

FHL-Filetforum:

# Frysing av laks i magnetisk felt – CAS-frysing

- Nye muligheter for å tilby produkter av høy kvalitet?

Vidar Hardarson, Dr.ing.  
Seniorforsker

Gardermoen 20. oktober 2009

# CAS-teknologien

- A **super-quick freezing** method and apparatus for **preserving the freshness** of food ingredients and food products while **enabling long-term storage**.
- Hovedopptopper: Norio Owada's
- Nordisk enerett: MMC Kulde AS (~Ålesund)
- Patenter
  - Japanske: 1975 ... 1985
  - Internasjonale: 1998, 2001, 2007
- Apparatus:
  - Freezing store capable of lowering the inner-temperature to  $-30^{\circ}\text{C}$ . to  $-100^{\circ}\text{C}$ .
  - **Permanent magnets** for applying a static magnetic field ranging between 1 to 20.000 Gs ( $1 \cdot 10^{-4} - 2\text{ T}$ )
  - **Fluctuating magnetic field generator**
    - **unidirectional** magnetic field (to the central portion of the store)
    - **fluctuates** within a 5% to 15% range about an arbitrary reference value
  - Ventilators for **circulating cold air** at velocity of 1 to 5 m/sec
  - **Sound wave generator** for superimposing sound waves in the audio-frequency range with a sound pressure level of 2 to 10 dB onto the cold wind.

# Summary of the invention

USP 6 250 087 B1 (2001)

The present invention[‘s] [...] object is to provide a **super-quick freezing** method and apparatus that enables **uniform, quick and instantaneous freezing** of an object-to-be-frozen, wherein there exists no need for prior/posterior treatment process; and **no difference in internal and external temperature within the object**, enabling long-term storage while keeping the freshness of food ingredients and food products at high standards, and also enabling freezing-storage and preservation of living cells.

# Summary of the invention (cont.)

Thus, this magnetic field makes it possible to **direct the magnetic moment**, which is caused by the electron spin of the molecules constituting the object-to-be-frozen and of **the free water molecules** contained therein, **in one direction**. Thus the **cold can be transmitted to the inner portion of the object-to-be-frozen quickly**. That is, the difference in internal and external temperature within the object-to-be-frozen which occurs during cooling, i.e., the unevenness in cooling, can be considerably diminished to realize quick cooling. Therefore, **freezing occurs thoroughly in a uniform and simultaneous manner, and does not start from the outer surface**.

# Summary of the invention (cont.)

As a result, the above two effects make it possible to pass through the temperature range of 0 to -20°C, in which ice crystals are apt to grow during freezing, in an extremely short time. Therefore, the ice crystals of the free water are restrained from growing to large. Thus, it is possible to prevent destruction of cellular structure of the object-to-be-frozen during freezing, restrain dripping from occurring upon defrosting, and preserve the freshness at high standards.

# MMC Kuldes påstander

- Innstilling av CAS- og frysebetingelser er avgjørende for resultatet (produktkvaliteten)
- Det finnes et optimum for hvert produkt (laks, kråkebolle, breiflabb, ...)
  - Magnetfeltets styrke (CAS-%)
  - Vifteinnstilling (vifte-%)
- Lufttemperatur =  $-45^{\circ}\text{C}$
- Fiskens temperatur =  $-30^{\circ}\text{C}$  ved uttak fra fryser

Ut fra bedriftens egne innledende tester for laksefilet:

- CAS: ~ 66 % av skala
- Lufthasighet: ~ 40 % av skala

# Prosjektets målsetning

- Fremskaffe vitenskapelig dokumentasjon på om frysing av filet av oppdrettslaks i magnetfelt (CAS) har positiv virkning på
  - drypptap,
  - frysetid og
  - spisekvalitet
- Delmål
  - Måle energiforbruk og
  - karakterisere testfryser og skaffe kunnskap som grunnlag for oppskalering til industriell innfrysing.

# Deltakere

## Forskningsmiljøer

- SINTEF Fiskeri og havbruk
  - Innfrysing av laksefilet
  - Energibruk
  - Frysetid og kapasitet
  - Vanntap (tinedrypp, vannbindingsevne)
  - Tekstur (instrumentell måling)
  - Adm. & rapportering
- Møreforskning
  - Sensorisk test – sentrert rundt tekstur
  - (fargevurdering)
- NTNU - Institutt for biologi
  - Histologi (mikrostruktur)

## Industri

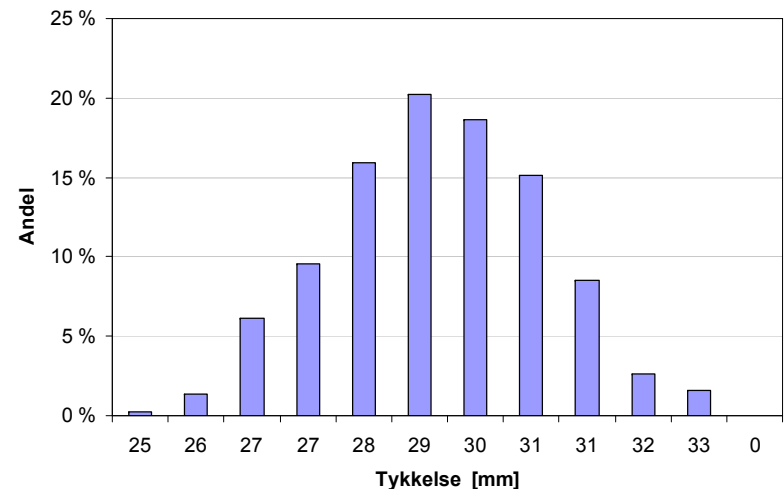
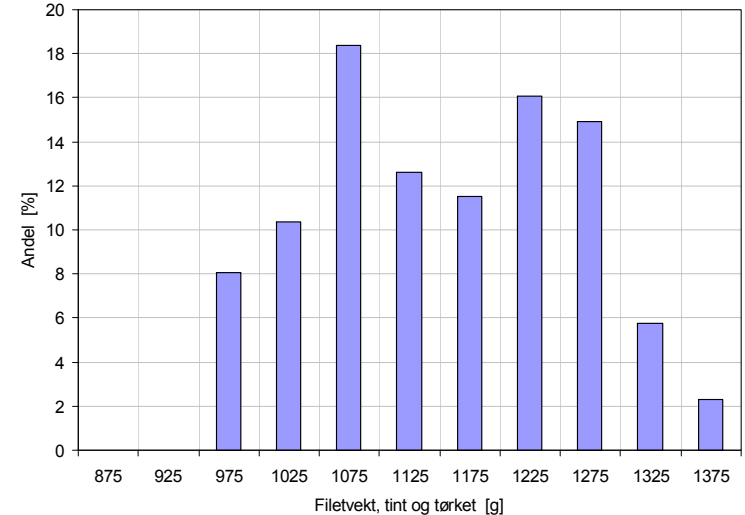
- MMC Kulde
  - Testfryser
- Hofseth International
  - Råstoff
  - Emballering (singel, vakuum)
  - Lokaler for innfrysing

## Prosjektledelse og finansiering

- FHS / FHL
  - Kristian Prytz
- FHF

# Råstoffet

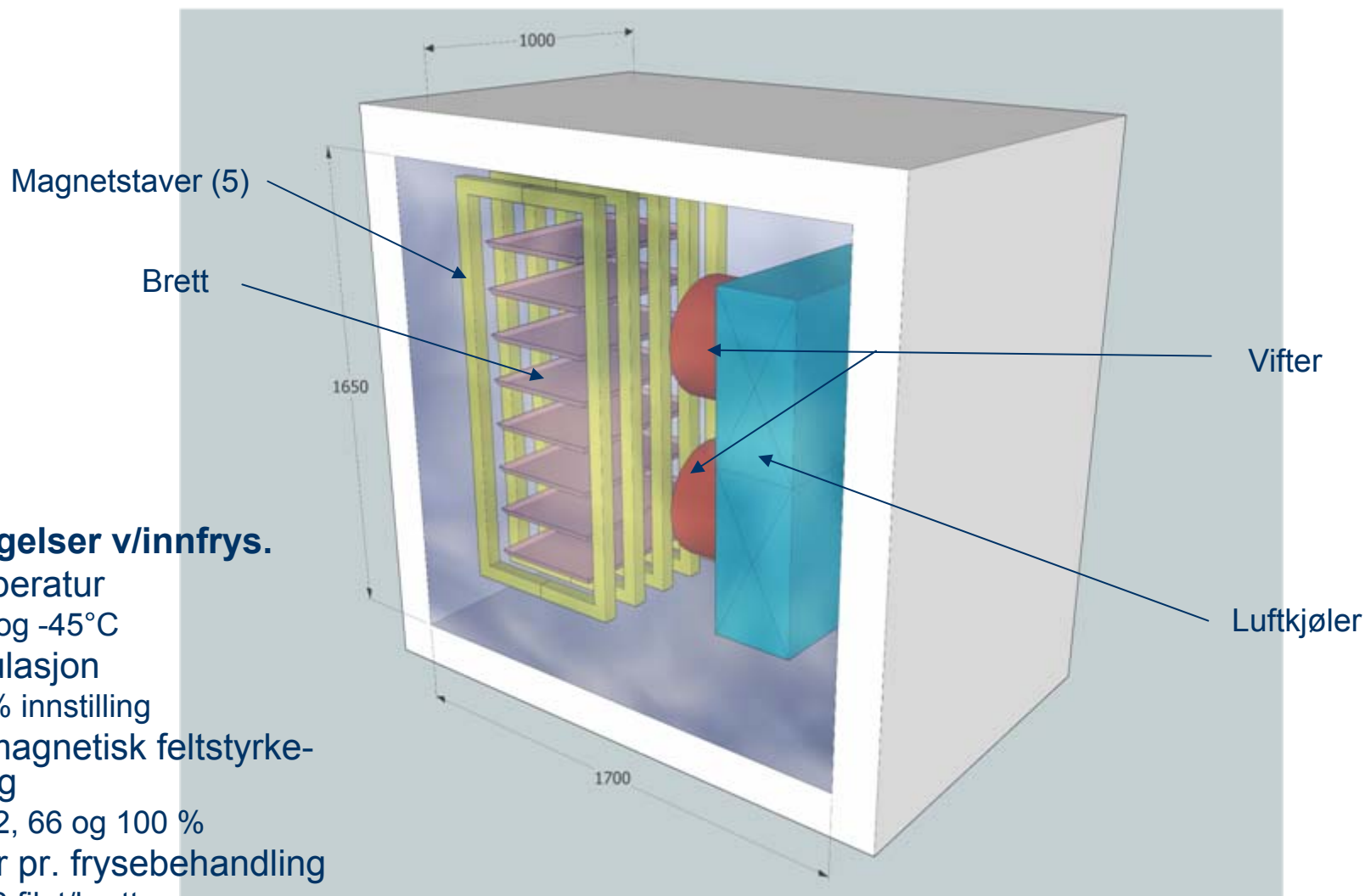
- Oppdretter
  - Marine Harvest
- Slaktedato
  - to. 2. jul. 2009
- Gjennomsnittlig vekt
  - 4,7 kg
- Fryses i testfryser 5+ døgn etter slakting
- Høyre og venstre filet av samme fisk får forskjellig frysebehandling
- Filetvekt ca. 1.200 g (se graf)
- Filetthikkelse ca. 29 mm (se graf)
- Singelpakket i vakuum, 0,13 mm tykk plast á 30 x 60 cm
- Lagret på kjølerom frem til frysing
- Lagret i tørris og fraktet i bil til Trondheim
- Der etter lagret i tørris og etter hvert i fryser ved  $\sim -30^{\circ}\text{C}$



