

■ 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)

Innledende forsøk vedrørende temperaturreduksjon i Felles Ferskvare Distribusjon

SAKSBEARBEIDER(E)

Anne Karin Torstveit Hemmingsen, Solfrid Johansen og Anders Haugland

OPPDRAGSGIVER(E)

Norges Forskningsråd

TR NR.	DATO	OPPDRAGSGIVER(E)S REF.	PROSJEKTNR.
TR A5718	2002-10-30	Attention	16X267.01
ELEKTRONISK ARKIVKODE		PROSJEKTANSVARLIG (NAVN, SIGN.)	GRADERING
021030102748		Anders Haugland	Åpen
ISBN NR.	RAPPORTTYPE	FORSKNINGSSJEF (NAVN, SIGN.)	OPPLAG SIDER
82-594-2379-0	Delrapport	Trygve M. Eikevik	1 10
AVDELING	BESØKSADRESSE	LOKAL TELEFAKS	
Klima- og kuldeteknikk	Kolbjørn Hejesvei 1 D	73593950	

RESULTAT (sammendrag)

Hensikten med studien var å utføre innledende forsøk for å finne de laveste akseptable lagringstemperaturene for distribusjon og lagring av de mest temperaturfølsomme melkeproduktene.

Resultatene fra studien kan enklest sammenfattes på følgende måte:

- ved $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ligger underkjølingstemperaturen mellom $-0,4$ og $-0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ etter 5 - 7 timer
- ved $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ligger underkjølingstemperaturen mellom $-1,0$ og $-2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ etter 3 - 8 timer
- ved $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ligger underkjølingstemperaturen mellom $-3,9$ og $-4,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ etter 18 - 24 timer

Kraftig risting ved den laveste omgivelsestemperaturen ($-4\text{ }^{\circ}\text{C}$) ser ut til å fremme nukleeringsprosessen. Dersom produktene tappes og mellomlagres ved $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, vil det etter all sannsynlighet være uproblematisk å transportere produktene ved temperaturer ned til $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ innenfor kortere avstander. En god løsning for lengre transportruter vil være å beskytte de mest temperaturlabile produktene under transporten.

Den laveste akseptable lagringstemperaturen for produkter som ikke er beskyttet på noen måte, og som skal transporteres over lengre avstander, ser ut til å ligge like i nærheten av eller like over melkeproduktets frysepunkt.

Resultatene er basert på et begrenset forsøksoppsett og resultatmengden er derfor ikke stor nok til å kunne gjøre statistiske beregninger.

EGENVALGTE	Superkjøling	Underkjøling
	Melkeprodukter	Nukleering

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
1 MÅL	3
2 BAKGRUNN	3
3 MATERIALER OG METODER	4
4 RESULTATER OG DISKUSJON	5
5 KONKLUSJON.....	8

1 MÅL

Utføre innledende forsøk for å finne de laveste akseptable lagringstemperaturene for distribusjon og lagring av de mest temperaturfølsomme melkeproduktene.

