b>Prøve 65 p1</b>	65	6,2x2,5x9,5	48,84	51,72	5,89
<b>Prøve 65 p2</b>	65	6,0x2,3x9,4	50,69	50,41	-0,56
<b>Prøve 65 p3</b>	65	5,7x2,2x9,5	52,93	52,99	0,12
<b>Prøve 75 p1</b>	75	6,0x2,0x8,5	49,22	48,58	-1,30
<b>Prøve 75 p2</b>	75	5,8x2,0x9,5	48,61	51,04	4,99
<b>Prøve 75 p3</b>	75	6,0x2,0x9,3	49,52	49,74	0,43
<b>Prøve 85 p1</b>	85	5,5x2,0x9,4	52,83	50,49	-4,43
<b>Prøve 85 p2</b>	85	6,0x1,8x9,5	55,10	55,61	-0,69
<b>Prøve 85 p3</b>	85	5,9x2,1x9,4	50,55	51,31	1,51
<b>Prøve 95 p1</b>	95	6,0x2,1x9,1	51,83	53,81	3,81
<b>Prøve 95 p2</b>	95	6,0x1,8x9,6	57,90	58,18	0,48
<b>Prøve 95 p3</b>	95	5,7x2,1x9,6	51,26	51,62	0,70

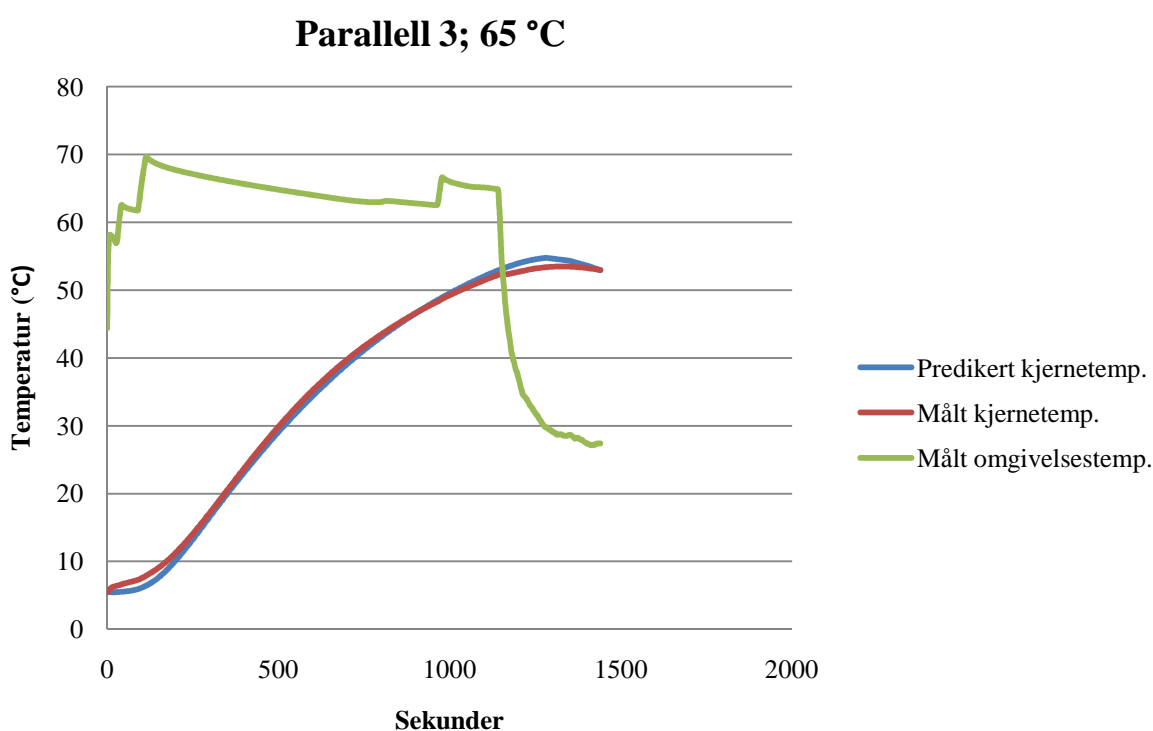
Av tabell 4 kan man se at prøven som demonstrerer det største avviket mellom predikert og estimert sluttemperatur viser en feilmargin på 5,89%. Den viser også at den største differansen mellom to paralleller er på omlag 6,3%. Man kan imidlertid observere at det for hver prøve kun er én parallell hvor eksperimentelle data avviker i særlig grad fra de predikerte, hvilket også kan observeres i

figurene 14-17 hvor det totale temperaturforløpet med hensyn på avvik fra predikert kjernetemperatur er uttrykt grafisk.

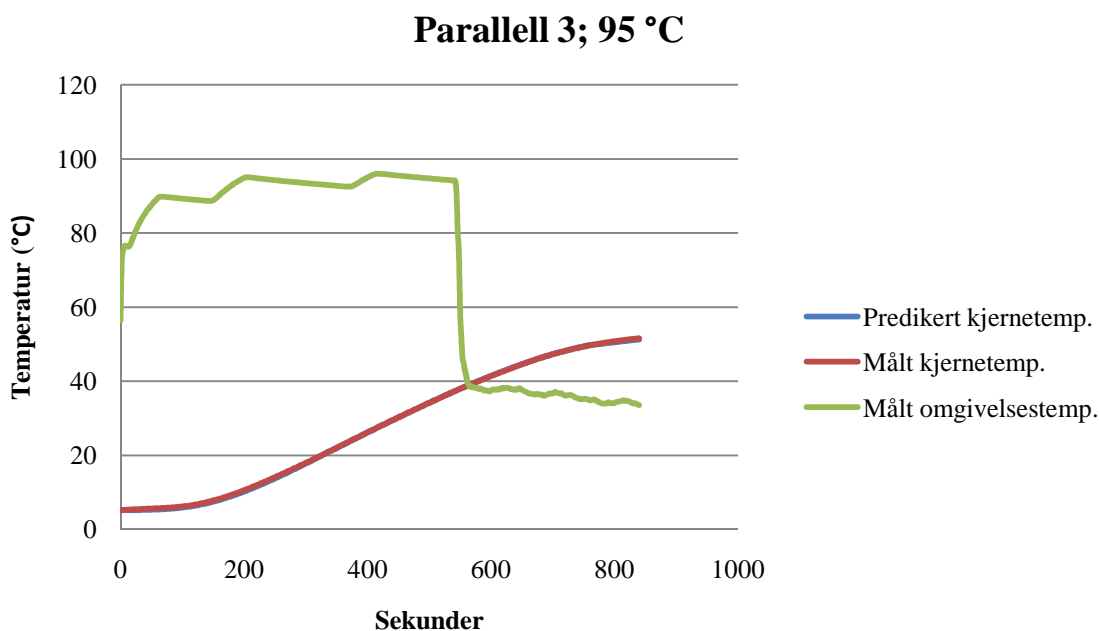
Gjennomsnittlig avvik mellom eksperimentelle og predikerte kjernetemperaturer er uttrykt som absoluttverdi og er vist å være 2,08%.

Det er hensiktsmessig å undersøke det totale temperaturforløpet i prøvene med hensyn på predikerte og eksperimentelle verdier for å avdekke eventuelle avvik som ikke fremgår av sluttemperatur.

Temperaturforløp er vist for to av prøvene i figurene 12 og 13.



Figur 12: Predikert og eksperimentelt målt temperaturforløp i kjernen av en prøve. Behandlingstemperaturen for den aktuelle prøven var 65°C og behandlingstiden var 19 minutter fulgt av 5 minutter hviletid i romtemperatur. Figuren angir også henholdsvis omgivelsestemp. i ovn og under hviletid.

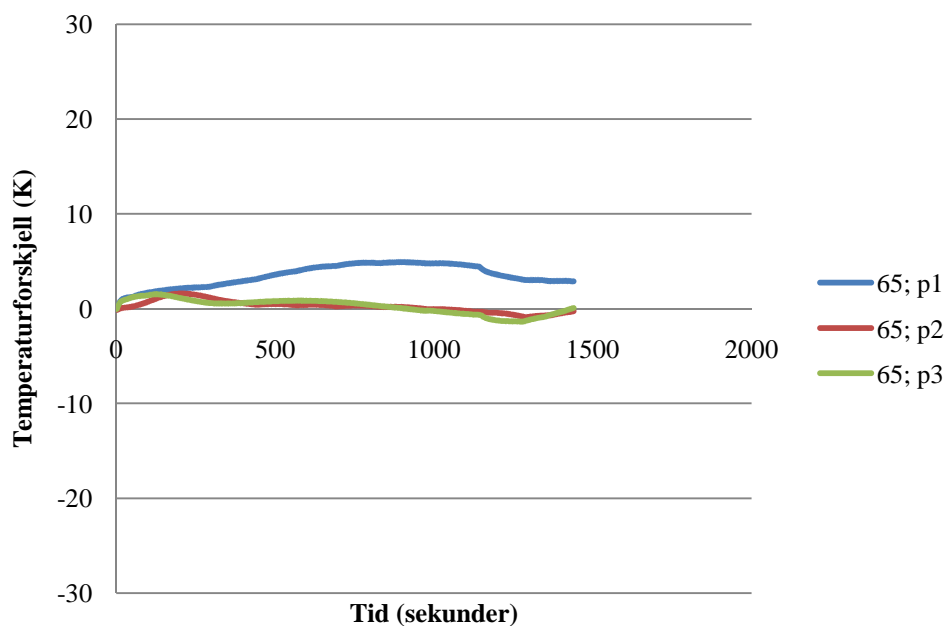


Figur 13: Predikert og eksperimentelt målt temperaturforløp i kjernen av en prøve. Behandlingstemperaturen for den aktuelle prøven var 95°C og behandlingstiden var 9 minutter fulgt av 5 minutter hviletid i romtemperatur. Figuren angir også henholdsvis omgivelsestemperatur i ovn og under hviletid.

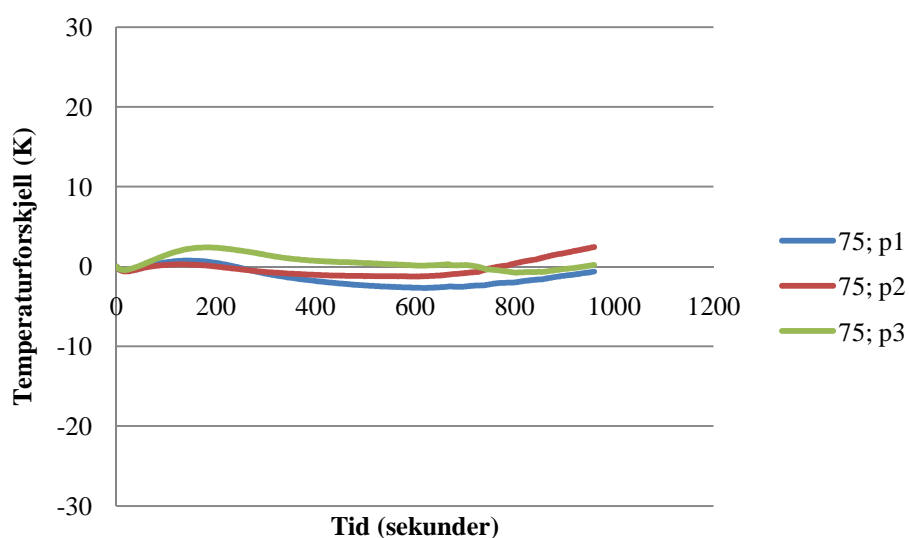
Figurene 12 og 13 viser at man, ved å tilpasse verdien for  $h$ , har oppnådd en matematisk modell som er i stand til å beskrive og predikere den eksperimentelt målte temperaturutviklingen i kjernen av et definert laksestykke gjennom hele prosessen for varmebehandling med kun små observerte avvik.

Figurene viser to utvalgte paralleller av totalt 12, men disse kan betraktes som relativt representative med tanke på avvik. Grafiske fremstillinger av temperaturforløp for resterende prøver er vist i vedlegg 1.

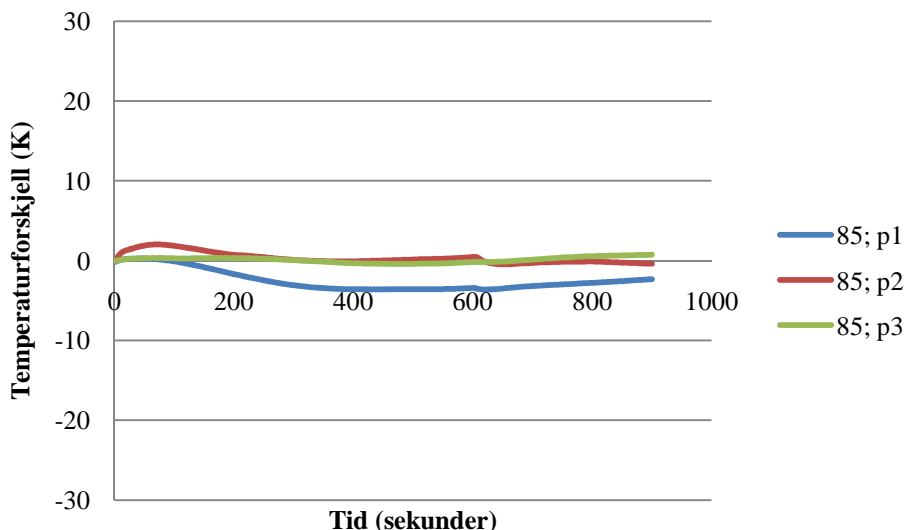
For lettere å se sammenhengen mellom resultater for parallelle prøver, kan det totale eksperimentelle temperaturforløpet presenteres som avvik fra det predikerte. Figurene 14 til 17 viser eksperimentelle datas avvik fra predikerte gjennom hele temperaturforløpet for alle behandlingstemperaturer og paralleller.



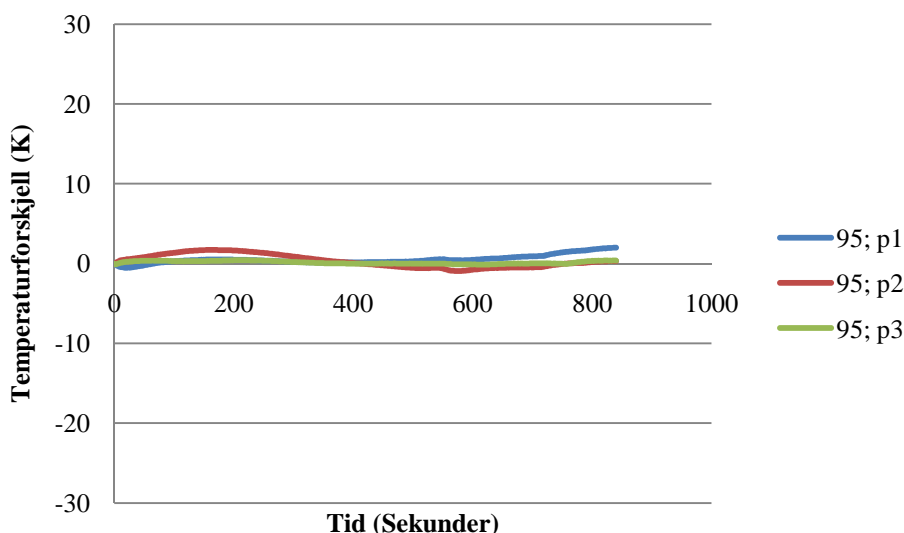
Figur 14: Eksperimentelle datas avvik fra predikerte med hensyn på kjernetemperatur gjennom hele forløpet for varmebehandling og hviletid ved en behandlingstemperatur på 65°C. Avviket er uttrykt i K. Hver linje representerer en parallell og x=0 representerer den predikerte kjernetemperaturen.



Figur 15: Eksperimentelle datas avvik fra predikerte med hensyn på kjernetemperatur gjennom hele forløpet for varmebehandling og hviletid ved en behandlingstemperatur på 75°C. Avviket er uttrykt i K. Hver linje representerer en parallell og x=0 representerer den predikerte kjernetemperaturen.



Figur 16: Eksperimentelle datas avvik fra predikerte med hensyn på kjernetemperatur gjennom hele forløpet for varmebehandling og hviletid ved en behandlingstemperatur på 85°C. Avviket er uttrykt i K. Hver linje representerer en parallell og x=0 representerer den predikerte kjernetemperaturen.



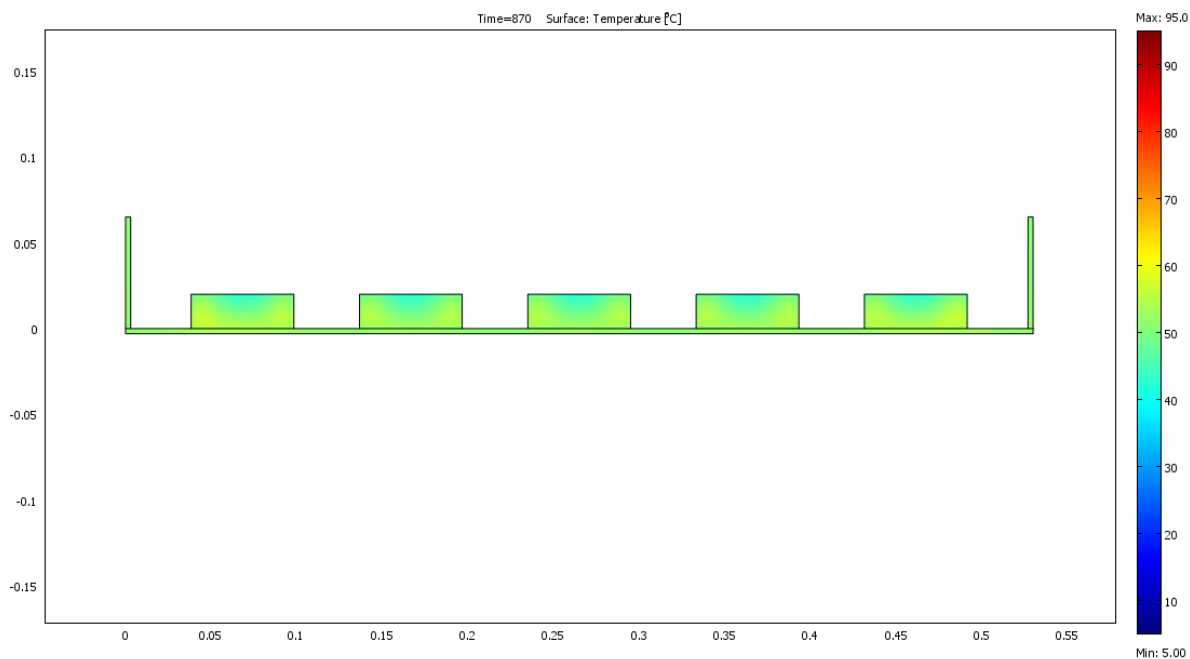
Figur 17: Eksperimentelle datas avvik fra predikerte med hensyn på kjernetemperatur gjennom hele forløpet for varmebehandling og hviletid ved en behandlingstemperatur på 95°C. Avviket er uttrykt i K. Hver linje representerer en parallell og x = 0 representerer den predikerte kjernetemperaturen.

Av figur 14-17 kan man observere de parallelle prøvenes avvik fra predikert varmeutvikling med hensyn på kjernetemperatur. Man kan observere at eksperimentelle data viser godt samsvar med predikert temperaturutvikling. Man kan imidlertid se at parallellene viser enkelte avvik, og at avvikene viser liknende tendenser innad i samme temperaturgruppe. Det synes ikke å være konsekventhet i forhold til om avviket er av positiv eller negativ art, eller om avviket opptrer konsekvent gjennom hele temperaturforløpet eller i innledende eller avsluttende del av måleperioden. I tillegg kan man

observere at enkelte av parallellene opptrer som ”outliers”. Dette er spesielt uttrykt ved behandlings temperaturene 85 og 65°C.

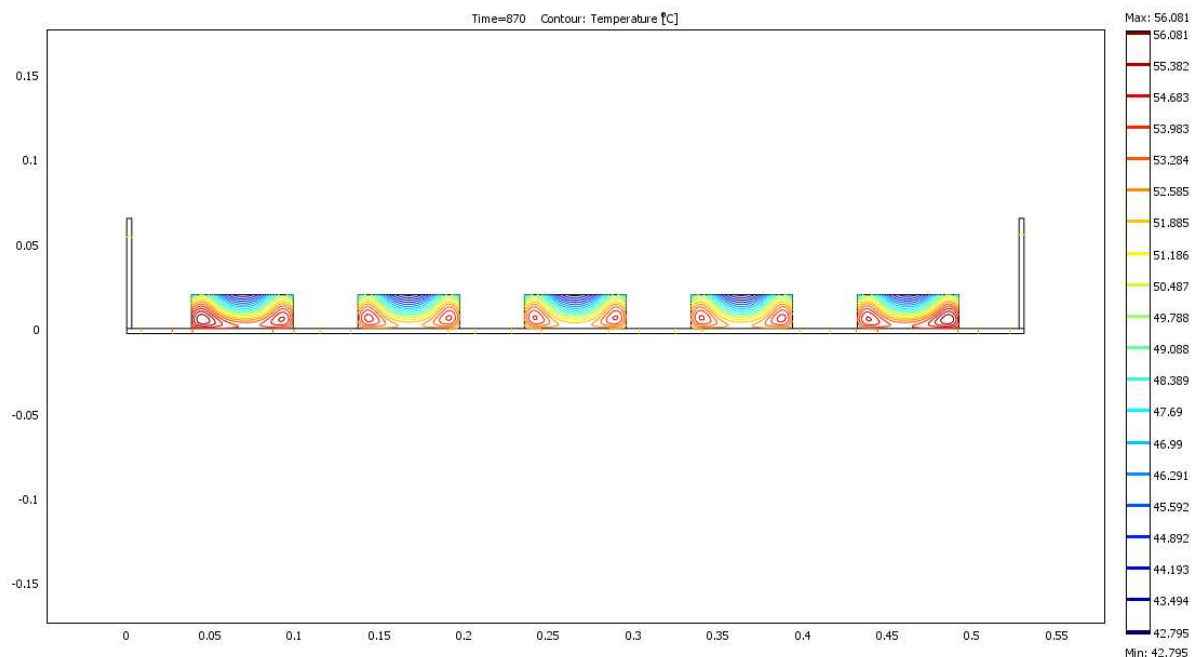
#### 4.1.4 Anvendelse av matematisk modell: generering av forsøksoppsett

Ved å validere den matematiske modellens evne til å predikere utvikling i kjernetemperatur i laks under gitte forhold, ønsket man videre å benytte modellen til å predikere sluttkjernetemperatur i laksestykker til sensorisk evaluering. Til dette ble en ny modell satt opp med hensyn på dimensjoner og antall prøver med sikte på å gjengi forhold under tilberedning i hovedforsøket.



