

www.sintef.no



**SINTEF Energiforskning AS**

Postadresse: 7465 Trondheim
Resepsjon: Sem Sælands vei 11
Telefon: 73 59 72 00
Telefaks: 73 59 72 50

www.energy.sintef.no

Foretaksregisteret:
NO 939 350 675 MVA

TEKNISK RAPPORT

SAK/OPPGAVE (tittel)


Optimal lagring av klippfisk

SAKSBEARBEIDER(E)

Ingrid Camilla Claussen, Per Magne Walde, Ola M. Magnussen

OPPDRAKSGIVER(E)

FHL- Bacalao Forum

TR NR. TR A6764	DATO 2008-12-16	OPPDRAKSGIVER(E)S REF. Finn Arne Egeness	PROSJEKTNR. 16X797
EL. ARKIVKODE 081126123746	RAPPORTTYPE	PROSJEKTANSVARLIG (NAVN, SIGN.) Inge R. Gran	GRADERING Åpen
ISBN NR. 978-82-594-3380-0		FORSKNINGSSJEF (NAVN, SIGN.) Inge R. Gran 	OPPLAG SIDER 18
AVDELING Energiprosesser	BESØKSADRESSE Kolbjørn Hejes vei 1D		LOKAL TELEFAKS 73593950

RESULTAT (sammendrag)

Prosjektets hovedmål er å optimalisere lagringsforholdene for klippfisk ved å bestemme likevektsfuktigheten til klippfisk og dokumentere vektendring ved lagring av emballert og uemballert klippfisk.

Sorpsjonsisotermen angir vanninnholdet og vannaktiviteten i produktet ved likevekt. Sorpsjonsisotermen forteller om klippfisken kommer til å ta opp eller avgi fuktighet under lagring ved forskjellige luftfuktigheter og lagringstemperaturer. Sorpsjonsisotermen til klippfisk av torsk ble laget ved å måle vannaktivitet og vanninnhold av saltfisk av torsk under tørking. Ut fra målte sorpsjonsisotemer kan en konkludere med at likevektsfuktigheten for klippfisk av torsk er rundt 75 %. For å unngå vekt og kvalitetsendring under lagring bør luftfuktigheten på lager ligge rundt 75 %.

Måling av vanninnhold i et parti fisk viste at QVision gir et noe høyere mål for vanninnhold enn tradisjonell vanninnholdsmåling, henholdsvis 51,5 % oi forhold til 50,0 % i dette tilfellet. Forskjellen skyldes mest sannsynlig måleusikkerhet i begge måle metodene, samt fiskens naturlige inhomogenitet.

Emballert og uemballert klippfisk av Lange ble satt til lagring i et ferdigvarelager i mai 2008. Målinger av vekt ble foretatt fem ganger i løpet av 140 dager. Lufttemperatur og luftfuktighet i lager ble kontinuerlig logget i samme periode. Resultatene viste at upakket klippfisk av Lange har en negativ vektendring på 20 % for fisk i toppsjiktet og 5 % negativ vektendring for fisk i midtsjiktet av en pall, mens emballert klippfisk har ubetydelig vektendring ved langtidslagring i det undersøkte kjølelager. Kjølelageret har visse svingninger i lagringstemperatur og luftfuktighet, men luftfuktigheten er likevel nær eller like under likevektsfuktigheten (75 %). Eskenes plassering i pall ser ikke ut til å ha betydning for vektendring av klippfisk.

STIKKORD

EGENVALGTE	Klippfisk	Lagring
	Vektendring	Sorpsjonsisotemer

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
1 MÅL	3
2 BAKGRUNN	4
3 MATERIALER OG METODER	5
3.1 RÅSTOFF	5
3.2 SORPSJONSISOTERMER	5
3.3 VANNINNHold	5
3.4 VEKTENDRING UNDER LAGRING	5
3.4.1 Hele esker	5
3.4.2 Upakket fisk på pall	5
3.4.3 Plassering i pall og esker	6
3.4.4 Utjevning av vekt for liten og stor fisk ved lagring	6
3.5 LAGER OG LUFTFORHOLD	6
3.5.1 Kjølelager	6
3.5.2 Logging av temperatur og fuktighet på lager	7
3.5.3 Lagerforhold ved tilsvarende klippfisk lager	7
4 RESULTATER OG DISKUSJON	8
4.1 SORPSJONSISOTERMER	8
4.2 VANNINNHold	8
4.3 VEKTENDRING UNDER LAGRING	9
4.3.1 Hele esker	9
4.3.2 Upakket fisk på pall	10
4.3.3 Plassering i pall og esker	10
4.3.4 Utjevning av vekt for liten og stor fisk ved lagring	11
4.4 LAGER OG LUFTFORHOLD	11
4.4.1 Lagerforhold – temperatur og fuktighet	11
4.4.2 Temperaturforløp i esker under lagring	14
4.4.3 Lufthastighet	15
4.4.4 Lagerforhold ved tilsvarende klippfisk lager	15
5 KONKLUSJON OG VIDERE ARBEID	16
6 LEVERANSER	17
7 REFERANSER	18

1 MÅL

Prosjektets hovedmål er å optimalisere lagringsforholdene for klippfisk ved å bestemme likevektsfuktigheten til klippfisk og dokumentere vektendring ved lagring av emballert og uemballert klippfisk.

BAKGRUNN

SINTEF Energiforskning AS har sammen med Bacalao Forum iverksatt målinger av vektutvikling av et parti pakket og upakket klippfisk på et kjølelager som også blir underlagt klimamålinger. Formålet er å avklare stabiliteten av pakket klippfisk ved langtidslagring slik at pakkeriet kan utnyttes mer effektivt. Det er ønskelig å øke kunnskapen om klimaforhold på kjølelager, og hvordan dette utvikler seg over tid. Bedre kunnskap om klimaforhold og lagringsstabilitet vil bidra til å redusere uønskede situasjoner med endret tørrhetsgrad under lagring, både ved svinn og oppfukting.

