

07. Januar 2015

# Kjøling av laks – hvordan skal det gjøres?



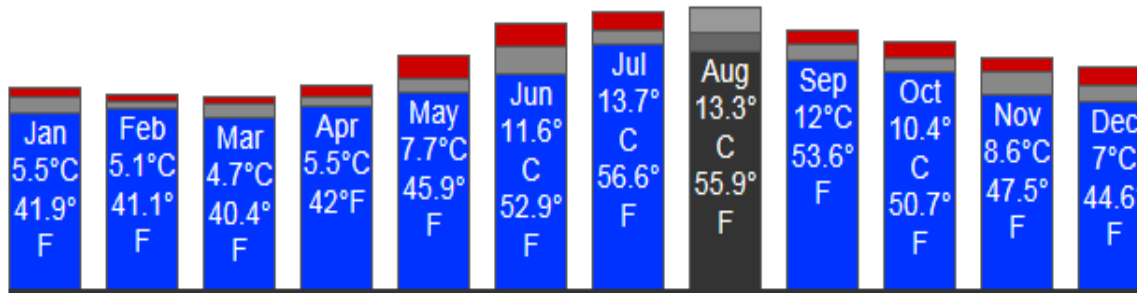
Michael Bantle  
SINTEF Energi AS  
[michael.bantle@sintef.no](mailto:michael.bantle@sintef.no)

# Agenda:

1. Randbetingelser for kjøling av laks
2. Modellering og verifisering
3. Kjøling av laks
  1. Effekt av termisk treghet
  2. Effekt av varmeovergangstall
  3. Effekt av redusert RSW strømming
  4. Effekt av RSW temperatur
  5. Sammenligning med levendekjøling
4. Konklusjoner
  1. Viktigste parameter for kjøling
  2. Videre arbeid

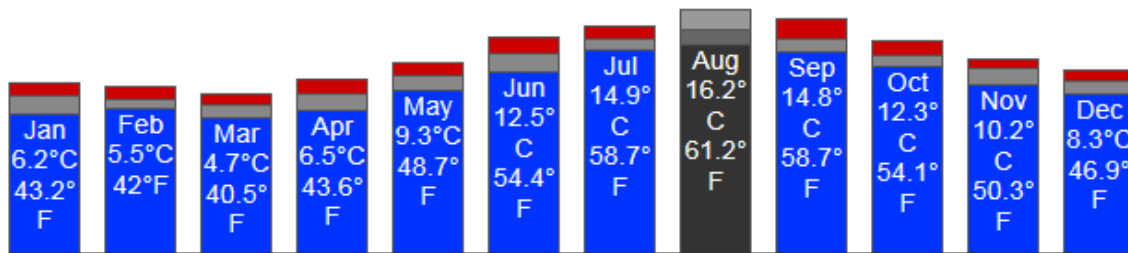
# 1. Randbetingelser

- Temperaturen for laks varierer avhengig av vanntemperaturer (fra +12 til +16 °C)  
→ hvis levendekjøling ikke er brukt.



Monthly Solfjellsjyen water temperature chart

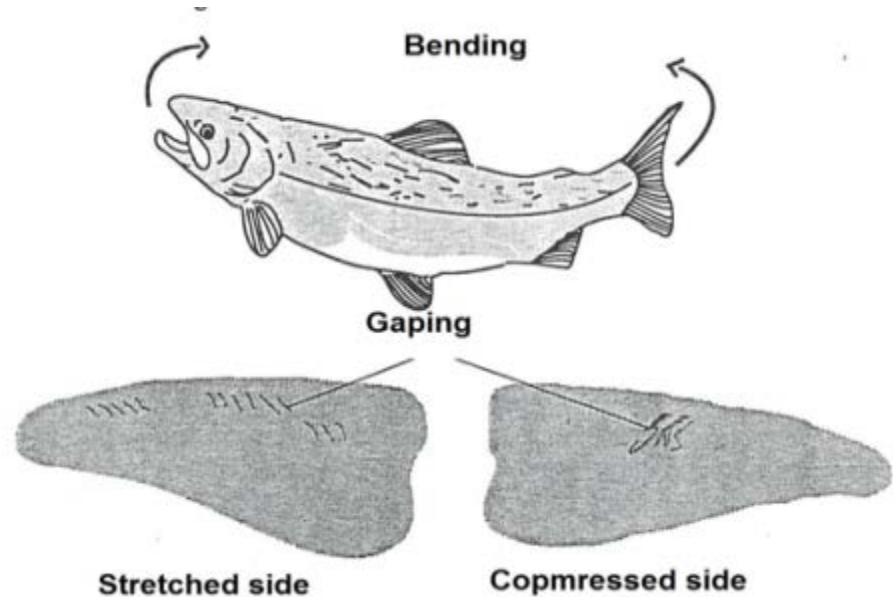
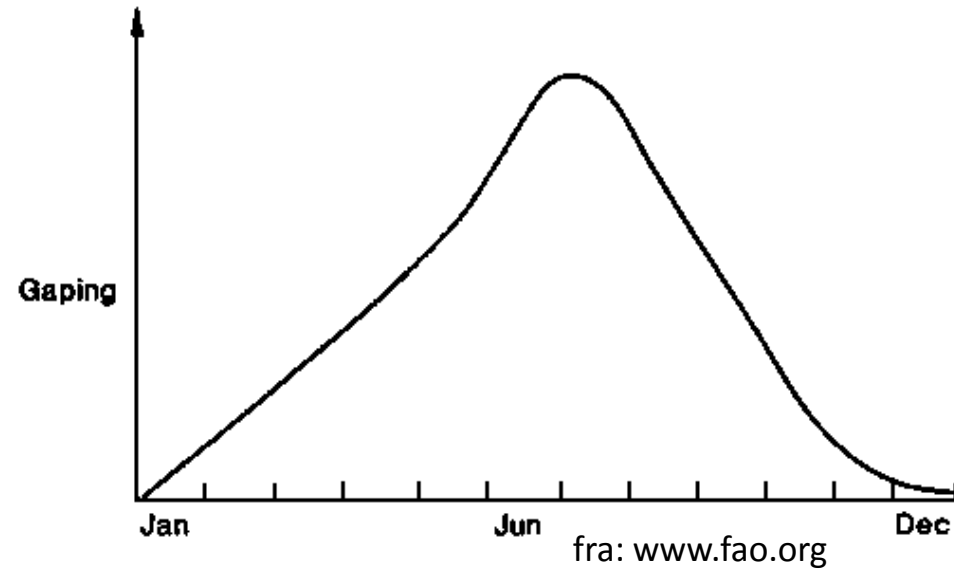
Gjennomsnittstemperatur i Norge  
<http://www.seatemperature.org>



