

Utforming av optimalt kjølelager for klippfisk

**Erlend Indergård
Ola M. Magnussen**

April 2010

**SINTEF Energi AS**

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

www.sintef.no/energi

Organisasjonsnr.:
NO 939 350 675 MVA

TEKNISK RAPPORT

SAK/OPPGAVE (tittel)

Utforming av optimalt kjølelager for klippfisk

SAKSBEARBEIDER(E)

Erlend Indergård, Ola M Magnussen

OPPDRAKSGIVER(E)

FHL Industri og eksport, Bacalao Forum

TR NR.	DATO	OPPDRAKSGIVER(E)S REF.	PROSJEKTNR.
TR Axxxx	2010-04-20	Lorena Gallart Jornet	16X866
ELEKTRONISK ARKIVKODE		KONTROLLERT AV	GRADERING
		Inge R. Gran	Åpen
ISBN NR.	RAPPORTTYPE	GODKJENT AV (STILLING, NAVN)	OPPLAG SIDER
978-82-594-3439-5		Inge R. Gran	33
AVDELING	BESØKSADRESSE	LOKAL TELEFAKS	
Energiprosesser	Kobjørn Hejesvei 1D	73 59 39 50	

RESULTAT (sammendrag)

Klippfisk har god holdbarhet pga salting/tørking, og lagring er stort sett ikke et problem i forhold til harskning/gulning ved kjølelagering. Utfordringen ligger i at klippfisken tar opp fuktighet og slår seg, eller at den taper vekt pga uttørking. Dette skjer selv om klippfisken er emballert, og skyldes feil fuktighet i luften i kjølelageret. Bestemmelse av sorpsjonsisotermer av torsk, sei og lange viser at likevektsfuktigheten for klippfisk er ca. 76 %, men kan variere litt avhengig av temperatur. For torsk kanskje opp mot 78 %. For å unngå at fisken får vektendring må fuktigheten ligge rundt likevektsfuktighet. Temperaturen i kjølelageret bør erfaringsmessig ligge rundt 2-6 °C, men absolutt temperatur er lite undersøkt og dokumentert.

Selv om lagrene i dag er relativt godt kjølte er det liten eller ingen styring av luftfuktigheten. All kjøling ved luftbatterier vil kondensere vann og derved bidra til å redusere fuktigheten. Lufttilstanden i lageret er derfor avhengig av en rekke forhold som lagertemperatur, uteluft, "varme" varer, samt konstruksjon og design av bygg og kuldeanlegg, åpne porter. Målinger av 6 ulike industrielle kjølelager viste en variasjon i fuktigheten mellom 55-95 %. Målinger av temperaturer, fuktighet og vekttap ved lagring viste at klippfisk emballert i esker og lagret i 3-4 måneder ved 80-90 % RH slo seg, og fikk en vektøkning på 0,2 %. Klippfisk lagret ved 55-60% hadde et vekttap på 0,9 %. Lagring ved fuktighet i overkant av 70 % RH gav ubetydelig vektendring, men med tendens til uttørking.

Det er viktig å ha kontroll på lagerluften ved hjelp av et måleinstrument. Økt varmebelastning til lageret øker også behovet for kjøling. Luftens fuktighet blir da redusert ved at mer vann kondenseres ut. Det er vanlig å ha lavere fuktighet om sommeren når belastningen er størst. I noen grad kan kondenseringen ved kjøling reduseres noe ved at en overdimensjonerer kjøleflatene. Ved tørt lager kan fuktigheten økes ved styrt/kontrollert tilsetning av vanddamp.

Et lager er i teorien et lukket system hvor total vannmengde er konstant, og luftfuktigheten vil gå i likevekt med fisken på omkring 76 % RH. For høy fuktighet i lageret må dermed skyldes at vann tilføres lageret fra innstrømming av luft eller fra avdamping fra ukjølt fisk. Porter må holdes stengt, tett lekkasjer, og emballer fisken før lagring. I perioder der utetemperaturen ligger under lagertemperaturen er kjølebehovet lavt og innkommende fuktighet vil ikke bli fjernet av kuldesystemet. Det kan ved slike tilfeller være behov for varmetilførsel for å få driftet kuldeanlegget.

For å redusere varmetap til kjølelageret gjennom gulv, tak og vegger, er det viktig å ha så mye klippfisk pr kvadrat lagerflate som mulig. Utnytte høyden i lageret, og denne bør begrenses av løftehøyden på truckene. Reolene bør stå tett, men med rom for kjøleluft mellom disse. Systemer med mobile reolrader er derfor fornuftig, alternativt kan man utnytte plassen med inntil 3 reolrader på hver side av en fast midtgang (må da bruke lang gaffel på trucken). Det viktig at kjøleluften blir godt fordelt i hele lageret slik at man ikke får dødsoner med lokalt varmere områder. Simuleringene av luftstrømmer i lager med ulike oppsett av reolradene viste at toppmontert aggregat som blåser luften langs med reolradene gir best luftfordeling i lageret.

STIKKORD

EGENVALGTE	Klippfisk	kjøling
	Lagring	Likevektsfuktighet

INNHOLDSFORTEGNELSE

Side

BAKGRUNN	3
1 KLIPPFISKENS LIKEVEKTSFUKTIGHET	4
1.1 BESTEMMELSE AV SORPSJONSISOTERMER	4
1.1.1 Tidligere data av sorpsjons isotermer	4
1.2 SORPSJONSISOTERM FOR TORSK, SEI OG LANGE.....	5
2 VEKTTAP UNDER INDUSTRIELL LAGRING AV KLIPPFISK.	6
2.1 BEDRIFT A.....	6
2.1.1 Utførelse ved Bedrift A:	6
2.1.2 Resultater fra Bedrift A:	7
2.2 BEDRIFT B.....	9
2.2.1 Utførelse ved Bedrift B:.....	9
2.2.2 Resultater fra Bedrift B:.....	10
2.2.3 Lagringsforhold Bedrift B	13
2.3 BEDRIFT C.....	15
2.3.1 Utførelse hos Bedrift C.....	15
2.3.2 Resultater hos Bedrift C:	16
2.3.3 Lagringsforhold Bedrift C	19
3 SIMULERING AV IDEELT KJØLELAGER	22
3.1 INTRODUKSJON.....	22
3.2 ULIKE REOL OPPSETT	22
3.2.1 Tradisjonell modell.....	22
3.2.2 Rotert modell	23
3.2.3 Delt modell	24
3.2.4 Delt, rotert modell.....	24
3.3 RESULTATER FRA SIMULERING AV OPTIMALT LAGER.....	25
3.3.1 Tradisjonell modell.....	25
3.3.2 Rotert modell	26
3.3.3 Delt modell	27
3.3.4 Delt, rotert modell.....	28
3.4 KONKLUSJON FRA SIMULERING AV OPTIMALT LAGER.....	29
4 KONKLUSJON – UTFORMING AV OPTIMALT LAGER	30
REFERANSER	32

BAKGRUNN

I 2008 ble det utført lagringsforsøk av emballert og uemballert klippfisk på pall hvor vektendring ble registrert over en lengre periode. Samtidig ble temperatur og luftfuktighet i anleggets lager registrert. Resultatene viste at emballert klippfisk lagret i lager hvor luftfuktigheten er nær produktets likevektsfuktighet ikke endrer vekt eller kvalitet over tid. For uemballert klippfisk var uttørkingen betydelig og som forventet avhengig av eksponering mot romluften.

Innledende målinger ved flere anlegg viste at luftfuktigheten i ferdigvarelager varierer fra svært lav luftfuktighet til svært høy luftfuktighet. Hva som skjer under lagring ved svært høye eller svært lave luftfuktigheter av emballert klippfisk var lite kjent, og det var derfor ønskelig å undersøke nærmere om luftfuktigheten har betydning for vektendring og kvalitet av ferdig emballert vare. Dette ville gi grunnlaget for utformingen av et optimalt klippfisklager.

På grunn av store sesongsvingninger både i råstofftilgang og i konsum av den tradisjonelle matvaren har det all tid vært behov for opparbeidelse og lagring av klippfisk for å dekke svingningene. Klippfisk har god holdbarhet på grunn av salting og tørking, og mellomlagring av fisken er stort sett ikke et problem i forhold til harskning/gulning ved tilstrekkelig kjøling. Selv om lagrene i dag er relativt godt kjølte er det lite/ingen styring av luftfuktigheten. All kjøling ved luftbatterier vil fjerne vann fra lagrene og redusere fuktigheten, og som i stor grad tas fra fiskens overflate. Tidligere målinger gjennomført på flere klippfisklager viser store forskjeller i lagringsforhold. I tillegg viser omfattende målinger fra utvalgt lager betydelig uttørking av uemballert fisk, og derved redusert salgsvekt. Kunnskap om hvordan norske produsenter av klippfisk kan forbedre og optimalisere sine lager vil derfor kunne gi betydelig økt verdiskapning og fortjeneste i norsk klippfisknæring

Målet med prosjektet var å dokumentere vektendring under lagring av pakket og ikke pakket klippfisk avhengig av lagerets lufttilstand og krav til lager for å unngå vektendring (optimale lagerforhold). Prosjektet ville også utforme egnede teknologiske løsninger for et optimalt lager.

Aktivitetene i prosjektet var delt i 4 delprosjekter:

1. Lufttilstandens innflytelse på vektendring under klippfisklagring

For å unngå vektendring skal det være likevekt mellom damptrykket i produktet og omgivende luft. Likevekten er avhengig av mengden og tilgjengeligheten av vannet i produktet, og kurver som viser denne sammenhengen betegnes "sorpsjonsisoterm". Sorpsjonsisotermen for torsk, sei og lange skulle bestemmes.

2. Vekttap under industriell lagring av klippfisk

Tiltak for å beskytte denne fisken mot uttørking er viktig for å redusere tapene ved lagring. Undersøkelse av alternative tiltak og forsøk med tilgjengelige palleheter ville bli gjennomført

3. Utarbeide forslag til utforming av lager - ideell

Bransjen etterspør innspill om hvordan ett ideelt lager kan og bør utformes og hvilke tiltak som kan gjøres for å bedre styringen av klima. Resultater fra målinger av vektendring under lagring vil gi grunnlag for hvordan ferdigvarelager bør utformes.

4. Informasjonsutveksling med næringen

Deltagelse på bransjeseminar, fakta ark og mulig journal/artikkel.

1 KLIPPFISKENS LIKEVEKTSFUKTIGHET

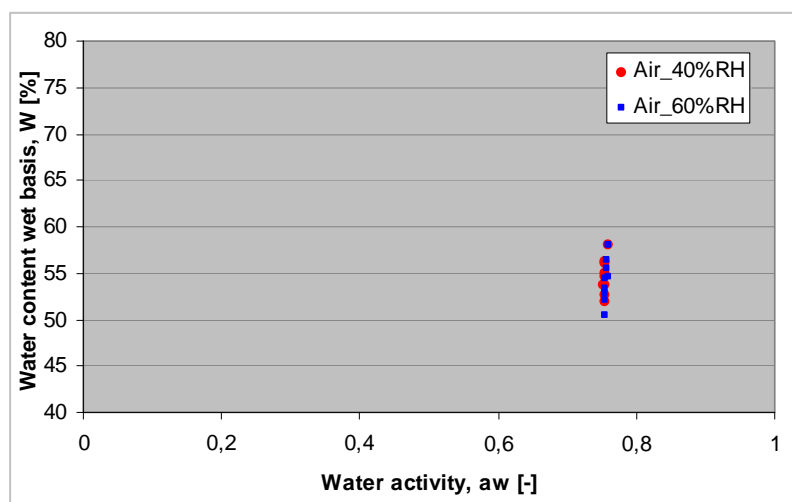
Sorpsjonsisotermen angir vanninnholdet og vannaktiviteten i produktet ved likevekt, dvs. produktet absorberer like mange vannmolekyler som det avgir på samme tid. Sorpsjonsisotermen forteller om klippfiskens tilstand under lagring ved forskjellige luftfuktigheter og lagringstemperaturer. Utfordringen for klippfisk er at den består av ett sjikt av tørr fisk og salt på overflaten og fordamping fra et tørkeområde med stadig avtagende vann i saltløsning. Det er derfor viktig å få definert klippfiskens sorpsjonsisoterm.

1.1 BESTEMMELSE AV SORPSJONSISOTERMER

Sorpsjonsisotermen til klippfisk av torsk, sei og lange ble bestemt ved å måle vannaktivitet og vanninnhold instrumentelt under kontrollert oppfukning ved bruk av CIsorp, CI sorpum v1.2W fra CI Electronics Ltd.

1.1.1 Tidligere data av sorpsjons isotermer

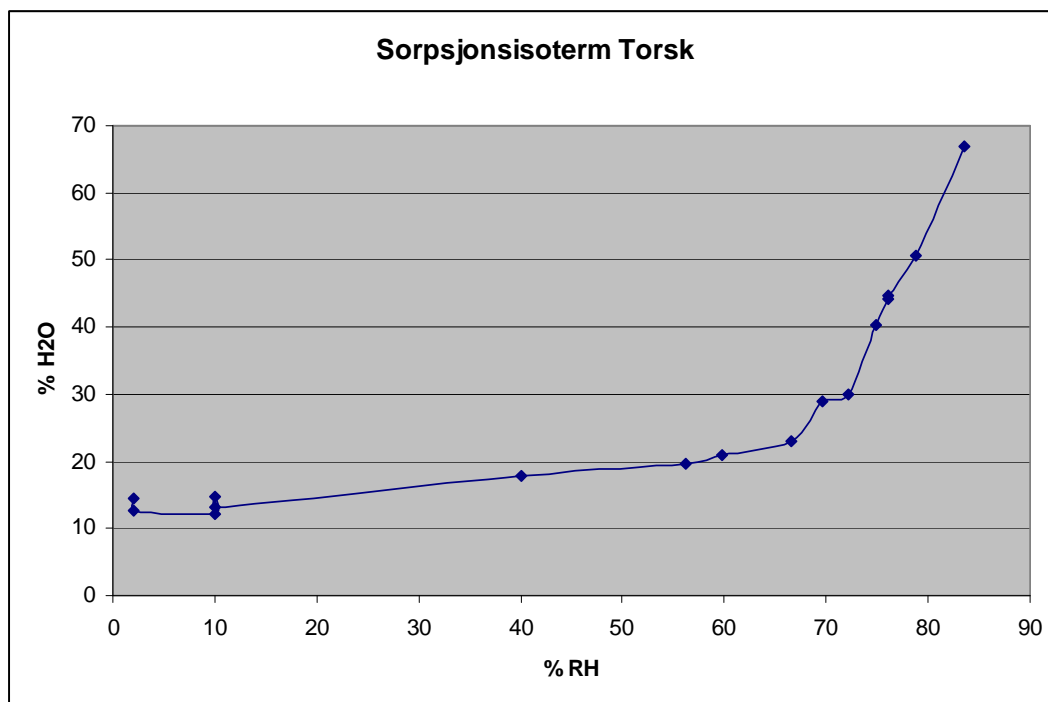
Tidligere målinger av vannaktivitet og vanninnhold under tørking av saltfisk av sei, viser at vannaktiviteten for denne ligger rundt 0,76 (Figur 1). Dette tilsvarer en likevektsfuktighet på 76 %. Det ble målt liten forskjell i vannaktivitet ettersom produktet tørker, og luftas relative fuktighet under tørking har ingen påvirkning på vannaktiviteten i produktet. For å unngå vanntransport under lagring av klippfisk bør den relative fuktigheten i lagerrommet være 76 %. Ved høyere luftfuktighet vil klippfisk ta opp fuktighet, og ved lavere luftfuktighet på lager vil klippfisk avgis fuktighet.



