



Transkritisch en subkritisch gedrag supermarkt-gaskoeler

Geert Doornbos – Post HBO Koudetechniek

COOLING MATTERS - SAMEN AAN DE SLAG MET CO₂ REDUCTIE



Woerden, 30 maart 2023

*Transkritisch en
subkritisch gedrag
van een
supermarkt
gaskoeler*



Geert Doornbos | Post-HBO Koudetechniek

Kees van Heiningen | Post-HBO Koudetechniek

Jan Gerritsen | Post-HBO Koudetechniek | GEA

Bart van der Wekken | Post-HBO Koudetechniek | Koning

Inhoud

Is een 2K approach moeilijk bij het ontwerp van een CO₂-gaskoeler?

- Masterclass CO₂
- Metingen
- Resultaten
- Conclusies en outlook

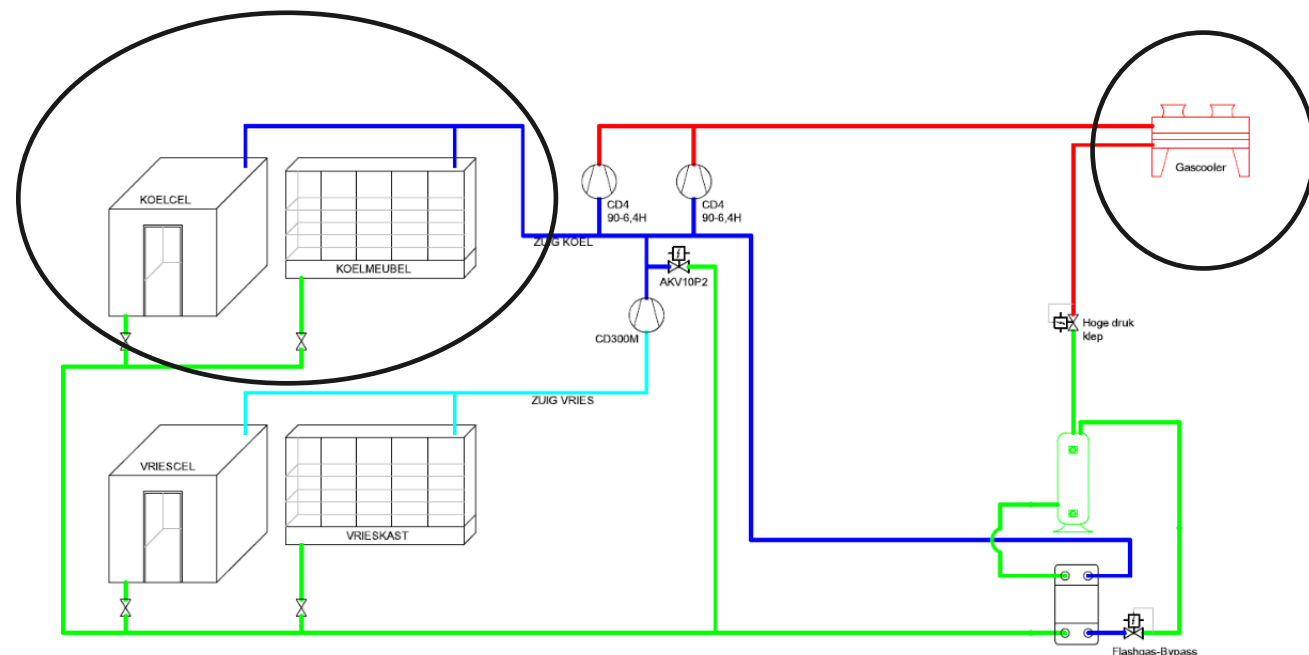
Experimentele opzet

Set-up (Koning Koudetechniek Bakel):

- Laboratorium supermarkt 250 m²
- Transkritisch CO₂-boostersysteem
- Koelmeubel & koelcellen

Test condities:

- Constante koellast (gemonitord)
- Stapsgewijs variëren “omgevings”-temperatuur
- Constante ventilatorsnelheid 67%

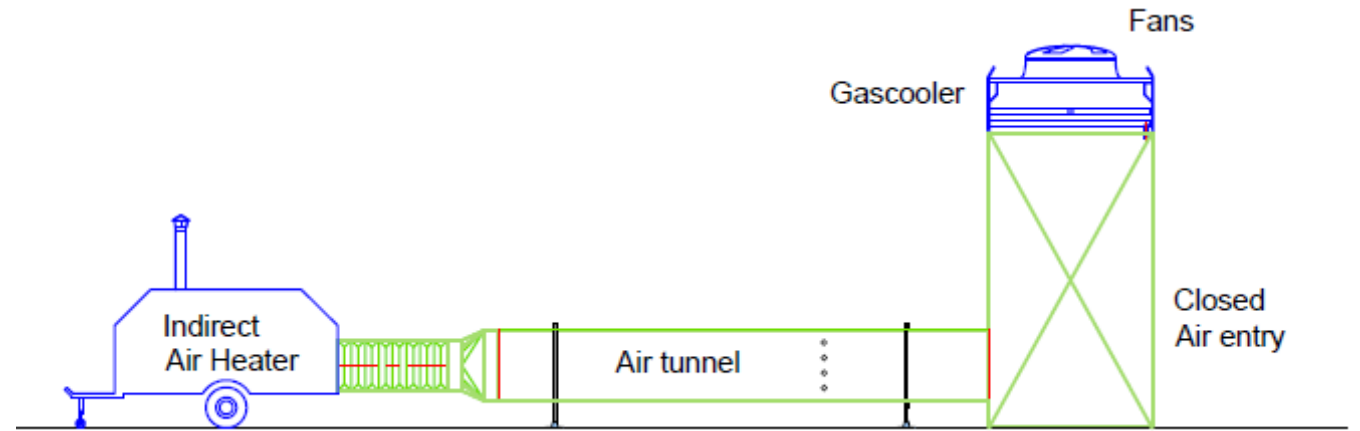


Parameter	Unit	Value
Indoor	°C	21,2 - 21,5
Mains voltage	V	394 - 398
Suction MT	bar _a	25,1 – 25,3

Experimental set-up

Gas koeler set-up:

- Gesloten luchttoevoer systeem
- Luchtverhitter (diesel) om omgevingstemperatuur te variëren
- Luchttunnel om het luchtdebiet te meten

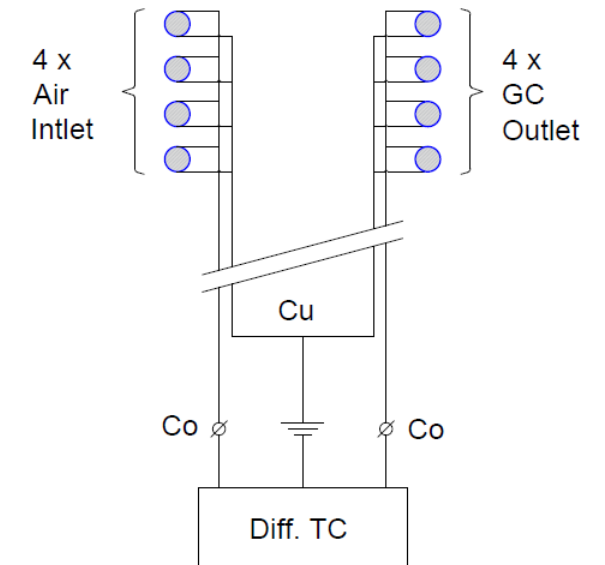


Meetsysteem:

Datalogging systeem voor T-type sensoren met:

- 4 inlaat en 4 uitlaat luchttemperatuur sensoren
- 19 gas temperatuur sensoren (op de buis; geïsoleerd)
- 1 *approach* temperatuur sensor

