



TEKNOLOGISK
INSTITUT

it's all about innovation





TEKNOLOGISK
INSTITUT

Flowmåling og kalibrering med kolde medier

Flowtemadag

3. december 2013

Teknologisk Institut

Anders Niemann

Baggrund



TEKNOLOGISK
INSTITUT

- Flowmålere bruges i mange forskelligartede applikationer og til mange forskellige formål
- Mange flowmålere bruges udenfor det område de er kalibreret til:
 - Forskellige fluider i proces og kemi-industrien
 - Regn- og spildevand
 - Kølemidler og kølemiddelsblandinger i køleanlæg
 - Legal afregning af fjernkøling
 - Etc.
- Flowmålerne er som oftest kalibreret med vand



Køle- og køleenergimålere

- Kølemålere
 - Flowmåler der måler masse eller volumeflowet af et kølemiddel eller en kølemiddelsblanding – *ingen temperatur definition*
- Køleenergimålere
 - Varmeenergimåler der anvendes til måling af forbrug af køleenergi - temperatur definition: 2 – 30 °C (max. $\Delta 20$ K)
 - Legale
 - Ingen legale krav (endnu)
 - Forslag til bekendtgørelse om måleteknisk kontrol med målere (nationalt)
 - Ikke legal
 - Ifølge EN 1434

Forslag til ny bekendtgørelse

- Køleenergimålere skal opfylde relevante krav i EN 1434 eller anden teknisk standard inden ibrugtagning
- Erhvervsmiljøer og lette industrimiljøer
 - Nøjagtighedsklasse 2 eller bedre (fejl ikke mere en $\pm 5\%$)
- Køleenergimålere til husholdninger
 - Nøjagtighedsklasse 3 eller bedre (fejl ikke mere en $\pm 5\%$)
- Køleenergimålere skal være typegodkendt inden markedsføring, salg og levering
-og være førstegangsverificerede inden ibrugtagning
- Nationalt kontrolsystem skal etableres for idriftværende målere – som ved vand og fjernvarmemålere

Krav i EN 1434

- Specifikt for køleenergimålere

- Performance test (præstationsprøvning)
 - Flowsensor:

Cooling	
Mekaniske målere med $q_{\max}/q_{\min} \leq 10$ Statiske med $q_{\max}/q_{\min} \leq 25$	Mekaniske målere med $q_{\max}/q_{\min} > 10$ Statiske med $q_{\max}/q_{\min} > 25$
$(15 \pm 5) ^\circ\text{C}$	$(15 \pm 5) ^\circ\text{C}$
	$(5 \pm 1) ^\circ\text{C}$

Krav i EN 1434

- Specifikt for køleenergimålere



TEKNOLOGISK
INSTITUT

- Performance test (præstationsprøvning)
 - Flowsensor
 - Temperatursensorer:
 - Tre temperaturer fra nedenstående skala:
 - (5 ± 5) °C
 - (40 ± 5) °C
 - (70 ± 5) °C
 - (90 ± 5) °C
 - (130 ± 5) °C
 - (160 ± 10) °C

Krav i EN 1434



TEKNOLOGISK
INSTITUT

- Specifikt for køleenergimålere

- Performance test (præstationsprøvning)
 - Flowsensor
 - Temperatursensorer
- Durability test (holdbarhedstest)
 - Flowsensor: $(15 \pm 5) ^\circ\text{C}$
 - Temperatursensorer: Cyklisk test fra højeste til laveste temperaturgrænse (gentages 10 gange)

Krav i EN 1434



TEKNOLOGISK
INSTITUT

- Specifikt for køleenergimålere

- Performance test (præstationsprøvning)
 - Flowsensor
 - Temperatursensorer
- Durability test (holdbarhedstest)
 - Flowsensor: $(15 \pm 5) ^\circ\text{C}$
 - Temperatursensorer: Cyklisk test fra højeste til laveste temperaturgrænse (gentages 10 gange)
- Flow disturbances (flowforstyrrelsestest)
 - Flowsensor: $(15 \pm 5) ^\circ\text{C}$
 - Temperatursensorer: *ingen*

Kalibrering af flowmålere i vand

- Indtil nu!



TEKNOLOGISK
INSTITUT

- Temperatur
 - $\geq 4\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Flowområde
 - 5 l/h – 500.000 l/h (500 m³/h)
- Medie
 - Vand



Setupspecifikationer

- Køleprøvestand (prototype)
 - Kalibrering af målere baseres på reference flowmåling
 - Reference flowmåleren er baseret på koriolis-flowmålingsprincippet
 - Sporbar kalibrering af reference flowmåleren baseres på et vejesystem
 - Prototypen skal udstyres med et integreret kølesystem
 - Kalibreringsmediet skal være en kølemiddelsblanding, der er et gængs kølemiddel med et frysepunkt på $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ eller lavere