Monthly Haugesund water temperature chart

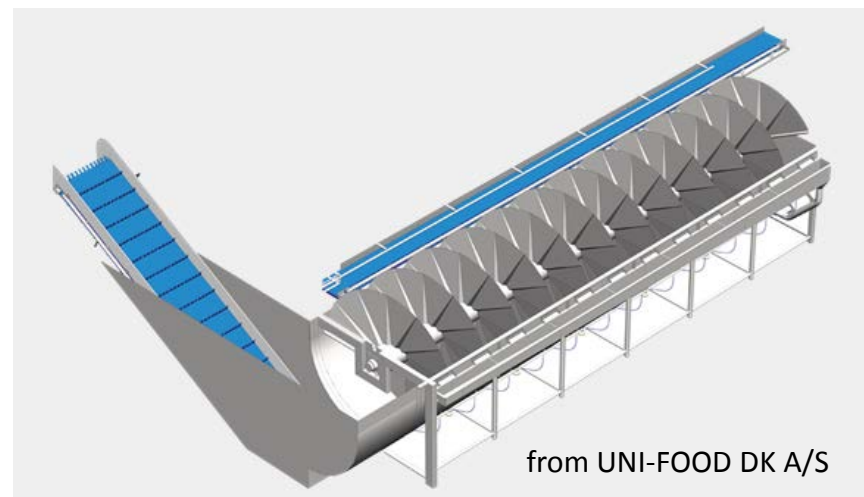
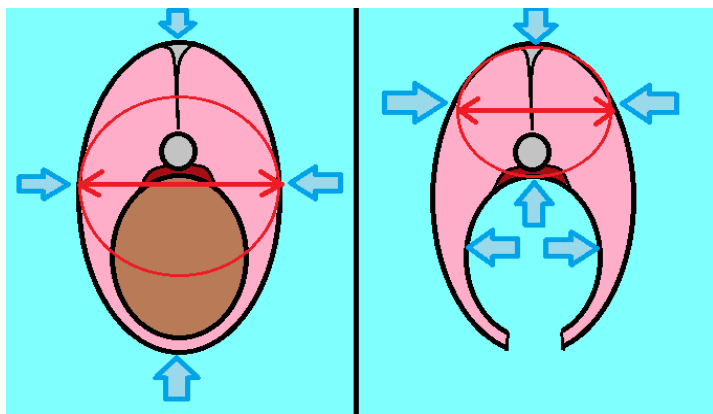
# 1. Randbetingelser

- Rigor-mortis kan opptre 2-3 timer etter slakting
  - Relatert til stress
  - Reduserer kvalitet
    - Spalting
    - Høyt vanntap
    - Lav vann-binding-kapasitet
- Nødvendig med hurtig kjøling
- Unngå håndtering i rigor-mortis
- Kjøling skal skjer pre-rigor



# 1. Randbetingelser

- Krav: Temperatur i senter av fisken skal være 0-2 °C
  - For filet produksjon kan temperatur kravene være enda lavere (-2 °C)
  - Høyere utbytte etter filetering (for kjølt fisk)
- Prosessering / kjøling av biomasse (laks)
  - 12 metriske ton per time
  - opptil 5-6 kg av masse må kjøles (per fisk)
- Sirkulasjon av kjølt sjøvann (RSW)
  - Kombinert med utblødning
- Varmeovergangstall fra 100 til 200 W/m<sup>2</sup>K



## 2. Modellering av laksekjøling

- De fleste modeller er empirisk eller semi-empirisk (konstante randbetingelser):
  - Konstant kjøletemperatur, massestrøm,...
  - Anvendbar for et spesifisert case (f. eks. kjølesystem/anlegg)
  - Leverer temperatur-tid profil for en spesifisert geometri/masse
  - Verifisert gjennom eksperimenter

$$\frac{T}{T_0} = A * \exp^{k*time}$$

- Model basert på termodynamikk
  - Forenklet geometri
  - Inkluderer termisk treghet
  - Varierende randbetingelser
    - Kjøletemperatur endrer seg gjennom prosessen
    - Varmeovergangstall endrer seg
    - ....
  - Leverer temperatur profil for en kjent geometri basert på termisk utjevning
  - Kan kombineres/brukes for andre caser

## 2. Modellering av laksekjøling

$$\dot{Q} = k * A * \Delta T$$

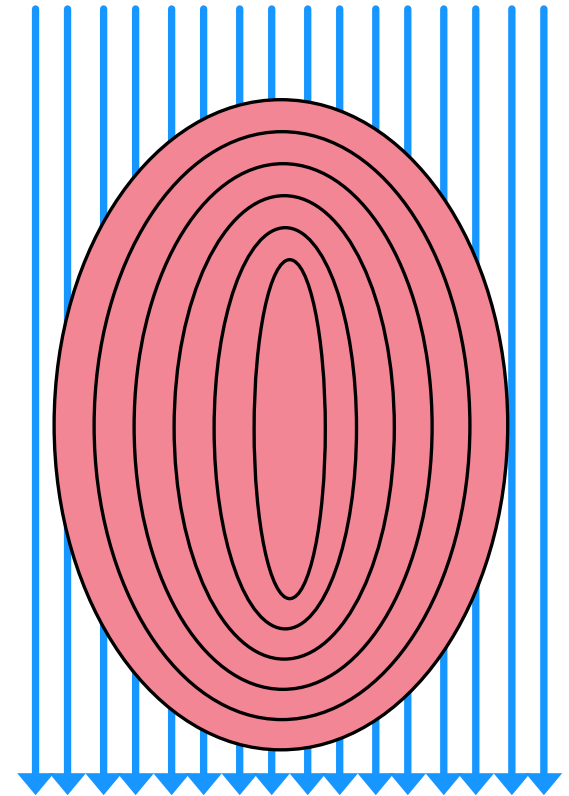
$$\dot{Q} = \dot{m} * c_p * \Delta T$$

$$\dot{Q}_n = k_n * A_n * \Delta T_{n,n+1} = \dot{m} * c_p * \Delta T_{n,n+1}$$

$$\text{med } \frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha} + \frac{s}{\lambda}$$

for  $i = 1 \dots n$

$$Q = \sum_{1}^n Q_n$$



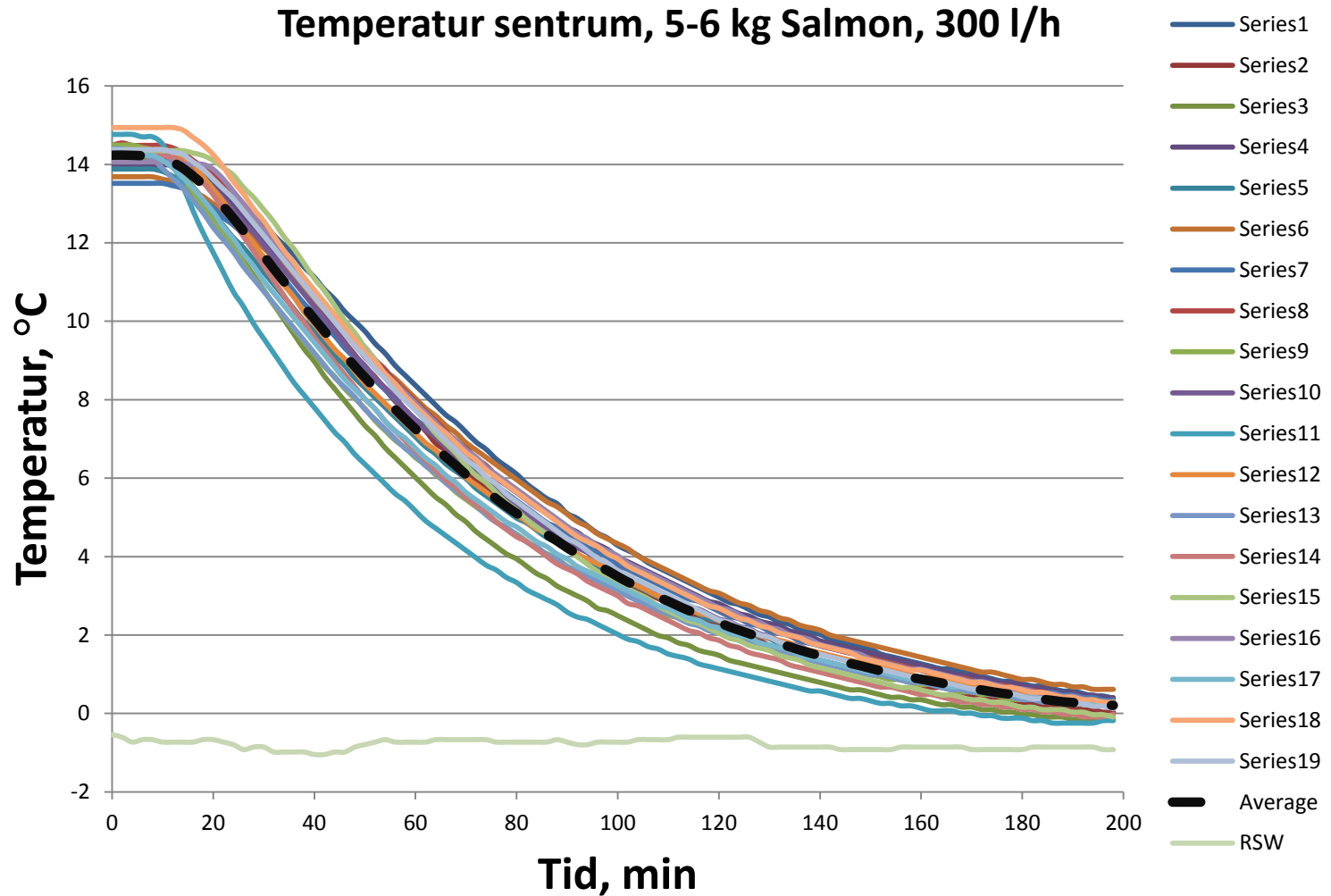
## 2. Verifisering av modellen, kjøleforsøk

