

Utvikling av effekt- og energieffektive tørkesystemer for klippfisknæringen ved bruk av varmepumper

Henrik Gade

Master i produktutvikling og produksjon
Oppgaven levert: Juni 2009
Hovedveileder: Trygve Magne Eikevik, EPT

Oppgavetekst

Bakgrunn

Klippfisknæringen er en av Norges største foredlingsindustrier med nest størst eksportverdi (etter laks) innen fisker og havbruk. Det tradisjonsbaserte produkt er fortsatt sterkt etterspurt i mange områder, men som eksportnæring er den også sterkt konkurranseutsatt. Produksjonen er i dag ikke lenger tradisjonell utendørs tørking, men foregår i hovedsak i varmepumpebaserte tunneler med resirkulasjon av tørkelufta. Vannet fra fisken opptas av varm og avfuktet luft (maks 25C), som etter området med fisk blåser over en fordampner (luftkjøler) som senker temperaturen nok til at vann kondenseres ut som dugg på fordampneren og vannet fjernes fra systemet. Denne vannmengden er den samme som har dampet av fra fisken. energien tatt fra lufta i luftkjøleren, blir så brukt til å løfte temperaturen på tørkelufta igjen gjennom en kondensator (luftvarmer). Energien resirkuleres derved og gir en betydelig besparelse (ca. 70-80 %) i forhold til direkte oppvarming av uteluft. Det brukes et lukket tørkesystem som er avhengig av uteluftens tilstand.

Industrien finansierer i dag et stort utviklingsprogram for å bedre lønnsomheten og teknologi er en sentral aktivitet. Forbedring av tørkeprosessen og redusert energibruk er sentralt for å sikre høy kvalitet og rett tørrhet i produktet.

Mål

Målsettingen med oppgaven er å lage mer effektive varmepumpesystem, hvor en skal optimalisere varmepumpen og tørkens effekt på tørketid.

Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter:

1. Gjennomføre litteraturstudium vedr. tørking av klippfisk i varmepumpetørker
2. Videreføre tørkeforsøk hvor vanninnhold og tørkerater måles som funksjon av temperaturnivå, relativ fuktighet i tørkeluft og lufthastighet
3. Vurdere konsekvenser av tunnelens driftsbetingelser mhp luftstrømning, temperatur og relativ fuktighet
4. Utarbeide forslag til ulike systemløsninger for varmepumpesystemer for klippfisk
5. Beregne effekt og energibehov for de ulike systemløsninger
6. Utarbeide forslag til videreføring

Senest 14 dager etter utlevering av oppgaven skal kandidaten levere/sende instituttet en detaljert fremdrifts og evt. forsøksplan for oppgaven til evaluering og evt. diskusjon med faglig ansvarlig/veiledere. Detaljer ved evt. utførelse av dataprogrammer skal avtales nærmere med faglig ansvarlig.

Besvarelsen redigeres mest mulig som en forskningsrapport med sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Med henblikk på lesning av



MASTEROPPGAVE

for

Stud.techn. Henrik Gade

Våren 2009

Utvikling av effekt- og energieffektive tørkesystemer for klippfisknæringen ved bruk av varmepumper

Development of effect and energy efficient drying systems for the clip fish industry using heat pumps

Bakgrunn

Klippfisknæringen er en av Norges største foredlingsindustrier med nest størst eksportverdi (etter laks) innen fisker og havbruk. Det tradisjonsbaserte produkt er fortsatt sterkt etterspurt i mange områder, men som eksportnæring er den også sterkt konkurranseutsatt. Produksjonen er i dag ikke lenger tradisjonell utendørs tørking, men foregår i hovedsak i varmepumpebaserte tunneler med resirkulasjon av tørkelufta. Vannet fra fisken opptas av varm og avfuktet luft (maks 25 °C), som etter området med fisk blåser over en fordamper (luftkjøler) som senker temperaturen nok til at vann kondenseres ut som dugg på fordamperen og vannet fjernes fra systemet. Denne vannmengden er den samme som har dampet av fra fisken. Energien tatt fra lufta i luftkjøleren, blir så brukt til å løfte temperaturen på tørkelufta igjen gjennom en kondensator (luftvarmer).. Energien resirkuleres derved og gir en betydelig besparelse (ca. 70-80 %) i forhold til direkte oppvarming av uteluft. Det brukes et lukket tørkesystem som er uavhengig av uteluftens tilstand.

Industrien finansierer i dag et stort utviklingsprogram for å bedre lønnsomheten og teknologi er en sentral aktivitet. Forbedring av tørkeprosessen og redusert energibruk er sentralt for å sikre høy kvalitet og rett tørrhet i produktet.

Mål

Målsettingen med oppgaven er å lage mer effektive varmepumpesystem, hvor en skal optimalisere varmepumpen og tørkens effekt på tørketid.

Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter:

1. Gjennomføre litteraturstudium vedr. tørking av klippfisk i varmepumpe-tørker
2. Videreføre tørkeforsøk hvor vanninnhold og tørkerater måles som funksjon av temperaturnivå, relativ fuktighet i tørkeluft og lufthastighet
3. Vurdere konsekvenser av tunnelens driftsbetingelser mhp luftstrømning, temperatur og relativ fuktighet
4. Utarbeide forslag til ulike systemløsninger for varmepumpesystemer for klippfisk
5. Beregne effekt og energibehov for de ulike systemløsninger
6. Utarbeide forslag til videreføring

Senest 14 dager etter utlevering av oppgaven skal kandidaten levere/sende instituttet en detaljert fremdrift- og evt. forsøksplan for oppgaven til evaluering og evt. diskusjon med faglig ansvarlig/veiledere. Detaljer ved evt. utførelse av dataprogrammer skal avtales nærmere i samråd med faglig ansvarlig.

Besvarelsen redigeres mest mulig som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Med henblikk på lesning av besvarelsen er det viktig at de nødvendige henvisninger for korresponderende steder i tekst, tabeller og figurer anføres på begge steder. Ved bedømmelsen legges det stor vekt på at resultatene er grundig bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte, og at de er diskutert utførlig.

Alle benyttede kilder, også muntlige opplysninger, skal oppgis på fullstendig måte. (For tidsskrifter og bøker oppgis forfatter, tittel, årgang, sidetall og evt. figurnummer.)

Det forutsettes at kandidaten tar initiativ til og holder nødvendig kontakt med faglærer og veileder(e). Kandidaten skal rette seg etter de reglementer og retningslinjer som gjelder ved alle (andre) fagmiljøer som kandidaten har kontakt med gjennom sin utførelse av oppgaven, samt etter eventuelle pålegg fra Institutt for energi- og prosesssteknikk.

I henhold til "Utfyllende regler til studieforskriften for teknologistudiet/sivilingeniørstudiet" ved NTNU § 20, forbeholder instituttet seg retten til å benytte alle resultater i undervisnings- og forskningsformål, samt til publikasjoner.

Ett -1 komplett eksemplar av originalbesvarelsen av oppgaven skal innleveres til samme adressat som den ble utlevert fra. (Det skal medfølge et konsentrert sammendrag på maks. en maskinskrevet side med dobbel linjeavstand med forfatternavn og oppgavetittel for evt. referering i tidsskrifter).

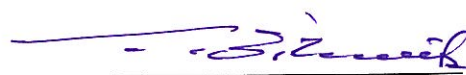
Til Instituttet innleveres to - 2 komplette, kopier av besvarelsen. Ytterligere kopier til evt. medveiledere/oppgavegivere skal avtales med, og evt. leveres direkte til, de respektive.

Til instituttet innleveres også en komplett kopi (inkl. konsentrerte sammendrag) på CD-ROM i Word-format eller tilsvarende.

Institutt for energi og prosesssteknikk, 12. januar 2009



Johan Hustad
Instituttleder



Trygve M. Eikevik
Faglig ansvarlig/veileder

Medveileder(e)

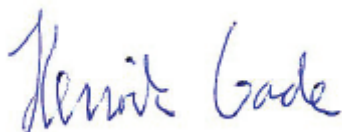
Forord

Denne masteroppgaven ble utført ved NTNU vårsemesteret 2009. Forsøk ble kjørt i kuldeteknisk lab på Gløshaugen.

Jeg vil takke min veileder Trygve Magne Eikevik for et godt samarbeid under hele oppgaven.

Dessuten har Per Egil Gullsvåg og Camilla Clausen vært svært behjelpelige under kjøringen av forsøkene, og jeg vil takke SINTEF for øvrig for fredelig sameksistens på laboratoriet, på tross av forsinkelser og mangel på utstyr.

Ellers har både Gunnar Lohse og Martin Bustadmo vært til uvurderlig hjelp i ombygging og kjøring av tørkeriggen



Henrik Gade, 8. juni 2009

Sammendrag

Litteraturstudien viste at tørkehastigheter i klippfiskproduksjon påvirkes av forholdene i tørkeluften; relativ fuktighet, temperatur og lufthastighet. Det er to typer tørker som er utbredt, nemlig langsblåste tørker med kontinuerlig drift og tverrblåste tørker med batchdrift. Den langsblåste er vesentlig mer energieffektiv enn den tverrblåste. I et typisk anlegg står flere tunneler i serie, med hvert sitt avvanningsaggregat.

Det ble kjørt forsøk på en tørkerigg på kuldeteknisk lab på Gløshaugen. Her ble det logget temperatur og luftfuktighet før og etter tørkekammeret, hensikten var å holde disse parameterne konstante i hvert forsøk. Tørkekammeret var delt i to slik at det var forskjellige lufthastigheter i hver del, 1 m/s i det ene kammeret og 3 m/s i det andre. Vekten av hver fisk ble logget gjennom tørkeforløpet. Dette ble for alle unntatt en utført manuelt. Den siste ble satt opp slik at vekten ble logget hvert femte minutt. Dessverre ble disse målingene påvirket av friksjon langs stagene som forbandt fisken med vekten.

Basert på målingene ble det satt opp kurvetilpassninger for å finne kurver for tørkehastighet. Det ble funnet at tørkehastighetene ble påvirket av hvordan tørkeprosessen har forløpt forut for det aktuelle punktet.

Med utgangspunkt i en tverrblåst batchtørke med tre tunneler i parallell ble det gjennomført casestudie hvor tørkeforløpet ble modellert i Excel ved hjelp av rnlb og hxsim. Tabeller for tørkehastigheter ble tatt fra forsøkene. Siden det ble observert at disse påvirkes av tørkeforløpet forut fører dette til vesentlig unøyaktighet, og det er ønskelig at det på et senere tidspunkt blir utarbeidet en modell som beskriver tørkehastighetenes utvikling mer nøyaktig.

Med dette forbeholdet ble det utviklet tre case. Case 1 viser en prosess uten regulering av ytelsen med tre tunneler i parallell, case 2 viser en prosess med ytelsesregulering med tre tunneler i parallell, og case 3 har ytelsesregulering og tre tunneler i serie, drevet av et indirekte varmpumpesystem.

Det ble funnet at det for slike anlegg er vesentlig potensial for forbedring både på nødvendig installert effekt og energiforbruk totalt ved å benytte case 3 istedenfor case 1. Case 3 oppnådde mer enn dobbelt så høy SMER (kg vann fjernet per kWh) med 20 % lavere effektbehov.

Abstract

In a survey done on drying of salted codfish, clippfish, it was found that the rate of moisture removal is affected by the properties of the drying air, its relative humidity, temperature and velocity. Two common types of drying tunnels are widely used, the counter flow continuous dryer and the cross flow batch dryer. The counter flow dryer is by far the most energy efficient of the two. Usually there will be several tunnels in parallel on a production site.

Measurements were made on a drying apparatus located at NTNU's Gløshaugen campus. Temperature and relative humidity were logged prior to and after the drying chamber, and held as constant as possible throughout the drying process. The drying chamber was divided in two, to allow drying air of different velocity into each chamber. The air velocity remained fixed at 1 m/s and 3 m/s in all experiments, while relative humidity ranged between 30 % and 60 %, and temperature was held at either 22 C or 24 C. For all except one fish the weight was logged manually. The remaining fish was connected to a separate weight which logged with 5 minute intervals. These measurements were subject to friction, and must be discarded.

Based on the measurements taken, curves were constructed to describe the development of drying rates at fixed relative humidity, temperature and velocity of the drying air. It was found that the drying rates are connected to the drying process prior to the point of interest.

With a crossflow batch dryer and three tunnels in parallel, a case study was conducted using Excel with rnlb and hxsim. Tables for drying rates were taken from the measurements even though this was known to cause inaccuracy. Future studies should be conducted to establish a model which describes the development of the drying rates with certainty.

With this known limitation three cases was explored. Case 1 was a process with no regulation of effect and three parallel tunnels, case 2 was a process with effect regulation and three parallel tunnels, and the third case was a process with regulation and three tunnels linked in series, driven by an indirect heat pump system.

It was found that the potential for improvements of crossflow batch dryers is possibly large, both on installed effect and energy usage. Case 3 reached more than twice the SMER (specific moisture extraction rate [kg water removed per kWh]) with a 20 % reduction in installed effect.

1. Innledning.....	2
2. Litteraturstudie	3
2.1 Hva er klippfisk.....	3
2.1.2 Kvalitet.....	3
2.2 Klippfiskproduksjon i dag.....	4
2.2.2 Preparering og salting.....	4
2.2.3 Tørking.....	4
2.2.4 Tørketunneler	5
2.2.5 Varmepumpeanlegg	6
2.2.6 Energiutnyttelse.....	7
3.0 Forsøk.....	9
3.1 Anlegg	10
3.1.1 Instrumentering	12
3.1.2 Innstilling av lufthastighet.....	13
3.2 Preparering av fisk	14
3.2.1 Måling av initialt vanninnhold	14
3.2 Resultater.....	15
3.2.1 Forsøk1.....	15
3.2.7 Kontinuerlige målinger	17
3.3 Tolkning	18
3.3.1 Kurvetilpasning	18
3.3.2 Tørkerater	21
3.3.3 Variasjon i tørkehastighet på grunn av lufthastighet.....	22
3.3.4 Variasjon i tørkehastighet som følge av temperatur.....	24
3.3.5 Variasjon i tørkehastighet som følge av relativ fuktighet	25
3.3.6 Diskusjon.....	27
4.0 Systemløsninger	28
4.1 Anlegg	29
4.1.1 Vifter	29
4.1.2 COP	30
4.2 Case 1	30
4.3 Case 2	32
4.4 Case 3	35
4.5 Diskusjon.....	36
5.0 Konklusjon	37
6.0 Forslag til videreføring.....	38
7.0 Kilder.....	40
Vedlegg	40
A	40
B	41
C	51

1. Innledning

Dette er en masteroppgave i sivilingeniørstudiet ved NTNU. Oppgaven ble skrevet våren 2009, og er en videreføring av fordypningsprosjekt fra høsten 2008.

Denne rapporten er inndelt i tre hoveddeler: En litteraturstudie om klippfisk og klippfisktørring, beskrivelse og resultater av en serie med tørkeforsøk gjennomført i en ombygd tørkerigg i NTNUs kuldelab, samt casestudie av systemløsninger for klippfiskanlegg.

Til litteraturstudiet er det i hovedsak tatt utgangspunkt i rapporter fra SINTEF energiforskningsprosjekt om klippfiskproduksjon gjennomført i perioden 1.3.2005 - 31.12.2007 for fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond. I tillegg har jeg brukt Strømmens doktoravhandling fra 1980 og Lynums "Videreforedling av fisk" og noen andre kilder.

Tørkeriggen ble ombygd slik at tørkekammeret besto av to kammer med forskjellig lufthastighet, samt en kontinuerlig veiastasjon for den ene fisken. For å passe i riggen måtte fisken prepareres noe. Forsøkene ble utført i perioden 17.februar til 22.mars 2009, og det ble kjørt i alt 8 serier. Den ene måtte forkastes på grunn av strømrudde underveis, med det resultat at vi gikk tom for fisk og tid. Derfor ble de siste forsøkene kjørt en dag kortere enn de fire første, som kjørte i tre døgn, og det aller siste forsøket, forsøk 7, ble kjørt med bare en fisk som lå på den kontinuerlige veiastasjonen.

Casestudiens hensikt var å finne mer effekt- og energieffektive systemløsninger for typiske klippfiskanlegg. Til dette ble det brukt Excel med hxsim og rnlb, og bakgrunnen ble hentet fra litteraturstudien. Først og fremst Alvestad (2007), Walde og Jonassen (2006) og Jonassen, Walde og Magnussen (2007).

2. Litteraturstudie

2.1 Hva er klippfisk

Klippfisk lages først og fremst av torsk og sei, men også lange, brosme og hyse. Fisken blir hodekappet, rensset og saltet før den tørkes. Tradisjonelt ble fisken tørket på klippene, og det er slik den har fått sitt norske navn. Klippfiskens opprinnelse ligger i oppdagelsen av de rike fiskebankene utenfor Newfoundland på starten av 1500 tallet. Siden det ikke var noen befolkning som kunne tørke fisken der, var salting mest hensiktsmessig når fisken skulle transporteres over Atlanteren. Når den kom frem ble den tørket på klippene.

Klippfisken har siden blitt en del av matkulturen rundt Middelhavet, særlig på den iberiske halvøy, men også i en del av disse landenes tidligere kolonier i Afrika, Sør- og Mellom-Amerika. Den mest kjente retten basert på klippfisk er bacalao, som er svært populær særlig i Portugal og Brasil. Rundt påske er etterspørselen på sitt høyeste fordi katolikker er tillatt å spise klippfisk i fasten.

Eksport av klippfisk fra Norge tok til på 1800-tallet, og har siden det vokst seg til å bli en betydelig eksportartikkel (se tabell 2.1). Produksjonen er nå industriell og foregår i tørkeanlegg. [Strømmen, 1980]

Type klippfisk	Eksportverdi 2006, i millioner NOK
Torsk	1 784,8
Sei	936,2

Tabell.2.1 [Statistisk sentralbyrå]

2.1.2 Kvalitet

Hvordan måles kvalitet på klippfisk? Konsumentenes preferanser bør ha en viktig rolle i kvalitetsstyringen av klippfisk.

Etter nye handelsregler i Portugal har navnet ”bacalhau” blitt beskyttet og kan nå bare brukes om atlantehavstorsk. Dette bør være til norske produsenters fordel. Dessuten er det opprettet et system for å klassifisere klippfisken etter tørrhetsgrad, noe som setter krav til styringen av tørkeprosessen og kontrollen av vanninnholdet [Østli, 2007].

Undersøkelser viser at vedrørende det ferdige måltidet hvor klippfisk inngår har konsumentene problemer med å skille de forskjellige kvalitetene av klippfisk, mens de ofte har en formening om hva de ser etter når de kjøper varen. Undersøkelser viser at farge er den viktigste av disse faktorene, fulgt av tekstur og, i mindre grad, tykkelse [Østli, Heide, 2007].

Av dette kan vi trekke at vi kan markedsføre klippfisken etter hvor hvit den er, og at misfarget fisk eventuelt kan brukes i ferdiglagde produkter, type ”Fjordland”.

2.2 Klippfiskproduksjon i dag

Vannmolekylet er bipolar, det vil si at det er svakt elektrisk ladet og at det vil binde seg til andre ladede molekyler. I en fisk vil det si at vannet binder seg til blant annet proteiner og salter. Vannet som ikke er bundet på denne måten er det som sopp og bakterier har til rådighet. Vanninnhold i mat betegnes gjerne med vannaktivitet som er forholdet mellom damptrykket nær overflaten på produktet og damptrykket ved overflaten av rent vann. Denne vil innstille seg som den relative fuktigheten i tørkeluften [Lynum, 2005]:

$$a_w = \frac{P}{P_0}$$

Både salting og tørking har som hensikt og redusere vannaktiviteten i fisken slik at den ikke skal bli bedervet. Vanlig for næringsmidler er at vannaktiviteten skal være under 0,9. Forholdet mellom vanninnhold og vannaktivitet når produktet er i likevekt med omgivelsene kalles en sorbsjonsisoterm, og ved å studere slike kan man se at klippfisk får vesentlig lavere vannaktivitet per vanninnhold enn f. eks tørrfisk på grunn av saltingen den gjennomgår.

Tørkingen og saltingen gir også produktet dens spesielle smak, farge, tekstur og konsistens som skiller den fra andre produkter og gjør den vanskelig å erstatte i mange matretter.

2.2.2 Preparering og salting

Når fisken kommer inn på mottakene blir den hodekappet, rensed og flekket. Skinn blir ikke fjernet. En konsekvens av dette er at tørkehastigheten på skinnsiden av fisken er omtrent halvparten i forhold til på kjøttssiden [Strømmen, 1980]. Skinnen utgjør også en barriere for saltet, og i varmere strøk kan denne bli såpass hindret at fisken blir bedervet [Lynum, 2005]. Dersom flekkingen ikke er riktig utført vil det medføre at fisken er betydelig tykkere på midten enn på sidene, noe som vil påvirke kvaliteten (og tørkehastigheten).

Før saltingen har torskefisk typisk et vanninnhold på ca 81 % [ASHRAE, 2006, Handbook – Refrigeration]. Saltingsprosessen utføres i dag enten som lakesalting eller tørrsalting, og tar omkring en måned. Konsekvensene av denne behandlingen er at fisken tar til seg salt og mister vann, og den ferdig saltede fisken består av ca 57 % vann, 18 % salt og 24 % protein. [Strømmen, 1980] Dessuten går fisken igjennom en modningsprosess når den saltes, enzymer og bakterier sørger for å gi fisken smak. [Lynum, 2005].

2.2.3 Tørking

Tørking av klippfisk foregår i dag i tørketunneler, hvor varm og tørr luft blåses over fisken. Tørkehastigheten vil avhenge av relativ luftfuktighet, temperatur, fiskens struktur og hastigheten på tørkeluften. Tørkeprosessen er rent konvektiv. Ellers vil naturligvis fiskens størrelse spille inn, mindre intuitivt er det kanskje at torsk tørker raskere enn sei [Jonassen, Walde, 2006e].

I starten vil tørkehastigheten være proporsjonal med hastigheten på tørkeluften. Da er fiskens overflate våt og det vil danne seg et sjikt med mett luft langs fisken, og tørkehastigheten stiger ettersom fisken varmes opp. Når fisken når luftas våtkuletemperatur vil den oppnå termisk likevekt med luften og tørkehastigheten vil en stund være konstant. Denne perioden slutter når vanntransporten inne i fisken blir begrensende, overflaten blir tørr og tørkehastigheten faller. (se fig.2.1)

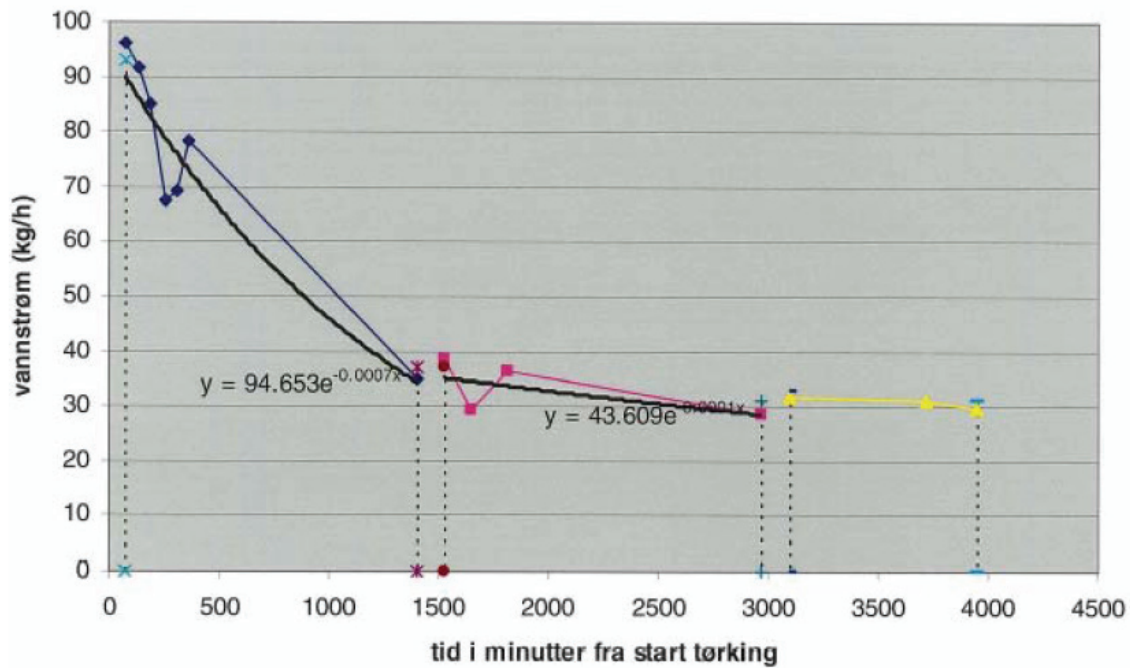


Fig.2.1 skisse vannmengde mot tid.[Jonassen, Walde, Magnussen, 2004]

I den siste fasen antas det at lufthastigheten mye mindre å si, da er temperaturen i fisken avgjørende fordi den fremmer diffusjonen av vann mot overflaten. [Lynum, 2005].

Klippfisken tørkes til mellom 30 og 50 % vanninnhold, og en typisk tørrhetsgrad er 7/8 tørr. Den består da av 45 % vann, 34,5 % protein og 19 % salt, og har en vannaktivitet på under 0,7. Sorbsjonsisotermen flater ut etter dette nivået, og det må hentes ut mye vann for å redusere vannaktiviteten ytterligere [Strømmen, 1980].

Brenning er denaturering av proteiner som skyldes at temperaturen i tørken er for høy, dette forringer kvaliteten og temperaturen må innstilles lavere enn brenningsgrensen, som ligger mellom 26,5 og 27 grader C. [Jonassen, Walde, 2006e].

Dersom tørkehastigheten blir for høy vil det danne seg en tørkeskorpe på fisken bestående av stoffer som var oppløst i vannet som har fordampet [Bolland, 1994]. Dette kommer av at tørkehastigheten er for høy til at disse kan fordele seg jevnt i fisken ved diffusjon. Proteiner vil denatureres pga saltkonsentrasjonen og danne en limaktig skorpe som forringer kvaliteten og reduserer tørkehastigheten [Lynum, 2005]. Dersom temperaturen holdes under brenningsgrensen er dannelsen av tørkeskorpe ikke avhengig av tørkehastigheten [Jonassen, Walde, 2006e].

2.2.4 Tørketunneler

Det brukes i dag to typer tørker for klippfisk: tverrblåst batchtørke og langsblåst kontinuerlig tørke. Felles for dem er at fisken legges i stativer og settes inn i en tunnel hvor tørkeluft blåses over fisken. Tørkeluften resirkuleres i anlegget, og avfuktes og varmes opp igjen i et varmpumpeanlegg.