# Fersk referanse til sensorikk

- Oppdretter
  - Marine Harvest
- Slaktedato
  - 20. aug. 2009
- Gjennomsnittlig vekt
  - 5,3 kg
- Behandling
  - Ises i kasse og fraktes i bil til Ålesund
- Alder ved sensorisk test
  - 6-7 døgn etter slakting

# Testfryseren (API/MMC)



## Prossbetingelser v/innfrys.

- Lufttemperatur
  - 30 og -45°C
- Luftsirkulasjon
  - 40 % innstilling
- Elektromagnetisk feltstyrke-innstilling
  - 0, 32, 66 og 100 %
- 20 fileter pr. frysebehandling
  - 2 v 3 filet/brett

# Målinger

## ■ Frysebetingelser

- Lufthastighet
- Magnetfeltet
- Temperaturforløp
- Varmeoverføring

## ■ Energibruk – 2 kurser

- Kompressor m.m.
- Magnetfelt + Vifter + ..
  - CAS

## ■ Tekstur

- Hardhet ( $F_{max}$ )
- Tyggbarhet ("gumminess")
- Strekkbarhet ("cohesiveness")
- Deformasjon etter 1. "slag"

## ■ Væsketap

- Tinedrypp fra filet [%]
- Lagringsdrypp fra 15 g bit [%/døgn]

## ■ Sensorikk (Møreforsking)

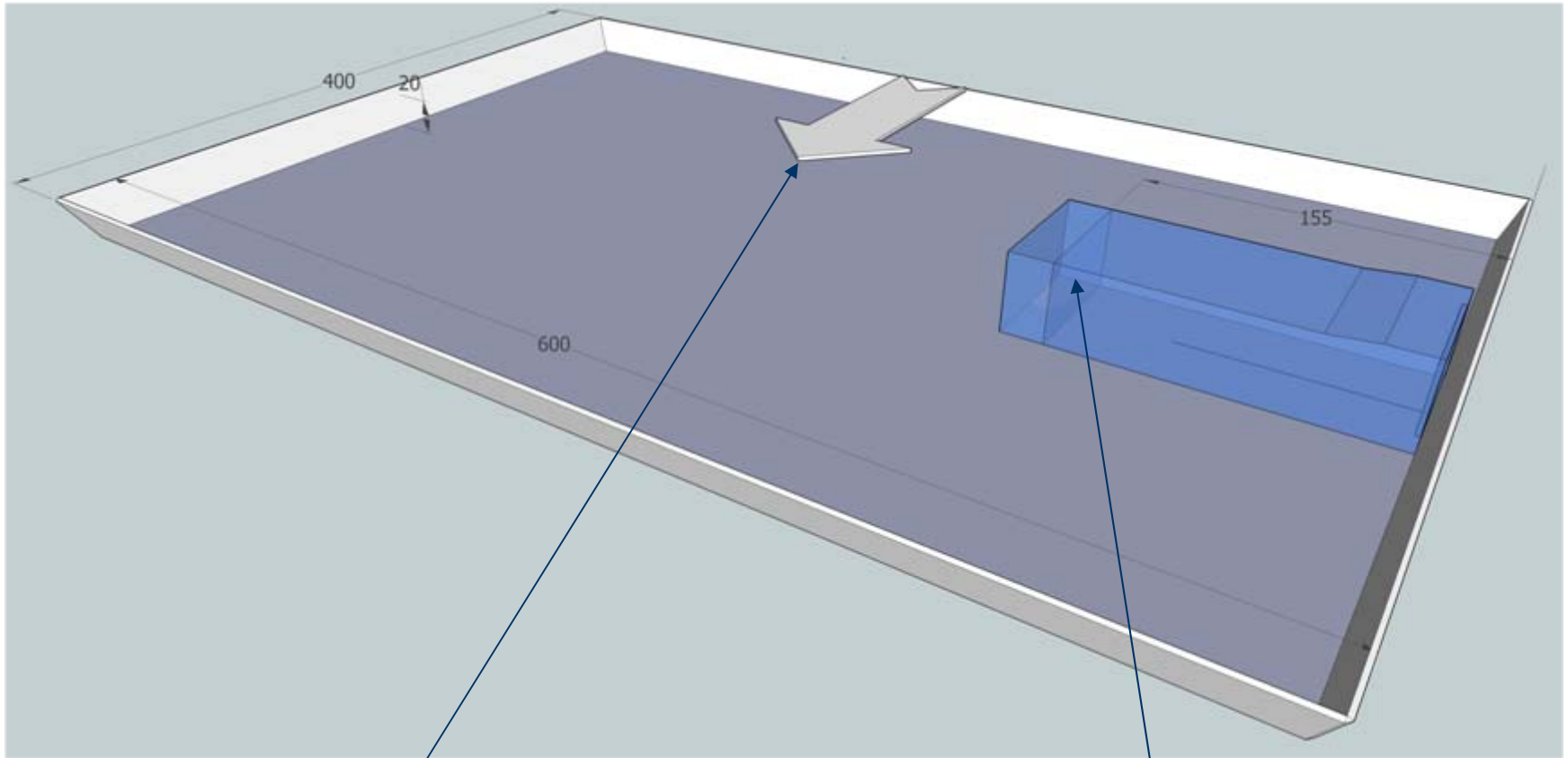
- Rangeringstest
  - Uten/med poenggiving
- Blindtest/triangulærttest (2)

## ■ Histologi (mikrostruktur)

# Frysebetingelser og energiforbruk

- Frysebetingelser
  - Lufthastighet
  - Magnetfeltet
  - Temperaturforløp
  - Varmeoverføring
- Energibruk
  - Totalt
  - Magnetfelt + Vifter + ..
    - CAS

# Lufthastighet og magnetfelt over frysebrett – Lukket fryser uten fisk, CAS-0

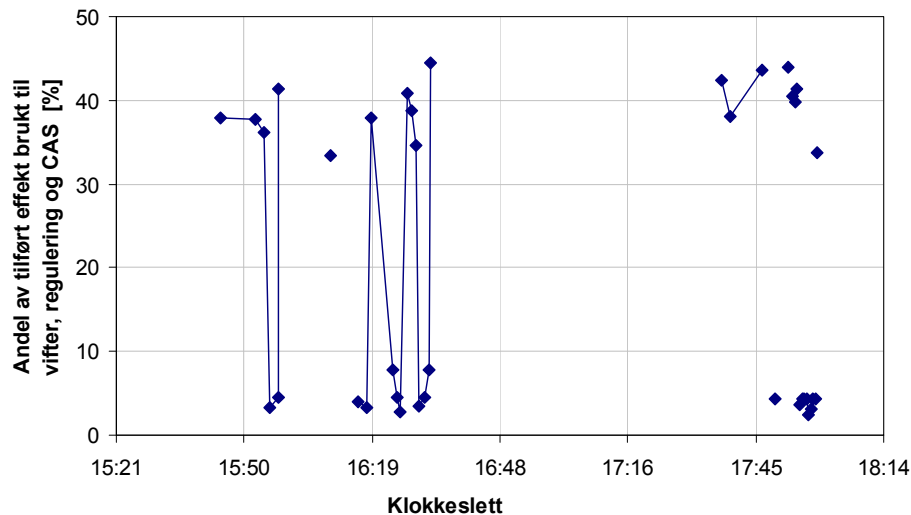
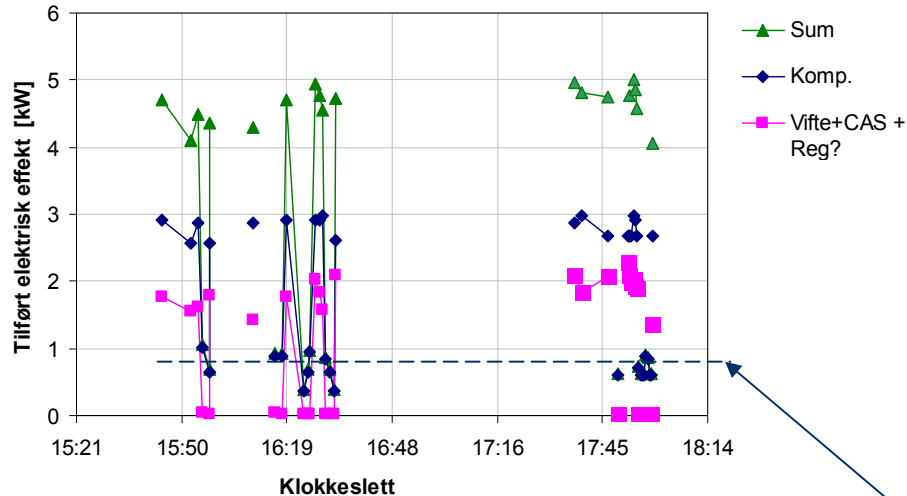


Lufthastighet, horisontal x-komponent  
ca. 4 cm over brettets midtpunkt.  
NB! Instr. skiller ikke mellom  $\pm$  retning.