Figur 18: Predikert varmfordeling etter endt hviletid i et tverrsnitt av 5 serveringsporsjoner varmebehandlet ved 85°C i 13 minutter. Tverrsnittet er ment å være representativt for 10 prøver plassert i to parallelle rekker. Bildet er generert ved hjelp av Comsol Multiphysics versjon 3.5.

Av figur 18 kan man observere at simulert varmfordeling i et snitt av 5 serveringsporsjoner etter endt varmebehandling ved 85°C og hviletid ved 22°C ikke er homogen. Figuren indikerer at området som er i kontakt med stekebrettet og ytterkanten av fileten vil holde høyere temperatur enn overflaten og kjernen av fileten. Figuren antyder også at området med lavest temperatur vil være i kjernen og på overflaten.



Figur 19: Konturplott av predikert varmefordeling etter endt hviletid i et tverrsnitt av 5 serveringsporsjoner varmebehandlet ved 85°C i 13 minutter. Tverrsnittet er ment å være representativt for 10 prøver plassert i to parallelle rekker. Bildet er generert ved hjelp av Comsol Multiphysics versjon 3.5.

Konturplottet vist i figur 19 viser tydelig predikert temperaturfordeling i prøver varmebehandlet ved 85°C ved endt temperaturforløp. Man kan observere hvordan temperaturgradientene fordeler seg i prøvematerialet og at temperaturfordelingen er tilnærmet lik for alle prøvene. Den viser også at området i nærheten av kjernen demonstrerer variasjon i temperatur på omlag 3-4°C.

For hovedforsøket ble behandlingstider i ovn beregnet som en funksjon av kjernetemperatur og behandlingstemperatur. Tidene angitt i tabell 5 er generert på bakgrunn av data innhentet fra den numeriske modellen som er konstruert og validert på bakgrunn av eksperimentelle og empiriske data slik det er beskrevet i avsnitt 3.2.7.

Tabell 5: Varmebehandlingstider i minutter beregnet for hovedforsøk for respektive prøver. (Tabellen er identisk med tabell 1 vist i avsnitt 3.3.4).

	Ovnstemperatur (°C)			
	65	75	85	95
<b>Kjernetemperatur (°C)</b>				
<b>50</b>	15	11	9,5	8
<b>60</b>		16	13	10,75
<b>70</b>				15

Av tabell 5 kan man se at ulike kombinasjoner av ovnstemperaturer resulterte i ulik predikert oppholdstid i ovn for de fleste kombinasjonene. Sluttemperatur i kjernen er satt med et maksimumsavvik på 1,97°C i forhold til kjernetemperaturer angitt i tabell 5 slik det fremgår av tabell 7.



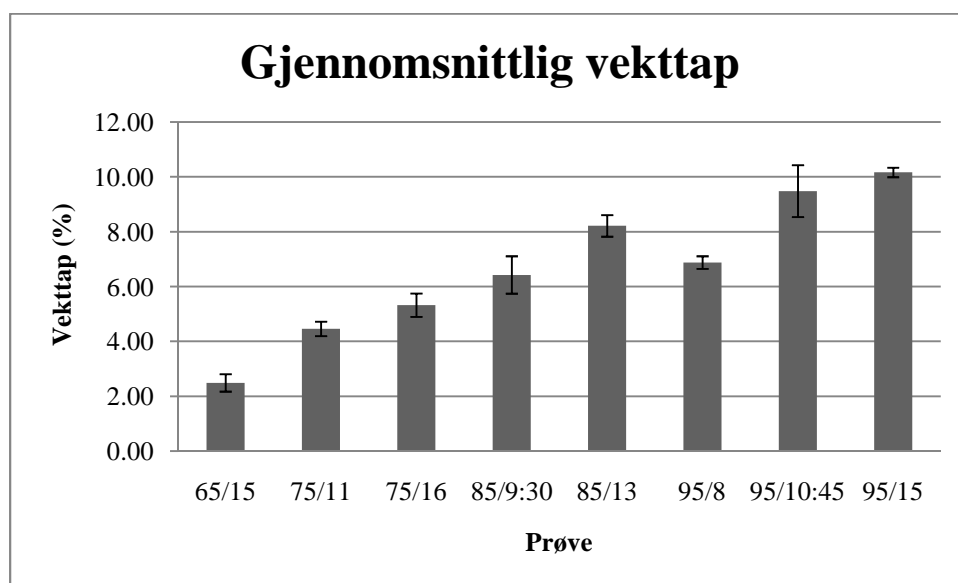
## 4.2 Hovedforsøk: Instrumentelle og sensoriske vurderinger

Hovedforsøket i denne oppgaven omfattet sensoriske og instrumentelle tester. Resultater fra disse følger inndelt i respektive avsnitt.

### 4.2.1 Instrumentelle resultater

#### 4.2.1.1 Vekttap

Kontrollstykkene i eksperimentet ble veid før og etter varmebehandling, og vekttapet ble deretter beregnet som prosentvis endring i vekt.

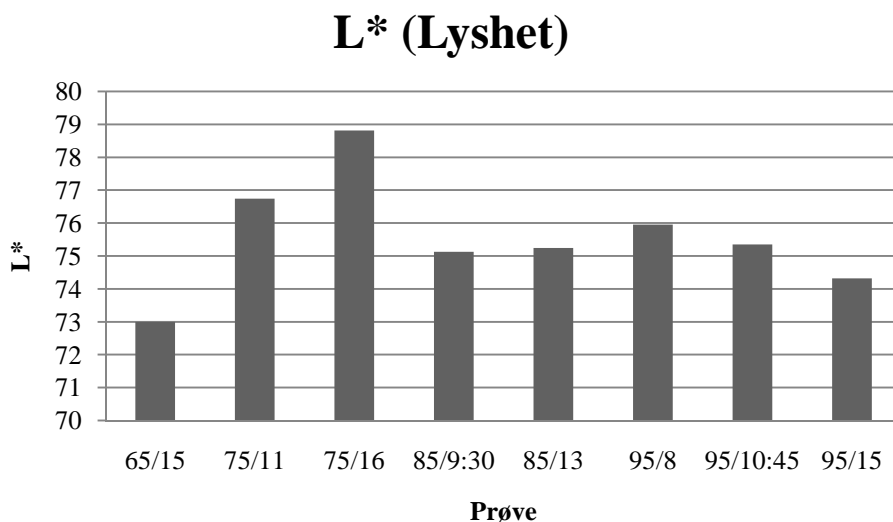


Figur 20: Vekttap uttrykt som prosent av opprinnelig vekt for kontrollstykker som har gjennomgått varmebehandling og hviletid. Resultatene som vises er et gjennomsnitt av to parallelle prøver hvor standardavvik er oppgitt.

Resultatene presentert i figur 20 indikerer at høyere grad av varmebehandling med hensyn på tid og temperatur vil resultere i økt vekttap. Man kan observere at prøve 85/9:30 og 95/8 viser mindre forskjell i vekttap enn for de andre temperatursprangene. Figuren viser også at det er relativt små standardavvik mellom parallelle prøver. Prøven som viser mest støy mellom gjentak er prøven som er varmebehandlet ved 95 grader i 10 minutter og 45 sekunder.

#### 4.2.1.2 Minolta fargemåling

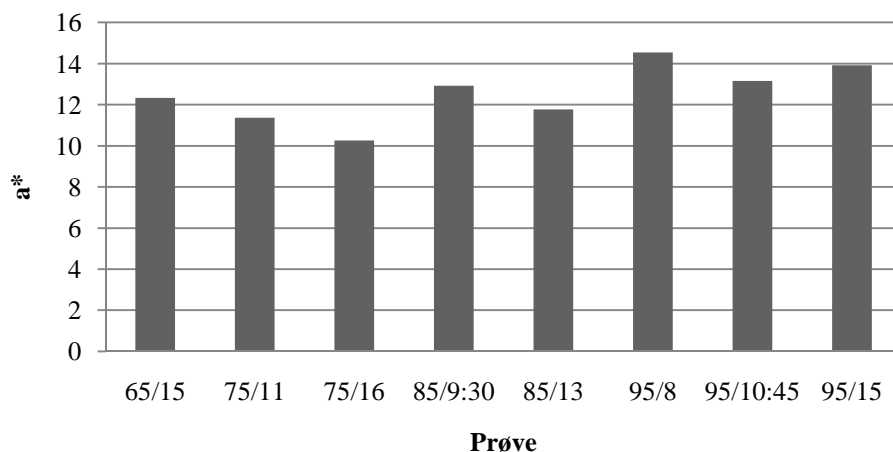
Figurene 21- 23 illustrerer prøvenes resultater med hensyn på farge: grad av lyshet, intensitet av rødt og intensitet av gult, respektivt. Resultatene er presentert som et gjennomsnitt av to parallelle prøver.



Figur 21: Lyshet av prøver målt på overflaten av respektive kontrollstykker etter varmebehandling og påfølgende hviletid. Resultatene som vises er et gjennomsnitt av to paralleller.

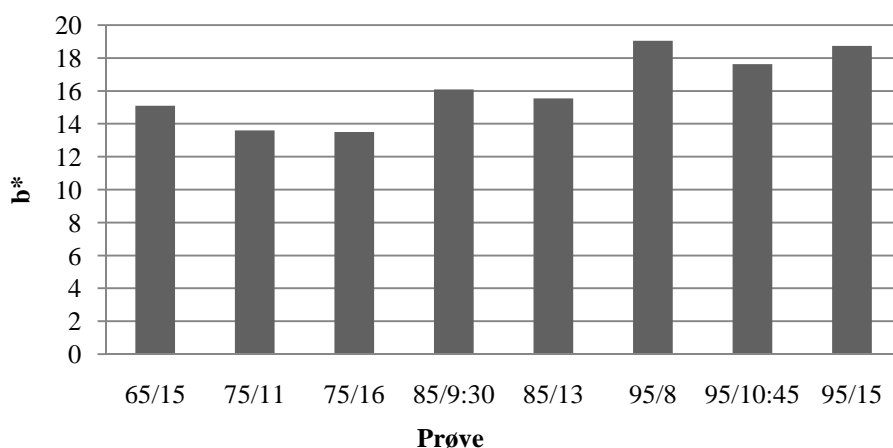
Av figur 21 kan man observere at prøvene varmebehandlet ved 75°C viser større grad av lyshet på overflaten enn prøvene varmebehandlet ved 65, 85 og 95°C. Prøven som ble varmebehandlet ved 75°C i 16 minutter viste større utslag på lyshet enn prøven som ble varmebehandlet ved 75°C i 11 minutter. Minst grad av lyshet viste den minst varmebehandlede prøven; 65/15. De øvrige prøvene viste mindre forskjeller i utslag.

### a\* (intensitet av rødt)



Figur 22: Intensitet av rødt målt på overflaten av respektive kontrollstykker etter varmebehandling og påfølgende hviletid. Resultatene som vises er et gjennomsnitt av to paralleller.

### b\* (intensitet av gult)



Figur 23: Intensitet av gult målt på overflaten av respektive kontrollstykker etter varmebehandling og påfølgende hviletid. Resultatene som vises er et gjennomsnitt av to paralleller.

Resultatene vist i figur 22 og 23 viser ingen konsekvent endring i intensitet av rødt eller gult med økt temperatur. Man kan imidlertid observere at resultatene for prøvene 75/11 og 75/16, 85/9:30 og 85/13 og 95/8 og 95/10:45 kan indikere redusert utslag på intensitet av rødt og gult som følge av økt oppholdstid i ovnen, men prøve 95/15 følger imidlertid ikke samme tendens.

#### 4.2.2 Sensoriske resultater

Sensoriske resultater vil i dette avsnittet presenteres som gjennomsnittsverdier av to parallelle målinger. Attributter som ikke er vurdert som signifikant forskjellige vil ikke presenteres.

Gjennomsnittsverdier for alle attributter er vist i vedlegg 5.

Resultater for de ulike prøvene er i tabell 6 presentert som gjennomsnittsverdier for sensoriske egenskaper.

Tabell 6: Gjennomsnittsverdier for sensoriske egenskaper. Prøver med samme bokstav er ikke signifikant forskjellig.

a)										
Prøve	Syriglikt	Metallukt	Sjøluft	Proteinutfelling	Fuktighetpåoverflaten	Fargetone_ytre	Hvithet_ytre	Fargetone_indre	Fargestyrke_indre	Hvithet_indre
65/15	4.20ab	4.41ab	3.29ab	6.35a	6.62a	5.96a	6.13ab	5.37a	5.44a	5.02c
75/11	4.21ab	4.50a	3.47ab	5.24b	5.61b	5.37ab	5.97abc	5.29ab	5.36ab	5.00c
75/16	3.00d	4.35ab	2.72ab	4.82b	5.33bc	5.44ab	6.29a	5.27ab	4.65cd	5.46abc
85/9:30	3.26bcd	3.99ab	2.88ab	2.37c	4.37cd	4.98b	5.84bc	5.09ab	4.94abc	5.32bc
85/13	3.02cd	3.67b	2.62b	1.84c	4.33d	4.97b	5.82bc	5.15ab	4.61cd	5.50abc
95/8	4.15ab	4.31ab	3.63a	2.08c	4.42cd	5.09b	5.64c	5.20ab	4.77bcd	5.26bc
95/15	4.67a	3.98ab	3.61a	1.88c	5.24bcd	4.89b	5.66c	4.80b	3.92e	5.99a
95/10:45	4.07abc	3.93ab	3.23ab	1.48c	4.78bcd	5.03b	5.78bc	4.79b	4.14de	5.65ab

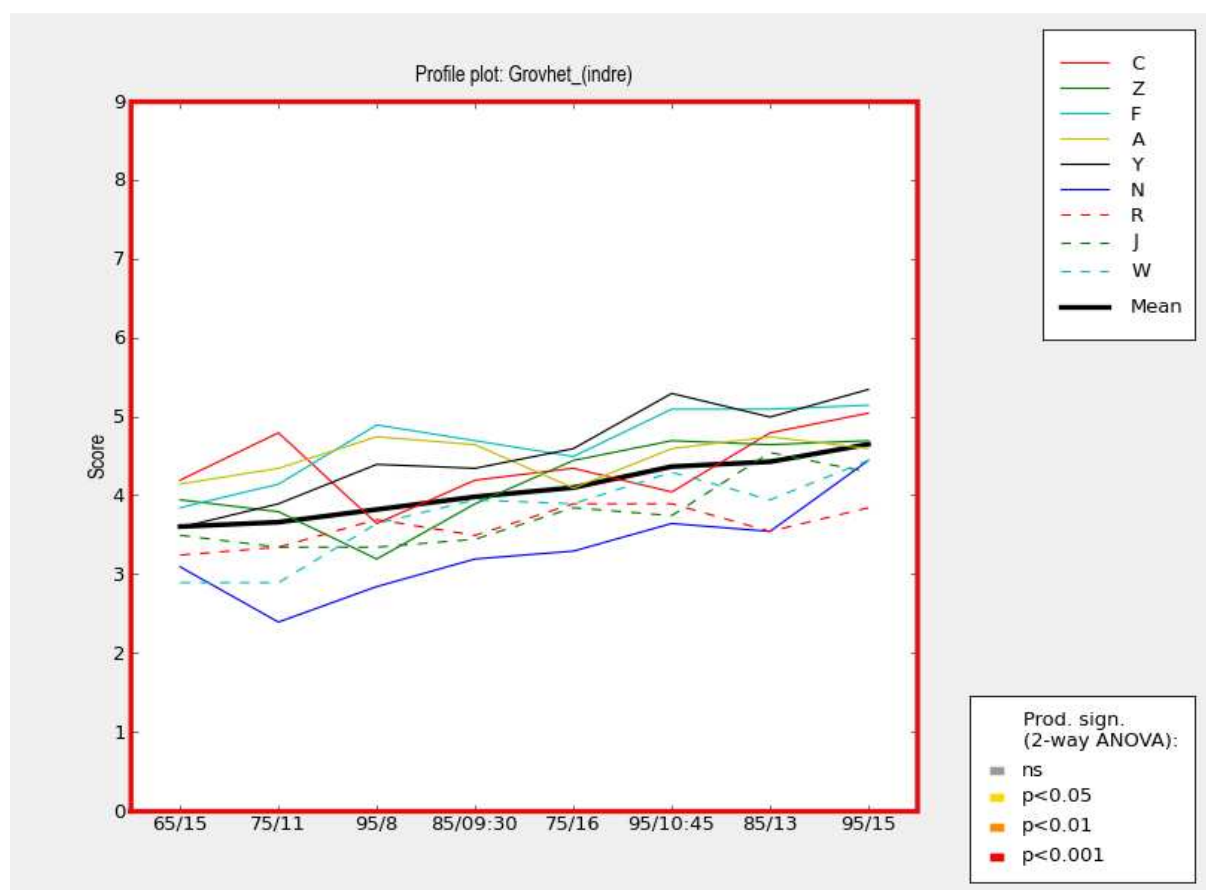
  

b)							
Prøve	Grovhet_indre	Hardhet_indre	Fethet_indre	Saftighet_indre	Grovhet_ytre	Hardhet_ytre	Saftighet_ytre
65/15	3.61d	3.18d	3.57c	6.91a	4.01b	3.81c	6.14a
75/11	3.67cd	3.33cd	3.80bc	6.74ab	4.46ab	4.14bc	5.57ab
75/16	4.11bc	3.69bc	4.13ab	6.12cd	4.43ab	4.24abc	5.05bcd
85/9:30	3.99bcd	3.52bcd	3.87abc	6.14cd	4.45ab	4.31abc	5.29bc
85/13	4.43ab	3.87b	4.18ab	5.61de	4.93a	4.73a	4.63cd
95/8	3.83cd	3.37cd	3.87abc	6.29bc	4.47ab	4.30abc	5.22bc
95/15	4.66a	4.45a	4.24a	5.26e	4.81a	4.65ab	4.54d
95/10:45	4.37ab	3.97b	4.09ab	5.68de	4.58a	4.49ab	4.82cd

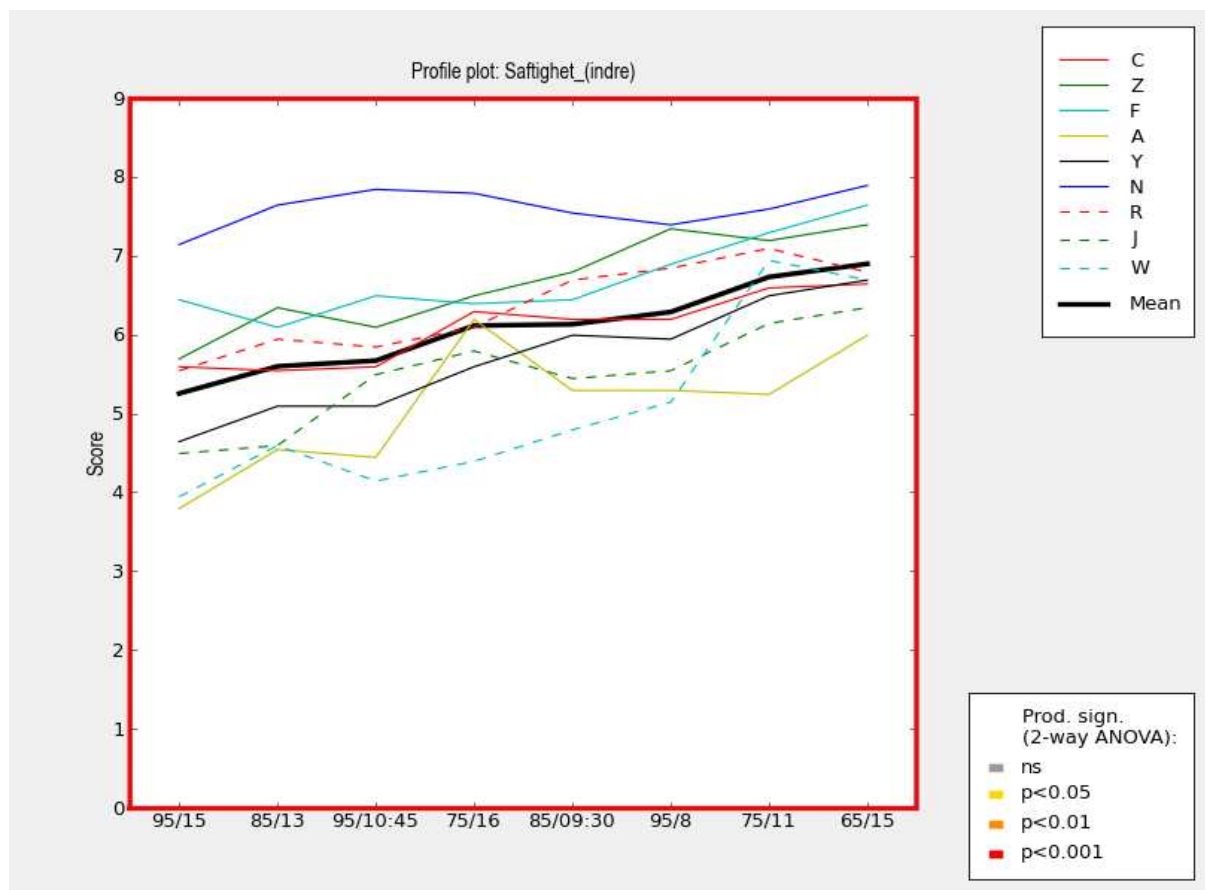
Av tabell 6 a og b kan man se at flere sensoriske egenskaper er vurdert som signifikant forskjellige med  $p < 0,05$ . Tabellen viser også at prøvene som skiller seg mest ut i motsatt retning, spesielt med hensyn på teksturattributter, er prøvene som har gjennomgått hardest og mildest varmebehandling. De fleste egenskapene det er testet for viser konsekvens med hensyn på grad av varmebehandling og rangering. Dette ser imidlertid ikke ut til å være gjeldende for luktattributtene det er testet for.