Twee precisie-manometers (inlaat/uitlaat GC)



Approach sensor

Data reduction

Air side

- From air flow to mass flow
- From air conditions to air side thermal load
- Check thermal heat load to be constant

Refrigerant side

- From temperature and pressure to enthalpy
- From energy balance to mass flow

Temperature differences heat exchange

- DT1 (subcritical: condensing – air inlet)
- Real subcooling (subcritical)
- Approach (leaving gas – air inlet)

$$\begin{aligned} \dot{m}_a &= \rho_a(T, RH, p_{amb}) \dot{V}_a \\ \dot{Q}_a &= \dot{m}_a (h_{a,o} - h_{a,i}) \\ T_{a,i}, T_{indoor}, p_{suc}, V_{mains}, & \text{ to be constant} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{r,i}(p_i, T_i) - h_{r,o}(p_o, T_o) &= \Delta h_r \\ \dot{m}_r &= \dot{Q}_a / \Delta h_r \end{aligned}$$

$$DT1 = T_{cond} - T_{a,i}$$

$$\Delta T_{sub} = T_{sat}(p_{r,o}) - T_{r,o}$$

$$DT_A = T_{r,o} - T_{a,i}$$

Verwachting

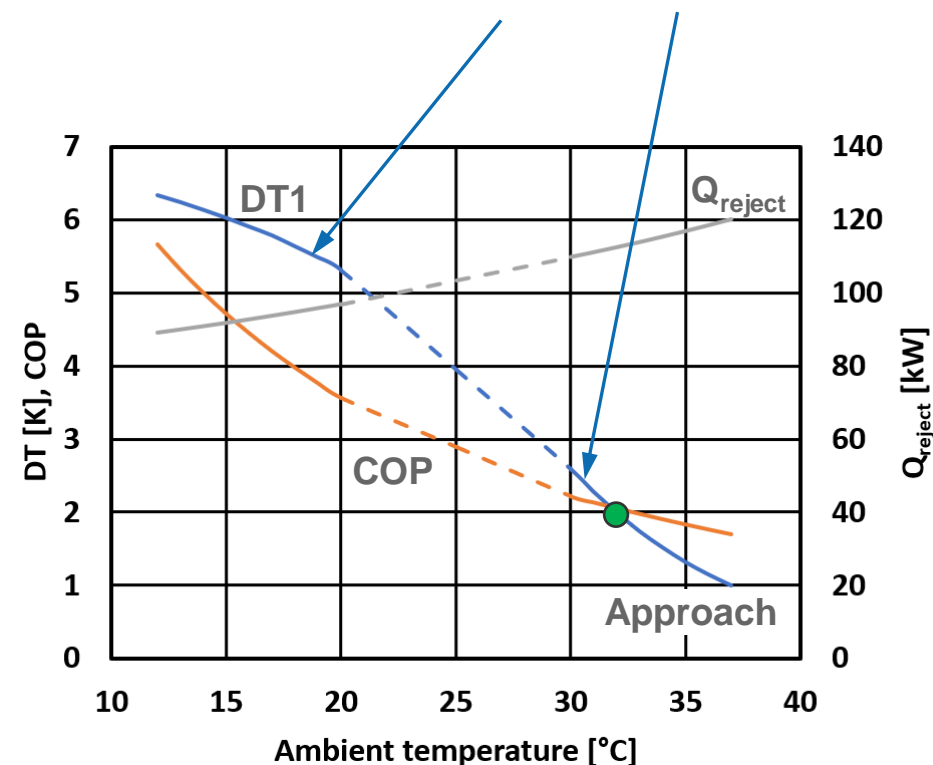
Stelsel berekening:

- Vaste koellast 75 kW
- Constante compressor efficiency 55%
- **Referentiepunt:** 2 K approach @ 32°C
- Herberekende condensor/gaskoeler DT van 12 tot 37°C omgevingstemperatuur

Warmte-afgifte model:

- Condensor: 2-traps: desup + cond
- Gaskoeler: 12 stappen energiebalans met gelijktijdige warmteoverdracht en drukval

Waarom dalen de DT1 en de Approach?