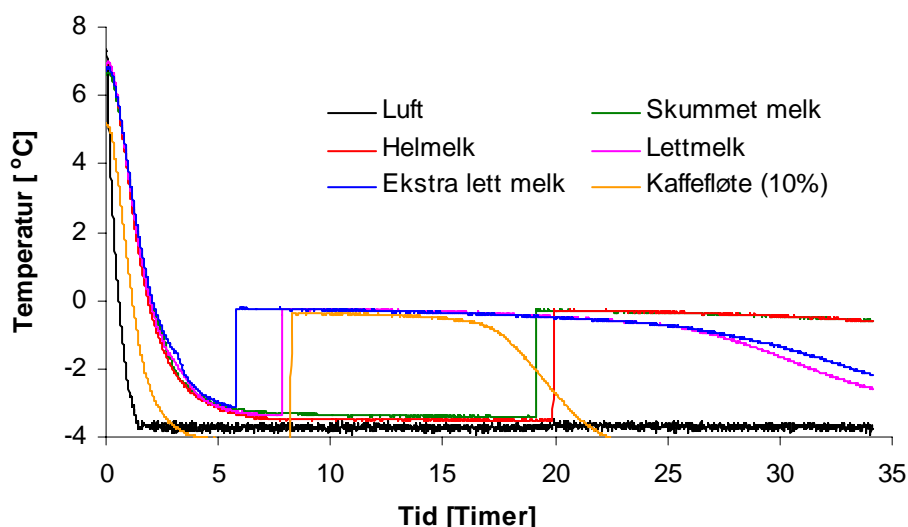
2 BAKGRUNN

Forskjellige ferske og frosne matvaretyper (kjøtt, fisk, melk og frukt) distribueres i dag i stadige større omfang med felles kjøletransport. Dette er kjent som felles ferskvaredistribusjon, FFD.

I forbindelse med et forskerstyrt prosjektet ”Superkjøling av næringsmidler”, finansiert av Norges Forskningsråd, har flere bedrifter ytret ønske om redusert lagringstemperatur ved felles ferskvaretransport for å øke holdbarheten og sikre kvaliteten av de mest lettbederverlige produktene, som uprosessert kjøtt, fjærkre og fisk. Temperaturen kan for disse produktene med fordel senkes ned mot frysepunktet for varene som ligger rundt -1°C . Lavere lagringstemperatur (-1°C til -3°C) vil kunne gi enda bedre holdbarhet, men en vil da få en partiell utfrysing (superkjøling) av matvarene.

Tidligere studier har vist at superkjøling gir kvalitet helt tilsvarende ferske varer. Superkjølingen gir bedre sikkerhet mot brudd i kuldekjeden (for eksempel under lasting/lossing av varer, butikklagring etc) på grunn av magasinert kulde i produktene. I prosjektet ”Superkjøling av næringsmidler” vil effekten av superkjøling bli studert for flere matvarer.

For melkeprodukter gir imidlertid iskrystaller en uønsket smakseffekt og frysepunktet for melk ligger nært 0°C (-0.2°C til -0.3°C). Vi ønsker å undersøke hvilke nedre lagringstemperaturer som er aktuelle ved frakt av ferske matvarer der melkeprodukter er inkludert. Innledende forsøk med melk med ulikt fettinnhold har indikert at det tar lang tid før det dannes iskrystaller, selv ved en lagringstemperatur på -4°C , se Figur 1.



Figur 1: Temperaturforløp for kaffefløte 10% (KF), helmelk (HM), lettmelk (LM), ekstra lett melk (ELM) og skummet melk (SM) ved nedfrysing til -4°C .

Figur 1 viser en betydelig underkjølingstid før utfrysing. Vi ønsker å studere tidspunktet for når initiell nukleering inntreffer for ulike melkeprodukt ved ulike lagringstemperaturer og på grunnlag av dette finne egnet nedre lagringstemperatur for felles ferskvare distribusjon. Aktivitetene deles inn i følgende underaktiviteter:

- Kjøle/Fryse melkeprodukter til flere temperaturer i området -4°C til 0°C
- Finne (om mulig) generelle nukleeringstidspunkt
- Registrere om eventuelt risting/bevegelse har effekt på nukleeringstidspunkt

3 MATERIALER OG METODER

Ulike meieriprodukter (skummet melk, helmelk og god morgen yoghurt m/jordbær) ble kjølt ned (superkjølt) fra 4°C til ulike temperaturer (-1°C , -2°C og -4°C) i et spesialkonstruert fryseskap. Før nedkjøling/superkjøling var temperaturvariasjoner i produktene helt utjevnet. Kjerne, emballasje –og lufttemperaturer ble kontinuerlig målt ved en Hydra Fluke datalogger med termoelement av typen T tilkoblet.

Under nedkjølingen/superkjølingen ble produktene kraftig ristet (100 rpm) (rotations pr minute), moderat ristet (50 rpm) eller holdt i stillstand (0 rpm). Under ristingen ble produktene festet til et ristebord av typen Heidolph UNIMAX 1010DT. I forsøkene uten risting ble produktene plassert på stålnetting i høyde tilsvarende ristebordets høyde.

