



# Tekniske og operasjonelle erfaringer fra etablering av hydrogenmålestasjon til grønn hydrogenproduksjon

NFOGM fagdag, 2026-03-19

Dagfinn Mæland

Christian Hågenvik

Bjørn Horgen



# Agenda

- Bakgrunn HyPilot & hydrogenmålestasjon
- Valg av måleprinsipp
- Kalibrering hos DNV
- Oppsett målestasjon
- Flow beregninger, inkludert live usikkerhetsberegninger
- Operasjonserfaringer og resultater
- Konklusjoner



# HyPilot (JIP)

- Første felt-demonstrasjon av Hystars patenterte PEM-elektrolyserteknologi
- Elektrolysøren vil kjøres mot simulerte fornybare energiprofiler for å demonstrere dynamisk driftskapasitet
- ~1,2 MW installasjon med en H<sub>2</sub>-produksjonskapasitet på 23 kg/t
- Prosjektperiode: Q2 2022 – 2026 (med muligheter for forlengelse)

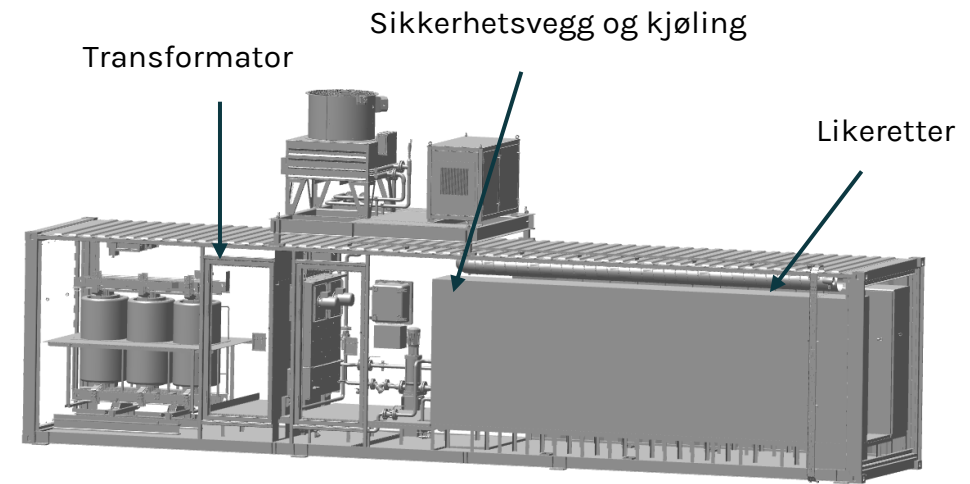


# Kraftkonvertering

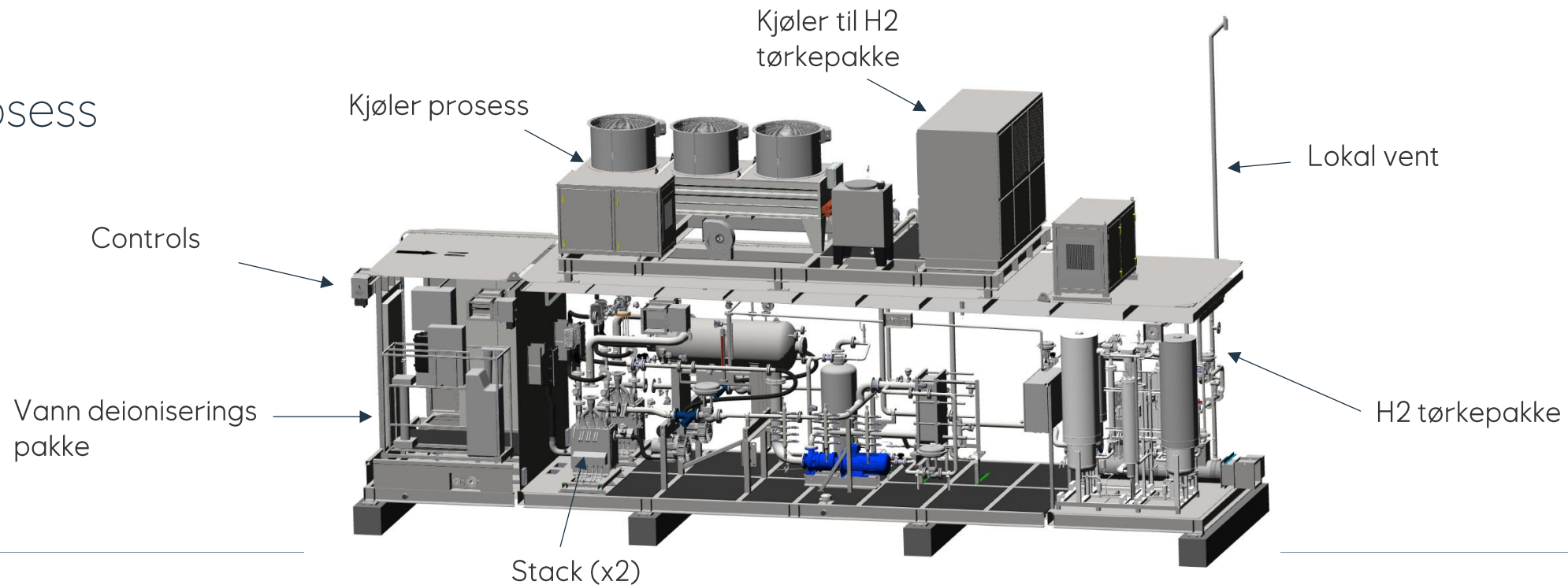


## Formål:

- Konvertere nettspenningen til nødvendige nivåer for stacken