- 4 kontrollerte kjøleforsøk i RSW anlegg
  - 10 laks (5-6 kg) i hvert forsøk
- Modellen er verifisert gjennom temperaturen i senter av laksen

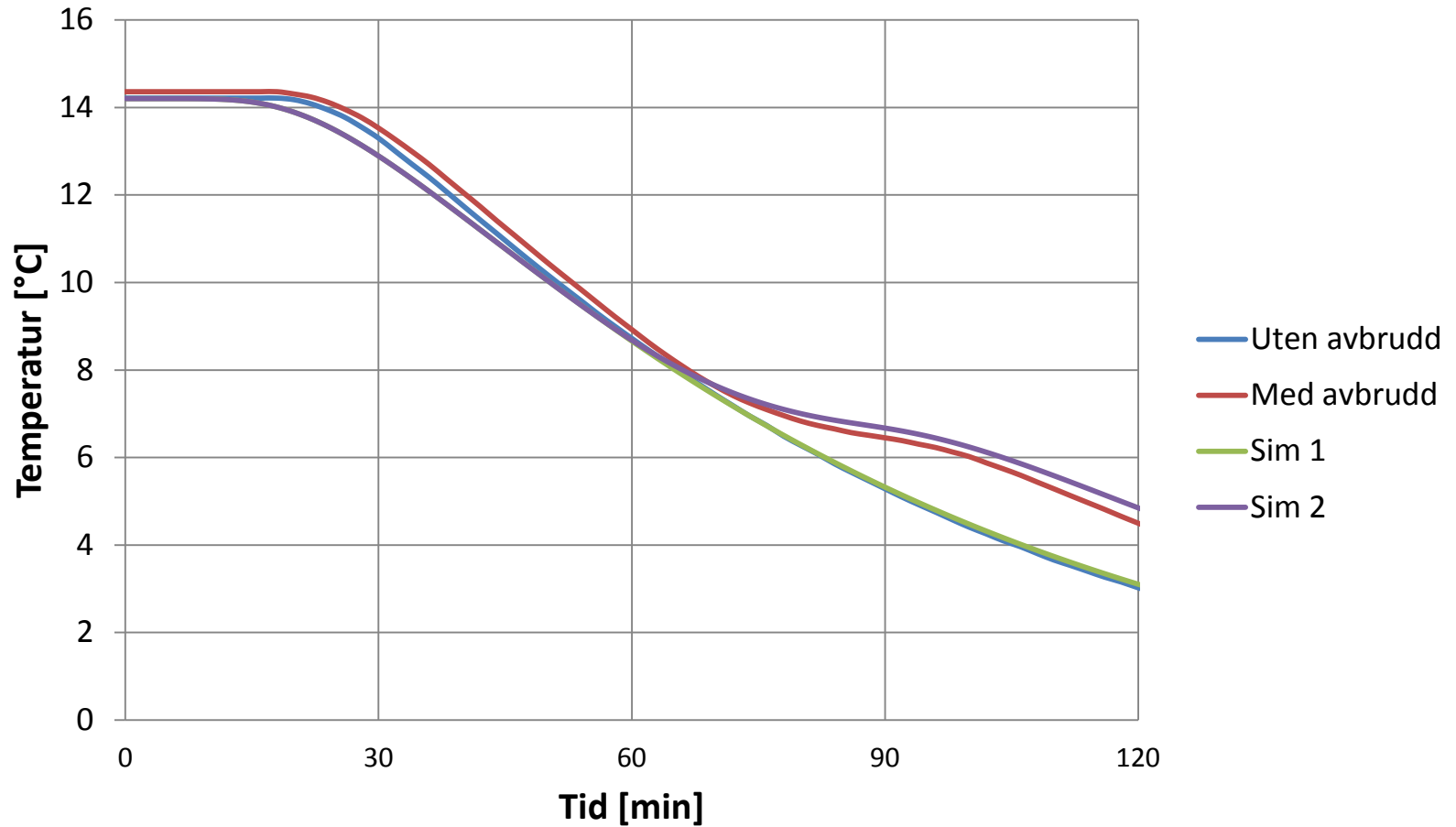
	Vann, l/min	$\alpha$ , W/m <sup>2</sup> K	Tid, min	Temperatur
Kjøøl 1	150	50	120 min	-1°C
Kjøøl 2	300	75	120 min	-1°C
Kjøøl 3	600	100	120 min	-1°C
Kjøøl 4	300	75	45 min +	-1°C
		$\approx 5$	30 min pause +	20°C
		75	45 min	-1°C