Før forsøkstart ble alle termoelementer sjekket i is/vann slurry. Lufttemperaturen på hyllen der produktene ble plassert ble likeledes sjekket før start ved alle temperaturer planlagt benyttet i forsøkene (4°C , -1°C , -2°C og -4°C). Lufttemperaturen var helt jevn ved alle innstillingene (10 punkter målt). I hvert forsøk ble kjerne- og emballasjetemperatur i en skummet melk, en helmelk og en god morgen yoghurt registrert. I tillegg ble kjernetemperaturen i en ekstra skummet melk registrert ved hver nedkjøling. Forsøkene ble utført etter et design som beskrevet i Tabell 1. Forsøk 10 ble gjennomført med fire skummetmelk i skapet. Dette ble gjort for å sjekke om utfrysningen kom lettere ved bestemte posisjoner på ristebordet.

Tabell 1: Forsøksdesign. Superkjøling av 2 skummetmelk, 1 helmelk og 1 godmorgen yoghurt ved ulike lufttemperaturer og ristingsnivåer. (*forsøket ble utført med 4 skummetmelk)

Testsrekkefølge	Temperatur [$^{\circ}\text{C}$]	Risting [rpm]
1	-1	0
5	-1	50
4	-1	100
2	-2	0
6	-2	50
9	-2	100
3	-4	0
7	-4	50
8	-4	100
10*	-1	0

Etter hvert forsøk ble tiden før (initielt nukleeringstidspunkt) og temperaturen ved utfrysing (underkjølingstemperatur) bestemt for hvert produkt.

4 RESULTATER OG DISKUSJON

Resultatene fra studiet er gitt i Tabell 2. Tabellene 3, 4 og 5 viser initielt nukleeringstidspunkt og underkjølingstemperatur til de produktene som frøs ut av henholdsvis skummetmelk, helmelk og godmorgen yoghurt i de ulike forsøkene.

Tabell 2: Hovedresultater fra forsøkene

FORSØKSBETINGELSER			RESULTATER		
Forsøk nr	Temperatur (°C)	Risting (rpm)	Underkjølings-temperatur (°C)	Initielt nukleerings-tidspunkt (timer)	Produkt
1	-1	0	-0,8	5,1	Skummet melk
1	-1	0	Ingen	-	Skummet melk
1	-1	0	Ingen	-	H-melk
1	-1	0	Ingen	-	God morgen
10	-1	0	-0,4	4,8	Skummet melk
10	-1	0	-0,5	6,8	Skummet melk
10	-1	0	Ingen	-	Skummet melk
10	-1	0	Ingen	-	Skummet melk
5	-1	50	Ingen	-	Skummet melk
5	-1	50	Ingen	-	Skummet melk
5	-1	50	Ingen	-	H- melk
5	-1	50	Ingen	-	God morgen
4	-1	100	-0,6	4,3	Skummet melk
4	-1	100	-0,5	7,4	Skummet melk
4	-1	100	-0,6	5,3	H-melk
4	-1	100	-0,6	7,7	God morgen
2	-2	0	-1,7	6,0	Skummet melk
2	-2	0	Ingen	-	Skummet melk
2	-2	0	Ingen	-	H- melk
2	-2	0	Ingen	-	God morgen
6	-2	50	-1,0	2,7	Skummet melk
6	-2	50	-1,7	6,0	Skummet melk
6	-2	50	-1,7	4,2	H- melk
6	-2	50	-2,0	6,6	God morgen
9	-2	100	-1,9	8,2	Skummet melk
9	-2	100	Ingen	-	Skummet melk
9	-2	100	-2,2	3,4	H- melk
9	-2	100	Ingen	-	God morgen
3	-4	0	-4,2	19,5	Skummet melk
3	-4	0	Ingen	-	Skummet melk
3	-4	0	-3,9	17,9	H- melk
3	-4	0	-4,2	23,7	God morgen
7	-4	50	-2,5	18,8	Skummet melk
7	-4	50	Ingen	-	Skummet melk
7	-4	50	Ingen	-	H- melk
7	-4	50	Ingen	-	God morgen
8	-4	100	-0,6	1,8	Skummet melk
8	-4	100	-1,6	3,4	Skummet melk
8	-4	100	-1,2	2,3	H-melk
8	-4	100	-1,9	3,6	God morgen