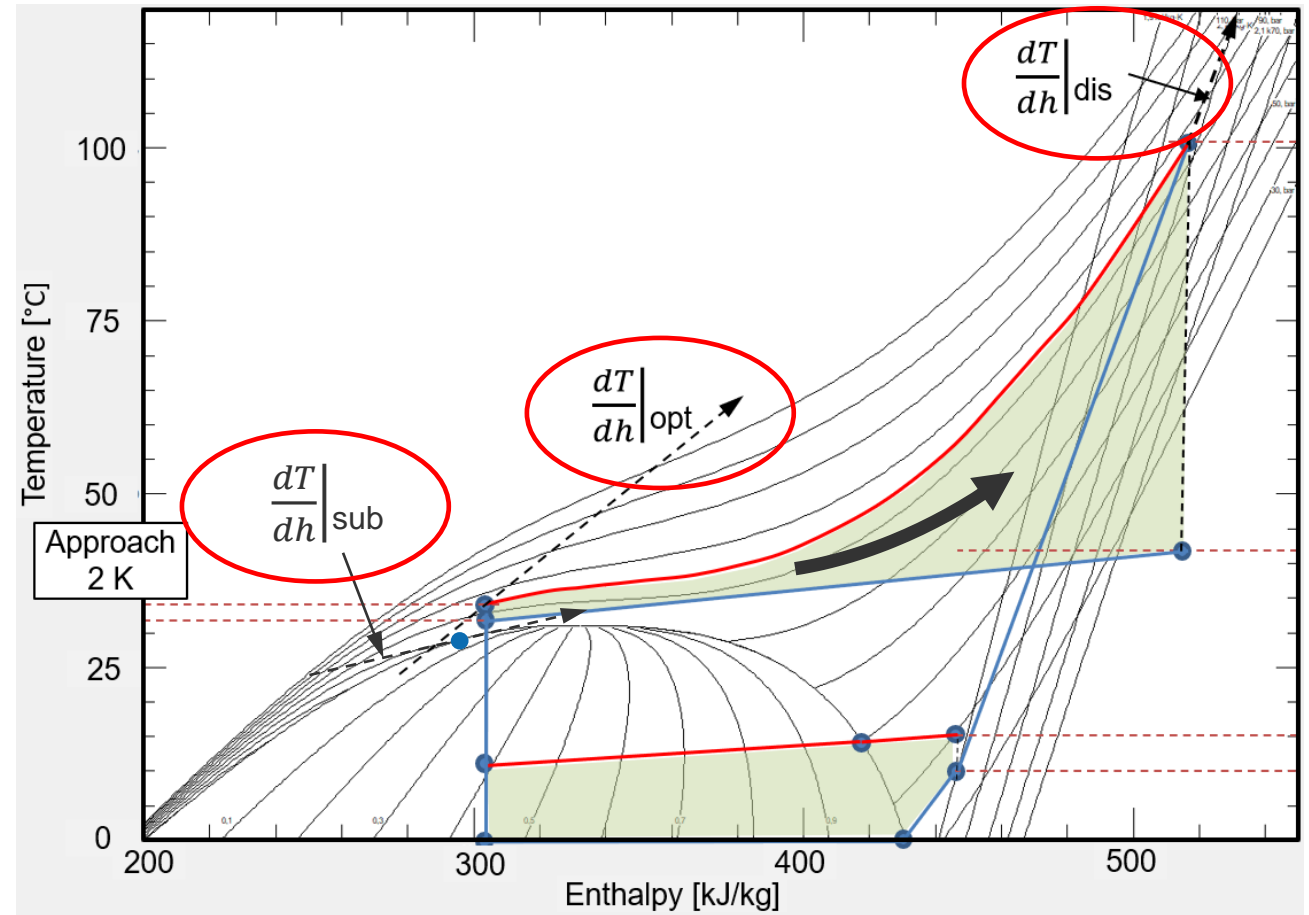


Waarom dalen de DT1 en de Approach?