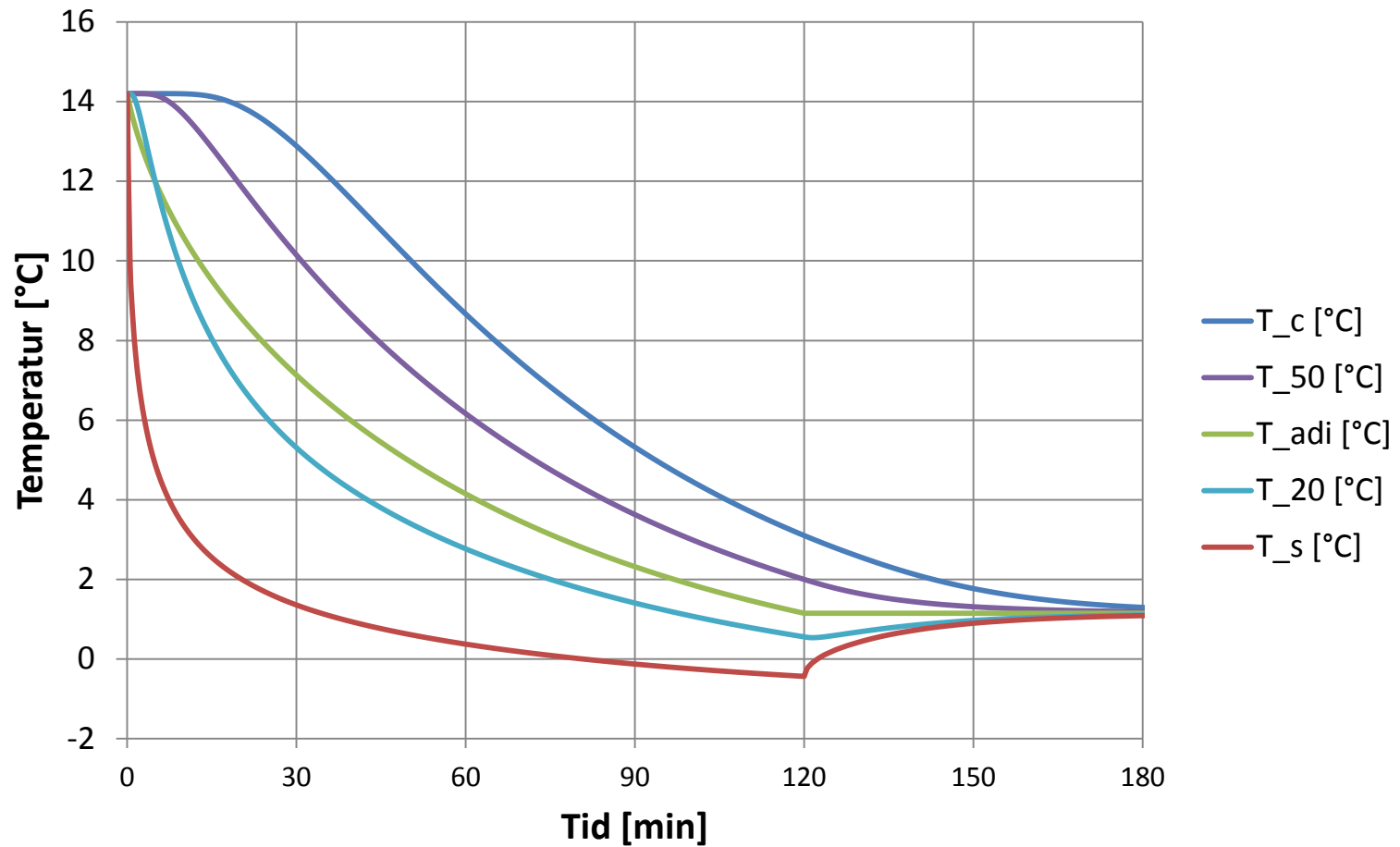
## 2. Verifisering av modellen, kjøleforsøk



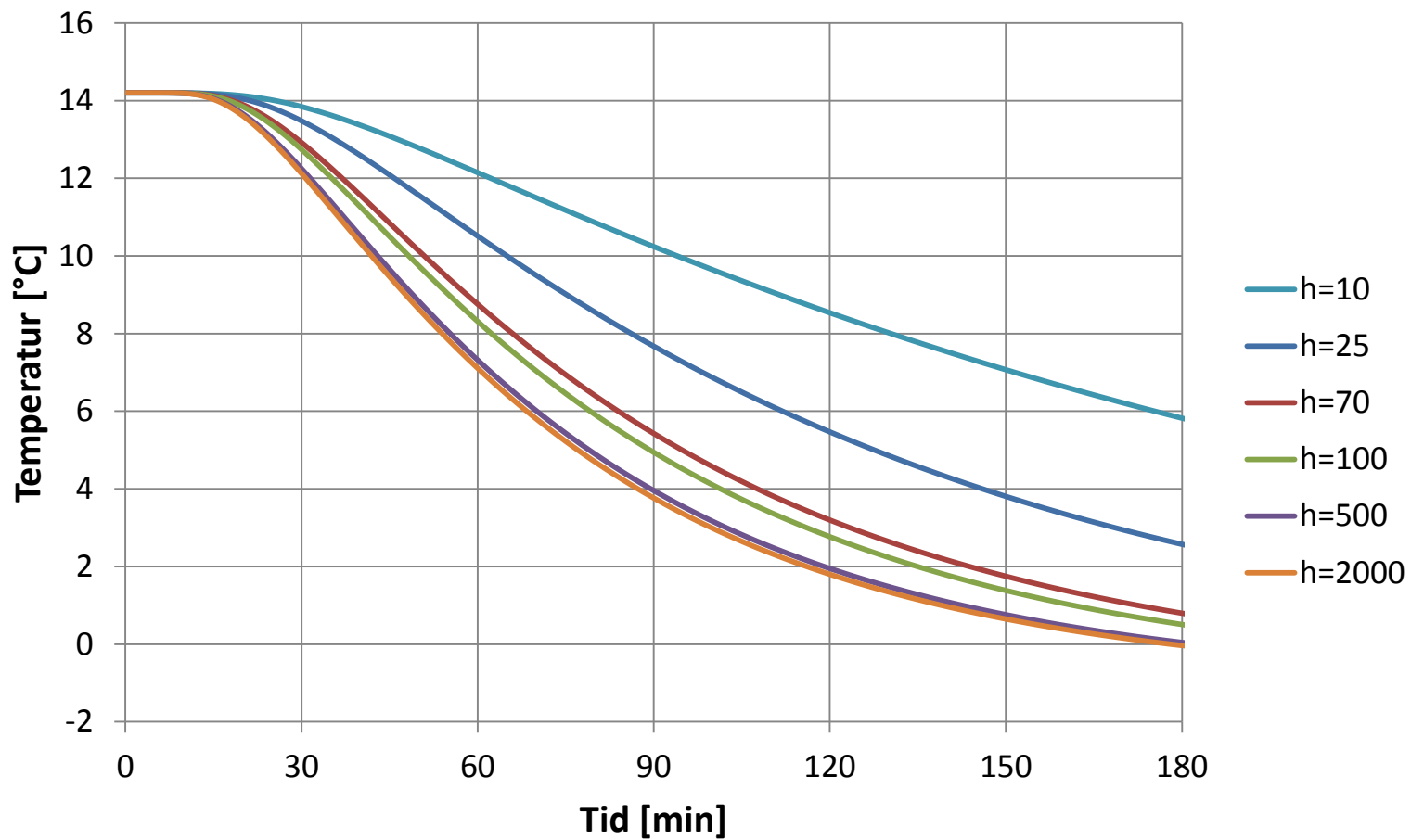
## 2. Verifisering av modellen



### 3. Kjøling av laks (effekt av termisk treghet)



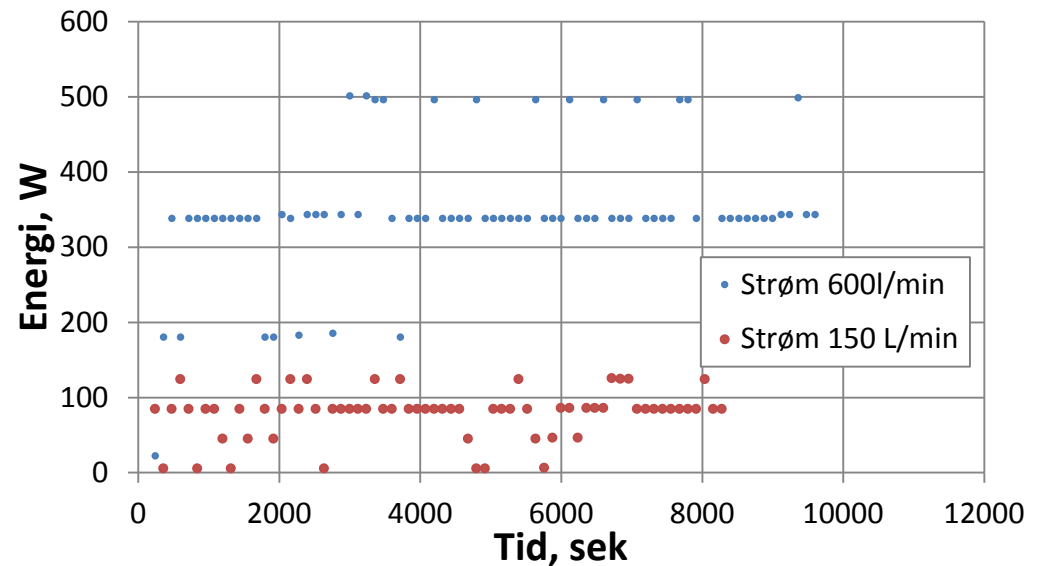
## 3.1 Effekt av varmeovergangstall $\alpha$