  - 22 kV vekselstrøm inn
  - Konverteres til under 1000 V likestrøm
- Stor påvirkning på systemeffektiviteten
- Kan korrigere nett- forstyrrelser / effektfaktorkorreksjon

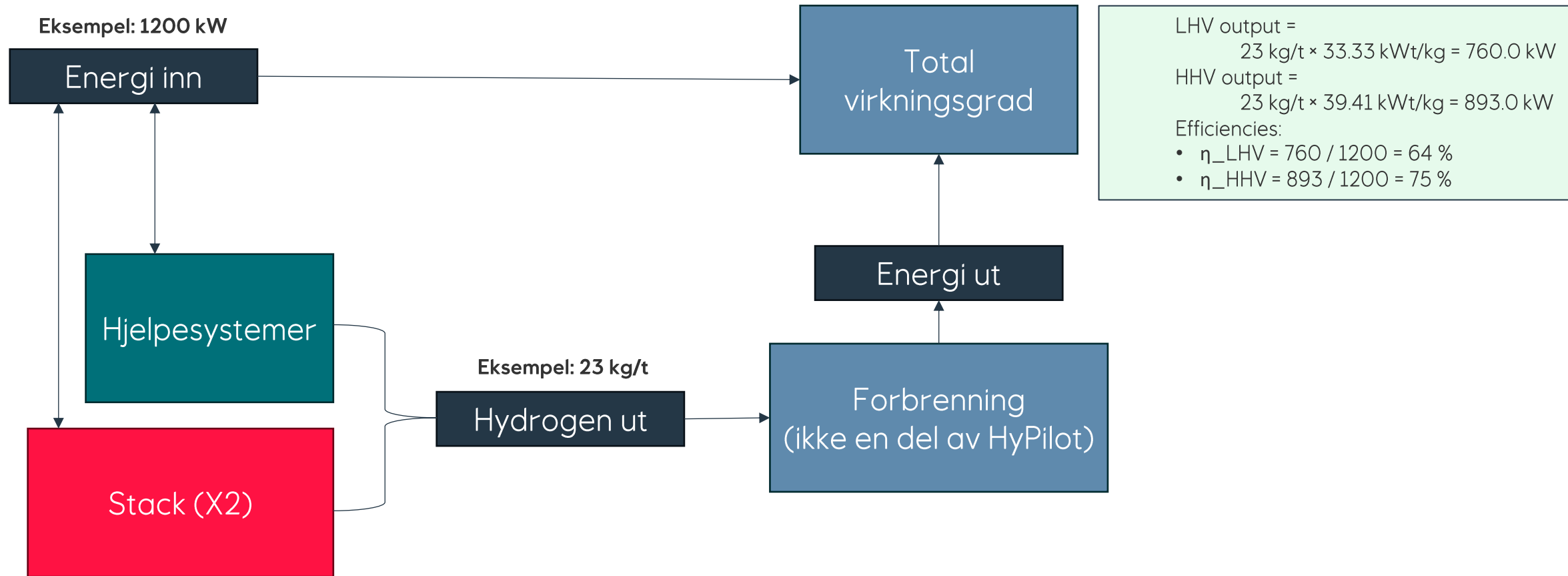


## Prosess





# Etablere virkningsgrad på stack og på totalsystemet



NB: Eksempelverdier er hypotetiske og ikke basert på reell ytelse



## Flowmåling

HyStar har egen flowmåling i prosessmodul

Equinor ønsket å bygge en målestasjon nedstrøms HyStar containere

- Få erfaring med hydrogenmåling
- Kvalitetssikre hydrogenmåling → kvalitetssikre virkningsgradsdata
- Muliggjøre testing av utstyr for måling og analyse på hydrogen, med sporbar referansemåling



## Valg av måleprinsipp

### Krevende betingelser

- **Trykk:** 2-5 bara
- **Temperatur:** 0-50 °C
- **Flow:** 0-20 kg/h
- **Lav gassetthet**

### Målerprinsipp:

- Coriolis
- Ultralydmåler
- Termisk massestrømsmeter
- DP baserte målinger (venturi og V-cone)