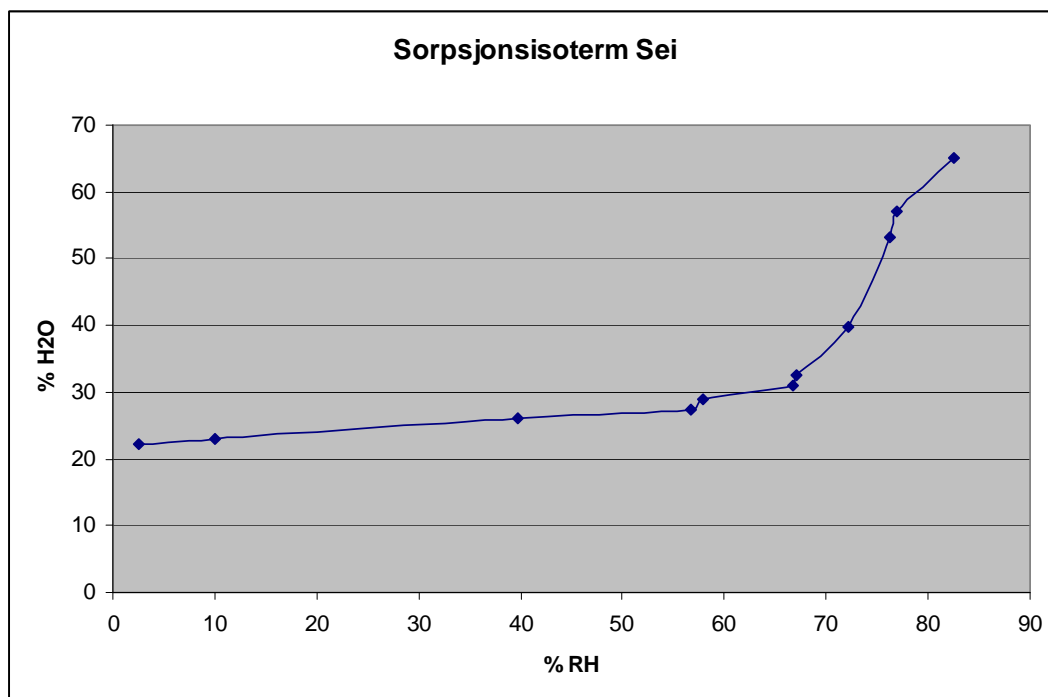
Figur 1: Sorpsjonskurver for klippfisk av sei, $n = 3$. Seien ble tørket ved 22 °C og 40 % relativ luftfuktighet og 22 °C og 60 % relativ luftfuktighet.

1.2 SORPSJONSISOTERM FOR TORSK, SEI OG LANGE

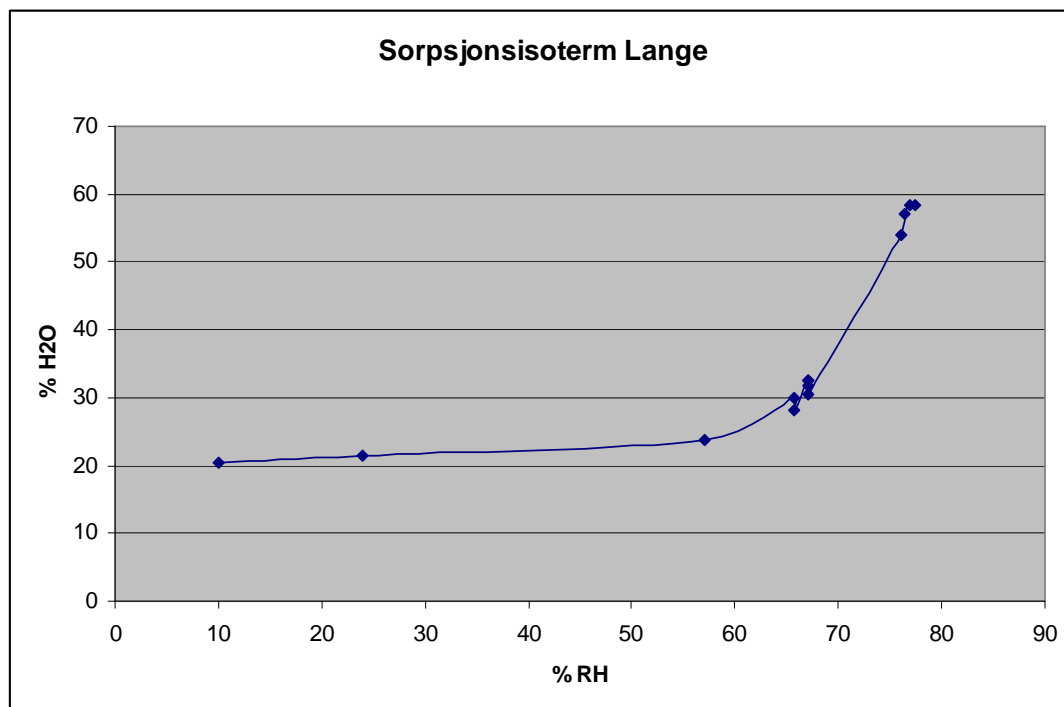
Sorpsjonsisotemer for hhv torsk, sei og lange ble som nevnt bestemt instrumentelt. Likevektskurven for både torsk, sei og lange er vist i hhv Figur 2, 3 og 4, og bekrefter at likevekten for klippfisk ligger rundt 76 % når vanninnholdet i klippfisken ligger rundt 48 %. Det kan se ut som likevekten for torsk ligger et par prosentpoeng høyere enn sei og lange, rundt 78 %.



Figur 2: Sorpsjonsisoterm for klippfisk av torsk, bestemt instrumentelt



Figur 3: Sorpsjonsisoterm for klippfisk av sei, bestemt instrumentelt



Figur 4: Sorpsjonsisoterm for klippfisk av lange, bestemt instrumentelt

2 VEKTTAP UNDER INDUSTRIELL LAGRING AV KLIPPFISK.

Det ble gjennomført målinger på klippfisk og omgivelsesluften under ulike lagringsbetingelser ved 3 forskjellige bedrifter. Resultatene og konklusjonene fra denne studien er videre presentert for hver bedrift.

2.1 BEDRIFT A

I dette delkapitlet vises resultatene, samt konklusjoner og diskusjoner rundt lagring av klippfisk på palle med og uten pallehette ved Bedrift A.

2.1.1 Utførelse ved Bedrift A:

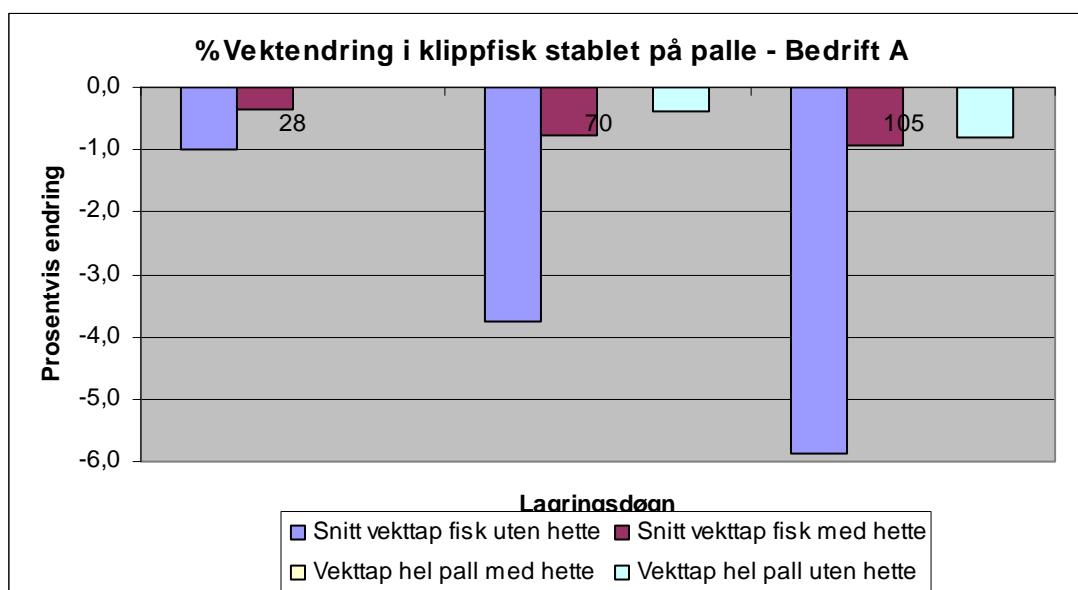
2 paller med stablet klippfisk (bruttovekt 508 og 664 kg) ble veid. Samtidig ble 18 fisker merket (9 fisk fra hver palle) og veid. Fiskene ble lagt øverst på hver pall. Den ene pallen ble trukket med pallehette før begge pallene ble satt på kjølelager. Registrering av temperatur og relativ fuktighet ble utført ved å plassere en logger oppå pallen uten pallehette, samt oppå pallen under palleheten på den andre. Lagringsforsøket ble utført i 105 dager, med målinger etter 28, 70 og 105 dager.

Det ble gjennomført en enkel måling på lufthastighet og strømningsbilde inne i kjølelageret. Pallene med fisk ble i første del av lagringsforsøket plassert i forkant av kjøleaggregatet, men ble senere flyttet litt rundt.

2.1.2 Resultater fra Bedrift A:

2.1.2.1 Vektendring på klippfisk:

Både pallen med og uten pallehette ble veid før, under og etter lagringsforsøket. Samtidig ble 9 fisk fra hver pall veid enkeltvis, der disse fiskene lå øverst på pallen. Figur 5 viser vektendringsforløpet.



Figur 5: Målt % vektendring av klippfisk på pall med og uten pallehette.

Man ser fra resultatene at pallen med pallehette ikke hadde vekttap (jevnt 664 kg) under lagringsperioden, mens pallen uten hette hadde et vekttap på 0,8 % (fra 508 til 504 kg). Det er tidligere målt vekttap på pall på hele 5 % uten pallehette. Grunnen til at vekttapet her "bare" er 0,8 % kan være at de pallene som ble målt, hadde vært lagret i et par uker før lagringsforsøket begynte, og at noe av vekttapet allerede hadde skjedd før man startet vektmåling av disse.



Figur 6: Stablet klippfisk på palle.

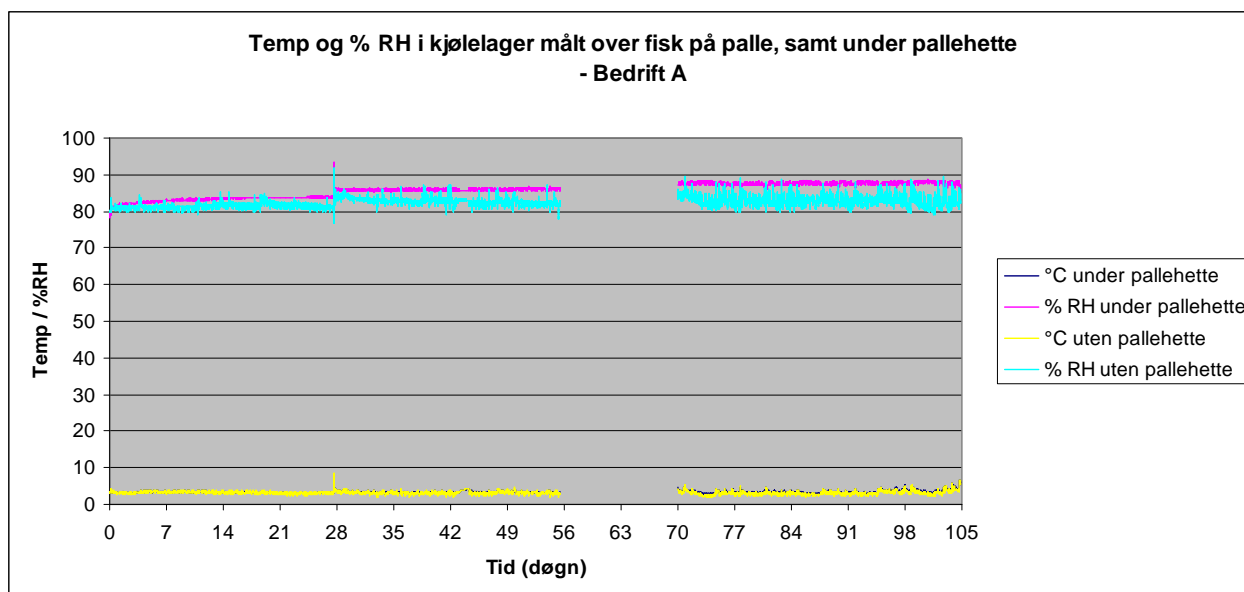
Vektmåling av enkeltfiskene på toppen av pallene viste at med pallehette hadde disse en vektreduksjon på omkring 1 %, mens uten pallehette var reduksjonen nesten 6 %. Vekttapet av de 9 fiskene på toppen av pallen uten pallehette sto for nesten 40 % av det totale vekttapet av pallen (1,5 kg av totalt 4 kg tap). Vekttapet av enkeltfiskene (0,25 kg) på pallen med hette lå utenfor målenøyaktigheten til pallevekten, og endring av totalvekt kunne ikke registreres.

2.1.2.2 Lagringsforhold

Loggere for registrering av temperatur og relativ fuktighet ble plassert oppå pallen uten pallehette, og under palleheten på den andre. Det ble gjennomført en enkel måling på lufthastighet og strømningsbilde inne i kjølelageret. Pallene med fisk ble i første del av lagringsforsøket plassert i forkant av kjøleaggregatet, men ble senere flyttet litt rundt. Figur 7 viser forløpet av temperatur og relativ fuktighet under lagringsforsøket, mens Figur 8 viser skisse av lufthastighet og strømningsbildet i kjølelageret.

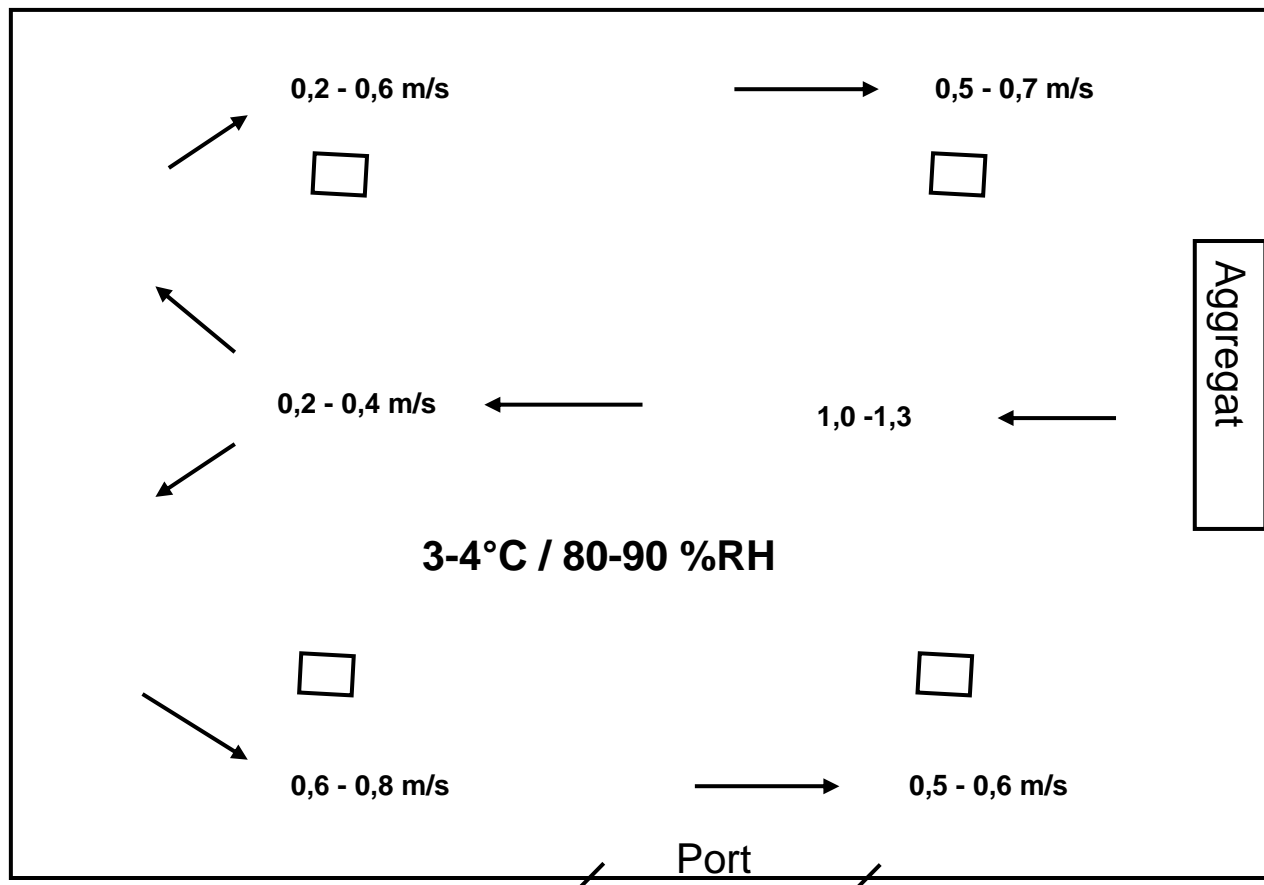
Når det gjelder luften i kjølelageret, så går denne ut fra kjøleaggregatet og blåses fremover i midten av rommet. Lufthastigheten 3-4 meter foran aggregatet var i overkant av 1 m/s. Luften treffer bakre vegg og går tilbake langs sideveggene. Lufthastigheten ellers i rommet lå mellom 0,2 til 0,8 m/s (Figur 8).