Forsøk 10 er et gjentak av forsøk 1, men ble gjennomført kun med produktet skummet melk. I forsøkene 7 og 8 var det ikke mulig å oppnå -4°C i fryse-/kjøleskapet og forsøkene ble derfor gjennomført ved $-2,4^{\circ}\text{C}$ og $-2,6^{\circ}\text{C}$, som var de laveste temperaturene det var mulig å oppnå. Forsøk 3 ble imidlertid gjennomført ved -4°C . Grunnen til at det ikke var mulig å oppnå lavere temperatur i skapet under forsøkene med risting, lå etter all sannsynlighet i at ristebordet utviklet mer varme enn det kuldeanlegget i skapet hadde kapasitet til å fjerne. Ved eventuelle senere forsøk vil derfor kuldeanleggets kapasitet bli økt.

Tabell 3 viser resultatene for initielt nukleeringstidspunkt og underkjølingstemperatur for de prøvene av skummet melk der det ble dannet is i produktet. Resultatene viser at med en omgivelsestemperatur på -1°C og stillestående produkter (uten risting), vil den typiske underkjølingstemperaturen ligge mellom $-0,4^{\circ}\text{C}$ og $-0,8^{\circ}\text{C}$ etter en tidsperiode på 5 til 7 timer. Ved en omgivelsestemperatur på -2°C ser det ut til at isdannelsen i produktet skjer ved -1°C til -2°C med initielt nukleeringstidspunkt etter 3 til 8 timer. Reduseres omgivelsestemperaturen til -4°C reduseres også underkjølingstemperaturen i produktet; i dette forsøket faktisk ned til $-4,2^{\circ}\text{C}$ med initielt nukleeringstidspunktet som ikke ble registrert før etter 19,5 timers lagring.

Tabell 3: Resultatene for skummet melk

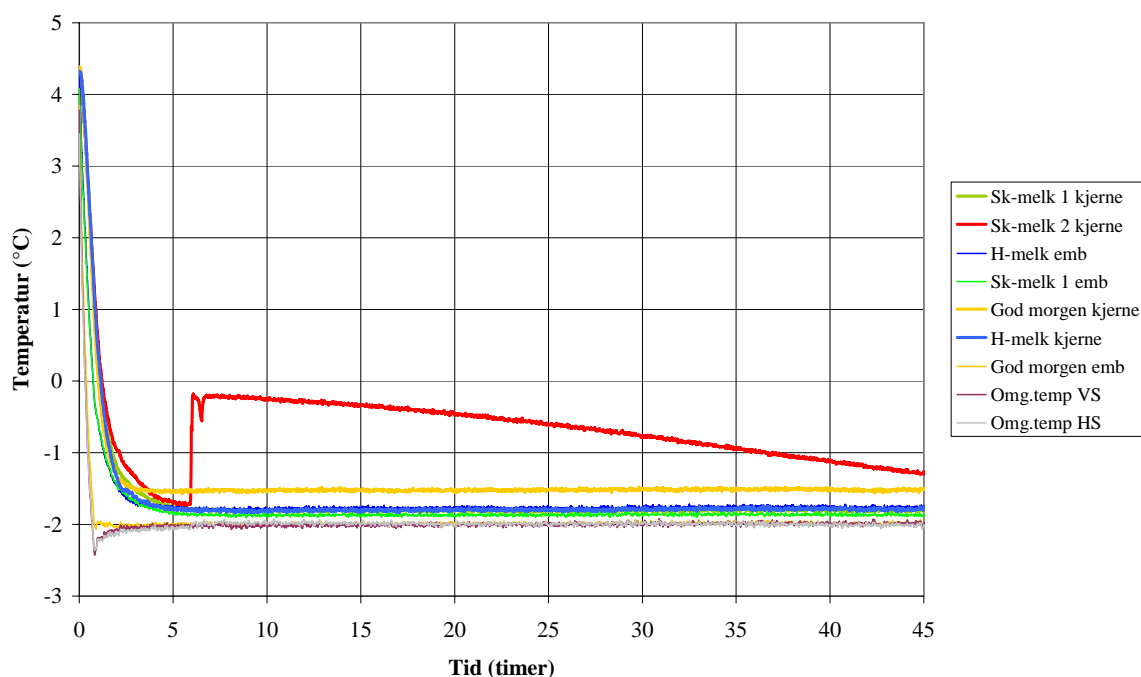
Temperatur	RISTING					
	0 rpm		50 rpm		100 rpm	
	Underkjølings- temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Initielt nukleerings- tidspunkt (timer)	Underkjølings- temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Initielt nukleerings- tidspunkt (timer)	Underkjølings- temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Initielt nukleerings- tidspunkt (timer)
-1°C	-0,8	5,1	-	-	-0,6	4,3
	-0,5	6,8*			-0,5	7,4
	-0,4	4,8*				
-2°C	-1,0	2,7	-1,1	2,7	-1,9	8,2
	-1,7	6,0				
-4°C	-4,2	19,5	-2,5**	18,8	-0,6**	1,8
					-1,6**	3,4