Følgende egenskaper ga ikke signifikante utslag ( $p \geq 0,05$ ): syrligsmak, saltsmak, metallsmak, bittersmak, sjøsmak, harsksmak, fethet (ytre) og fargestyrke (ytre).

Panelet viste høy grad av enighet for mange av egenskapene som ingikk i den profilerende analysen. Individuelle resultater og gjennomsnitt for attributtene grovhet (indre) og saftighet (indre) er vist i figurene 24 og 25.



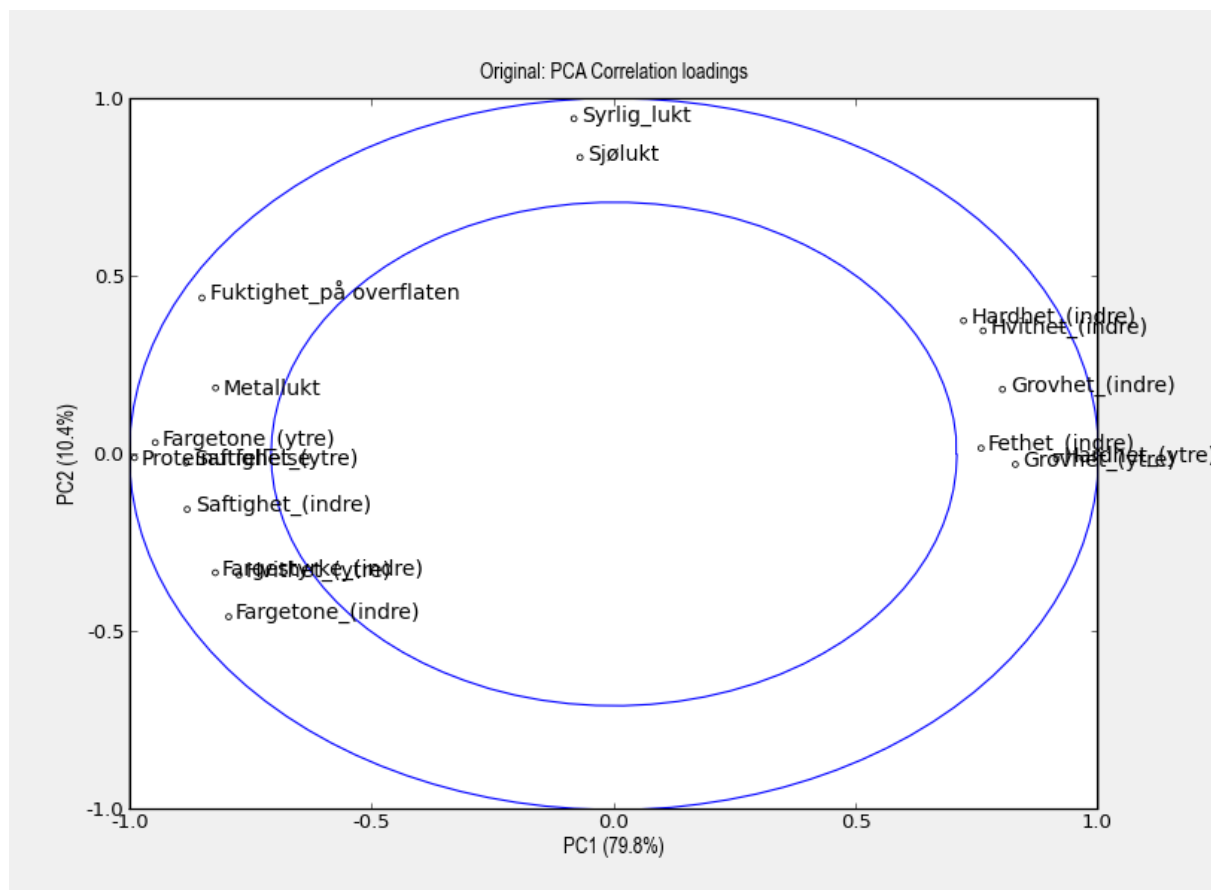
Figur 24: Sensoriske resultater fra alle dommerne for attributtene Grovhet (indre). Hver fargede linje i figuren representerer en dommer, og er gjennomsnittet av resultater for parallelle prøver. Den sorte linjen representerer gjennomsnittet av alle resultater. Den røde rammen indikerer at prøvene er vurdert som signifikant forskjellige med signifikansnivå  $p < 0,001$ .



Figur 25: Sensoriske resultater fra alle dommerne for attributten Saftighet (indre). Hver fargede linje i figuren representerer en dommer, og er gjennomsnittet av resultatet for to parallelle prøver. Den sorte linjen representerer gjennomsnittet av alle resultater. Den røde rammen indikerer at prøvene er vurdert som signifikant forskjellige med signifikansnivå  $p < 0,001$ .

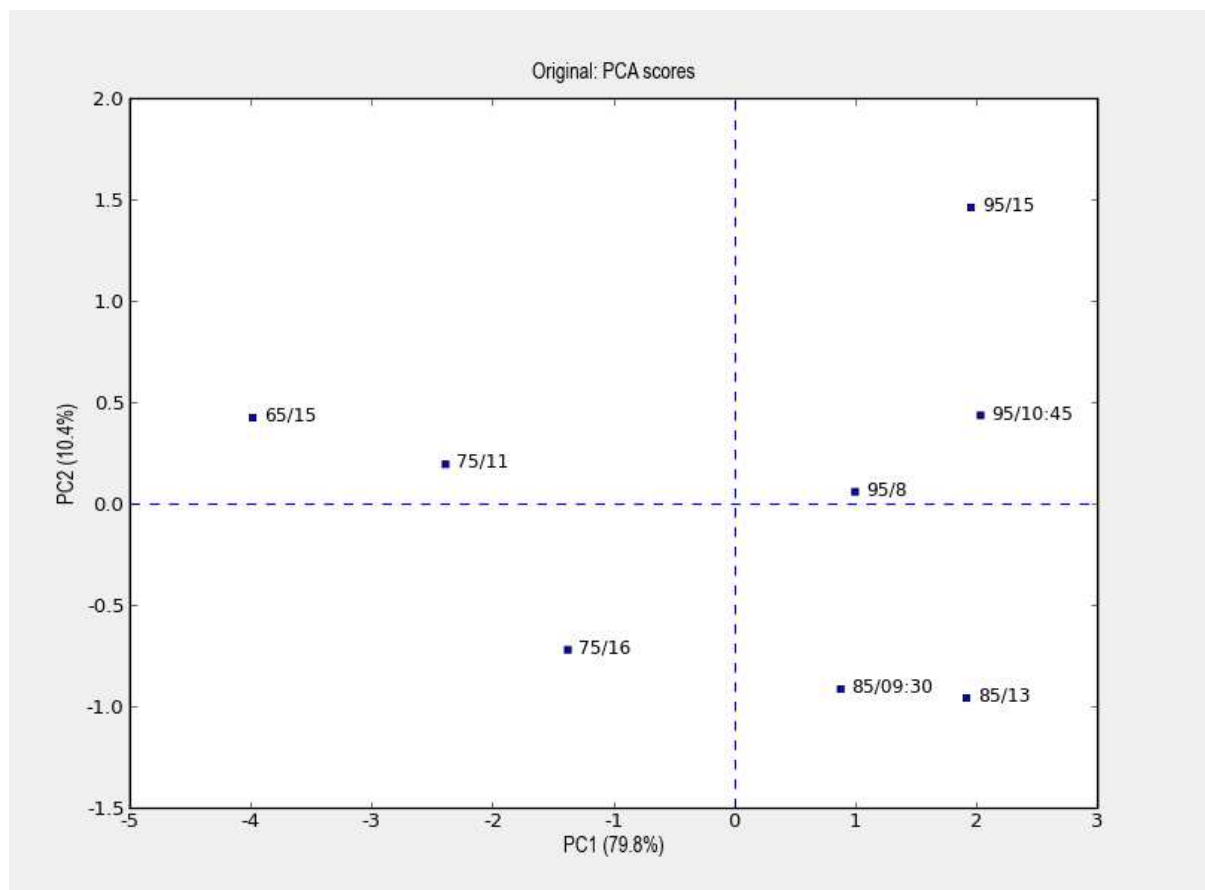
Figurene 24 og 25 illustrerer høy grad av konsensus mellom dommere ved bedømmning av egenskapene grovhet (indre) og saftighet (indre).

For å undersøke samvariasjonen mellom sensoriske data og ulike kombinasjoner av behandlingstid og –temperatur ble PCA-plot utarbeidet.



Figur 26: PCA correlation loadings plot av signifikante sensoriske egenskaper. Totalt er 90,2% av variansen mellom prøver forklart: PC1= 79,8% og PC2= 10,4%.

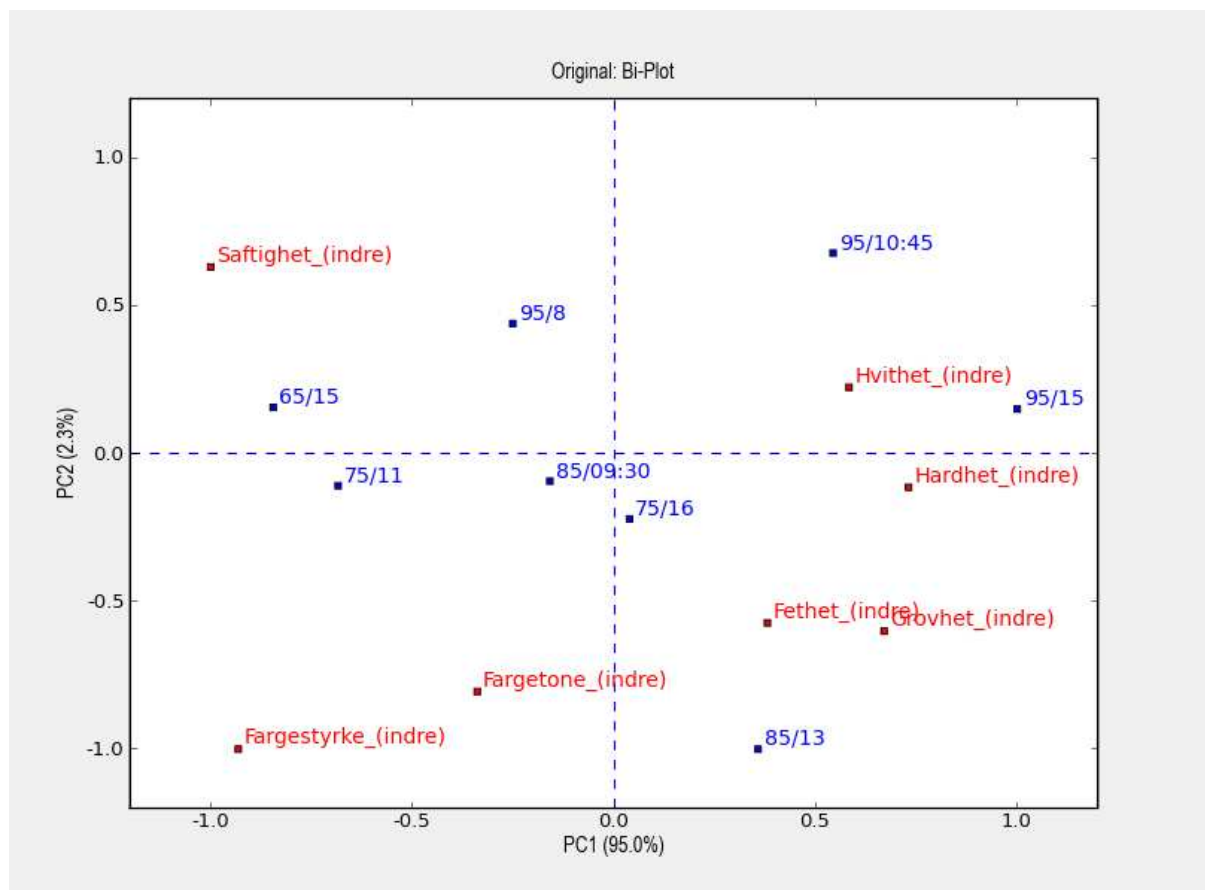
Til venstre i figur 26 overlapper egenskapene proteinutfellelse og saftighet (ytre) (øverst) og egenskapene fargestyrke (indre) og hvithet (ytre). Til høyre overlapper egenskapene hardhet (indre) og hvithet (indre) (øverst) og egenskapene grovhet (ytre) og hardhet (ytre).



Figur 27: PCA score plot av prøver orientert i henhold til PC1 og PC2. Totalt er 90,2% av variansen mellom prøver forklart: PC1= 79,8% og PC2= 10,4%.

Figurene 26 og 27 viser PCA loadings og score plot. Figurene sett i sammenheng viser at prøvene som er hardest varmebehandlet har høyest grad av attributtene hardhet (indre og ytre), grovhet (indre og ytre), hvithet (indre) og fethet (indre), mens prøvene som har gjennomgått minst grad av varmebehandling har høyest grad av attributtene metallukt, fargestyrke (indre), fargetone (indre og ytre), hvithet (ytre), saftighet (indre og ytre), proteinutfellelse og fuktighet på overflaten. Den hardest varmebehandlede prøven har også høyere grad av hardhet. Man kan se av figur 27 at prøvene orienterer seg relativt konsekvent langs PC1 i forhold til behandlingstid og -temperatur.





Figur 28: Bi-Plot av kjerneegenskaper og prøver. Plottet viser at 95% av variasjon mellom prøver er forklart med variasjon langs PC1, mens 2,3% er forklart med variasjon langs PC2.

I henhold til forsøksoppsettet (jamfør figur 1) vil prøvene 65/15, 75/11, 85:9:30 og 95/8 være i gruppen med kjernetemperatur 50°C, prøvene 75/16, 85/13 og 95/10:45 i gruppen med kjernetemperatur 60°C og prøve 95/15 vil ha 70°C. Av figur 28 kan man observere at totalt 97,3% av variasjonen mellom prøver med hensyn på kjerneegenskaper er forklart. Man kan se at 95,0% av forskjellen mellom prøver kan forklares med variasjoner langs PC1 og at prøvene orienterer seg i henhold til temperaturgrupper angitt i forsøksoppsett med hensyn på attributter knyttet til kjerneegenskaper. Man kan også se at prøvene med høyest kjernetemperatur orienterer seg mot høyt nivå av attributtene hvithet (indre), hardhet (indre), fethet (indre) og grovhet (indre) og at prøvene med lavest kjernetemperatur orienterer seg mot høyt nivå av attributtene saftighet (indre), fargestyrke (indre) og fargetone (indre).

#### 4.2.3 Temperaturresultater

Temperaturutviklingen i et kontrollstykke ble loggført under hovedforsøket slik det er beskrevet i avsnitt 3.3.3 og 3.3.4. Resultatene med hensyn på predikert kjernetemperatur og eksperimentelt målt kjernetemperatur ved temperaturforløpets slutt er presentert i tabell 7.

Tabell 7: Predikert og eksperimentelt målt kjernetemperatur i et kontrollstykke og den eksperimentelle kjerntemperaturens prosentvise avvik fra den predikerte. Det prosentvise avviket for hver prøve er gitt som et gjennomsnitt av to paralleller og er uttrykt i form av absoluttverdi.

<b>Prøve</b>	<b>Predikert kjerntemperatur</b>	<b>Eksperimentell kjerntemperatur</b>	<b>Prosentvis avvik</b>	<b>Prosentvis gjennomsnittlig avvik</b>
<b>65/15 (1)</b>	48,72	46,19	-5,19	
<b>65/15 (2)</b>	48,72	47,63	-2,24	3,715
<b>75/11 (1)</b>	49,5	48,75	-1,52	
<b>75/11 (2)</b>	49,5	49,08	-0,85	1,185
<b>75/16 (1)</b>	60,81	56,15	-7,66	
<b>75/16 (2)</b>	60,81	54,76	-9,95	8,805
<b>85/9:30 (1)</b>	48,03	50,51	5,16	
<b>85/9:30 (2)</b>	48,03	52,81	9,95	7,555
<b>85/13 (1)</b>	59,71	58,06	-2,76	
<b>85/13 (2)</b>	59,71	56,66	-5,11	3,935
<b>95/8 (1)</b>	49,65	50,81	2,34	
<b>95/8 (2)</b>	49,65	49,09	-1,13	1,735
<b>95/10:45 (1)</b>	61,30	61,86	0,91	
<b>95/10:45 (2)</b>	61,30	55,27	-9,84	5,37
<b>95/15 (1)</b>	71,18	68,75	-3,41	
<b>95/15 (2)</b>	71,18	68,49	-3,78	3,595

Av tabell 7 Kan man observere at eksperimentelle data viser ulik grad av avvik fra predikerte data med hensyn på kjernetemperatur ved endt temperaturforløp. Enkelte prøver viser større avvik enn andre. Prøvene 75/16 (1 og 2), 95/10:45 (2) og 85/9:30 (2) viser større avvik enn de resterende prøvene mens prøvene 75/11 (1 og 2) , 95/8 (1 og 2) og 95/10:45 (1) viser svært godt samsvar med predikerte data.

## 5 Diskusjon

Hovedformålet med oppgaven var å kartlegge hvordan sensorisk profil av laks påvirkes av ulik grad av varmebehandling. Et delmål ved oppgaven innebar å utvikle en numerisk modell for prediksjon av varmegjennomgang i laks.

### 5.1 Prediksjon av varmegjennomgang

#### 5.1.1 Modellens prediksjonsevne

For å evaluere modellen som er benyttet når det gjelder dens evne til å predikere kjernetemperatur, ble eksperimentelt målte data sammenliknet med resultater generert ved hjelp av FEM-programmet Comsol Multiphysics. Dette ble gjort ved først å beregne en omtrentlig behandlingstid hvor varmeovergangstallet i ovnen ( $h$ ) var ukjent for deretter å utføre et varmebehandlingseksperiment. Verdien for  $h$  ble deretter tilpasset slik at det predikerte temperaturforløpet i størst mulig grad samsvarte med det eksperimentelt målte. Det ble avdekket at det var nødvendig å benytte ulike verdier for  $h$  ved de aktuelle behandlingstemperaturene for matematisk å kunne beskrive den reelle varmeutviklingen.

Med bruk av de tilpassede verdiene for  $h$  viser resultatene at FEM-modellen muliggjør prediksjon av både temperaturforløp og sluttemperatur i kjernen av laksestykkene med et gjennomsnittlig avvik på 2,08%. Til sammenlikning har Bottani & Volpi (1999) ved prediksjon av varmegjennomgang i kjøtt funnet et gjennomsnittlig avvik mellom predikert og eksperimentell kjernetemperatur på 4,6%. Eksperimentet gjennomført av Bottani & Volpi (1999) er imidlertid gjort med en større variasjon i prøvematerialets dimensjoner. I tillegg er råmaterialet et annet, og det er dermed usikkert hvorvidt funnene i undertegnede oppgave er direkte sammenlignbare med de presentert av Bottani & Volpi (1999).

Avvikene som er observert er av ulik natur og kan tolkes på forskjellige måter. Konsekvente avvik gjennom hele temperaturforløpet skyldes trolig temperaturavvik i omgivelser ved innsetting av prøvematerialet i ovnen (på grunn av tap av varme når ovn lukkes opp) eller at prøvematerialet har hatt en annen temperatur ved start enn den som er antatt. Avvik som dukker opp midt i forløpet kan skyldes sprangvise temperaturendringer i ovnen eller avvik i prøvefasong som opptrer under varmebehandling.