Temperaturen i lageret lå stort sett mellom 3 til 4 °C, og relativ fuktighet mellom 80-85 %. Det ble registrert at relativ fuktighet under palleheten var omkring 5 % høyere enn omgivelsesluften. Det var også antydning til kondens. Denne økte fuktigheten kan skyldes avdamp fra fisken, dvs. noe uttørking. Dette bekreftes i en viss grad av vekttapet på 1 % i de øverste fiskene på pallen.



Figur 7: Temperatur og relativ fuktighet ved bedrift A i kjølelager, samt under pallehette på pall med klippfisk.

Klippfisk har som vist en likevektsfuktighet på 76 %. I teorien skal dermed klippfisk ta til seg fuktighet når den ligger i omgivelser med relativ fuktighet høyere enn 76 %, og vann fjernes fra fisken i omgivelse med fuktighet lavere enn 76 %. Det som derimot er vist i dette lageret, og også noen tidligere målinger, er at selv om relativ fuktighet ligger over 76 % (i dette tilfellet over 80 %), fjernes fuktighet fra fisken. De mekanismene som styrer dette er foreløpig ikke kjent, og det vil i fremtiden være nødvendig å kartlegge disse mekanismene.



Figur 8: Skisse over temperatur og strømningsbilde i kjølelager ved bedrift A.

2.2 BEDRIFT B

I dette delkapitlet vises resultatene, samt konklusjoner og diskusjoner rundt lagring av klippfisk av sei i esker på palle ved Bedrift B.

2.2.1 Utførelse ved Bedrift B:

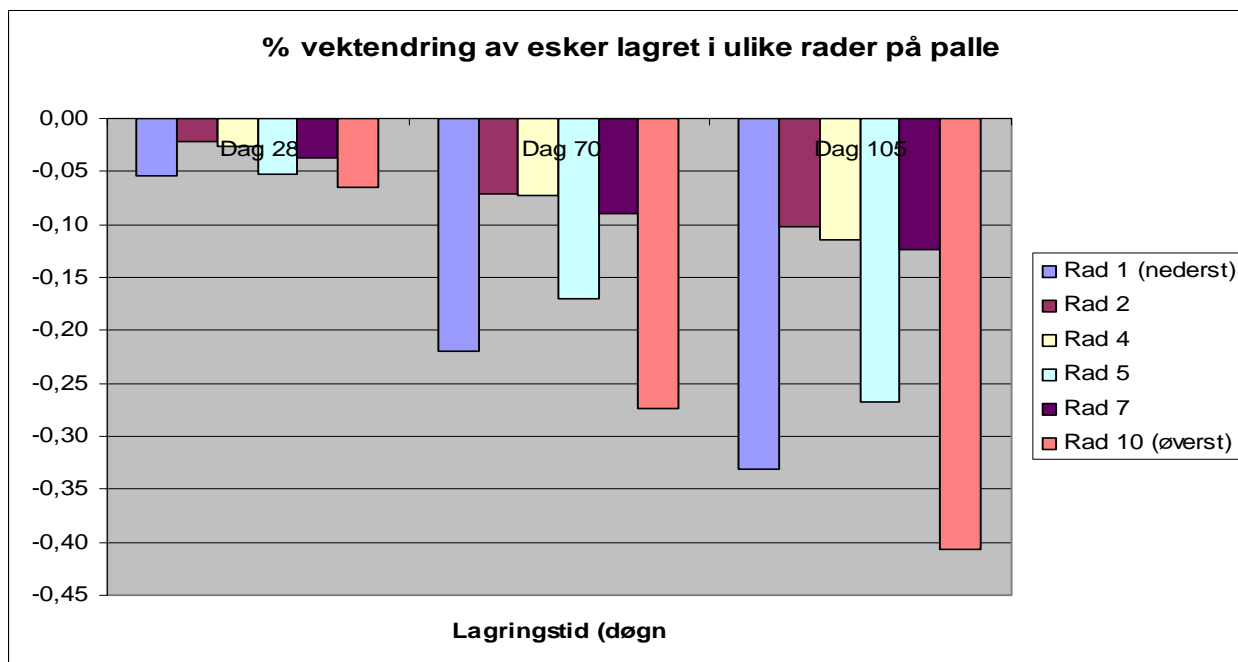
En palle med 10 fulle rader i høyden ble benyttet i lagringsforsøket. Alle eskene i rad 1 (nederst), 2, 4, 5, 7 og 10 (øverst) ble veid før, under og etter lagring. Samtidig ble 3 fisker i hver av eskene i rad 1 (nederst), rad 5 (i midten) og rad 10 (øverst) veid enkeltvis. De 3 fiskene i hver eske ble merket og lagret hhv nederst, i midten og øverst i eskene.

Registrering av temperatur og relativ fuktighet i kjølelageret ble utført ved å plassere én logger inne i en eske blant klippfisk (rad 5), én oppå pallen, samt én innerst i lageret. Lagringsforsøket ble utført i 105 dager, med målinger etter 28, 70 og 105 dager. Det ble gjennomført en enkel måling på lufthastighet og strømningsbilde inne i kjølelageret. Pallen med fisk ble plassert midt oppe på reolen, omtrent midt i lageret.

2.2.2 Resultater fra Bedrift B:

2.2.2.1 Vektendring på hele esker:

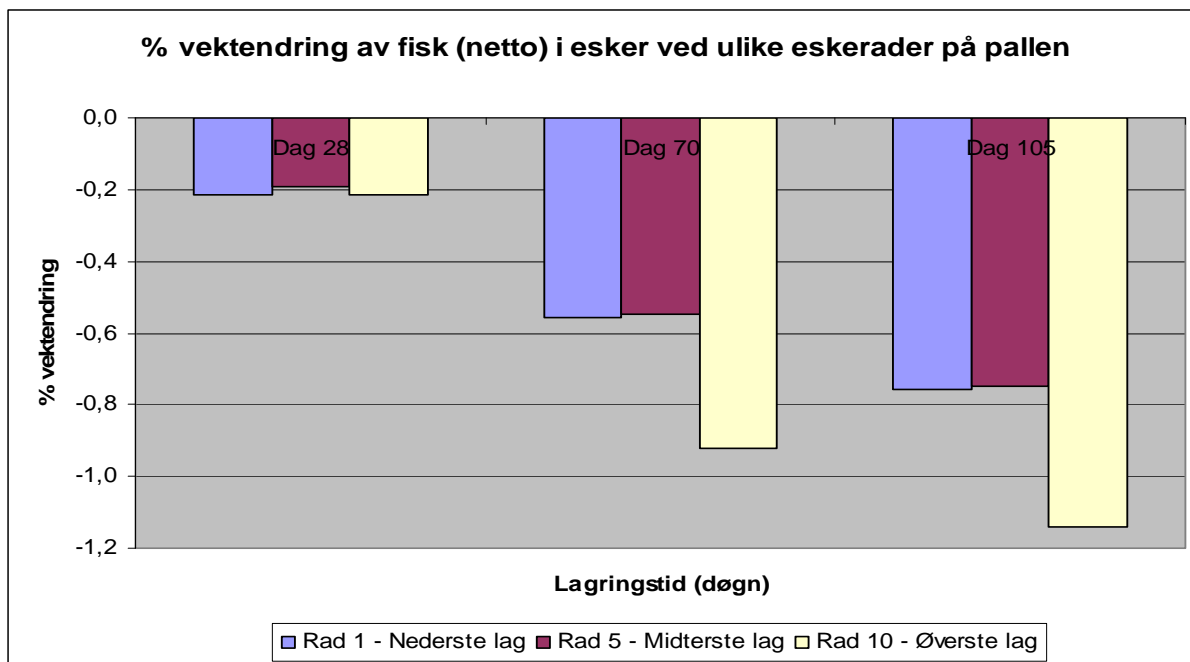
Alle eskene på pallen ble veid før, under og etter lagringsforsøket. Figur 9 viser vektendringsforløpet. Målingene viste at totalvekten (bruttovekt) av eskene hadde blitt redusert med 0,22 % etter 105 dagers lagring. Den største vektreduksjonen var øverst og nederst på pallen, der denne var hhv 0,41 og 0,33 %.



Figur 9: Målt % vektendring av hele esker med klippfisk på pall ved Bedrift B.

2.2.2.2 Vektendring på fisken:

Man ser fra resultatene fra Figur 10 at fiskene lagret i esker øverst på pallen (rad 10) hadde et betydelig større vekttap (1,14 %) enn fiskene lagret i esker midt på (0,76 %) og nederst (0,75 %) på pallene. Grunnen til dette kan være den øverste raden av eskene har større overflate mot omgivelsesluften i forhold til radene under, og at vanddamp fra fisken inne i den øverste raden diffunderer ut til omgivelsene. Dette gjør seg gjeldende spesielt når det er stor differanse mellom likevektsfuktigheten i fisken og relativ fuktighet i omgivelsesluften. Lageret har relativt tørr luft.



Figur 10: Vektendring av fisk i esker lagret i ulike rader på pallen ved Bedrift B.

2.2.2.3 Endring av nettovekt av fisk i eskene.

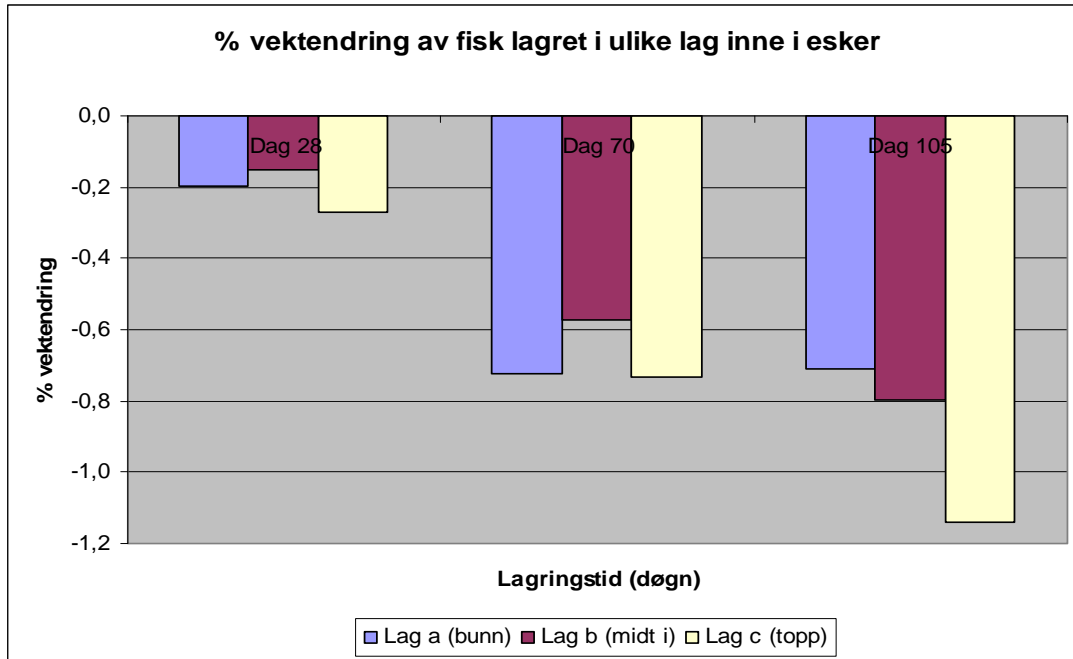
Alle fiskene i de 3 eskene i nederste rad ble vei for å finne nettovekt i eskene.

	Brutto	netto
Eske AL1	26748	24737
Eske BL1	26692	24568
Eske CL1	26825	24829

Det ble målt at det i snitt for de 3 eskene nederst på pallen, var nesten 300 gram for lite vekt i hver eske i forhold til oppgitt nettovekt. Ut fra resultatene i Figur 9, kan man forvente at eskene på toppen av pallen hadde enda større tap, omkring 430 gram per eske.

2.2.2.4 Vektendring av fisk internt inne i pappeskene.

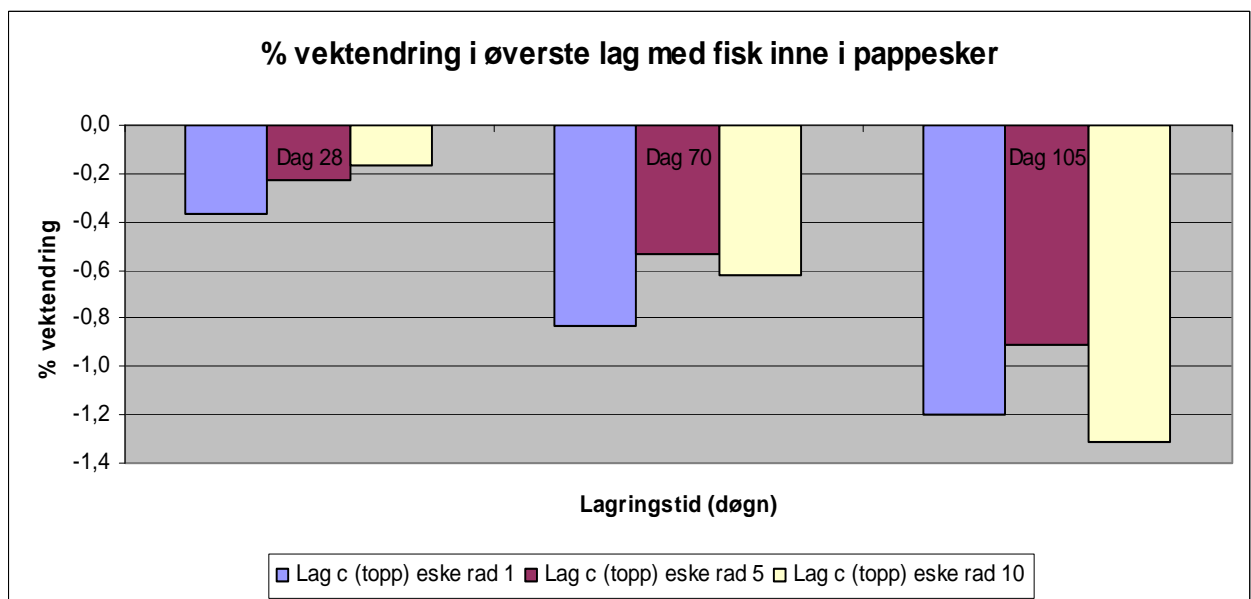
3 fisk i hver av de 3 eskene på rad 1 (nederst), rad 5 (i midten) og rad 10 (øverst) ble veid individuelt. Disse 3 fiskene ble lagret hhv øverst, i midten, og nederst inne i eskene.