Fisken lastes manuelt på Brett, som stables i traller og settes inn i tunnelen. I batchtørken fylles tunnelen helt før den starter opp, og hele partiet tørkes simultant. Sortering foregår også

manuelt, og dersom det er stor variasjon i størrelsen på fisken i et parti vil tørkehastigheten variere mellom dem. Resultatet kan bli at stor fisk ikke er ferdigtørket og liten fisk tørket for mye.

I den kontinuerlige tørken mates traller inn i den ene enden, og den ferdig tørkede fisken hentes ut på den andre siden. Vi får da et kontinuerlig produksjonsbånd med helt våt fisk i den ene enden og helt tørr i den andre. Tørkeluften blåstes enten mot eller med retningen trallene dras i. Dersom den blåses i motstrøm vil tørkehastigheten bli høy, men med høy fare for brenning av den tørreste fisken, mens medstrøm vil gi lav tørkehastighet og høy kvalitet [Strømme, 1980].

Mens det i de langsblåste tørkene er en eller noen få vifter som blåser tørkeluften på langs av tunnelen, er det i batchtørkene mange mindre sirkulasjonsvifter som blåser på tvers av tunnelen. Oppfuktning og nedkjøling av tørkeluften starter når den treffer den første fisken, slik at det i batchtørken kan bli et problem med variasjon i tørkehastighet på den fisken som treffes først og den som treffes sist.

For å motvirke dette kjører noen produsenter viftene baklengs slik at luftstrømmen endrer retning. Dette er en svært lite gunstig situasjon. For det første kjøres ikke viftene i den retning de er konstruert for, og dette fører til en ytelsesreduksjon. Dessuten vil de da blåse mot aggregatviftene. Denne praksisen er lite gunstig og bør opphøre [Alvestad, 2007].

2.2.5 Varmepumpeanlegg

For avfuktning og oppvarming av tørkeluften brukes et varmepumpeanlegg. Varm tørr luft blåses mot fisken, og den blir kjølt ned og oppfuktet når den kommer ut på andre siden. Der vil en fordampner kjøle luften ytterligere ned, slik at vannet kondenserer ut. Tørkeluften går så inn i varmepumpens kondensator og varmes opp igjen.

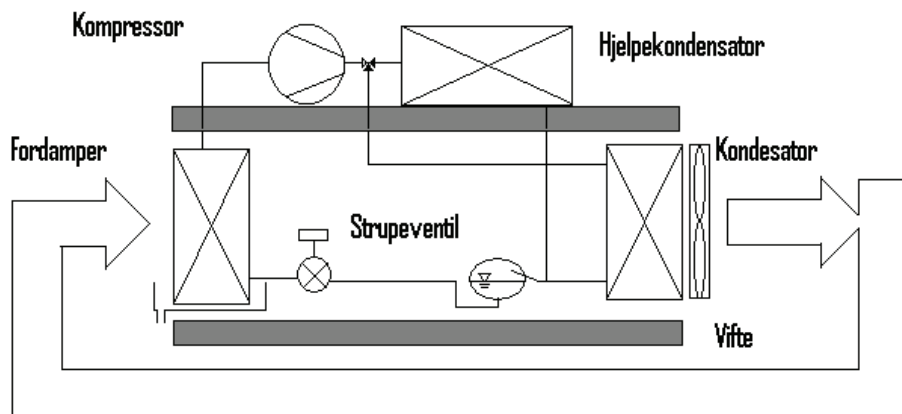


Fig. 2.3 Varmepumpeanlegg, skjematisk

Varmen fra kompressoren og viften må fjernes, og dette gjøres med en hjelpeskonsator, ofte montert på taket av anlegget. Denne overskuddsvarmen kunne blitt utnyttet til andre formål.

Oppfuktningen av tørkeluften skjer med konstant entalpi, og luften kan for eksempel gå fra 22,7C og 31 % relativ fuktighet ved start, til 19,4C og 48 % relativ fuktighet før fordampner [Jonassen, Walde, 2006a]. I varmepumpens fordampner blir tørkeluften avkjølt til under

duggpunkt, og vann kondenserer ut. Vannet blir samlet i en dryppbakk og ledet ut. Oppfuktningen og tørkingen betraktes gjerne i et Mollier-diagram (hx- diagram).

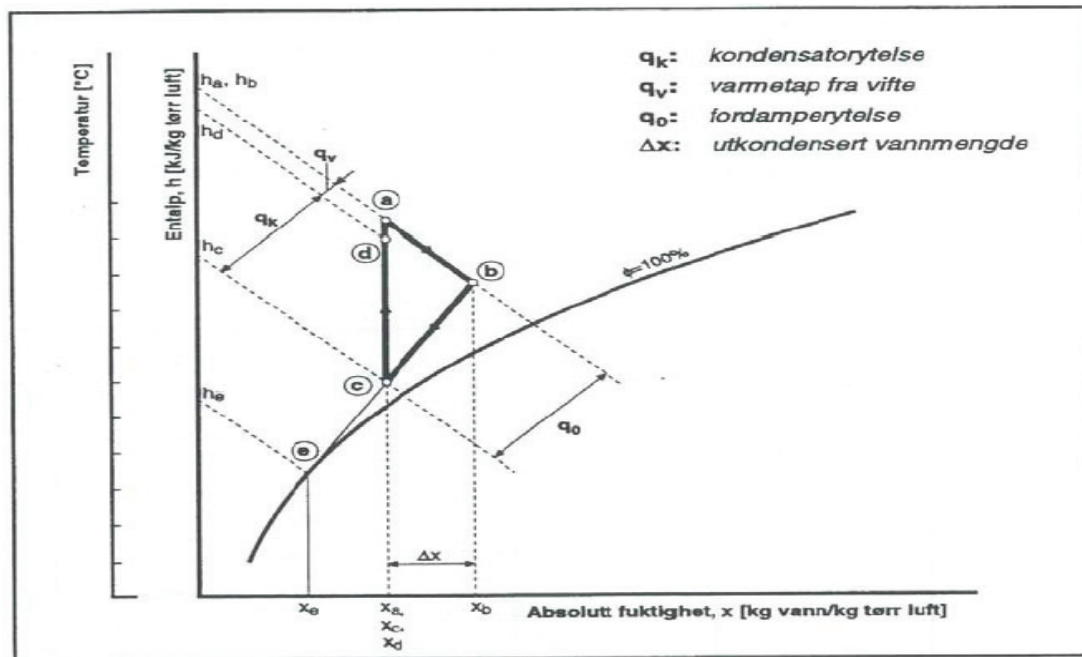


Fig.2.4 Mollier-diagram [Magnussen, 2008]

Vanlige kuldemedier er ammoniakk, R22 og R404a [Jonassen, Walde, 2006a]. En overgang til mer bruk av ammoniakk er ønskelig ettersom andre syntetiske kuldemedier planlegges og fases ut. De blir også rammet av avgifter fordi de er skadelige for klimaet.

I en batchtørke vil, som tidligere nevnt, all fisken være i samme stadium av tørkeprosessen, og etter at overflaten på fisken har tørket vil tørkehastigheten falle og bli begrenset av diffusjonshastigheten inne i fisken. Da vil det lønne seg å regulere ned prosessen slik at den tilpasser seg den nye situasjonen.

En måte å regulere anlegget på er å stenge av deler av kondensatorene. En magnetventil stenger av et væskedrensrør og fyller opp deler av kondensatoren. Dette øker trykket i kondensatoren og fører mer trykk-gass til hjelpkondensatoren, og er lite gunstig energimessig [Jonassen, Walde, 2006a]. En annen måte er å ha kompressorer med kapasitetsregulering. Kapasitetsregulering er ikke vanlig i klippfiskindustrien i dag [Magnussen, 2008].

2.2.6 Energiutnyttelse

Specific Moisture Extraction Rate (SMER) viser hvor mye vann som fjernes fra produktet per energienhet, og bør følgelig være høyest mulig.

Undersøkelser viser at i dagens anlegg kommer den kontinuerlige langsblåste adskillig bedre ut enn de tverrblåste batchtørkene, med mer enn dobbelt så høy SMER. Mye av dette må tilskrives batchtørkenes nåværende design, som har lite fokus på energiutnyttelse. Særlig etter at overflaten er tørr vil den bli preget av lite oppfuktning av tørkeluften, mens lufthastigheten ikke reguleres tilsvarende. Energibruken per kg vann vil være tre ganger høyere på dag nummer tre i tørkeforløpet i forhold til dag nummer en [Magnussen, 2008].

Bruken av viftene står for en stor del av energibruken, og blir ikke benyttet optimalt. Det er vanlig med små vifter med høyt turtall og lav virkningsgrad. Praksisen med å snu viftene medfører også stort tap, antagelig unødvendig, siden oppfuktningen av tørkeluften allikevel er

så lav. Ellers blir trallene satt slik at mye luft går rundt dem, noe som ikke er optimalt. En stor del av tørkeluften går ufuktet under over og ved siden av trallene og medfører økt energibruk på vifter.

For den langsblåste tunnelen vil det være viktig å ha riktig lengde på tunnelen i forhold til lufthastighet, og en riktig dimensjonert varmpumpe.

Temperaturdifferansene i kondensator og fordamper er også generelt høye, og effektbehovet vil kunne reduseres hvis man installerer større varmevekslere. Det vil være en økonomisk avveining mellom energikostnad og kapitalkostnad [Jonassen, Walde, 2006a].

3.0 Forsøk

Forsøk	Relativ fuktighet inn [%]	Temperatur inn [C]	Damptrykk [Pa]
1	40	22	1058
2	50	22	1322
3	60	22	1587
4	30	24	895
5	40	24	1194
6	50	24	1492
7	60	24	1791

Tab 3.0

Det ble gjennomført forsøk for å studere tørkerater som funksjon av temperatur, fuktighet og hastighet på tørkeluften, og tid fra start. Som avdekket i litteraturstudien ville vi forvente at lufthastigheten hadde mest å si i starten av tørkeforløpet, og at tørkeraten skulle stabilisere seg på et tilnærmet konstant nivå etter en viss tid.

Tidligere har målinger på klippfisktørker blitt utført manuelt, og målingene blitt tatt på dagtid. Dette har medført at man får relativt store tidsrom uten målinger, særlig kveld og natt. I denne oppgaven ble det benyttet en vekt med software som kunne stilles inn til å logge vekten med valgte tidssprang. En fisk i hvert forsøk ble veid på denne måten.

Forsøkene ble utført i perioden 17.februar til 22.mars 2009, og det ble kjørt i alt 8 serier. Den ene måtte forkastes på grunn av strømbrudd underveis. På grunn av dette ble varigheten på de siste seriene kortet ned for å få tid, dessuten ble en siste serie kjørt med bare en fisk på den kontinuerlige vekten, fordi vi gikk tom for fisk. Relativ fuktighet og temperatur i tørkeluften ble logget hvert minutt. Verdien i tabell 3.1 under er gjennomsnittet av disse målingene, og tabell 3.0 er det som var målsetningen. Alle målinger er vedlagt som Data.xls.

Forsøk	Relativ fuktighet inn	Std. avvik	Temperatur inn [C]	Std. avvik
1	39,4	1,2	21,6	0,4
2	49,8	1,3	21,7	0,2
3	56,9	3,2	21,5	1,3
4	30,0	2,0	23,4	0,4
5	39,9	0,8	23,5	0,1
6	50,1	1,3	23,6	0,1
7	59,9	2,9	23,6	0,1

Tab.3.1 Snittmålinger av forsøk

3.1 Anlegg

Anlegget som ble benyttet var en testrigg på det kuldetekniske laboratoriet på NTNU Gløshaugen, utstyrsenhet 16L755.07 Brett-tørke. Dette er en rigg som fungerer som en tørketunnel og har blitt benyttet av NTNU/SINTEF til tørkeforsøk tidligere. Selve tørkekammeret er 180 cm langt 85 cm høyt og 64cm dypt. Kammeret er tilgjengelig på den ene siden gjennom tre avtakbare dører som utgjør hele kammerets lengde.

Anlegget har ikke et varmepumpesystem, men en separat kjøler av typen 40C – 5.2y fra Schløsser Møller kulde AS, med R-507 som kuldemedium, og en el-kolbe for oppvarming av tørkeluft.



Fig. 3.0 Tørketunnel

I anledning forprosjektet høsten 2008 ble denne tunnelen ombygd slik tørkekammeret ble delt i to på langs. I den nederste delen ble det satt inn en ekstra motstand som ble justert slik at det ble forskjellige hastigheter på tørkeluften i de to kamrene.

Etter ombyggingen var det seks hyller med plass til en fisk på hver i tørkekammeret. Tre i det øverste og tre i det nederste. Disse var montert fast med ståltråd, bortsett fra den midterste

hyllen øverst som hang i stag fra taket. Stagene gikk i rør gjennom taket og var festet til en plate som hvilte på en vekt på taket av tunnelen, se fig 3.1 og 2.

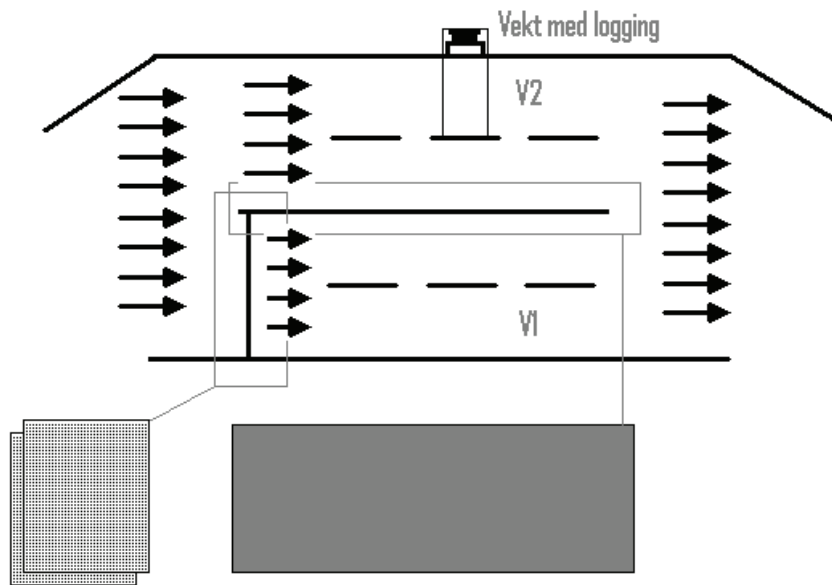


Fig 3.1 Ombygging av tunnel





Fig 3.2 Vekt for kontinuerlig logging

I prosjektet ble det funnet friksjon mellom stagene og rørene i taket, og dette forstyrret målingene. Dette ble forsøkt utbedret før denne studien. Dessuten oppsto det problemer med å kontrollere fuktigheten i tørkeluften. Dette skyldes til dels valget av luftfukter, og til dels lekkasjer i tunnelen, slik at det tørre omgivelsesluften (ned mot 19 % relativ fuktighet) ble sugd inn i tunnelen.

Dette ble utbedret ved at pakningene i alle dører ble skiftet ut, og det ble kjøpt inn en ny luftfukter. Dette var en Vicks V-5200S-E4 Ultrasonic humidifier som ble ombygd slik at vi trinnløst kunne justere effekten fra utsiden av tunnelen. Luftfukteren ble plassert mellom luftkjøleren og viften.

3.1.1 Instrumentering

Det var plassert målere som logger temperatur og relativ fuktighet ved innløpet og utløpet av tørkekammeret, i tillegg til lufthastigheten i det nedre kammeret. Disse ble logget på en datamaskin ved hjelp av en Agilent 34970A data acquisition/switch unit. Verdiene for temperatur og fukt ble i tillegg vist på et panel under tørketunnelen, slik at det var lettere å innstille settpunktet for kjøleren og effekten på luftfukteren.

De manuelle vektmålingene ble gjort på en Mettler PM34 plassert ved siden av tunnelen, mens de kontinuerlige ble gjort med en Mettler Toledo 6002MDR.

3.1.2 Innstilling av lufthastighet

For å oppnå ønskede lufthastigheter ble de målt på tolv steder, og blenderen og viftefrekvensen ble justert før målingene ble gjentatt. Etter de to første målingene ble hele blenderen byttet ut fordi variasjonen mellom målepunktene ble for stor.

Den bakerste av dørene ble byttet ut med en plate hvor det var boret hull i fire høyder: over og under hyllen i øverste kammer, og over og under hyllen i nederste kammer. Gjennom disse ble lufthastigheten målt med en VelociCalc Plus Air Velocity Meter, Modell 8386 –M –S. Når målingene ble utført var de tre andre hullene stengt med propper.

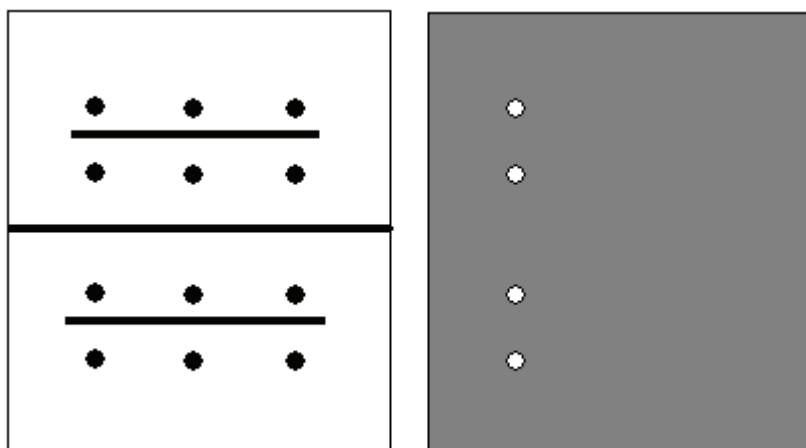


Fig. 3.3 Plate med hull for måling (høyre), og målepunkter (venstre)

Kalibreringsforsøk			Gjennomsnitt	std.dev
2,3	3	2,7	2,8	0,279
3	3	2,7		
1,3	1,1	1	1,1	0,147
1,2	1	0,9		
Forsøk 1				
2,8	3	2,8	2,9	0,183
3,2	3	2,7		
1,3	1,2	1,1	1,2	0,121
1,3	1,1	1		

Tab3.1

3.2 Preparering av fisk

Det ble kjøpt inn flekket og saltet torsk til forsøket, denne ble lagret i kjølerom 9 ved NTNU ved ca 4C. Det viste seg at en lengde på 48cm var passe for størrelse og vektkrav, og all fisken ble skjært til denne lengden. Av avkappet ble det skjært av en bit som ble vakuumpakket for lagring før de ble målt for initialt vanninnhold.



Fig 3.4 Preparering av fisk

3.2.1 Måling av initialt vanninnhold

For å vite vanninnholdet i fisken gjennom tørkeforløpet ble det skjært av ca en cm tykke skiver i snittflaten på hver fisk. Fra disse skivene ble det tatt ut kjøtt som ble most i en blender. Fra hver skive ble det veid opp tre prøver på ca 5gram hver som ble puttet i skåler og veid før de sto et døgn i varmeskap ved 120 C. Det som da var igjen i skålene var tørrstoffet, og fuktinnholdet kunne bestemmes.

For de fire første måleseriene ble det bare målt fukt i en fisk per kammer, og dette viste seg og vær utilstrekkelig. Bildet av tørkeforløpet ble mer nøyaktig da vi bestemte oss for å måle fukt for alle fiskene i de tre siste seriene.

For hele partiet var gjennomsnittlig fuktinnhold 56,8 %, den høyeste målte var 58,9 % og den laveste 55,6. Se vedlegg A.

3.2 Resultater

Her vises resultatene fra forsøkene, de loggede verdiene for luftfuktighet, temperatur og vekt på fisken. nummereringen viser til plassering i tørkekammeret: 1,2 og 3 var i det øverste kammeret med høy lufthastighet, og 4, 5 og 6 i det nederste kammeret. De lå slik at det var 1 og 4 som møtte tørkeluften først i sine respektive kammer, og 2 var den med kontinuerlig vektlogging. Både fuktighet og temperatur svinger en del på grunn av anleggets virkemåte.

Under presenterer jeg forsøk 1, for grafisk fremstilling av de andre forsøkene, se vedlegg B.

3.2.1 Forsøk 1

Dette forsøket ble utført med 40 % relativ luftfuktighet og 22C i tørkeluften. Det oppsto noen problemer i starten med å kontrollere fuktigheten, mest fordi vi manglet erfaring med å kjøre anlegget. Det er mulig å se når de manuelle målingene ble gjort i grafen for relativ fuktighet, det er der fuktigheten faller svært raskt. Når dørene ble åpnet bare for en liten stund sugde tunnelen raskt inn tørr luft fra hallen rundt.

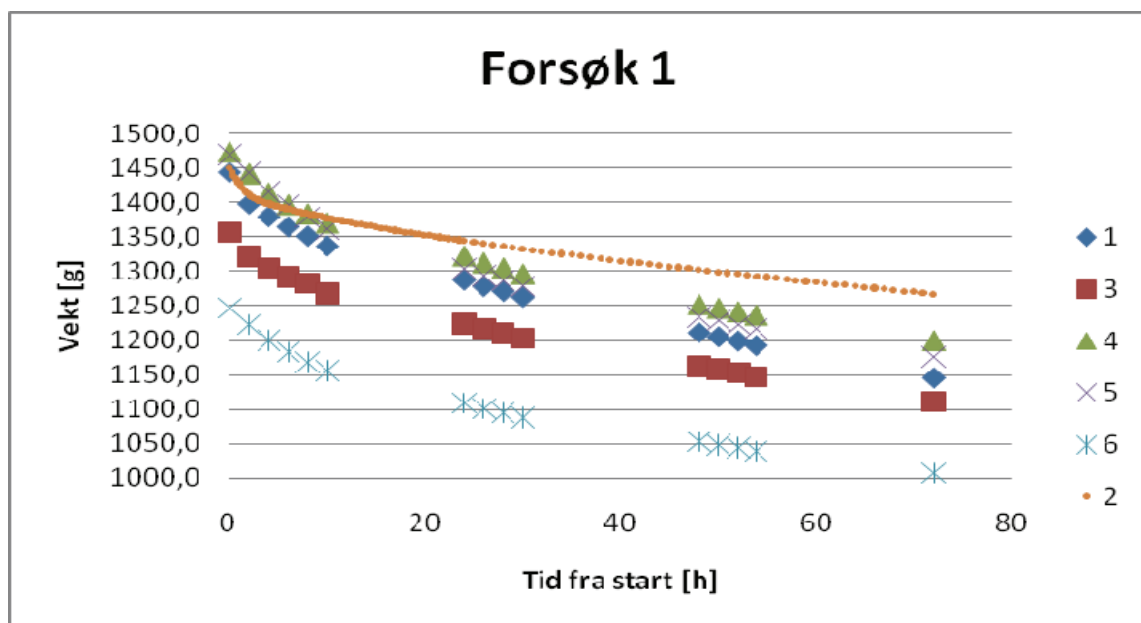


Fig 3.5 Vekt i gram mot timer for forsøk 1

Siden det ble gjort gjennomsnittsmålinger av fuktinnholdet i de første forsøkene ser det ut som om de starter i samme punktet i fig 3.6, som viser endring i fuktinnhold. Denne blir dermed en tilnærming.

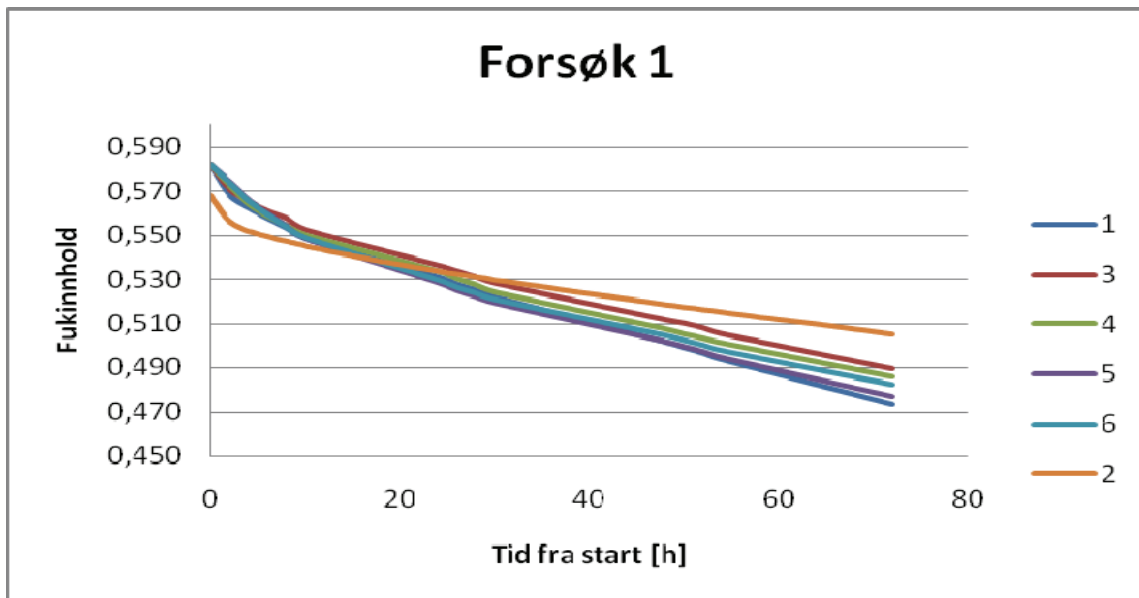


Fig 3.6 Fukinnhold for forsøk 1

Fuktigheten i tørkeluften var til tider vanskelig å kontrollere, og i forsøk 1 falt den alle de tre nettene.

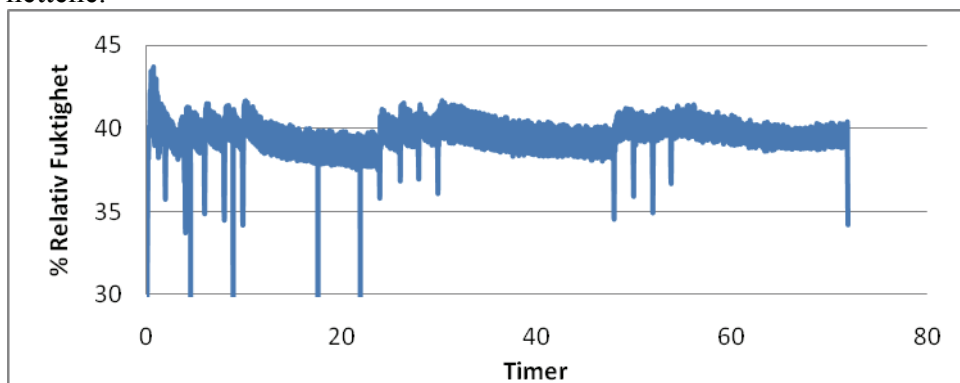


Fig 3.7 Relativ fuktighet ved innløp for forsøk 1

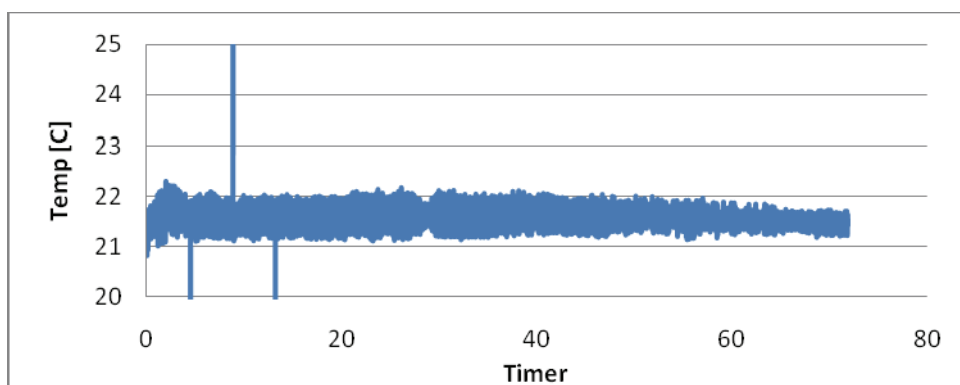


Fig 3.8 Temperatur ved innløp for forsøk 1

3.2.7 Kontinuerlige målinger

De kontinuerlige målingene ble tatt med så små mellomrom at de kan fremstilles som linjer.