Vannaktivitet er et begrep som kvantifiserer tilgjengeligheten av vann i en vare. Vannaktivitet defineres som trykket av vanndamp over en vare i forhold til trykket av vanndamp over rent vann ved samme temperatur. Ved likevekt mellom vannaktiviteten i et produkt og den relative fuktighetene i omgivende luft, vil produktet hverken ta opp eller avgi fuktighet. Likevektsfuktigheten for ferdig tørket klippfisk er derfor en viktig parameter i forbindelse med optimalisering av lagringsforhold av ferdig produkt. Likevektsfuktigheten er avhengig av lagringstemperaturen, vanninnholdet i produktet og emballering.

Sorpsjonsisotermen angir vanninnholdet og vannaktiviteten i produktet ved likevekt. Sorpsjonsisotermen forteller om klippfisken kommer til å ta opp eller avgi fuktighet under lagring ved forskjellige luftfuktigheter og lagringstemperaturer.

2 MATERIALER OG METODER

2.1 RÅSTOFF

I dette prosjektet er det brukt Lange (*Molva molva*) fra A. Bjørge AS, Ålesund og Sei (*Pollachius virens*) fra Brødrene Aarseth AS, Ålesund.

2.2 SORPSJONSISOTERMER

Sorpsjonsisotermene ble funnet ved å ta ut prøver av sei ved forskjellige tidspunkt under tørking. Produktprøver ble tatt ut ved å skjære ett snitt langs ørebenet av fisken. Prøvene ble homogenisert ved hjelp av en blender. Homogenisert prøvemateriale ble tatt ut for måling av vanninnhold og vannaktivitet. Vanninnhold ble målt ved at ca 5 gram prøvemateriale veies opp og tørkes i en konveksjonsovn ved 105 °C i 24 timer. Vekten av prøven før og etter tørking gir grunnlag for beregning av vanninnholdet i prøven. Tre paralleller ble tatt ut ved hvert uttak.

Vannaktiviteten ble målt i en AquaLab CX-2. Det ble utført 3 og 2 parallelle målinger av hver prøve.

2.3 VANNINNHOLD

Utvalgt fisk ble merket og vanninnholdet målt ved bruk av QVision. QVision er et NIR-Spektrometer som brukes til visuell automatisk kvalitetsbedømmelse av vanninnhold i salt- og klippfisk. Hver fisk ble målt tre ganger. Det ble også utført analytiske vanninnholdsmålinger av fisken i laboratorium. Framgangsmåten er den samme som i kapittel 3.2.

2.4 VEKTENDRING UNDER LAGRING

2.4.1 Hele esker

Ferdig pakket klippfisk av Lange ble benyttet i dette eksperimentet. Eskene ble veid på en justert vekt ved anlegget ved oppstart av lagringsperioden. Totalt ble 9 esker fordelt på 3 paller veid. I hver eske var det i snitt 8 fisk, totalt ca 26 kg i hver eske. To av pallene hadde 7 lag esker og en pall hadde 6 lag esker. Forsøkseskene ble plassert som lag 4 fra bunnen av pallen. Pallene ble plassert inn på et ferdigvarelager for klippfisk ved 4 - 5 °C. I alt ble det foretatt 5 målinger i løpet av lagringsperioden.

2.4.2 Upakket fisk på pall

Upakket Lange i størrelse 2,5 kg+ ble merket og lagt på pall sammen med tilsvarende umerket klippfisk av Lange. Totalvekt av pall + fisk var 376 kg. Til sammen ble 9 fisk merket og lagt midt i pallen og 9 fisk ble lagt i toppsjiktet av pallen. Alle de merkede klippfiskene ble veid før, under og ved slutt av lagringsperioden. Temperatur og luftfuktighet ble logget på topp av pall og temperatur ble logget ved bunn av pall.



Figur 1 Uemballert klippfisk av Lange på pall i kjølelager.

Temperaturmålere var av typen IButton med en nøyaktighet på $\pm 0,5$ °C i området -10 °C til +65 °C, og Tinytag Plus loggere som måler relativ fuktighet og temperatur i områdene -25 °C til +85 °C og 0 til 100 % RH ble benyttet.

2.4.3 Plassering i pall og esker

I alt ble 3 paller med ferdig pakket Lange benyttet i dette eksperimentet. I hver pall ble 3 esker i bunnen av pallen og 3 esker i toppen av pallen benyttet. I hver av topp og bunnlagene var det tre esker ferdig pakket fisk med til sammen ca 26 kg i hver eske. I hver av de seks eskene ble tre fisk merket og veid før, under og etter lagringsperioden. Fiskene ble fordelt i topp, midten og bunnen av hver eske. Til sammen for alle tre pallene ble det gjort målinger av 54 fisk gjennom hele lagringsperioden. Motivasjonen for eksperimentet var å avdekke forskjeller mellom fisk lagret i topp av pall og bunn av pall- samt om plassering i eskene har noen betydning.

2.4.4 Utjevning av vekt for liten og stor fisk ved lagring

Klippfisk av Lange (en liten og en stor) ble lagt med kjøttsiden mot hverandre og pakket inn i plast. Vekten ble registrert før, under og ved slutt i lagringsperioden for å se om det kan registreres noen form for utjevning av fuktighet under lagring. Det ble antatt at den store fisken hadde noe høyere startvanninnhold enn den lille fisken ettersom tørkeforsøk har vist at liten fisk tørker raskere enn stor fisk. Dette ble derimot ikke verifisert ved måling.