* Gjentak av forsøk kun med skummet melk

** Setpunkt for temperaturen var -4°C , men det ble kun oppnådd $-2,4^{\circ}\text{C}$ og $-2,6^{\circ}\text{C}$ i kjøleenheten

En reduksjon i omgivelsestemperaturen vil altså medføre en reduksjon i underkjølingstemperatur og det ser ut til at ved ekstrem underkjøling vil det kunne ta lang tid før det skjer en utfrysning av vannet i produktet. Dette kommer av at vannmolekylenes bevegelse reduseres i stor grad ved temperaturer rundt frysepunktet og særlig ved ekstrem underkjøling. Det blir dermed vanskelig å få dannet den første kjernen som skal til for å få til en utkrystallisering i produktet. Imidlertid skjer selve krystallisasjonsprosessen meget raskt i ekstremt underkjølte produkter, se Figur 2. Dette kommer av at energiforskjellen mellom et underkjølt produkt og et frosset produkt blir så stor. Molekylene har lavest enerignivå når de befinner seg som krystaller og vil hele tiden søke denne tilstanden. Dette er forklaringen på den plutselige utfrysningen som fremkommer i Figur 2.

For å simulere forholdene under transport ble betingelsene endret fra stillestående produkter til produkter i bevegelse (risting). Det fremgår av Tabell 2 at dette ikke vil ha noen annen innflytelse på skummet melk enn det som fremkommer for stillestående produkt ved omgivelsestemperaturene -1°C og -2°C . Når det gjelder resultatene for omgivelsestemperaturen -4°C er disse beheftet med stor grad av usikkerhet siden det ikke ble oppnådd lavt nok temperaturnivå under forsøkene. Forsøkene indikerer imidlertid at risting ved høyt nivå (100 rpm) ser ut til å fremskynde nukleeringstidspunktet.



Figur 2: Utkrystallisasjon i stillestående skummet melk med omgivelsestemperatur -2°C .

Tabell 4 viser resultatene for initielt nukleeringstidspunkt og underkjølingstemperatur for de prøvene av H-melk der det ble dannet is i produktet. For stillestående produkt og for H-melk som var plassert på ristebord ved -1°C og -2°C , gjelder samme forhold for underkjølingstemperatur og nukleeringstidspunkt som beskrevet for skummet melk. Forsøkene med omgivelsestemperatur på -4°C og høy risting har gitt resultater med høy grad av usikkerhet, men indikerer at risting ved 100 rpm vil kunne fremme iskrystalldannelse i produktet.