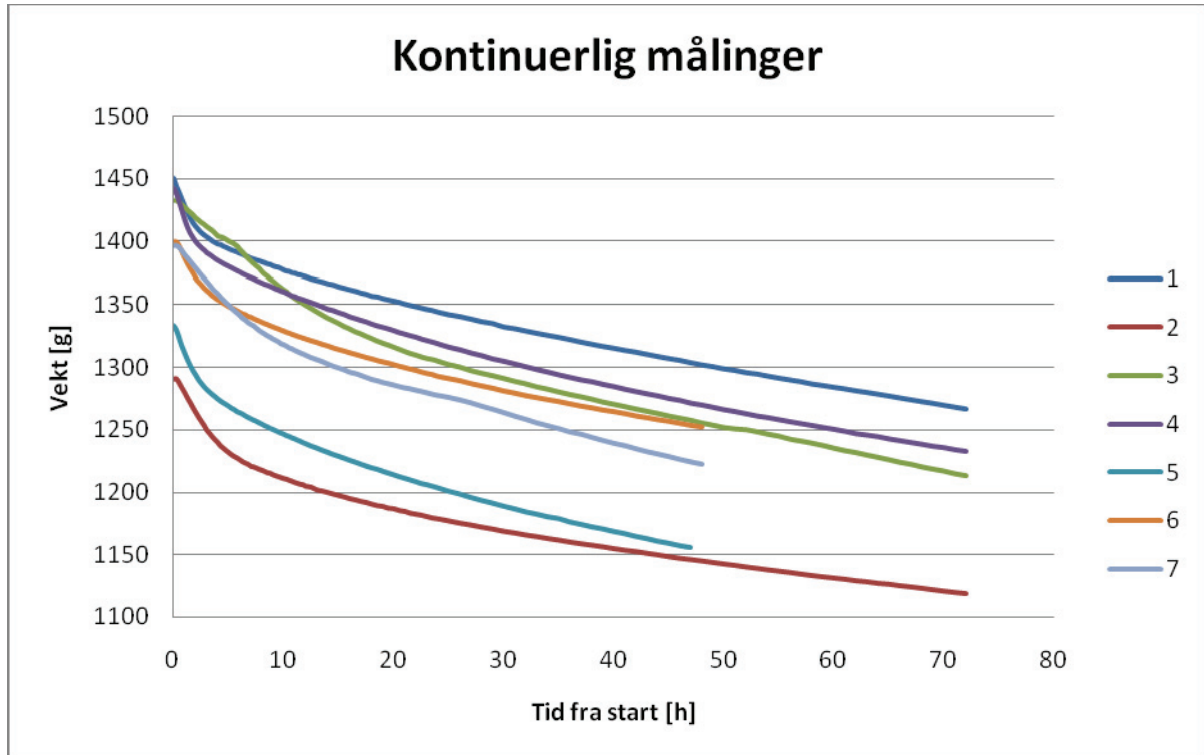


Fig. 3.9

3.3 Tolkning

3.3.1 Kurvetilpasning

De manuelle målingene ble gjort med 1-2 timers intervaller på dagtid, og gir dermed ikke et sammenhengende bilde av tørkeforløpet. Grafen under viser resultatene av forsøk 1, med de kontinuerlige som serie 2. For de andre kurvetilpasningene, se vedlegg C.

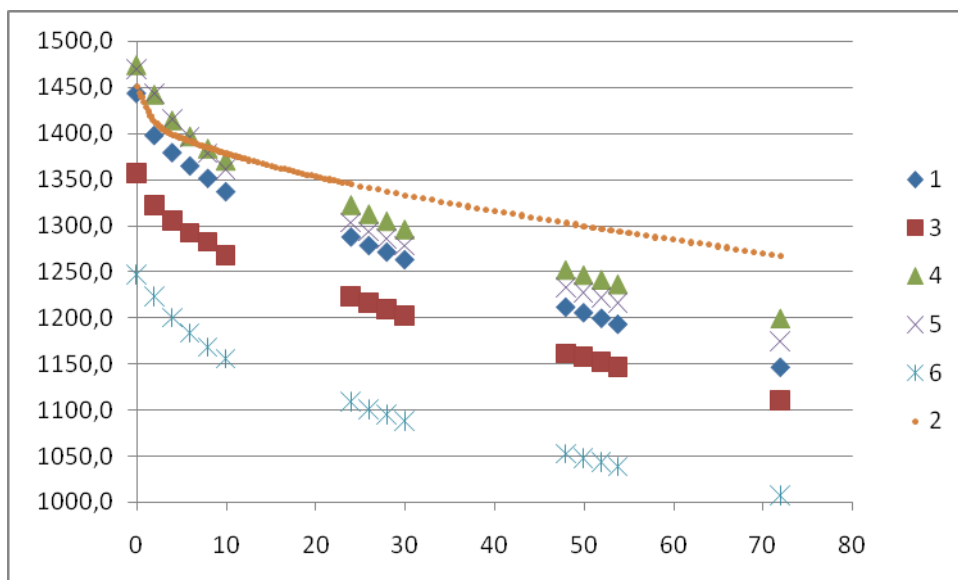
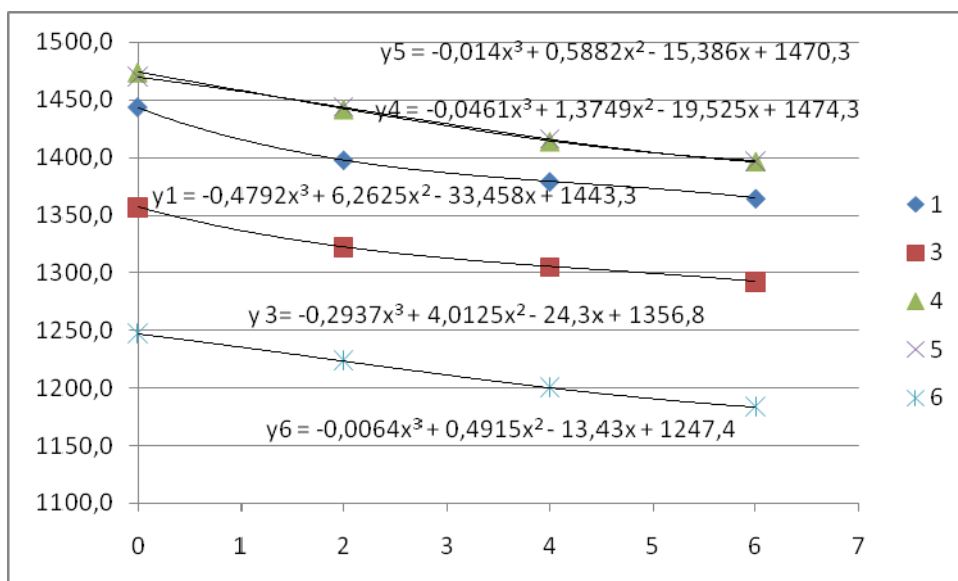


Fig. 3.10 Data forsøk 1

For å få et best mulig bilde av hvordan tørkehastigheten utviklet seg, delte jeg dataseriene opp i tre, og fant polynomregresjoner for hver del som jeg så satte sammen i en tabell.



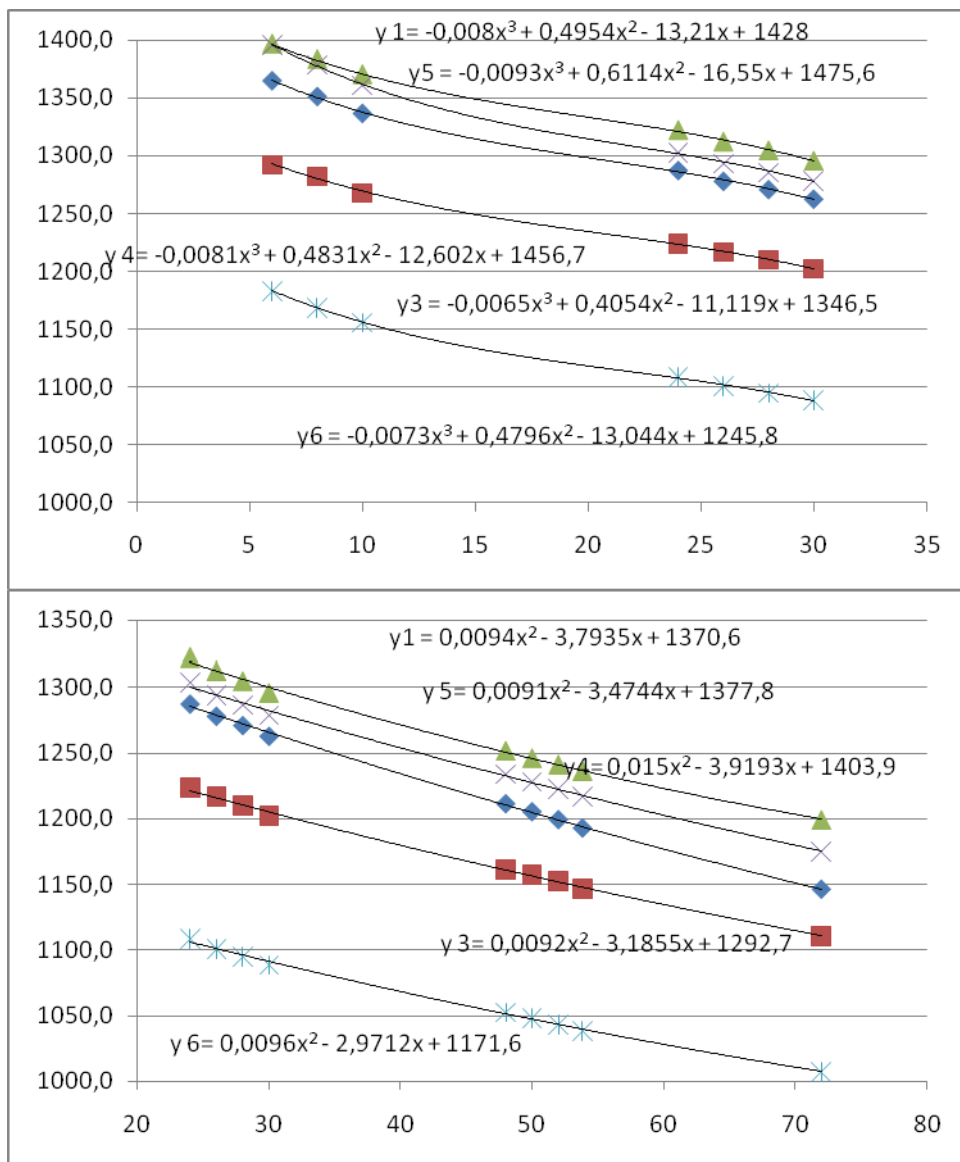


Fig.3.11 Polynomregresjon av forsøk 1

Med disse kurvetilpasningene lar tørkeforløpet seg vise som kontinuerlige grafer:

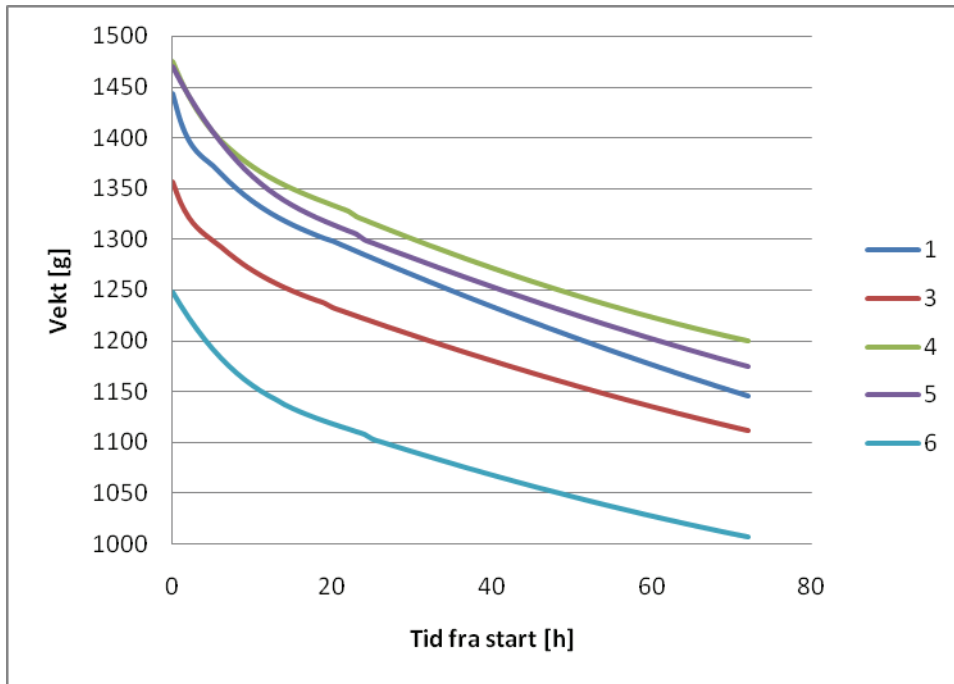


Fig.3.12 Tørkeforløp forsøk 1

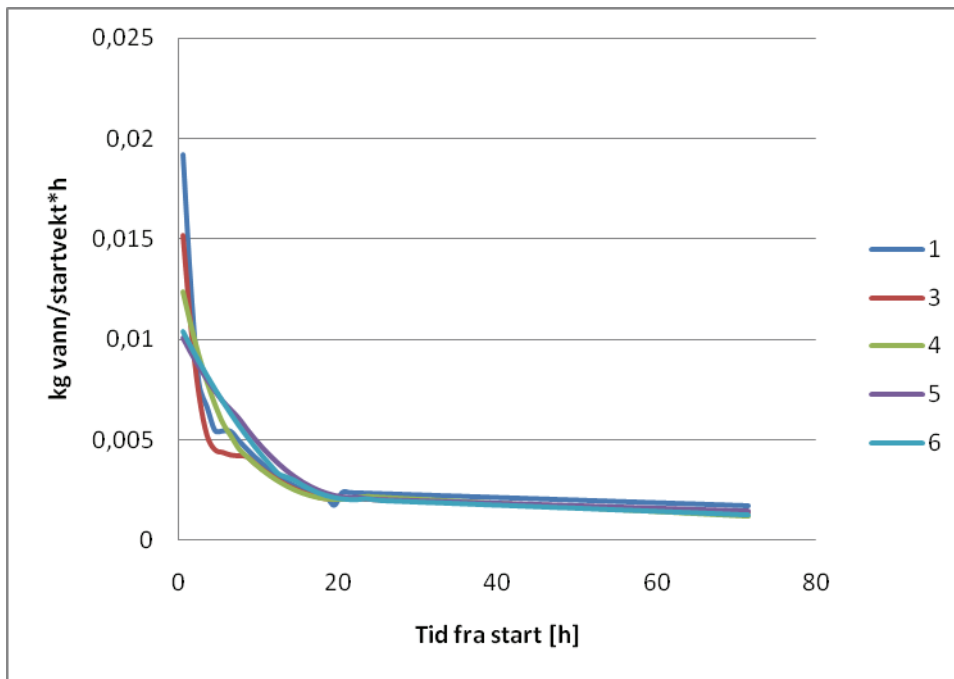


Fig.3.13 Tørkehastighet for forsøk 1

For de kontinuerlige målingene var det en del svingninger fra måling til måling, særlig mot slutten da vektendringen mellom hver måling var liten i forhold til målenøyaktighet, se fig.3.14. Derfor ble det, som med de manuelle målingene, satt opp kurvetilpasninger for å finne tørkehastighetene.

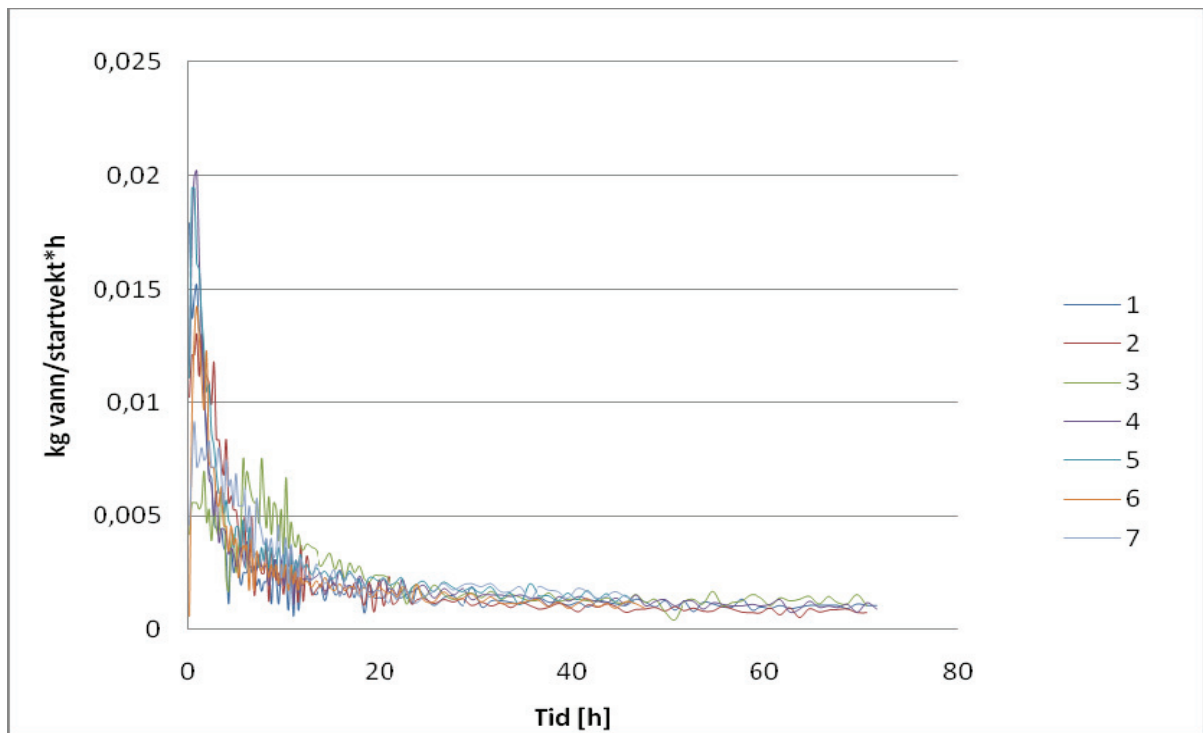


Fig 3.14 Tørkehastigheter fra kontinuerlige målinger

3.3.2 Tørkerater

Fig. 3.15 under viser tørkehastigheter fra de manuelle målingene. Tallet først viser til forsøksnummer, og hastigheten etterpå vil si hvilket kammer det dreier seg om. Figuren er ikke lett å lese, men er ment for å illustrere hvor tett kurvene ligger.

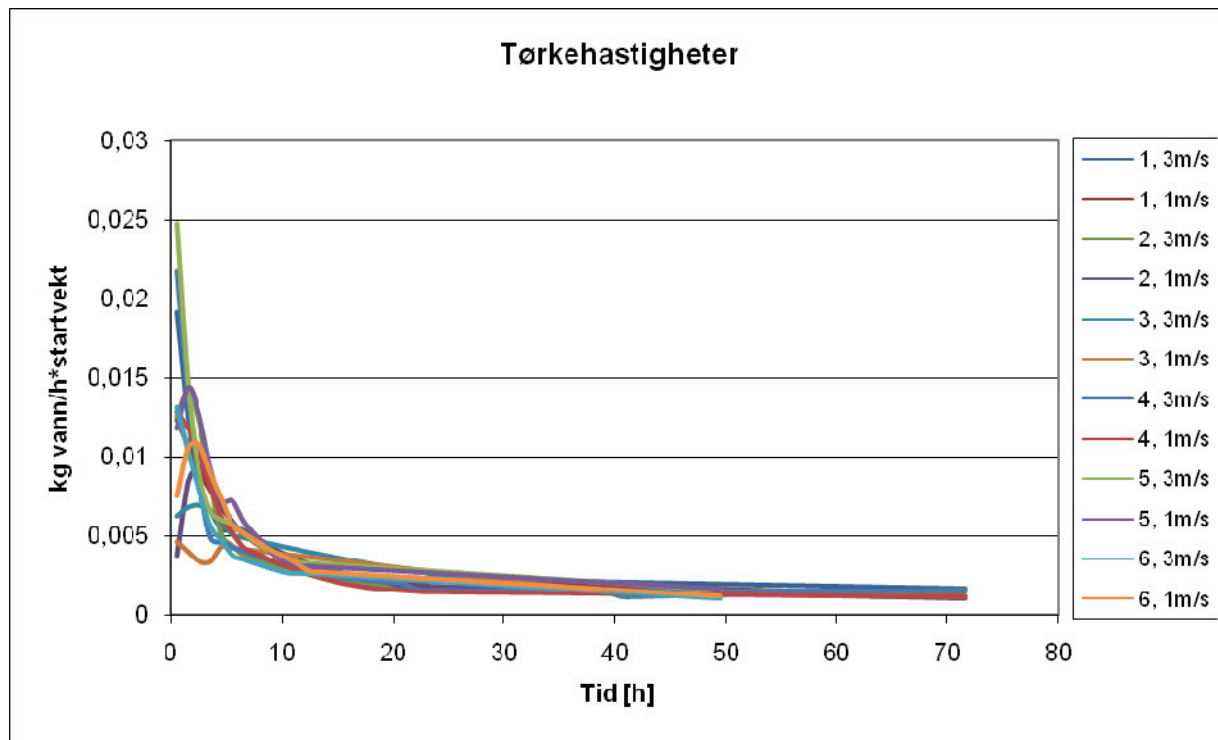


Fig.3.15 Tørkehastigheter for manuelle målinger

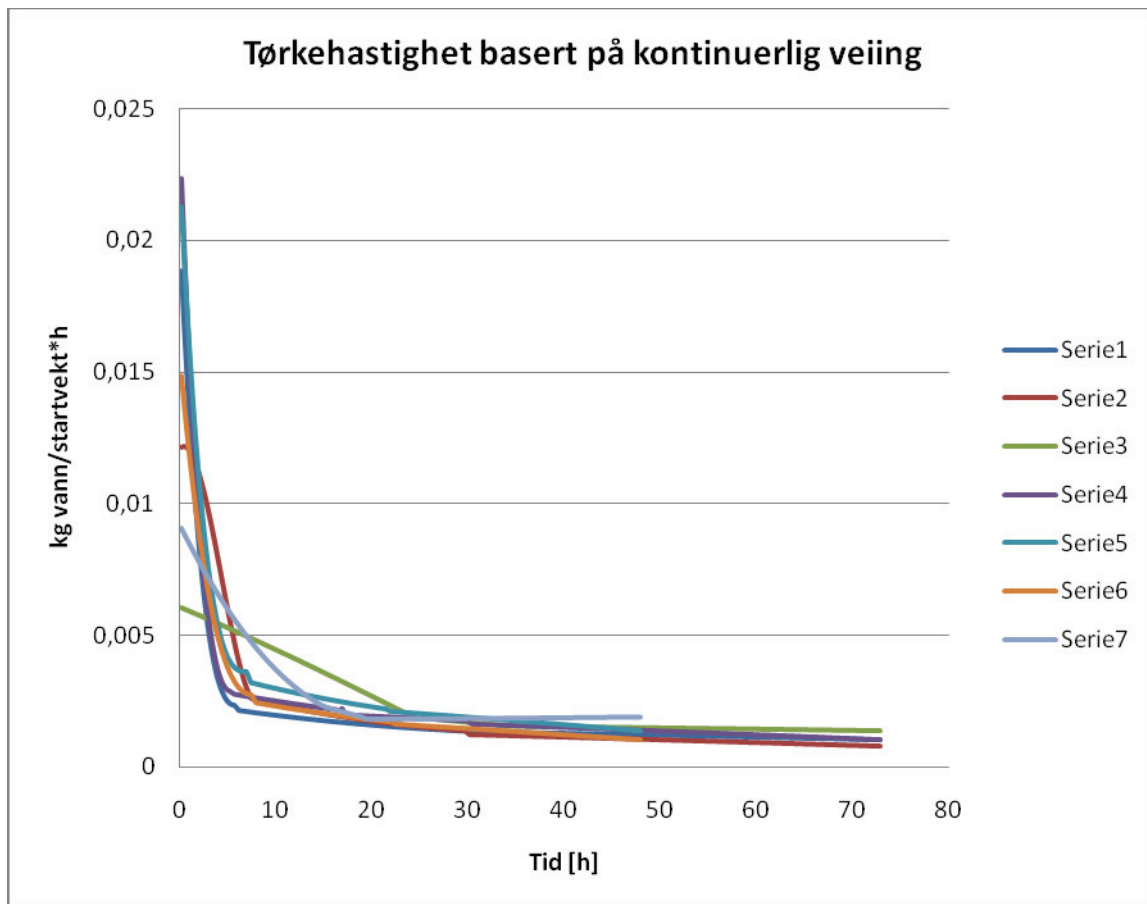


Fig 3.16 Tørkehastigheter for kontinuerlige målinger

3.3.3 Variasjon i tørkehastighet på grunn av lufthastighet

I grafene under har jeg for de seks første forsøkene satt opp tørkehastigheten i kammeret med lav lufthastighet som andel av tørkehastigheten i kammeret med høy lufthastighet. I fig. 3.17 er forsøk 1 til 3, det vil si de med 22 C i tørkeluften. Fig. 3.18 er forsøk 4 til 6 som hadde 24 C i tørkeluften.