Transkritisch: als de druk stijgt:

- Helling $\frac{dT}{dh}$ compressoruitlaat is afhankelijk isentropisch rendement
- Helling $\frac{dT}{dh}$ uitlaat temperatuur volgt de optimum druk lijn
- Helling pers wint (rechts): steeds meer (groen) oppervlak rechts
- Dus: warmtebelasting aan lage-T kant daalt (links) en Approach daalt (kromming of d^2T/dh^2 daalt)

Subkritisch: helling uitlaat condensor volgt verzadigingslijn: snelle daling DT1.



Resultaten

Winter · Milde Winter · Zomer

- Lucht 7, 12 en 43°C
- Warmte-afgifte: 10 – 12 kW
- 2 subkritisch met DT1: 5 K
- 1 transkritisch: 0,5 K approach

Onderkoeling ± 2 K bij *setting* 1 K

Bij *setting* 2 K: onderkoeling naar 7 K ten koste van hogere DT1 (door hogere inlaat p, T)

			Winter	Mild Winter	Summer
Air					
Temperature	Inlet	°C	7,1	11,9	42,9
	Outlet	°C	11,7	16,2	48,5
Volume		m ³ /h	6414	6401	6792
Mass flow		kg/s	2,27	2,22	2,14
Thermal capacity		kW	10,5	9,7	12,1
Refrigerant					
Temperature	Inlet	°C	34,5	39,5	96,5
	Outlet	°C	9,7	15,0	43,6
Pressure	Inlet	bar _a	47,97	53,43	95,98
	Outlet	bar _a	47,60	53,04	94,88
Mass flow		g/s	44	44	83
Temperature differences					
DT1		K	5,5	5,1	-
Real subcooling		K	2,6	1,8	-
Approach	Calc.	K	2,6	3,0	0,6
Approach	Meas.	K	2,5	2,9	0,4