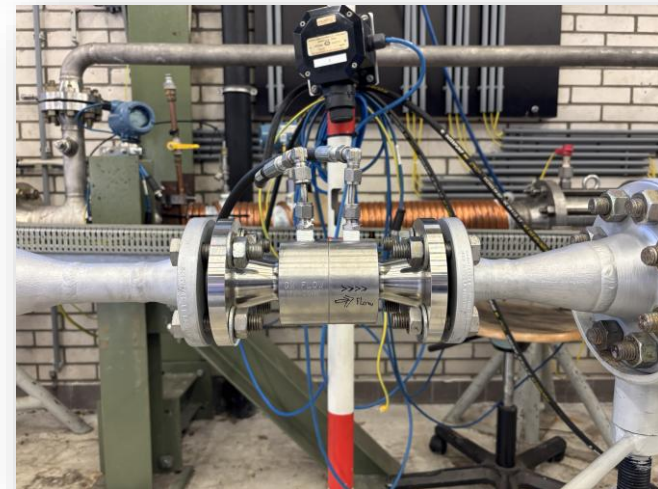
GM HyCone  
24 mm inlet diameter (1")  
0.55 beta



FCI ST80 termisk  
massestrøms meter

## Kalibrering hos DNV Groningen

- Sporbare referansemålinger
  - Kalibrert ved ISO 17025 akkrediterte laboratorium
  - 4" Elster turbinmeter
  - Trykk, temperatur og differensialtrykk
- Tetthet fra komposisjon, P&T (GERG-2008)
  - Komposisjon fra prøve
- Baseline - 1 bara N2
- 4 ulike trykk med H2 (2.5, 4.5, 8, 12 bara)
- Discharge coefficient etablert som funksjon av Reynoldstall
- Reynoldstall fra 9000 til 100 000 (ved høyeste trykk)
  - Begrensning i max rate på lavere trykk
- Minimum 3 repetisjoner per punkt

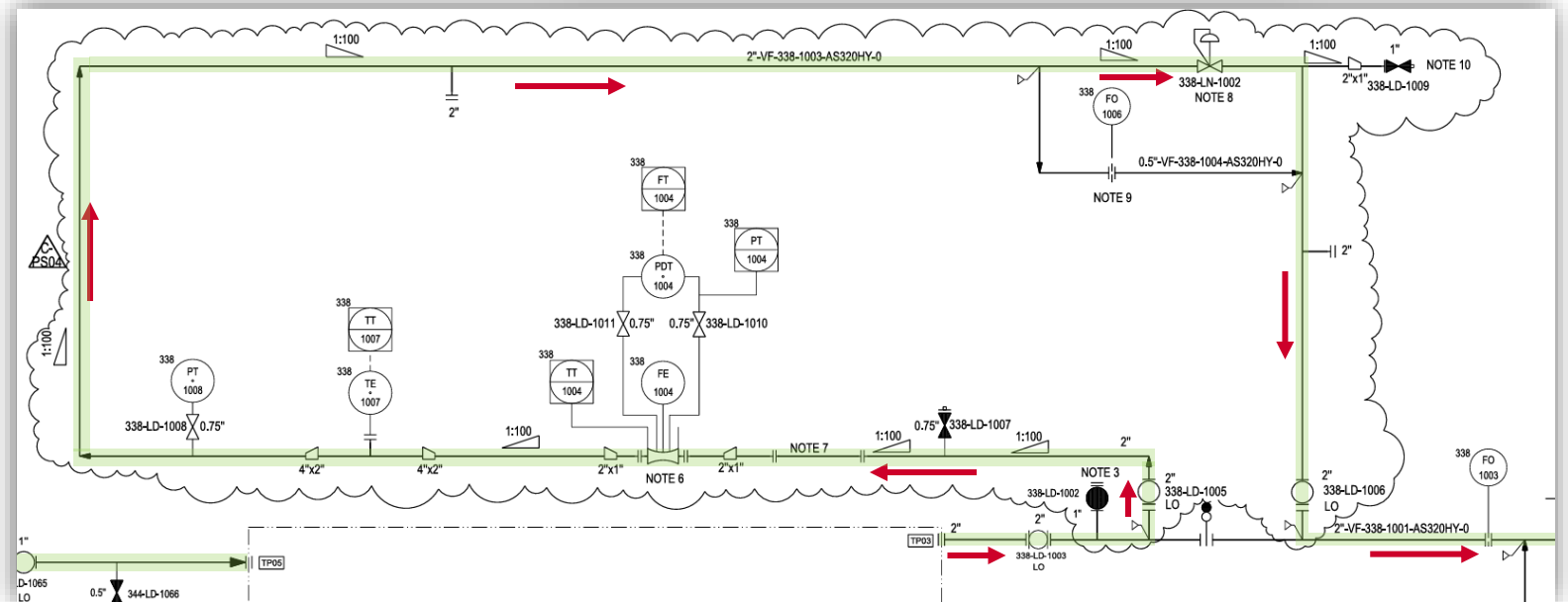






# Oppsett målestasjon

- HyCone referanse flowmåling (1")
  - 50 D oppstrøms rettstrekk, 40 D nedstrøms
- Trådløs instrumentering på PT, TT og PDT (wireless HART)
  - Akkreditert kalibrering
- Brille i stengt posisjon for å forhindre lekkasje by-pass målesløyfe
- Baktrykks regulator for å holde konstant trykk