Magnetstyrke, frekvensveid  
uavh. av retning (EMDEX)

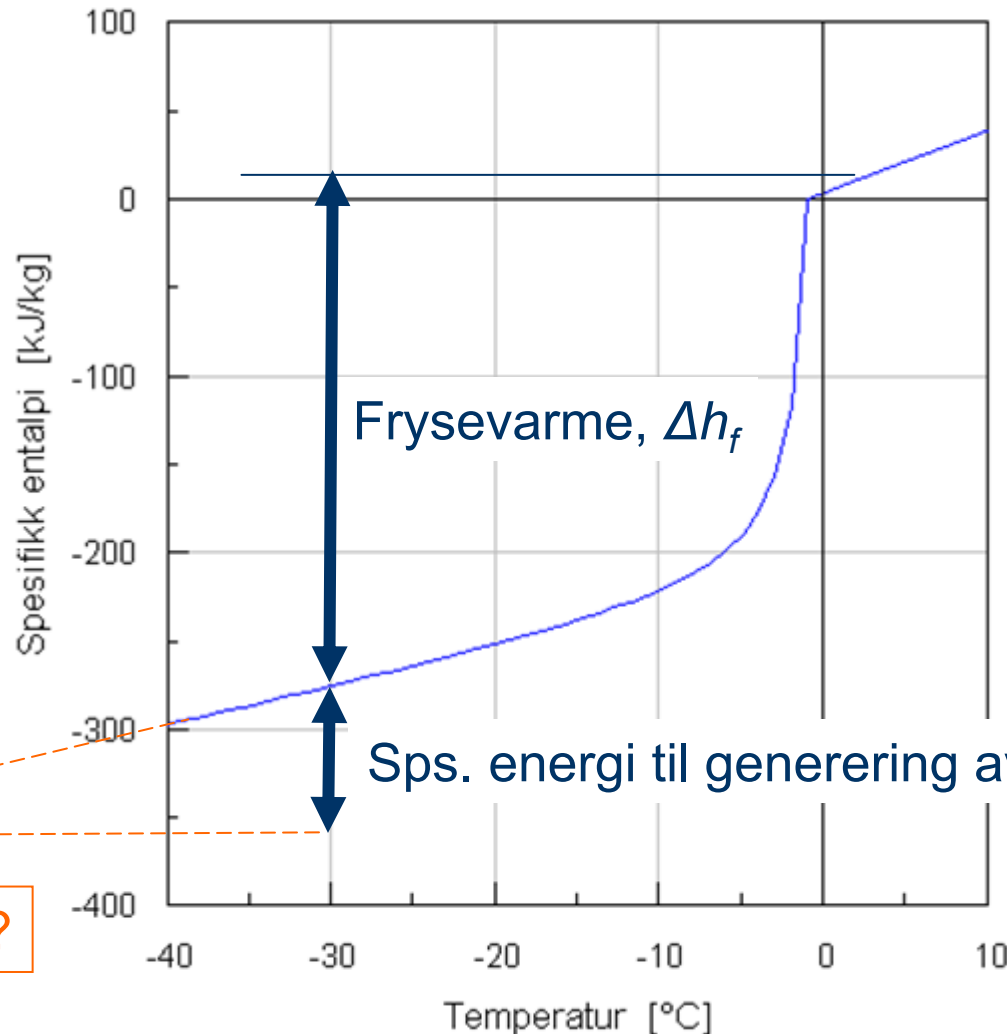


# Energibruk



- Husk at dette er testfryser
- Stort energiforbruk ( $P_{\max} \sim 4,8 \text{ kW}$ )
  - Regulering
  - Jevnhet i frysebetingelser
  - Stort vegg/tak/gulvareal
- Kom ikke til med instr. for å måle direkte tilført energi til de elektromagnetiske stavene (5 stk á 200 W nom.).
- CAS og vifter går hele tiden
  - Målt:  $P_{CAS+vifte+} = 900 \text{ W}$
  - Estimert:  $P_{CAS} = 500 \text{ W} = \frac{1}{2}$ -part av  $P_{CAS, nom}$
- CAS som andel av produktvarme ( $\Delta h_f$ ) utgjør **~ 20 .. 30 %** (ca.)
  - For full fryser: 3 stk 1,2 kg fileter pr hylle, 10 hyller i fryser, 2  $\rightarrow$   $-30^\circ\text{C}$  ( $\Delta h_f = 286 \text{ kJ/kg}$ , frysetid 1,8 time)

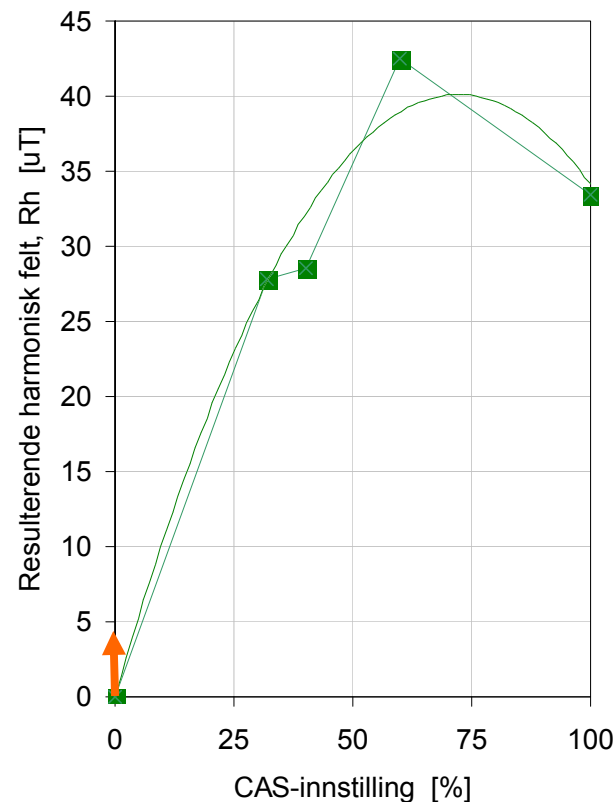
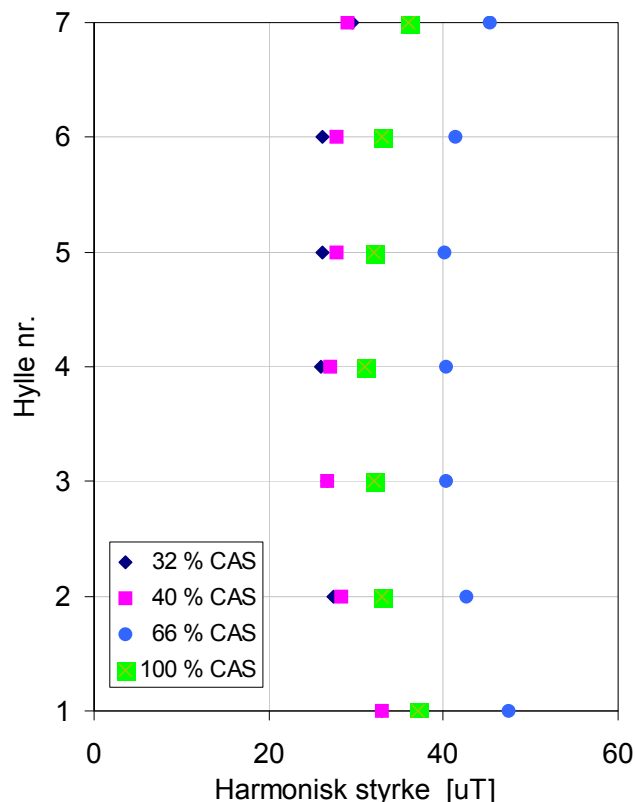
# Frysevarme og el-effekt til CAS



Sps. energi til generering av elektromagnetisk felt

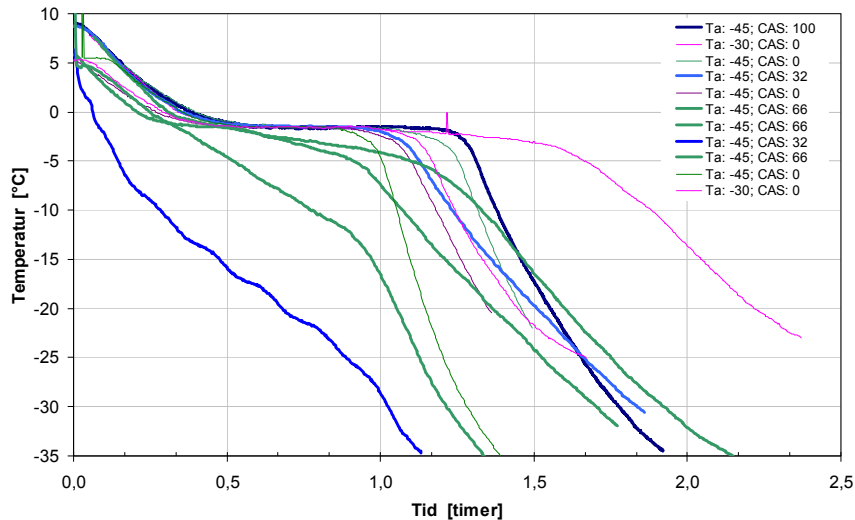
$T_{eqv} = ?$

# Det elektromagnetiske feltets styrke ved forskjellige CAS-innstillinger



- Magnetfeltets styrke varierer fra Brett til Brett. Styrken er lavest på de midterste brettene
- Maks. CAS-innstilling gir ikke maks. magnetisk felt. Maks. feltstyrke ved ca. 65 – 75 % innstilling
- Vi vet ikke hvordan variasjonene er over frysebrettets areal
- I tillegg kommer et felt fra permanente magneter
- Jordens geomagnetisme målt i Danmark: ca. 0,06 ... 0,10  $\mu\text{T}$
- Statens strålevern: Grenseverdi for befolkningen: 100  $\mu\text{T}$  (utredningsnivå for langvarig eksponering: 0,4  $\mu\text{T}$ )