2.5 LAGER OG LUFTFORHOLD

2.5.1 Kjølelager

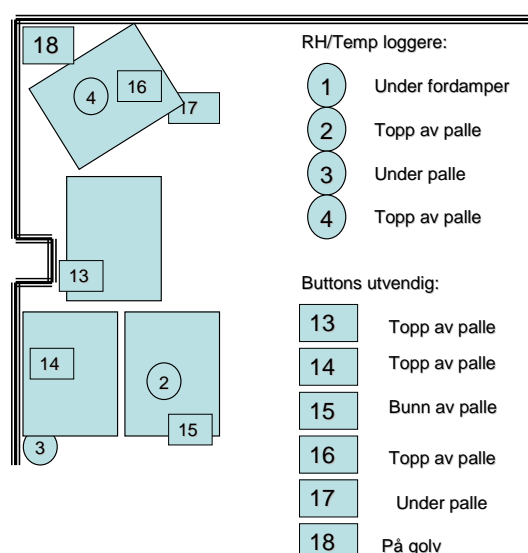
Figur 2 viser kjølelager med fordampere. Hele kjølerommet er på 1056 m² og høyden er 4 m fra golv til tak. Volum av tomt lager er 4224 m³. I lageret er det plassert 6 fordamperbatterier som er arrangert i 2 rekker a 3 enheter som vist i Figur 2.



Figur 2 Fordamper-rekker i kjølelager

2.5.2 Logging av temperatur og fuktighet på lager

Figur 3 viser plassering av loggere på kjølelager og ved pall.



Figur 3 Plassering av loggere på kjølelager

Vektstabiliteten for klippfisk er avhengig av lagringsforholdene. Klimaforholdet under lagring ble derfor logget kontinuerlig og sammenliknet med endringer i produktvekt.

2.5.3 Lagerforhold ved tilsvarende klippfisk lager

Relativ fuktighet og temperatur ble registrert ved 5 tilsvarende klippfisklager ved bruk av Tinytag Plus loggere over en periode på 27 dager. Bakgrunnen for disse målingene var å øke kunnskapen om luftfuktighet generelt i bransjen og å relatere lagringsresultatene og målinger fra hovedlager til andre kjølelager for klippfisk.

Tabell 1.

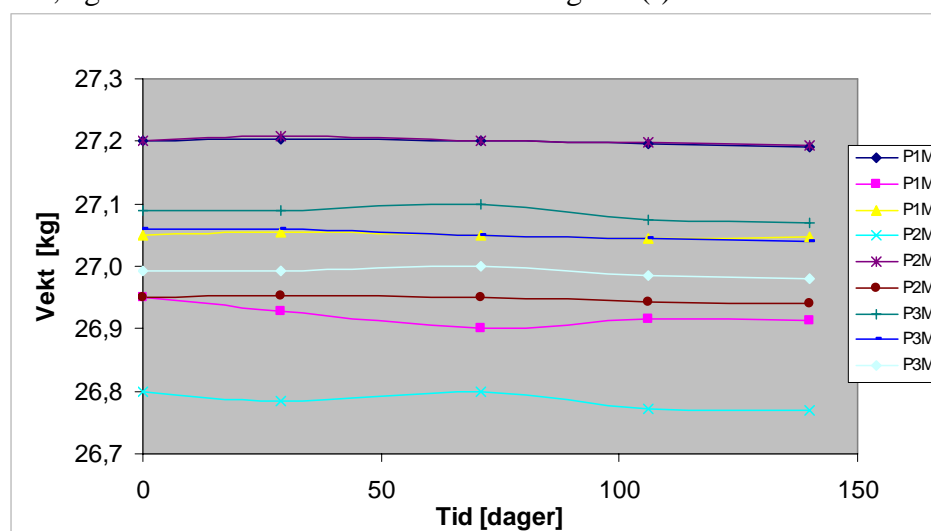
Vanninnhold målt med QVision og med avdamping i tørkeskap. Målinger utført 07.06.2008.

Fisk nr	Vekt [gram]	Vanninnhold, W [%]		Differanse
		QVision (n=1)	Analyse (n=3)	
1	2332	58,2	49,54 ± 0,17	8,66 (uteligger)
2	2322	48,8	47,11 ± 1,17	1,69
3	1404	51,6	47,88 ± 0,76	3,72
4	1966	50,6	49,37 ± 0,15	1,23
5	2166	53,4	52,04 ± 1,65	1,36
6	3518	48,1	51,85 ± 0,36	-3,75
7	2497	51,6	51,75 ± 0,21	-0,15
8	2451	51,7	50,08 ± 0,61	1,62
9	2516	51,6	50,13 ± 0,23	1,47
10	3194	50,6	50,72 ± 0,33	-0,12
11	1733	52,6	51,14 ± 0,38	1,46
12	3173	49,3	48,18 ± 0,69	1,12

3.3 VEKTENDRING UNDER LAGRING

3.3.1 Hele esker

Klippfisk pakket i emballasje (esker) viser et stabilt vektforløp i en lagringsperiode på 140 døgn. I løpet av perioden ble fisken veid ved gitte tidspunkt. Som Figur 5 viser er det kun marginale endringer i vekt, og maksimal vektsvinn i en eske var 4 gram (!).