## Sammensetning produsert hydrogen

- Høy renhet ( > 99.9 mol% H<sub>2</sub>)
- Urenheter måles basert på prøvetaking
  - Flow through cylinder
- Analysert hos Expro Petrotech Haugesund

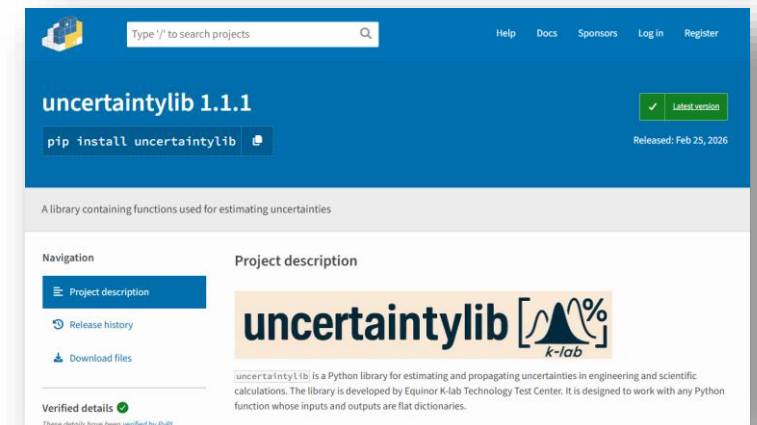
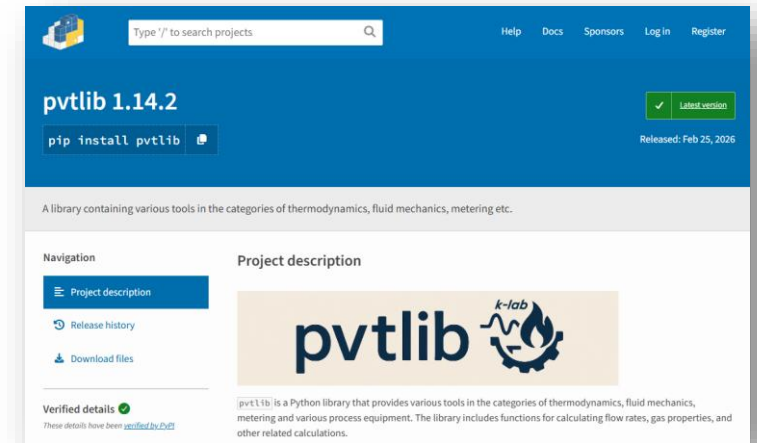
Component	Weight%	Mol%	MW g/mol
H2	99.774	99.984	2.016
N2	0.226	0.016	28.013
Ar		<0.002	34.948
O2	ND	ND	31.999
CO2	ND	ND	44.010
<b>Total</b>	<b>100.000</b>	<b>100.000</b>	