# Temperaturforløp under frysing

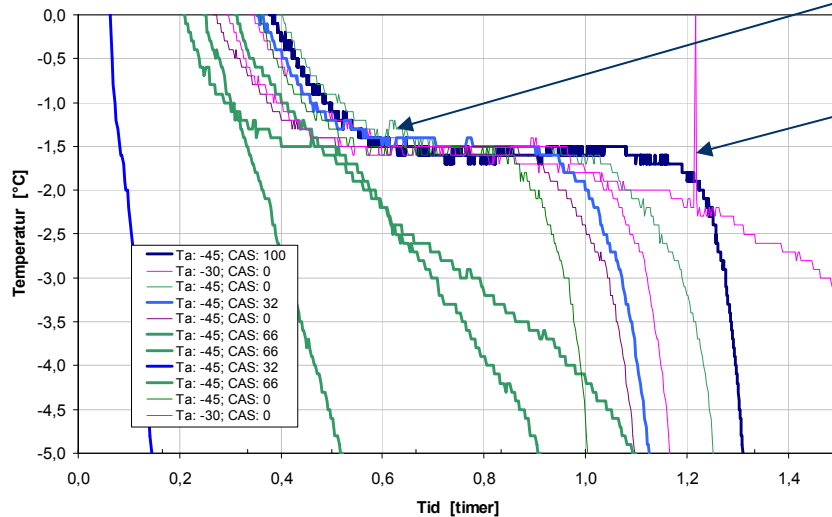


- Frysetiden ikke spesielt kort
- Klassisk form på temperaturforløp
- Ikke tegn til underkjøling og forsinket krystallisering?

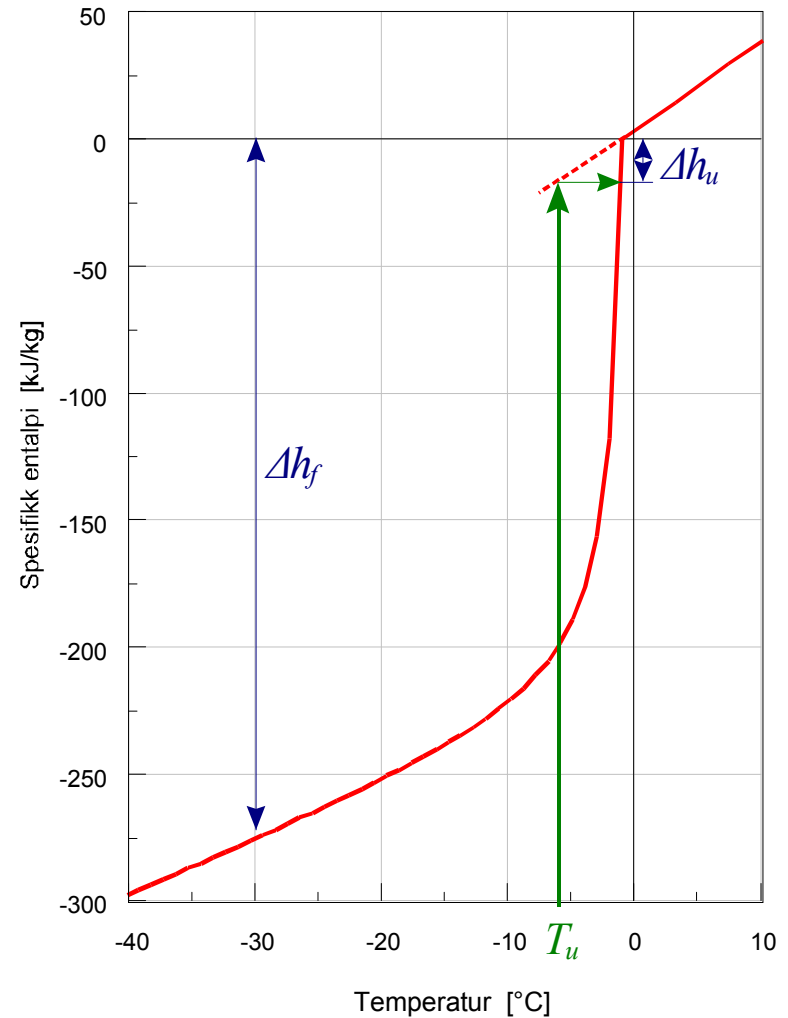
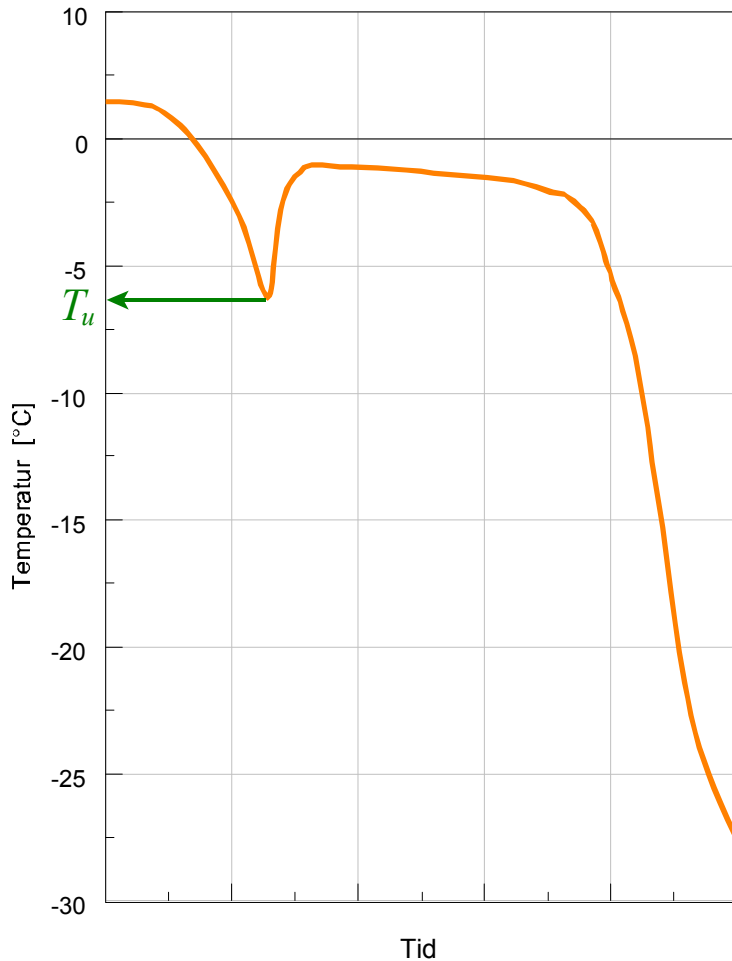
■ To unntak, men

■ Konvensjonell frysing ved  $T_a = -45^\circ\text{C}$

■ Tilsvarende ved  $-30^\circ\text{C}$



# Klassisk fryseteori – Underkjøling og entalpi



# Varmeoverføringsforhold (luft-overflate)

- Referert til målt (lav) lufthastighet er varmeovergangstallet allikevel bemerkelsesverdig stort (bruk av Pham's frysetidsligning).
- Alternative forklaringer:
  - Stor oppstrømsturbulens? (vifter!)
  - Strålingsbidrag fra kalde brett m.m.?
  - Effekt av magnetfelt m.m.?
- Merk:
  - Vanskelige målinger (plassering av termoelement).
  - Lab-målinger vil gi sikrere konklusjon.
- Potensial for godt dimensjonert og utformet konvensjonell luftfrysing:
  - Ca. 0,5 timers frysetid ved ca. 2,6 m/s
  - Økt energiforbruk?