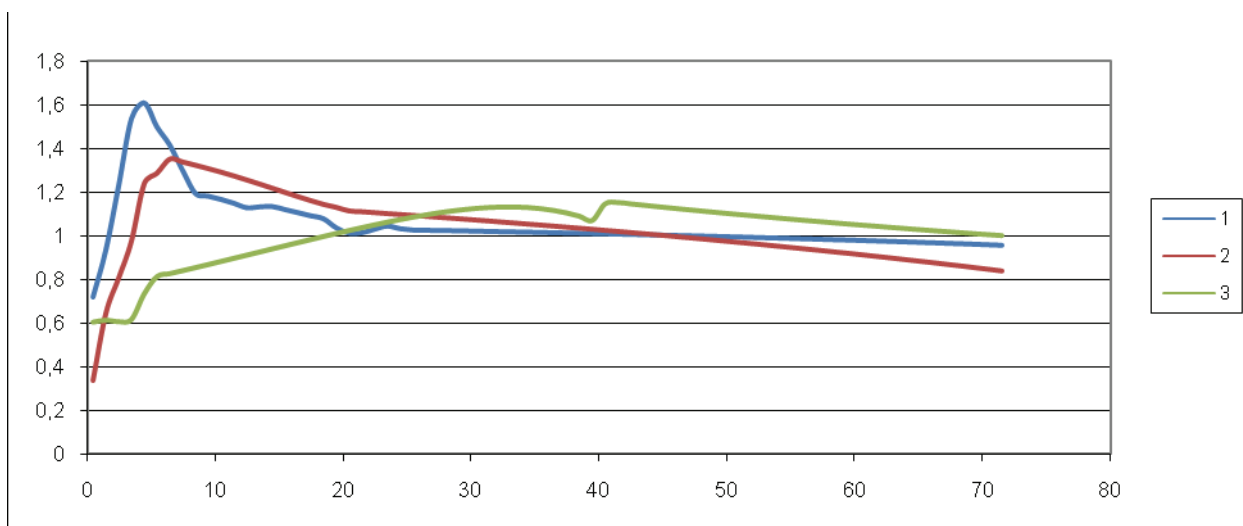


Fig 3.17 Tørkehastighet i kammer med lav lufthastighet delt på tørkehastighet i kammer med høy lufthastighet.

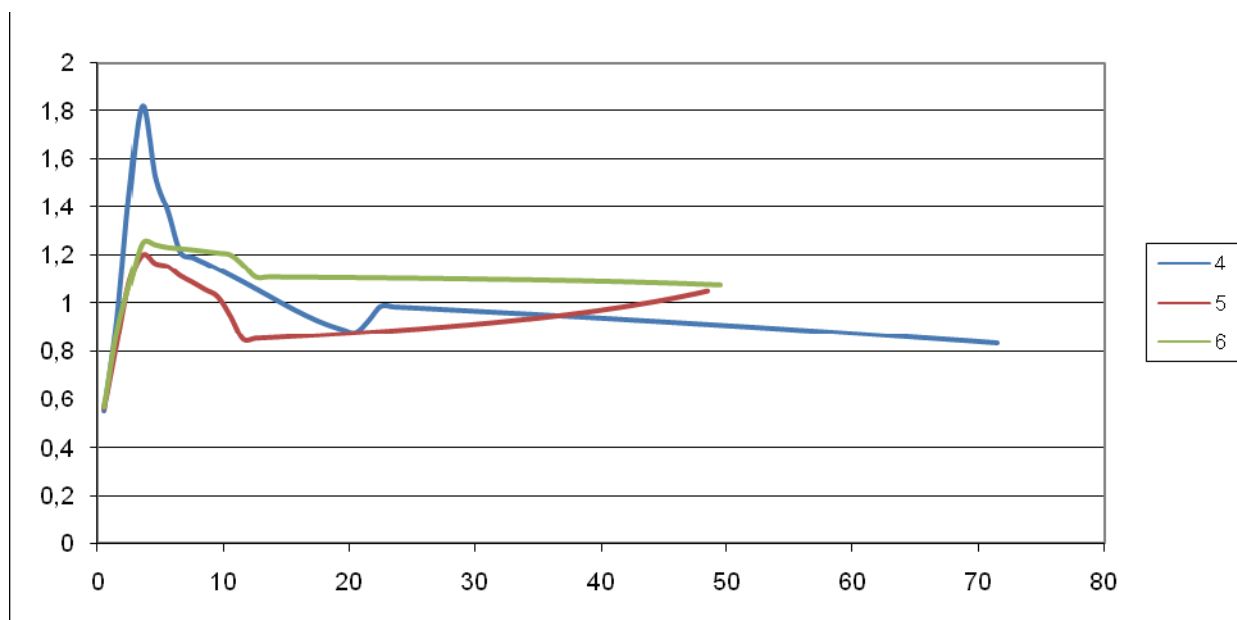


Fig 3.18 Tørkehastighet i kammer med lav lufthastighet delt på tørkehastighet i kammer med høy lufthastighet.

Det er kjent at hastigheten i tørkeluften påvirker tørkehastigheten, først og fremst i starten av tørkeforløpet. Vi ser dette godt av målingene, for alle forsøkene er tørkehastigheten høyest i starten der lufthastigheten er høyest, men allerede etter noen få timer skifter dette og det kommer en periode hvor tørkehastigheten er raskest i kammeret men minst sirkulasjon. Dessuten ser vi at jo lavere damptrykk i tørkeluften, jo større og skarpere blir svingningen i starten. Dette skyldes antagelig at overflatevannet raskt forsvinner fra fisken i det godt ventilerte kammeret, da faller tørkehastigheten raskt.

3.3.4 Variasjon i tørkehastighet som følge av temperatur

Her har jeg sammenlignet forsøkene med ellers like betingelser bortsett fra temperatur, 1 og 5, 2 og 6.

I fig. 3.19 ser vi at tørkehastigheten er raskere i forsøk 2 enn 6 i starten av tørkeperioden. Dette virker ikke intuitivt siden temperaturen er høyest i forsøk 6. Kanskje kan det skyldes faktorer som mengde overflatevann ved start, eller lignende. Det blir uansett vanskelig å trekke noen klar konklusjon ut ifra denne figuren.

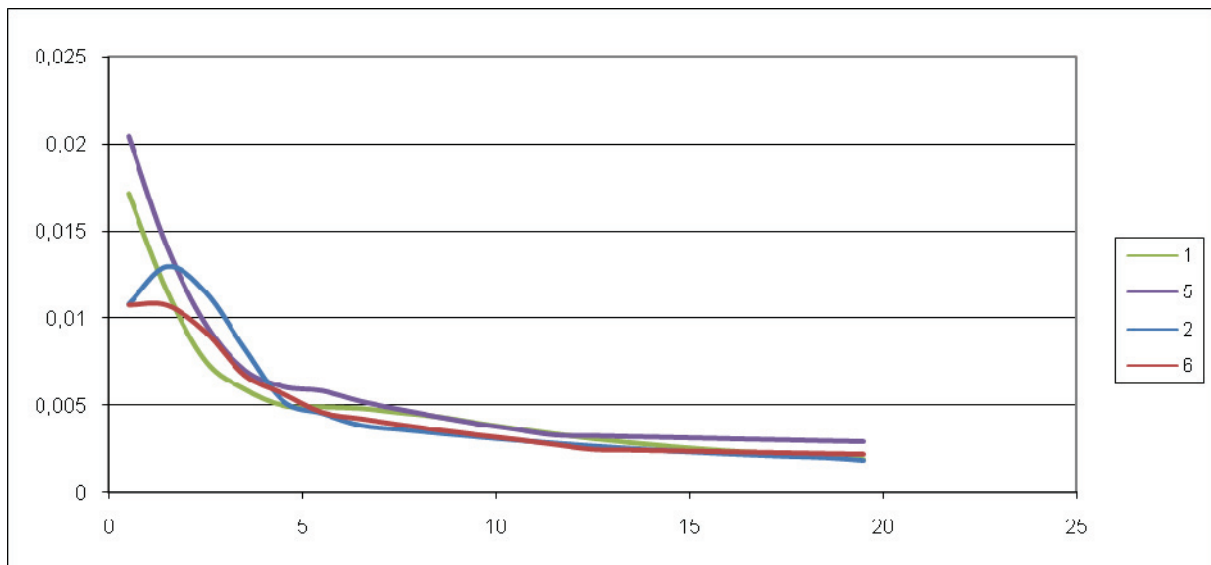


Fig 3.19

I fig 3.20 vises tørkehastighetene for de samme forsøkene som i fig 3.19, men fra 10 timer og utover. Her vises tilsynelatende at tørkehastigheten for forsøkende med høy temperatur er høyest frem til ca 40 timer, mens de der blir tatt igjen av forsøkene med lavere temperatur.

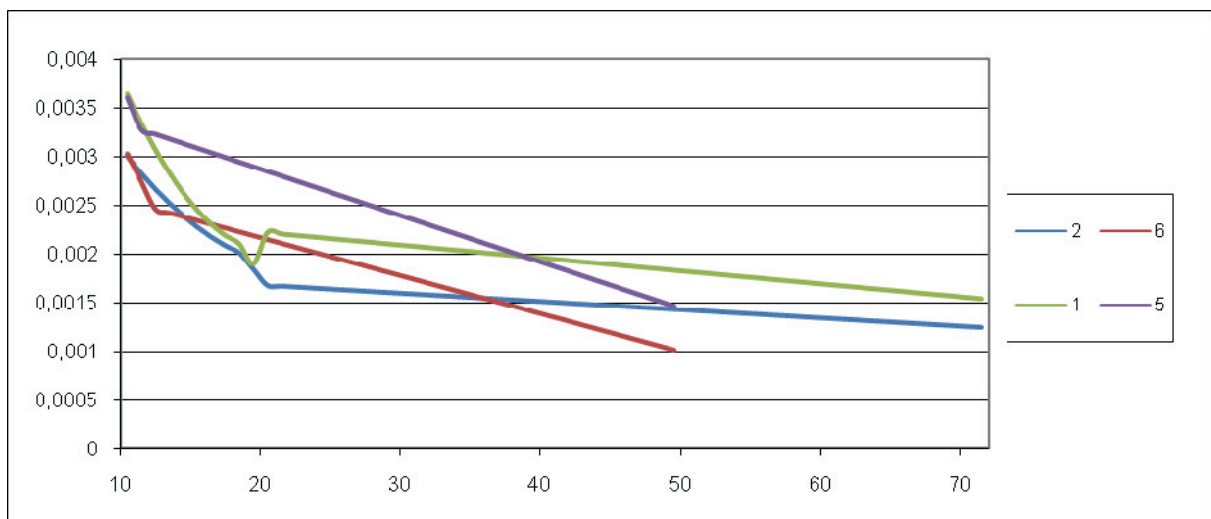


Fig 3.20

3.3.5 Variasjon i tørkehastighet som følge av relativ fuktighet

Det var ventet at det var den relative fuktigheten i tørkeluften som hadde mest og si for tørkehastigheten.

Fig. 3.21 viser tørkehastighetene for de kontinuerlige målingene i starten av tørkeforløpet. Her kommer det godt tilsyne hvordan tørkehastighetene utvikler i seg i starten av tørkeperioden. Forsøkene med tørrest luft har høyest tørkehastighet i begynnelsen men denne faller raskt og blir forbigått av de med fuktigere luft. Forsøk 3 og 6, med 60 % relativ fuktighet er vesentlig flatere enn de andre. Etter ca et døgn blir tørkehastighetene vanskelige å skille fra hverandre.

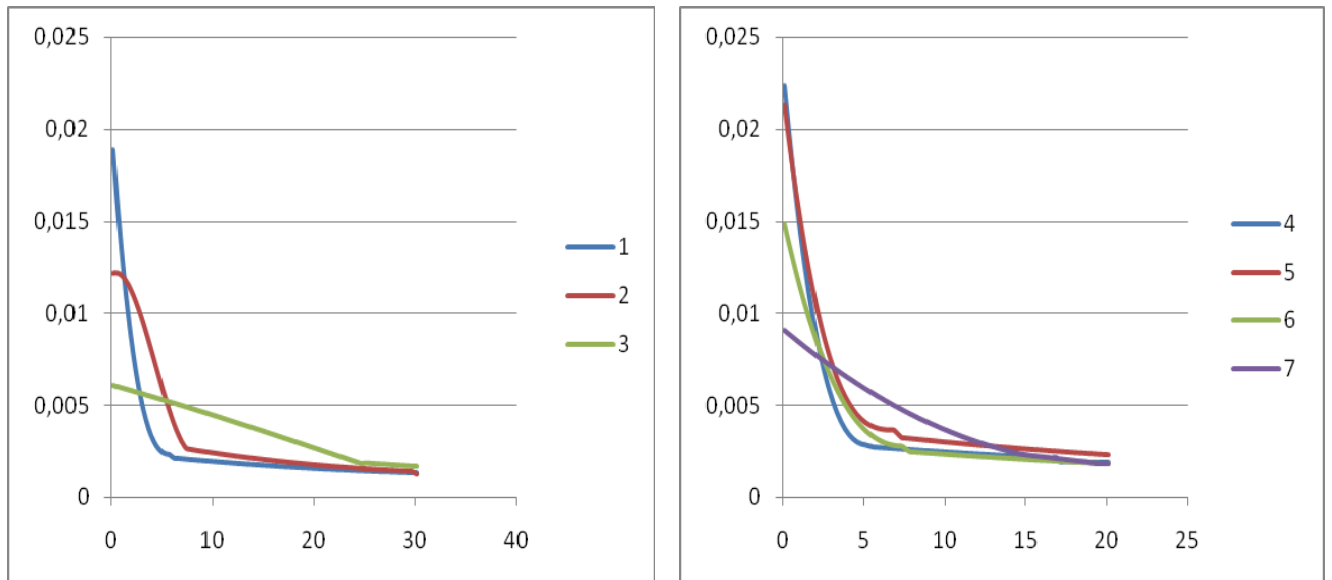


Fig. 3.21

Fig. 3.22 viser tørkehastighetene basert på de manuelle målingene for forsøk 1 til 6, og vi ser at de etter hvert samler seg omkring 0,0015 kg vann per time og startvekt. At tørkehastigheten i forsøk 3 øker etter 40 timer skyldes at fuktigheten fallt mye i tunnelen. Sett bort i fra denne ligger forsøk 1 og 4 høyest som man kunne forvente, og 3 og 6 faller under de andre etter noe over 35 timer. Forsøk 5 er vannskeligere å forklare, med høyere temperatur og samme relative fuktighet som forsøk 1 burde den ha ligget høyere. Det kan skyldes feilmåling.

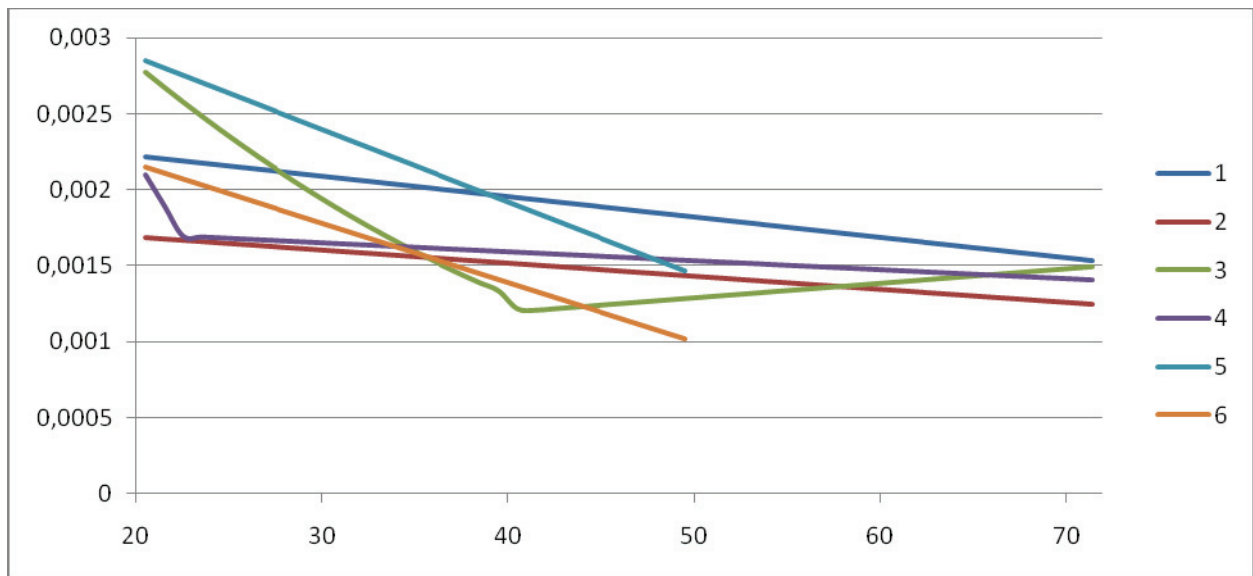


Fig 3.22

Fig 3.23 viser tørkehastighetene etter 20 timer basert på de kontinuerlige målingene. Også disse ligger i et samlet felt. Her ser vi ingen økning i tørkehastigheten i forsøk 3 men vi ser likevel at den ligger høyt, og faller lite. Forsøk 7 derimot øker, og det skyldes at det også i dette forsøket oppsto problemer med å kontrollere fuktigheten.

Ellers ser vi at disse blir liggende lavere i tørkehastighet enn kurvene basert på de manuelle målingene. Og grunnen kan neppe være noe annen enn at det har vært friksjon tilstede. Dette kommer også godt tilsyne i fig. 3.10.

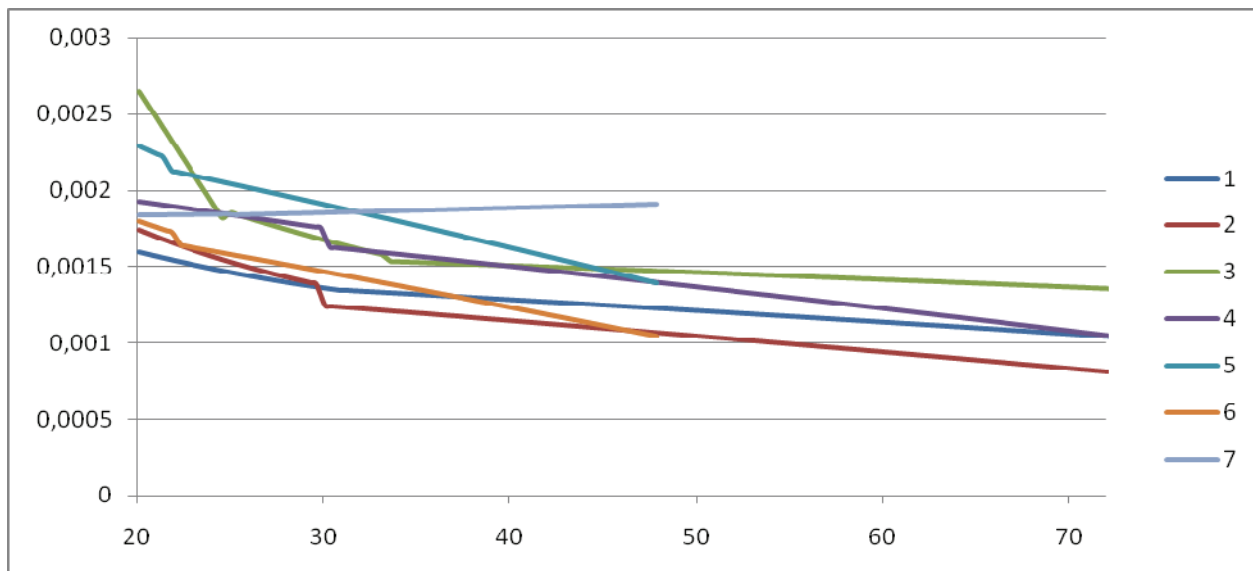


Fig. 3.23

3.3.6 Diskusjon

Det ble funnet i litteraturstudien at relativ fuktighet, temperatur og hastighet i tørkeluften påvirker tørkeforløpet. Håpet med forsøket var å få jevne kurver som viste disse sammenhengene tydelig, og dette ble ikke oppnådd. Vi kan antyde trender ved å studere dataene, men det lar seg ikke gjøre å sette opp en tabell med tørkehastigheter som er nøyaktig.

Noe av grunnen er at det ikke går kan være at vi har for få fisk i hvert forsøk, slik at individuelle forskjeller får stor betydning, eller variasjonen i luftfuktigheten som vi ikke klarte å kontrollere. Jeg har brukt de kontinuerlige målingene for illustrasjon, men med friksjon tilstede må de dessverre forkastes.

En ting kan imidlertid slås fast hinsides tvil; nemlig at tørkehastigheten påvirkes av tidligere hendelser. Jo høyere tørkehastighet som blir målt innledningsvis, jo raskere faller tørkehastigheten, og blir forbigått av de med lavere innledende tørkerater. Det har størst synlig effekt det første døgnet av tørkeperioden, men det virker usannsynlig at ikke fortsetter å påvirke tørkehastigheten også etter dette.

At det er slik det er burde kanskje ikke være overraskende. Vannet som er lett tilgjengelig forsvinner først, og jo lenger tid dette tar jo lengre tid er det lett tilgjengelig vann tilstede. Ved fiskens overflate vil differansen i damptrykk være drivende for fukttransporten, og vannets fordeling i fisken har åpenbart mye å si for denne differansen.

Så vil enda andre faktorer ha mye å si. Hvordan påvirkes fukttransporten inne i fisken av fuktinnholdet? Skjer det kjemiske forandringer eller kanskje er det porer som lukkes? I det fiskens overflate tørker opp danner er det seg et lag salt på overflaten. Fungerer dette som en fuktbarriere? Er det proteiner og enzymer i dette laget som gjennomgår kjemiske forandringer?

Alt i alt er det vanskelig og trekke andre konklusjoner enn at det gjenstår mye arbeid før tørkehastigheter i klippfisknæringer lar seg modellere nøyaktig.

4.0 Systemløsninger

Det ble gjennomført casestudie for å se nærmere på mulige systemløsninger, bestående av tre case. Utgangspunktet var en tverrblåst batchtørke, som det ble funnet i litteraturstudien var utbredt og med svak energiutnyttelse. Flere studier ha blitt utført tidligere på denne typen tunneler, bla. Alvestad (2007), Walde og Jonassen (2006) og Jonassen, Walde og Magnussen (2007).

Vi vet at nedregulering av kuldeytelsen ofte blir gjort i få steg, eller ikke i det hele tatt. Dessuten er det ikke vanlig å senke lufthastigheten i løpet av tørkeperioden. Vi vet at nødvendig kuldeytelse synker i løpet av tørkeforløpet, at høyere oppfuktning av tørkeluften gir høyere SMER og dessuten at lufthastigheten har lite å si for tørkehastigheten mot slutten av tørkeforløpet.

Dette så lovende ut med tanke på forbedringspotensial. Derfor ble det utarbeidet to case i Excel ved hjelp av Rnlib og Hxsim, som ser nærmere på dette. Tørkehastigheten ved gitte forhold i tørkeluften ble hentet fra forsøkene, og derfor er casene begrenset av tilgjengelige data. Fremstillingen av tørkehastigheter kommer dermed som tidligere nevnt til å være preget av vesentlig unøyaktighet, særlig der hvor forholdene i tørkeluften endres underveis.

Siden det var ønskelig å redusere effektbehovet, ble en mulighet for dette utarbeidet som et tredje case, hvor det benyttes et indirekte varmepumpesystem. Det utforskede scenarior tok utgangspunkt i det faktum at en tørketunnel sjelden står alene, men gjerne har sitt eget avfuktingsaggregat og at disse tunnelene kan være i forskjellige stadier av tørkeperioden.

Prosessene er forenklet til at fisken opptrer som et punkt. Det vil si at all fisken er i samme stadium av tørkingen og møter tørkeluft med like betingelser. Dette gir ikke et fullstendig bilde, og det bør utarbeides en mer nøyaktig modell. Forenklingen bør allikevel være adekvat for å se på muligheter for bedre energi- og effektutnyttelse.

Alle case er vedlagt i Data.xls.

4.1 Anlegg

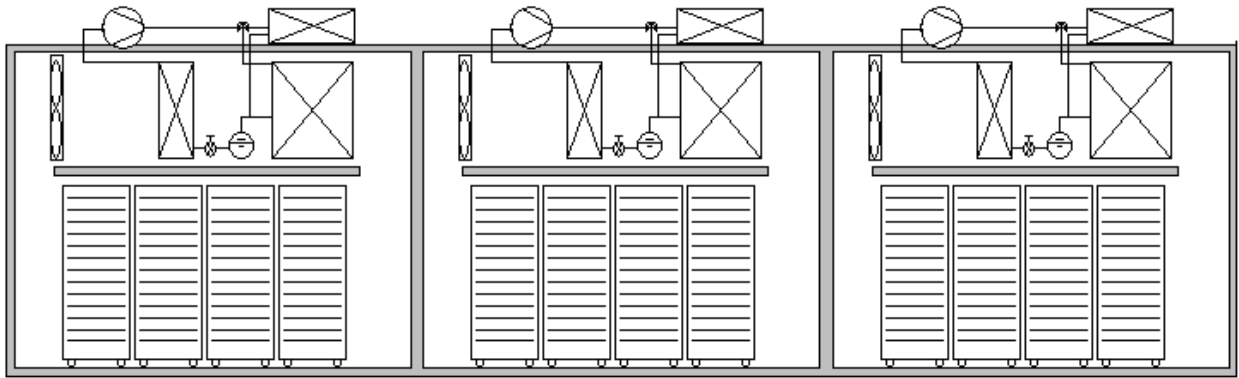


Fig. 4.1 Skjematisk fremstilling av anlegg

For å se nærmere på systemløsninger har jeg tatt utgangspunkt i anlegget til Scanprod AS, som er beskrevet av Alvestad i 2007.

Anlegget består av tre tunneler i parallell. Hver av disse tunnelene har sitt eget luftbehandlingssystem, bestående av tre aggregater. All håndtering av fisk skjer manuelt.

Tunnelene er 15,8 meter lange og 6,3 meter brede. På innsiden er bredden hvor det står fisk snevret inn til 4,2 meter. Totalt rommer hver tunnel 4 x 10 vogner. I beregningene ble det regnet med at det totalt var en kapasitet på 10 tonn saltfisk per tunnel.

For å unngå frost ble overflatetemperaturen på fordamperen satt til 4 C.

4.1.1 Vifter

Luftsirkulasjonen blir drevet av 15 aksialvifter.

Det er vanlig å endre tørkeluftens strømningsretning flere ganger i løpet av tørketiden for å oppnå jevnere tørking, og viftene er montert slik at annenhver vifte er snudd. Det vil si at uansett hvilken retning tørkeluftens blir blåst går halvparten av viften i motsatt retning av det de er konstruert for, med redusert virkningsgrad som resultat.

Effekten av denne praksisen blir regnet som tvilsom, men bør ikke avfeies som helt grunnløs. Dersom praksisen er noe mer enn et kulturelt fenomen kan et alternativ være å montere viftene i vendbare rammer. Jeg har regnet med at alle viftene driftes i retningen de er konstruert for.