# Flow- og usikkerhetsberegninger (live)

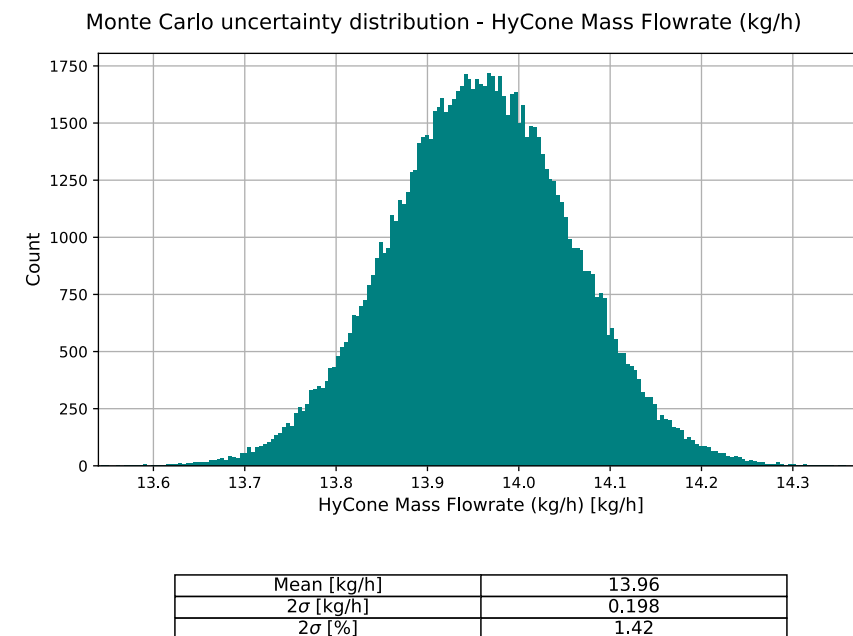
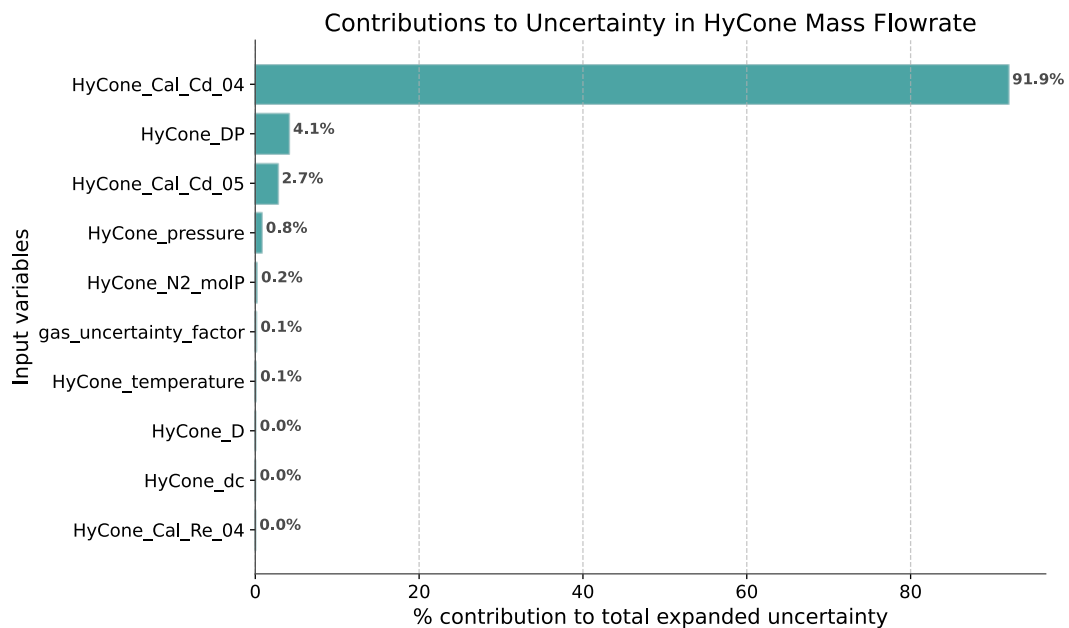
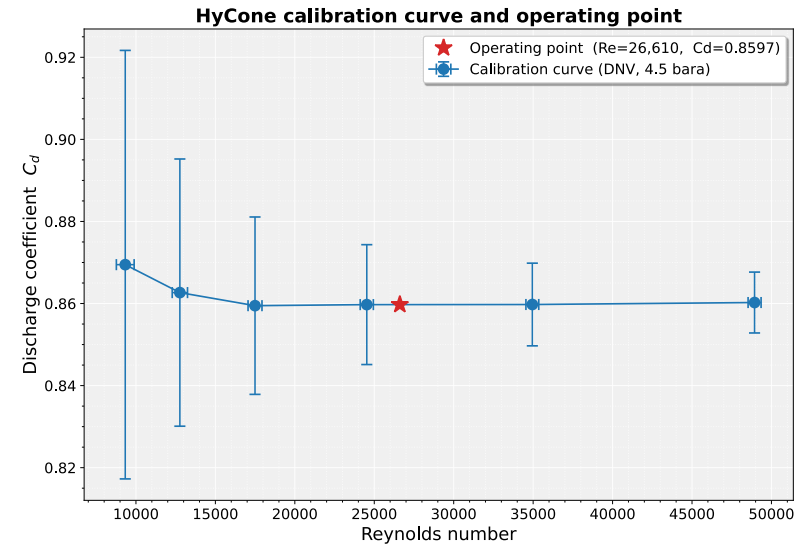
- Basert på Open Source Python kode
  - **pvtlib:**
    - V-cone beregning (ISO 5167-5:2022)
    - Gassegenskaper vha GERG-2008
  - **uncertantylib**
    - Beregning av standard usikkerhet (sensitivitetskoeffisienter)
    - Beregner usikkerhetsbidrag fra input
    - Monte Carlo simulering
  - **NeqSim**
    - Viskositetsberegning (CSP modell)
    - Leachman modell for hydrogen tetthet (kun brukt til sammenligning)
      - Identisk som GERG-2008 ved disse betingelsene
      - Støtter ikke alle urenheterne
- Live beregninger i Azure med 1 sekunds oppløsning
- Live usikkerhetsberegninger
  - Numerisk beregning av sensitivitetskoeffisienter
  - Tar hensyn til usikkerhet i alle input, inkludert kalibreringskurve