$$\tau_f = \frac{m \cdot \Delta h}{\alpha \cdot A_S} (1 + f(Bi))$$

$$Bi = \frac{\alpha \cdot D_p}{\lambda_p} \quad Nu = \frac{\alpha \cdot D_H}{\lambda_f} \quad Re = \frac{u \cdot D_H}{\nu_f}$$

$$\frac{Nu}{Nu_0} = c_1 + c_2 \cdot Tu \sqrt{Re}$$

$$Tu \equiv \frac{\sqrt{u^2}}{U_\infty}$$

*u* : Lufthastighet

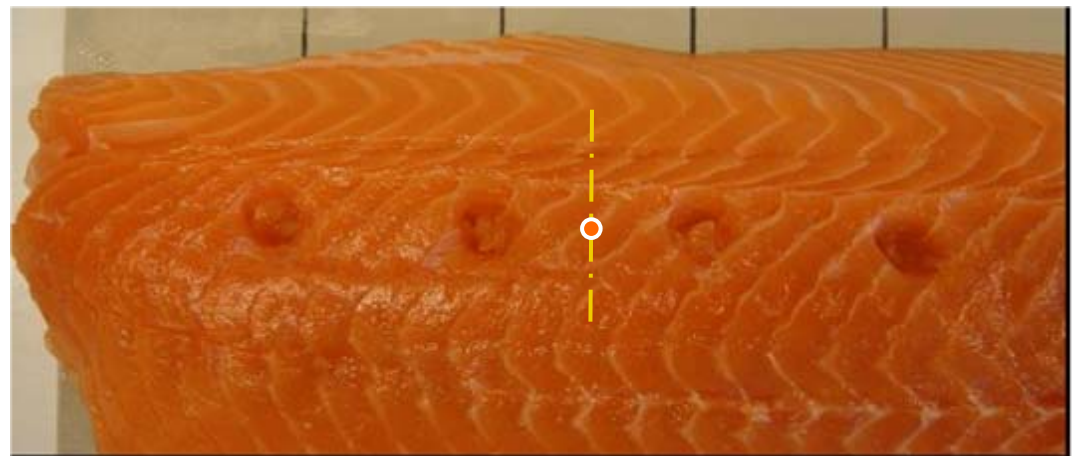
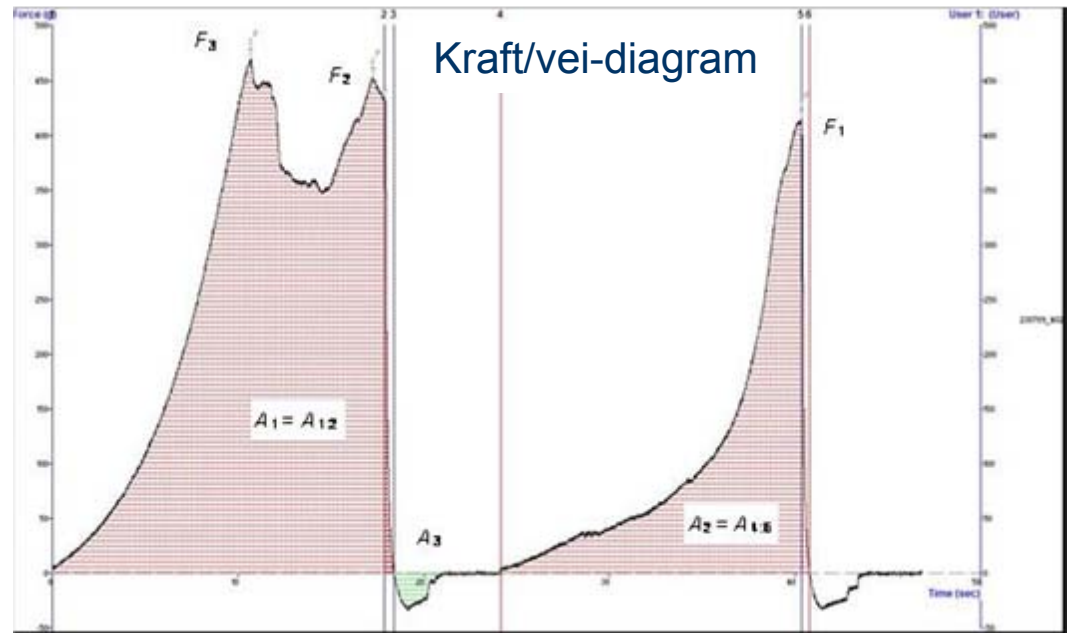
## Metoder og resultater:

# Tekstur

- Instrumentell
- Teksturverdi avh. av CAS-innstilling og styrke
  - Hardhet ( $F_{max}$ )
  - Tyggbarhet ("gumminess")
  - Strekkbarhet ("cohesiveness")
  - Relativ deformasjon etter 1. slag

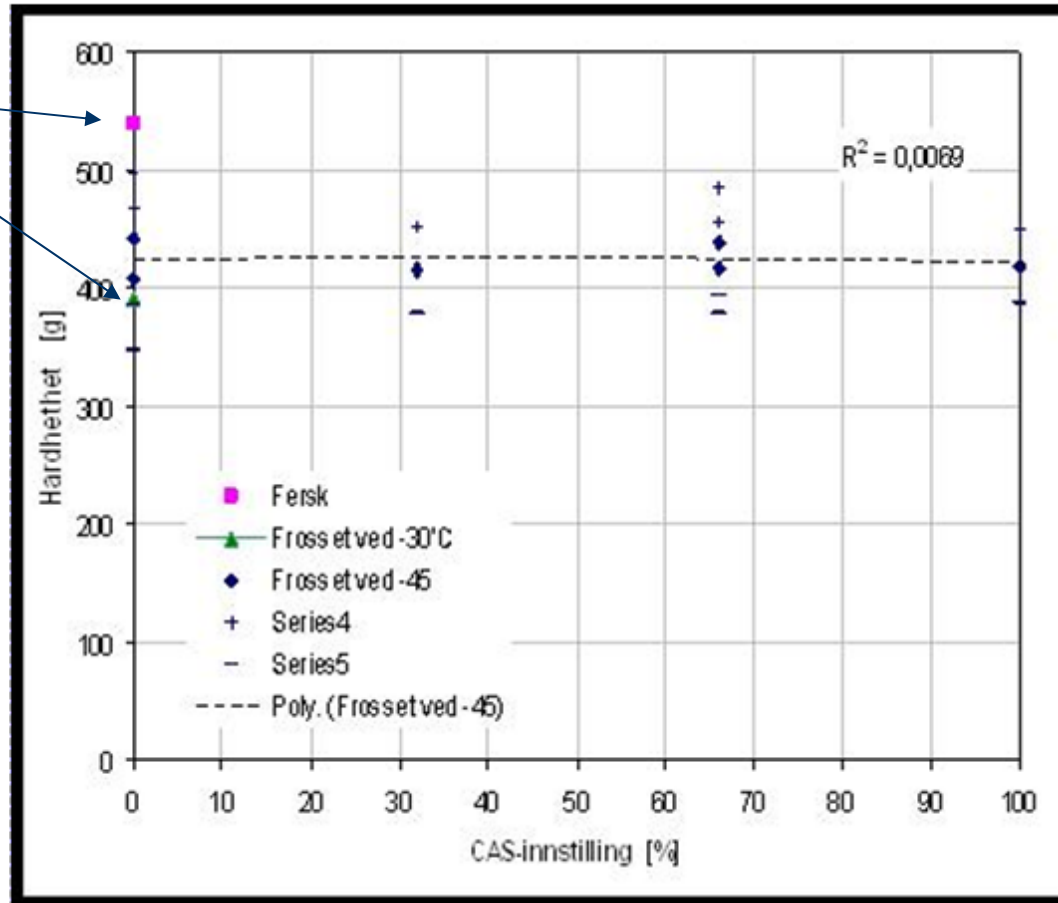
# Teksturmålinger - Metode

- Instrument: TA XT plus
- ~12 fileter i hver behandling
- 4 målepunkt i hver filet
  - $\Delta L_{c/c}$ : 5 cm; 3 x 4 cm
- To sekvenser ("slag") pr. måling
- 60 % nedtrykking
- $\varnothing$ 12 mm plan probe
- $u = 1$  mm/s
- Resultat ref. til pos. 2,5 (N ~ 12x4=48)
  - Lin. regr. mellom 4 målepunkt



# Hardhet ( $F_{max}$ )

Fersk  
-30°C konv.

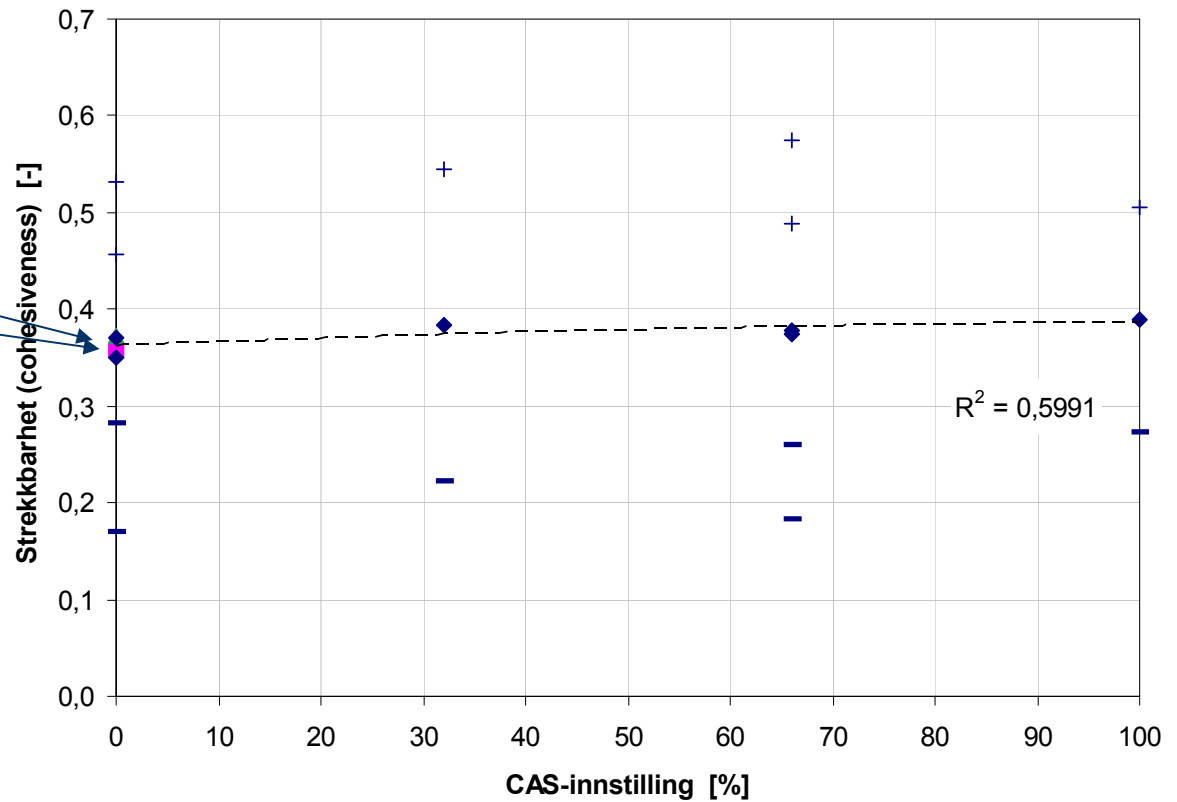


Hardest: Fersk (~7 døgn fra slakt.)  
Mykest: Konv. frosset ved -30°C

CAS? Ikke signifikant påvirkning.  
Antydning til maks. hardhet ved 50 - 70 % CAS

# Strekbarhet

Fersk  
-30°C konv.