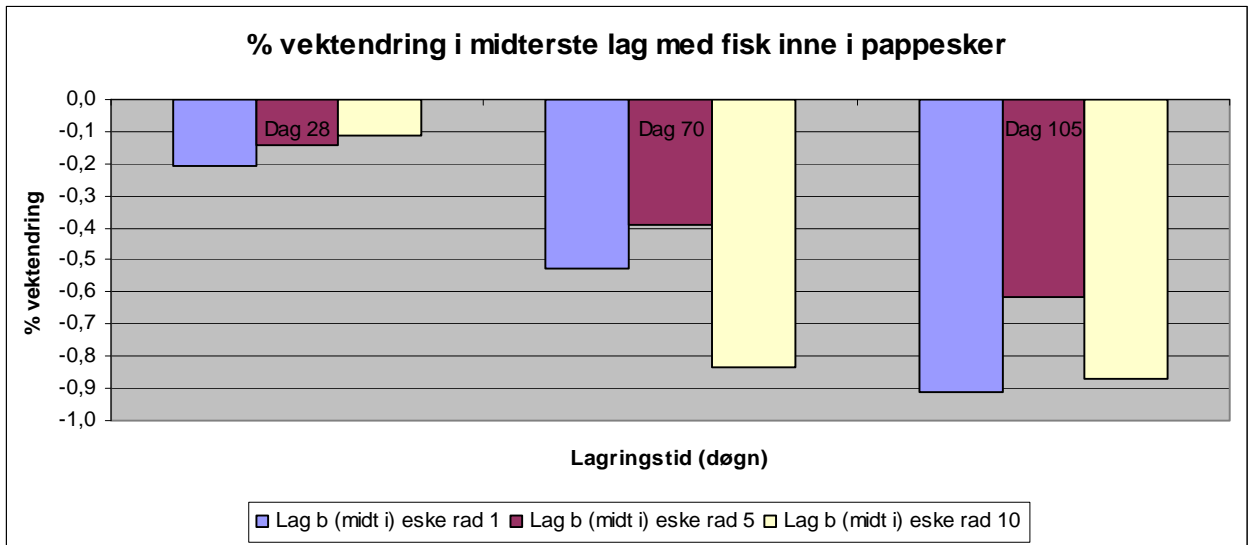
Figur 11: Vektendring av fisk lagret i ulike lag internt i esker.

Ser man på vektendringen av de ulike lagene i alle radene under ett (Figur 11), vises at fisken øverst (lag c) i hver eske mister mest fuktighet (1,14 % reduksjon), mens fisken lagret i midten av eskene og nederst i eskene reduserer vekten på hhv. 0,80 og 0,71 %.

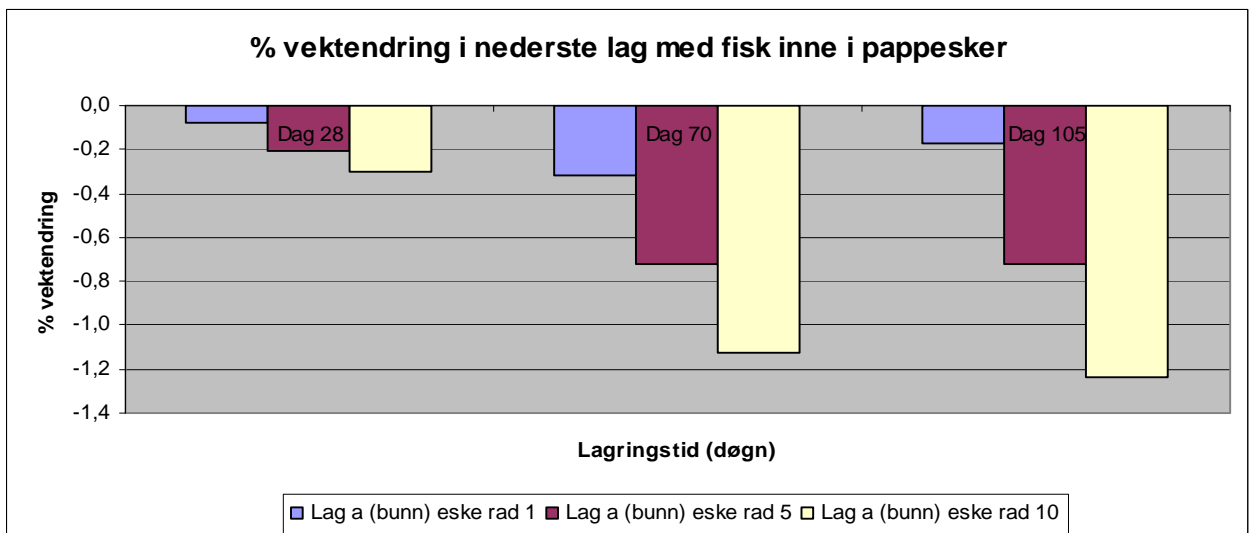
Sammenligner man de ulike lagene av fisk i esker lagret ved ulike rader på pallen, ser man fra Figur 12a og 12b at det øverste og nederste laget av fisk i den øverste og midterste raden av esker får størst redusert vekt etter 105 dager, mens i den nederste raden av esker er reduksjonen av vekt størst i det øverste laget av fisk.



Figur 12a: Vektendring øverste lag i eskene



Figur 12b: Vektendring midterste lag i eskene



Figur 12c: Vektendring nederste lag i eskene

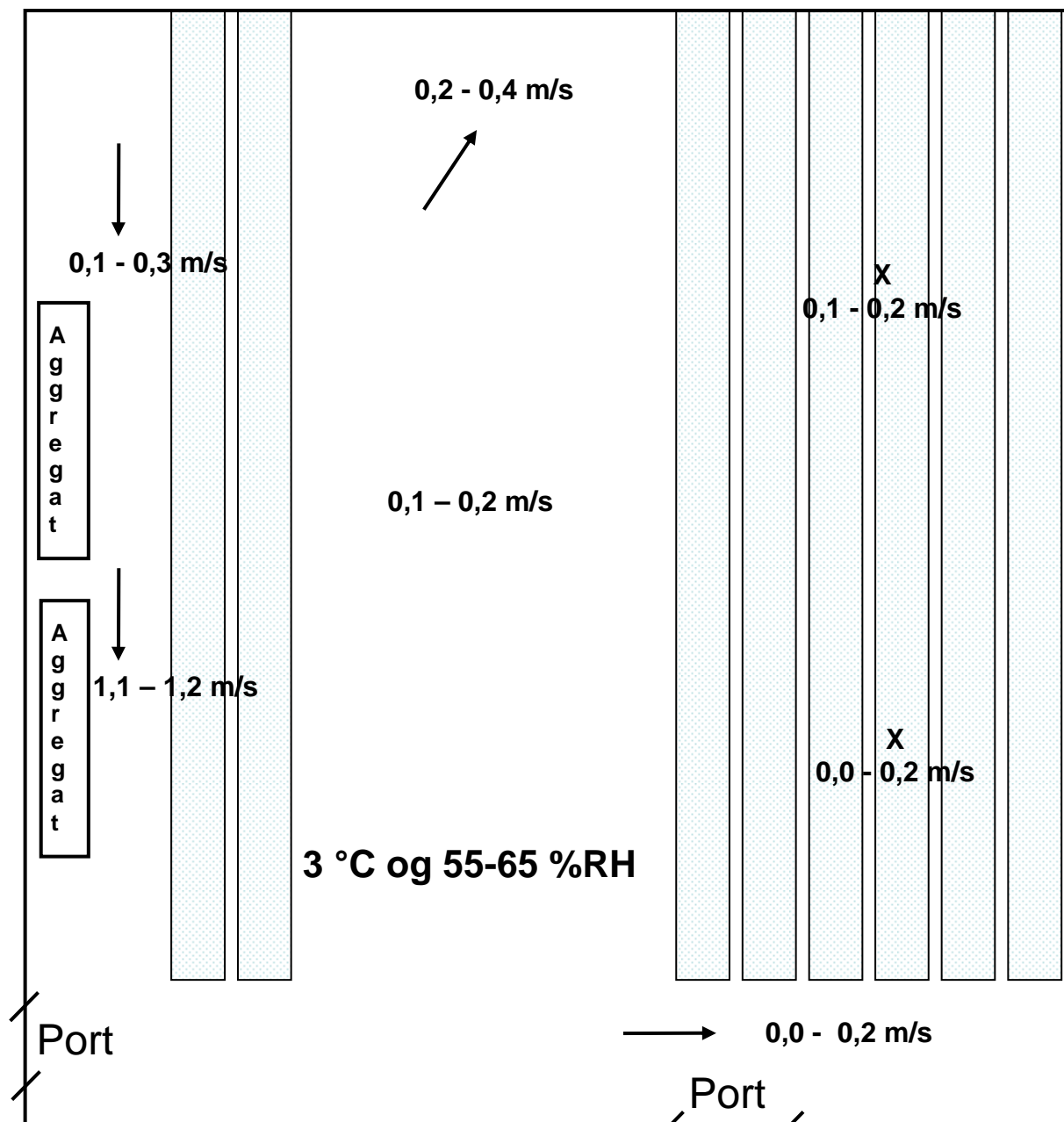
Det må nevnes at hver stolpe i Figurene 12a til 12c er en snittverdi av kun 3 fisker, og et avvik på kun én fisk vil få konsekvenser for resultatene. I Figur 11 er hver stolpe representert med et snitt av 9 fisker, og trenden er her klart at øverste laget av fisk taper mest vekt under lagring. Dette er også godt synlig i Figur 12a til 12c.

2.2.3 Lagringsforhold Bedrift B

Registrering av temperatur og relativ fuktighet i kjølelageret ble utført ved å plassere én logger inne i en eske blant klippfisk (rad 5), én oppå pallen, samt én innerst i lageret. Lagringsforsøket ble utført i 105 dager, med målinger etter 28, 70 og 105 dager. Det ble gjennomført en enkel måling på lufthastighet og strømningsbilde inne i kjølelageret. Pallen med fisk ble plassert midt oppe på reolen, omtrent midt i lageret.

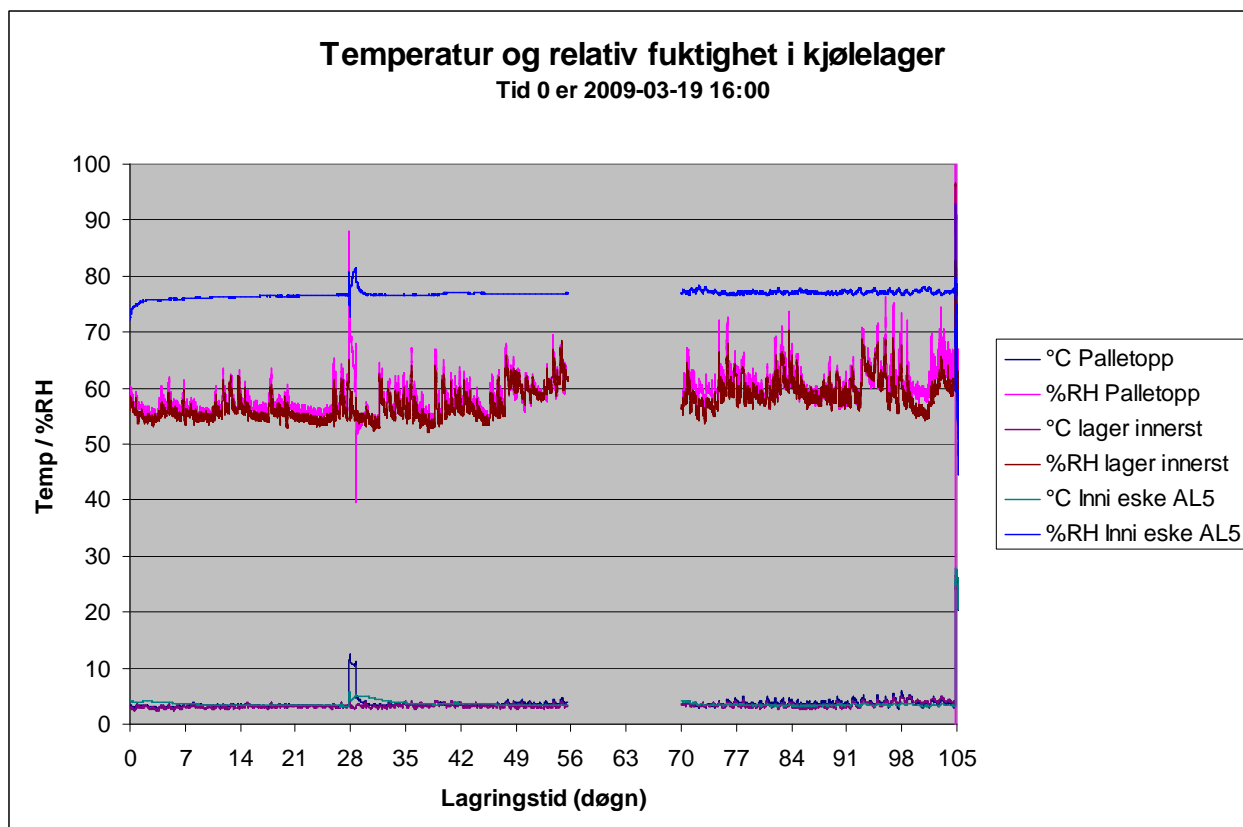
Figur 13 viser en skisse (sett fra taket og ned) av lufthastighet og strømningsbildet i kjølelageret. mens Figur 14 viser forløpet av temperatur og relativ fuktighet under lagringsforsøket.

Når det gjelder luften i kjølelageret, så går denne ut fra kjøleaggregatene øverst under taket og fremover og ned, samt langs taket av rommet. Det er 2 uavhengige aggregat som kan belastes etter behov. Strømningsbildet på luften mellom reolene var vanskelig å måle på grunn av lav lufthastighet. Lufthastighet i lageret målt første dag i lagringsforsøket lå mellom 0,0 til 0,4 m/s med unntak av lufthastigheten under aggregatet som var noe over 1 m/s.



Figur 13: Skisse over temperatur og strømningsbilde i kjølelager. Lufthastigheten ble målt 1,5 – 2 m over gulvet. Aggregatene var plassert under taket, og pilene indikerer luftretning.

Temperaturen i lageret lå stabilt rundt $3 \text{ }^\circ\text{C}$ under lagringsforsøket. Relativ fuktighet varierte mellom 55-65 %. En logger plassert oppå en koblingsboks nær porten viste avvikende resultater i forhold til de andre loggerne, $7 \text{ }^\circ\text{C}$ og 45 % RH (ikke vist i figur). Grunnen til dette avviket kan være at det lokalt ble utviklet noe varme fra koblingsboksen, eller at loggeren viste systematisk feil.



Figur 14: Målt temperatur og relativ fuktighet i kjølelager hos Bedrift B.