Jonassen, Walde og Magnussen (2007) har beskrevet et lignende anlegg tidligere, og har funnet at for en tverrblåst tørketunnel med fire vogner i bredden er nødvendig trykkstigning ca 110 Pa, og at det er realistisk med en total virkningsgrad på 75 %. Videre kan viftenes effektbehov anslås til:

$$P_{vifte} = \Delta p * \dot{V} \frac{1}{\eta_{vifte}}$$

I case 2 reguleres luftstrømmen ned fra 3 til 1 m/s. Det var tenkt gjennomført ved avstengning av 2/3 av viftene, samt en eller annen ordning for å hindre tilbakestrøm, for eksempel spjeld. Det kan være lite hensiktsmessig å regulere ned viftene til en tredjedels volumstrøm.

4.1.2 COP

For å tilnærme varmepumpens ytelse antas at 45 % av Carnotvirkningsgraden er oppnåelig for et typisk anlegg, og i case 3 med indirekte system legges det inn ekstra temperaturdifferanser på 5 K på begge sider.

$$COP_{Carnot} = \frac{T_0}{T_H - T_0}$$

$$COP = \eta_c * COP_{Carnot} = 0,45 * COP_{Carnot}$$

4.2 Case 1

Case 1 er et anlegg bestående av 3 parallelle tunneler uten noen form for ytelsesregulering. Det vil si at kuldeytelsen og lufthastigheten er konstant gjennom hele tørkeforløpet. Samtidig velges det at temperaturen ved innløpet også holdes konstant. I fig 4.2 er tre stadier av tørkeforløpet tegnet inn i et mollierdiagram.

Vi ser at prosessen flytter seg ganske raskt mot venstre i diagrammet, med lavere oppfuktning i forhold til entalpidifferansen, som er konstant. Avvik i figuren skyldes at prosessene er ført inn for hånd.

Temperaturen ved innløpet av tørkekammeret holdes konstant lik 24C, ved starten av tørkeforløpet er det 50 % relativ fuktighet i tørkeluften, og helt på slutten har det sunket til 29,7 %. Lufthastigheten er 3 m/s i hele tørkeforløpet, og kuldeytelsen er 306 kW per tunnel, 918 kW totalt.

COP med disse betingelsene er ca 3,6.

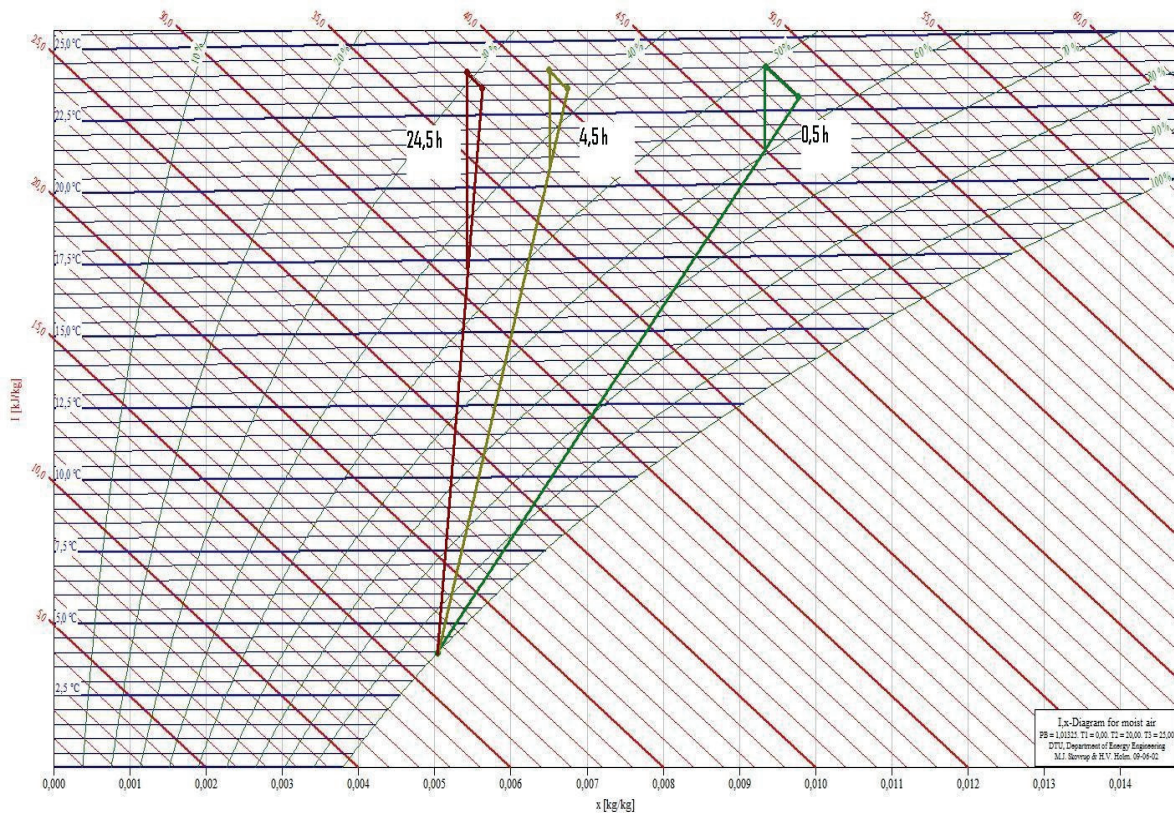


Fig. 4.2 Tørkeforløp etter 0,5 timer (grønn), 4,5 timer (gul) og 24,5 timer rød.

Et slikt system har høy SMER helt i starten av tørkeforløpet, men denne faller raskt ettersom effektbehovet faller. Etter en stund vil energiutnyttelsen være svært lav. Totalt for tørkeforløpet havner SMER på ca 0,42 og 1650kg vann har blitt fjernet per tunnel, til sammen 4950kg vann for hele anlegget.

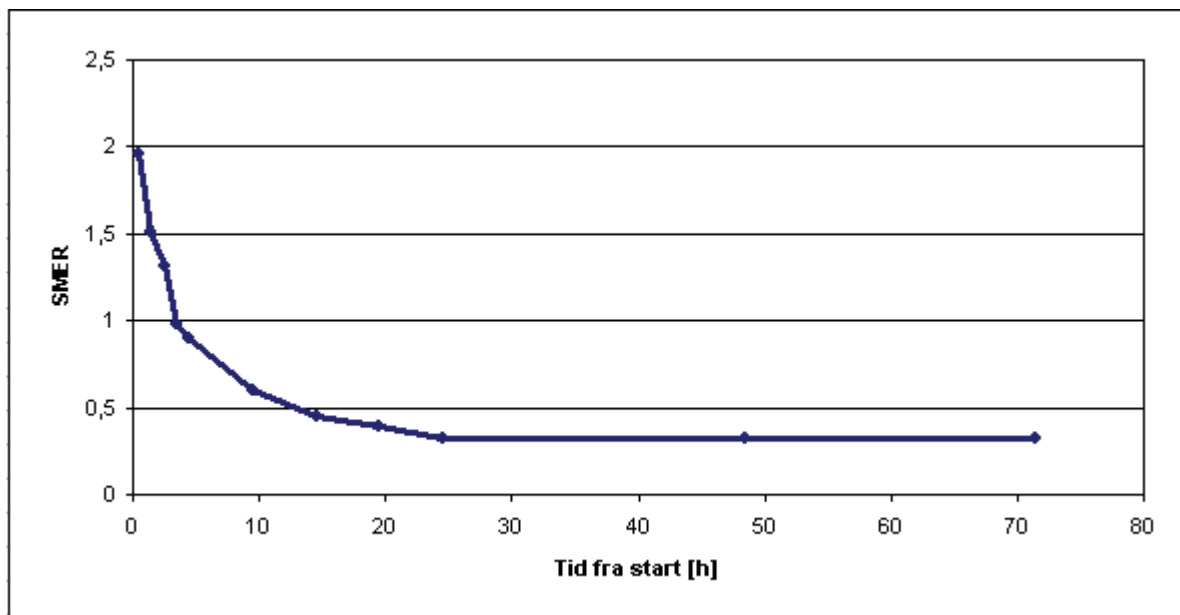


Fig. 4.3 SMER Case 1

4.3 Case 2

Case 2 er 3 parallelle tørketunneler hvor kuldeytelsen justeres kontinuerlig, og volumstrømmen av tørkeluft justeres ned med 2/3 etter en tid. Det ble tatt utgangspunkt i at tørkeforløpet skulle reguleres slik at betingelsene ved innløpet av tørkekammeret var konstante gjennom hele tørkeforløpet.

For å sammenligne med case 1 ble det først satt opp med identisk start, 50 % relativ fuktighet i tørkeluften og 24C. Dette viste seg og fjerne mye mindre vann enn case 1, og ville måttet kjøre omkring to døgn ekstra for å oppnå samme vannfjerning. På bakgrunn av dette ble det satt opp et nytt startpunkt, 40 % relativ fuktighet og 24C, som kom nærmere vannfjerningen i case 1.

Dette i sin tur medførte en mye høyere kuldeytelse. Derfor ble det satt opp et tredje alternativ som er en kombinasjon av de to. Dette alternativet innebærer at tilstanden i tørkeluften de første 9 timene av tørkeforløpet er som alternativ 1, med 50 % relativ fuktighet. Resten av tørkeforløpet har 40 % relativ fuktighet.

Under er de to lufttilstandene illustrert i mollierdiagram. 40 % relativ fuktighet er prosessen til venstre.

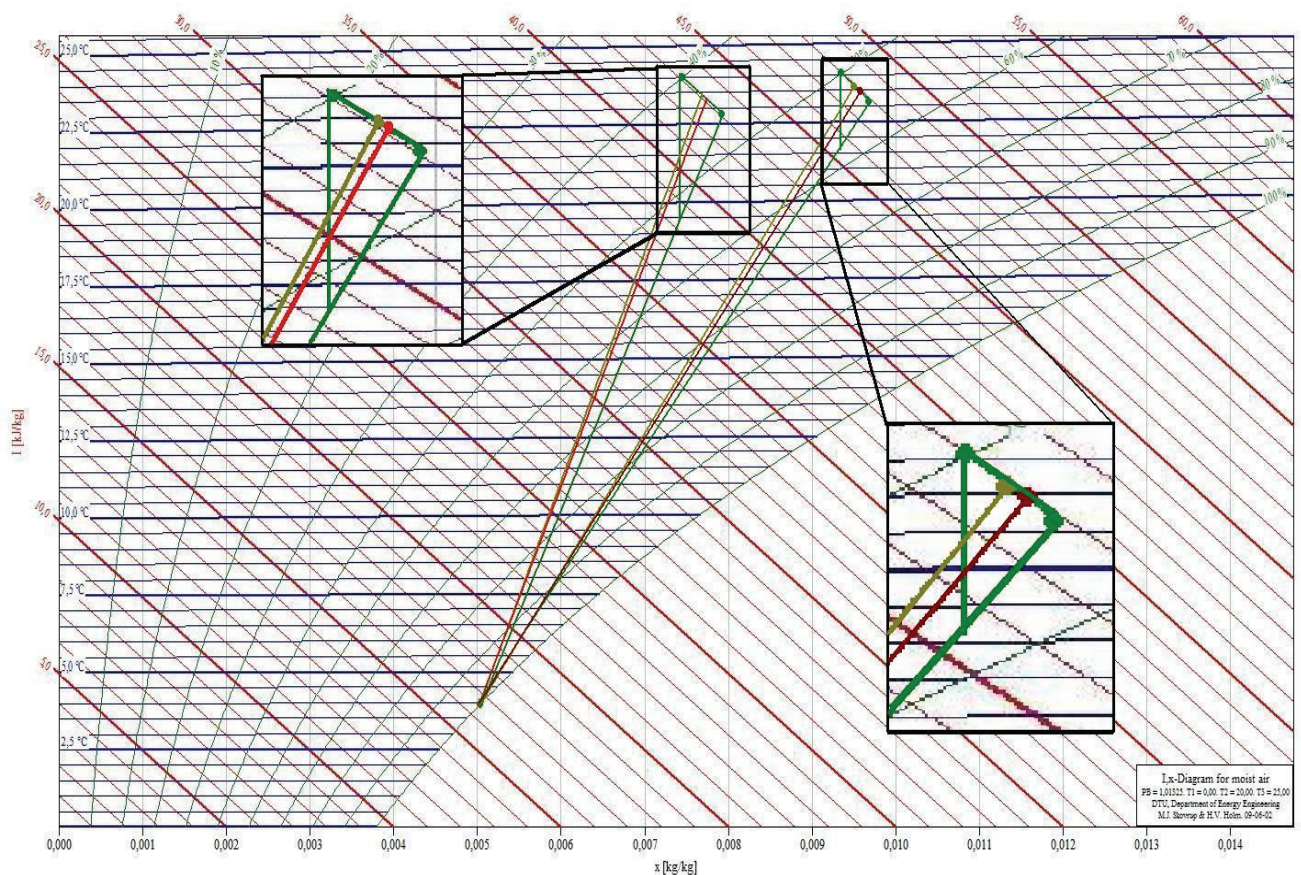


Fig. 4.3 Tørkeforløp etter 0,5 timer (grønn), 4,5 timer (gul) og 24,5 timer rød.

Fig 4.4 under viser hvordan SMER utvikler seg gjennom tørkeforløpet for alternativene. Kurvene faller en del i starten for så å flate ut. Når volumstrømmen av tørkeluft blir redusert etter 20 timer stiger SMER markant.

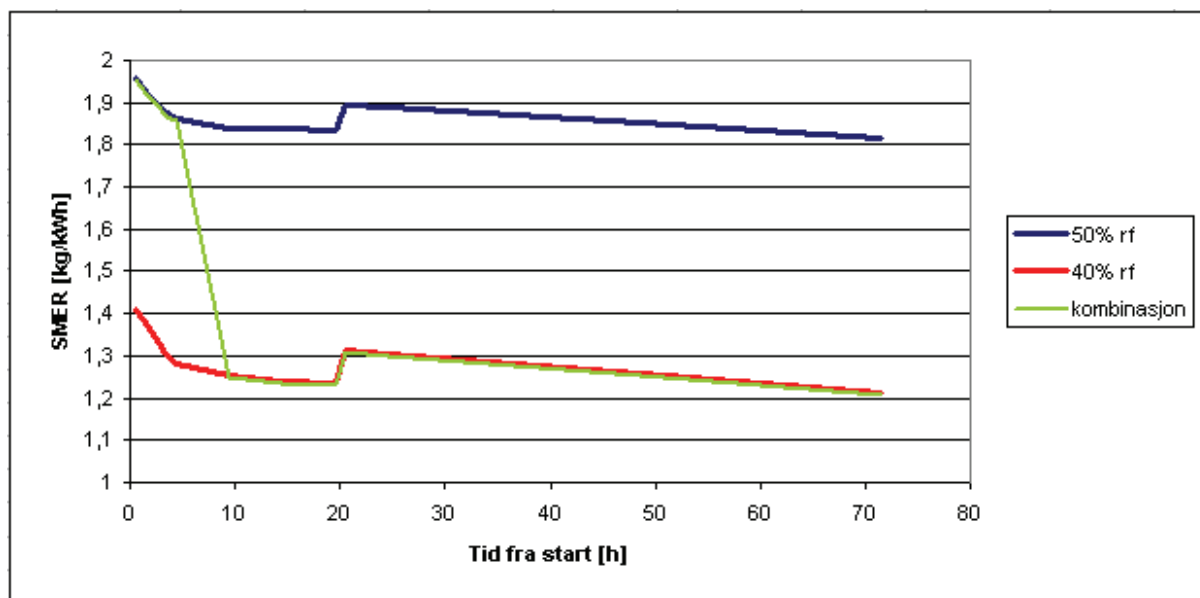


Fig. 4.4 SMER Case 2

Figur 4.5 viser kuldeytelsen til alternativene, og vi ser at effektbehovet blir mye større for kurven med 40 % relativ fuktighet. Effektbehovet i figuren er for en enkelt tunnel, og for et anlegg med tre parallelle tunneler blir effektbehovet følgelig tre ganger maksimum av disse grafene.

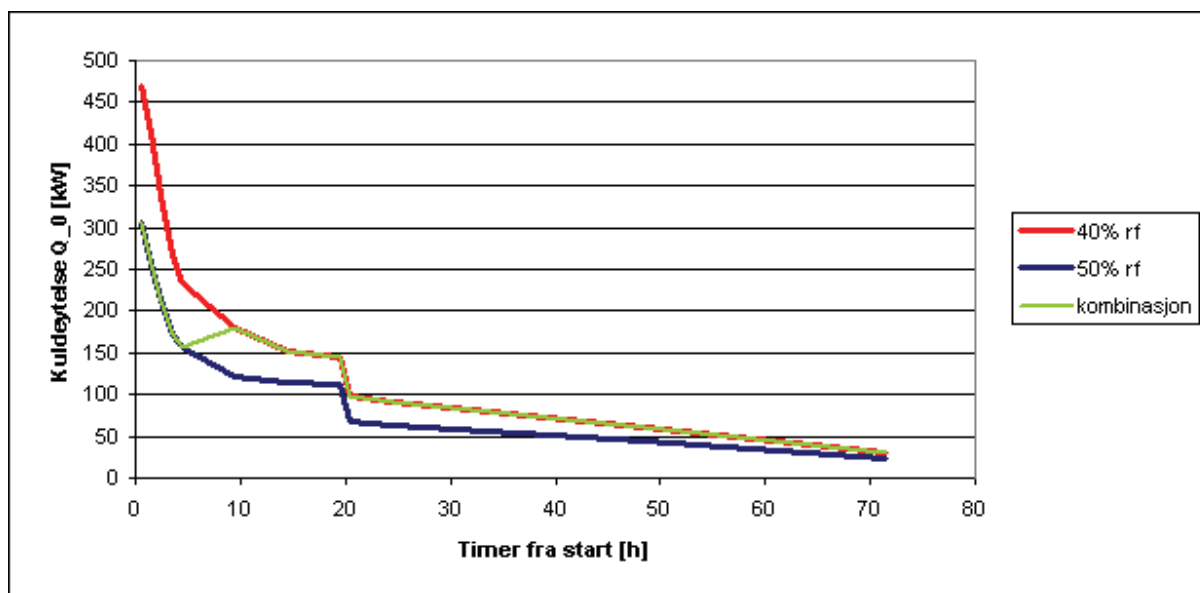


Fig. 4.5 Kuldebehov for en tunnel per tid

Under har jeg plottet avvaning mot tid for case 1 og 2. Ut fra denne ser vi hvordan case 2 med 50 % luftfuktighet blir liggende under case 1 i nesten hele tørkeforløpet, case 2 med 40 % luftfuktighet og kombinasjonen ligger nærmere. Tørkehastigheten er svært lav mot slutten av tørkeforløpet for oppsettene med ytelsesjustering. Dersom man hadde justert opp ytelsen noe mot slutten hadde man antagelig kunnet oppnå høyere avvaning i denne perioden, uten og miste altfor mye av energieffektiviteten.

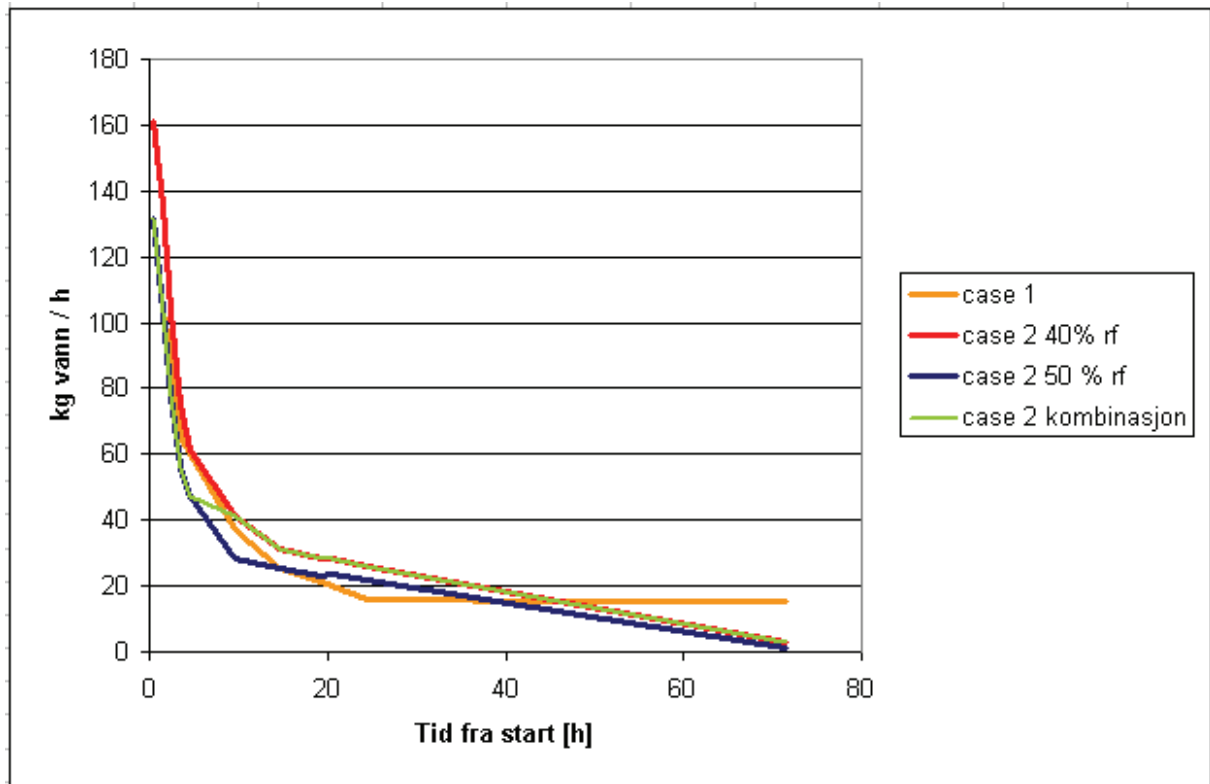


Fig. 4.6 avvanning

	Totalt antall kg vann fjernet per tunnel
Case 1	1650
Case 2 40 % rf	1560
Case 2 50 % rf	1192
Case 2 kombinasjon	1440

Tab 4.1 Vann fjernet per tunnel.

4.4 Case 3

En del av oppgaven var å se på muligheter for å redusere effektbehovet for slike anlegg. En mulighet ligger i å samkjøre flere tunneler med ytelsesregulering for å kunne benytte ytelsen bedre.

Dette fordrer til at ytelsen kommer fra et felles anlegg. Case 3 er et indirekte varmpumpesystem, med en ekstern, kompakt varmpumpe. Ventiler kan styre varme og kulde tilført hver varmeveksler, og slik oppnå trinnløs ytelsesregulering som foreslått i case 2.

For hver tunnel vil forholdene være de samme som i case 2, men det vil være en ekstra temperaturdifferanse i varmpumpen. I beregningen ble det lagt inn 5 K ekstra temperaturdifferanse på både varm og kald side. Dette medfører en reduksjon i COP fra 3,6 i case 1 og 2, til 2,74.

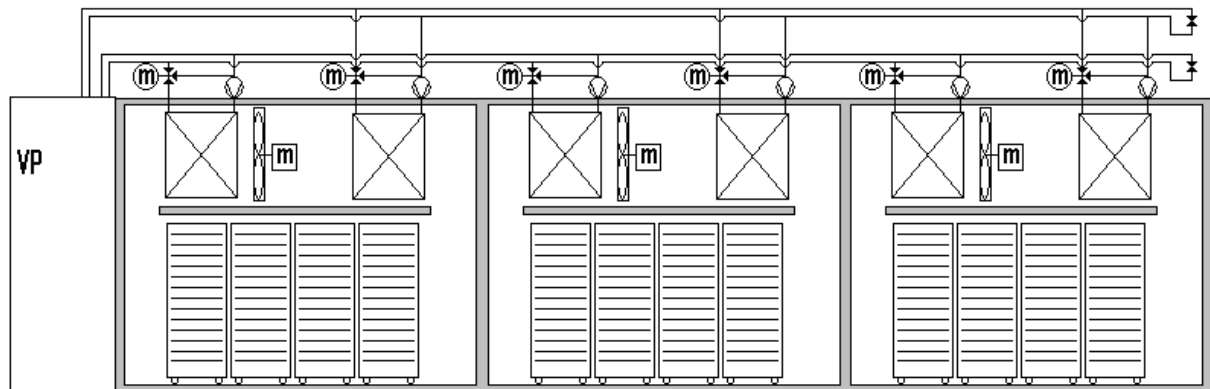


Fig. 4.7 Oppsett for tunneler i serie.

Lavere COP gir lavere SMER i begynnelsen av tørkeforløpet, men bare et par timer. Mens et anlegg uten ytelsesregulering raskt faller i energieffektivitet, holder denne seg mer stabil. Den ender opp med gjennomsnittlig SMER på 0,97 kg vann per kWh, mer enn det dobbelte av case 1 med 0,42.

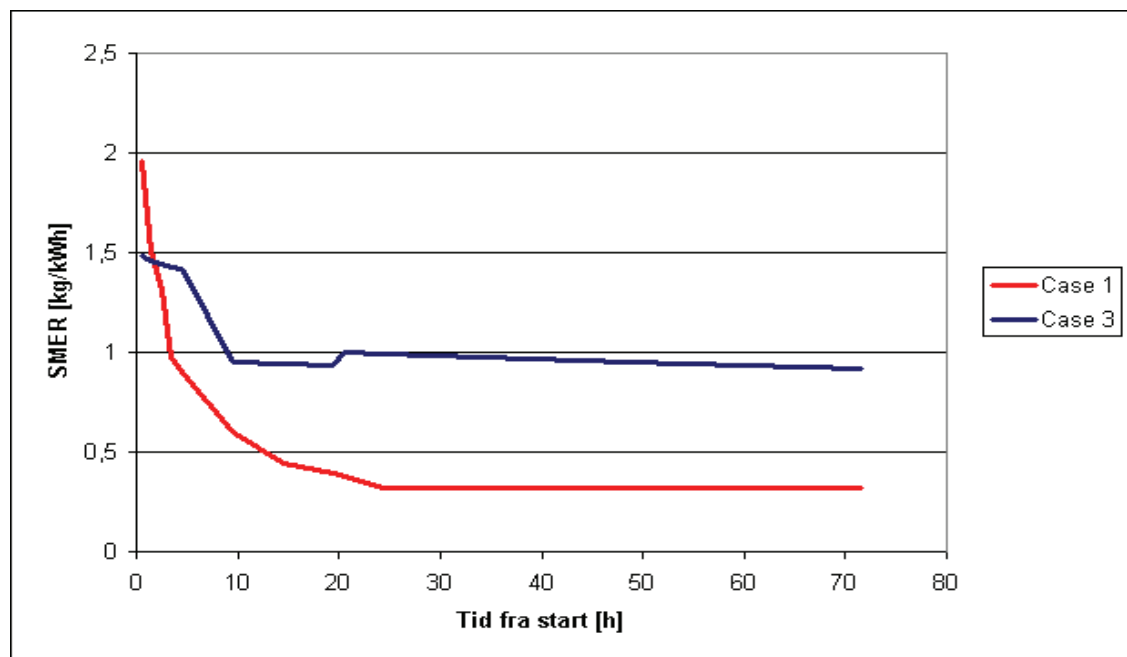


Fig. 4.8 SMER Case 1 og 3, for en enkelt tunnel.