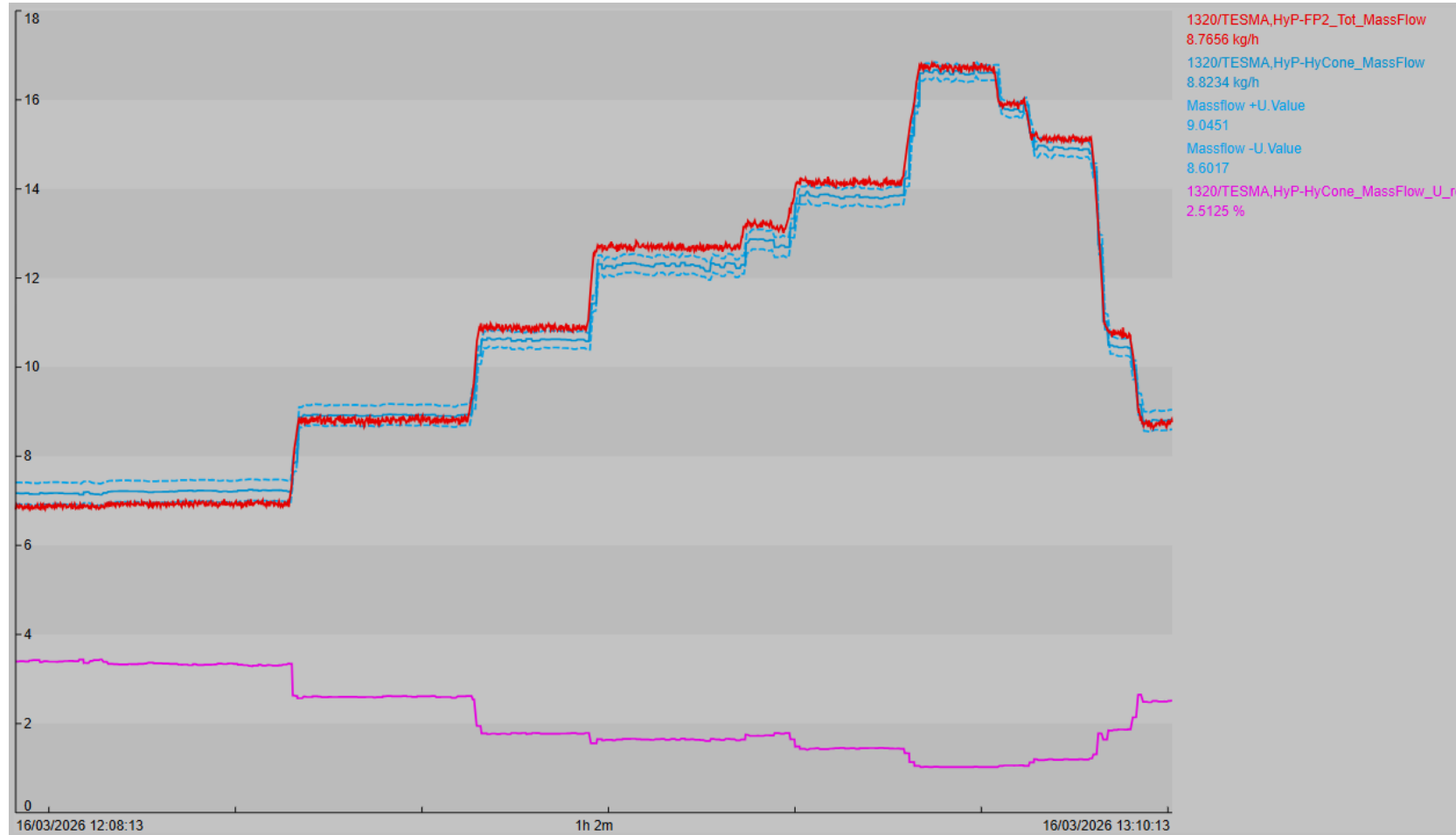
# Usikkerhetsberegninger

- Usikkerhet fra Monte Carlo + standard usikkerhetsberegning
- Kalibreringsusikkerhet gir størst bidrag i usikkerhet
- Flow + usikkerhet regnes live og skrives til PI