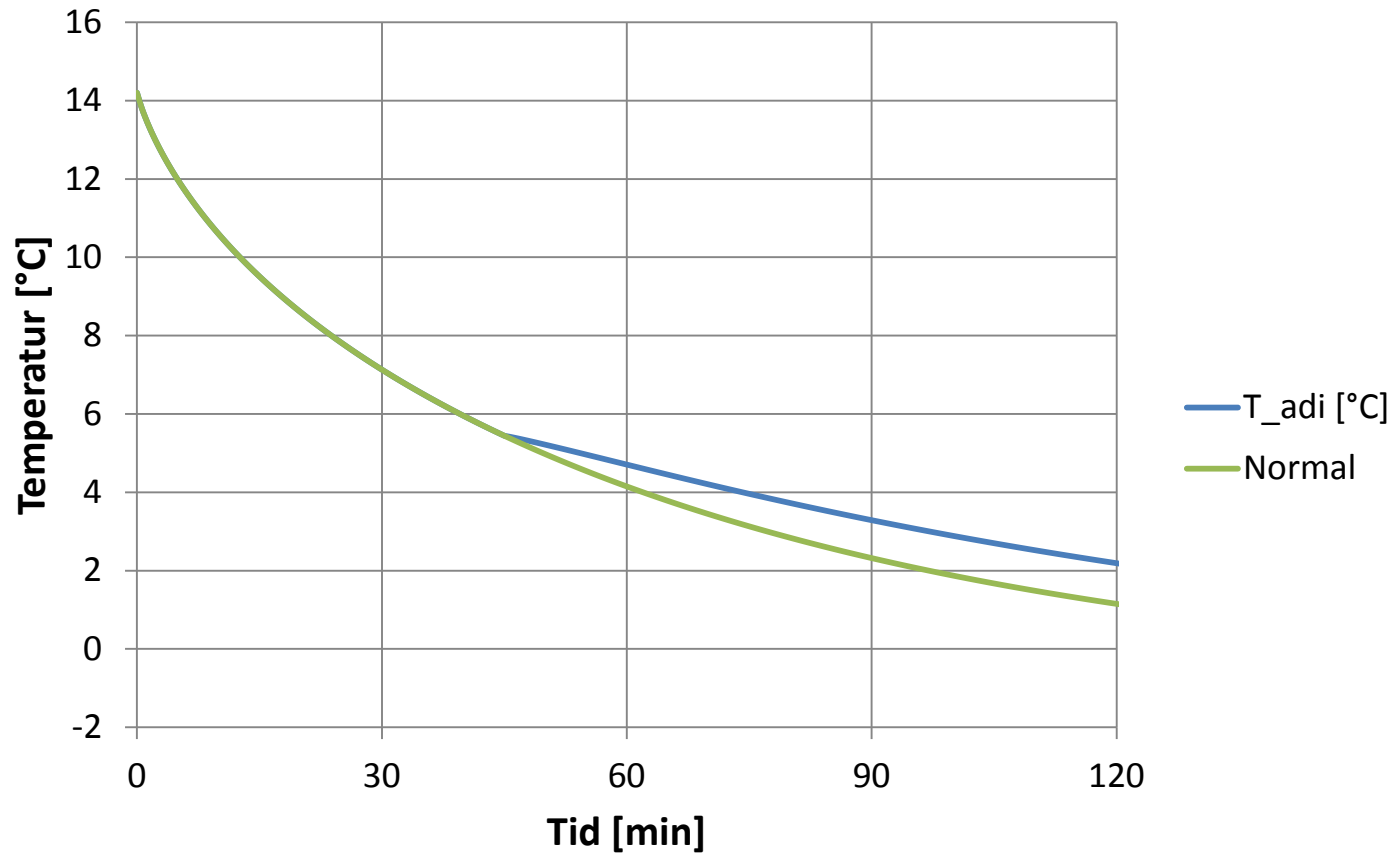
## 3.1 Effekt av varmeovergangstall $\alpha$

- Høyere varmeovergangstall resulterer ikke nødvendigvis i hurtigere kjøling
- Energiforbruk for å oppnå høyt varmeovergangstall reduserer kjøleeffektivitet, hvis ikke kjøling blir økt tilsvarende

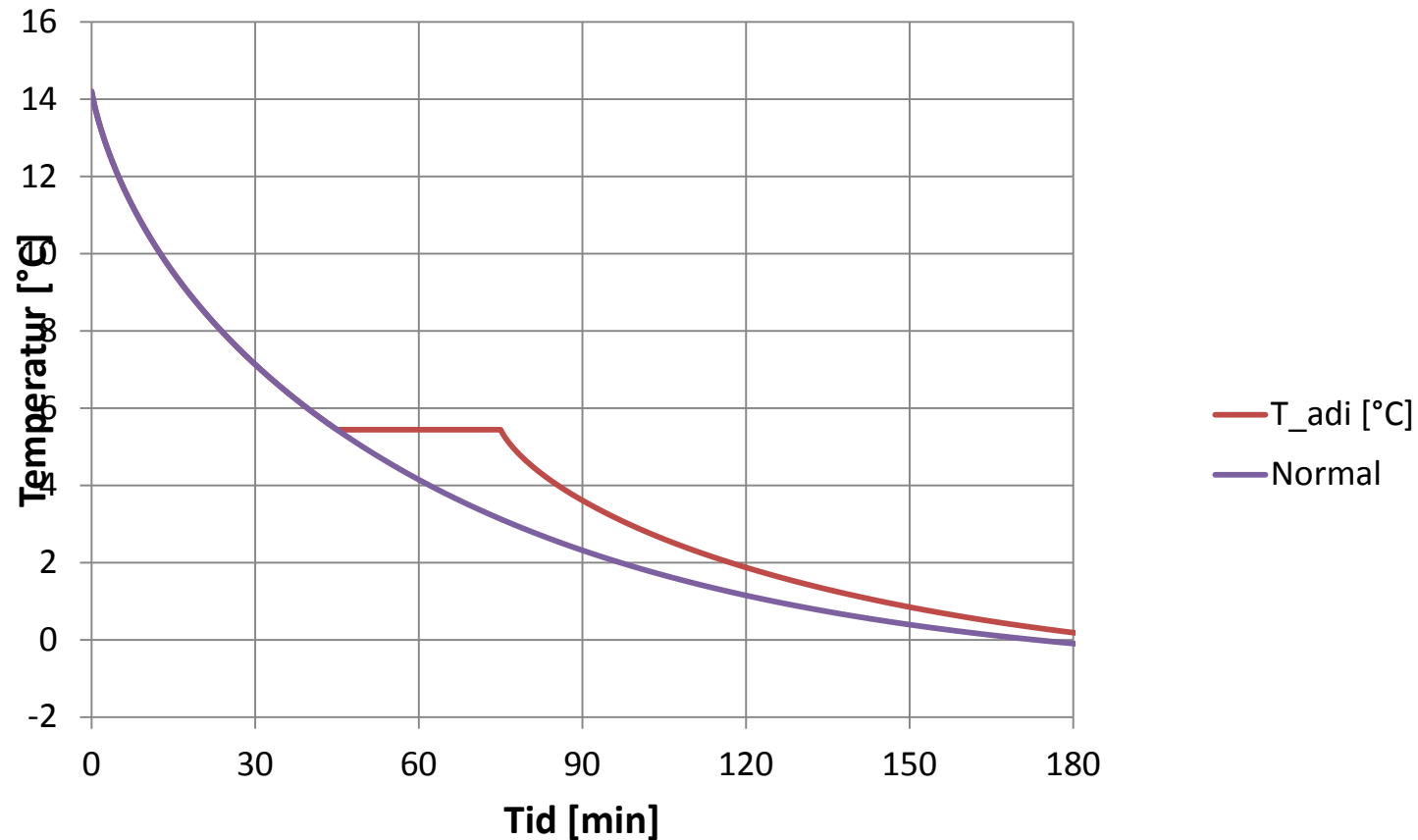
$$\rightarrow \frac{\dot{Q}_{fjernet}}{\dot{W}_{system}}$$