Gevinsten i effektbehov hentes fra å kjøre de tre tunnelene slik at effekttoppene ikke sammenfaller. I fig. 4.9 har jeg satt opp et forslag til en slik ordning. Da startes en tunnel opp tidlig på mandag formiddag, og etter fire timer startes det opp en ny tunnel. Den tredje starter opp tirsdag morgen. Torsdag morgen tømmes tunnel 1, og lastes og startes på nytt. Tunnel 2 og 3 startes i hver sin ende av fredagen. Med dette oppsettet kan man kjøre hver tunnel to ganger per uke, og høste en vesentlig gevinst i reduksjon av effektbehov. Case 1 trenger tilført effekt på 255 kW, case 3 klarer seg med 204 kW; en reduksjon på 20 %.

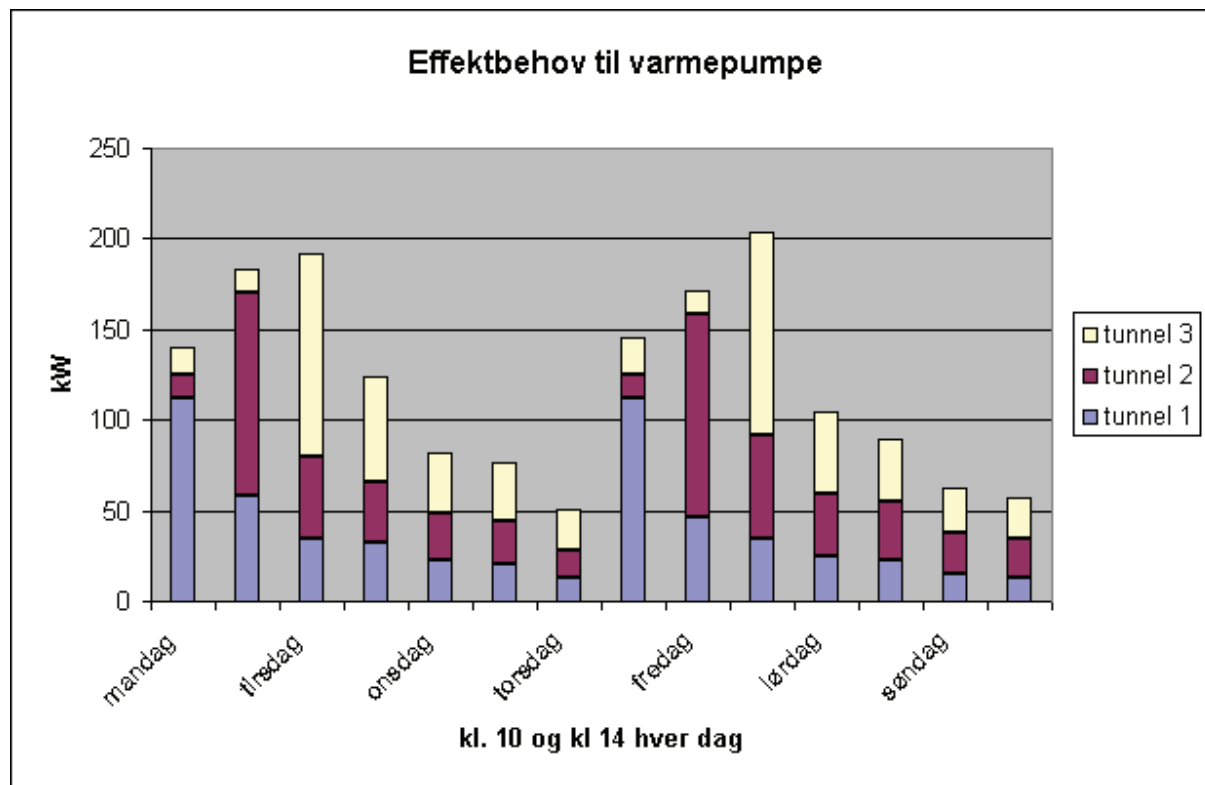


Fig 4.9 Effektbehov til varmepumpe for case 3

4.5 Diskusjon

Det er liten tvil om at det er mye å spare på å gjøre visse justeringer på tverrblåste batchtørker. Det er allikevel visse forbehold vi må ta med denne modellen. Tørkehastighetene i modellene er hentet ut fra tabellene som ble laget under tolkningen av forsøksdataene. Det vil si at da betingelsene i tørkeluften endret seg i beregningene ble tørkehastighetene hentet fra en ny tabell. Tilsvarende, når lufthastigheten ble endret i case 2 ble tørkehastighetene hentet fra en kolonne med riktig lufthastighet.

Det fremgår klart fra forsøkene at dette ikke uten videre lar seg gjøre. Tørkehastigheten er avhengig av det som har hendt tidligere; antagelig hvordan fuktprofilen er i fisken, om det har dannet seg et salt- eller proteinlag på overflaten, eventuelle kjemiske reaksjoner etc.

I et større parti med fisk enn de få som mine kurver er basert på vil det være en viss oppfukning av tørkeluften, særlig i starten av tørkeforløpet. Dette vil "flate ut" tørkekurven ved at den gjennomsnittlige fuktigheten fisken opplever er høyere enn den som måles ved innløpet.

Dette momentet, som jeg også nevnte innledningsvis, er en annen feilkilde i disse beregningene. Ved å forenkle tørkeprosessen til en punktmasse vil det åpenbart oppstå unøyaktighet.

Når dette er sagt er allikevel resultatene overbevisende, og sannsynliggjør at det er et vesentlig potensial for bedre effekt- og energiutnyttelse i næringen, særlig ved bruk av mer aktiv regulering og indirekte anlegg.

	Case 1	Case 2 – 40% rf	Case 2-50% rf	Case 2 kombinasjon	Case 3
Q_0 [kW]	918	1408	918	918	559
W_vp	255	391	255	255	204
SMER [kg/kWh]	0,42	1,24	1,83	1,28	0,97
Fjernet vann [kg]	4950	4675	3577	4315	4315

Tab. 4.2 oppsummering

5.0 Konklusjon

Vi vet at tørkehastigheten i klippfisktørker påvirkes og drives forhold i tørkeluften, samtidig ser vi forholdene i fisken også har stor betydning. Forsøket på å sette opp en tabell hvor tørkehastigheter kunne hentes ut ettersom forholdene endres og tørkeforløpet skrider frem misslyktes på grunn av dette.

Forskjellene mellom målingene virker allikevel ikke så avskrekkende at dataene ikke kan brukes til å tilnærme tørkehastighetene i casestudie. Case 1 i denne rapporten, som fungerer som base case, er muligens den av simuleringene som har høyest usikkerhet fordi det er her forholdene endres mest i løpet av prosessen.

Resultatene blir dermed kanskje bedre enn det som faktisk er tilfelle, men virker uansett å sannsynliggjøre at det er vesentlige effektiviseringsgevinster å hente ved mer utstrakt bruk av ytelsesregulering. Vi kan også slå fast at det vil være mulig og redusere effektbehovet, og dermed anleggstørrelsen ved å innføre et indirekte varmpumpesystem som forsyner en serie tunneler med effekt.

Et slikt oppsett kan også brukes til å redusere tapene knyttet til å snu retningen på luftstrømmen dersom produsentene ikke ønsker å avskaffe denne praksisen, eller det viser seg at det har større effekt for sluttresultatet enn antatt. Å justere ned volumstrømmen av tørkeluft etter en tid, kanskje helst med avstenging av en del av viftene, vil gi høyere SMER som gevinst.

6.0 Forslag til videreføring

Fukttransporten og faktorer som påvirker denne er ikke godt kjent for saltet fisk. Det bør derfor gjennomføres et tverrfaglig studie som tar mål av seg til å komme opp med en matematisk modell som beskriver fukttransportmekanismer som funksjon av tidligere hendelser. Med en slik modell vil tørkeprosessen kunne beregnes og tørkeprosessen tilpasses de produkter som markedet etterspør.

En slik modell vil nødvendigvis bli omfattende og komplisert, og det er en rekke faktorer som må undersøkes grundigere. Overflatelaget av fisken, der kontakten mellom tørkeluften og fisken finner sted, har sannsynligvis mest å si for tørkehastighetens forløp. I begynnelsen av en tørkeperiode er denne overflaten fuktet og tørkehastigheten er høy, mens når overflatevannet forsvinner og det dannes et tørrsjikt, så faller tørkehastigheten raskt. Det kan tenkes at det er en gevinst å hente ved la overflaten være fuktig i en noe lengre periode (ikke så rask tørking i begynnelsen), og gi proteiner og salter en mulighet til å ikke danne for tett hinne på overflaten. Vi vet at det avsetter seg salter, proteiner og enzymer på fiskens overflate. Dannelse av dette laget, og kjemiske reaksjoner som måtte finne sted her, må også studeres nærmere.

Rent bortsett fra denne kompliserte løsningen kan det være mulig å finne gevinster på mer opplagte måter, som å redusere veien fukten må transporteres. Dersom skinnet fjernes før tørking, fjernes en vesentlig fuktbarriere på den ene siden av fisken, og arealet med full tørkehastighet blir dobbelt så stort. Hvis skinnet fjernes før salting, vil dette også redusere tiden fisken trenger til salting. Gevinstene og problemene ved en slik løsning bør studeres nærmere.

Hvis man først tenker i de baner å bearbeide fisken før den legges inn i tørketunnelen er det også andre muligheter for effektivisering. Fisken er mye tykkere i midten ved ryggsoylen, enn ute på sidene. Disse delene vil følgelig ha forskjellig tørketid i forhold til de tynne delene av fisken. Ved å preparere fisken på forhånd, og fordele ryggfiletene for seg, kan man sortere de tynnere delene og tørke disse for seg og oppnå kortere tørketid. Dette vil neppe lønne seg på grunn av ekstra arbeidskostnader, men åpner for en interessant mulighet.

Klippfisk er først og fremst en eksportartikkel for Norge med sesongpreget etterspørsel og lang transport. Salting med etterfølgende tørking gjør at holdbarheten må være lang. Fagsting av fisk foregår i stor grad i vintersesongen for skrei i Lofoten. Distribusjonsapparatet sør i Europa og i Sør Amerika er ikke det samme som i Nord Europa. Dette gjør tørkingen ganske fordelaktig.

Samtidig lever vi i en del av verden som er preget av kulturell diffusjon, samt effektivisering av mange aspekter av menneskers tidsbruk. Uten at jeg, med tiden jeg har igjen, kan produsere tall for å stadfeste dette, tror jeg vi trygt kan fastlå at det moderne norske kjøkken er i utvikling, og at mange mennesker ønsker innovasjon på kjøkkenet velkommen.

Det er min påstand at måten klippfisk selges i dag hindrer den innenlandske etterspørselen i å stige. Mange, særlig yrkesaktive mennesker med god økonomi, er under et tidspress i hverdagen og vil neppe bruke tid på å tilberede klippfisk med den tidsbruk som det kreves i dag, hvis klippfisk skal inngå som en del av hverdagskosten.

Klassifiseringssystemet for klippfisk i Portugal gjør at klippfisk som selges til denne kulturelle sfæren må ha et fuktinnhold under 47 %. Denne begrensningen finnes ikke nord i Europa.

Dersom man fjerner skinn og ben, i hvert fall fra fileten, og selger denne fryst eller vakuumpakket i Norge, tror jeg det vil være en stor fordel om man ikke tørker fisken så mye som i dag. Her i nord kan fremdeles dette produktet selges som klippfisk, og antagelig med relativ høy kilopris ettersom målgruppen for et slikt produkt vil være inntektsgruppen som utgjør middelklassen og oppover. Dette er også fordelaktig fordi produktet vil være tyngre på grunn av vanninnholdet. De tynnere delene av fisken kan eksporteres fullt tørket, eller inngå i ferdigprodukter.

Slik sett tror jeg at det største potensialet for å effektivisere tørkeprosessen for klippfisk er å åpne et nytt, og mindre tradisjonstynget marked, og å selge produkter her som ikke krever like omfattende tørking. Denne muligheten bør studeres med markedsundersøkelser.

7.0 Kilder

Statistisk sentralbyrå, <http://www.ssb.no/emner/09/05/uhaar/tab-25.html>

Strømmen, I. 1980, ”Tørking av klippfisk”

ASHRAE, 2006, ”Handbook – Refrigeration”

Lynum, L. 2005, ”Videreforedling av fisk”

Jonassen, Walde, 2006, SINTEF-rapport TRF 6418 ”Brenning og skorpedannelse i klippfisk – laboratorieforsøk”

Østli, Heide, Reiertsen, Nøstvold, Bjørkevoll, Fiskeriforskning rapport 19/2007, ”Klippfisk – en samling populærvitenskapelige artikler”

Magnussen, 2008 SINTEF-rapport ”Aggregattyper og energiutnyttelse”

Jonassen, Walde, Magnussen, 2004, SINTEF-rapport TRF6482 ”Sammenligning av langsblåste og tverrblåste klippfisktørker”

Vedlegg

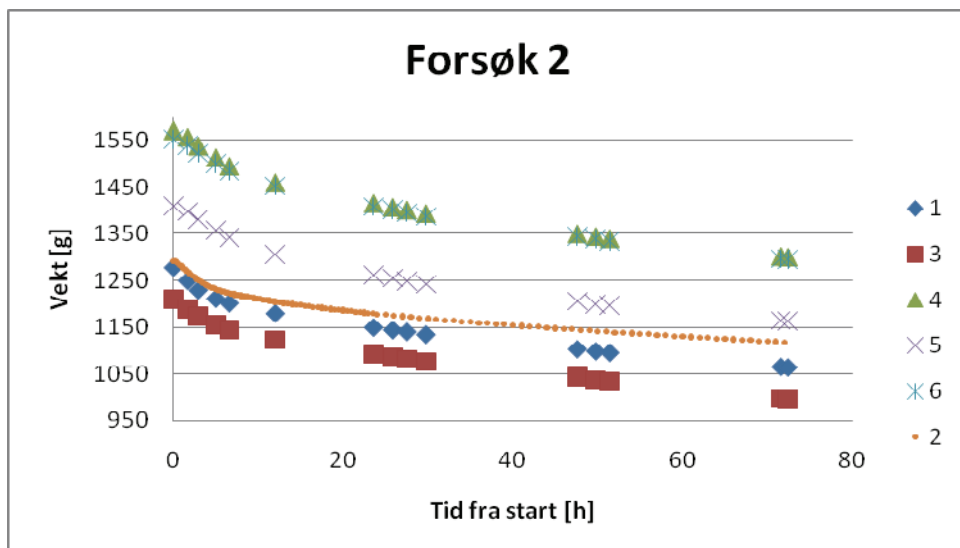
A

Forsøk	Fisk	Skål	Før	Etter	Tørrstoff	Vann	Vanninnhold	Snitt	
1	1	a	2,614	7,295	4,615	2,001	2,68	0,572527238	0,574855
		b	2,608	7,727	4,78	2,172	2,947	0,575698379	
		c	2,611	7,877	4,842	2,231	3,035	0,576338777	
	4	a	2,597	7,695	4,694	2,097	3,001	0,58866222	0,589294
		b	2,615	7,56	4,654	2,039	2,906	0,587664307	
		c	2,6	7,526	4,612	2,012	2,914	0,591555014	
2	1	a	2,613	7,946	4,873	2,26	3,073	0,576223514	0,576465
		b	2,595	7,719	4,768	2,173	2,951	0,575917252	
		c	2,618	7,401	4,64	2,022	2,761	0,57725277	
	4	a	2,588	7,152	4,457	1,869	2,695	0,590490798	0,556265
		b	2,574	7,287	4,98	2,406	2,307	0,489497136	
		c	2,599	7,424	4,583	1,984	2,841	0,58880829	
3	1	a	2,613	7,563	4,792	2,179	2,771	0,55979798	0,560916
		b	2,607	7,601	4,781	2,174	2,82	0,564677613	
		c	2,612	7,563	4,799	2,187	2,764	0,558271056	
	4	a	2,597	7,691	4,793	2,196	2,898	0,568904594	0,563223
		b	2,617	7,323	4,669	2,052	2,654	0,563960901	
		c	2,6	7,591	4,812	2,212	2,779	0,556802244	
4	1	a	2,613	7,378	4,67	2,057	2,708	0,568310598	0,567251
		b	2,597	7,511	4,715	2,118	2,796	0,568986569	
		c	2,617	7,248	4,634	2,017	2,614	0,564456921	
	4	a	2,589	7,518	4,788	2,199	2,73	0,553864881	0,558421
		b	2,615	7,421	4,735	2,12	2,686	0,558884727	
		c	2,6	7,247	4,633	2,033	2,614	0,56251345	
5	1	a	2,593	7,243	4,655	2,062	2,588	0,55655914	0,565079
		b	2,602	7,266	4,602	2	2,664	0,571183533	

	c	2,597	7,464	4,702	2,105	2,762	0,567495377	
2	a	2,613	7,721	4,838	2,225	2,883	0,564408771	0,560667
	b	2,608	7,701	4,855	2,247	2,846	0,558806205	
	c	2,614	7,292	4,678	2,064	2,614	0,558785806	
3	a	2,597	7,286	4,665	2,068	2,621	0,558967797	0,562332
	b	2,617	7,31	4,694	2,077	2,616	0,557425954	
	c	2,601	7,445	4,681	2,08	2,764	0,570602808	
4	a	2,576	7,796	4,779	2,203	3,017	0,577969349	0,576178
	b	2,583	7,384	4,628	2,045	2,756	0,574047074	
	c	2,599	7,343	4,608	2,009	2,735	0,576517707	
5	a	2,614	7,065	4,473	1,859	2,592	0,582341047	0,583965
	b	2,569	7,559	4,646	2,077	2,913	0,583767535	
	c	2,648	7,882	4,816	2,168	3,066	0,58578525	
6	a	2,589	7,213	4,51	1,921	2,703	0,584558824	0,581445
	b	2,615	7,383	4,595	1,98	2,788	0,584731544	
	c	2,6	7,184	4,548	1,948	2,636	0,57504363	
6	1 a	2,614	7,543	4,665	2,051	2,878	0,583891256	0,558393
	b	2,1	7,552	4,733	2,633	2,819	0,51705796	
	c	2,614	7,511	4,699	2,085	2,812	0,57422912	
2	a	2,599	7,661	4,785	2,186	2,876	0,568154879	0,570066
	b	2,617	7,169	4,584	1,967	2,585	0,56788225	
	c	2,602	7,362	4,629	2,027	2,733	0,574159664	
3	a	2,615	7,655	4,818	2,203	2,837	0,562896825	0,563003
	b	2,598	7,496	4,744	2,146	2,752	0,561861984	
	c	2,627	7,343	4,682	2,055	2,661	0,564249364	
4	a	2,61	7,314	4,617	2,007	2,697	0,573341837	0,569623
	b	2,617	7,164	4,587	1,97	2,577	0,566747306	
	c	2,601	7,457	4,695	2,094	2,762	0,56878089	
5	a	2,594	7,412	4,725	2,131	2,687	0,557700291	0,563895
	b	2,602	7,196	4,587	1,985	2,609	0,567914671	
	c	2,598	7,396	4,68	2,082	2,716	0,566069195	
6	a	2,576	7,261	4,626	2,05	2,635	0,562433298	0,557765
	b	2,584	7,955	4,982	2,398	2,973	0,553528207	
	c	2,599	7,849	4,923	2,324	2,926	0,557333333	
7	a	2,637	7,501	4,638	2,001	2,863	0,588610197	0,569583
	b	2,63	7,201	4,536	1,906	2,665	0,583023408	
	c	2,217	7,417	4,624	2,407	2,793	0,537115385	

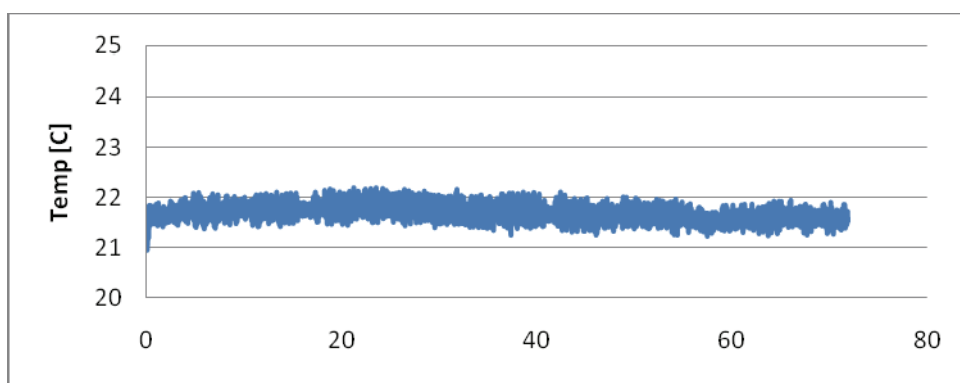
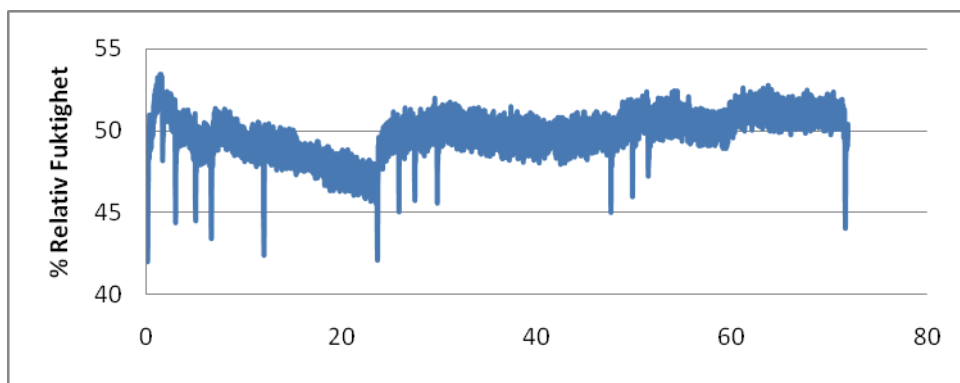
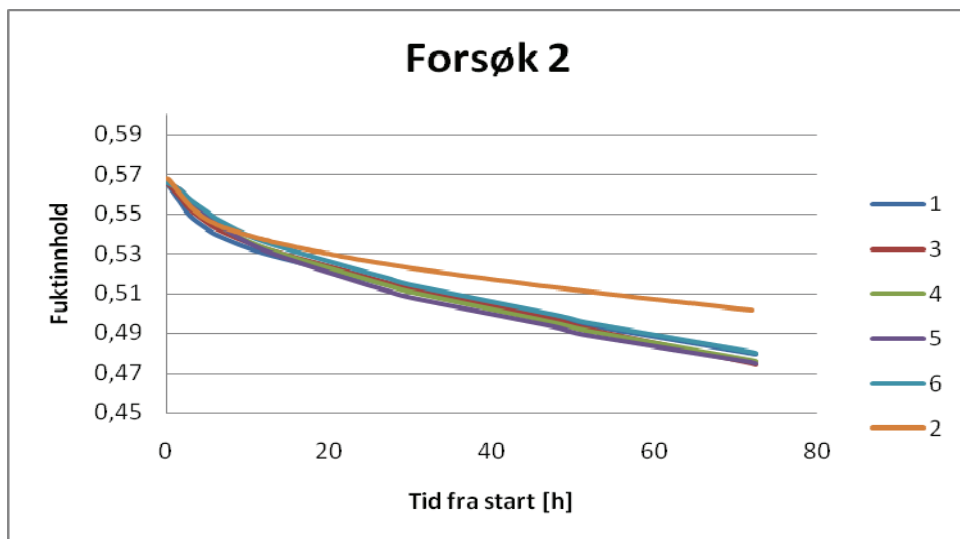
B

Forsøk 2

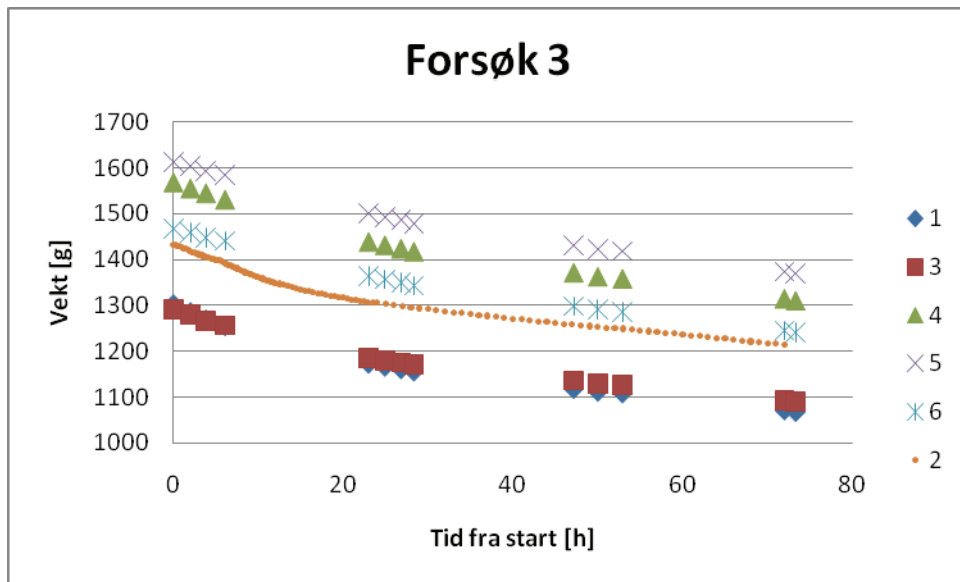


Målinger

Tid	tid	1	3	4	5	6	
02.03.2009	09:25	0	1278	1210,5	1569,9	1409	1553,3
02.03.2009	11:05	1,7	1249,8	1190,2	1555,5	1396,6	1539,7
02.03.2009	12:20	2,9	1229,6	1173,3	1537	1380,1	1522,6
02.03.2009	14:25	5,0	1211,5	1155,8	1511,9	1357,7	1501
02.03.2009	16:00	6,6	1201,8	1145,8	1493,7	1341,5	1486,1
02.03.2009	21:25	12,0	1179,9	1123,7	1458,3	1305,6	1452,5
03.03.2009	09:00	23,6	1149,9	1092,8	1414,2	1262,3	1409,3
03.03.2009	11:15	25,8	1144,4	1086,7	1406	1254,9	1401,7
03.03.2009	12:55	27,5	1140,5	1082,4	1400,3	1249,7	1396,1
03.03.2009	15:10	29,8	1134,8	1077,3	1392,8	1242,7	1388
04.03.2009	09:00	47,6	1103,6	1044	1349,4	1206,3	1345,9
04.03.2009	11:11	49,8	1099,2	1038	1343,6	1200,3	1340,3
04.03.2009	12:50	51,4	1096,1	1034,3	1339,4	1196,6	1335,4
05.03.2009	09:00	71,6	1065,8	999,7	1301,1	1165,3	1297,6
05.03.2009	09:50	72,4	1064,5	997,8	1299,3	1163,4	1295,7