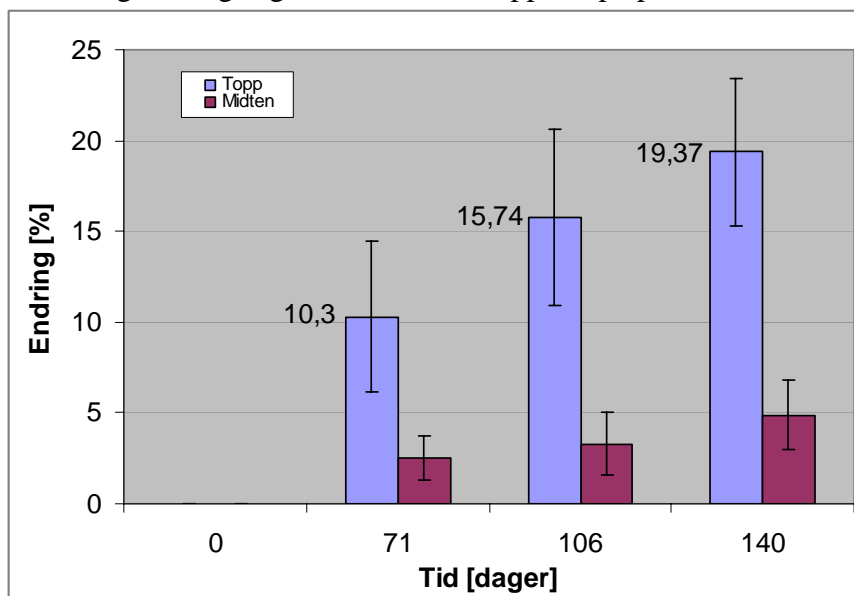


Figur 5 Lagringsstabilitet av emballert klippfisk basert på vektmålinger av hele kasser

Det ble utført visuell kvalitetsbetraktning av fisken etter endt lagringsperiode. Kvalitetsbedømmelsen ble utført av bedriften selv. Det ble ikke funnet noe avvik i kvalitet for fisk lagret i 140 døgn sammenliknet med annen klippfisk.

3.3.2 Upakket fisk på pall

Figur 6 viser vektendring ved lagring av uemballert klippfisk på pall.



Figur 6 Vektendring ved lagring av uemballert klippfisk på pall. n = 9 for hver av kategoriene topp og midten.

Ikke uventet viser det seg at uemballert klippfisk er mindre vektstabil enn emballert klippfisk, og vektendringen er større i toppsjiktet enn i midten av pallen hvor flere fisk er i direkte kontakt med omgivende luft. Etter 140 dager er det ett svinn på nesten 20 % for fisk lagret i toppen av pallen, mens fisken i midten hadde ett svinn på rundt 5 % i samme perioden.

3.3.3 Plassering i pall og esker

Tabell 2 viser endring i vekt over tid for klippfisk av Lange pakket i eske.

Tabell 2

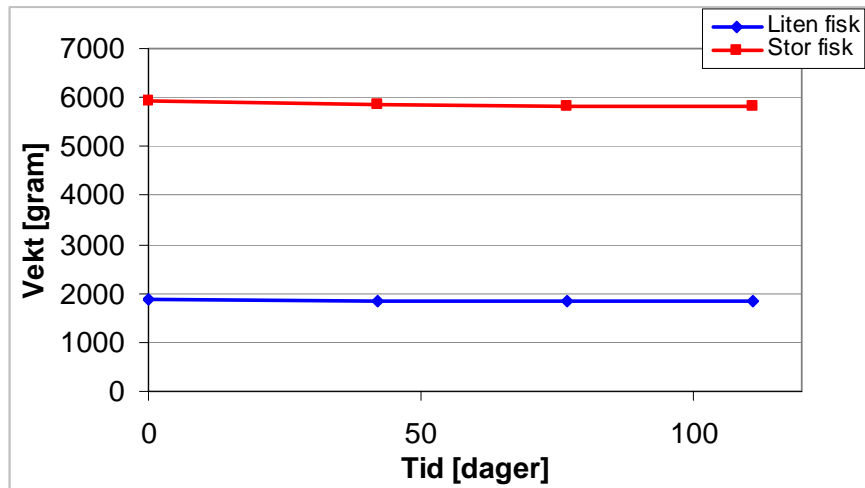
Vektendring av individuelle klippfisk lagret i eske

Plassering av fisk i eske	Plassering av eske i pall, Vektendring [%]	
	Topp (n = 9)	Bunn (n = 9)
Topp	1,19	0,64
Midten	0,59	0,47
Bunn	0,52	0,18

Resultatet indikerer at ferdig pakket klippfisk i esker plassert i toppen av pall endrer vekten i større grad enn fisk pakket i esker som er plassert i bunnen av pall, men endringene er marginale. På grunn av store variasjoner mellom enkeltfisk er det vanskelig å si noe sikkert at plasseringen av esker har noe betydning for vektendring under lagring. Dette er også tilfellet individuelt inne i eskene, selv om tallene kan tyde på at fisk plassert øverst i en eske endrer vekt noe mer enn fisk i bunnen av esken. Uansett er endringen i snitt lavere enn 1 %, og lagring av hele esker har vist at det ikke er noen vektendring totalt for hele esker.

3.3.4 Utjevning av vekt for liten og stor fisk ved lagring

Figur 7 viser liten endring i vekt i fiskene som ble pakket sammen og emballert i plastfolie. Det synes som om at den største fisken avgir noe vann i løpet av lagringsperioden, mens det er marginale endringer å måle i den lille fisken. Dette tyder på at det er liten utjevning av fuktighet mellom fisk under lagring. Dette støttes også av resultatene som er funnet under kapittel 4.3.3, hvor en ser antydning til utjevning mellom fisk i hver eske, men ingen endring i totalvekt.