Tabell 4: Resultatene for H-melk

Temperatur	RISTING					
	0 rpm		50 rpm		100 rpm	
	Underkjølings- temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Initielt nukleerings- tidspunkt (timer)	Underkjølings- temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Initielt nukleerings- tidspunkt (timer)	Underkjølings- temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Initielt nukleerings- tidspunkt (timer)
-1°C	-	-	-	-	-0,6	5,3
-2°C	-	-	-1,7	4,2	-2,2	3,4
-4°C	-3,9	17,9	-	-	-1,2**	2,3**

** Setpunkt for temperaturen var -4°C , men det ble kun oppnådd $-2,4^{\circ}\text{C}$ og $-2,6^{\circ}\text{C}$ i kjøleenheten

Tabell 5 viser resultatene for initielt nukleeringstidspunkt og underkjølingstemperatur for de prøvene av Godmorgen yoghurt der det ble dannet is i produktet. Resultatene for Godmorgen yoghurt bekrefter de samme resultatene som ble funnet for skummet melk og H-melk.

Tabell 5: Resultatene for Godmorgen yoghurt.

Temperatur	RISTING					
	0 rpm		50 rpm		100 rpm	
	Underkjølings- temperatur (°C)	Initielt nukleerings- tidspunkt (timer)	Underkjølings- temperatur (°C)	Initielt nukleerings- tidspunkt (timer)	Underkjølings- temperatur (°C)	Initielt nukleerings- tidspunkt (timer)
-1°C	-	-	-	-	-0,6	7,7
-2°C	-	-	-2,0	6,6	-	-
-4°C*	-4,2	23,7	-	-	-1,9**	3,6

** Setpunkt for temperaturen var -4°C, men det ble kun oppnådd -2,4 °C og -2,6 °C i kjøleenheten

5 KONKLUSJON

Resultatene kan enklest sammenfattes slik som i Tabell 6.

Tabell 6: *Sammenfatning av resultatene for stillestående produkter.*

Omgivelsestemperatur (°C)	Underkjølings- temperatur (°C)	Initiell nukleerings- tidspunkt (timer)
-1	-0,4 til -0,8	5 – 7
-2	-1,0 til -2,0	3 – 8
-4	-3,9 til -4,2	18 - 24

Kraftig risting ved den laveste omgivelsestemperaturen (-4 °C) ser imidlertid ut til å fremme nukleeringsprosessen.

Dersom produktene tappes og mellomlagres ved 4 °C, vil det etter all sannsynlighet være uproblematisk å transportere produktene ved temperaturer ned til -4 °C innenfor kortere avstander, det vil si 2 til 3 timer.

En god løsning for lengre transportruter vil være å beskytte de mest temperaturlabile produktene under transporten.

Den laveste akseptable lagringstemperaturen for produkter som ikke er beskyttet på noen måte, og som skal transporteres over lengre avstander, ser ut til å ligge like i nærheten av eller like over melkeproduktets frysepunkt.

Disse resultatene er basert på et begrenset forsøksoppsett og resultatmengden er ikke stor nok til å kunne gjøre statistiske beregninger.

Resultatene i denne forstudien sannsynliggjør at temperaturen kan senkes i FFD, men til hvilket nivå, samt over hvor lang tid, må undersøkes videre. Det vil i en slik videreføring være avgjørende å få oversikt over reelle transporttider og produktsammensetning/volum. Fullskala

forsøk for å teste lavere transporttemperatur vil også være nødvendig. Mulige resultat fra en slik videreføring kan bli:

- Optimal middeltemperatur og praktisk svingning rundt denne.
- Bilenes temperaturregulering gjøres mer avansert, slik at de også tar hensyn til eksempelvis produktsammensetning, sesong (sommer eller vinter med ulike utetemperaturer) og påløpt transporttid.
- Ny praksis for å isolere temperaturømfintlige produkter.

SINTEF Energi AS
SINTEF Energy Research

No-7465 Trondheim
Telephone: + 47 73 59 72 00
energy.research@sintef.no
www.sintef.no/energy