Av resultatene presentert i figurene 14 - 17 kan man observere at det for hver behandlingstemperatur er én parallell som viser noe større avvik enn de andre to. Disse avvikene kan ha oppstått som et resultat av annen støy, for eksempel feil ved tilskjæring, måling av dimensjoner eller liknende, og behøver ikke være relatert til modellen som sådan. Dersom flere tester hadde blitt gjennomført, kunne man undersøkt om disse verdiene er såkallede "outliers" eller om de skyldes svakheter ved modellen. Det er imidlertid vanskelig å si noe om dette på bakgrunn av eksperimentelle data.

Av resultatene presentert i tabell 4 kan man observere at det foreligger avvik i resultater mellom parallelle prøver når det gjelder prediksjonsevne. Disse avvikene kan forklares med ulik plassering av temperaturloggerne eller ulik tekstur på stykkene. Tilskjæringsmetoden kan også ha bidratt til avvikende resultater mellom paralleller på grunn av råmaterialets natur. Fileter av laks er ulike med tanke på dimensjoner, og selv om stykkenes høyde, bredde og lengde ble nøye registrert, kan for eksempel ulik størrelse på fliken som ble brettet inn (jamfør figur 4 c og d) ha gitt ulike indre egenskaper mellom prøver.

Man kan se av figur 12 og 13 at temperaturen i ovnen ikke har vært stabil gjennom forløpet for varmebehandling (se også vedlegg 1). De uregelmessige temperatursprangene kan observeres for alle prøver, og vil kunne være en annen faktor som påviker resultatene, slik det er nevnt innledningsvis. Variasjonen i temperatur er ikke konsekvent ved parallelle prøver, og vil kunne ha påvirket prøvene til å bli ulike med hensyn på kjernetemperatur. I tillegg kommer det faktum at temperaturfordelingen i ovnen ikke er undersøkt. Selv om ovnen er utstyrt med en vifte som skal sikre jevn temperaturfordeling, kan "lommer" oppstå rundt fiskestykkene eller på serveringsbrettet. Variasjonene i temperaturutvikling i ovnene har trolig også vært påvirket av manuelt inn- og uttak fra tilberedningskammerne da intervallene her ikke har vært standardisert på sekundnivå.

Man kan man forvente at variasjoner i laksestykkets lengde vil kunne gi utslag på målt kjernetemperatur i form av avvik fra den predikerte kjernetemperaturen. Dette er fordi den matematiske modellen antar en todimensjonal form og utelater endeeffekter slik det er satt som betingelse for modellen i avsnitt 3.2.7.2. Dersom endeeffekter er viktigere enn antatt, er det rimelig å tro at dette ville ha gitt utslag i form av større avvik ved variasjon i lengdedimensjonen. Det synes imidlertid ikke å være sammenheng mellom avvik i lengde og avvik i kjernetemperatur forhold til resultater presentert i tabell 4 slik det er nevnt tidligere.

En annen faktor som vil kunne føre til avvik fra predikert temperaturforløp kan være at prøvematerialet ikke beholder de på forhånd registrerte dimensjonene gjennom varmebehandlingen. Det er ikke registrert hvor på fileten de aktuelle stykkene er skjært til fra, ei heller grad av krymping som følge av varmebehandling. Tidligere publisert materiale viser at stykninger fra ulike deler av fileter viser forskjellig grad av sammentrekning (Kong et al. 2007) på grunn av ulik fiberorientering. Dette kan også ha skjedd i vårt forsøk. Høyere grad av sammentrekning vil gi andre forutsetninger med hensyn på varmetransport, og vil kunne resultere i høyere sluttemperatur enn den predikerte. Dersom endring i dimensjoner var den største kilden til støy, burde dette imidlertid gitt seg til uttrykk som større positive avvik i eksperimentell kjernetemperatur ved høyere behandlingstemperaturer enn ved lave. Dette er fordi høyere behandlingstemperaturer kan assosieres med større grad av sammentrekning av proteinnettverk og dermed en større reduksjon i prøvens dimensjoner. Reduserte dimensjoner vil selvfølgelig resultere i hurtigere temperaturøkning i kjernen da arealet varmen fraktes

over er mindre. Det er imidlertid ukjent hvordan endret vanninnhold som følge av tap av væske under tilberedning vil kunne påvirke varmegjennomgangen.

Resultatene presentert i figur 11 viser funn av ulike verdier for  $h$  ved de forskjellige behandlingstemperaturene. Det faktum at varmeovergangstallet i ovnen ikke er det samme for forskjellige temperaturer, kan ha ulike forklaringer. En forklaring kan ligge i at stykkene har fått ulike dimensjonsendringer ved ulik varmebehandling slik det er diskutert tidligere. Resultatene for vekttap ved hovedforsøk presentert i figur 20 viser reelt store forskjeller i vekttap for prøvene som har gjennomgått mildest og hardest varmebehandling i forhold til tid og temperatur. Tap av væske indikerer også et volumtap da vekttap i hovedsak skyldes tap av væske som følge av sammentrekning av proteinnettverk (Van der Sman 2007). Av dette kan man anta at prøvene som har gjennomgått hardest varmebehandling også vil ha størst endring i dimensjoner, noe som vil indikere en høyere varmegjennomgang og dermed en høyere  $h$ -verdi slik det er nevnt tidligere. Resultatene fra dette forsøket tyder imidlertid på at det motsatte er tilfelle, da  $h$ -verdien viser seg å synke ved høyere behandlingstemperaturer. Endring i dimensjoner kan således ikke forklare resultatene med hensyn på  $h$ -verdier, men må medregnes som en mulig feilkilde.

En av de mest sannsynlige forklaringene på funn av ulike  $h$ -verdier kan være knyttet til fordampning fra laksens overflate. Fordampning fra overflaten vil kunne bidra til å senke entalpien i laksestykket, noe som vil senke varmeovergangen. Dette vil resultere i en mindre økning i kjernetemperatur i forhold til ovnstemperatur ved de høyere temperaturene enn ved de lave slik at  $h$ -verdien ved høyere ovnstemperaturer vil fremstå som lavere i tilpasset modell. Resultatene tatt i betraktning, dersom dette var hele forklaringen på variasjonen, burde det ha vist seg som en større endring i  $h$ -verdi under hviletiden for de høyere ovnstemperaturene da luftfuktigheten og temperaturen senkes dramatisk når stykkene fjernes fra ovnen og går inn i hviletiden, og et varmere stykke vil ha mer avdampning enn et kaldere. Endringene i  $h$  (i ovn) og  $h$  (hviletid) er imidlertid relativt like for de ulike behandlingstemperaturene slik det er vist i figur 11, slik at det kan konkluderes med at det sannsynligvis også finnes flere faktorer som påvirker resultatet.

I tillegg til ukjente effekter som vil bidra til avvik i resultatene, kan det tenkes at det finnes ukjente faktorer som endres konsekvent med temperaturforløpet. Fordi verdien for  $h$  er funnet gjennom analyse av eksperimentelle data, vil eventuelle skjulte effekter kunne være inkludert i denne verdien.

Det bør understrekes at resultatene viser at modellen ikke uten videre kan benyttes under andre forhold, det vil si i andre ovner, fordi ikke alle faktorer som påvirker steketiden er kjent. Ved å gjøre en kalibrering av ovnen som skal benyttes, kan man imidlertid anta at resultatet vil være reproducerbart.

### 5.1.2 Anvendelse av matematisk modell: Generering av forsøksoppsett

Når man skal varmebehandle prøvemateriale som eksempelvis skal inngå i et sensorisk forsøk, vil man ved bruk av en egnet matematisk modell for prediksjon av varmegjennomgang kunne oppnå flere fordeler. Blant annet vil man kunne redusere antall forforsøk. Man kan også undersøke termiske effekter i prøvematerialet og si noe om sammenlignbarhet av prøver i forhold til dimensjoner og temperaturer. En slik modell vil kunne predikere temperaturmessige konsekvenser av endringer i omgivende temperatur, tid eller dimensjoner. For at modellen skal kunne anvendes på en slik måte må robustheten vurderes, og forsøk gjort i denne oppgaven kan ses på som innledende i forhold til en slik vurdering.

Resultatene fra validering av den matematiske modellen viser at den er egnet til å beregne behandlingstider når en gitt kjernetemperatur skal oppnås. I denne oppgaven er modellen benyttet til å beregne forsøksparametere for hovedforsøket.

Oppsett av den matematiske modellen involverte beregning av temperaturforløp i et tverrsnitt av 10 prøver, mens det ved validering av modellen ble benyttet 1 filet. Ved sammenlikning av predikert temperaturforløp for henholdsvis 1 filet og 10 fileter, ble det klart at disse ikke var helt sammenfallende. Dette kan tentativt forklares med endrede temperatureffekter både på grunn av interaksjoner mellom stykker og mellom stekeplaten og stykkene. I tillegg vil man kunne anta at en større mengde prøvemateriale vil kunne senke den initielle temperaturen i ovnen i større grad enn ved lite prøvemateriale, men slike effekter er ikke inkludert i modellen.

Individuelle varmebehandlingstider for prøver ble beregnet på bakgrunn av en gitt behandlingstemperatur, kjernetemperatur og en standard hviletid på 5 minutter. Som forventet viser resultatene presentert i tabell 5 at behandlingstiden synker med økende behandlingstemperatur med hensyn på å oppnå samme kjernetemperatur. Av tabell 7 som viser predikert og eksperimentelt målt kjernetemperatur i et kontrollstykke etter endt temperaturforløp under hovedforsøk kan man merke seg at de predikerte kjernetemperaturene ikke samsvarer med de angitt i forsøksoppsett (jamfør tabell 1). Årsaken til dette er svært hurtige endringer i temperatur under varmebehandling slik at ett sekund vil kunne gi utslag i form av større eller mindre temperatursprang. For å gjøre eksperimentet gjennomførbart med tanke på manuelle prosesser, har nærmeste hele 0,25 minutt blitt benyttet. Dette har bidratt til at man har fått predikerte kjernetemperaturer som avviker noe fra forsøksoppsettet.

Ved uttak fra ovn er det felles for alle prøvene at det ytterste laget er varmest, og at de henholdsvis holder samme temperatur som temperaturen i ovnen. Utjevningstiden med tanke på temperatur vil imidlertid være forskjellig, noe som gir ulik temperaturfordeling i stykket uavhengig om kjernetemperaturen er den samme ved endt hviletid. For eksempel viser figurene 18 og 19 at temperaturfordelingen i de aktuelle prøvene ikke er homogen og at det varmeste punktet i fileten etter endt hviletid ikke vil være i kjernen, men vil befinne seg nærmere ytterkantene i fileten. For de andre

behandlingstemperaturene er det observert at den predikerte temperaturfordelingen vil være annerledes. Av dette kan man konkludere at det finnes en svakhet i modellen med tanke på å kunne sammenlikne prøver i forhold til kjernetemperatur. Ved sensorisk bedømming er det sannsynlig at prøvene som teoretisk sett holder samme temperatur i et gitt punkt i kjernen, men som har blitt behandlet ved ulike temperaturer, vil ha ulik temperaturfordeling i det prøvematerialet som bedømmes da dette er av større omfang. En løsning på dette for fremtidige forsøk ville kunne være å definere en maksimumstemperatur i kjernen og ikke presentere prøver for panelet før temperaturen i prøvene er helt utjevnet. Dette vil involvere å presentere avkjølte prøver, og vil ikke gi samme informasjon med tanke på hvordan et laksestykke serveres i virkeligheten. Ved hjelp av den matematiske modellen kan man imidlertid definere et område i sentrum av prøven og beregne en gjennomsnittsverdi for dette området med hensyn på temperatur. Dette ville sannsynligvis gi det mest sammenliknbare resultatet når det gjelder kjernetemperatur og sensorisk bedømming, men det avhenger noe av dimensjonene av området hvor gjennomsnittstemperaturen beregnes. Det er viktig å merke seg at med unntak av temperatur i ett punkt i kjernen er øvrige temperatureffekter observert ved hjelp av den numeriske modellen ikke bekreftet av eksperimentelle data da det kun er temperaturforløp i kjernen som er registrert.

## 5.2 Hovedforsøk: instrumentelle og sensoriske vurderinger

Hovedforsøket i denne oppgaven omfattet både instrumentelle målinger av farge og vekttap såvel som en profilerende sensorisk test av prøver. Det er imidlertid de sensoriske resultatene og drøftingen av disse som vil vektlegges mest i dette avsnittet.

### 5.2.1 Instrumentelle resultater

De instrumentelle målingene gjort i dette eksperimentet er ikke svært omfattende, men kan gi et bilde av noen kjemiske parametere i SALMA-laks som vil påvirkes av varmebehandling. De vil også kunne gi sammenlikningsgrunnlag for enkelte av de sensoriske egenskapene. Parallelt med denne oppgaven er det imidlertid gjort arbeid ved Nofima Mat avd. Stavanger og UiS hvor flere ulike kjemiske parametere ved aktuelle behandlingstider- og temperaturer er undersøkt instrumentelt. Det samme råstoffet er benyttet som utgangspunkt for eksperimentene, og resultatene fra respektive forsøk kan således betraktes som sammenliknbare. Resultater fra pågående forsøk ved Nofima Mat avd. Stavanger kan derfor inngå som et diskusjonsgrunnlag.

#### 5.2.1.2 Minolta fargemåling

Fargemålinger ble gjort ved hjelp av en Minolta fargemåler. Disse målingene ble gjort på et begrenset område på overflaten av fisken og sammenlikning med sensoriske resultater kan derfor være utfordrende. Dessuten kan man observere at ikke alle resultatene samsvarer med tidligere undersøkelser (Bhattacharya et al. 1994) eller observasjoner gjort under forsøket. Blant annet kunne man før servering observere større grad av hvitet på overflaten av prøven som hadde gjennomgått minst grad av varmebehandling (65/15), og dette bekreftes til dels av de sensoriske resultatene vist i tabell 6. Dette samsvarer ikke med resultatene for lyshet av prøvene ( $L^*$ ). Denne prøven viste tvertimot liknende utslag som prøvene som hadde gjennomgått hardest varmebehandling. En faktor som kan ha skapt støy i fargemålingene er at prøven som hadde gjennomgått minst grad av varmebehandling også hadde størst grad av fuktighet på overflaten. Det lyse på overflaten var i stor grad materiale oppløst i væske i, og overdrevent press på prøven ved fargemåling kan ha resultert i fortrenning av det oppløste materialet slik at målingene har gitt lavere verdier enn forventet.

Når det gjelder funnene for intensitet av rødt og intensitet av gult,  $a^*$  og  $b^*$ , er disse i en viss grad i tråd med hva man forventer å finne; økt varmebehandling synes å resultere i minkende intensitet for begge parameterne.

#### 5.2.1.3 Vekt

Vekttap er registrert i et kontrollstykket som ble varmebehandlet parallelt med prøver benyttet i den profilerende analysen, og er det samme stykket som er benyttet for registrering av temperatur og Minolta fargeutslag. Vekt er registrert før varmebehandling og umiddelbart etter endt hviletid. Totalt vekttap vil være en samlet effekt av tap av vannløselig tørrstoff, drypptap og fordampningstap, og kan



til dels sidestilles med begrepet koketap beskrevet av Skipnes et al. (2007). Man har valgt å benytte betegnelsen vekttap da metoden som er benyttet angir vektendring i kontrollstykket og ikke masse av koketap.

Resultatene fra registrert endring i vekt vist i figur 20 indikerer at prøvenes vekttap følger et mønster hvor den minst varmebehandlede prøven viser minst vekttap og den mest varmebehandlede prøven viser størst vekttap. Det er tidligere vist av Kong et al. (2007) at størstedelen av koketap skyldes vanntap med en andel på >85% hos laks. Resultatene underbygges av observasjoner av væske på stekebrett etter varmebehandling og hviletid. Det kunne observeres betydelig større mengder væske på stekebrett ved uttak av ovn for de høye behandlingstemperaturene enn for de lave. Årsaken til forskjell i tap av væske mellom prøver, er trolig kraftigere sammentrekning av proteinnettverk ved større varmebelastning som følge av økt grad av dentauring slik det er foreslått av van der Sman (2007).

Fordi metoden som er benyttet i dette forsøket er dampsteking ved 100% metning, vil ikke vann teoretisk sett fordampe fra overflaten under varmebehandling, men den utskilte væsken vil foreligge i væskeform på og rundt prøvene. Når prøvene fjernes fra ovnen vil imidlertid den omgivende luftens temperatur og metning synke betraktelig slik at man vil få fordampning av væske fra prøver og stekebrett. Fordi prøvene holder ulik temperatur når de tas ut av ovn, kan man anta at de vil demonstrere ulik grad av fordampning. Dette kan således ha påvirket resultatet.

Resultatene for vekttap viser relativt gode gjentak, jamfør standardavvik vist i figur 20. Variasjon kan imidlertid skyldes at kontrollprøvene er hentet fra ulike deler av fileten. De ulike delene har noe ulik struktur og det er tidligere vist at forskjellige områder i filet av laks demonstrerer ulik grad av sammentrekning ved varmpåvirkning (Kong et al. 2007). Dette kan ha ført til ulik grad av avrenning av væske fra stykkets overflate til stekebrettet under tilberedning og hviletid slik at mengde vann på overflaten ved veiing har vært forskjellig. Hvorvidt stykker fra ulike deler av fileten vil gi ulikt vekttap som konsekvens av ulik grad av sammentrekning, er ikke kjent. Hvordan stykket har blitt flyttet fra brett til innveiing kan også ha påvirket prøvene ulikt med hensyn på avrenning fra overflaten da denne prosessen er gjort manuelt.

### **5.2.2 Sensorisk vurdering av varmebehandlet laks**

Tabell 6 viser at det er signifikante forskjeller for flere sensoriske egenskaper og særlig gjelder dette teksturegenskaper.

For de fleste egenskaper, finner man de største forskjellene i gjennomsnittene mellom prøven som er hardest varmebehandlet (95/15) og den som har gjennomgått minst grad av varmebehandling (65/15). Av figur 26 og figur 27 kan man se at de største forskjellene mellom prøver kan forklares med attributter som befinner seg langs PC1, og at prøvene som er hardest varmebehandlet har høy intensitet av attributtene hardhet (indre og ytre), grovhet (indre og ytre), hvithet (indre) og fethet (indre).

Figurene viser også at prøvene som har gjennomgått mildest varmebehandling kan assosieres med høy intensitet av egenskapene metallukt, fargestyrke (indre), fargetone (indre og ytre), hvithet (ytre), saftighet (indre og ytre), proteinutfellelse og fuktighet på overflaten. Den hardest varmebehandlede prøven har også høyere grad av hardhet.

Ulike utfordringer knyttet til prøvematerialet ble registrert underveis i forsøksprosessen. Ved tilskjæring av stykker ble det observert varierende tekstur med hensyn på grad av gaping og fasthet, noe som kan ha påvirket resultatene. Det er ikke kjent om vanninnholdet av det ubehandlede prøvematerialet var homogent.

Grunnet råmaterialets natur og problematikk rundt flaking, kan det også ha oppstått variasjoner i prøvematerialet til dommerne med tanke på den definerte kjernen. Utfordringer når det gjelder oppskjæring ved bedømming kan også ha resultert i økt påføring i kraft, noe som igjen kan ha resultert i større eller mindre væsketap for de ulike prøvene. Dette kan ha påvirket attributter som for eksempel saftighet i kjernen. Laksens lite homogene natur med hensyn på fiberorientering og deformering ved varmebehandling, fordeling av fett og mørk og lys muskel vil også kunne ha bidratt til støy i resultatene. Fordi hver enkelt dommer konsekvent ble servert prøver fra samme del av fileten, kan man imidlertid anta at denne type støy er minimert med hensyn på den sensoriske vurderingen. Dette kan også observeres av figurene 24 og 25 hvor dommernes varians for egenskapene grovhet (indre) og saftighet (indre) er vist.

Når det gjelder randomisering av prøver, ble dette ikke gjort i henhold til noen bestemt metode. For å gjøre forsøket gjennomførbart, ble rekkefølgen for servering utarbeidet med vekt på tider med tanke på behandling i ovn og intervaller mellom prøver for panelet (jamfør vedlegg 4). Den første dagen fikk dommerne ikke servert noen gjentak, men bedømte kun ulike prøver. Den andre dagen, derimot, ble alle prøvene servert med gjentak i tillegg til gjentak fra den foregående dagen. Variasjoner i bedømmingen vil således være et resultat av en sammenblanding av gjentakseffekt og effekt av ulike dager.

### **5.2.2.1 Utseende**

Når det gjelder utseende av prøvene, ble det funnet signifikante forskjeller for alle egenskapene. Egenskapen proteinutfellelse er vist signifikant forskjellig for tre grupper av prøver; prøven som er varmebehandlet ved 65°C, prøvene som er varmebehandlet ved 75°C og prøvene varmebehandlet ved 85 og 95°C. Proteinutfelling er av panelet vurdert som mengde hvitt materiale utskilt på overflaten av prøven. Resultatene som er fremskaffet kan indikere at denne egenskapen er avhengig av behandlingstemperatur og ikke av prøvenes oppholdstid i ovnen. Dette kan igjen tyde på at proteinutskillelse i prøvene kan knyttets opp mot grad av denaturering og/eller sammentrekning av proteinnettverk.