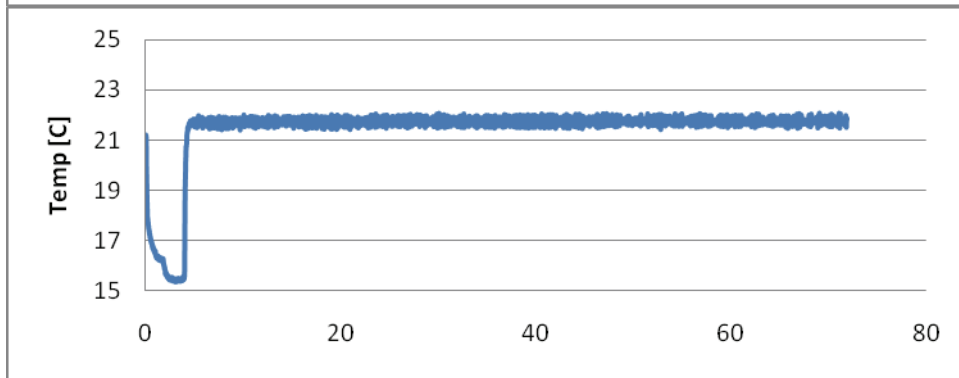
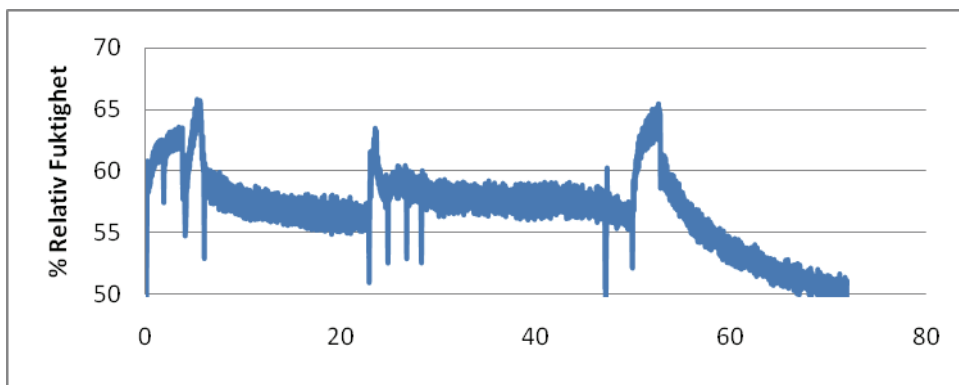
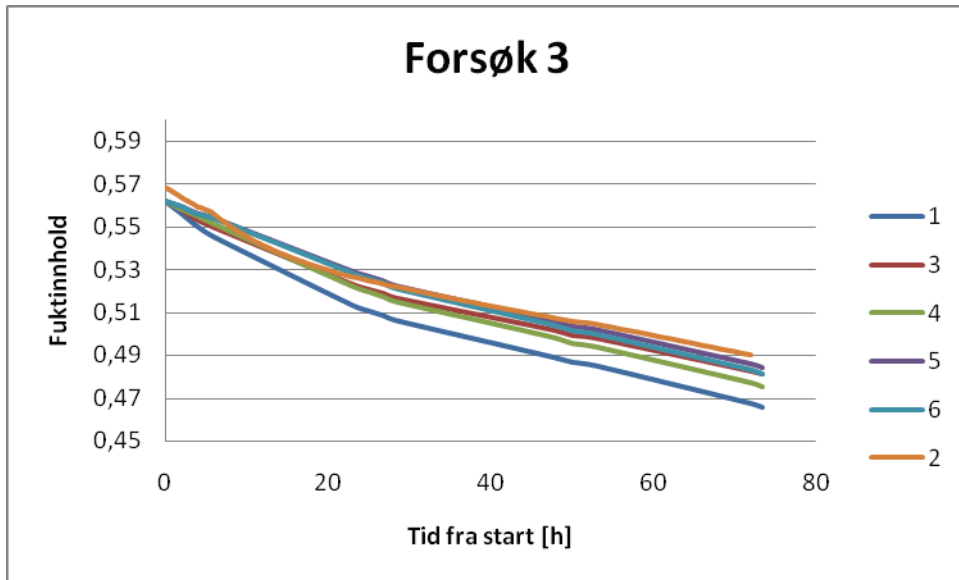


Forsøk 3

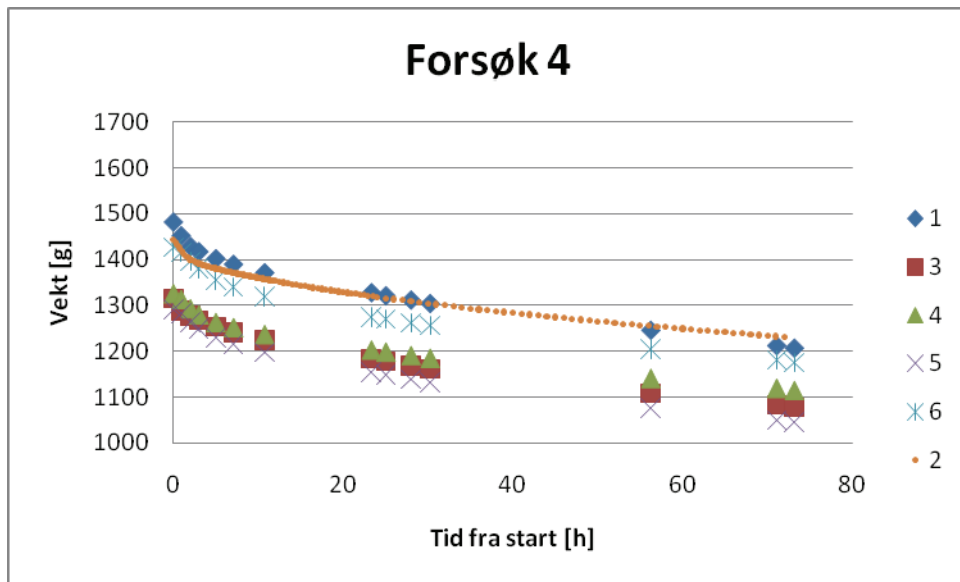


Målinger

Tid	tid	1	3	4	5	6
05.03.2009						
10:00	0	1301,7	1290,6	1568,7	1611,7	1467,9
05.03.2009						
12:00	2	1284,7	1279	1555,2	1602,7	1459,2
05.03.2009						
13:50	3,833333333	1268,5	1265,9	1544,9	1591,4	1448,2
05.03.2009						
16:05	6,083333333	1253,3	1255	1530,7	1582,8	1440,9
06.03.2009						
09:00	23	1171,3	1185,3	1438,2	1499,6	1363,3
06.03.2009						
10:55	24,91666667	1165,1	1179,6	1430,6	1492,5	1356,5
06.03.2009						
12:49	26,81666667	1159,7	1174,8	1423,4	1485,3	1350,1
06.03.2009						
14:20	28,33333333	1154,5	1169,7	1416,7	1478,4	1343,1
07.03.2009						
09:10	47,16666667	1116,5	1135,4	1370,8	1430,8	1298
07.03.2009						
12:00	50	1110,5	1128,8	1361,9	1422,2	1290,1
07.03.2009						
14:55	52,91666667	1106,8	1125,8	1357,5	1417,8	1285,7
08.03.2009						
10:00	72	1070	1092,2	1313,8	1373,4	1244,3
08.03.2009						
11:20	73,33333333	1066,5	1089,4	1309,2	1368,9	1239,7

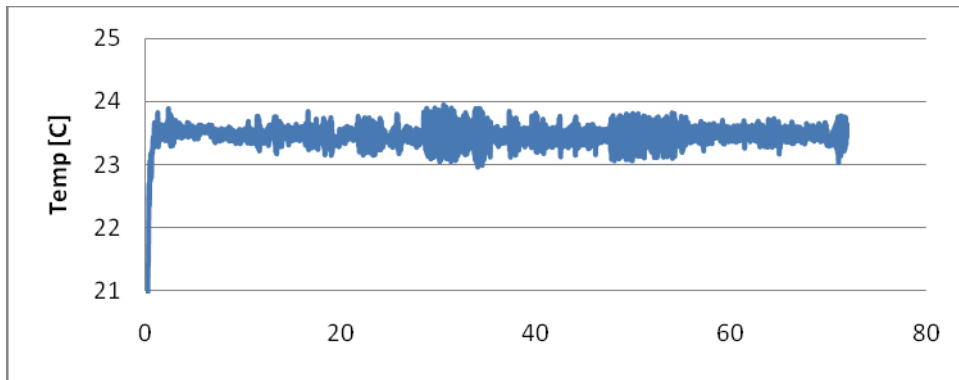
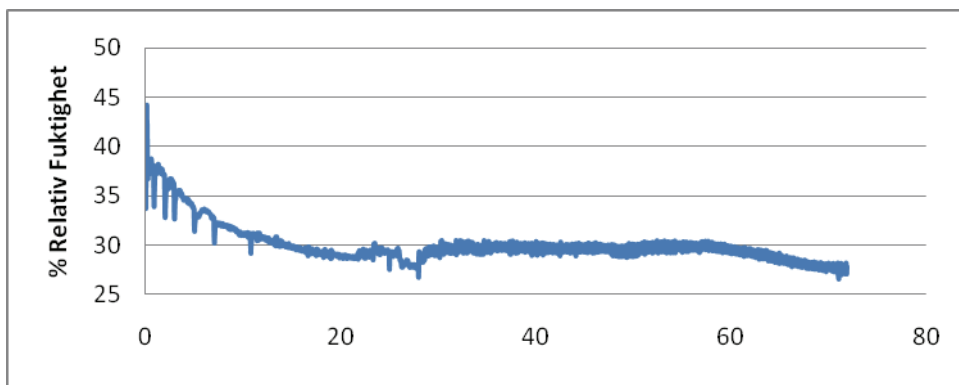
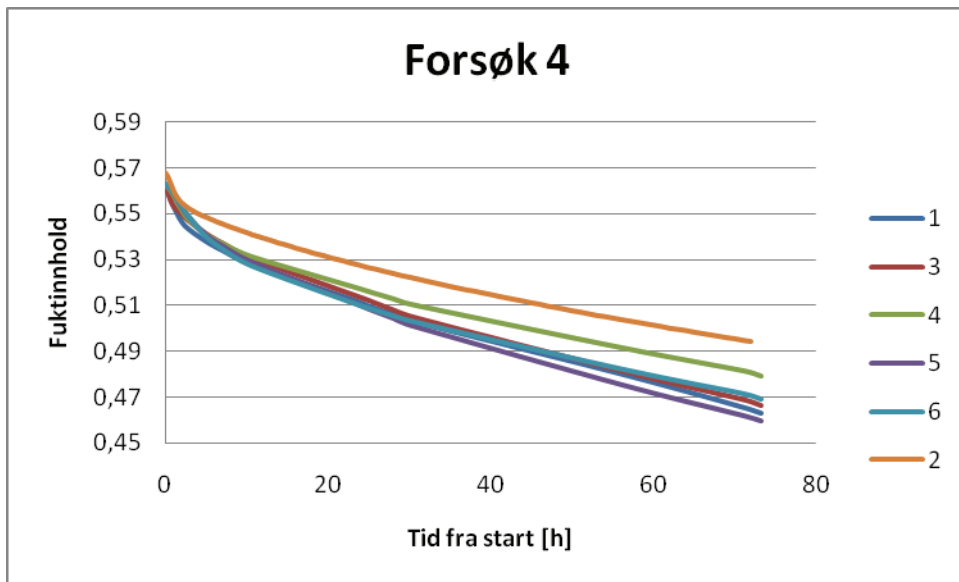


Forsøk 4

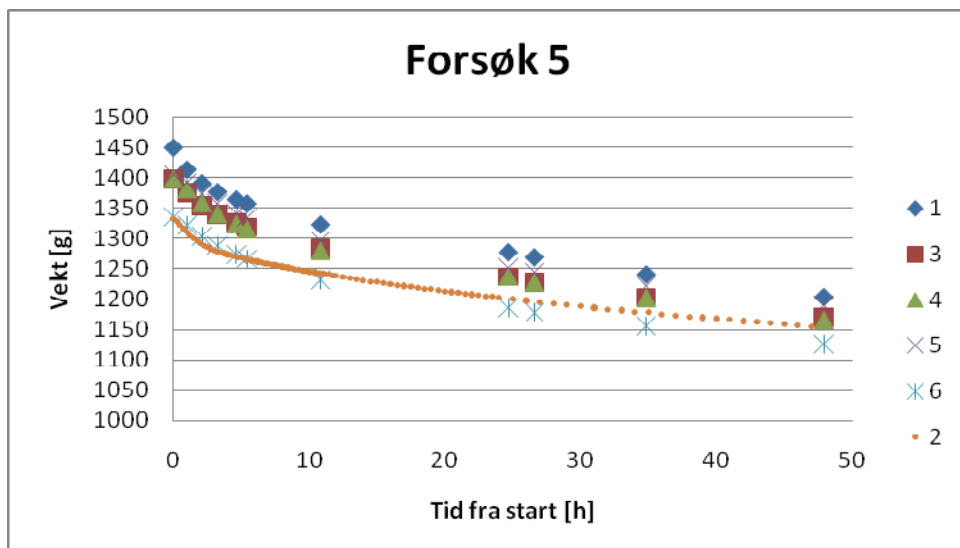


Målinger

Tid	tid	1	3	4	5	6
09.03.2009						
09:45	0	1481	1315,2	1326,3	1292,3	1426,8
09.03.2009	0,916666667	1451,2	1288,736	1313,7	1282,8	1416,311
09.03.2009	2	1427,8	1277,5	1293,2	1263,6	1396,6
09.03.2009	3	1416,2	1267,9	1279,8	1250,1	1380,6
09.03.2009	5	1401	1253,5	1263,1	1230,3	1355,7
09.03.2009	7,083333333	1388,7	1241,8	1251,8	1217	1339,5
09.03.2009	10,75	1370,2	1224,5	1236,5	1198,7	1318,5
10.03.2009	23,33333333	1326,8	1183,8	1202,6	1155,2	1274,5
10.03.2009	25,03333333	1320,1	1178,5	1198	1149,2	1269,4
10.03.2009	28	1310,6	1168,7	1190,3	1140	1260,9
10.03.2009	30,25	1303	1161,9	1184,4	1132,7	1255
11.03.2009	56,25	1244,6	1108,5	1140,2	1076,8	1204
12.03.2009	71,08333333	1211	1082,7	1118,3	1050,1	1179,7
12.03.2009	73,16666667	1205,5	1077,6	1113,5	1045,8	1174,6

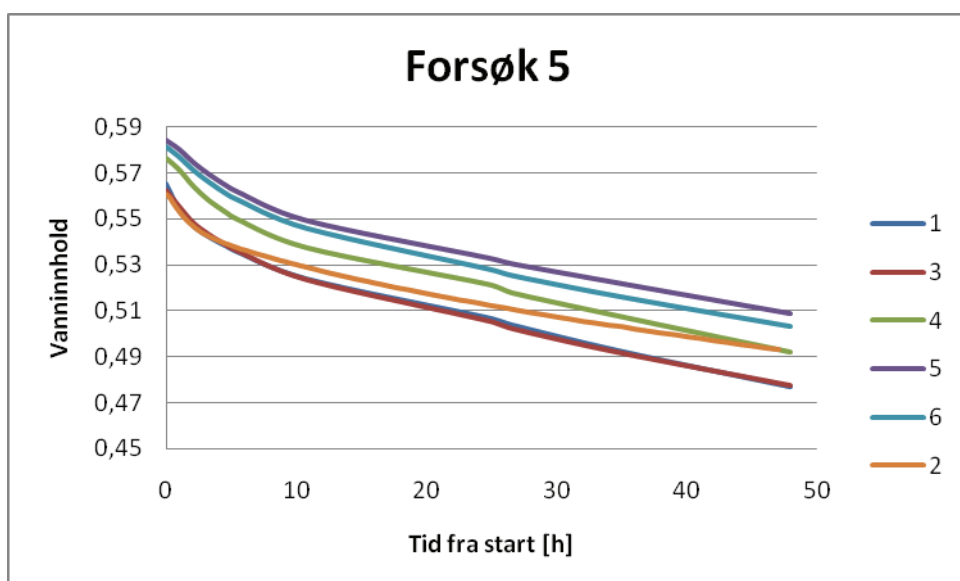


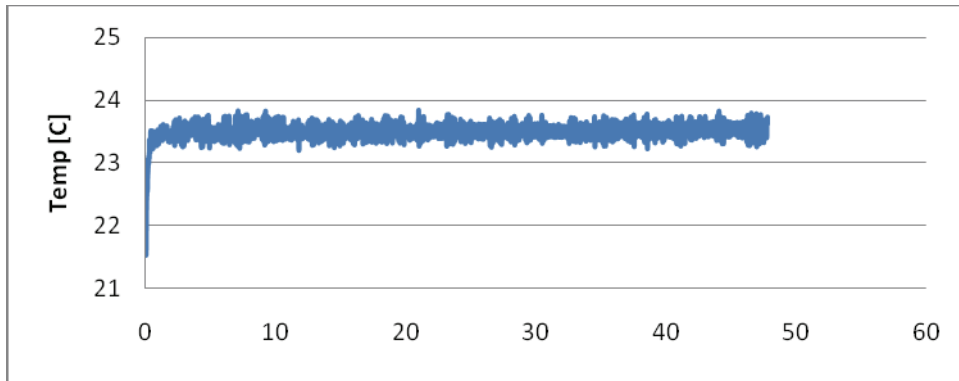
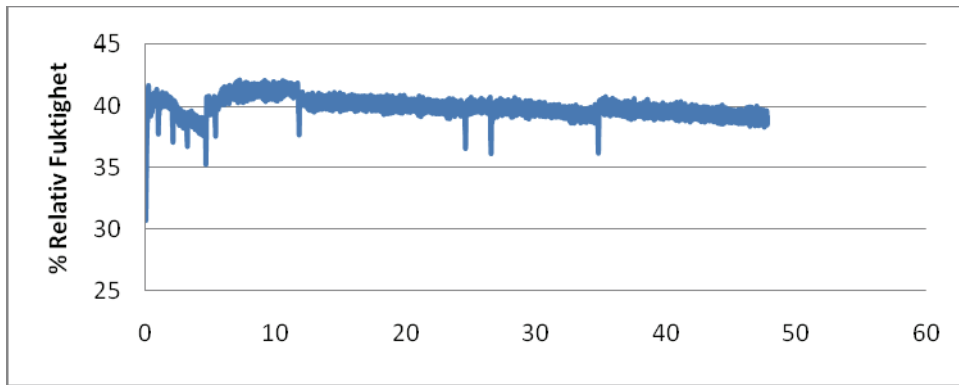
Forsøk 5



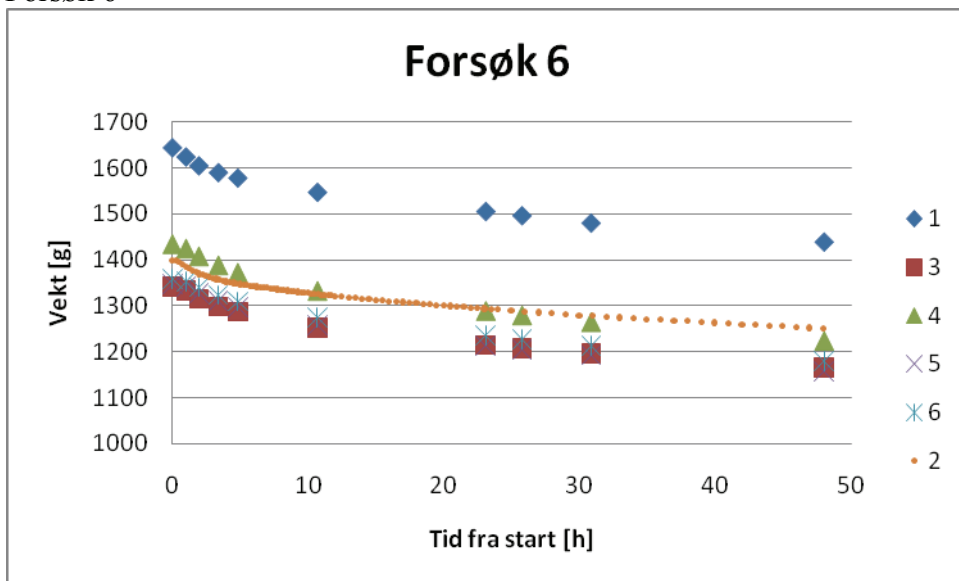
Målinger

Tid	tid	1	3	4	5	6
16.03.2009						
09:30	0	1449	1397	1397	1405,8	1336,7
16.03.2009						
10:30	1	1413	1374,9	1380,9	1392,6	1322,7
16.03.2009						
11:36	2,1	1390,4	1353,3	1358	1373,8	1304,7
16.03.2009						
12:45	3,25	1376,4	1338,7	1339,7	1358	1289,7
16.03.2009						
14:08	4,633333333	1364	1324,9	1323,3	1342	1274,1
16.03.2009						
14:55	5,416666667	1357,2	1318,4	1315,3	1334,5	1267,3
16.03.2009						
20:20	10,83333333	1322,8	1283,1	1279,7	1296,8	1231,9
17.03.2009						
10:10	24,66666667	1277,7	1237,1	1237,6	1252	1186
17.03.2009						
12:05	26,58333333	1269,4	1228,5	1227,8	1245	1178,7
17.03.2009						
20:20	34,83333333	1241,1	1203,3	1202,5	1223	1156,4
18.03.2009						
09:25	47,91666667	1204,2	1170,5	1165,8	1190,2	1126,2





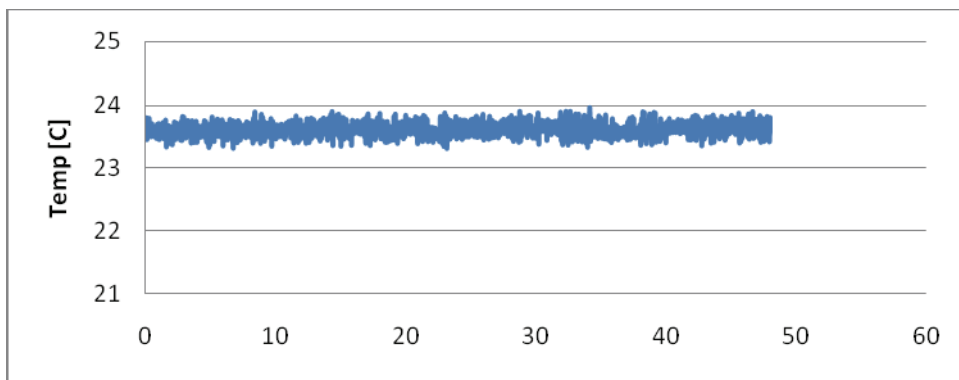
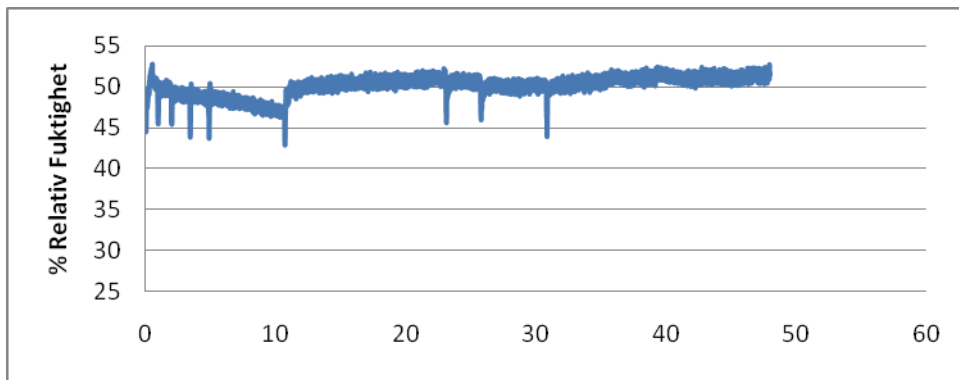
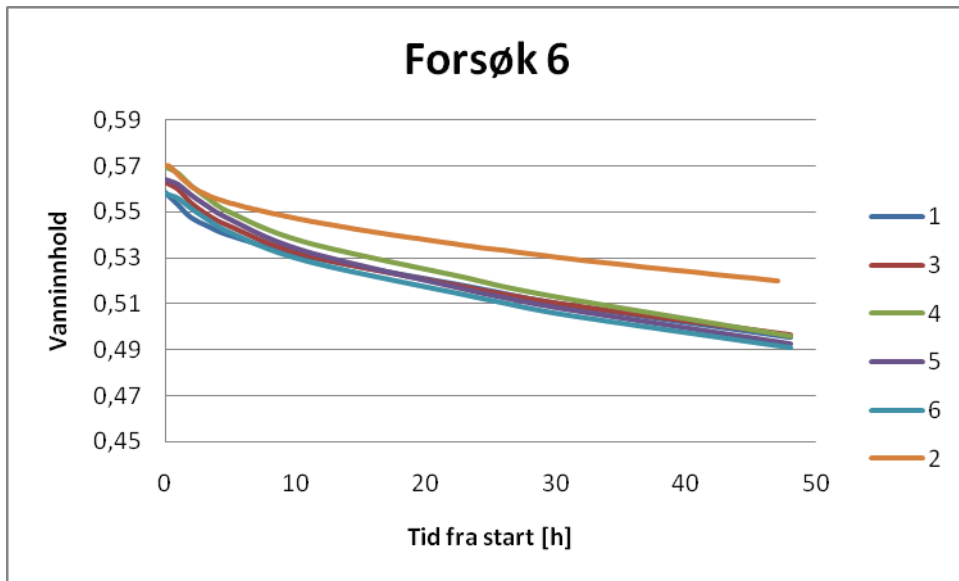
Forsøk 6