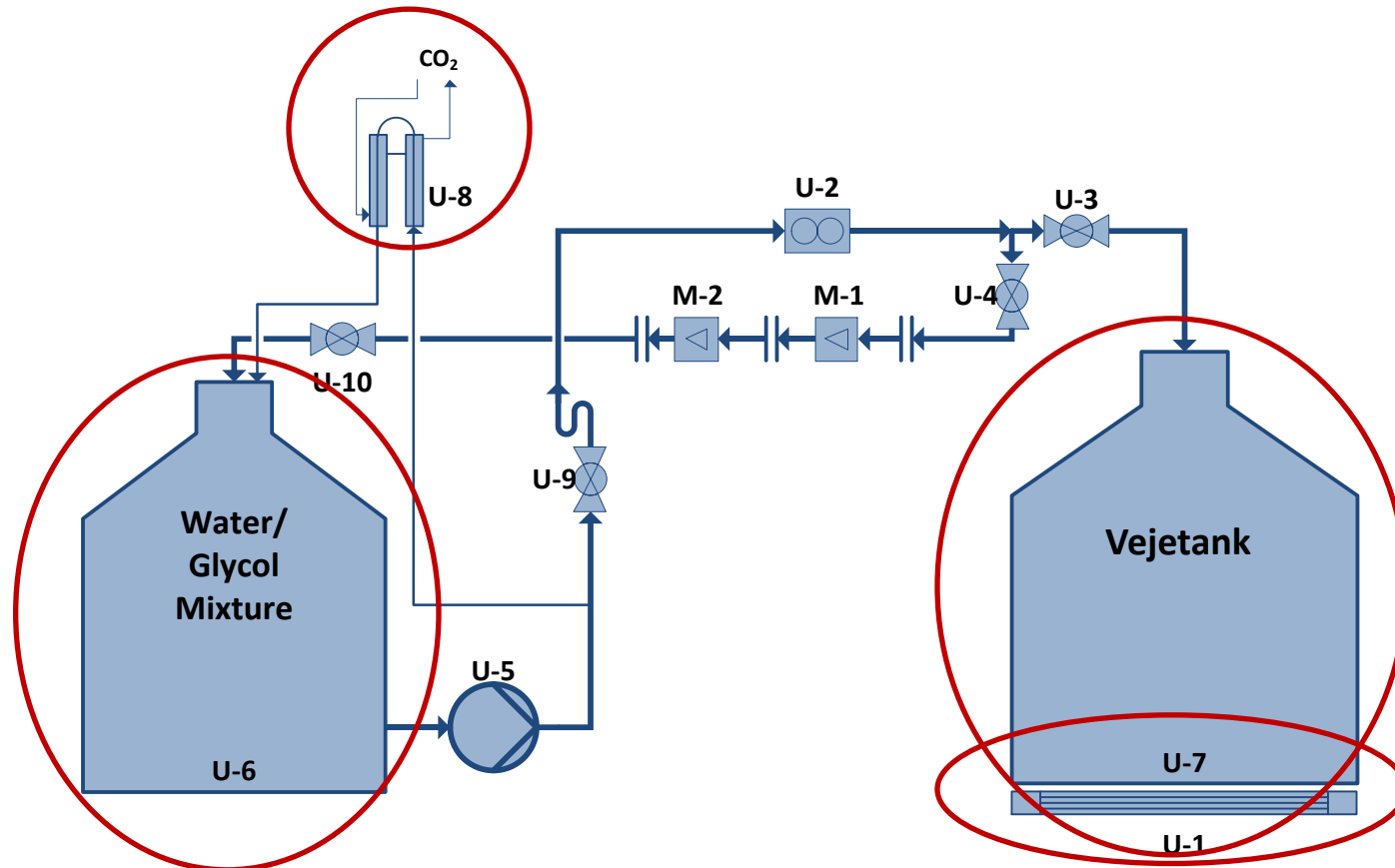


DANISH
TECHNOLOGICAL
INSTITUTE



Setup'et

- Kølesystem

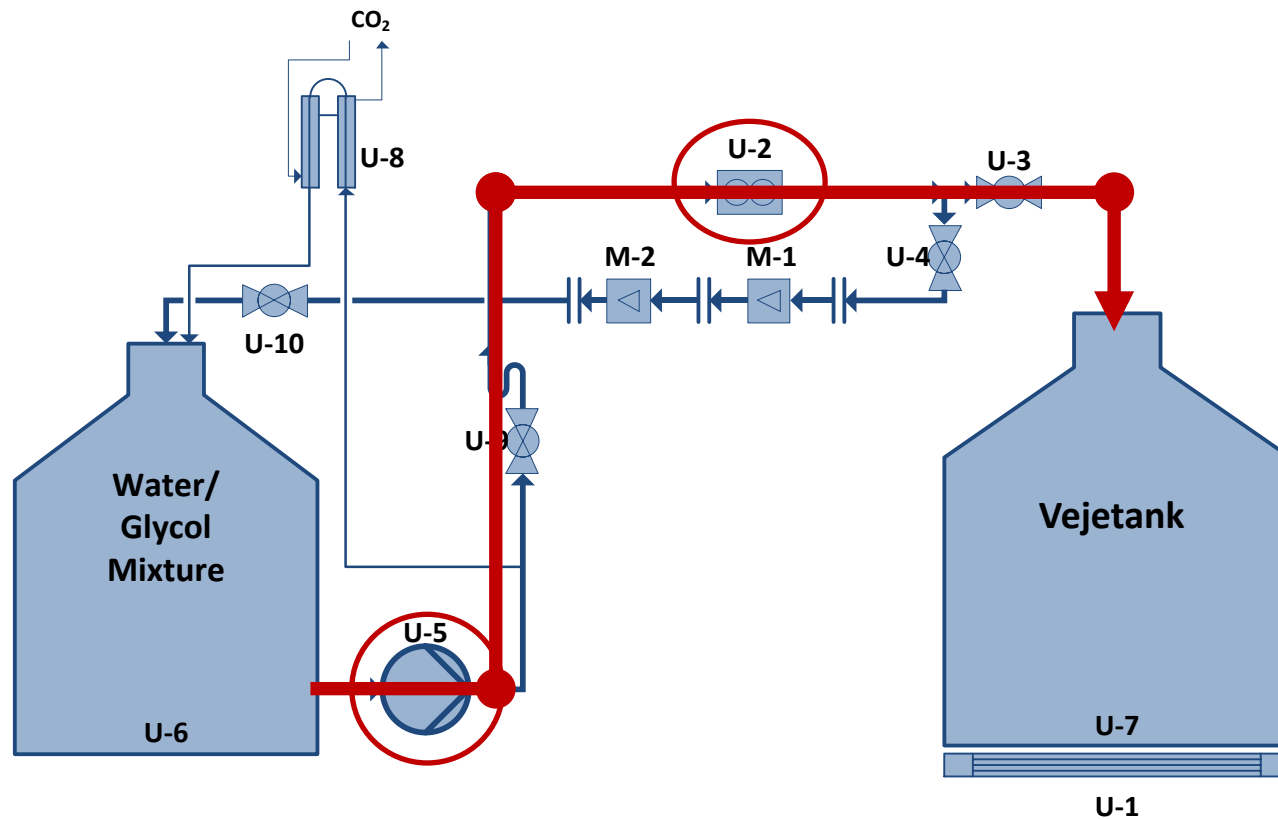


Setup'et

- Referenceflowmåler



TEKNOLOGISK
INSTITUT



Usikkerhed

- Reference flow meter



DANISH
TECHNOLOGICAL
INSTITUTE

- $M_{kølemiddel} = (M_{vægt} + M_{korr} + M_{is} + B) [Kg]$
 - $M_{kølemiddel}$: Masse af kølemiddel i vejetanken
 - $M_{vægt}$: Udlæsning på vægtens display
 - M_{korr} : Korrektion af vægtudlæsning
 - M_{is} : Estimering af is på ydersiden af vejetanken
 - B : Korrektionen for opdriften som følge af den fortrængte mængde luft i vejetanken

Usikkerhed

- Reference flowmåler



DANISH
TECHNOLOGICAL
INSTITUTE

- $M_{Korr} = K \cdot M_{vægt}$
- $B = \left(M_{vægt} \cdot \frac{1 - \frac{\rho_{luft}}{\rho_{lodder}}}{1 - \frac{\rho_{luft}}{\rho_{køleemiddel}}} \right) - M_{vægt} [kg]$