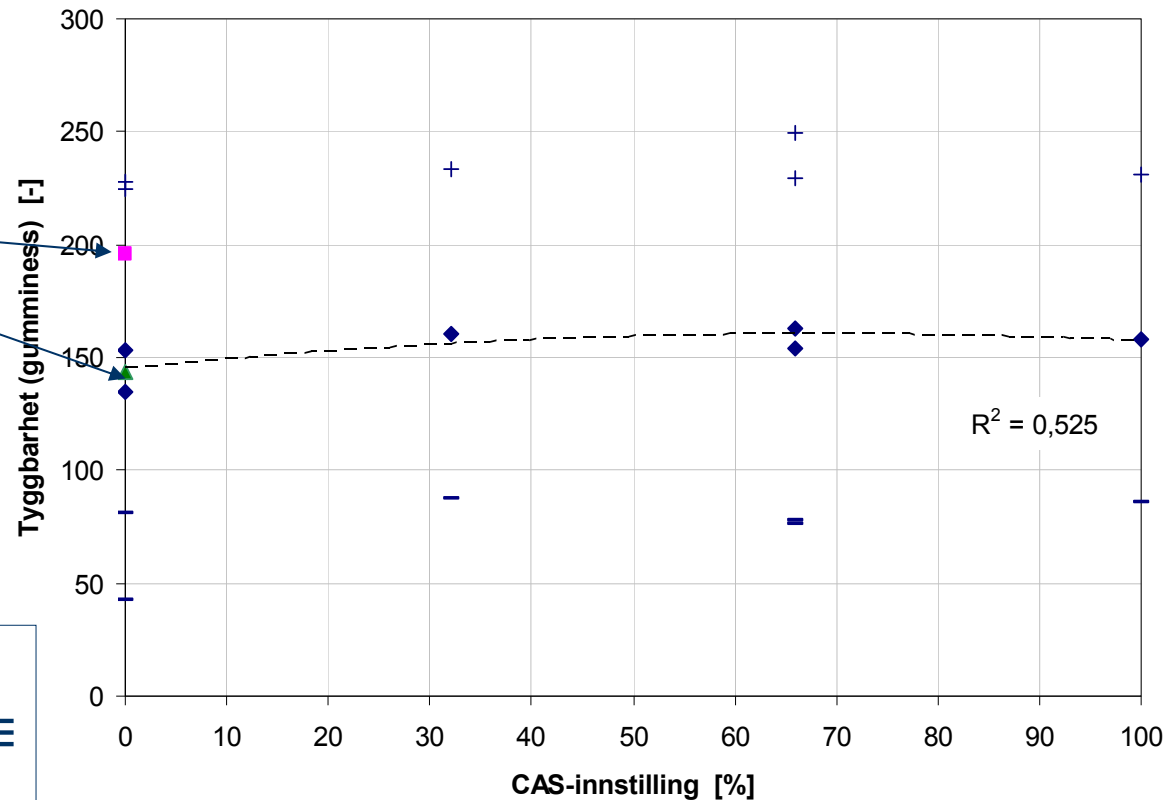


Strekkbarhet  
(cohesiveness)  $\equiv$   
 $A_1 / A_2$

Ingen signifikant innvirkning

# Tyggbarhet

Fersk  
-30°C konv.

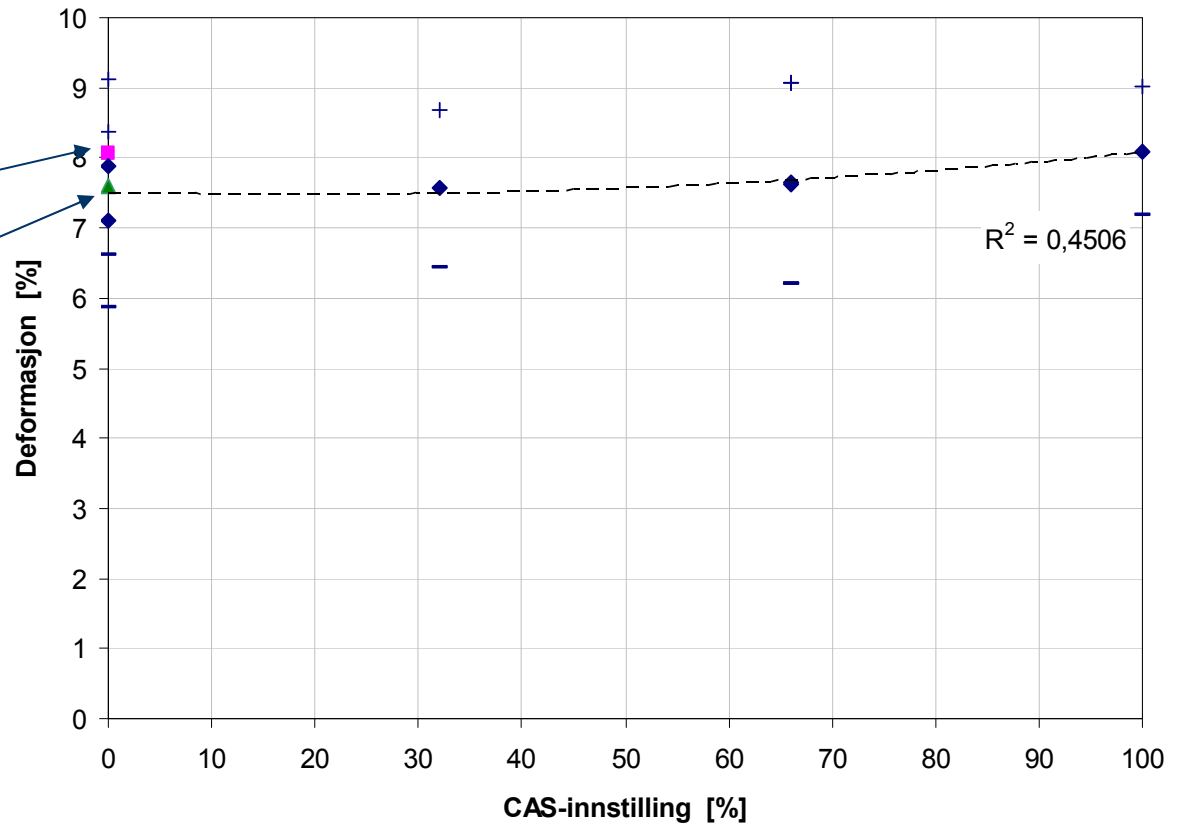


Tyggbarhet  
("gumminess") [g]  $\equiv$   
 $F_{max} \cdot A_1 / A_2$

Maks. verdi: Fersk

CAS? Ikke stor påvirkning.  
Antydning til maks. verdi ved ~65 % CAS

# Deformasjon ved første "slag"



Fersk  
-30°C konv.

Deformasjon  $\equiv$   
 $\Delta s / s_1$

Metoder og resultater:

# Væsketap

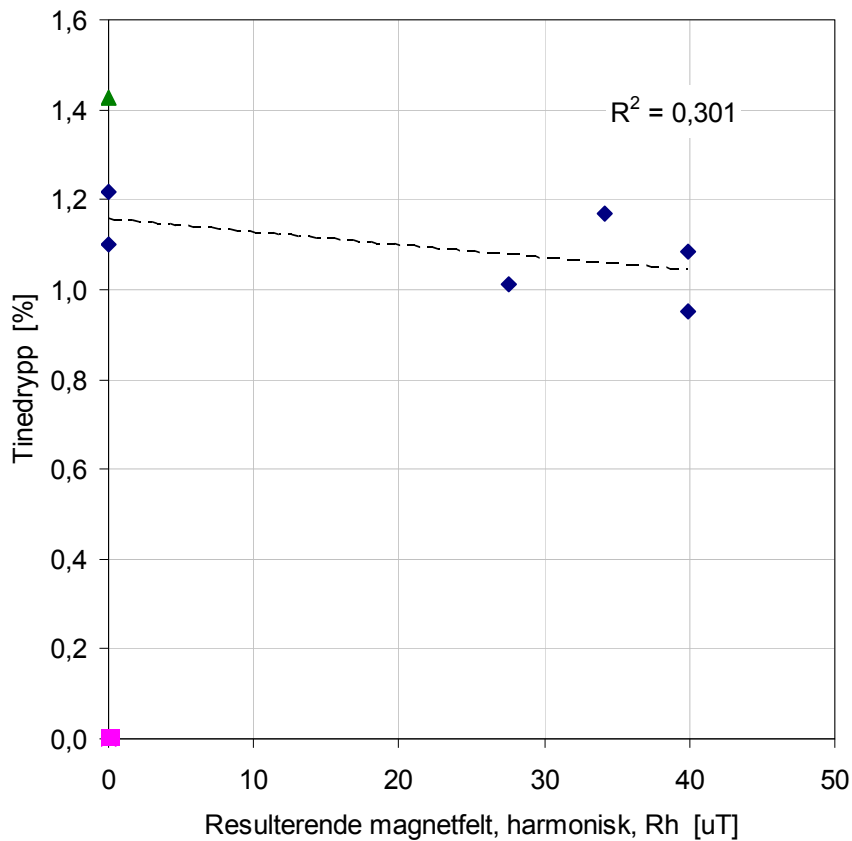
- Tinedrypp [%]
  - 1.200 g filet
- Lagringsdrypp [%/døgn]
  - 15 g prøve