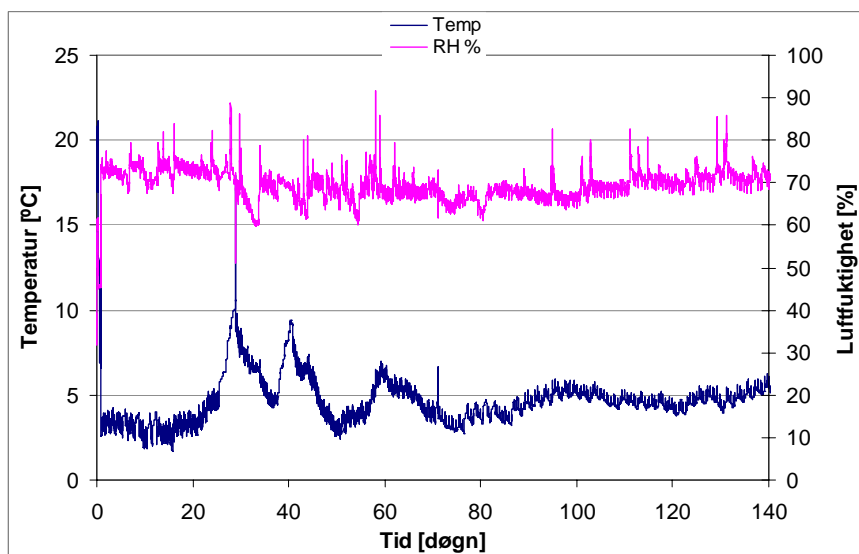


Figur 7 Vektendring av liten og stor klippfisk pakket i plastfolie og lagret i kjølelager

3.4 LAGER OG LUFTFORHOLD

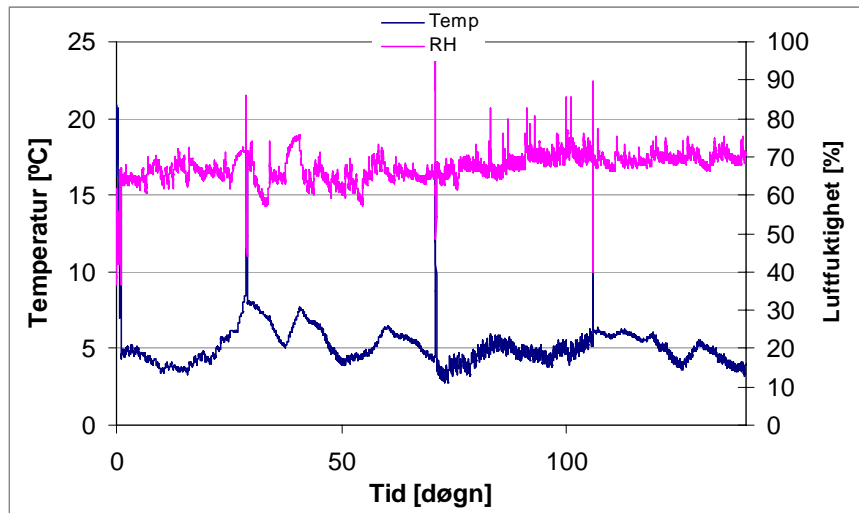
3.4.1 Lagerforhold – temperatur og fuktighet

Figur 8 viser data for logging av temperatur og luftfuktighet i de frie luftmasser over produktene. Loggeren ble hengt opp under fordampere nærmest pallene som ble veid under lagringsperioden.



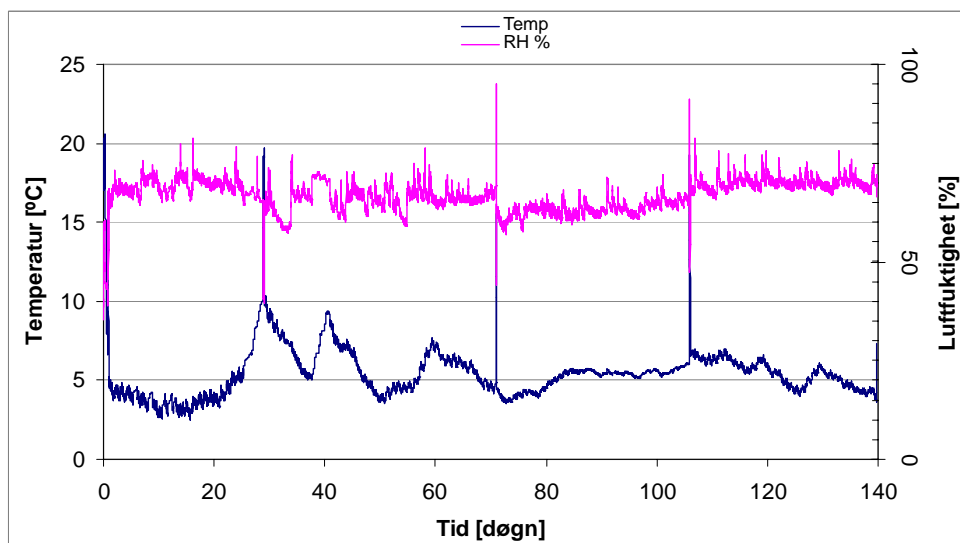
Figur 8 Måling av temperatur og luftfuktighet under fordampere

Figur 8 viser at luftfuktigheten under fordampner i snitt ligger rundt 70 % under lagringsperioden og at temperaturen varierer mellom 3 °C og 10 °C.