Resultatene for egenskapen fuktighet på overflaten viser ikke samme konsekventhet med tanke på varmebehandling slik som resultatene for proteinutfellelse viser. Her kan man observere at den minst varmebehandlede prøven viser høyest grad av fuktighet på overflaten. Dette kan trolig knyttes til grad av fordampning fra prøvens overflate etter uttak fra ovn. Høyere temperatur på prøven ved endt varmebehandling vil teoretisk sett gi større grad av fordampning til omgivende luft etter at prøven tas ut av ovnen.

Farge av prøvene er henholdsvis vurdert som et gjennomsnitt av prøvenes overflate og som et gjennomsnitt av prøvenes definerte kjerne. Resultater fra bedømminger av farge på prøvenes overflate viser at det ikke er signifikante forskjeller mellom prøver med hensyn på fargestyrke (indre). For egenskapen fargetone (ytre) er det én prøve som er signifikant forskjellig fra de andre, hvorav prøve 65/15 viser større utslag enn prøvene varmebehandlet ved 85 og 95°C. Når det gjelder hvithet på overflaten, er det flere prøver som viser signifikante forskjeller. Her viser de minst varmebehandlede prøvene størst grad av hvithet. I henhold til resultater fremskaffet av Bhattacharya et al. (1994) ville man kunne forvente å finne at prøvene som hadde gjennomgått hardest varmebehandling ville blitt vurdert som lysest. Årsaken til at resultatene i dette tilfellet fremstår som avvikende henger trolig sammen med resultatene for proteinutfellelse på overflaten da disse egenskapene kan være vanskelig å bedømme uavhengig av hverandre. Dette ble også kommentert av panelet i plenumsmøte.

Når det gjelder resultater fra prøvenes fargeegenskaper i kjernen, er det mulig å observere noe klarere tendenser med hensyn på varmebehandling enn det som er funnet ved vurdering av farge på overflaten. Egenskapene fargetone (indre), fargestyrke (indre) og hvithet (indre) er alle vurdert som signifikant forskjellige mellom prøver. For fargetone (indre) er det to prøver som viser signifikant ulike verdier: prøvene 65/15 og 95/15, det vil si prøvene som har gjennomgått henholdsvis mildest og hardest varmebehandling. Her er det prøve 65/15 som viser størst utslag på fargetone (indre), hvilket indikerer at mildere varmebehandling og lavere kjernetemperatur vil resultere i en mer intens fargetone i kjernen. En liknende tendens kan observeres for resultatene for egenskapen fargestyrke (indre), men her er det flere signifikante forskjeller mellom prøver. Når det gjelder hvithet (indre), er det de minst varmebehandlede prøvene som er vurdert som minst hvite og økende varmebehandling synes å resultere i økende grad av hvithet. Resultatene for fargeegenskaper i kjernen samsvarer med tidligere forsøk hvor farge er målt instrumentelt (Bhattacharya et al. 1994). Her ble det funnet at økende grad av varmebehandling med hensyn på tid og temperatur resulterte i økende verdier for lyshet ( $L^*$ ) og minkende verdier for intensitet av rødt ( $a^*$ ) og gult ( $b^*$ ). Fordi forsøksoppsettet ikke bare er laget med hensyn på behandlingstemperatur og –tid, men også med hensyn på å nå samme kjernetemperatur i grupper av prøver ved servering, ville man kunne forvente at prøvene viste resultater i henhold til hvilken kjernetemperaturgruppe de befinner seg i. Enkelte av de utseenderelaterte egenskapene i kjernen viser slike tendenser. Av eksperimentelle temperaturdata presentert i tabell 7 kan man observere at ikke all data viser godt samsvar med predikert

kjernetemperatur, og dette må betraktes som en kilde til støy. Temperaturfordelingen i stykkene, som vil være forskjellig ved ulik behandlingstemperatur, kan også ha påvirket resultatene. Denne effekten er tidligere diskutert i avsnitt 5.1.2.

#### **5.2.2.2 Smak**

Ulike kombinasjoner av tid og temperatur resulterte ikke i signifikante forskjeller mellom prøver for smaksegenskaper. Dette kan antyde at laks i seg selv smaker lite. Det er sannsynlig at prøvene kunne ha blitt vurdert annerledes dersom andre komponenter hadde blitt introdusert sammen med prøven, for eksempel salt eller saus. Sensoriske interaksjonseffekter mellom laks og andre komponenter er tidligere beskrevet av Paulsen (2009) og Rannem (2008). Grunnet metode for prøvepreparering og servering, var det enkelte av dommerne som konsekvent fikk større andel mørk muskel i kjernen. Dette ble kommentert i plenumsmøte etter forforsøk, på kommentarskjema under forsøk og i etterkant av forsøk. Det er ukjent hvorvidt mørk og lys muskel i laks vil vurderes som ulike ved sensorisk bedømming sv smak, men med hensyn på ulikt innhold av fett, vil dette kunne være mulig. Dersom endring av smak i mørk muskel ikke samvarierer med endring i smak av lys muskel ved varmebehandling, kan dette ha vært en kilde til støy da dette ville ha gitt mindre sannsynlighet for systematiske utslag og signifikante effekter.

#### **5.2.2.3 Lukt**

Resultatene viser signifikante forskjeller for alle luktattributter. Når det gjelder syrliglukt, fremgår det av resultatene at den hardest varmebehandlede prøven viser størst utslag, og at denne er signifikant forskjellig fra prøvene varmebehandlet ved 85°C og prøve 75/16 hvorav sistnevnte viser minst utslag på egenskapen. De øvrige prøvene viser intermediate utslag. Dette kan indikere mindre sammenheng mellom tid og temperatur og syrliglukt, eller også at bestemte temperaturområder vil fremheve eller kamuflere den aktuelle lukteegenskapen.

For attributtene metallukt og sjøluft kan man heller ikke observere noen åpenbar sammenheng mellom forsøksvariablene tid og temperatur og prøveresultater. Det er også kun to prøver som fremstår som signifikant forskjellige for egenskapene. Forskjellene som er funnet for disse egenskapene, kan mulig relateres til naturlige variasjoner i prøvematerialet. Det kan imidlertid være ukjente interaksjoner mellom utvikling/kamuflering av lukt og temperatur som resultater i signifikante forskjeller slik det er diskutert for egenskapen syrliglukt.

#### **5.2.2.5 Tekstur**

Flest signifikante forskjeller finner man for teksturegenskapene som er vurdert, både med hensyn på indre og ytre attributter. Dette er i henhold til tidligere publisert materiale hvor teksturmessige endringer i laks med hensyn på tid og temperatur har blitt undersøkt instrumentelt (Bhattacharya et al. 1993; Kong et al. 2007).

Den ytre teksturvurderingen indikerer at ved å øke behandlingstemperatur og –tid, vil man få økende grad av hardhet og grovhet i de ytre delene av laksen. Man kan også observere at den minst varmebehandlede prøven, 65/15, viser minst utslag for begge egenskapene, noe som er i tråd med forventet resultat. De relativt små forskjellene mellom prøver kan tyde på at proteindentaurering som er av signifikant betydning for hardhet og grovhet i laks vurdert sensorisk allerede har funnet sted ved 65°C, og at det derfor ikke er svært store sprang mellom ulike temperaturer eller behandlingstider. Resultatene er imidlertid ikke helt konsekvente da man kan observere at prøve 85/13 har blitt rangert som prøven med størst utslag for hardhet (ytre) og grovhet (ytre).

Sensorisk vurdering av indre grovhet og hardhet viser at det er flere signifikante forskjeller mellom prøver enn ved den ytre vurderingen (jamfør tabell 6). Dette kan indikere at kjernetemperaturene, som er predikert til omlag 50, 60 og 70°C i de ulike prøvene (jamfør tabell 7), vil gi større variasjon i grovhet og hardhet mellom prøver enn de ulike behandlingstemperaturene som er benyttet. Man kan også observere at de indre teksturattributtene er vurdert til å ha gjennomgående mindre intensitet enn de ytre, hvilket samsvarer godt med hensyn på forventet forskjell i temperaturfordeling i indre og ytre deler av prøven. Av figur 28 kan man observere at prøvene med samme predikerte kjernetemperatur ligger nær hverandre i forhold til orientering langs PC1, noe som kan tyde på at kjernetemperatur til en viss grad kan predikere intensitet av grovhet i kjernen. Hvorvidt ulik temperaturfordeling i kjernen av prøvene som har blitt behandlet ved de forskjellige temperaturene har påvirket resultatet er uvisst, men av figur 28 kan man observere at prøvene også i noen grad orienterer seg i henhold til behandlingstid.

Det faktum at prøver som har gjennomgått hardere varmebehandling vurderes som hardere og grovere, vil naturlig nok kunne ha sammenheng med ulikt innhold av vann i prøvene. Slik man kan observere av resultater for vekttap vist i tabell 6, vil hardere varmebehandling resultere i større vekttap for prøver. Da det tidligere er vist at >85% av koketap er vann (Kong et al. 2007) kan man anta at prøvene med høyest vekttap har det laveste innholdet av vann. Lavere innhold av vann vil kunne gjøre at fisken vil oppfattes som grovere og hardere da mukelfiberne vil fremstå med tydeligere intensitet i munnen.

Saftighet er en egenskap som av forbrukere er vurdert som viktig når det kommer til sensoriske egenskaper ved kjøtt (Schönfeldt & Strydom 2010), og det er nærliggende å anta at dette også vil være gjeldende for fisk. Saftigheten i det ytre laget av lakseprøven er vurdert som mengde avgitt væske ved inntill 4-5 tygg (jamfør vedlegg 2). Det vil derfor være naturlig å undersøke hvorvidt egenskapen saftighet også kan assosieres med vekttap når det som tidligere nevnt er vist at >85% av vekttap i laks som følge av varmpåvirkning vil være i form av vann. Fra resultater presentert i tabell 6 kan man se at resultatene for saftighet i ytre lag av prøven og for vekttap viser sammenfallende tendenser. Dette indikerer at økende grad av varmebehandling, både med hensyn på tid og temperatur vil resultere i minkende grad av saftighet i ytre lag og økende vekttap, og at større vekttap dermed vil kunne gi mindre saftige prøver. Når det gjelder saftighet vurdert i kjernen av prøvene, kan man observere en

viss grad av sammenheng mellom resultater for prøver og predikerte kjernetemperaturer hvorav høyere kjernetemperatur gir mindre grad av saftighet. Man kan imidlertid også se at resultatene viser en viss sammenheng mellom ovnstemperatur og saftighet i kjernen hvor økt ovnstemperatur syner å gi minkende grad av saftighet uavhengig av kjernetemperatur. Dette kan ha sammenheng med høyere vanntap fra ytre lag ved høyere behandlingstemperaturer slik at en osmotisk effekt vil oppstå som innebærer at vann vil fraktes fra kjernen.

Man har antatt at kjernetemperatur vil kunne være et godt holdepunkt for å sammenlikne prøver. Temperaturdata presentert i tabell 7 viser imidlertid at de eksperimentelle kjernetemperaturene ikke viser like godt samsvar med predikerte kjernetemperaturer i alle tilfeller, noe som vil bidra til støy ved sammenlikning av resultater. Flere forhold kan ha bidratt til de observerte temperaturavvikene, blant annet kan man anta at større mengde laks i ovnen enn den som ble benyttet under forforsøk kan være en medvirkende faktor. Større mengde prøvemateriale har blant annet resultert i et større totalt vanntap som ble akkumulert på stekebrettet. Man kan likevel observere liknende tendenser mellom prøver som befinner seg innenfor de såkalte temperaturgruppene (jamfør predikerte kjernetemperaturer vist i tabell 1) dersom man undersøker prøveorientering i forhold til indre teksturegenskaper slik det er vist i figur 28. Her kan man se at 95% av variasjonen kan forklares med variasjoner langs PC1, og at totalt forklart variasjon er 97,2%. Her er det tydelig at prøver innen temperaturgruppene befinner seg svært nær hverandre med hensyn på orientering langs PC1. Dette tyder på at tilnærmet samme kjernetemperatur vil gi liknende utslag for teksturattributter i kjernen uavhengig av behandlingstemperatur. Med tanke på indre teksturparametere, kan kjernetemperatur derfor betraktes som et godt holdepunkt når behandlingstid for SALMA-laks skal bestemmes.

### **5.2.3 Den matematiske modellens prediksjonsevne ved hovedforsøk**

Tabell 7 viser at eksperimentelle data fra hovedforsøk med hensyn på kjernetemperatur ved endt temperaturforløp avviker fra predikerte data i større grad enn ved validering av den matematiske modellen slik det er vist i tabell 4. Årsaken til dette vil kunne være den store mengden prøvemateriale som ble benyttet i hovedforsøket sammenliknet med ved valideringen hvor én og én prøve ble varmebehandlet. På tross av at man har korrigert for antall prøver i modellen, er det sannsynlig at støy som påvirker resultatene vil øke ved økt mengde prøvemateriale, spesielt med hensyn på tap av væske, ukjente temperatureffekter og tettere plassering av prøver.

Ved hovedforsøket kunne man visuelt observere at væske samlet seg rundt prøvene i større grad enn når én prøve ble varmebehandlet, noe som kan ha bidratt til avvikende temperaturutvikling. Tiltak i form av kluter i endene av stekbrettene ble gjort for å fjerne overskuddsvæske, men dette eliminerte ikke problemet med væskeansamlinger rundt prøvene.

Som konsekvens av større mengde prøvemateriale i ovn vil ukjente temperatureffekter kunne ha oppstått. For eksempel kan luftlommer ha oppstått rundt kontrollstykket hvor luft sirkuleringen var

dårligere, eller andre ukjente strømnings effekter kan ha vært gjeldende og således bidratt til større avvik i eksperimentelle temperaturer i forhold til de predikerte.

Det er også et faktum at det har blitt benyttet to individuelle ovner i eksperimentet. Ved valideringen av den numeriske modellen ble én ovn konsekvent benyttet til samme temperatur, mens de i hovedforsøket ble benyttet om hverandre. Dersom ovnene har ulike egenskaper, kan dette ha skapt støy i tilfeller der man ikke har benyttet samme ovn.

### 5.3 Pågående studie ved UiS/Nofima Mat avd. Stavanger vs sensorisk profilering

Ved UiS/Nofima Mat avd. Stavanger arbeides det med et pågående studie hvor egenskaper av SALMA-laks undersøkes ved hjelp av instrumentelle metoder. Råmaterialet som benyttes er identisk med det som er benyttet i undertegnedes oppgave. Tiltak har blitt gjort for å gjøre metodene i de respektive studiene sammenliknbare, og målet er at resultater fra den profilerende analysen gjort i denne oppgaven skal kunne settes i sammenheng med resultater funnet ved UiS/Nofima Mat avd. Stavanger. Vurdering av resultater fra begge studier (data mottatt via Skipnes 2010a) viser imidlertid at ikke alle data er direkte sammenliknbare. Dette vil omtales i korthet.

Evaluering og sammenlikning av resultater som er fremskaffet viser at eksperimentelle temperturdata i de to forsøkene avviker i relativt stor grad. Her er den største kilden til støy er trolig bruk av ulike typer av dampovner. I tillegg var behandlingsbetingelser benyttet av undertegnede utarbeidet for et tverrsnitt av 10 fileter, og ved UiS/Nofima Mat avd. Stavanger ble kun 1 filet varmebehandlet av gangen. De samme behandlingstidene ble benyttet uavhengig av dette. Det ble under utarbeiding av den matematiske modellen i undertegnedes oppgave observert at et tverrsnitt av 10 fileter vil gi et annet temperaturforløp enn 1 filet, og dette kan dermed utgjøre en feilkilde. Det er ukjent hvorvidt sammenliknbare stekebrett ble benyttet.

Resultater fra UiS/Nofima Mat avd. Stavanger viser at tekstur målt som motstand mot mekanisk kraft er signifikant forskjellig for temperaturene 50, 60 og 70°C. Her er tekstur målt i mindre mengde prøvemateriale med homogen varmfordeling, og disse resultatene kan således sees i sammenheng med den sensoriske teksturvurderingen gjort i undertegnedes oppgave hvor predikerte kjernetemperaturer tilnærmet 50, 60 og 70°C er benyttet. Det vil først og fremst være den sensoriske egenskapen hardhet (indre) som vil kunne være sammenliknbar fordi denne vurderes som en mekanisk teksturegenskap relatert til kraft som må til for å bite gjennom prøven. Ved å benytte Tukey test på de sensoriske resultatene for egenskapen hardhet (indre) fremkommer det at alle temperaturgruppene er signifikant forskjellige fra hverandre med hensyn på denne egenskapen (jamfør vedlegg 6). Man kan av dette dra slutningen om at instrumentelle og sensoriske metoder i dette forsøket kan gi liknende informasjon om prøvematerialet.



## 6 Konklusjon

Ulike kombinasjoner av behandlingstid –og temperatur har vist seg å gi signifikant forskjellige sensoriske egenskaper i laks. Attributtene som viser størst utslag på de sensoriske vurderingene, er relatert til teksturegenskaper og kan sannsynligvis forklares med ulik grad av proteindenaturering i de ulike prøvene. Man fant signifikante utslag for lukt, men ingen signifikante forskjeller for smaksegenskapene.

De fleste egenskapene det er testet for, viser systematiske resultater i forhold til temperatur og oppholdstid i ovn hvor de mildest og hardest varmebehandlede prøvene viser flest forskjeller.

Data viser at den utarbeidede numeriske modellen er i stand til å predikere temperaturforløp i laksestykker med et gjennomsnittlig prosentvis avvik på 2,08%. Sett i sammenheng med tidligere publisert materiale hvor varmegjennomgang i kjøtt har blitt predikert med et avvik på 4,60% (Bottani & Volpi 1999), kan modellen betraktes som god med hensyn på prediksjonsevne. Resultatene vil trolig kunne benyttes i industrielle sammenhenger og i storkjøkken dersom ovnen som skal benyttes, først kalibreres for konsekvente variasjoner.

## 7 Forslag til videre arbeid

Arbeidet gjort i forbindelse med undertegneds masteroppgave er å betrakte som innledende i forhold til å undersøke om en matematisk modell kan benyttes for å predikere temperaturforløp i laks, og om det er mulig å benytte modellen ved konstruksjon av forsøksoppsett for sensorisk profilering.

Resultatene fra dette arbeidet bør derfor bekreftes i videre forsøk for å undersøke hvorvidt modellen er robust og for å videreutvikle den. Det er flere ulike tilnæringer som kan være interessante i en slik sammenheng. Blant annet vil man ved å undersøke varmeovergangstall ( $h$ ) i ovn ved flere temperaturer kunne si noe om verdien for  $h$  vil stabiliseres ved en gitt behandlingstemperatur, slik resultater fremskaffet i denne oppgaven kan tyde på. Modellen presentert i denne oppgaven har også et utviklingspotensiale i forhold til bruk av dimensjoner. Programvaren benyttet er i stand til å beregne varmegjennomgang i tredimensjonale legemer, og ved å tilføre modellen en lengdedimensjon vil man kunne vurdere eventuelle endeffekter som er neglisjerte i modellen som er presentert i denne oppgaven.

En av betingelene som er satt for modellen, er at laksens dimensjoner ikke vil endres gjennom forløpet for varmebehandling. Man vet imidlertid at endring i dimensjoner vil kunne forekomme som en følge av sammentrekning av proteinnettverk (Kong et al. 2007), og registrering av endringer i dimensjoner ved ulike kombinasjoner av tid og temperatur ved varmebehandling vil kunne gi ny informasjon om prøvematerialet. Dersom modellen korrigeres for dimensjonsendringer, vil prediksjonsevnen trolig kunne bedres.

Det er gjort få studier hvor sensorisk profilerende analyse av varmebehandlet laks er gjort. Flere studier som underbygger funn presentert i undertegneds oppgave vil derfor kunne være aktuelt for fremtidig arbeide. En annen interessant vinkling vil kunne være å sammenlikne sensoriske attributter i rå og varmebehandlede prøver. Sammenlikning av sensoriske egenskaper i pre-rigor filetert laks og fileter av konvensjonell slaktet laks vil også kunne være aktuelt.

Dersom man ønsker å avdekke hva som er den optimale tid/temperaturkombinasjonen ved varmebehandling av SALMA-laks i dampovn, vil eksperimentene i undertegneds oppgave kunne suppleres med en eller flere preferansetester utført ved hjelp av et såkalt ekspertpanel. Bruk av ekspertpanel er tidligere beskrevet av Hersleth et al (2005), og er en ofte benyttet sensorisk metode i industrimessig sammenheng. Deltakere i et slikt panel ville kunne være kokker med bakgrunn i forhold til hvilken subjektive kvalitet man ønsker å sikte seg inn på, for eksempel kvalitet foretrukket av kokker som arbeider ved gourmetrestauranter eller av kokker som arbeider på storkjøkken. Resultater fra et slikt studie vil gi informasjon om den optimale tilberedte kvaliteten av SALMA-laks ved bruk av dampovn, og vil kunne benyttes til å utarbeide anbefalinger med hensyn på tid og temperatur ved tilberedning. Dersom man i tillegg foretar en dimensjonsanalyse ved hjelp av den

matematiske modellen, vil man kunne beregne steketid for å oppnå et mest mulig reproduserbart resultat uavhengig av laksestykkets tykkelse.

I innledende del av oppgaven ble en profesjonell kokk benyttet som ressursperson i forbindelse med anbefalinger for varmebehandling av SALMA-laks. Det ble i denne sammenheng demonstrert ulike kvaliteter av SALMA-laks som følge av ulik varmepåvirkning. Ved varmebehandling i vannbad ved 37°C ble det gjort interessante teksturmessige observasjoner, hvorpå laksen fremsto med en kremet konsistens. Videre forsøk med hensyn på å forklare eller beskrive dette fenomenet kan være av interesse.