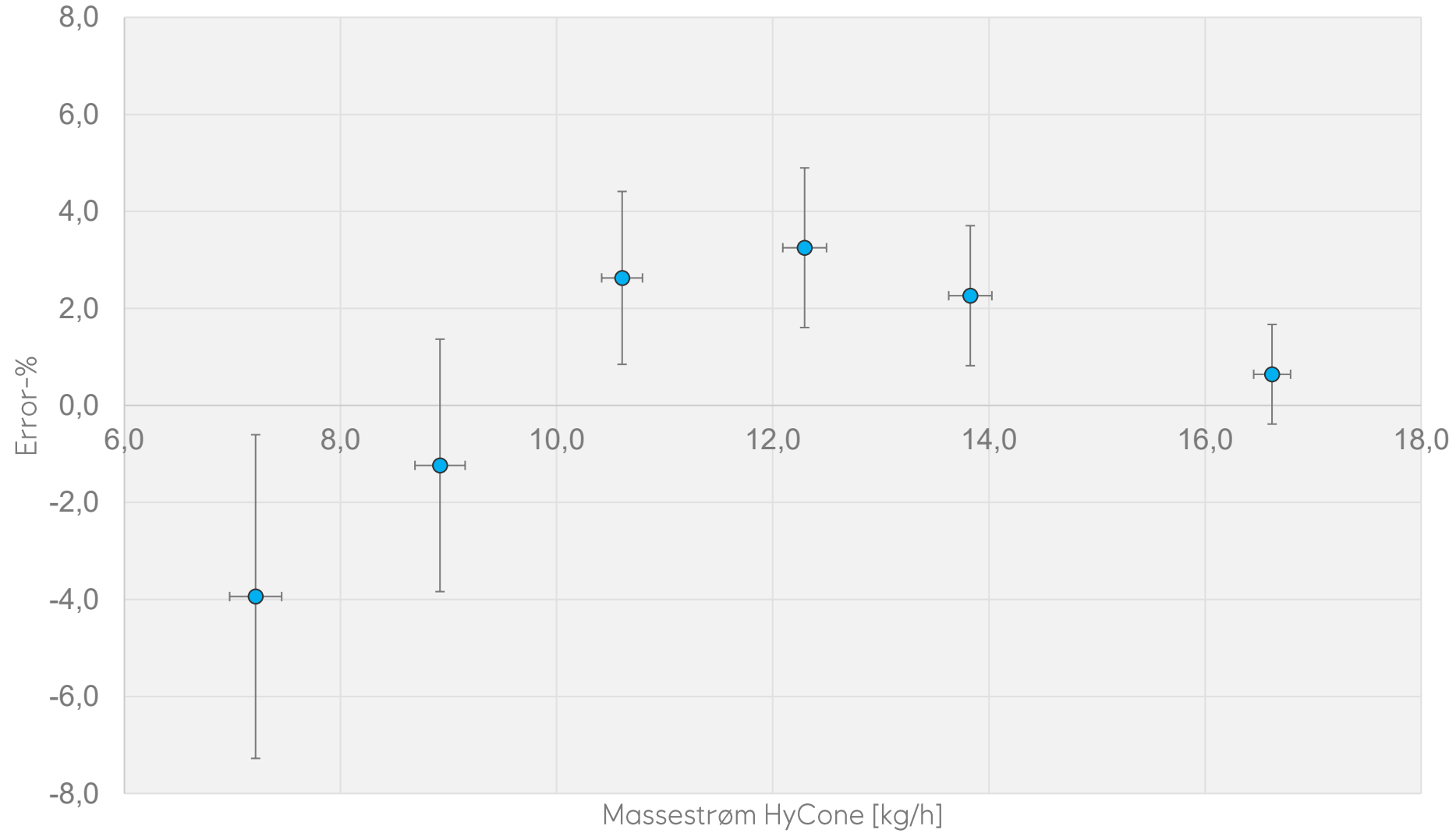
# Driftsdata hydrogenmålestasjon



- Massestrøm HyCone (kg/h)  
+ usikkerhet ( $k=2$ )
- Massestrøm FCI ST80 (kg/h)  
Termisk massestrømsmåler
- Live usikkerhet i massestrøm  
HyCone (% ,  $k=2$ )



## Sammenligning ST80 vs HyCone



\*HyCone er brukt som referansemåling. Usikkerheter tar kun hensyn til usikkerhet i referansen, ikke usikkerhet i ST80 måleren



# Oppsummering

- PEM elektrolyse produserer hydrogen ved lavt utløpstrykk, som kan være måleteknisk utfordrende
- GM HyCone ser ut til å fungere bra i denne applikasjonen
  - Relativt konstant discharge coefficient for Reynoldstall fra 9000 til 100 000
- Bra samsvar mellom termisk massestrøms meter og GM HyCone. Avvikene ligger stort sett innenfor usikkerheten til HyCone (referansemåling).
- Godt samsvar i massestrøm mellom FCI ST80 og GM HyCone vil kunne indikere høy renhet på hydrogenet



## Tekniske og operasjonelle erfaringer fra etablering av hydrogenmålestasjon til grønn hydrogenproduksjon

Dagfinn Mæland, Christian Hågenvik, Bjørn Horgen

© Equinor ASA

This presentation, including the contents and arrangement of the contents of each individual page or the collection of the pages, is owned by Equinor. Copyright to all material including, but not limited to, written material, photographs, drawings, images, tables and data remains the property of Equinor. All rights reserved. Any other use, reproduction, translation, adaption, arrangement, alteration, distribution or storage of this presentation, in whole or in part, without the prior written permission of Equinor is prohibited. The information contained in this presentation may not be accurate, up to date or applicable to the circumstances of any particular case, despite our efforts. Equinor cannot accept any liability for any inaccuracies or omissions.