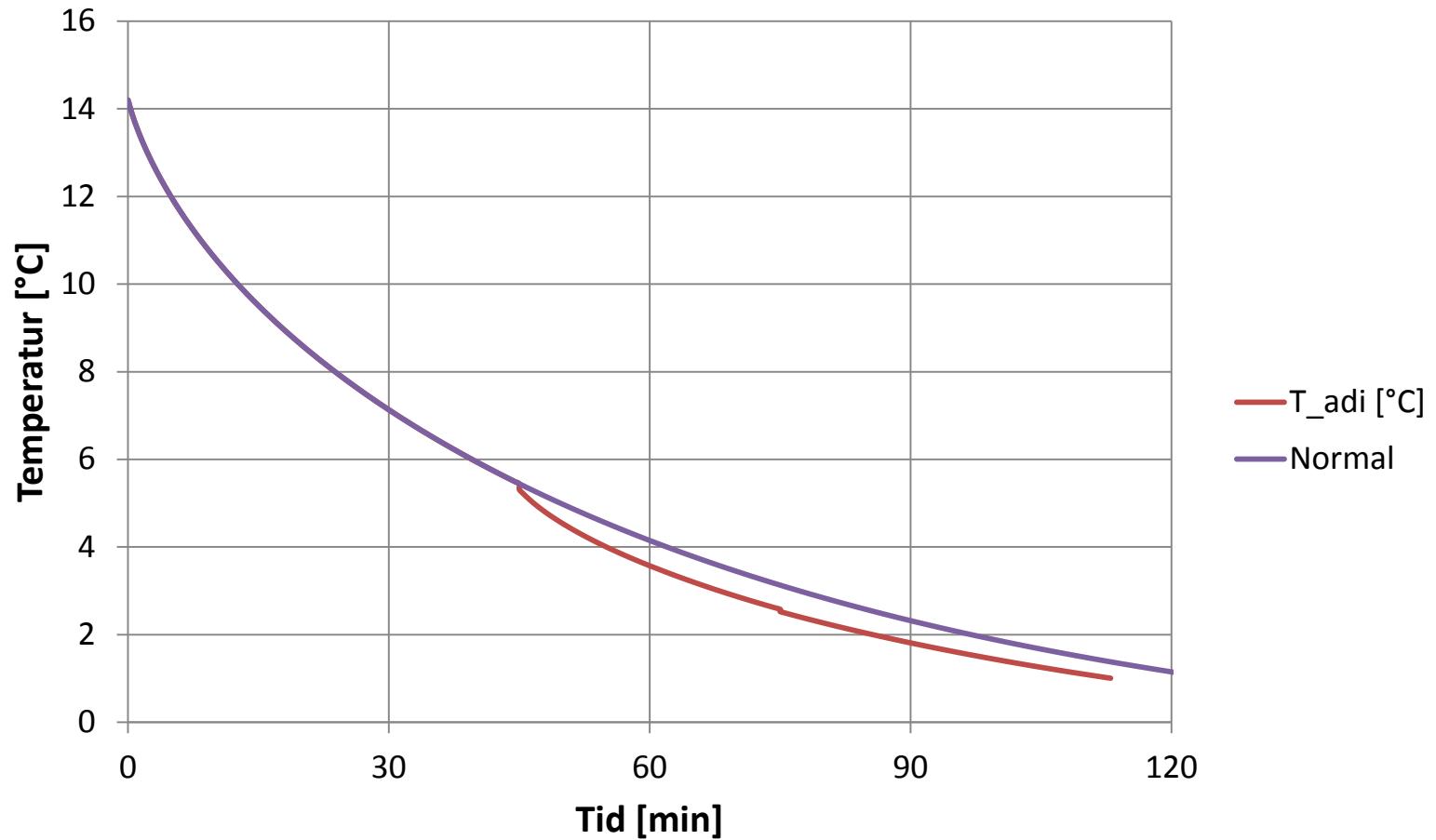
## 3.2 Redusert RSW strøm etter 45 min



### 3.3 Oppdeling av kjøleprosessen (mellomlagring)



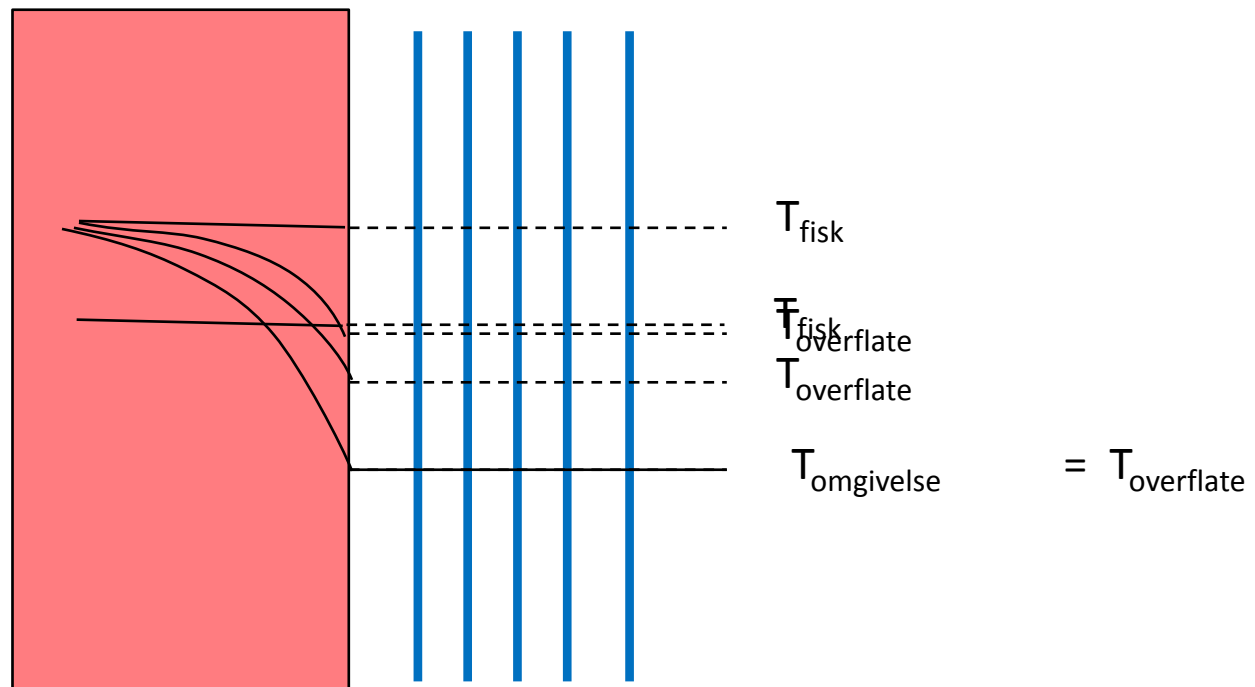
### 3.3 Oppdeling av kjøleprosessen (mellomlagring)