Overflaten på klippfisk er mettet med salt, og har en likevektsfuktighet på 76 %. Denne likevekten ser man tydelig i Figur 14 (blå kurve). Det er klart ut fra målingene på kjølelageret at relativ fuktighet i luften er lav, og en kan i disse omgivelsene forvente en del vannfjerning over tid fra klippfisken selv om denne er emballert.

2.3 BEDRIFT C

I dette delkapitlet vises resultatene, samt konklusjoner og diskusjoner rundt lagring av klippfisk (linefanget stillehavstorsk) i esker på palle hos Bedrift C.

2.3.1 Utførelse hos Bedrift C

En palle med 6 fulle rader i høyden + 2 esker på toppen ble benyttet i lagringsforsøket. Alle eskene ble veid før, under og etter lagring. Samtidig ble 3 fisker i hver av eskene i rad 1 (nederst), rad 3 (i midten) og rad 6 (nest øverst) veid enkeltvis. De 3 fiskene i hver eske ble merket og lagret hhv nederst, i midten og øverst i eskene.

Registrering av temperatur og relativ fuktighet i kjølelageret ble utført ved å plassere én logger inne i en eske blant klippfisk, én utenfor pallen, samt én ved porten inne i lageret. Lagringsforsøket ble utført i 105 dager, med målinger etter 28, 70 og 105 dager. Det ble gjennomført en enkel måling på lufthastighet og strømningsbilde inne i kjølelageret. Pallen med fisk ble plassert øverst på reolen i forkant av kjøleaggregatet.

2.3.2 Resultater hos Bedrift C

2.3.2.1 Vektendring på hele esker

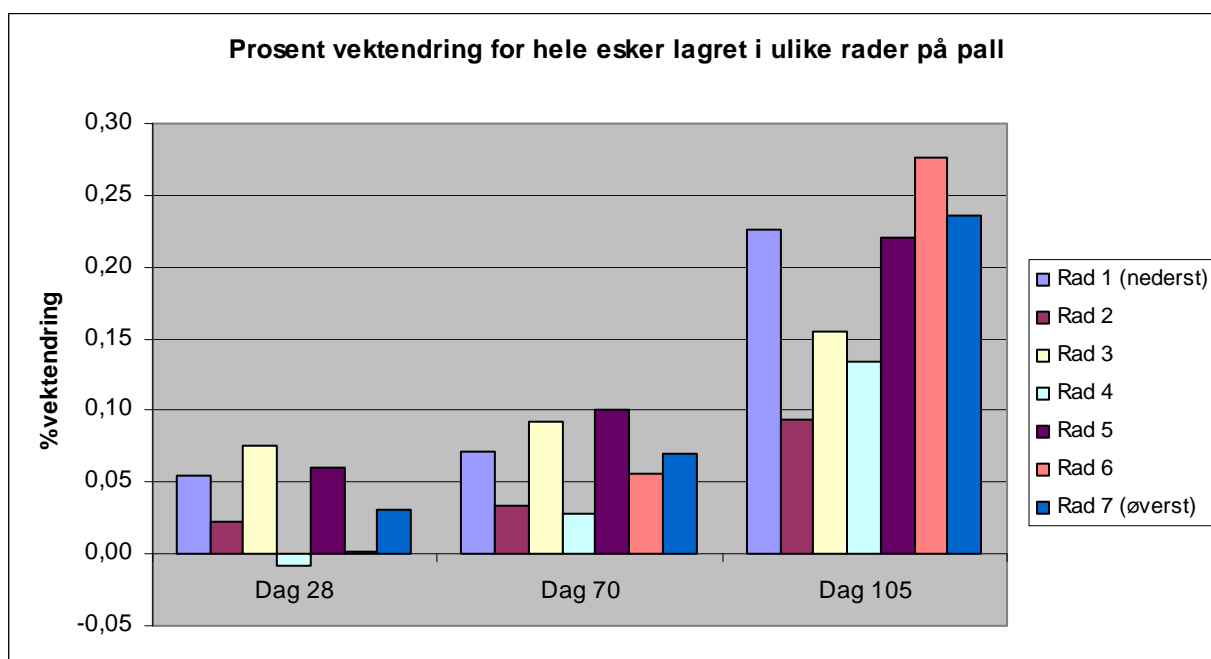
Alle eskene på pallen ble veid før, under og etter lagringsforsøket. Figur 16 viser vektendringsforløpet.

Ved målingene etter 70 og 105 dager var pappeskene tydelig fuktige, og det var ansamling av is oppå toppen av pallen (Figur 15). Man så også at enkelte tynne deler av fiskene i de øverste eskene var våte. Det vil senere i notatet bli vist at fuktigheten inne i lageret er høyt.



Figur 15: Ansamling av is på eskene

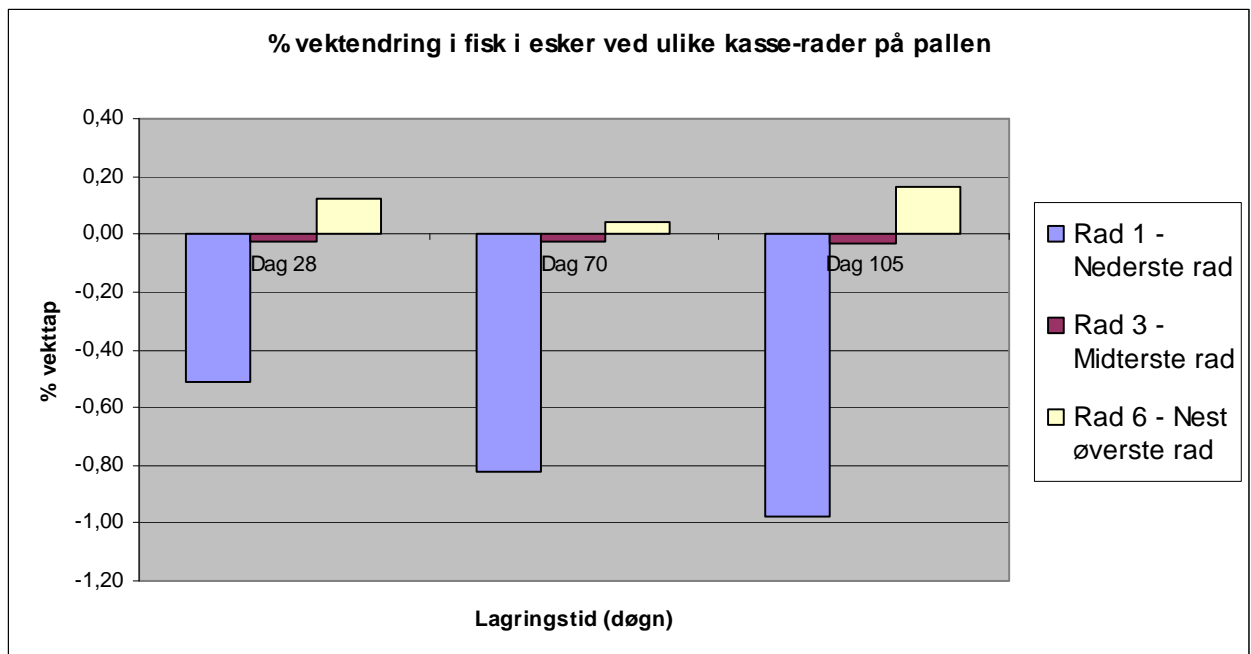
Vektmålingene viste at totalvekten (bruttovekt) av eskene økte med 0,2 % etter 105 dagers lagring. Den største økningen var øverst og nederst på pallen, der økningen var rundt 0,25 %.



Figur 16: Målt % vektendring av hele esker med klippfisk på pall ved Bedrift C.

2.3.2.2 Vektendring på fisken

Man ser fra resultatene fra Figur 16 at fiskene lagret i eskene nederst på pallen (rad 1) hadde et betydelig større vekttap (omkring 1 %) enn fiskene lagret i esker midt på og på toppen av pallene. Fisken øverst i rad 6 hadde en netto økning i vekt på omkring 0,2 %. Grunnen til dette kan være at pallen sto nært kjøleaggregatet. Det ble vist at relativ fuktighet rett ut fra aggregatet var omkring 100 %, dvs. vannmettet luft. Isdannelse oppå pallen tyder på det samme. Derimot viser registreringen at utjevnet relativ fuktighet ellers i kjølelageret ligger mellom 80 til 90 %. Det at pallen sto øverst i reolen og luften fra aggregatet blåste rett over denne med vannmettet luft (i kontakt med toppen av pallen), mens bunnen av pallen var i kontakt med utjevnet luft som generelt i lageret med relativ fuktighet på 80-90 %. De øverste fiskene har dermed blitt fuktet opp, mens fiskene i de nederste eskene har blitt tørket ut.



Figur 17: Vektendring av fisk i esker lagret i ulike rader på pallen ved Bedrift C.

2.3.2.3 Differanse mellom vektendring av hele kasser og netto vektendring av fisken i kassene.

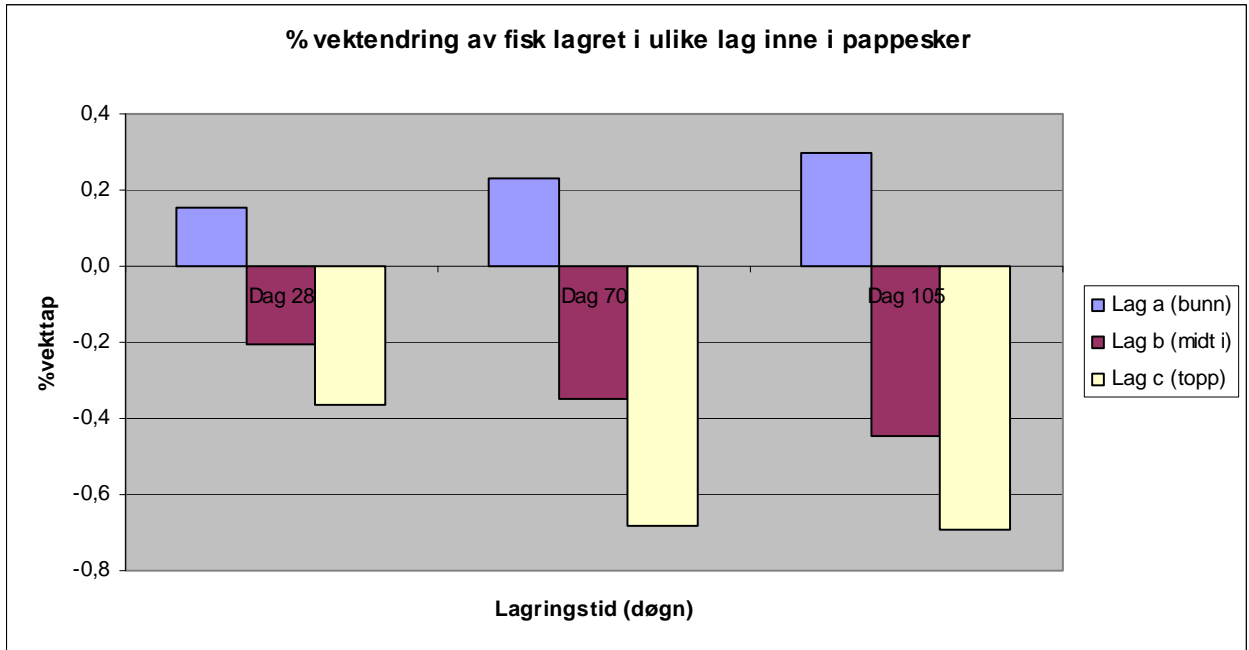
Ser man på vektendring av hele kasser med fisk mot vektendringen av netto fisk i kassene, registrerer man følgende (totalvekt av fisk på pallen er basert på snittvekt av 27 fisk):

Vektendringen i hele kasser med fisk er 0,19 % som tilsvarer en økning på 11,4 kg for hele pallen. Vektendringen av netto fisk i kassene er -0,28 %, en reduksjon på 14 kg.

Dette fører til at pappemballasjen som var synlig våt hadde tatt opp 25,4 kg vann.

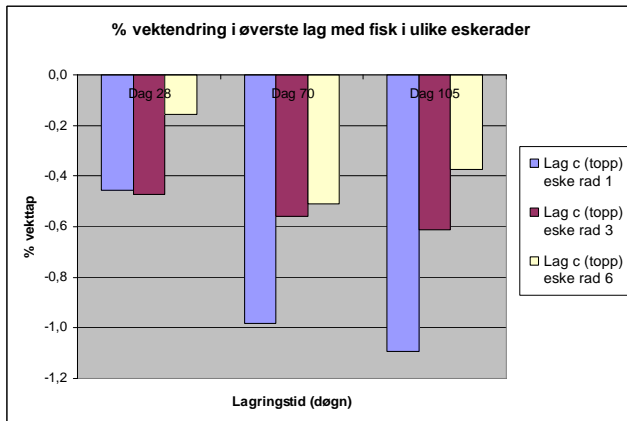
2.3.2.4 Vektendring av fisk internt inne i pappeskene.

3 fisk i hver av de 3 eskene på rad 1 (nederst), rad 3 (i midten) og rad 6 (nest øverst) ble veid individuelt. Disse 3 fiskene ble lagret hhv øverst, i midten, og nederst inne i eskene.

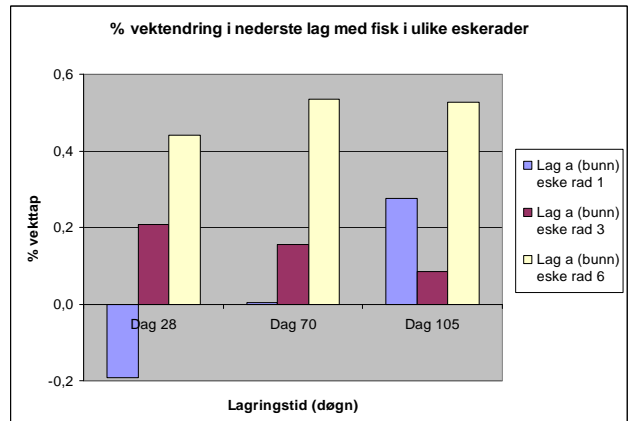


Figur 18: Vektendring av fisk lagret i ulike lag internt i esker.

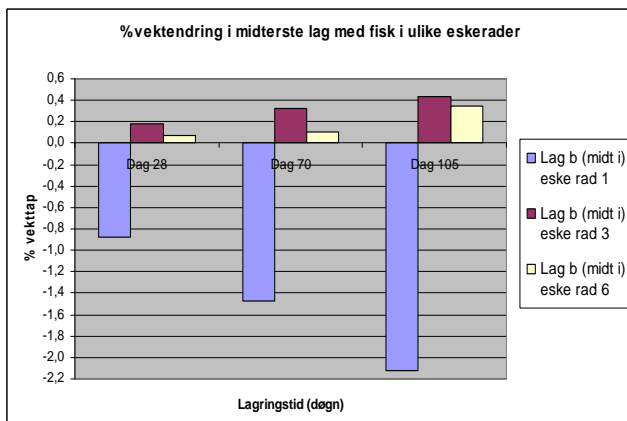
Ser man på vektendringen av de ulike lagene i alle eske-radene under ett (Figur 18), vises tydelig at fisken nederst i hver eske tar opp fuktighet (0,3 % økning), mens fisken lagret i midten av eskene og øverst i eskene reduserer vekten på hhv. 0,45 og 0,7 %.



Figur 19a: Vektendring øverste lag i eskene



Figur 19c: Vektendring nederste lag i eskene



Figur 19b Vektendring midterste lag i eskene

Sammenligner man de ulike lagene av fisk i esker lagret ved ulike rader på pallen, ser man fra Figur 19a at det øverste laget av fisk får redusert vekt, uavhengig av hvilken rad eskene er plassert på pallen.