- $\rho_{air} = \frac{0.348444 \cdot p - h \cdot (0.00252 \cdot T - 0.020582)}{273.15 + T}$



Usikkerhedsbudget

- Vægt



TEKNOLOGISK
INSTITUT

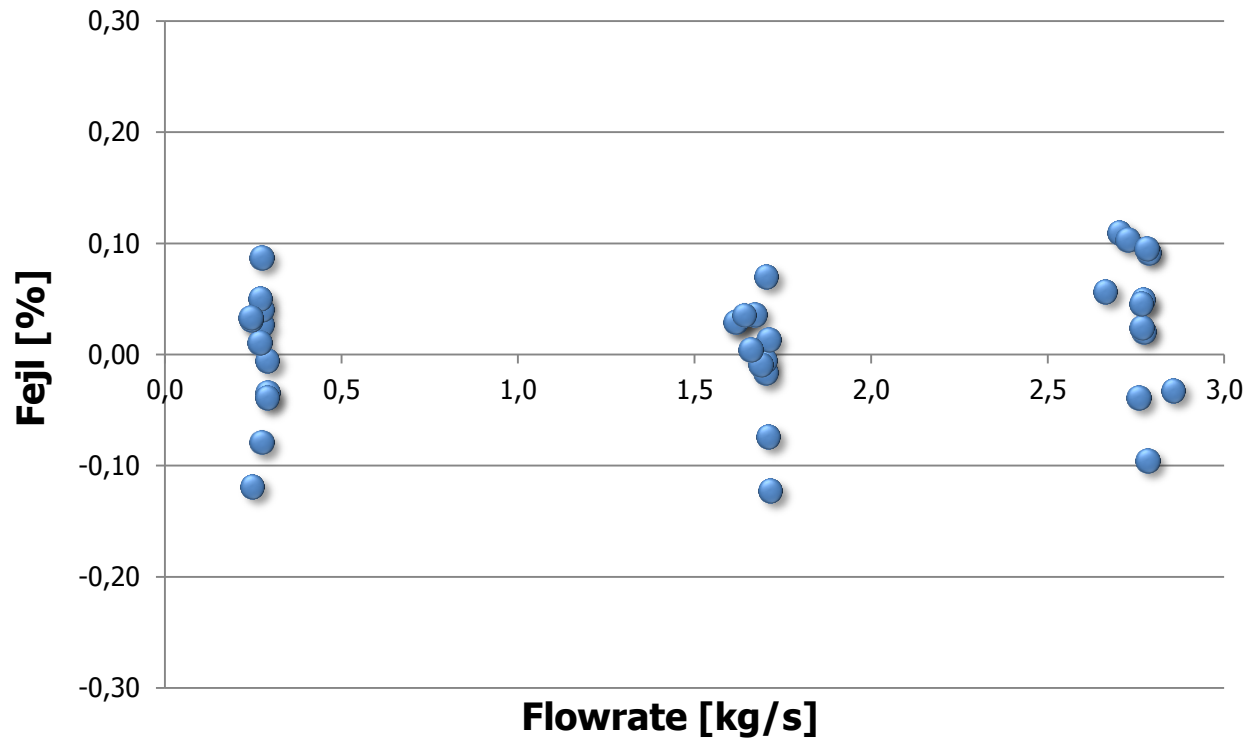
Quantity	Value	Std. afvigelse	Distribution	Sensitivity Coeff.	Uncertainty Cont.	Index
$M_{\text{vægt}}$	250.0 kg	$5.77 \cdot 10^{-3}$ kg	Rect.	1.0	$5.8 \cdot 10^{-3}$	0,0%
M_{is}	0.0 kg	0.289 kg	Rect.	-1.0	0.29	99,6%
ρ_{luft}	1.1885 kg/m ³	0.0386 kg/m ³				
ρ_{lodder}	8000 kg/m ³					
$\rho_{\text{kølemiddel}}$	1080 kg/m ³	54.0 kg/m ³	normal.	$-260 \cdot 10^{-6}$	-0.014	0.2 %
K	$330.0 \cdot 10^{-6}$	$22.3 \cdot 10^{-6}$	normal	250	$5.6 \cdot 10^{-3}$	0.0%
p	1013 mbar	28.9 mbar	Rect.	$240 \cdot 10^{-6}$	$6.9 \cdot 10^{-3}$	0.0%
h	50%rh	5.77%rh	Rect.			
t	20 °C	4.33 °C	Rect.	$-820 \cdot 10^{-6}$	$-3.5 \cdot 10^{-3}$	0.0%
$M_{\text{afvejning}}$	250.321 kg	Expanded uncertainty (k=2)		± 0.23%		