Figur 9 Logger under palle 2

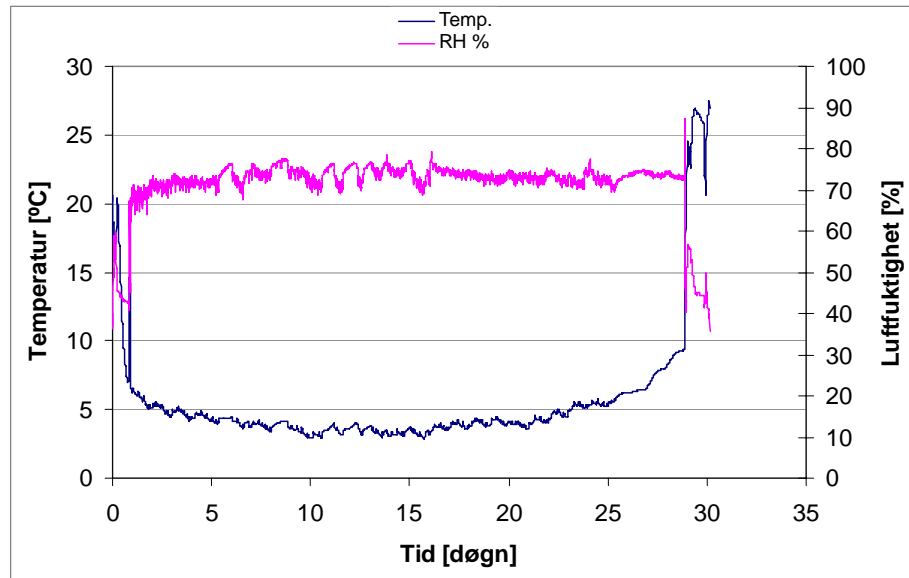
Figur 9 viser tilstanden ved golvnivå, nær yttervegg under pall 2. De tre store sprangene i temperatur og relativ fuktighet i perioden skyldes at pallen ble tatt ut av kjølelager ved måling av vekt. Relativ fuktighet ligger i underkant av 70 % i snitt.



Figur 10 Logger plassert på toppen av pall 1

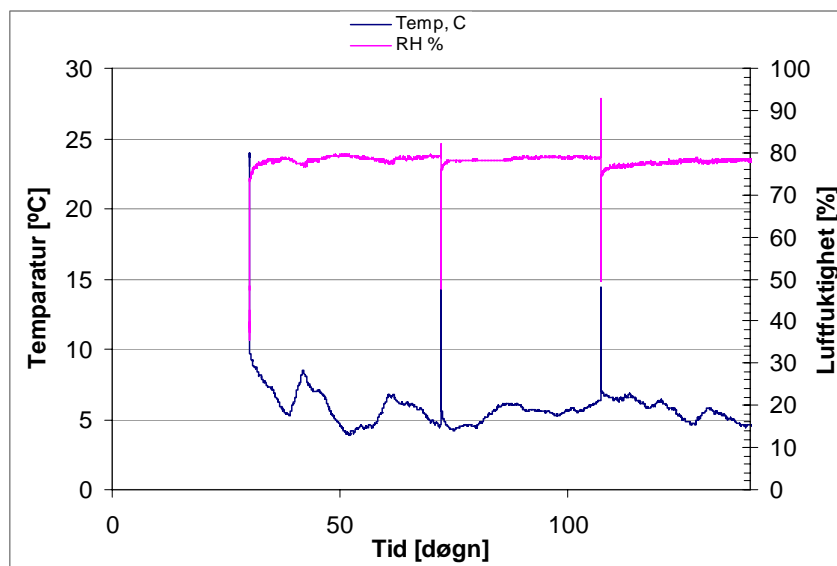
Figur 10 viser tilstanden på toppen av pall 1. Her er det også tre store sprang i relativ fuktighet og temperatur i perioden som skyldes at pallen ble tatt ut av kjølelager ved uttak. Grafene i Figur 8 og 9 er veldig like, og er ikke overraskende.

Figur 11 og 12 viser temperatur og relativ fuktighet logget med samme logger. I Figur 11 er logger plassert på toppen av pall 4 og viser en relativ jevn fuktighet i overkant av 70 % i måleperioden.



Figur 11 Logger plassert på topp av pall 4

Figur 12 viser samme logger plassert i en av toppeskene på pall 3. Målingene er gjort i siste del av måleperioden. Fuktigheten inne i esken viser rundt 78 %, det vil si at lufta inni eskene er mettet med fuktighet, mens temperaturen er i snitt rundt 5 °C.



Figur 12 Temperatur og luftfuktighet logget i eske plassert i topp på pall 3.

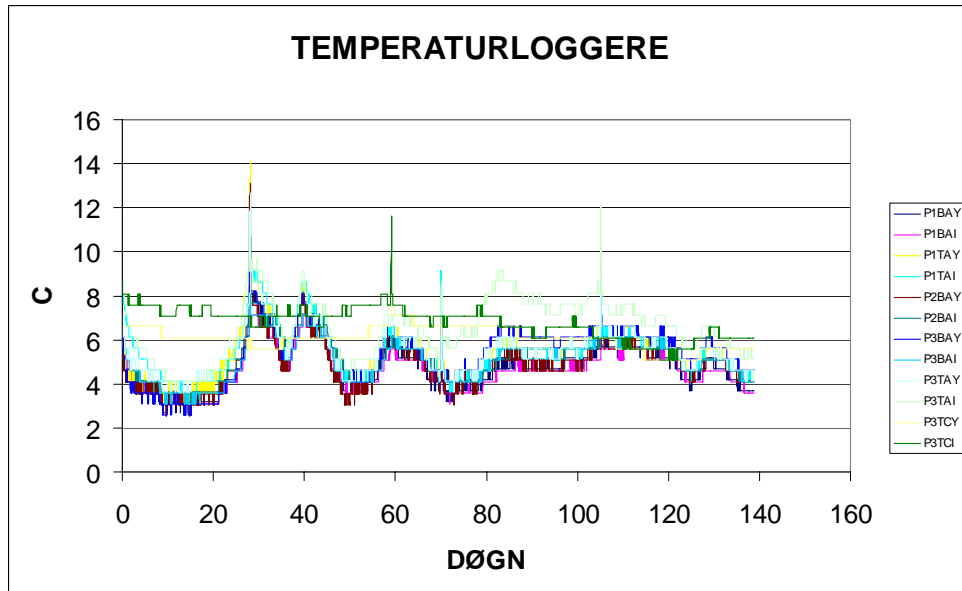
Sprangene i kurvene for temperatur og luftfuktighet etter 71 og 106 dager skyldes her at eskene ble tatt ut fra lager før måling av vekt.