For fisken lagret midt i eskene (Figur 19b) ser man derimot at vektendringen varierer avhengig av plassering av eskene på pallen. I eskene nederst på pallen (rad 1) får man en kraftig vektreduksjon, mens i eskene midt i pallen og på toppen får man en vektøkning. Det må her nevnes at resultatene i Figur 19a til 19c er basert på gjennomsnittsvekt av kun 3 fisker, og at det for den ene fisken vist i Figur 19b var betydelig differanse i forhold til de andre. Den kraftige vektreduksjonen i rad 1 må derfor ikke ilegges for stor vekt.

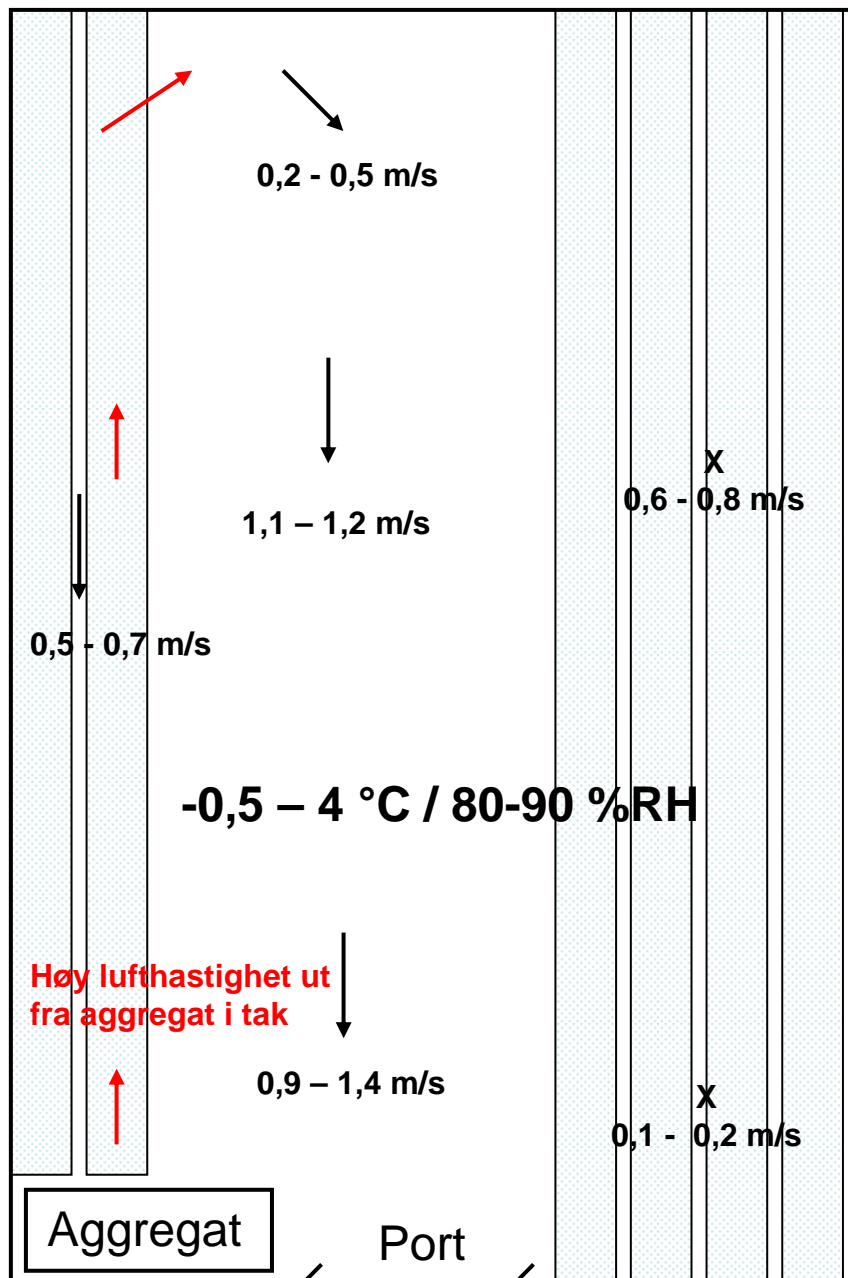
Fisken lagret nederst inne i eskene (Figur 19c) har en vektøkning uavhengig av plasseringen av eskene på pallen. Den største vektøkningen er derimot øverst på pallen. Dette kan ses i sammenheng med tidligere nevnt luftforhold over pallen, det vannmettet luft blåses over toppen av pallen.

2.3.3 Lagringsforhold Bedrift C

Registrering av temperatur og relativ fuktighet i kjølelageret ble utført ved å plassere én logger inne i en eske blant klippfisk (øverst, rad 6), én logger oppå pallen, én nede pallen, samt én ved porten inne i lageret. Det ble gjennomført en enkel måling på lufthastighet og strømningsbilde inne i kjølelageret. Pallen med fisk ble plassert øverst på reolen i forkant av kjøleaggregatet

Figur 20 viser en skisse (sett fra taket og ned) av lufthastighet og strømningsbildet i kjølelageret, mens Figur 21 viser forløpet av temperatur og relativ fuktighet under lagringsforsøket.

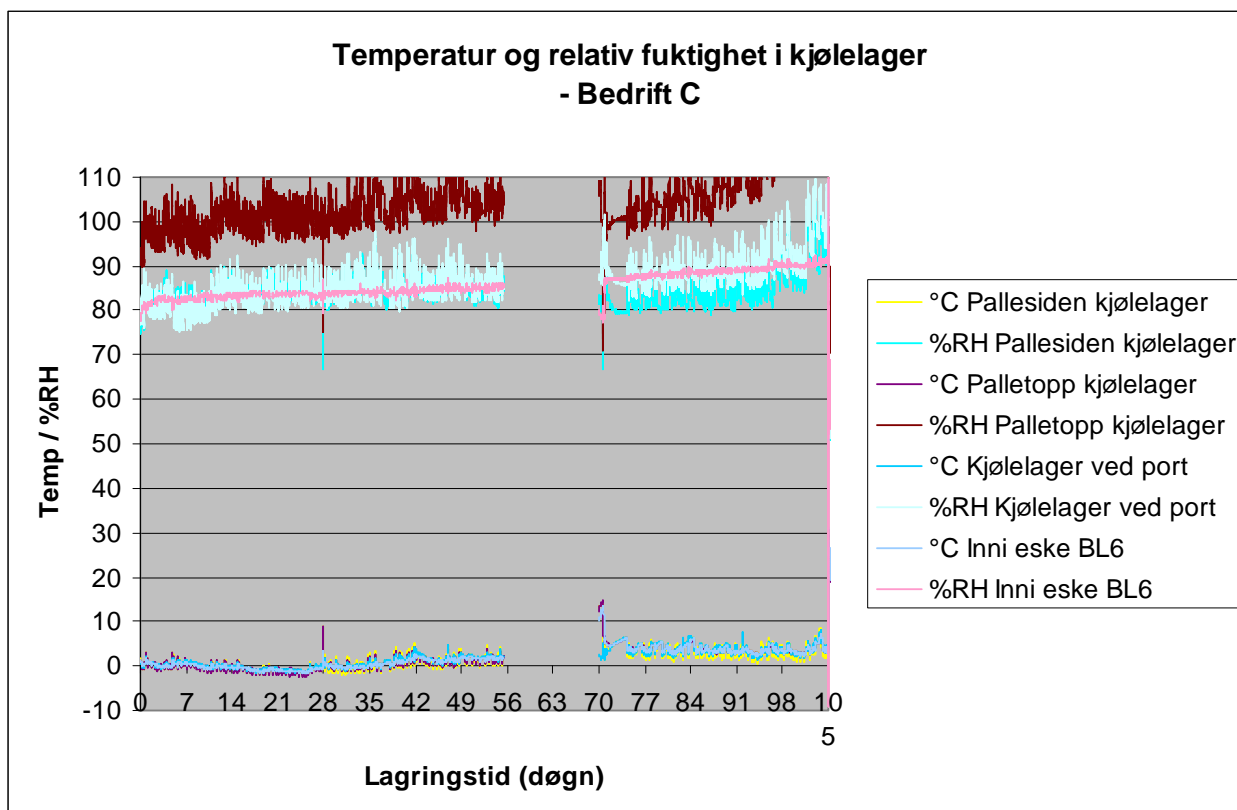
Når det gjelder luften i kjølelageret, så går denne ut fra kjøleaggregatet og blåses kraftig fremover langs taket på venstre side av rommet. Luften blåses over den øverste raden av pallene på reolene langs venstre side. Luften treffer bakre vegg og går deretter ned og tilbake langs rommet i midten av lageret. Strømningsbildet innimellom reolene på høyre side er uoversiktlig, men det er naturlig at luften totalt sett går fra bakre vegg og fremover mot aggregatet igjen. Lufthastighet i rommet lå mellom 0,1 til 1,4 m/s med unntak av lufthastigheten foran aggregatet i taket som var høy.



Figur 20: Skisse over temperatur og strømningsbilde i kjølelager. Lufthastigheten ble målt omkring 1,5 – 2 m over gulvet. Rød pil – luftstrøm langs taket, sort pil langs gulvet.

Temperaturen i lageret lå stort sett mellom -0,5 til 1 °C i første del av lagringsforsøket, men økte så til 1 - 4 °C i siste del. Relativ fuktighet varierte mellom 80-90 %. På grafen i Figur 21 ser man store svingninger (10-15 %) på relativ fuktighet skyldes at aggregatet slo inn og ut i perioder.

Registrering av temperatur og relativ fuktighet i pakkehallen utenfor kjølelager (ikke vist i kurve) viste at temperaturen lå mellom 12 og 20 °C, mens relativ fuktighet lå mellom 40 og 60 %.



Figur 21: Målt temperatur og relativ fuktighet i kjølelager hos Bedrift C.

Som tidligere nevnt var relativ fuktighet ut fra aggregatet rundt 100 %, mens den utjevne fuktigheten i lageret ellers lå mellom 80 – 90 %. Dette påvirket som nevnt vannopptak i både emballasje og produkt. Relativ fuktighet i luft går ikke over 100 % under normale trykkforhold, men ut fra Figur 21 ser man at relativ fuktighet varierer sterkt, og går til dels opp til 110 %. Grunnen til dette er at nøyaktig måling av relativ fuktighet i ytterpunktet 100 % er teknisk vanskelig, og de loggerne som ble benyttet dermed gav usannsynlige verdier i vannmettet luft. Samtidig svingte relativ fuktighet sterkt i løpet av kort tid i det aggregatet slo inn og ut. Dette gjør det vanskelig for loggerne å ”henge med” pga at det tar noe tid å få stabile relativ fuktighets målinger.

Det må legges merke til at relativ fuktighet inne i esken med klippfisk (øverst, rad 6) også lå mellom 80 til 90 %. Dette tyder på at de fuktige eskene også avgir vanddamp på innsiden av eskene. Fra Figur 19 ser man at nettovekt av fisken i rad 6 hadde økt med 0,17 %, og dermed tatt opp noe av denne fuktigheten.

3 SIMULERING AV IDEELT KJØLELAGER

3.1 INTRODUKSJON

For å redusere varmetap til kjølelageret gjennom gulv, tak og vegger, er det viktig å ha så mye klippfisk pr kvadrat lagerflate som mulig. Det er derfor nødvendig å utnytte høyden i et lager, og reolhøyden bør begrenses av løftehøyden på truckene. Reolene bør samtidig stå så nær hverandre som mulig for å utnytte gulvplassen, men det må være rom for kjøleluften å strøme mellom disse. Med bakgrunn i dette og erfaringer fra bransjen, synes systemer med mobile reolrader fornuftig, alternativt kan man utnytte plassen med inntil 3 reolrader på hver side av en fast midtgang (må da bruke lang gaffel på trucken).

Det er viktig at kjøleluften blir godt fordelt i hele lageret slik at man ikke får dødsoner med lokalt varmere områder. Nylig innsatt vare vil tilføre varme til lageret i tillegg til varmelekkasje fra vegger og tak. En rekke simuleringer ble utført for å finne et ideelt utformet kjølelager for klippfisk. Det viktigste målet har vært å kontrollere luftfordeling i hele lageret (målt ved hastighetsverdier) med bakgrunn i varierende reolsystemer. Resultatene ble funnet ved bruk av CFD-programmet Airpack 3.0.16 fra ANSYS.

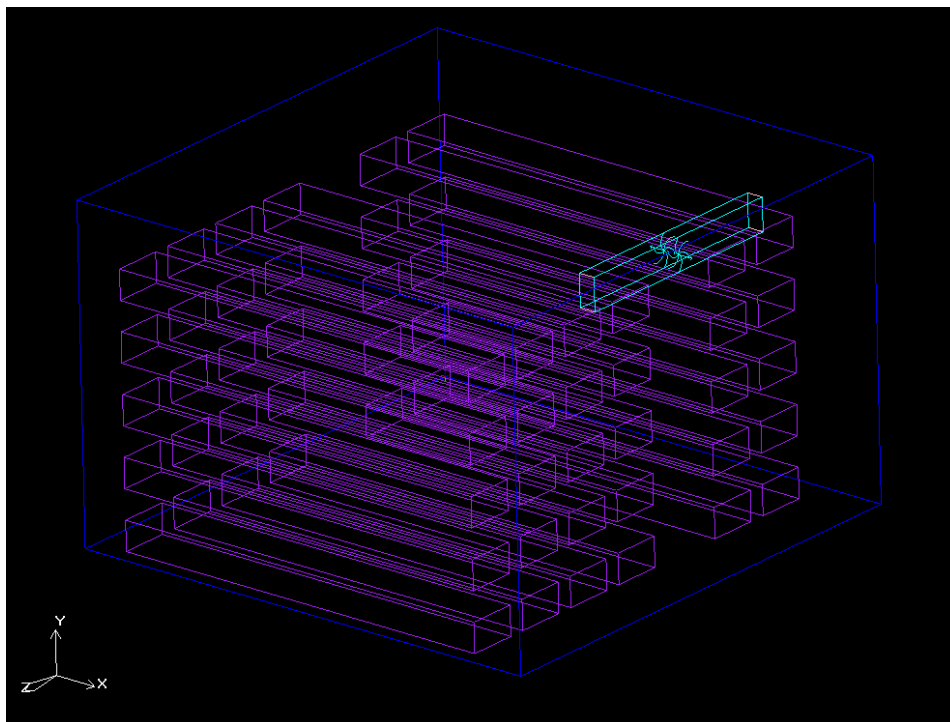
3.2 ULIKE REOL OPPSETT

Med bakgrunn i tidligere simuleringer på et tørrfisklager er det funnet fornuftig å videre simulere luftfordelingen i et rom med størrelse 15x10x15 m³ med takmontert kjøleaggregat. I dette rommet er det forutsatt rom for 6 reolrader med 5 pallehyller i høyden. I simuleringmodellen er det gitt at luften ikke kan strøme igjennom pallen pga emballasje. Samtidig er det forutsatt at pallene på hver hylle står tett sammen. Luftstrømmen går dermed over pallene, og mellom reolene. Simuleringene ble gjennomført med 4 ulike reolsystem oppsett.

3.2.1 Tradisjonell modell

Denne modellen er basert på tradisjonell luftdistribusjon, der viften blåser luften langsetter reolradene med fisk. Luften går mellom de ulike hyllene, og det er muligheter for luften å kunne blåse ned til de nederste hyllene.