Kalibrering

- Referenceflowmåler



DANISH
TECHNOLOGICAL
INSTITUTE

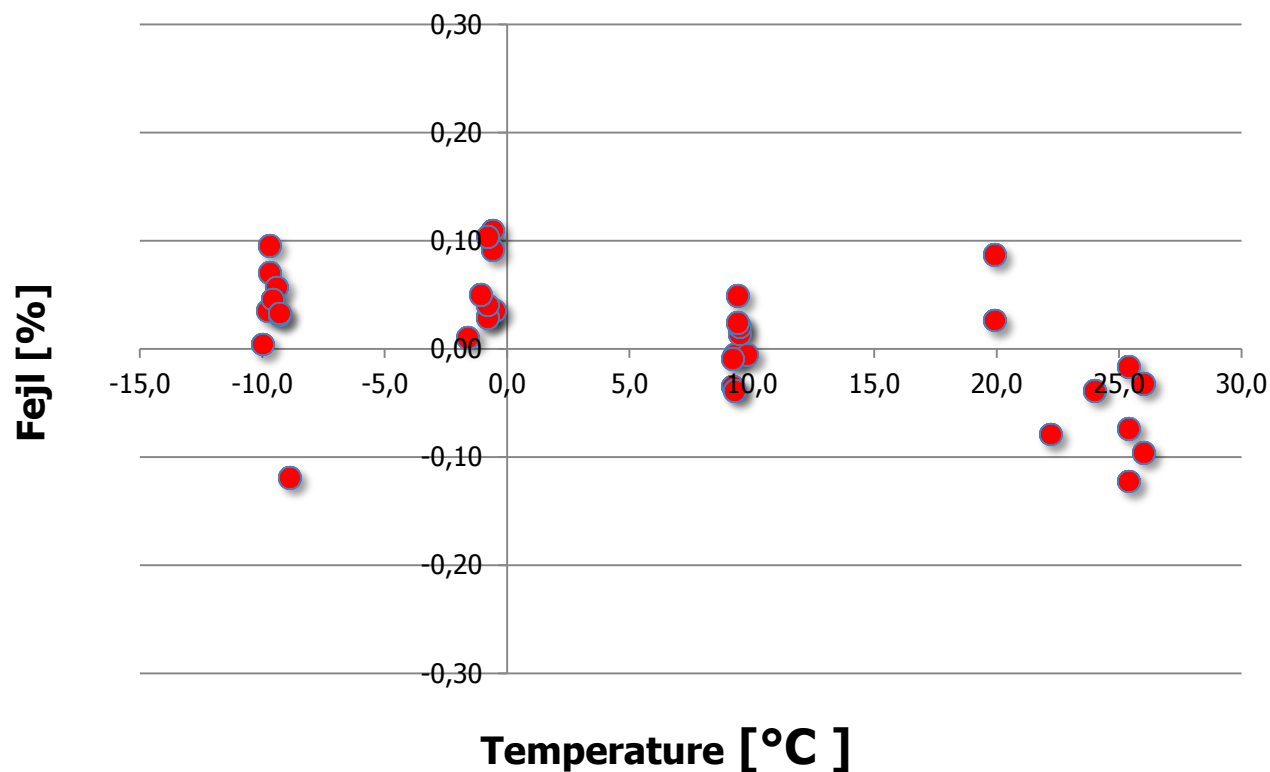


Kalibrering

- Reference flowmåler



DANISH
TECHNOLOGICAL
INSTITUTE



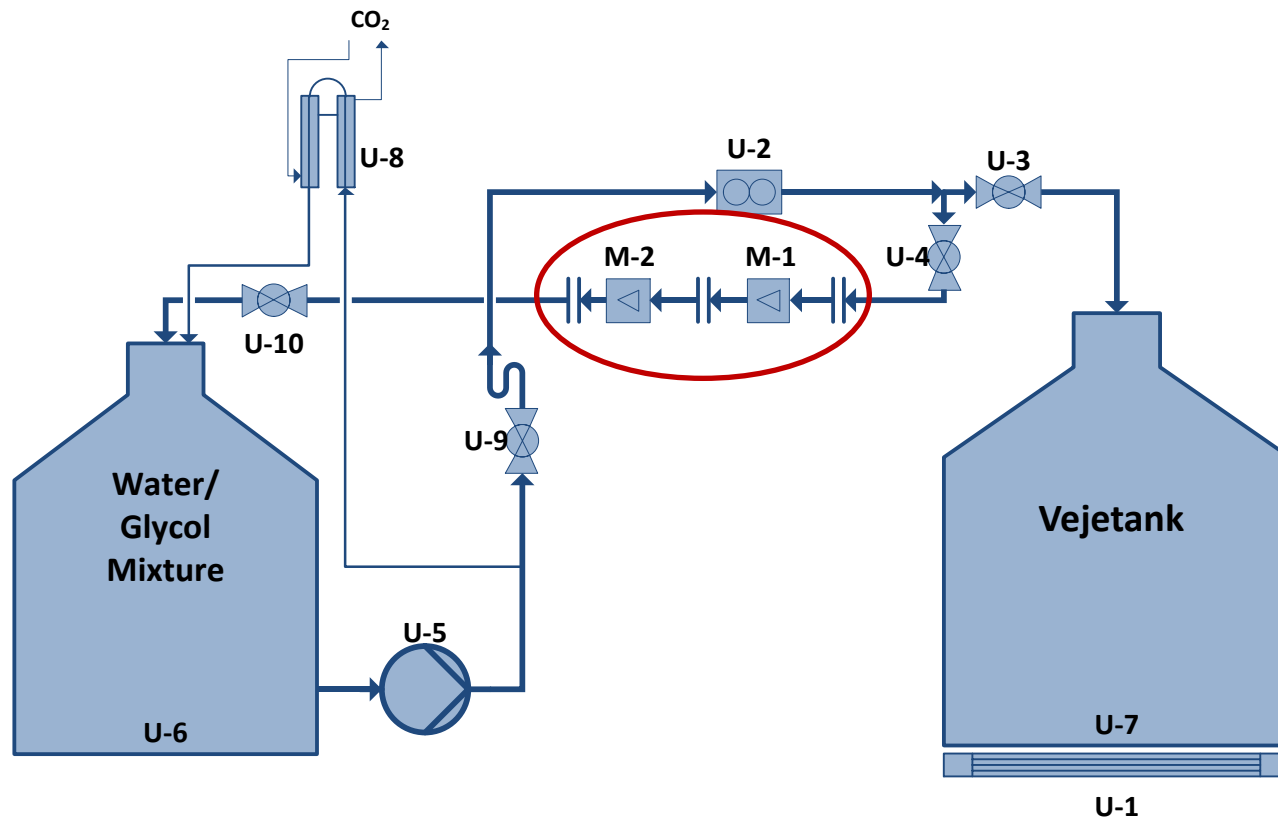
**Samlet usikkerhed på
referenceflowmålingen: $u(\text{ref}) = \pm 0.28\%$ ($k = 2$)**