## Referanser

- Aitken A. & Connell J. (1979). *Effects of heating on foodstuffs*. London, UK: Applied Science Publishers Ltd.
- Bejerholm C. & Aaslyng M.D. (2004). The influence of cooking technique and core temperature on results of a sensory analysis of pork depending on the raw meat quality. *Food Quality and Preference*, 15: 19–30.
- Bell J.G. J., Tocher D. R., Henderson R. J., Dick J. R. & Crampton V. O. (2003). Altered Fatty Acid Compositions in Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Fed Diets Containing Linseed and Rapeseed Oils Can Be Partially Restored by a Subsequent Fish Oil Finishing Diet. *The American Society for Nutritional Sciences Journal of Nutrition*, 133: 2793-2801.
- Bhattacharya S., Choudhury G. S., Studebaker S. (1993). Hydrothermal processing of Pacific chum salmon: effects on texture and in-vitro digestibility. *Journal of Food Quality*, 16 (4): 243–251.
- Bhattacharya S., Choudhury G. S., Studebaker S. (1994). Color Changes During Thermal Processing of Pacific Chum Salmon. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 3(1): 39 – 48.
- Bottani, E. & Volpi, A. (2009). An analytical model for cooking automation in industrial steam ovens, *Journal of Food Engineering*, 90 (2): 153-160.
- Bremes Seashore (2010). Presentasjon gitt i anledning besøk ved produksjonsanlegg. Bømlo: Bremnes Seashore 09.09.
- Chen H., Marks B.P. & Murphy R.Y. (1999). Modeling coupled heat and mass transfer for convection cooking of chicken patties, *Journal of Food Engineering*, 42 (3): 139-146.
- Cheng Q. & Sun D.-W. (2004). Quality of pork ham as affected by locations within sample, cooking methods and storage, *Journal of Food Engineering*, 65 (4): 551–556.
- Dunjaski, E. (1979). Texture of fish muscle. *Journal of Texture Studies*, 10:301-18.
- Electrolux Newsroom UK. (2010). Cooking with steam; more efficient, better results. Publisert på Electroluxs nettsider 30. August 2010. Lastet ned fra <http://newsroom.electrolux.com/uk/2010/08/30/cooking-with-steam-more-efficient-better-results/> 18. oktober 2010.

- Glover K.A., Otterå H., Olsen R.O., Slinde E., Taranger G. L. & Skaala Ø. (2009). A comparison of farmed, wild and hybrid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) reared under farming conditions. *Aquaculture*, 286: 203-210.
- Goñi S.M. & Salvadori, V.O. (2010). Prediction of cooking times and weight losses during meat roasting. *Journal of Food Engineering*, 100: 1-11.
- González-Fandos E., García-Linares N.C., Villarino-Rodríguez A., García-Arias M.T. & García-Fernández M.C. (2004). Evaluation of the microbiological safety and sensory quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) processed by the sous vide method. *Food Microbiology*, 21: 193-201.
- González-Fandos E., Villarino-Rodríguez A., García-Linares N.C., García-Arias M.T. & García-Fernández M.C. (2005). Microbial safety and sensory characteristics of salmon slices processed by the sous vide method. *Food Control*, 16: 77-85.
- Harris P. V. & Shorthouse W. R. (1988). Meat texture. In: Lawrie R. A. (Ed.) *Developments in Meat Science*, 4: 245-29. London: Elsevier Ltd.
- Hersleth M., Ilseng M., Martens M. & Næs T. (2005). Perception of cheese: a comparison of quality scoring, descriptive analysis and consumer responses. *Journal of Food Quality*, 28: 333-349.
- Ibarz A. & Barbosa- Cánovas G.V. (2003). *Unit Operations in Food Engineering*. USA: CRC Press.
- Jonsson A., Sigurgisladottir S., Hafsteinsson H. & Kristbergsson K. (2001). Textural properties of raw Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets measured by different methods in comparison to expressible moisture. *Aqua Nutr*, 7:81-9.
- Kong F., Tang J., Rasco B., Crapo C. & Smiley S. (2007). Quality Changes of Salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) Muscle during Thermal processing. *Journal of Food Science*, 72 (2): 103-111.
- Kong F., Tang J., Lin M. & Rasco M. (2008). Thermal effects on chicken and salmon muscles: Tenderness, cook loss, area shrinkage, collagen solubility and microstructure, *LWT*, 41:1210-1222.
- Lawless H. T. & Heymann H. (1998). *Sensory evaluation of food: Principles and practices*, New York: Springer Science & Business Media inc.
- Lea P., Næs T. & Rødbotten M. (1997). *Analysis of variance in sensory data*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

- Lefevre F., Culioli J., Joandel-Monier S. & Ouali A. (1999). Muscle polymorphism and gelling properties of myofibrillar proteins from poultry, mammals and fish. In: Xiong Y. L., Ho C. T. & Shahidi F., (Eds.). *Quality Attributes of Muscle Foods*; New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Lefevre F., Fauconneau B., Thampson J. W. & Gill T. A. (2007). Thermal Denaturation and Aggregation Properties of Atlantic Salmon Myofibrils and Myosin from White and Red Muscles. *J. Agric. Food Chem.*, 55: 4761-4770.
- Lekang O-I. (2008). Skriftlig materiale til forelesning i masteremnet fisketeknologi. Ås: UMB, IKBM høstsemesteret.
- Lynum, L. (2005). *Fisk som råstoff*. 2. utgave. Trondheim: Tapir akademisk forlag.
- McLay, R. (1982). Canning. In A. Aitken, I. Mackie, J. Merritt, & M. Windsor. *Fish: Handling and processing* UK: Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Torry Research Station.
- Medjell C. M., Stenevik I. H., Erikson U., Akse E., Midling K. & Robertsen R. (2005). Rapport: behandling av laks – viktige momenter relatert til Slakting og Pre-rigor produksjon. *Fiskeri- og Havbruksnæringens Forskningsfond program – Handlingsplan for Laks*. Lastet ned fra <http://www.fiskerifond.no/files/projects/attach/57301323.pdf> 06.01.08.
- Meinert L., Andersen L.T., Bredie W.L.P., Bjerregaard C., Aaslyng M.D. (2007). Chemical and sensory characterisation of pan-fried pork flavour: Interactions between raw meat quality, ageing and frying temperature, *Meat Science*, 75 (2): 229-242.
- Meilgaard M., Civille G. V. & Carr B. T. (1999). *Sensory Evaluation Techniques*: CRC Press.
- Montero P. & Borderais J. (1989). Distribution and hardness of muscle connective tissue in hake (*Merluccius merluccius* L.) and trout (*Salmo irideus* Gibb). *European Food Reserch and Technology*, 189: 530-533.
- Mørkøre T. & Rørvik K.-A. (2001). Seasonal variations in growth, feed utilisation and product quality of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) transferred to seawater as 0+smolts or 1+smolts. *Aquaculture*, 199 (1-2): 145-157.
- Ngadi M.O., Watts K.C. & Correia L.R. (1997). Finite element method modelling of moisture transfer in chicken drum during deep-fat frying. *Journal of Food Engineering*, 32: 11–20.
- Næs T. & Risvik E. (1996). *Multivariate analysis of data in sensory science*. Amsterdam: Elsevier Science B.V.

- Ofstad R., Kidman S., Myklebust R., Olsen R. L. & Hermansso A.-M. (1995). Liquid-holding capacity and structural changes in comminuted salmon (*Salmo salar*) muscle as influenced by pH, salt and temperature. *LWT - Food Science and Technology*, 28 (3): 329-339.
- Paulsen, M. (2009). *Sensorisk analyse av måltid: Hvordan en kulinarisk saus påvirker smaksprofilen i laks*. Ås: UMB.
- Pan Z., Singh R.P. & Rumsey T.R. (2000). Predictive modelling of contact-heating process for cooking a hamburger patty. *Journal of Food Engineering*, 46: 9–19.
- Pigott, G., & Tucker, B. (1990). *Seafood. Effects of technology on nutrition*. New York, USA/Basel, Switzerland: Marcel Dekker, Inc.
- Rannem, M. (2008). *Sensorisk analyse av måltid: hvordan hvit saus påvirker smaksprofilen i laks*. Ås: UMB.
- Rahman, S. M. (2009). *Food properties Handbook*. CRC Press.
- Rodríguez A., Carriles N., Cruz j. M., Aubourg . P. (2008). Changes in the flesh of cooked farmed salmon (*Oncorhynchus kisutch*) with previous storage in slurry ice (-1,5°C), *LWT – Food Science and Technology*, 41: 1726-1732.
- Roussel, H. & Cheftel, J. C. (1990). Mechanisms of gelation of sardine proteins Influence of thermal processing and of various additives on the texture and protein solubility of kamaboko gels. *International Journal of Food Science and Technology*, 25: 260-280.
- Rødbotten M., Lea P. & Ueland Ø. (2009). Quality of raw salmon fillet as a predictor of cooked salmon quality, *Food Quality and Preference* 20: 13-23.
- SALMA (2010). Om SALMA. Lastet ned fra <http://www.salma.no/om-salma> 25.05.10.
- Schneider C. G. (2010). Fish Pin Bone Remover, Create the future design contest, lastet ned fra <http://contest.techbriefs.com/component/content/article/257> 14.10.10.
- Schönfeldt H. C. & Strydom P. E. (2010). Effect of Age and Cut on Cooking Loss, Juiciness and Flavour of South African Beef, *Meat Science*. Article in Press, accepted 08.10.
- Sensorisk studiegruppe. (2000). *Sensorisk analyse bedømmelse av næringsmidler*: Gyldendal Norsk Forlag AS.
- Shilton N., Mallikarjuan P. & Sheridan P. (2002). Modelling of heat transfer and evaporative mass losses during the cooking of beef patties using far-infrared radiation. *Journal of Food Engineering*, 55: 217–222.

- Sigurgisladottir S, Hafsteinsson H., Jonsson A., Lie Ø., Nortvedt R., Thomassen M. & Torrissen O. (1999). Textural properties of raw salmon fillets as related to sampling method. *J Food Sci*, 64 (1): 93-98.
- Skipnes D. (2010a). Bearbeidede resultater fra forsøk med varmebehandling av SALMA-laks ved Nofima Mat avd. Stavanger. Overlevert undertegnede som datafil i møte 29.09.
- Skipnes D. (2010b). Presentasjon av forsøk gjort for å teste en numerisk modell for beskrivelse av varmegjennomgang i frityrstekt torskerett. Stavanger: Måltidets Hus 04.08.
- Skipnes D., Merete Lund Østby M L. & Hendrickx M. E. (2007). A method for characterising cook loss and water holding capacity in heat treated cod (*Gadus morhua*) muscle, *Journal of Food Engineering*, 80 (4): 1078-1085.
- Skipnes D., Van der Plancken I., Van Loey A. & Hendrickx M. E. (2008). Kinetics of heat denaturation of proteins from farmed Stlantic cod (*Gadus morhua*). *Journal of Food Engineering*, 85 (1): 51-58.
- Skjervold P.O., Fjæra S.O & Østby P.B. (1999) Rigor in Atlantic salmon as affected by crowding stress prior to chilling before slaughter. *Aquaculture*, 175 (1-2): 93-101.
- Skjervold P.O., Fjæra S.O, Østby P.B & Einen O. (2001a). Live-chilling and crowding stress before slaughter of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 192 (2-4): 265-280.
- Skjervold P.O., Fjæra S.O, Østby P.B., Isaksson T., Einen O. & Taylor R. (2001b). Properties of salmon flesh from differnt locations on pre- and post-rigor fillets. *Aquaculture*, 201: 91-106.
- SSB (2010a). Solgt mengde og førstehåndsverdi av laks 1997-2009, lastet ned fra <http://www.ssb.no/emner/10/05/fiskeoppdrett/fig-2010-06-11-01.html> 10. oktober.
- SSB (2010b). Tema: Fiske og havbruk. Lastet ned fra [http://www.ssb.no/fiskeri\\_havbruk/](http://www.ssb.no/fiskeri_havbruk/) 10. oktober.
- Stone, A. P. & Stanley, D. W. (1992), Mechanisms of fish muscle gelation. *Food Res. Int.*, 25: 381-388.
- Stone H. & Sidel J. L. (1993). *Sensory Evaluation Practices*, 2d ed. San Deigo: Elsevier Academic Press.
- The Independent Electrical Retailer. (2007). Steam ovens: Steam Cuisine. Lastet ned fra [http://www.independentelectricalretailer.co.uk/news/fullstory.php/aid/11/Steam\\_ovens:\\_Stea\\_m\\_cuisine.html](http://www.independentelectricalretailer.co.uk/news/fullstory.php/aid/11/Steam_ovens:_Stea_m_cuisine.html) 18. oktober 2010.



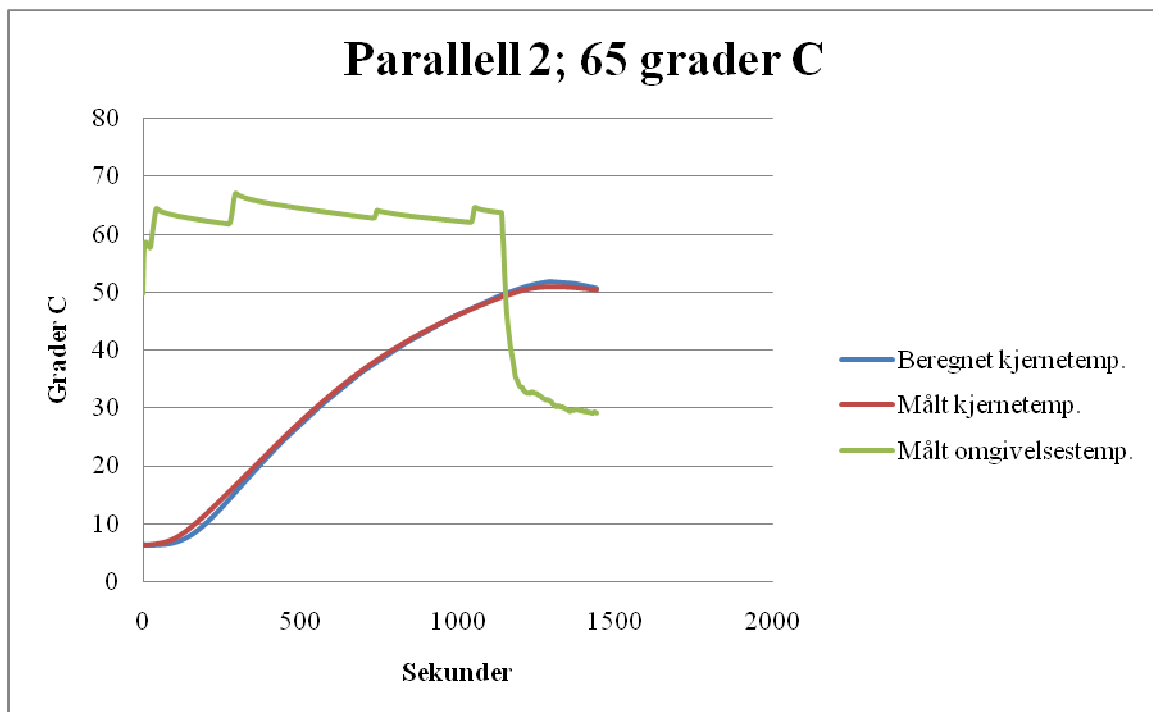
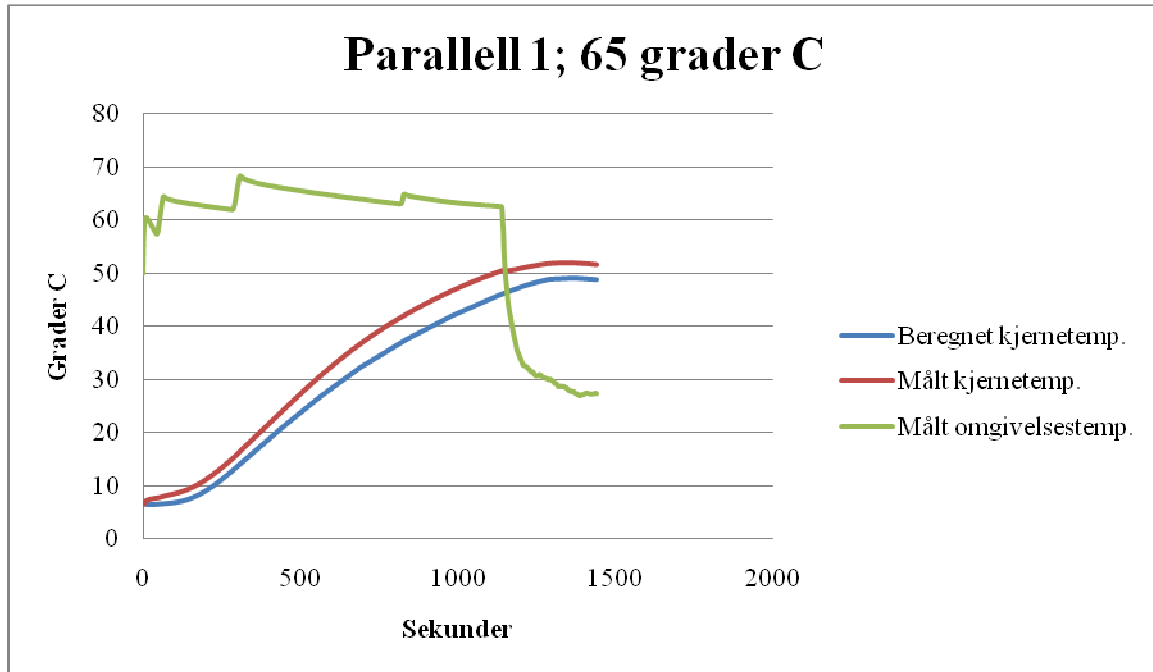
- TINE kommuniksajon (2009). Årsrapport for TINEgruppa. Publisert på [http://www.bondebladet.no/](http://www.bondebladet.no/pdf-versjon). pdf- versjon lastet ned fra <http://www.bondebladet.no/media/1661222/tines%20%C3%A5rsrapport%202009.pdf> 05.10.10.
- Tran N. L., Salmon C. P., Knize M. G. & Colvin M. E. (2002). Experimental and simulation studies of heat flow and heterocyclic amine mutagen/carcinogen formation in pan-fried meat patties, *Food and Chemical Toxicology*, 40 (5): 673-684.
- Trondsen T., Scholderer J., Lund E. & Eggen A.E. (2003). Perceived barriers to consumption of fish among Norwegian women, *Appetite* 41 (3); 301–314.
- Van der Sman R.G.M. (2007). Moisture transport during cooking of meat: An analysis based on Flory–Rehner theory, *Meat Science*, 76 (4): 730-738.
- Wahlby U. & Skjoldebrand C. (2001). NIR-measurements of moisture changes in foods. *Journal of Food Engineering*, 47: 303–312.
- Wang H., Liceaga-Gesualdo A. & Li-Chan E. C. Y. (2005). Physiochemical properties of muscle and natural actomyosin extracted from farmed atlantic salmon (*Salmo Salar*) stored at 4°C, *Journal of Food Biochemistry*, 29: 71-87.
- Wathne E., Bjerkeng B., Storebakken T., Vassvik V. & Odland A.B. (1998). Pigmentation of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed astaxanthin in all meals or in alternating meals, *Aquaculture* 159, (3-4): 217-231.
- Zhu S., Marcotte M., Ramaswamy H., Shao Y. & La-Bail A. (2008). Evaluation and comparison of thermal conductivity of food materials at high pressure. *Food and Bioproducts Processing*, 86 (3): 147-153.