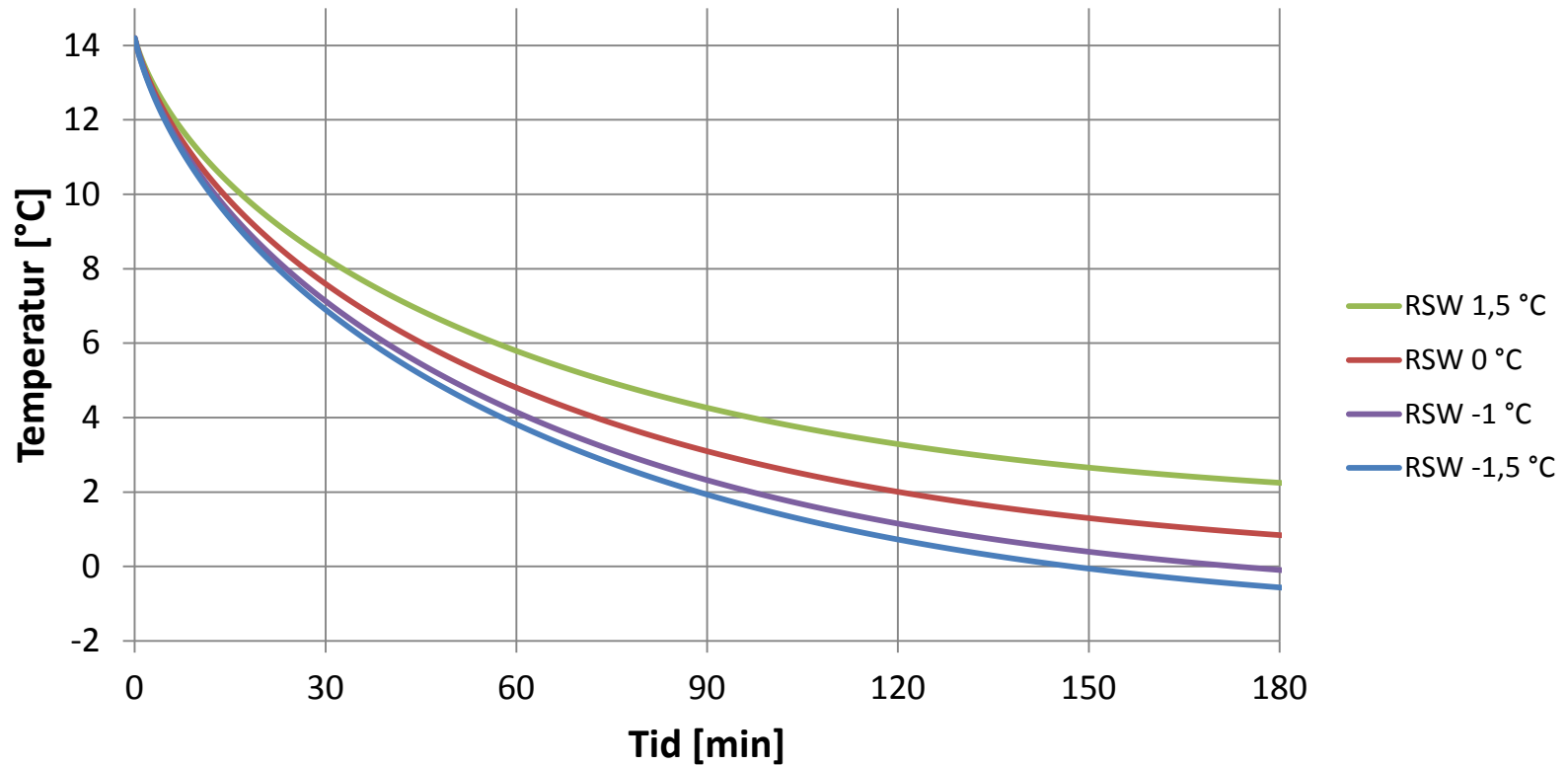
### 3.3 Oppdeling av kjøleprosessen (mellomlagring)

Hvorfor kjølepause?

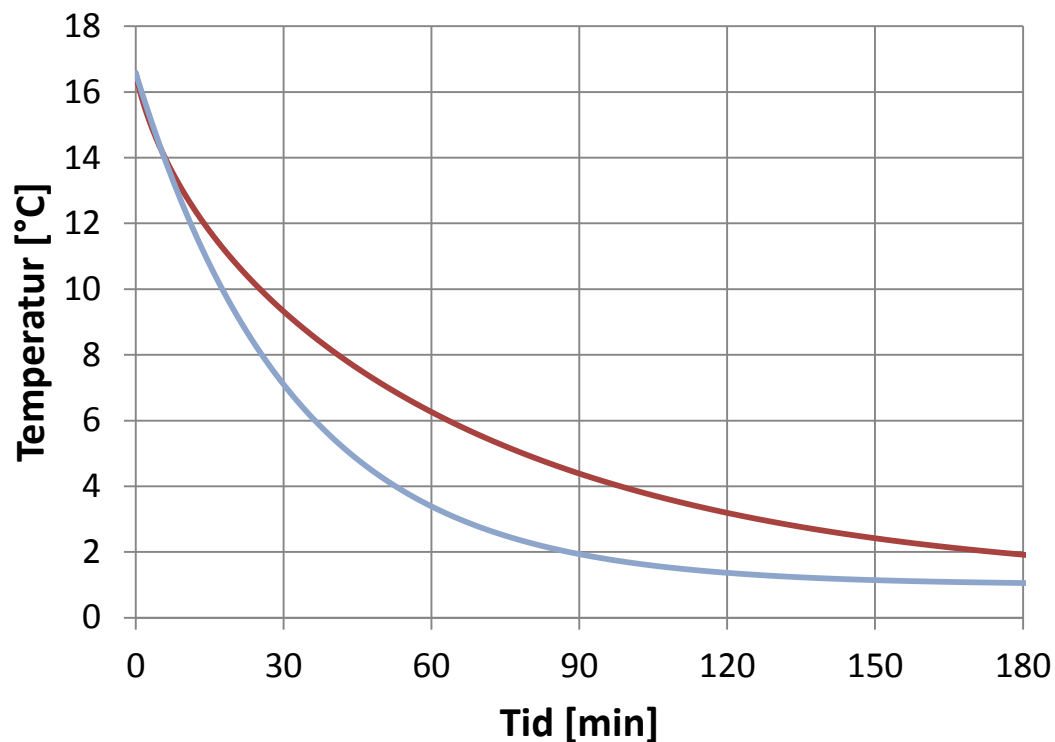
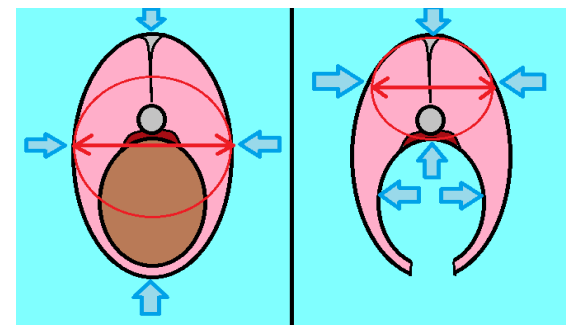