Kalibrering af en måler

- Måler under test



DANISH
TECHNOLOGICAL
INSTITUTE

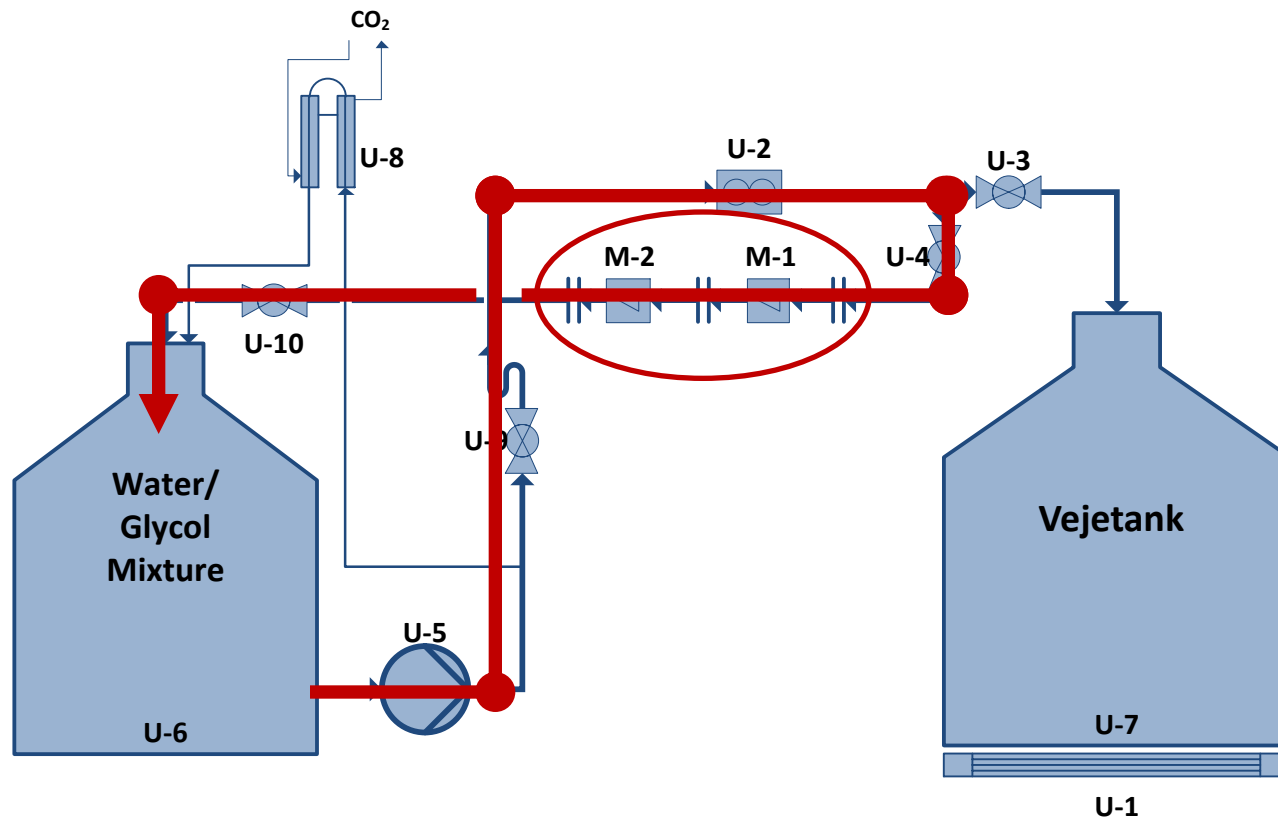


Kalibrering af en måler

- Måler under test



DANISH
TECHNOLOGICAL
INSTITUTE

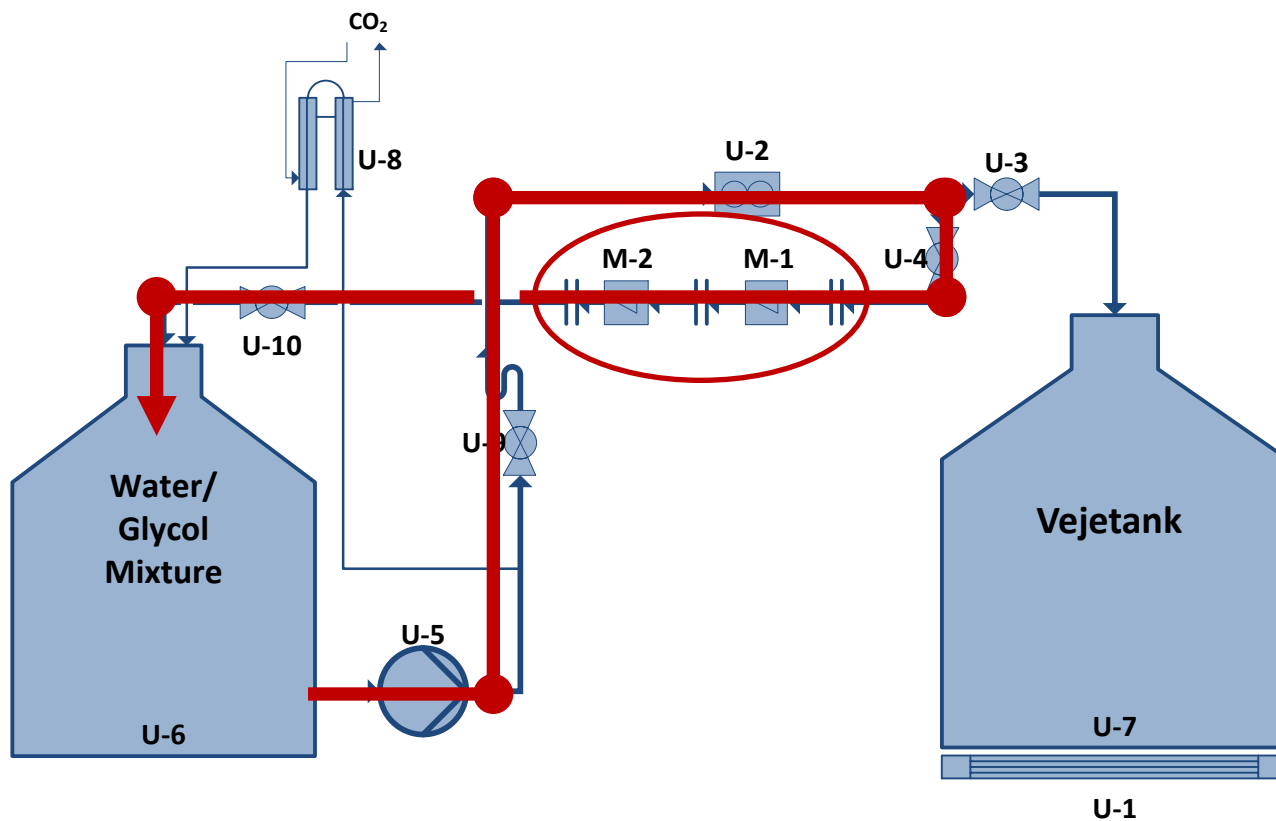


Kalibrering af en måler

- Måler under test



DANISH
TECHNOLOGICAL
INSTITUTE

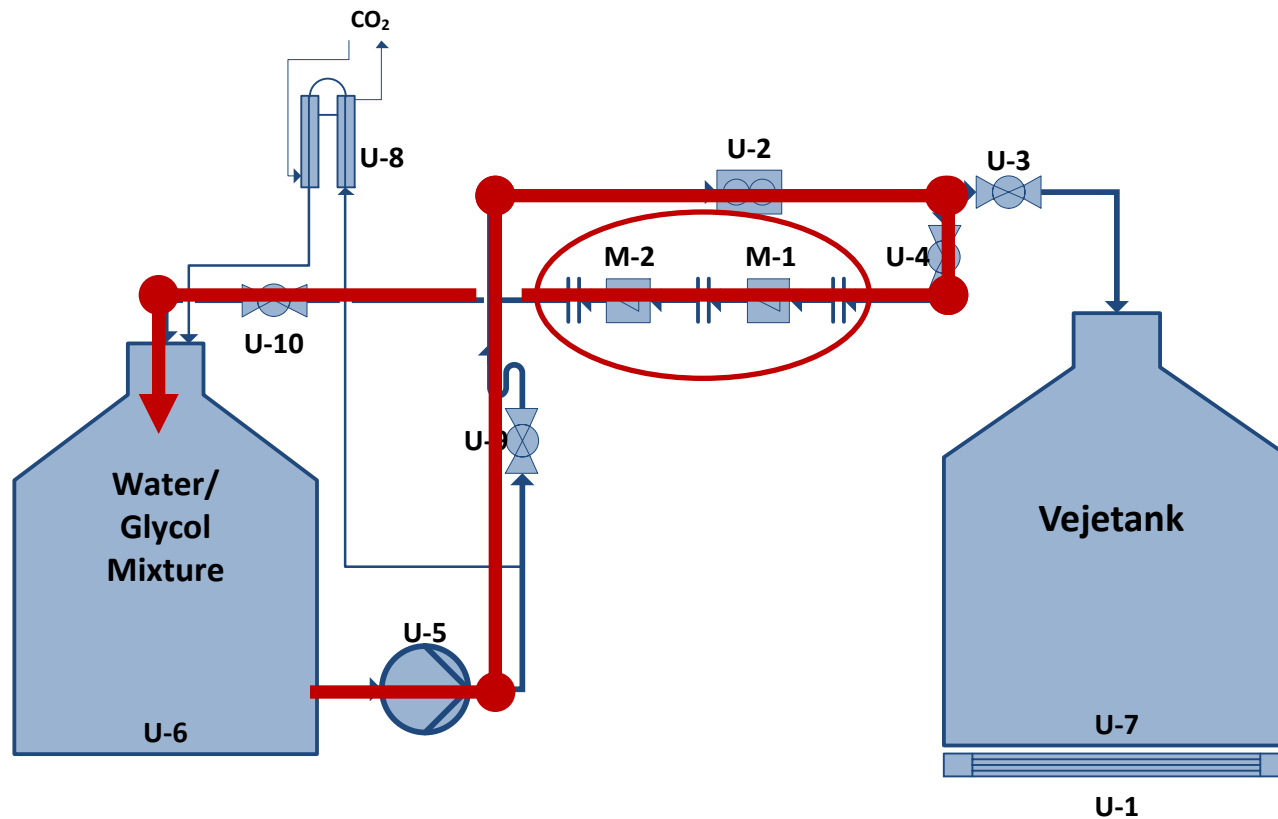


Kalibrering af en måler