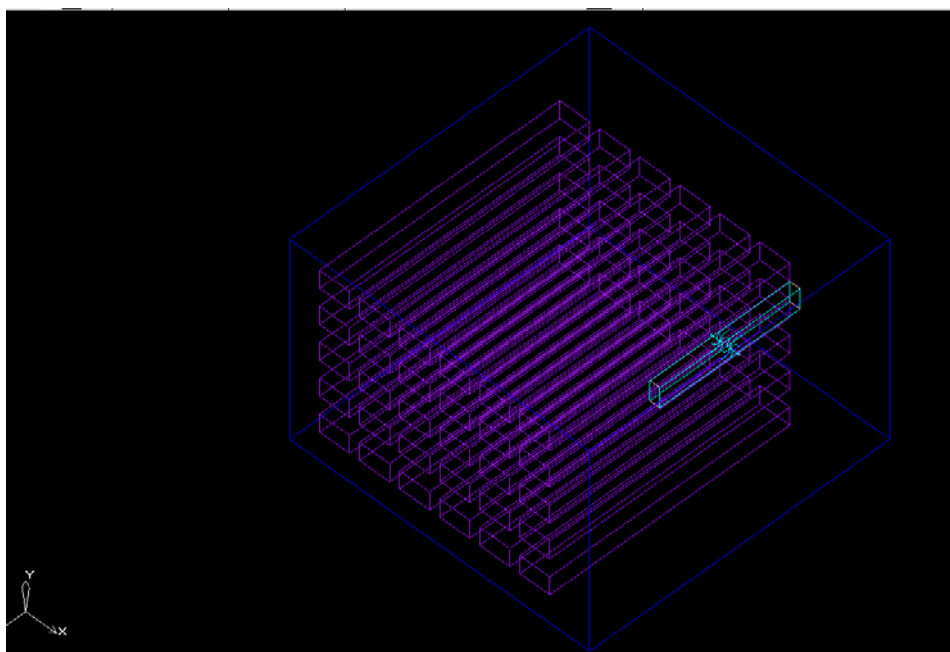
Figur 22 viser reoloppsettet ved tradisjonell modell. Reolene står på hjul, og kan flyttes for bedre å komme til med fisk.



Figur 22: Reoloppsett ved tradisjonell luftdistribusjon der luften blåses langsetter reolrekkene.

3.2.2 Rotert modell

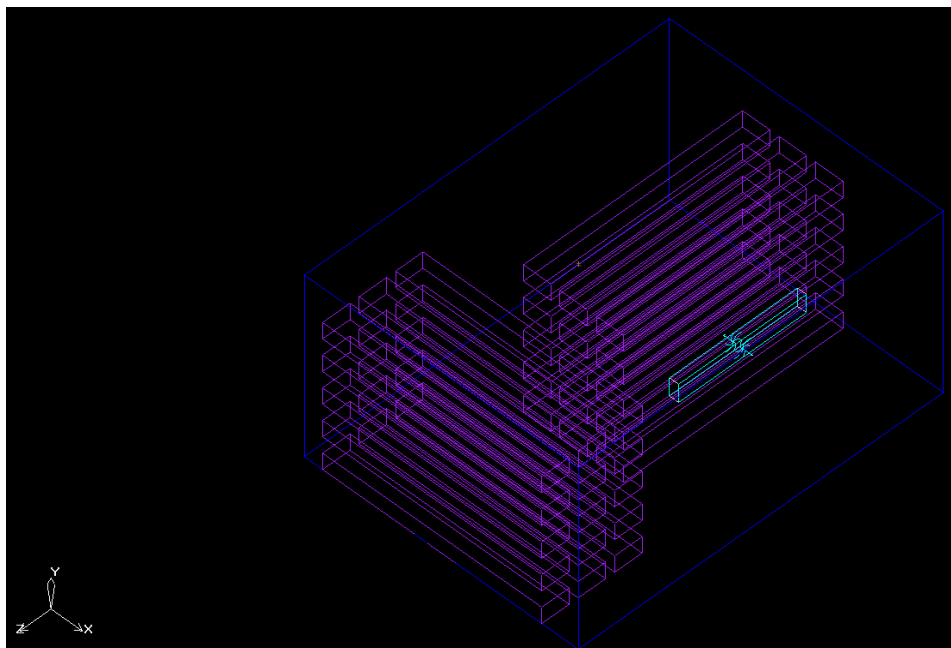
Denne modellen er tenkt å forbedre muligheten for luft til å gå direkte til bunnen av lageret som vist i den tradisjonelle modellen. I rotert modell vil luften treffe 90 grader på reolrekkene, og det er ønskelig at konsekvensen av dette skal være at mer luft vil gå over til de bakre rekkene. Antall reoler og viftekapasitet er den samme i alle modellene.



Figur 23: Reoloppsett ved rotert modell der luftdistribusjon er tenkt å gi mer luft til de bakre reolrekkene.

3.2.3 Delt modell

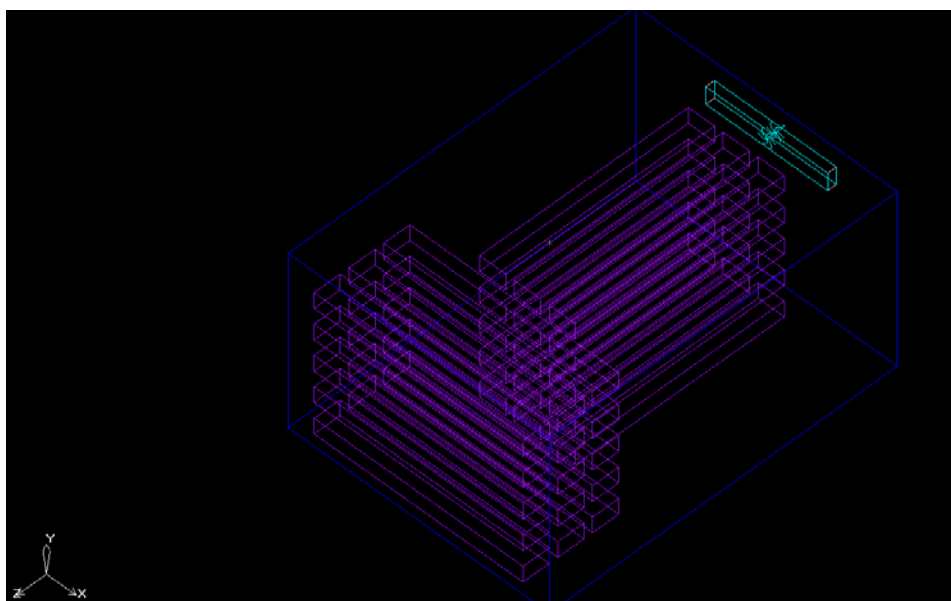
I denne modellen er halvparten av rekkene rotert slik at luften treffer disse hyllene 90 grader på, mens luften går langsetter rekkene i den andre halvdelen. Tanken bak dette er at to forskjellige hindringer av luftstrømmen skulle skape turbulens og dermed god luftdistribusjon i hele lageret.



Figur 24: Reoloppsett ved delt modell der luftstrømmen er tenkt å få mer turbulens for bedre luftfordeling i hele lageret.

3.2.4 Delt, rotert modell

For denne modellen er det tenkt å forbedre foregående modell ved å endre posisjonen på viften. Viften er nå satt på den korte vegg i lageret i stedet for den lengste.



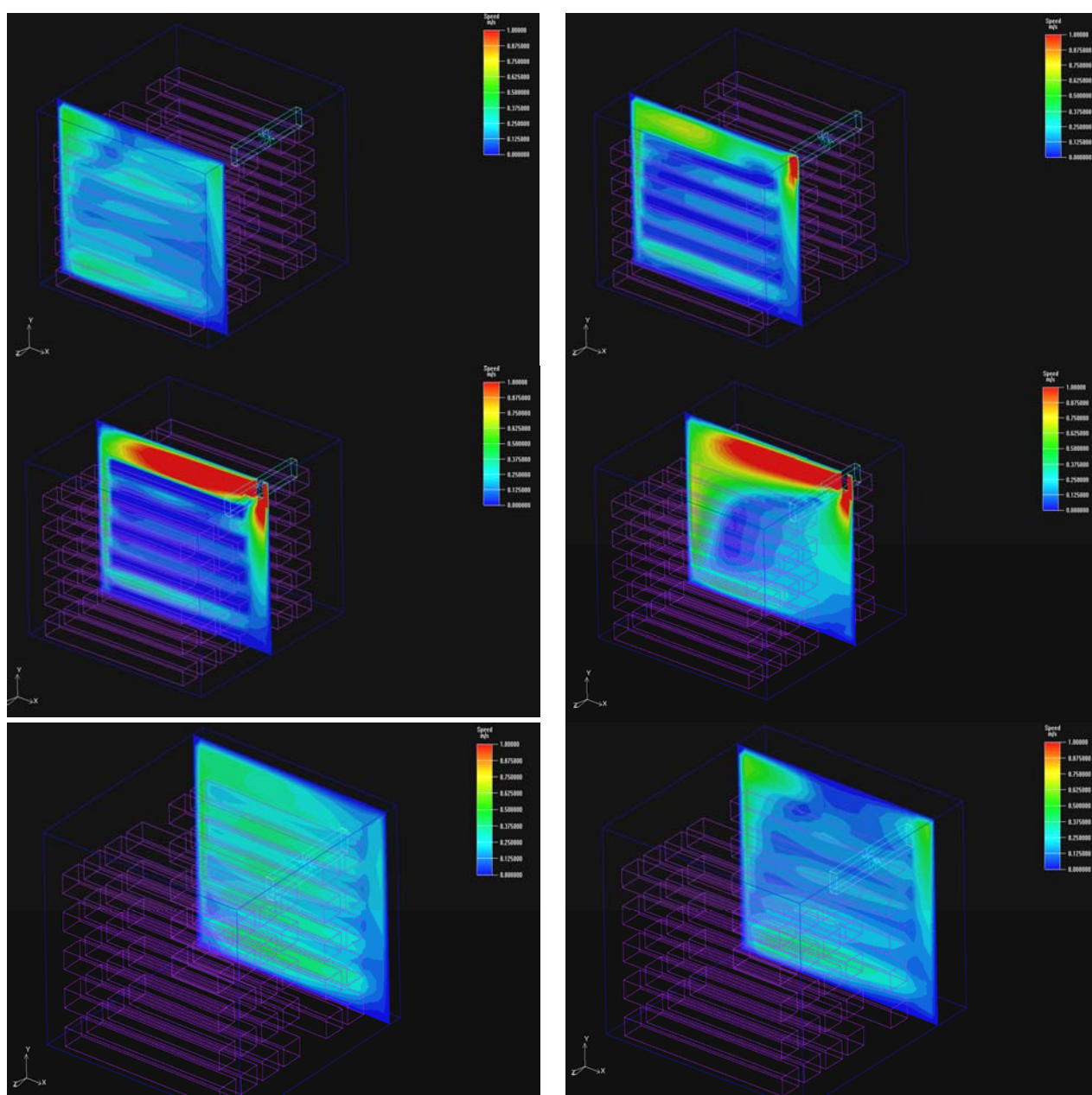
Figur 25: Reoloppsett ved delt modell der luftstrømmen er tenkt å få mer turbulens for bedre luftfordeling i hele lageret.

3.3 RESULTATER FRA SIMULERING AV OPTIMALT LAGER

Det er ikke et mål å ha lufthastigheten så høy som mulig inne i lageret, men heller en god og kontinuerlig distribusjon av all luft i hele lageret for å hindre soner med høy temperatur og fuktighet rundt enkeltpaller. Under simuleringen er det satt at lufthastigheter over 0,6 m/s er god, men at alt over 0,1 m/s er akseptert.

3.3.1 Tradisjonell modell

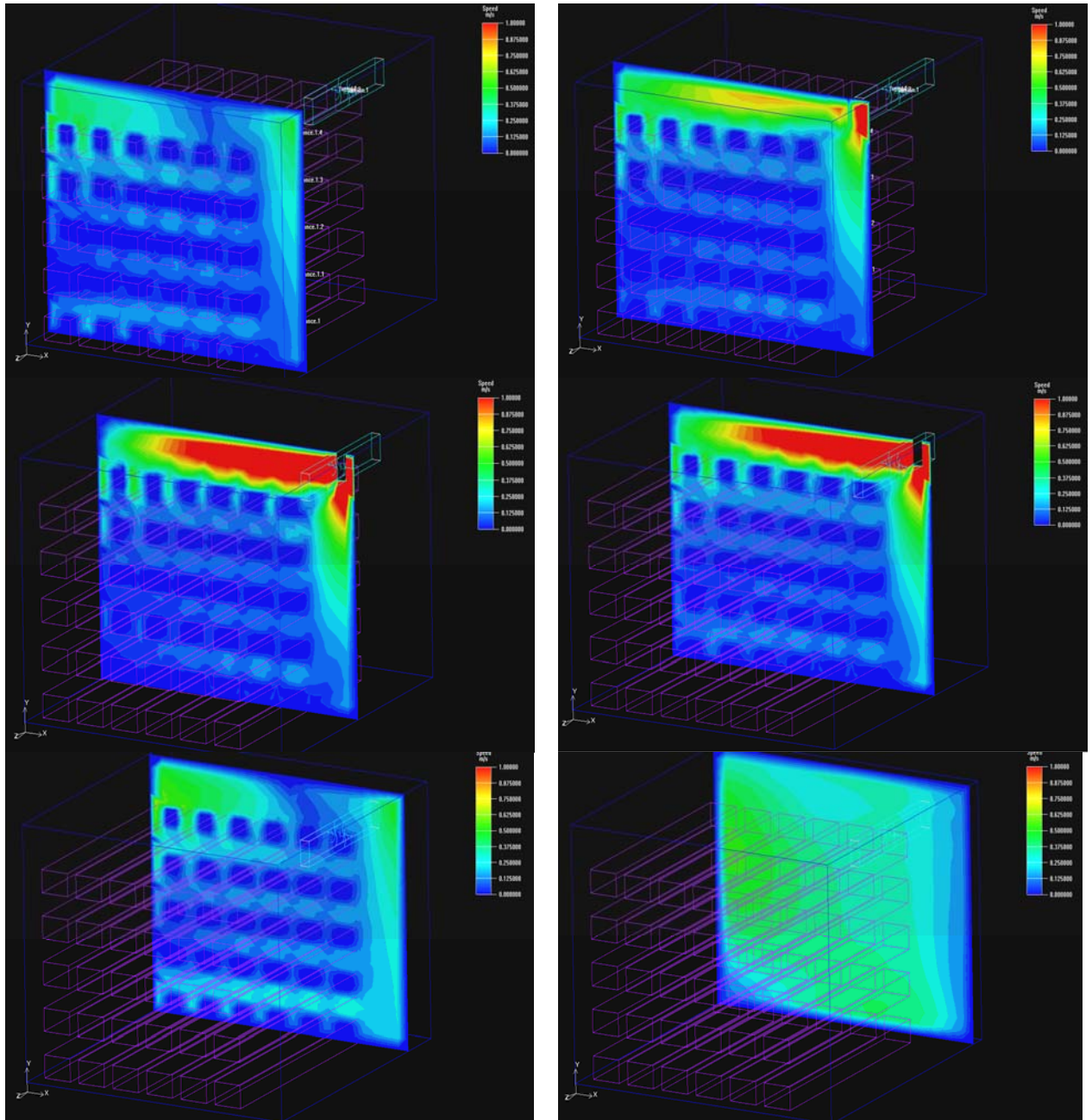
Simulering av luftfordeling i denne modellen (Figur 26) viser at lufthastigheten er akseptabel gjennom hele lageret.



Figur 26: Luftfordeling ved tradisjonelt oppsett av reoler vist som snitt i gjennom lageret.