I Figurene 8, 9, 10, 11 og 12 sees større toppe i kurvene for temperatur og noen mindre toppe ved samme tidspunkt i kurvene for luftfuktighet. Toppene skyldes mest sannsynlig at store mengder varer blir kjørt inn på lager, og at dører inn til lager har vært åpne i lengre perioder. Det

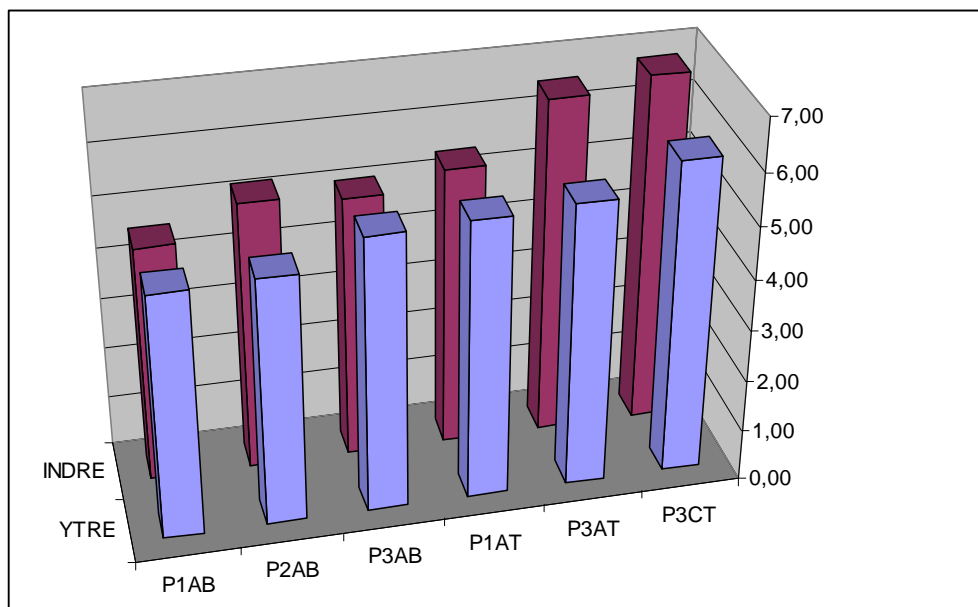
er mindre sannsynlig at temperaturen i lager påvirkes av uteklima, noe som støttes av tidligere forskning utført ved SINTEF Energiforskning rundt klimastabilitet i kjøle- og fryserom.

3.4.2 Temperaturforløp i esker under lagring

Figur 13 og Figur 14 viser temperaturforløpet inne i eskene under lagring på kjølelager.



Figur 13 Logget temperaturforløp inne i esker i løpet av lagringsperioden



Figur 14 Middelerdier for temperaturlogging i kartonger. P = pall, A og C er eske, B = bunn og T = topp. Ytre = logger er plassert i ytterkant av esken, mens Indre = logger er plassert ved eskevegg inn mot pallens kjerne

Loggere ble plassert slik at det i hver utvalgte eske ble målt temperaturforløp ut mot lager og inn i kjernen av pallene. Eskene var plassert i bunn, topp og i midten av hver pall. Figur 14 gir middelerdien for temperaturloggingen i eskene. Benevnelsene P = pall, A og C er eske, B = bunn

og T = topp. Temperaturen inn mot pallenes kjerne ser ut til å være noe høyere enn temperaturen i esken som vender ut mot lageret. Dette virker logisk med tanke på at ytterkantene har større ytterflater ut mot lager og klimaforholdene der.

3.4.3 Lufthastighet

Tabell 3 viser lufthastighetsmålinger gjort inne på utvalg ferdigvare kjølelager for klippfisk. Det er lav lufthastighet på lageret.

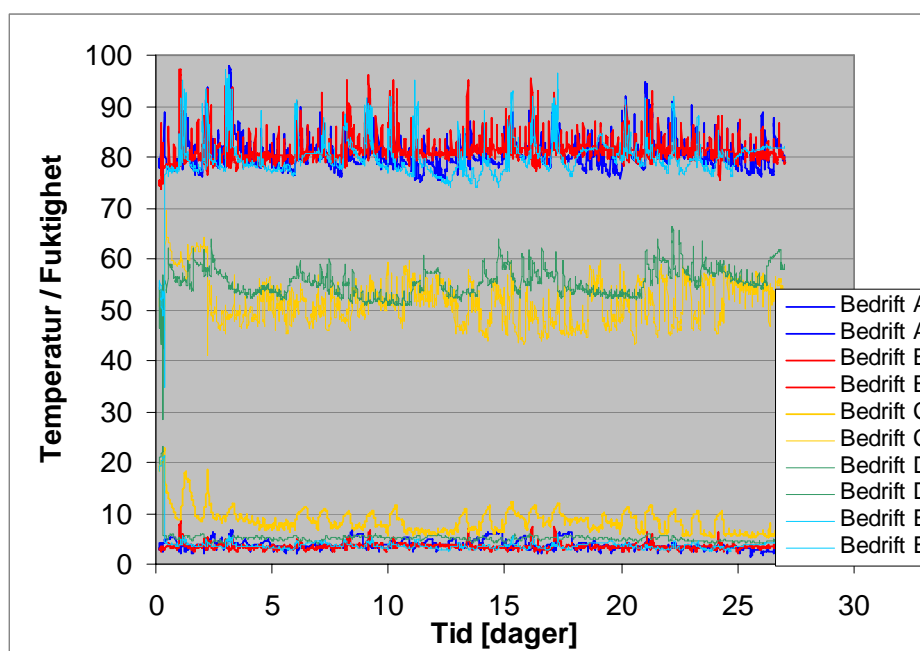
Tabell 3

Lufthastighet på klippfisklager

Målested	Lufthastighet, u [m/s]
Ved aggregat i midtgang	0,54
Topp og bunn av paller	0
Ved fordamper	0,60