- Måler under test



DANISH
TECHNOLOGICAL
INSTITUTE



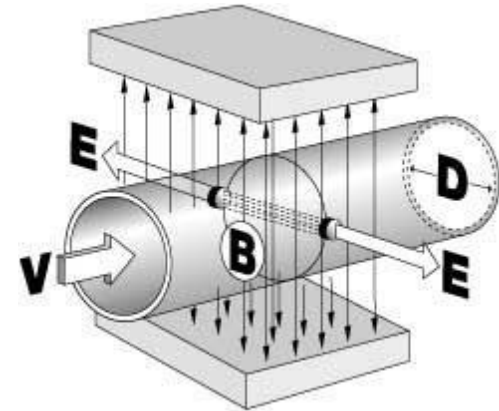
Kalibrering af en måler

- Referencens usikkerhed
 - Kalibreringsusikkerhed ($u(\text{ref}) = 0.28 \%$)
 - Stabilitet af reference flowmåleren med tiden
- Usikkerheden ved konverteringen fra kg/s (ref. måleren) til m^3/s (måler under test)
- Temperaturstabilitet af køleblandingen under kalibreringen.



Kalibrering af en MAG måler

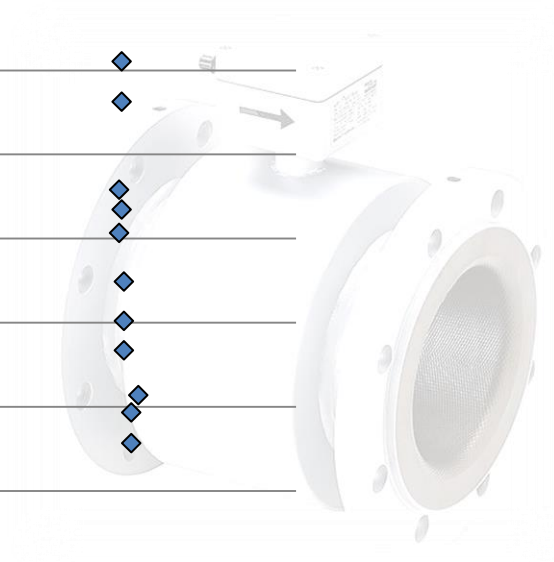
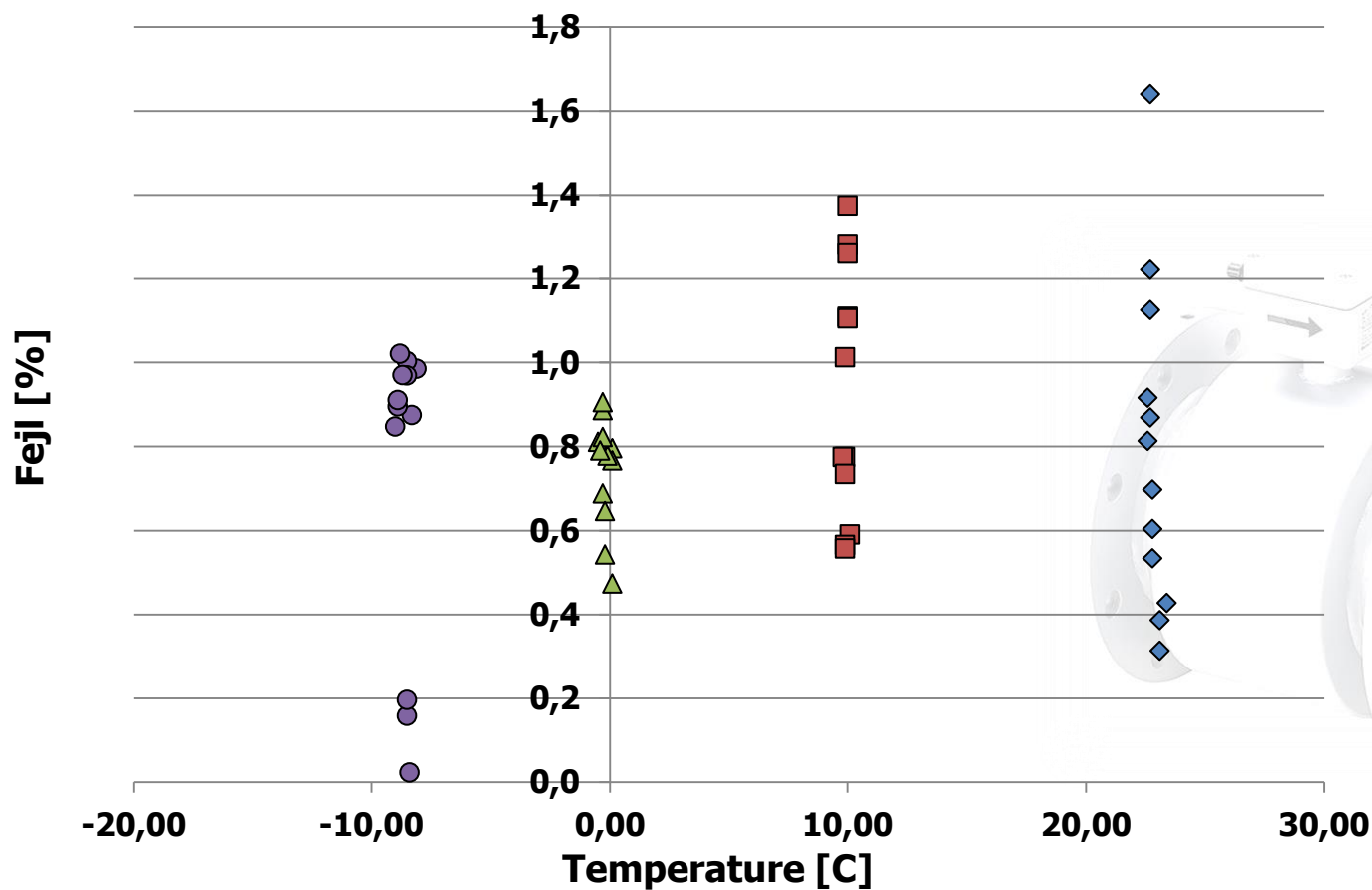
- Temperaturniveauer:
 - 22 °C, 10 °C, 0 °C, and -10°C
- Flowrater
 - 0.3 kg/s, 0.6 kg/s, 1.4 kg/s, 2.8 kg/s
- Viskositet
 - Interval fra ~ 0.0027 Pa·s (2.7 cP) til ~ 0.009 Pa·s (9 cP)
- Reynoldstal niveauer
 - Interval fra ~ 1100 til ~ 33000