## 3.4 Effekt av temperatur av kjølemedium

Adiabatic temp



## 3.5 Sammenligning med levende kjøling



— T<sub>adi</sub> [°C]  
— Levende kjøling

Data levendekjøling: Skjervold et al., Aquaculture 209 (2002) 185-195

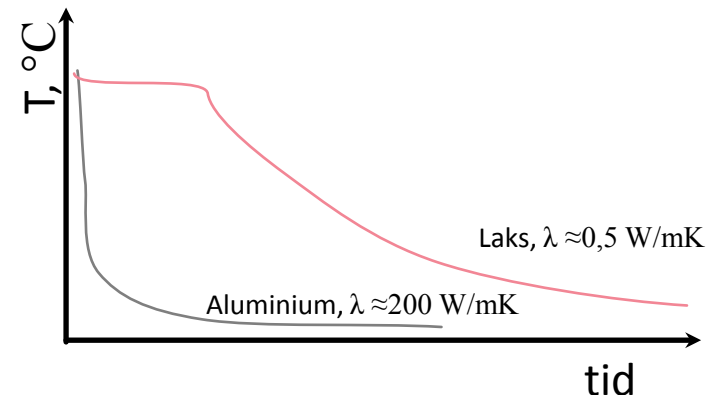
# Konklusjoner: Parameter som har betydning for kjøling

- Temperaturdifferanse mellom laks og kjølemedia kan påvirkes (størst betydning i slutten)
- Varmeovergangstall kan påvirkes (størst betydning i begynnelsen)
- Tidsrom for kjøling kan påvirkes

## → Begrensninger:

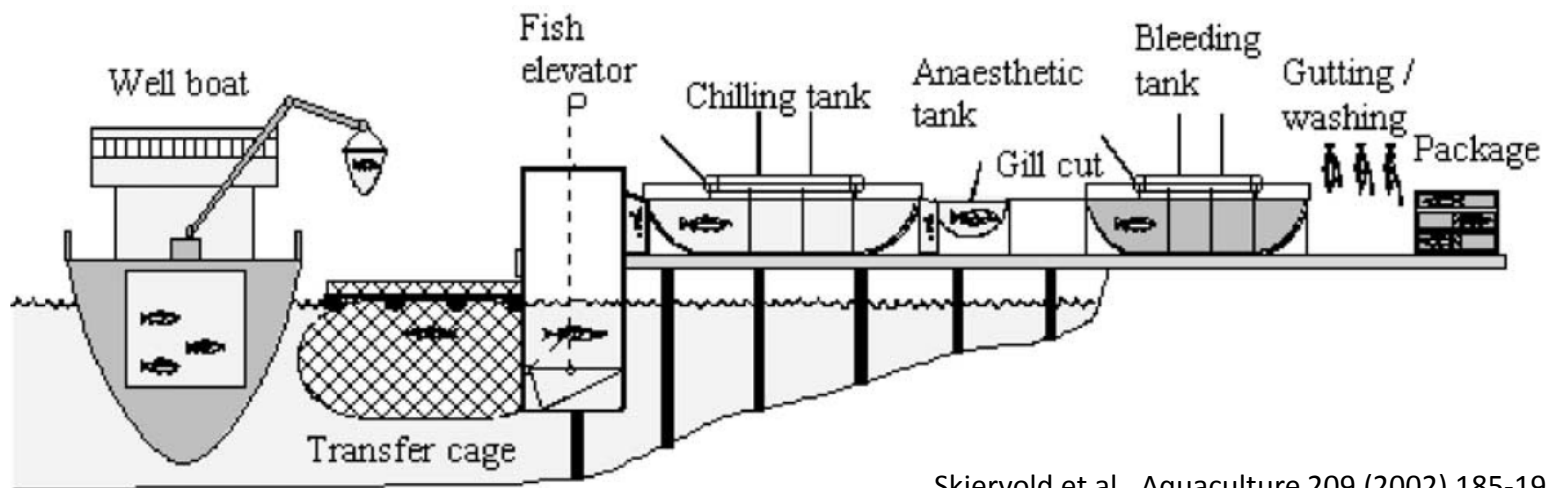
- Termisk konduktivitet  $\lambda$  er konstant
    - "Effektiv" konduktivitet for levendekjøling er høyere
  - Geometri/størrelse av laks er konstant men kan påvirkes
    - Levende, slaktet, filetert (påvirker effektiv diameter)
- Minstetid for kjøling (ikke mulig å kjøle hurtigere enn det)

→ Målsetning: høy effektivitet  $\left( \frac{\dot{Q}_{fjernet}}{\dot{W}_{system}} \right)$



# Konklusjoner

- Hvordan passer disse resultater (kjølepause, levendekjøling) inn i dagens prosess?
- Hvordan påvirker kjølepause, levendekjøling:
  - Koagulering
  - Stress
  - Kvalitet
  - ...

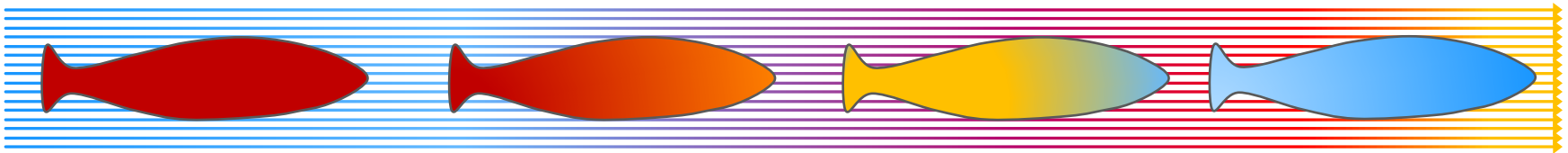
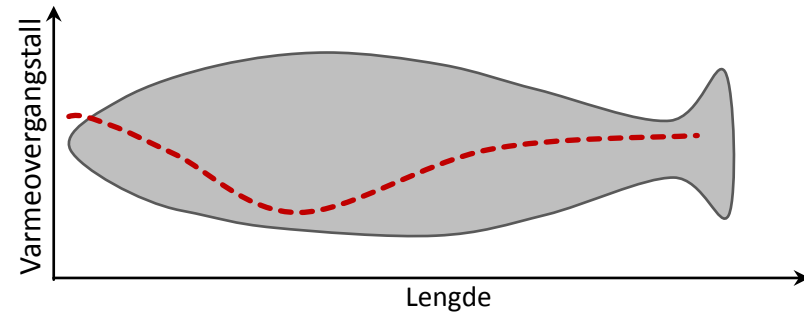


Skjervold et al., Aquaculture 209 (2002) 185-195

Fig. 1. The live chilling process. The present data were samples from the transfer cage and the chilling tank.

# Videre arbeid

- Verifisering av modellen
  - Geometri av laks (karakteristikk diameter)
  - Varmeovergangstall
- Varmeutveksling mellom laks og kjølemedia (RSW blir varmet opp).
- Simulering av kjøleprosessen for en hel batch av laks



- Hvordan passer en optimal kjøleprosess inn i dagens og fremtidens produksjon
  - Seksjonering av kjøleprosessen
  - Levendekjøling (kombinert med trenging)
- Effektivitet / lønnsomhet av kjøleprosessen:  $\frac{\dot{Q}_{fjernet}}{\dot{W}_{system}}$

Takk for oppmerksomheten !!!

→ Spørsmål?



Kontakt: [michael.bantle@sintef.no](mailto:michael.bantle@sintef.no)