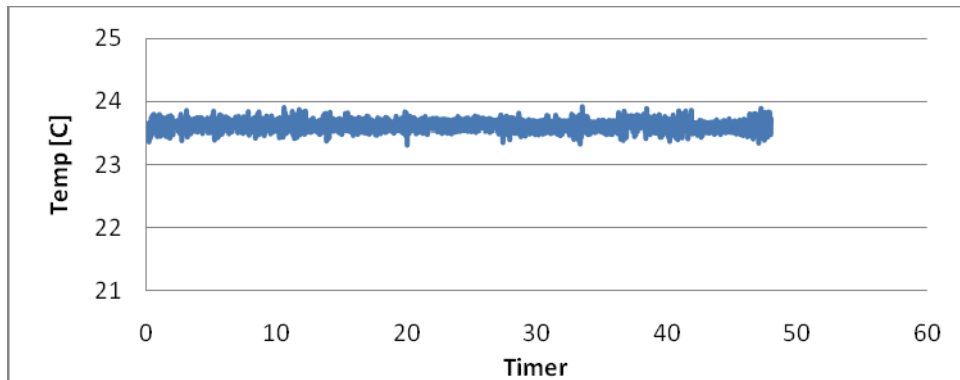
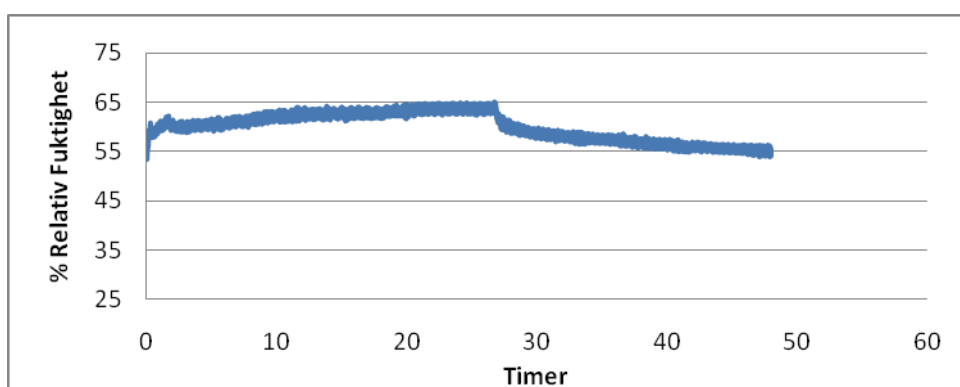
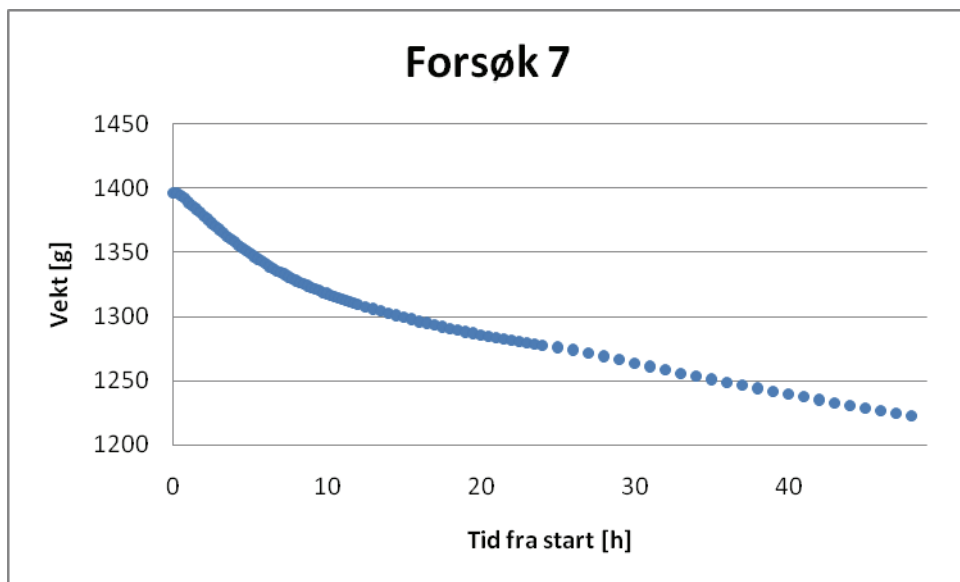
Målinger

Tid	tid	1	3	4	5	6
18.03.2009						
09:45	0	1643,1	1341,4	1434,4	1346,5	1358,9
18.03.2009						
10:45	1	1623,1	1331,7	1424,9	1340	1352,7
18.03.2009						
11:42	1,95	1603,9	1314,7	1408	1326,7	1340
18.03.2009						
13:08	3,383333333	1589	1297,5	1388,4	1310,1	1323,7
18.03.2009						
14:34	4,816666667	1577,1	1285,6	1372,4	1296,4	1310
18.03.2009						
20:26	10,68333333	1546	1250,5	1332,9	1257	1275
19.03.2009						
08:50	23,08333333	1504,3	1213,8	1289,4	1213,6	1235,5
19.03.2009	25,75	1495	1206,7	1279,8	1205,5	1227,6

11:30							
19.03.2009	30,83333333	1478,9	1195	1265,2	1192,3	1213,8	
16:35							
20.03.2009							
09:45	48	1437,6	1163,6	1224,4	1157,1	1180	

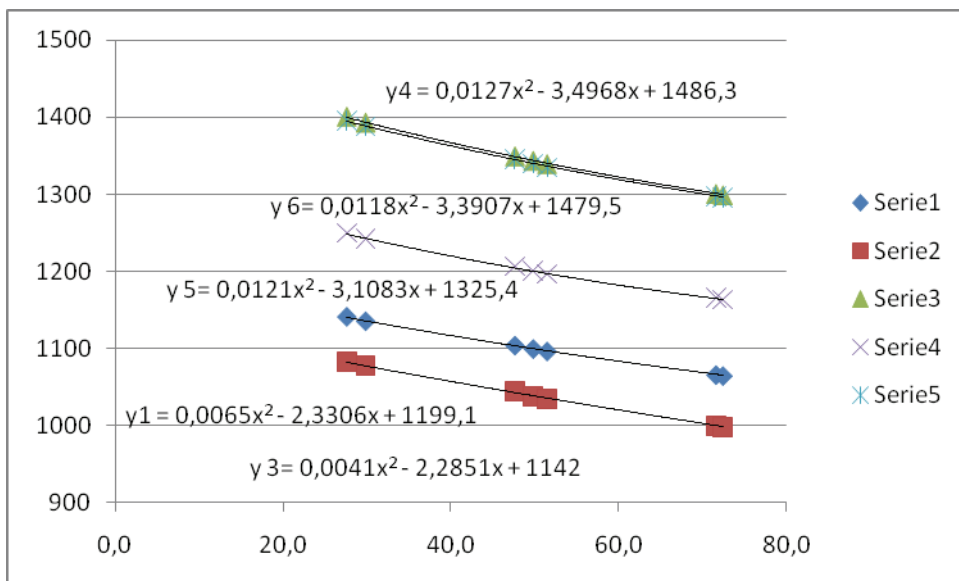
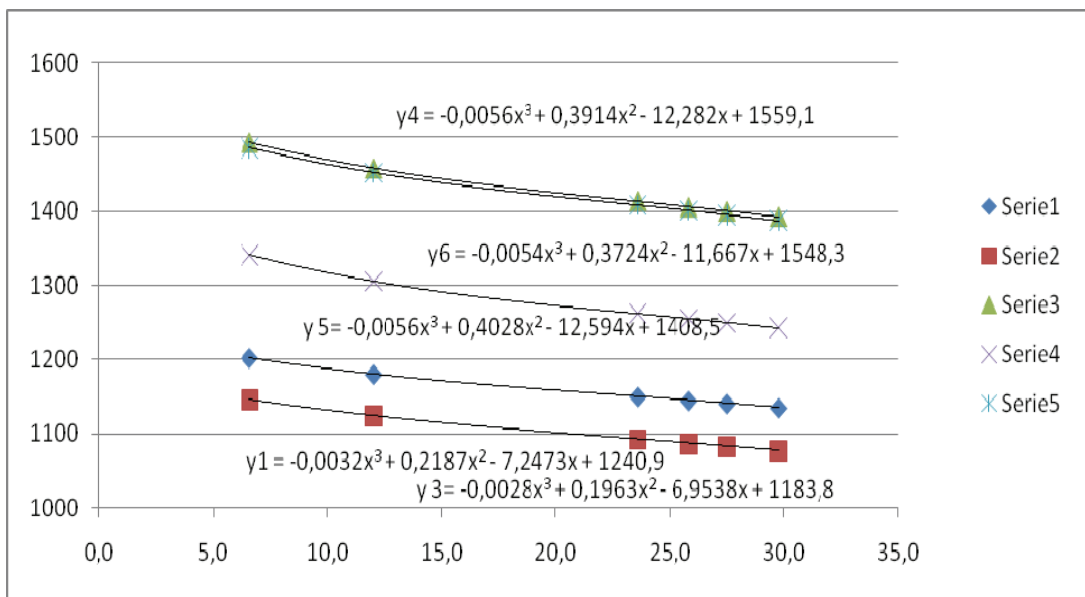
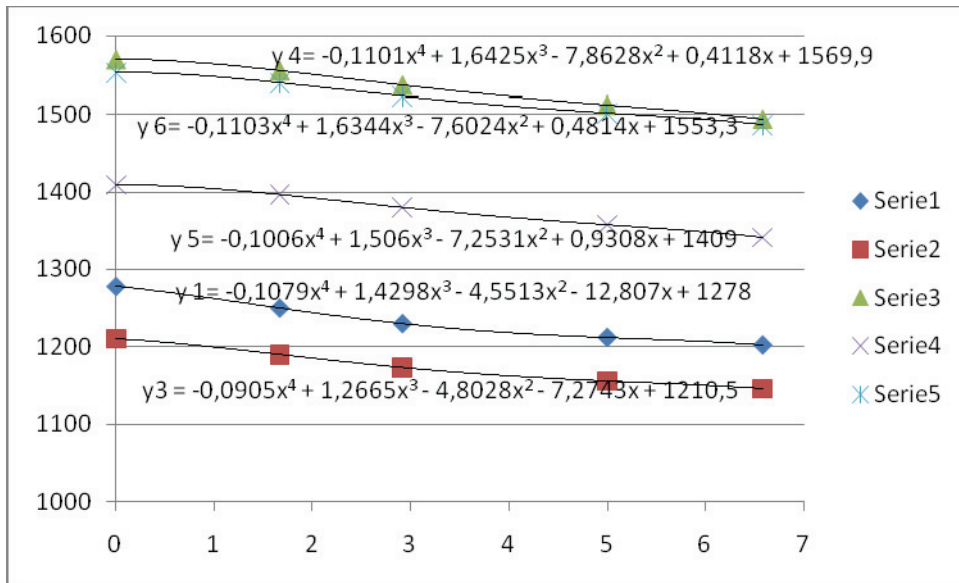


Forsøk 7

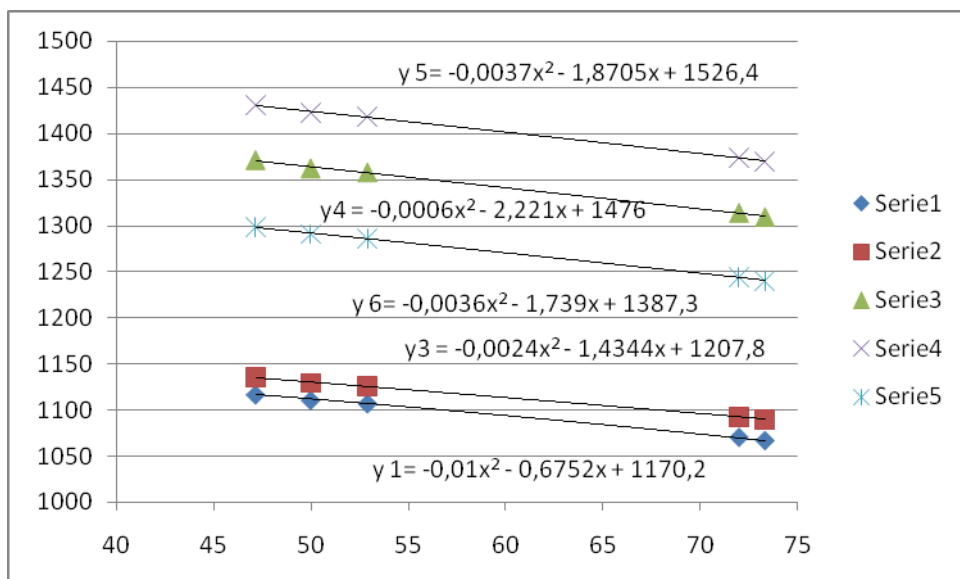
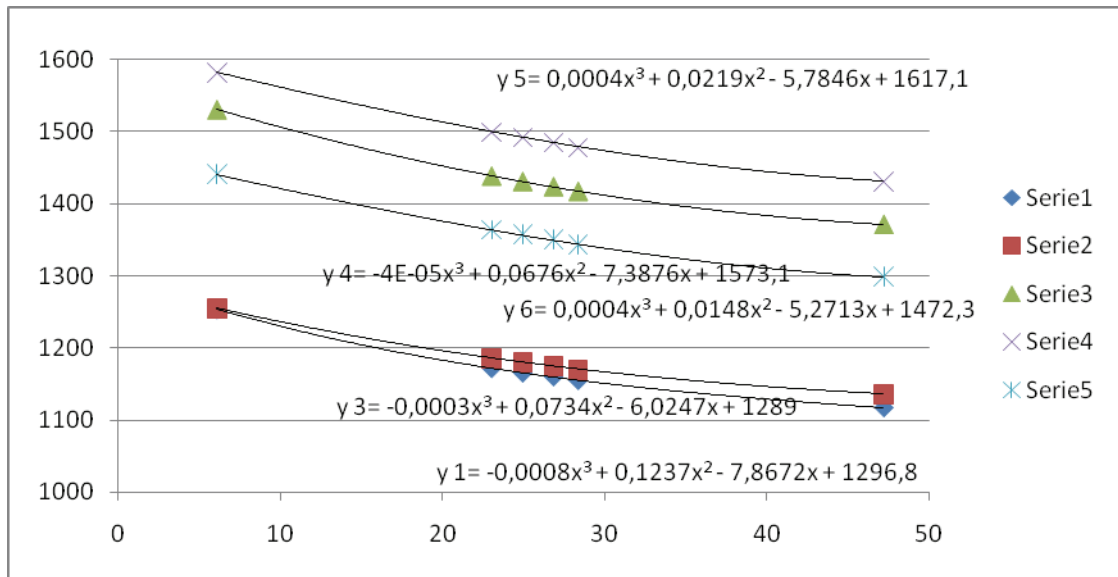
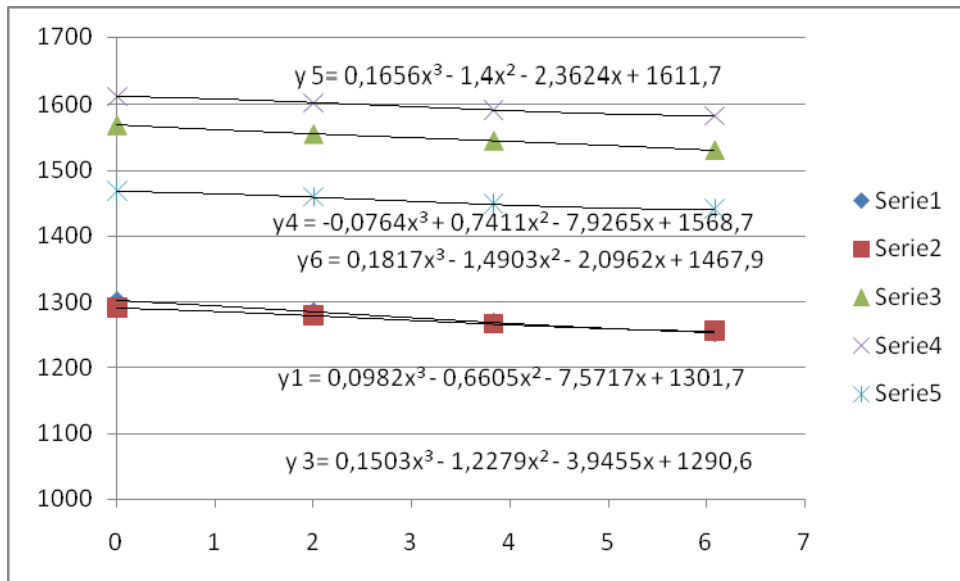


C

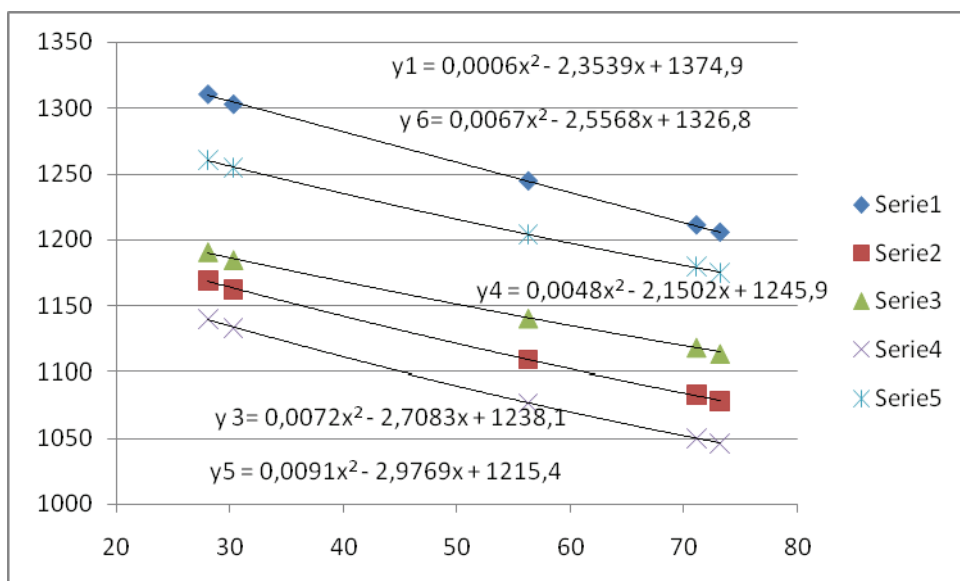
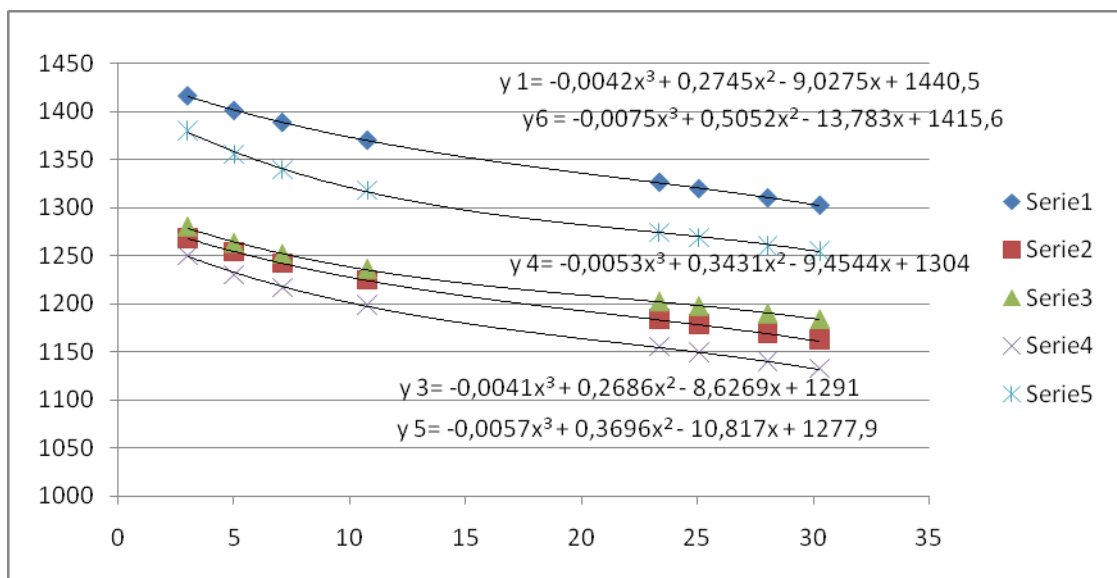
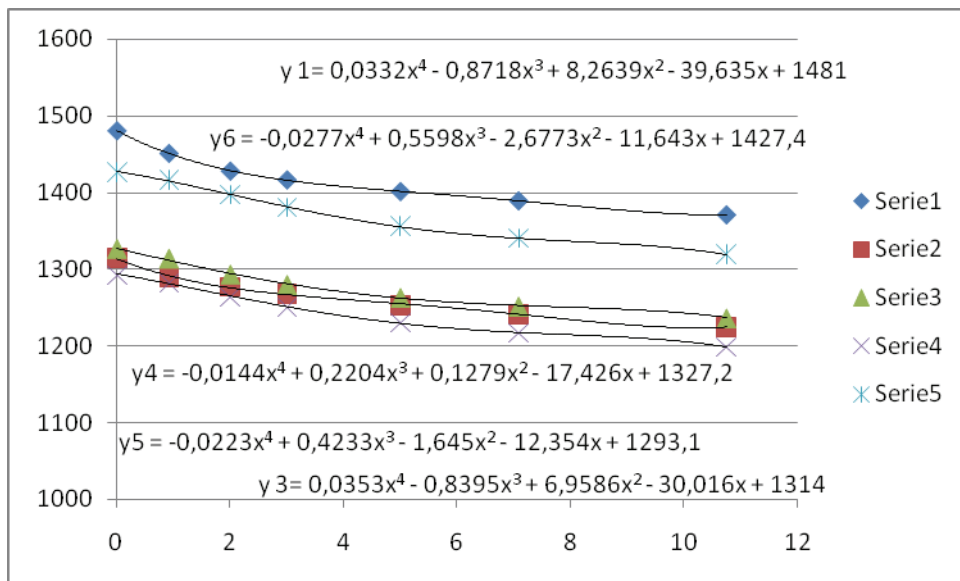
Forsøk 2



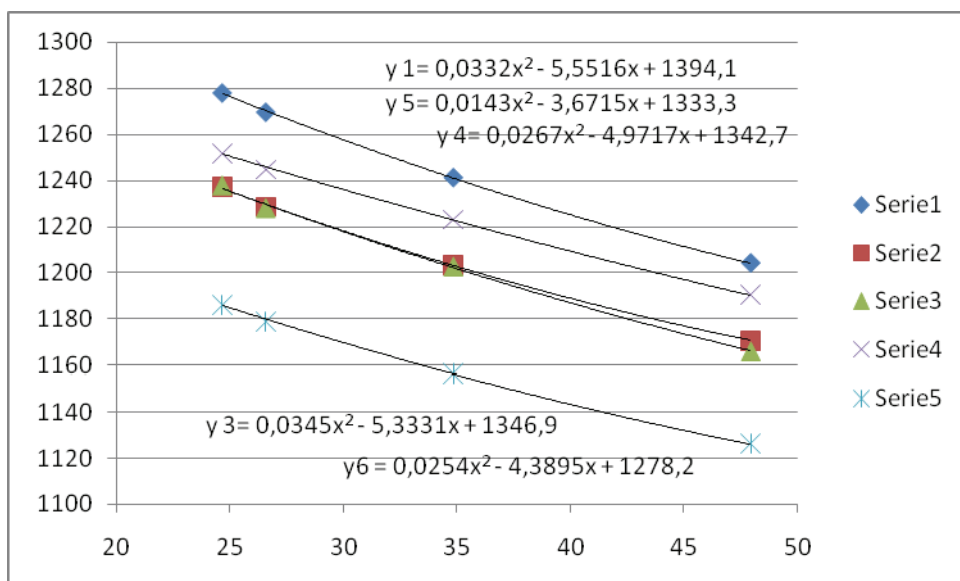
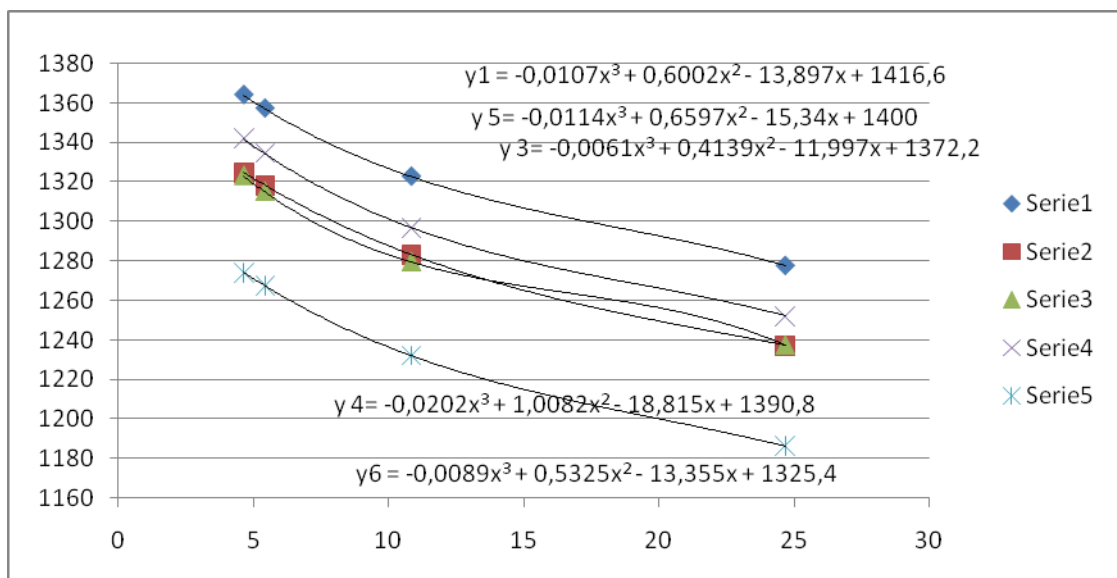
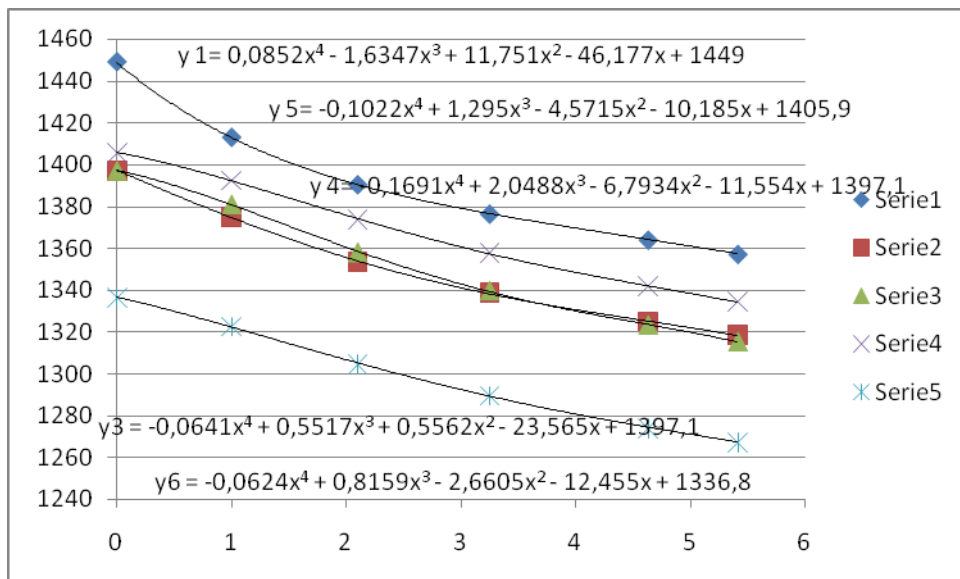
Forsøk 3



Forsøk 4



Forsøk 5



Forsøk 6