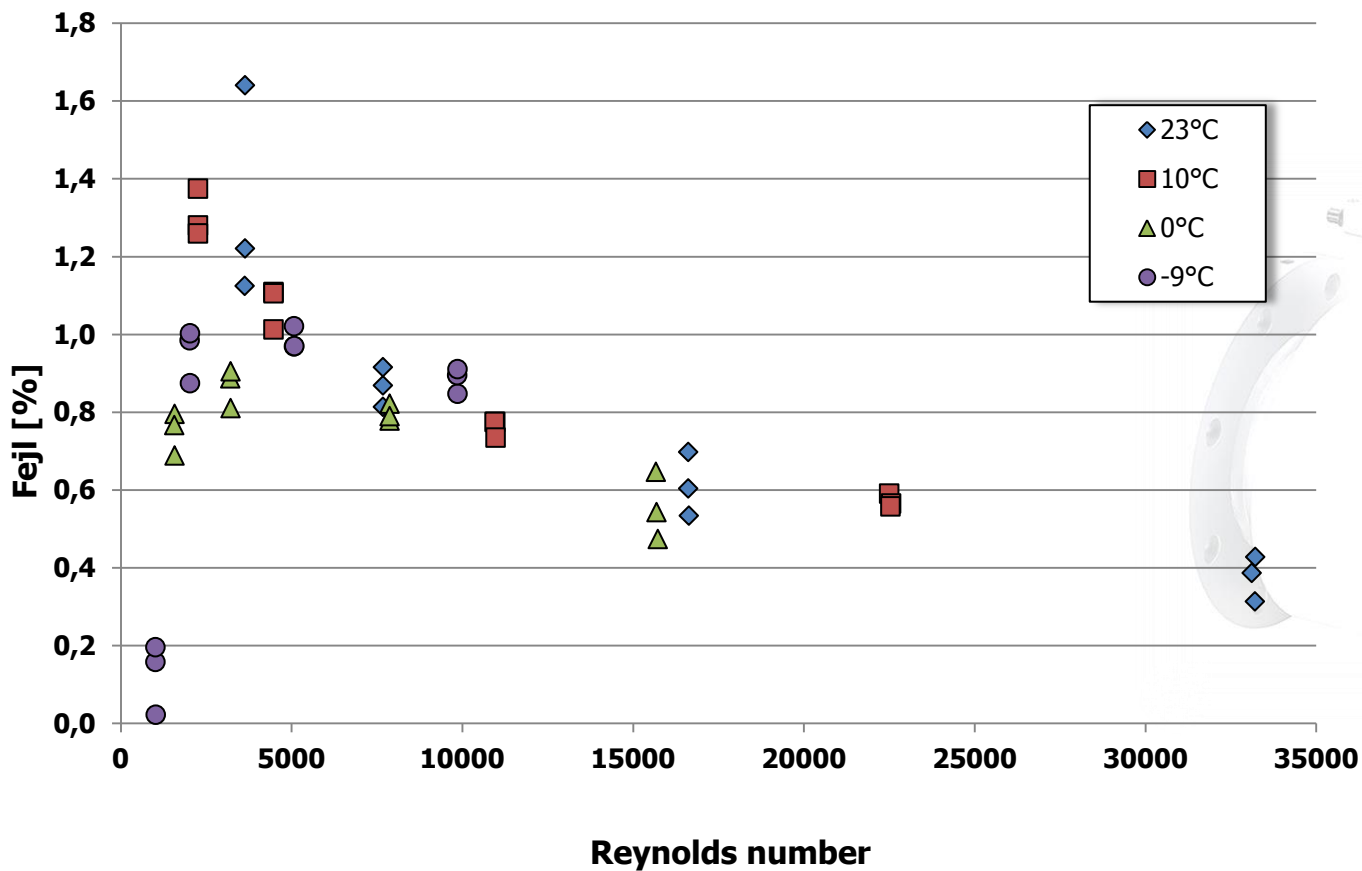
Temperaturafhængighed



TEKNOLOGISK
INSTITUT



Reynoldtal-afhængighed



Fremtidige tests

- Kalibrering af testmåleren på en akkrediteret flow prøvestand med vand
- Kalibrering ned til -20 °C på den nye facilitet
- Teste andre målere baseret på andre flowmålingsprincipper
 - Ultralydsmåler
 - Vortexmåler



Konklusion



TEKNOLOGISK
INSTITUT

- Prototypen/konceptet er velegnet til at foretage kalibrering af flowmålere, der anvendes i køleanlæg, ned til $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ eller lavere.
- Kalibreringer på prototypen kan foretages med et usikkerhedsinterval der højst er $\pm 0.3\text{ }\%$.