# Væsketap - metoder

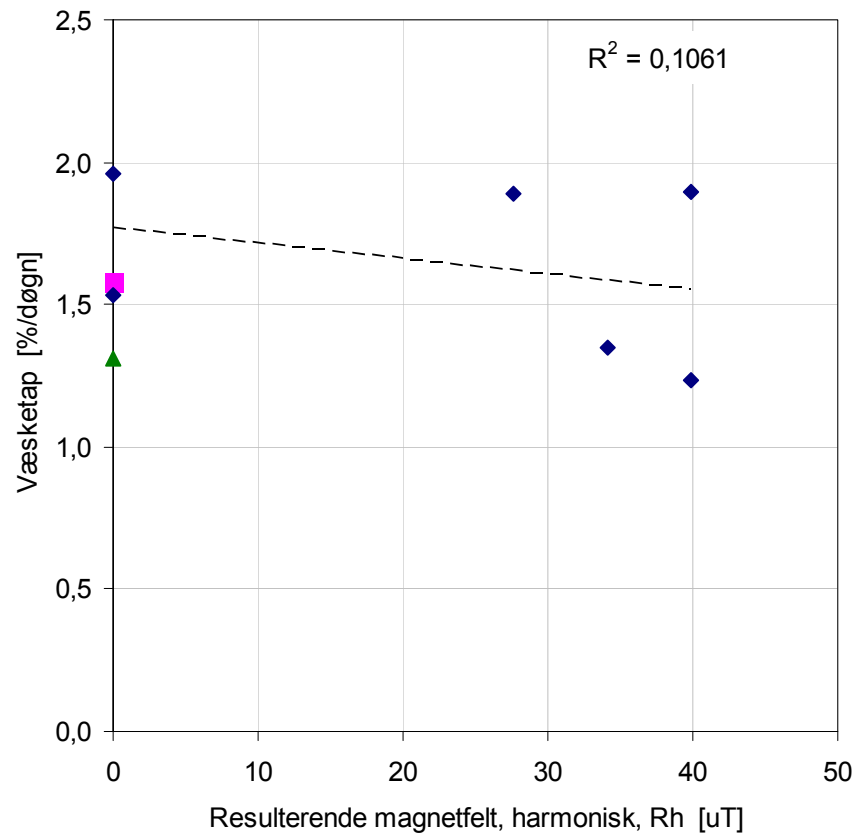
- Tinedrypp ( $N = 12$ )
  - Tining på kjølerom i 18 timer
  - Veiing før vakuumposen åpnes
  - Veiing av avtørket filet
  - Korrelert til filet á 1,2 kg
- Lagringsdrypp -  
"Vannbindingsevne" ( $N = 12$ )
  - Uttørking av liten bit av fileten i "stor" lukket atmosfære
  - Lagring på kjølerom i 2 døgn
  - Korrelering til 15 g bit



# Væsketap - resultater



Tinedrypp



Lagringsdrypp

Metoder og resultater:

# Sensorikk

- Vurderingskriteria: Tekstur / saftighet
- Tester:
  - Rangeringstest med og uten poenggiving
  - To blindtester (triangulærttest)

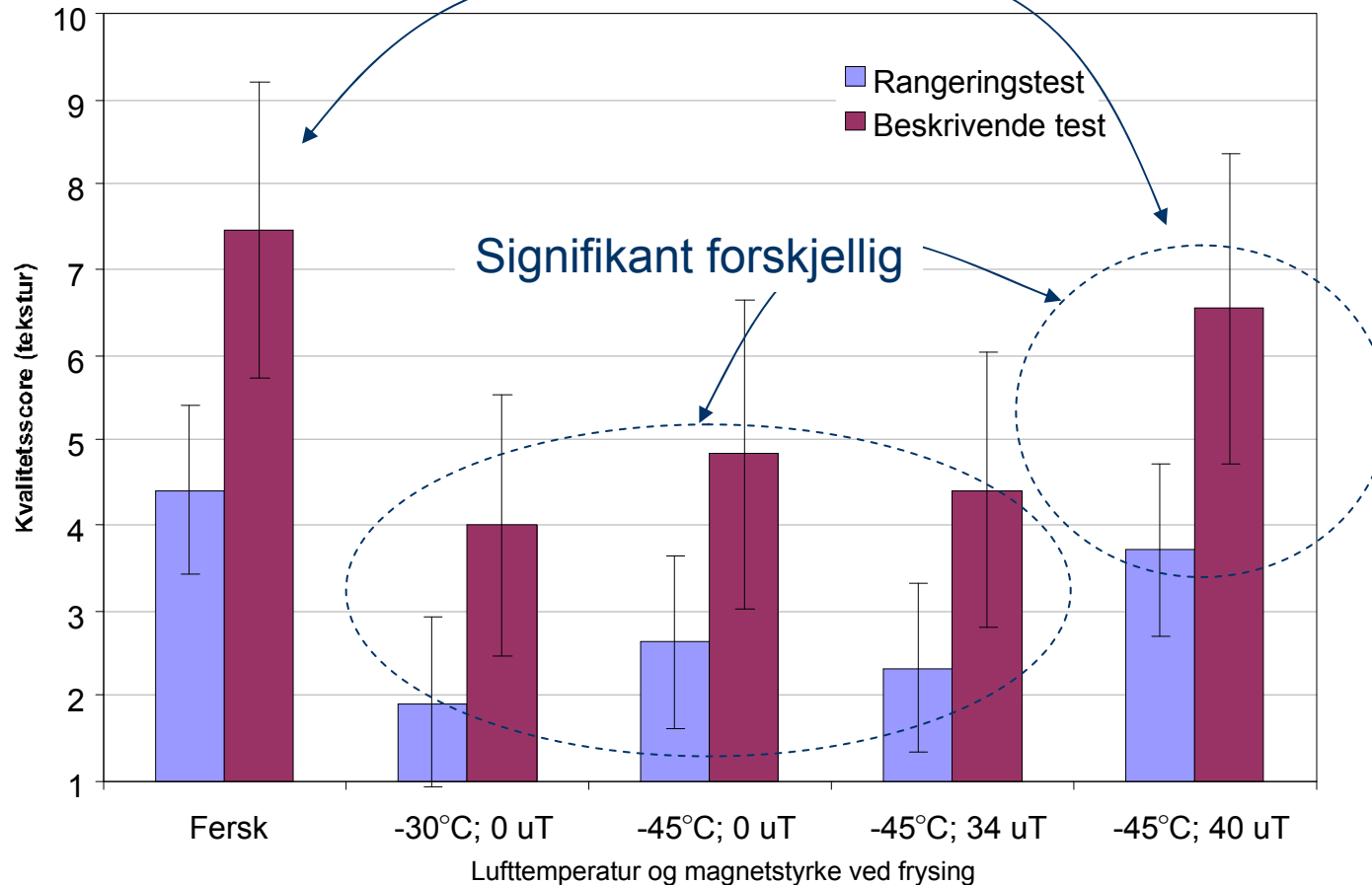
# Sensorikk - Metode

- Utført av ekspertpanelet til Møreforskning
- Fokus på teksturrelaterte parametere
- 12 dommere
- 2 gjentak pr. prøve
- 5 fileter pr. behandling
- Dampkokte fiskebiter
- Tester
  - Rangeringstest (5 behandlinger inkl. fersk referanse)
  - Beskrivende rang.test (som over)
  - 2 blindtester (treangulærttest)



# Sensorikk – resultater

Ikke signifikant forskjellig



Blindtest 1: Signifikant forskjell

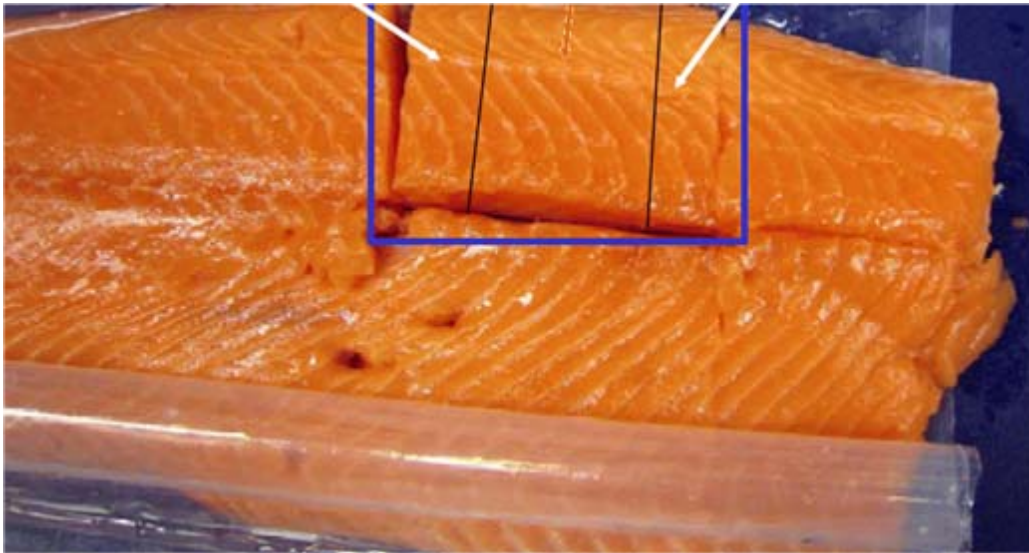
Bl. test 2: **Ikke** signifikant forskjell

Metoder og resultater:

# Histologi

- Mikrostruktur i **tint** tilstand
- Høyre vs. venstre filet i sterk vs. svakt elektromagnetisk felt