3.3.2 Rotert modell

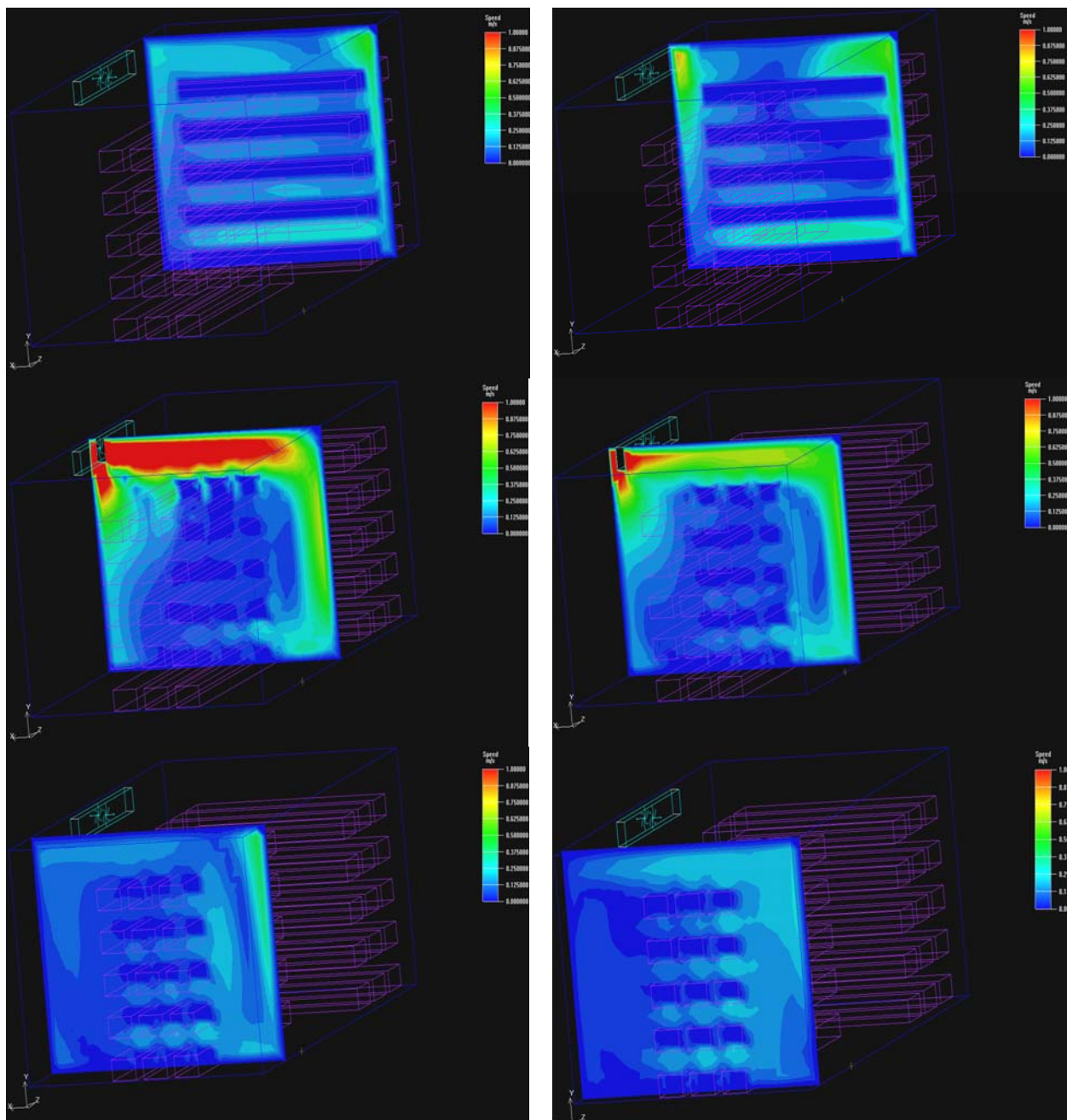
Luftfordelingen i denne modellen (Figur 27) viser at lufthastigheten ikke er tilstrekkelig i store deler av lageret, og spesielt vil fisk lagret nederst og bak i lageret få for lite luft.



Figur 27: Luftfordeling ved rotert oppsett av reoler vist som snitt i gjennom lageret.

3.3.3 Delt modell

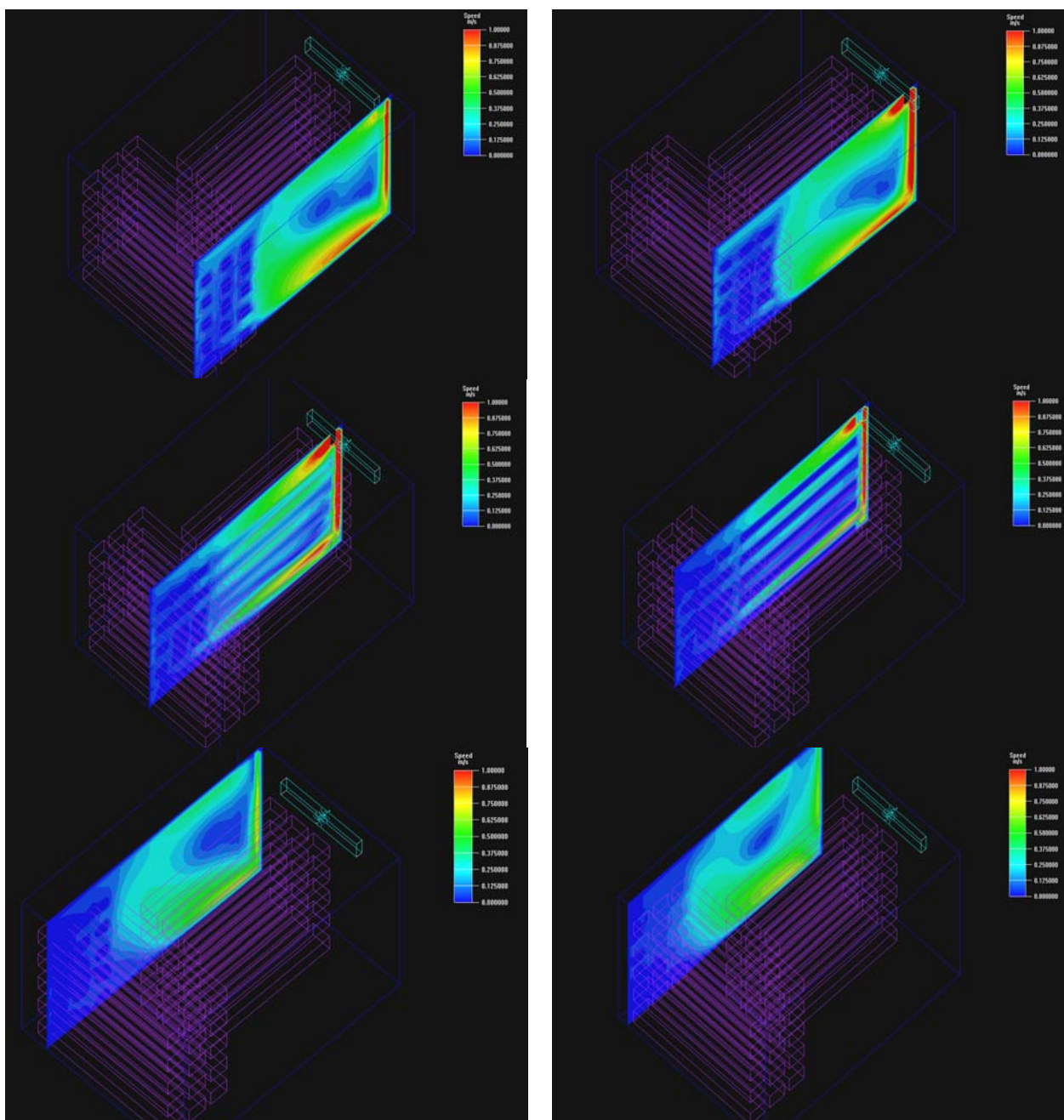
Luftfordelingen i denne delte modellen (Figur 28) viser at lufthastigheten heller ikke her er tilstrekkelig i store deler av lageret. Kapasiteten på viften måtte blitt økt betydelig for å kunne gi tilstrekkelig med luft til hele lageret.



Figur 28: Luftfordeling ved delt oppsett av reoler vist som snitt i gjennom lageret.

3.3.4 Delt, rotert modell

Denne modellen er ment å øke luftfordelingen i forhold til forrige modell. Også her er lufthastigheten høy nok kun nær viften, og spesielt bak i lageret vil mengde luft være utilstrekkelig (Figur 29). Også her må viftekapasiteten øke betydelig for å kunne gi nok luft i hele lageret.



Figur 29: Luftfordeling ved delt og rotert oppsett av reoler vist som snitt i gjennom lageret.

3.4 KONKLUSJON FRA SIMULERING AV OPTIMALT LAGER

Med bakgrunn i resultatene fra simulering av luftstrømmen i kjølelager med ulikt oppsett av reolsystemer, og med fokus på jevn luftfordeling i hele lageret er det konkludert med følgende:

- *Tradisjonell modell;* Denne modellen gir akseptable lufthastigheter i stort sett hele lageret. Gjennomsnittlig lufthastighet mellom pallene er høyere enn 0,6 m/s. Simuleringsmodellen er en forenkling i forhold til et reelt lager, og fiskepallene på hver hylle ville ikke være satt tett sammen i hele reollengden. Lufthastigheten i midten av rekkene ville i et reelt lager derfor vært høyere enn de simulerte verdiene. Med bakgrunn i dette kan det konkluderes med at denne modellen er akseptabel.
- *Rotert modell;* Denne modellen gir lavere lufthastigheter enn akseptert bak i lageret. Disse hastighetene ville i et reelt lager kunne vært høyere ettersom pallene på hver hylle ikke ville stått tett sammen i hele rekken. Uansett vil gjennomsnittlig lufthastighet i lageret være lavere enn for tradisjonell modell.
- *Delt modell;* Simuleringene viser at denne modellen har uakseptabel lav lufthastighet i store deler av lageret. Antagelsen om at en delt modell gav turbulens i luften og dermed god luftfordeling stemte ikke. Gjennomsnittshastigheter i denne modellen er høyere enn rotert modell, men gir dårligere resultater i forhold til tradisjonell modell.
- *Delt, rotert modell;* Denne modellen ble etablert for å øke effekten av turbulens ved å endre plasseringen av viften fra kortveggen til langveggen i lageret. Resultatene viser at reolene i front opplever høy lufthastighet, mens reolene bak i lageret får lite luft pga trykkfallet den første reolen skaper.

Konklusjonen er at en tradisjonell modell der reolradene står oppført langsetter luftens strømningsretning vil gi best luftfordeling i et lager.

4 KONKLUSJON – UTFORMING AV OPTIMALT LAGER

Klippfisk har god holdbarhet på grunn av salting og tørking, og lagring av fisken er stort sett ikke et problem i forhold til harskning/gulning ved kjølelagring. Utfordringen ligger i at klippfisken tar opp fuktighet og slår seg, eller at den taper vekt pga uttørking. Dette skjer selv om klippfisken er emballert, og skyldes feil fuktighet i luften i kjølelageret.

Bestemmelse av sorpsjonsisotermer av torsk, sei og lange, samt gjennomføring av vekttapsmålinger under lagring viser at likevektsfuktigheten for klippfisk er ca. 76 %. For torsk kanskje opp mot 78 %. For å unngå at fisken opptar fuktighet ("slår seg") eller tørker videre må fuktigheten ligge rundt likevektsfuktighet. Det er en krevende balanse mellom vekttap og at fisken "slår seg".

Temperaturen i kjølelageret bør erfaringsmessig ligge rundt 2-6 °C, men konsekvensene på kvaliteten ved å øke eller senke temperaturen noen grader er lite undersøkt og dokumentert.

Selv om lagrene i dag er relativt godt kjølte er det liten eller ingen styring av luftfuktigheten. All kjøling ved luftbatterier vil kondensere vann og derved bidra til å redusere fuktigheten. Lufttilstanden i lageret er derfor avhengig av en rekke forhold som lagertemperatur, uteluft temperatur og fuktighet, innføring av "varme" varer, isolasjon, lekkasjer, åpne porter, kuldeanlegg og fordamperflate, uttørking av fisken, mv. Dette gjenspeiler målinger av 6 ulike industrielle kjølelager, der fuktigheten ble registrert i området 55 - 95 %. Ingen lager hadde optimal fuktighet, men ett lå ganske nært. Målinger av temperaturer, fuktighet og vekttap ved lagring av ferdigtørket fisk viste at klippfisk emballert i esker og lagret i 3-4 måneder ved 80-90 % RH slo seg, og fikk en vektøkning på 0,2 %. Til sammenligning fikk klippfisk lagret ved 55-60% et vekttap på 0,9 %. Lagring ved fuktighet i overkant av 70 % RH gav ubetydelig vektendring, men med tendens til uttørking.

Kontroll av fuktighet i kjøleluften.

Måleinstrument for å registrere temperatur og relativ fuktighet koster noen få hundrelapper, men gir verdifull informasjon om driften av lageret. Luftfuktigheten i et kjølelager er som nevnt avhengig av en rekke ulike forhold. Økt varmebelastning til lageret (fra varmelekkasje og innsatt produkt) øker også selvfølgelig behovet for kjøling av luften. Luftens fuktighet blir da dermed mer redusert ved at mer vann kondenseres ut. Ved de fleste lager vil en derfor vanligvis ha lavere fuktighet om sommeren når kuldesystemet belastes mest. I noen grad kan kondenseringen ved kjøling reduseres noe ved at en overdimensjonerer kjøleflatene. Ved tørt lager kan fuktigheten økes ved styrt/kontrollert tilsetning av vanndamp.

Et lager er i teorien et lukket system hvor total vannmengde er konstant, og luftfuktigheten vil gå i likevekt med fisken på omkring 76 % RH. For høy fuktighet i lageret må dermed skyldes at vann tilføres lageret fra innstrømming av luft fra fuktige rom (eller uteluft), eller fra avdamping fra ukjølt nyinnsatt klippfisk. Det er derfor viktig å holde porter og dører stengt, tett lekkasjer, og emballer fisken før denne blir satt inn i lageret.

I perioder der utetemperaturer ligger under lagertemperaturen er kjølebehovet lavt og innkommende fuktighet vil ikke bli fjernet av kuldesystemet. Det kan ved slike tilfeller være behov for varmetilførsel for å få driftet kuldeanlegget.

Optimal luftfordeling og reolsystem.

For å redusere varmetap til kjølelageret gjennom gulv, tak og vegger, er det viktig å ha så mye klippfisk pr kvadrat lagerflate (tak, vegger og gulv) som mulig. Det er derfor nødvendig å utnytte høyden i et lager, og reolhøyden bør begrenses av løftehøyden på truckene. Reolene bør samtidig stå så nær hverandre som mulig for å utnytte gulvplassen, men det må være rom for kjøleluften å strømme mellom disse. Systemer med mobile reolrader er derfor fornuftig, alternativt kan man utnytte plassen med inntil 3 reolrader på hver side av en fast midtgang (må da bruke lang gaffel på trucken).

Det viktig at kjøleluften blir godt fordelt i hele lageret slik at man ikke får dødsoner med lokalt varmere områder. Nylig innsatt vare vil tilføre varme til lageret i tillegg til varme fra vegger og tak. Simuleringene av luftstrømmer i lager med ulike oppsett av reolradene viste at toppmontert aggregat som blåser luften langs med reolradene gir best luftfordeling i lageret.

REFERANSER

- [1] Sandbakk, Berner and Frydenlund, "Optimal lagring av tørrfisk," Sintef, Trondheim, Confidential 2005.
- [2] SINTEF rapport: TRA 6764 "Optimal lagring av klippfisk", I.C. Claussen, P.M. Walde, O.M. Magnussen, des 2008
- [3] SINTEF rapport: TRA6918 "Sluttørking av klippfisk. Kapasitetsutnyttelse av tørketuneller og sluttørking i lager", E. Indergård, O.M. Magnussen, mars 2010