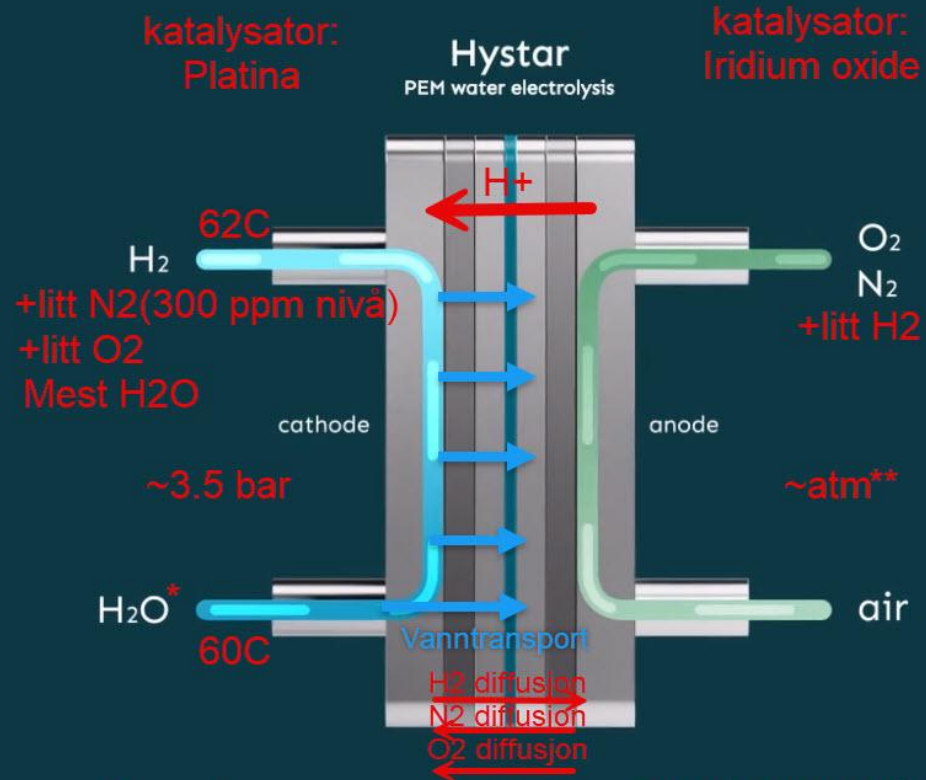


# Backup slides



Renhet H2 etter tørking og deoksignering:  
99.999 mol% ca. Hydrogen 5.0 kvalitet  
Uvisst hvor rent det blir ved transienter.

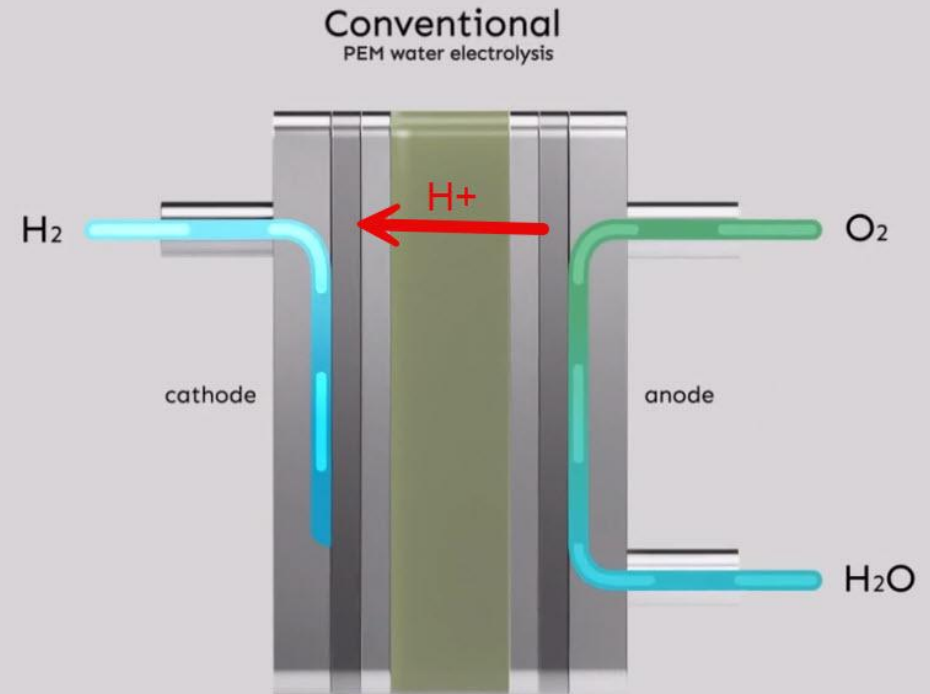
~96% renhet  
før tørking



Operasjons  
temp:  
50-60C

\* H<sub>2</sub>O på katodeside for å kunne ha  
luftsirkulasjon på anode side.

\*\*Grunnen til atm på anodeside: O<sub>2</sub> oksiderer  
og ødelegger katoden. Derfor ønsker man å  
minimere diffusjon fra anode



00:50



## Hydrogen: LHV and HHV – Standard Reaction Enthalpies

- Standard reactions (25°C, 1 bar):
  - HHV:  $\text{H}_2 + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 
    - $\Delta H^\circ = -285.83 \text{ kJ/mol} = 39.41 \text{ kWh/kg}$
  - LHV:  $\text{H}_2 + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 
    - $\Delta H^\circ = -241.82 \text{ kJ/mol} = 33.33 \text{ kWh/kg}$



## PEM Electrolyzer Performance – Input Data

- Operating conditions:
  - Hydrogen mass flow: 6 kg/h
  - Current: 1475 A
  - Voltage: 170 V
  - Electrical input power =  $170\text{V} \times 1475\text{A} = 250.75\text{ kW}$

### Efficiency Based on LHV and HHV

- Hydrogen energy output:
  - LHV output =  $6 \times 33.33 = 200.0\text{ kW}$
  - HHV output =  $6 \times 39.41 = 236.5\text{ kW}$
  - Efficiencies:
    - $\eta_{\text{LHV}} = 200 / 250.75 = 80\%$
    - $\eta_{\text{HHV}} = 236.5 / 250.75 = 94\%$