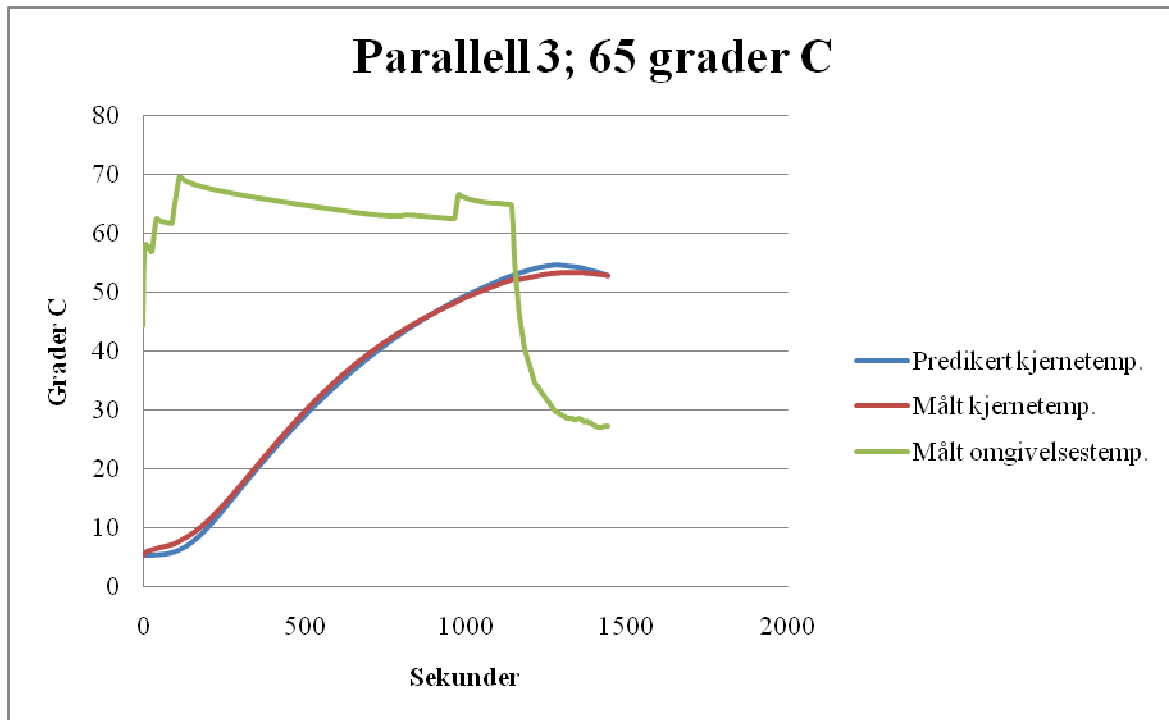
## Vedlegg

### Vedlegg 1

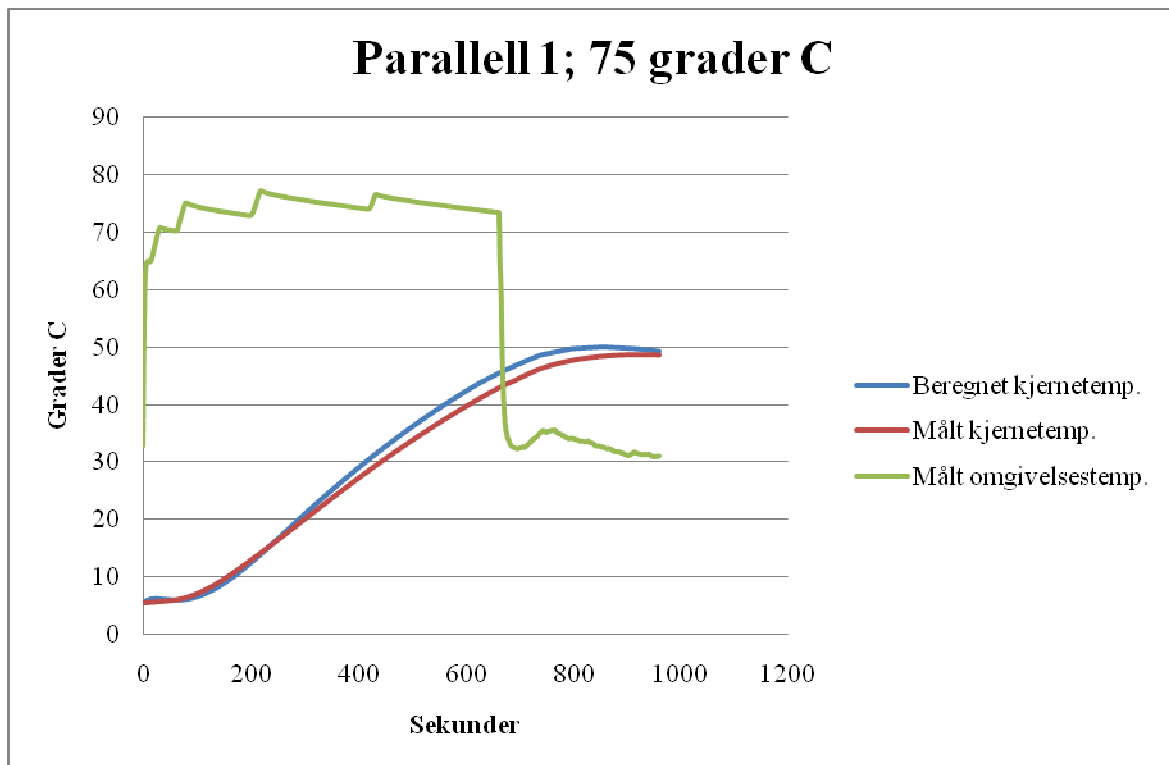
Predikert og eksperimentelt temperaturforløp ved validering av numerisk modell

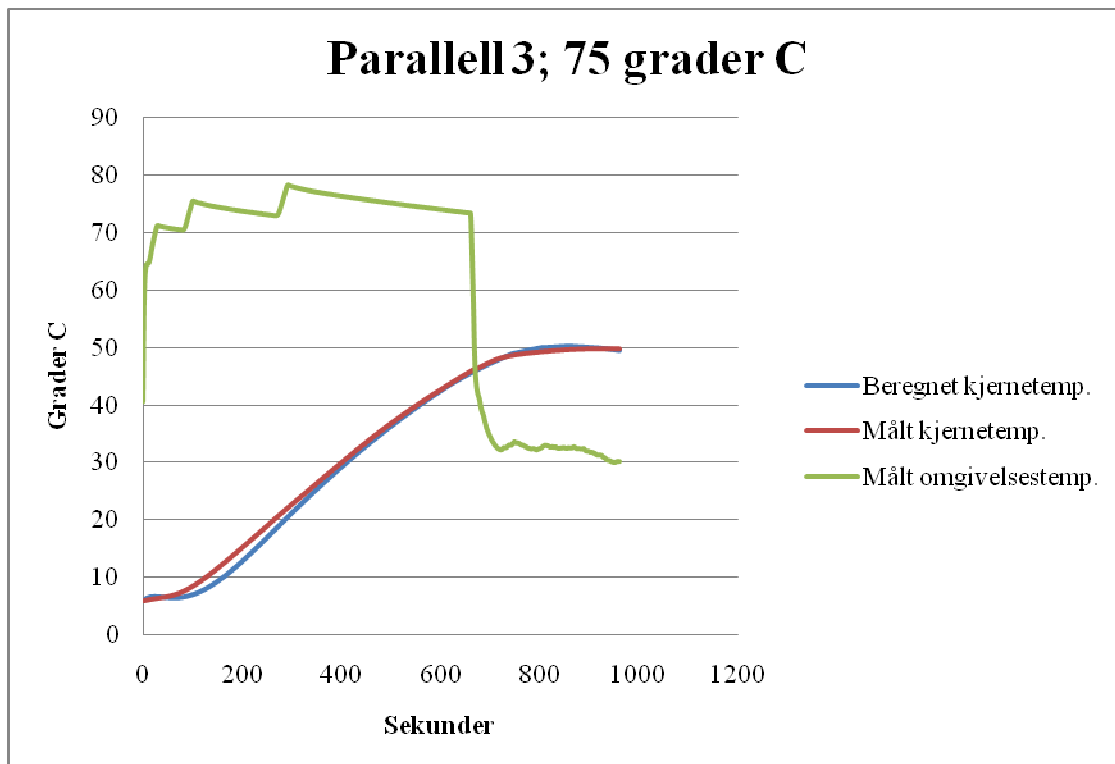
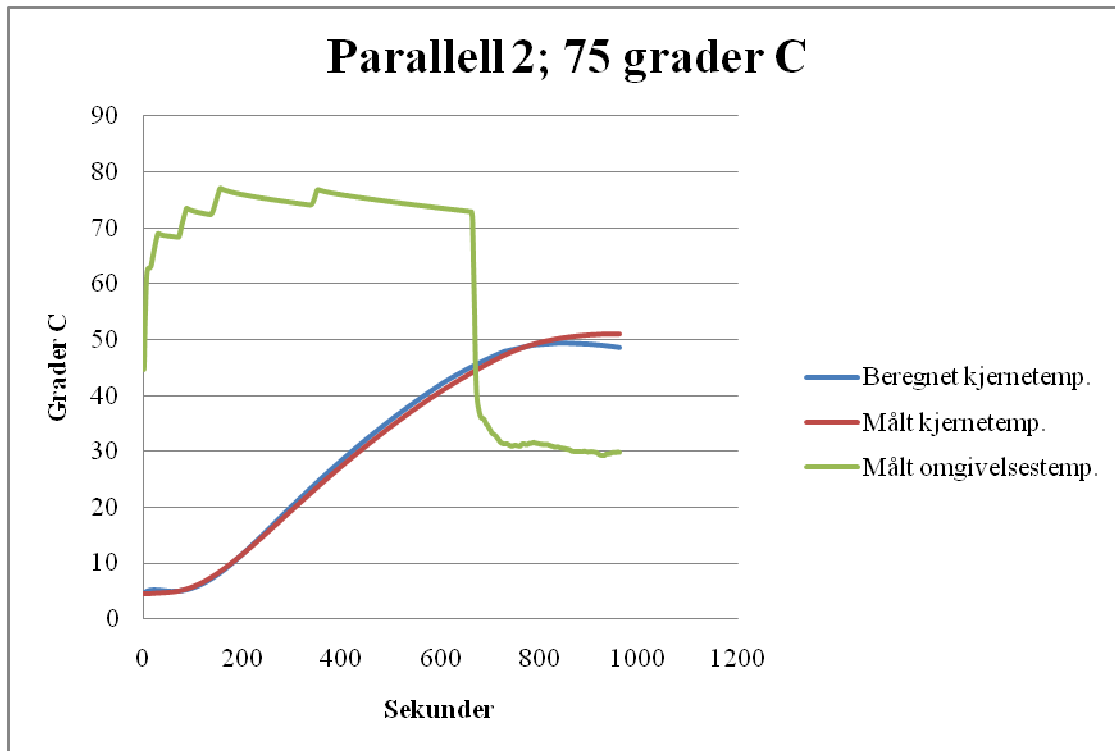
Behandlingstemperatur: 65°C



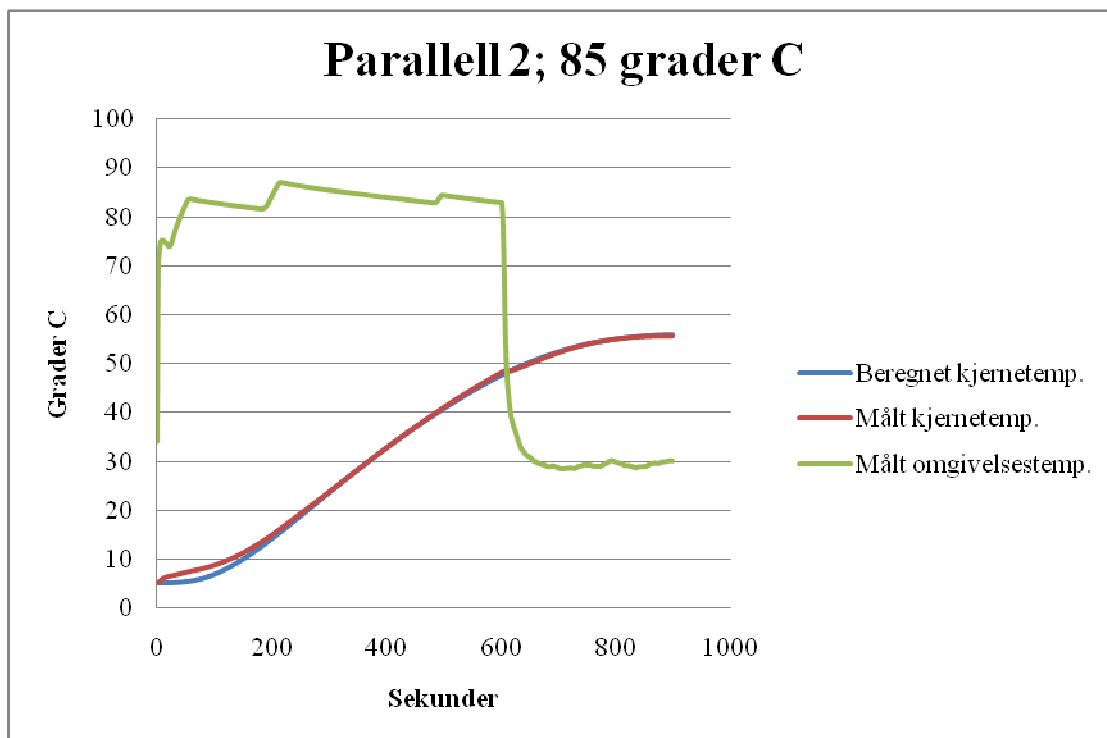
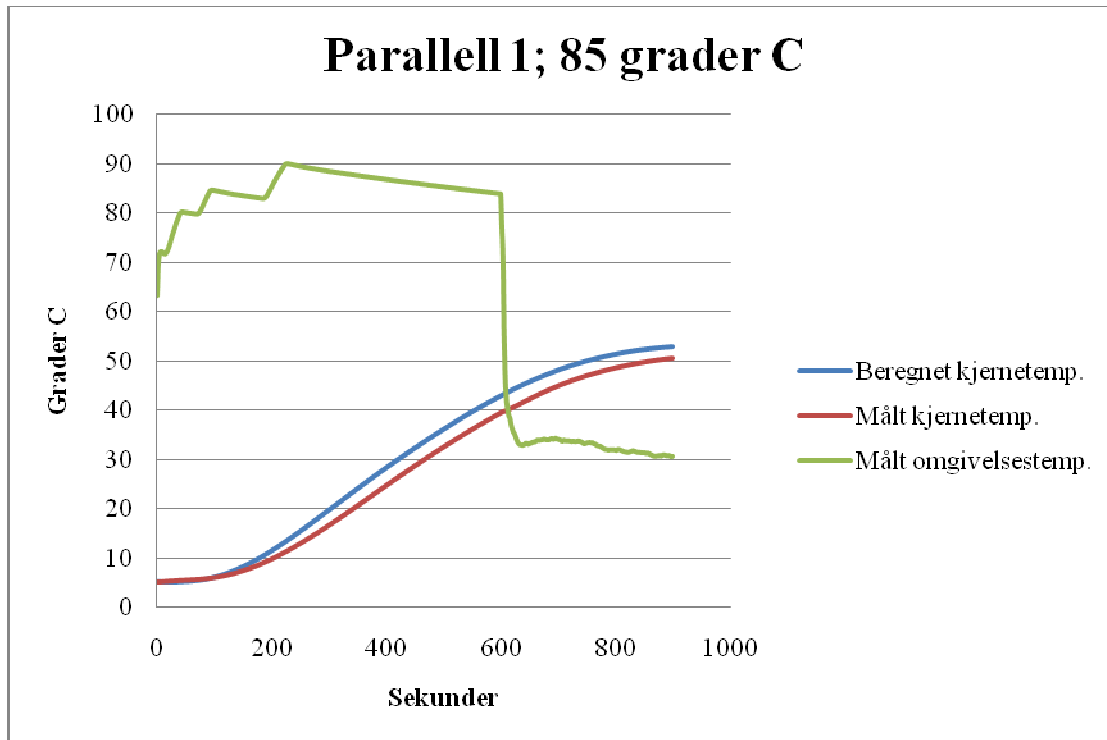


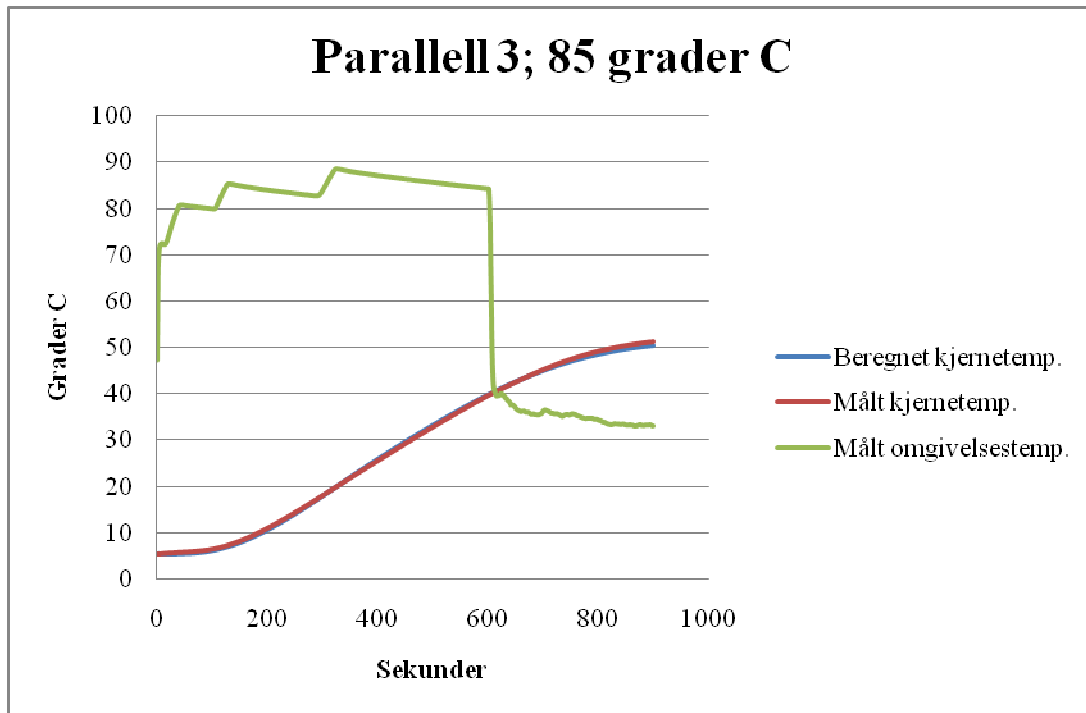
Behandlingstemperatur 75°C:



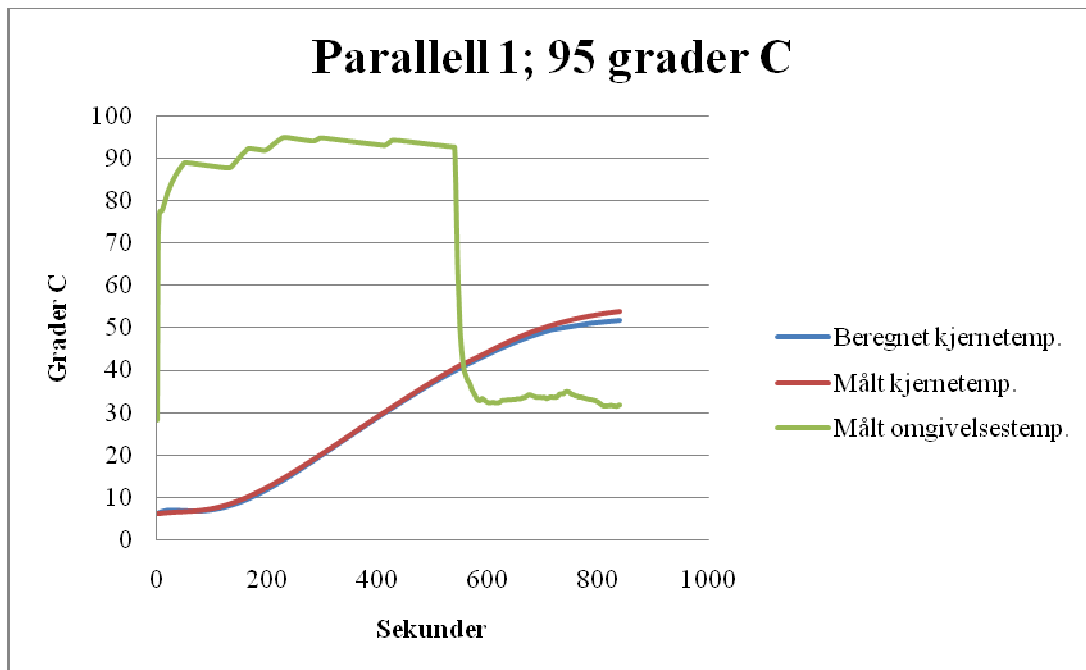


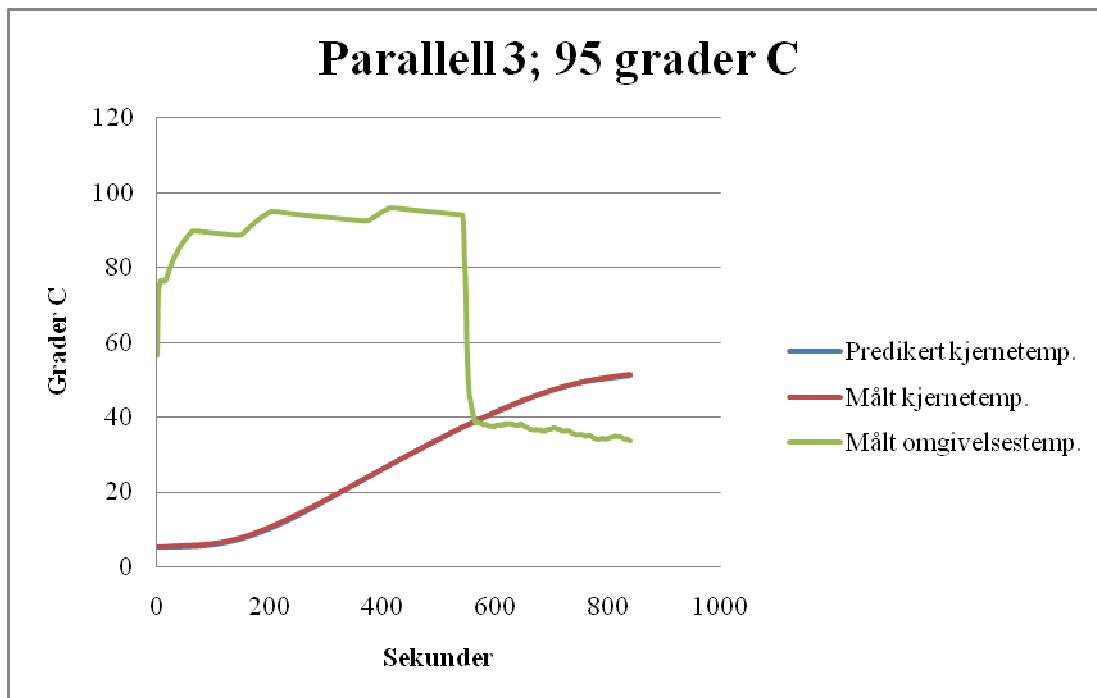
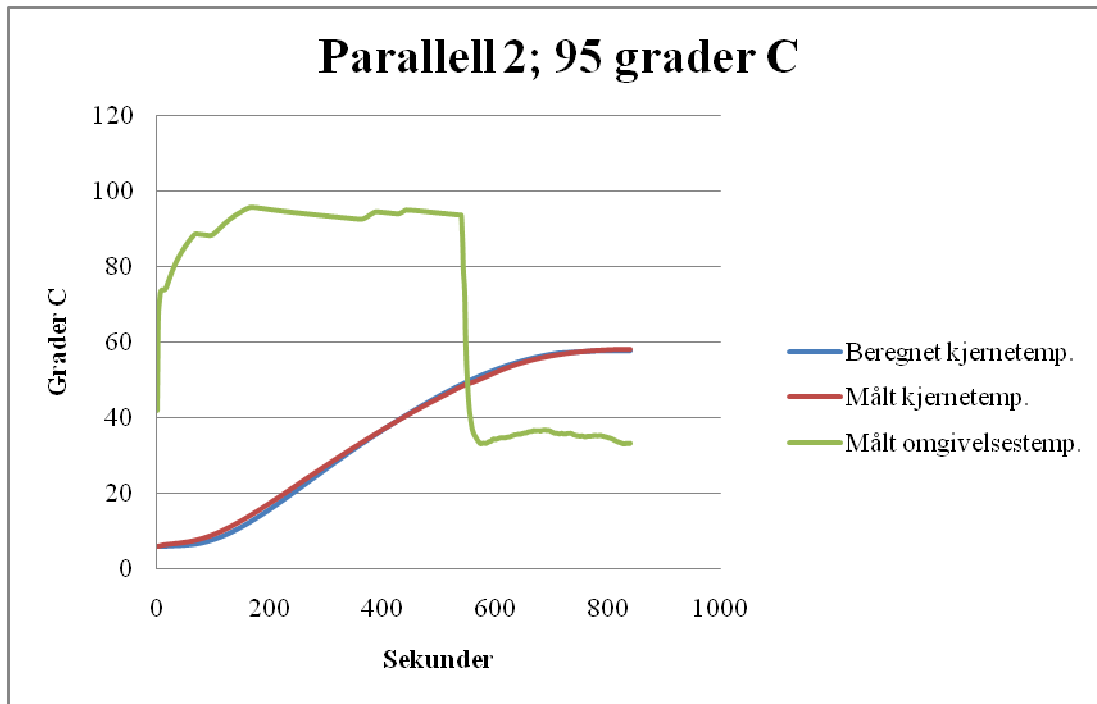
Behandlingstemperatur 85°C:





Behandlingstemperatur 95°C:





Vedlegg

## Vedlegg 2

Egenskapsforklaringer ved bedømming av laks.

### BEDØMMELSE AV LAKS

Egenskapsforklaring

#### LUKT

Syrligluk

Relateres til en frisk, sur/søt lukt  
Ingen intensitet = ingen syrligluk  
Tydelig intensitet = tydelig syrligluk

Metalluk

Lukt av metall (ferrosulfat)  
Ingen intensitet = ingen metalluk  
Tydelig intensitet = tydelig metalluk

Sjøluk

Relateres til lukt av frisk, salt sjø  
Ingen intensitet = ingen sjøluk  
Tydelig intensitet = tydelig sjøluk

#### UTSEENDE

Proteinutfellelse

Grad av proteinutfellelse på overflaten  
Ingen intensitet = ingen proteinutfellelse  
Tydelig intensitet = tydelig proteinutfellelse

Fuktighet på overflaten

Grad av fuktighet på overflaten  
Ingen intensitet = ingen fuktighet (tørr)  
Tydelig intensitet = tydelig fuktighet

#### FARGE (ytre)

Fargetone

Farge bedømt på overflate etter NCS-system  
Ingen intensitet = gul/rød Y 20 R  
Tydelig intensitet =rød Y 80 R

Fargestyrke

Farge bedømt på overflate etter NCS-system  
Ingen intensitet = ingen fargestyrke  
Tydelig intensitet = tydelig fargestyrke

Hvithet

Farge bedømt på overflate etter NCS-system  
Ingen intensitet = ingen hvithet, svart i prøven eller maks kulørt  
Tydelig intensitet = tydelig hvithet

#### FARGE (indre)

Fargetone

Farge bedømt på snitt etter NCS-system  
Ingen intensitet = gul/rød Y 20 R  
Tydelig intensitet =rød Y 80 R

Fargestyrke

Farge bedømt på snitt etter NCS-system  
Ingen intensitet = ingen fargestyrke  
Tydelig intensitet = tydelig fargestyrke



Vedlegg

Hvithet

Farge bedømt på snitt etter NCS-system  
Ingen intensitet = ingen hvithet, svart i prøven eller maks kulørt  
Tydelig intensitet = tydelig hvithet

**SMAK (indre)**

Syrligsmak

Relateres til en frisk, sur/søt smak.  
Ingen intensitet = ingen syrligsmak  
Tydelig intensitet = tydelig syrligsmak

Saltsmak

Relateres til grunnsmaken salt (NaCl)  
Ingen intensitet = ingen saltsmak  
Tydelig intensitet = tydelig saltsmak

Metallsmak

Smak av metall (ferrosulfat)  
Ingen intensitet = ingen metallsmak  
Tydelig intensitet = tydelig metallsmak

Bittersmak

Relateres til grunnsmaken bitter  
Ingen intensitet = ingen bittersmak  
Tydelig intensitet = tydelig bittersmak

Sjøsmak

Relateres til smak av frisk, salt sjø  
Ingen intensitet = ingen sjøsmak  
Tydelig intensitet = tydelig sjøsmak

Harsksmak

Styrken av alle harske smaker (gress, høy, stearin, maling, tran)  
Ingen intensitet = ingen harsksmak  
Tydelig intensitet = tydelig harsksmak

**TEKSTUR (indre)**

Grovhet

Geometrisk teksturegenskap relatert til partikkelstørrelse og partikkelform i et produkt  
Ingen intensitet = ingen grovhet (glatt)  
Tydelig intensitet = tydelig grovhet

Hardhet

Mekanisk teksturegenskap relatert til kraft som må til for å bite gjennom prøven. Bedømmes ved 1.bitt  
Ingen intensitet = ingen hardhet  
Tydelig intensitet = tydelig hardhet

Fethet

Overflateteksturell egenskap relatert til oppfatningen av mengde fett i et produkt, munnfølelsen.  
Ingen intensitet = ingen fethet  
Tydelig intensitet = tydelig fethet

Vedlegg

**Saftighet** Overflateteksturell egenskap som beskriver væske absorbert av eller avgitt fra et produkt.  
Væske avgitt fra prøven, bedømt inntil 4-5 tygg.  
Ingen intensitet = ingen saftighet, ingen væske avgitt fra prøven  
Tydelig intensitet = tydelig saftighet, tydelig mengde væske avgitt fra prøve

## **TEKSTUR (ytre)**

**Grovhet** Geometrisk teksturegenskap relatert til partikkelstørrelse og partikkelform i et produkt  
Ingen intensitet = ingen grovhet (glatt)  
Tydelig intensitet = tydelig grovhet

**Hardhet** Mekanisk teksturegenskap relatert til kraft som må til for å bite gjennom prøven. Bedømmes ved 1.bitt  
Ingen intensitet = ingen hardhet  
Tydelig intensitet = tydelig hardhet

**Fethet** Overflateteksturell egenskap relatert til oppfatningen av mengde fett i et produkt, munnfølelsen.  
Ingen intensitet = ingen fethet  
Tydelig intensitet = tydelig fethet

**Saftighet** Overflateteksturell egenskap som beskriver væske absorbert av eller avgitt fra et produkt.  
Væske avgitt fra prøven, bedømt inntil 4-5 tygg.  
Ingen intensitet = ingen saftighet, ingen væske avgitt fra prøven  
Tydelig intensitet = tydelig saftighet, tydelig mengde væske avgitt fra prøve

## Vedlegg

### Vedlegg 3

Skala benyttet ved profilerende analyse

Syrligluk	1	ingen	tydelig
Metallukt	2	ingen	tydelig
Sjølukt	3	ingen	tydelig
Proteinutfellelse	4	ingen	tydelig
Fuktighet overflate	5	ingen	tydelig
Fargetone (ytre)	6	gul/rød, Y20R	rød, Y80R
Fargestyrke (ytre)	7	ingen	tydelig
Hvithet (ytre)	8	ingen	tydelig
Fargetone (indre)	9	gul/rød, Y20R	rød, Y80R
Fargestyrke (indre)	10	ingen	tydelig
Hvithet (indre)	11	ingen	tydelig
Syrligsmak	12	ingen	tydelig
Saltsmak	13	ingen	tydelig
Metallsmak	14	ingen	tydelig
Bittersmak	15	ingen	tydelig
Sjøs smak	16	ingen	tydelig
Harsksmak	17	ingen	tydelig

## Vedlegg

Grovhet (indre)	18	ingen	tydelig
Hardhet (indre)	19	ingen	tydelig
Fethet (indre)	20	ingen	tydelig
Saftighet (indre)	21	ingen	tydelig
Grovhet (ytre)	22	ingen	tydelig
Hardhet (ytre)	23	ingen	tydelig
Fethet (ytre)	24	ingen	tydelig
Saftighet (ytre)	25	ingen	tydelig

## Vedlegg 4

Tids/aktivitetsplan for gjennomføring av hovedforsøk inkludert randomisering av prøver og arbeidsfordeling.

<b>Forsøk dag 1, 14. September</b>						
<b>Prøve</b>	<b>Oppgave</b>	<b>Tidspunkt</b>	<b>Ovn 1</b>	<b>Ovn 2</b>	<b>Pause panel</b>	
	Posjonere laks	06:00				
	Sette på varmeskap 50°C	08:00				
	Sette på og klargjøre ovner	09:00	65	95		
<b>Demo 1</b>	Laks 65/15 inn ovn	09:47	x			
<b>Demo 2</b>	Laks 95/15 inn ovn	09:47		x		
	Laks 65/15 ut ovn	10:02	x			
	Laks 95/15 ut ovn	10:02		x		
	Demoprøver medbringes til runde rommet, diskusjon	10:05				
<b>Ekstremprøve lav</b>	Laks 65/15 inn ovn	10:20	x			10:20 - 10:35
<b>Ekstremprøve høy</b>	Laks 95/15 inn ovn	10:20		x		
	Laks 65/15 ut ovn	10:35	x			
	Laks 95/15 ut ovn	10:35		x		
	Laks 65/15 serveres	10:38				
	Laks 95/15 serveres	10:38				
	Resultater fra ekstremprøver diskuteres kjøkken	10:43				10:43-11:00
	Panelet samles i runde rommet, diskusjon	11:00				
	Hovedpause	11:30-12:10				11:30-12:30
	Stille inn ovner	12:10	65	85		
<b>1 (65/15)</b>	Laks 65/15 inn ovn	12:13	x			
<b>2 (85/13)</b>	Laks 85/13 inn ovn	12:20		x		
<b>1 (65/15)</b>	Laks 65/15 ut ovn	12:28	x			
	Stille inn ovn/stille klokke på 16 min	12:29	75			
<b>1 (65/15)</b>	Laks 65/15 serveres	12:31				
<b>2 (85/13)</b>	Laks 85/13 ut ovn	12:33		x		
	Stille inn ovn/stille klokke på 10 min 45 sek	12:33		95		
<b>2 (85/13)</b>	Laks 85/13 serveres	12:36				
<b>3 (95/10:45)</b>	Laks 95/10:45 inn ovn	12:37		x		12:40-12:47
<b>4 (75/16)</b>	Laks 75/16 inn ovn	12:38	x			
<b>3 (95/10:45)</b>	Laks 95/10:45 ut ovn	12:47		x		
	Sette klokke på 8 min			95		
<b>3 (95/10:45)</b>	Laks 95/10:45 serveres	12:50				
	Stille inn ovn/ sette klokke på 9min 30 sek	12:51	85			
<b>4 (75/16)</b>	Laks 75/16 ut ovn	12:54	x			

Vedlegg

<b>4 (75/16)</b>	Laks 75/16 serveres	12:57		13:01- 13:09
<b>5 (85/9:30)</b>	Laks 85/9:30 inn ovn	12:59	x	
<b>6 (95/8)</b>	Laks 95/8 inn ovn	13:05		x
<b>5 (85/9:30)</b>	Laks 85/9:30 ut ovn	13:08	x	
<b>5 (85/9:30)</b>	Laks 85/9:30 serveres	13:11		
<b>6 (95/8)</b>	Laks 95/8 ut ovn	13:13		x
<b>6 (95/8)</b>	Laks 95/8 serveres	13:16		
	Forsøk ferdig for panel dag 1	13:20		

**Forsøk dag 2, 15. september**

<b>Prøve</b>	<b>Oppgave</b>	<b>Tidspunkt</b>	<b>Ovn 1</b>	<b>Ovn 2</b>	<b>Pause panel</b>
	Posjonere laks	06:00			
	Sette på varmeskap	08:00			
	Sette på og klargjøre ovner	09:00	75	85	
<b>1(75/11)</b>	Laks 75/11 inn ovn	09:47	x		
<b>2 (85/09:30)</b>	Laks 85/09:30 inn ovn	09:53:30		x	
<b>1(75/11)</b>	Laks 75/11 ut ovn	09:58	x		
	Stille klokke på 16 min.				
<b>1(75/11)</b>	Laks 75/11 serveres	10:01			
<b>3 (75/16)</b>	Laks 75/16 inn ovn	10:02	x		
<b>2 (85/09:30)</b>	Laks 85/09:30 ut ovn	10:03		x	
	Ovn stilles inn/ klokke settes på 15 min.	10:03		95	
<b>2 (85/09:30)</b>	Laks 85/09:30 serveres	10:06			10:11- 10:19
<b>4 (95/15)</b>	Laks 95/15 inn ovn	10:08		x	
<b>3 (75/16)</b>	Laks 75/16 ut ovn	10:18	x		
	Ovn stilles inn/ klokke settes på 15 min.	10:20	65		
<b>3 (75/16)</b>	Laks 75/16 serveres	10:21			
<b>4 (95/15)</b>	Laks 95/15 ut ovn	10:23		x	
<b>5 (95/15;2)</b>	Laks 95/15 ;2 inn ovn	10:24		x	
<b>4 (95/15)</b>	Laks 95/15 serveres	10:26			10:31- 10:40
<b>6 (65/15)</b>	Laks 65/15 inn ovn	10:29	x		
<b>5 (95/15)</b>	Laks 95/15;2 ut ovn	10:39		x	
<b>5 (95/15)</b>	Laks 95/15;2 serveres	10:42			
<b>6 (65/15)</b>	Laks 65/15 ut ovn	10:44	x		
<b>6 (65/15)</b>	Laks 65/15 serveres	10:47			
	Hovedpause	11.00- 11.45			10:52- 12.00
	Ovner stilles inn/ klokker settes på 11 og 10:45	11:45	75	95	
<b>1 (75/11)</b>	Laks 75/11 inn ovn	11:48	x		
<b>2 (95/10:45)</b>	Laks 95/10:45 inn ovn	11:54:00		x	
<b>1 (75/11)</b>	Laks 75/11 ut ovn	11:59	x		

## Vedlegg

	Ovn stilles inn/ klokke settes på 13 min.	12:01	85	
<b>1 (75/11)</b>	Laks 75/11 serveres	12:02		
<b>3 (85/13)</b>	Laks 85/13 inn ovn	12:04	x	
<b>2 (95/10:45)</b>	Laks 95/10:45 ut ovn	12:04:45		x
	Klokke settes på 8 min.			x
<b>2 (95/10:45)</b>	Laks 95/10:45 serveres	12:07:45		12:12- 12:18
<b>4 (95/8)</b>	Laks 95/8 inn ovn	12:14		x
<b>3 (85/13)</b>	Laks 85/13 ut ovn	12:17	x	
<b>3 (85/13)</b>	Laks 85/13 serveres	12:20		
<b>4 (95/8)</b>	Laks 95/18 ut ovn	12:22		x
<b>4 (95/8)</b>	Laks95/18 serveres	12:25		
	<i>Resultater diskuteres kjøkken</i>	12:40- 13:00		
	<i>Panelet samles i runde rommet, diskusjon</i>	13:00 - 13:20		
	Forsøk ferdig for panel dag 2	13:20		

## Arbeidsfordeling kjøkken

Navn	Ansvarsområde	Notere
<b>Marianne</b>	Skjære til fileter	evt. Avvik
	Veie kontrollfileter	Vekt
	Sette inn loggere i kontrollfilet	nummer på logger
	Stille klokker tilhørende ovner	
	Sette inn prøver i ovn	
	Fjerne prøver fra ovn	
	Hente neste brett fra kjøla	
	Rydde/vaske etter forsøk	
	Sette på varmeskap, 50°C	
<b>Inger-Johanne</b>	Servere prøver til dommere ved angitt tid	
	Fjerne prøver etter bedømmning	
	Informere dommerpanel om pauser o.l. Underveis	
	Evt. hjelpe til med andre oppgaver	
<b>Jannike</b>	Fjerne temperaturloggere fra kontrollfilet og	
	Måle farge med minolta og	
	Veie kontrollfileter etter 5 min. hviletid	Vekt
	Klargjøre brukte brett	
<b>Morten</b>	Ta bilder underveis, div.	

Prøve	Syrliglukt	Metalllukt	Sjølukt	Proteinuffelling	Fuktighetpåoverflaten	Fargetone_ytre	Fargestyrke_ytre	Hvithet_ytre	Fargetone_indre	Fargestyrke_indre	Hvithet_indre	Syrligsmak	Saltsmak
65/15	4.20	4.41	3.29	6.35	6.62	5.96	4.41	6.13	5.37	5.44	5.02	3.86	2.16
75/11	4.21	4.50	3.47	5.24	5.61	5.37	4.36	5.97	5.29	5.36	5.00	3.84	2.18
75/16	3.00	4.35	2.72	4.82	5.33	5.44	3.97	6.29	5.27	4.65	5.46	3.90	2.13
85/9:30	3.26	3.99	2.88	2.37	4.37	4.98	4.39	5.84	5.09	4.94	5.32	3.94	2.29
85/13	3.02	3.67	2.62	1.84	4.33	4.97	4.33	5.82	5.15	4.61	5.50	4.07	2.40
95/8	4.15	4.31	3.63	2.08	4.42	5.09	4.49	5.64	5.20	4.77	5.26	4.08	2.16
95/15	4.67	3.98	3.61	1.88	5.24	4.89	4.46	5.66	4.80	3.92	5.99	4.63	2.34
95/10:45	4.07	3.93	3.23	1.48	4.78	5.03	4.32	5.78	4.79	4.14	5.65	4.53	2.23
p-verdi	<0.0001	0.0205	0.0026	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.1662	0.0001	0.0033	<0.0001	<0.0001	0.1174	0.1474

Prøve	Metallsmak	Bittersmak	Sjøsmak	Harsksmak	Grovhet_indre	Hardhet_indre	Fethet_indre	Saftighet_indre	Grovhet_ytre	Hardhet_ytre	Fethet_ytre	Saftighet_ytre
65/15	5.05	4.62	3.24	1.23	3.61	3.18	3.57	6.91	4.01	3.81	4.18	6.14
75/11	4.88	4.16	3.28	1.48	3.67	3.33	3.80	6.74	4.46	4.14	4.47	5.57
75/16	4.67	4.40	3.20	1.89	4.11	3.69	4.13	6.12	4.43	4.24	4.58	5.05
85/9:30	4.78	4.60	3.04	1.44	3.99	3.52	3.87	6.14	4.45	4.31	4.61	5.29
85/13	4.48	4.56	3.19	1.43	4.43	3.87	4.18	5.61	4.93	4.73	4.27	4.63
95/8	4.83	4.66	3.26	1.37	3.83	3.37	3.87	6.29	4.47	4.30	4.48	5.22
95/15	4.49	4.19	3.67	1.31	4.66	4.45	4.24	5.26	4.81	4.65	4.37	4.54
95/10:45	4.69	4.23	3.65	1.32	4.37	3.97	4.09	5.68	4.58	4.49	4.36	4.82
p-verdi	0.1971	0.3215	0.3999	0.0500	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0003	<0.0001	0.2034	<0.0001



## Vedlegg

### Vedlegg 6

Sensoriske resultater for egenskapen hardhet (indre) presentert som et gjennomsnitt av prøver innen respektive temperaturgrupper. Resultatene er gitt ved hjelp av en ANOVA tukey grupperingstest. Bokstaver angir signifikansnivå mellom grupper hvorav grupper med samme bokstav ikke er signifikant forskjellige.

Kjernetemperatur	Gjennomsnitt av bedømming av hardhet (indre)
50	4,45a
60	3,84b
70	3,34c