3.4.4 Lagerforhold ved tilsvarende klippfisk lager

Det ble plassert ut dataloggere ved 5 andre kjølelager for klippfisk (jfr. Figur 15) for å fastslå om de verdier som er funnet i denne undersøkelsen også har gyldighet for andre tilsvarende lagre. Det viser seg at lagrene enten er fuktigere eller tørrere enn det undersøkte lageret, og at de fordeler seg i to grupper. I de lagre som har relativ luftfuktighet rundt 80 %, kan vi forvente at klippfisken slår seg opp over tid, noe som bør undersøkes i samarbeid med bedriften selv. I de lagre som har luftfuktighet rundt 55 % kan vi forvente mer svinn, særlig av uemballert klippfisk men også i noen grad av emballert fisk. Dette må imidlertid undersøkes nærmere.



Figur 15 Relativ fuktighet og temperatur målt ved 5 kjølelagre for klippfisk i perioden 2008.09.21 til 2008-10.19

4 KONKLUSJON OG VIDERE ARBEID

Sorpsjonsisotermen angir vanninnholdet og vannaktiviteten i produktet ved likevekt. Sorpsjonsisotermen forteller om klippfisken kommer til å ta opp eller avgi fuktighet under lagring ved forskjellige luftfuktigheter og lagringstemperaturer. Sorpsjonsisotermen til klippfisk av torsk ble laget ved å måle vannaktivitet og vanninnhold av saltfisk av torsk under tørking. Ut fra målte sorpsjonsisotemer kan en konkludere med at likevektsfuktigheten for klippfisk av torsk er rundt 75 %. For å unngå vekt og kvalitetsendring under lagring bør luftfuktigheten på lager ligge rundt 75 %.

Målinger av vanninnhold i ett parti klippfisk viser at det i snitt noe høyere vanninnhold i klippfisken ved bruk av QVision enn ved tradisjonell laboratiemåling, henholdsvis 51,5 % og 50,0 % i denne undersøkelsen. Forskjellen skyldes mest sannsynlig måleusikkerhet i begge måle metodene, samt fiskens naturlige inhomogenitet.

Pakket klippfisk har ubetydelig vektendring ved langtidslagring i det undersøkte kjølelager. Kjølelageret har visse svingninger i lagringstemperatur og luftfuktighet, men luftfuktigheten er likevel nær, eller like under, likevektsfuktigheten for klippfisk som er 75 %. Upakket klippfisk viser i samme perioden svinnende tendens, mest på toppen av pallen og betydelig mindre i midtsjiktet. Dette er i tråd med den observerte luftfuktighet, nemlig et svakt potensial for tørking.

Det ser ikke ut som om det er av betydning om eskene er plassert i toppen eller i bunnen av en pall med tanke på vektendring.

Lageret hadde en relativ luftfuktighet i overkant av 70 %. Dette er nært det optimale for klippfisklager for å unngå vektending eller kvalitetsendringer under lagring. Målinger av lufthastighet viste ingen store forskjeller inne på lager, og temperaturen lå jevn rundt 5 °C under lagringsperioden. Det er ikke utarbeidet forslag til tekniske løsninger for jevn og tilpasset luftsirkulasjon og temperaturforhold for dette lageret. Minimal vektendring under lagring og logging av temperatur og fuktighet i og rundt klippfiskeskene underbygger at dette lageret egner seg godt til langtidslagring av ferdig pakket klippfisk. Videre viste innledende målinger av temperatur og relativ fuktighet ved fem andre lager at det er behov for å utarbeide forslag til tekniske løsninger hos disse for å bedre lagringsforholdene for klippfisk her. Dette vil bli gjennomført i 2009 i samarbeid med Bacalao Forum og de enkelte bedriftene.

5 LEVERANSER

Claussen, IC. (2008). *Lagring og Lagringsforhold for klippfisk*. Innlegg i infohefte utgitt av FHL og Bacalo Forum, november 2008.

6 REFERANSER

Strømmen, I. (1980). *Tørking av klippfisk*. Dr.ing – avhandling ved Norges Tekniske Høgskole, Trondheim.

Walde, P.M.(2003).*Transport phenomena in dehydration of fish muscle*. Dr.ing -avhandling ved Norges Teknisk Naturvitenskapelige Universitet (NTNU), Trondheim.

Jonassen, O., Walde, P.M.(2006). SINTEF-rapport TRF6320 *Energianlegg og luftfordeling i 3 klippfisktørker*. Trondheim.

Jonassen, O., Walde, P.M. (2006) SINTEF- rapport TRF 6363 *Styringsstrategi for tverrblåste batchtørker*. Trondheim

Hardarson, V., Jonassen, O., Walde, P.M. (2006)SINTEF-rapport TRF 6372 *Simuleringer av strømningsforhold i to klippfisktørker*. Trondheim

SINTEF Energiforskning AS
Adresse: 7465 Trondheim
Telefon: 73 59 72 00

SINTEF Energy Research
Address: NO 7465 Trondheim
Phone: + 47 73 59 72 00