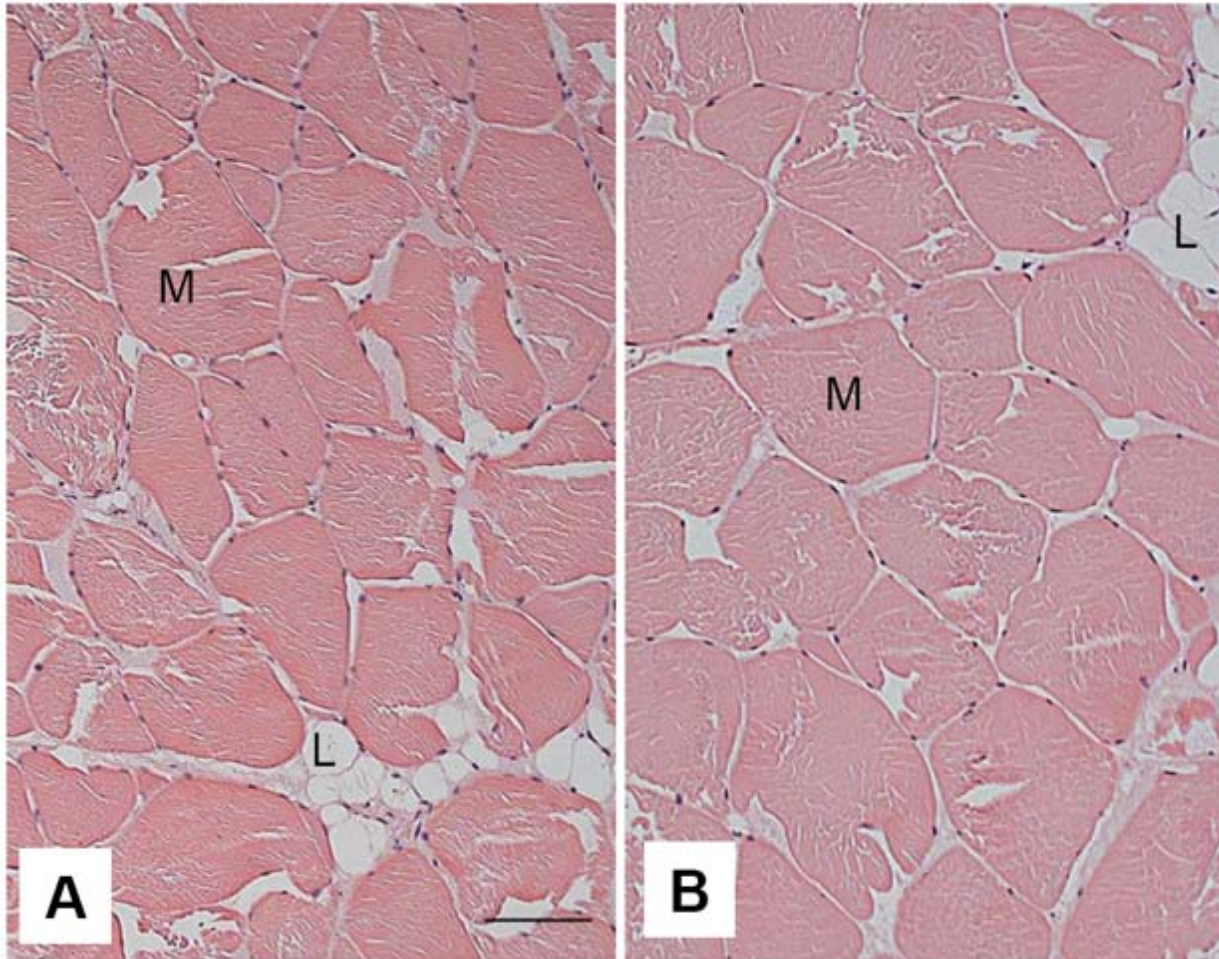
# Histologi - Metode



- Laksen var oppbevart i  $-40^{\circ}\text{C}$  i Trondheim (fryserom på Institutt for bioteknologi).
- Tining ved  $+5^{\circ}\text{C}$  i 16 timer
- 2 skiver til histologi (se figur) pr filet
- 5 fileter
- Fiksering i 4% paraformaldehyd i fosfatbuffer (PBS) i tre døgn, dehydrering i etanol, støping i tre blokker fra hver filét i parafin ( $N = 15$ ), snitting med Leica Autocut 2055 ( $4\mu\text{m}$ ) og farging med haematoxylin og eosin.
- Evaluering av endringer i muskelstruktur ble gjort ved å analysere arealtetthet av muskelfibre, bindevev og fettavleiringer i muskelvevet, ved bruk av punkttellinger.
- Et tilfeldig område i hvert av de tre snittene fra hver filét ble telt ( $N=15$ ).

# Histologi avh. av CAS-styrke

Målestav = 0,1 mm

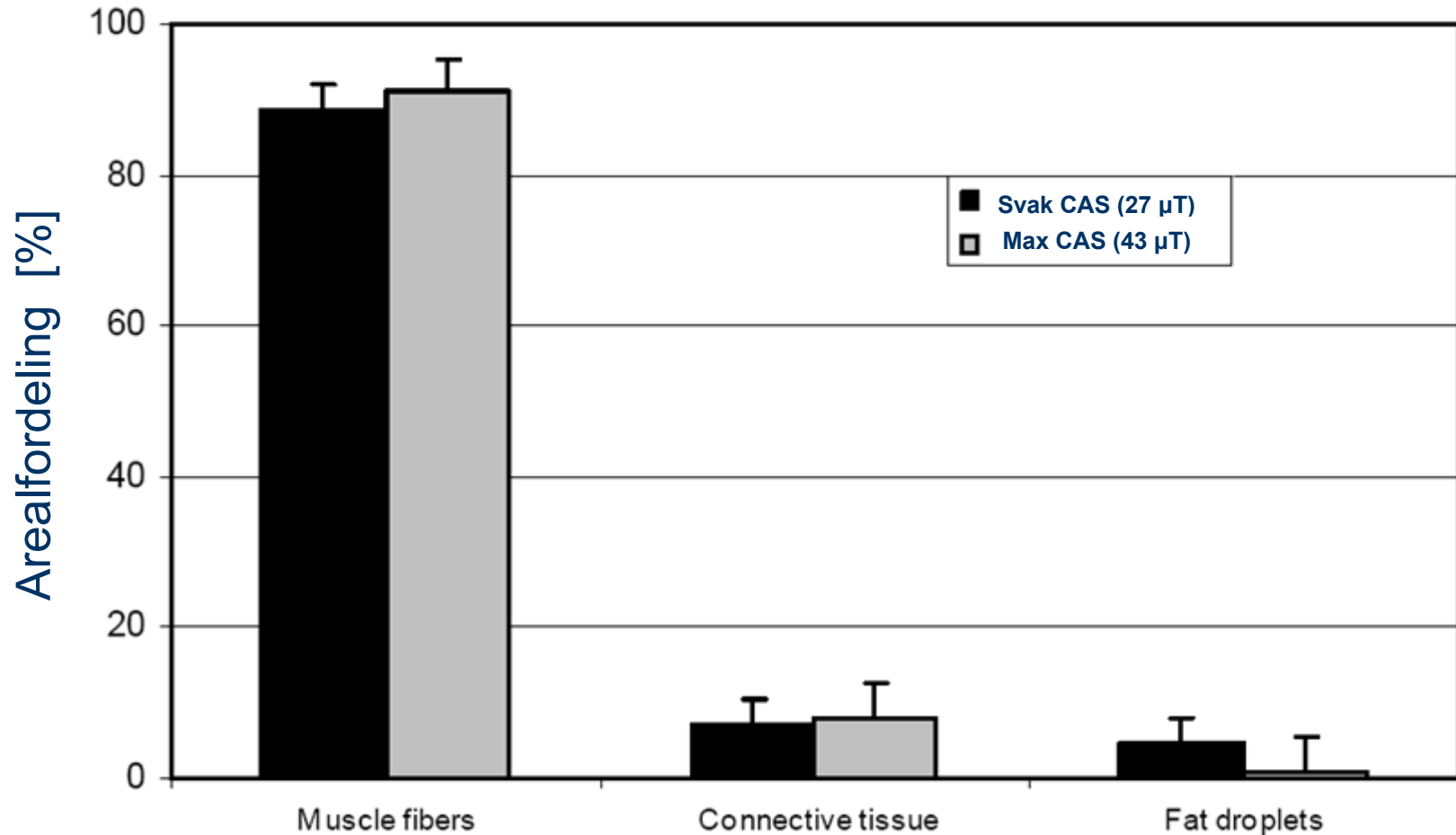


Svak CAS (27  $\mu$ T)

Max. CAS (43  $\mu$ T)

# Histologi – Resultater

## Svak mot sterk CAS-påvirking



NTNUs konklusjon: Ingen målbar effekt på mikrostruktur

# Konklusjon

- Det er **ikke påvist** at CAS har positiv virkning
  - For valgte kriterier (tekstur, saftighet, væsketap, frysetid/kapasitet)
  - For oppdrettslaks, ca. 1,2 kg filet
  - Ved innfrysing skjer 5-6 dager etter slakting
  - I luft á -45°C og ~0,4 m/s
  - Ved innfrysing til -30°C, lagring/frakt i tørris (-78°C), lagring ved ~ -30°C
  - ! **Tendenser** til at væsketap og tekstur påvirkes positivt av "sterkt" magnetisk felt, men dette er altså ikke statistisk bevist
- Men hva med
  - Ferskere produkt?
  - Pre-rigor filet?
  - Annen CAS-innstilling og magnetfeltets styrke og karakter (frekvensfordeling)?
  - Raskere frysing?
  - Andre kvalitetsparametere (farge, utseende,...)?
  - Annet fiskeslag?

# Takk for oppmerksomheten 😊

## Ta gjerne kontakt!

[Vidar.Hardarson@sintef.no](mailto:Vidar.Hardarson@sintef.no)

**Mob.: 9945 9393**