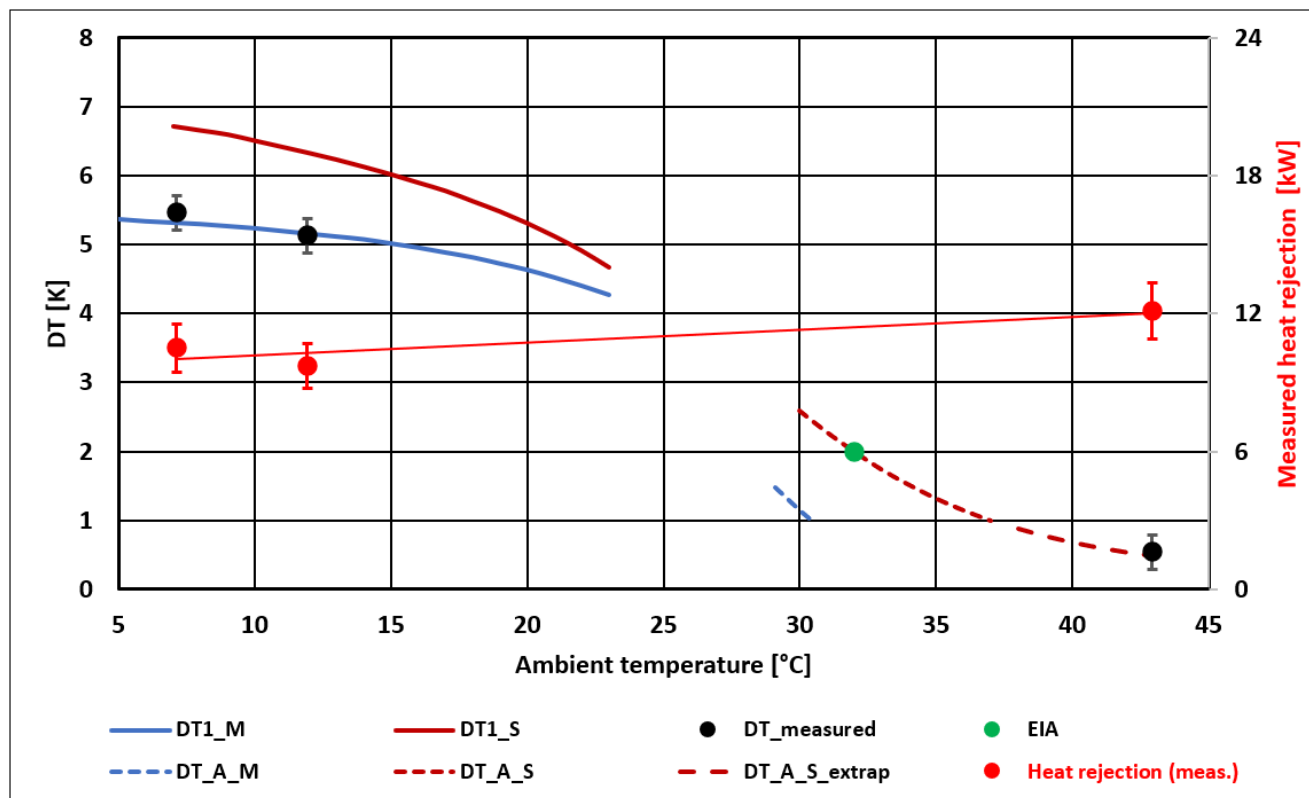
Resultaten

Model berekening "S" —

- 75 kW warmtelast
- 55% isentropisch rendement
- Gaskoeler 405 m²

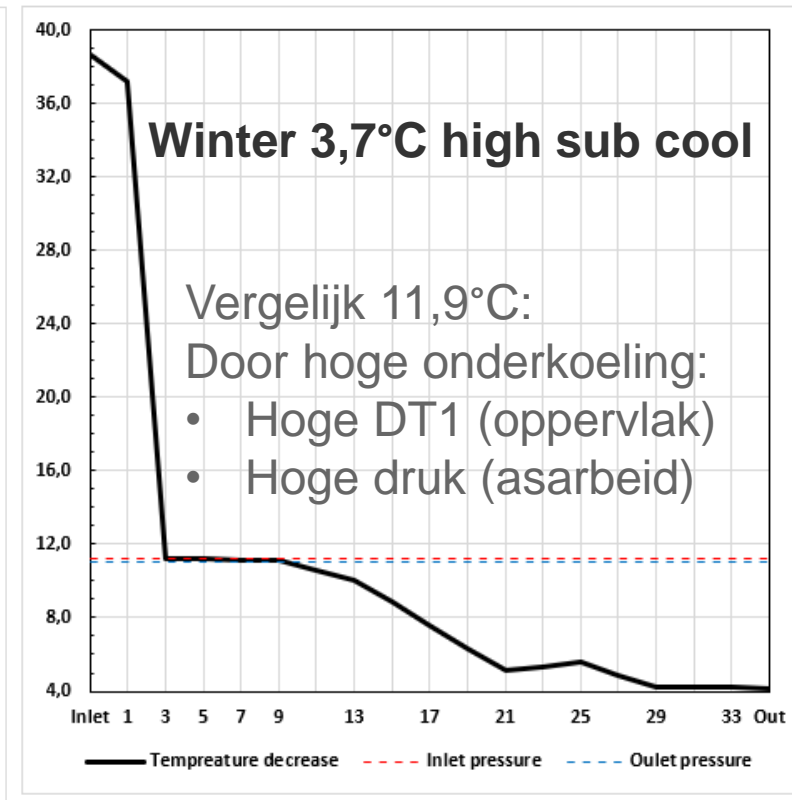
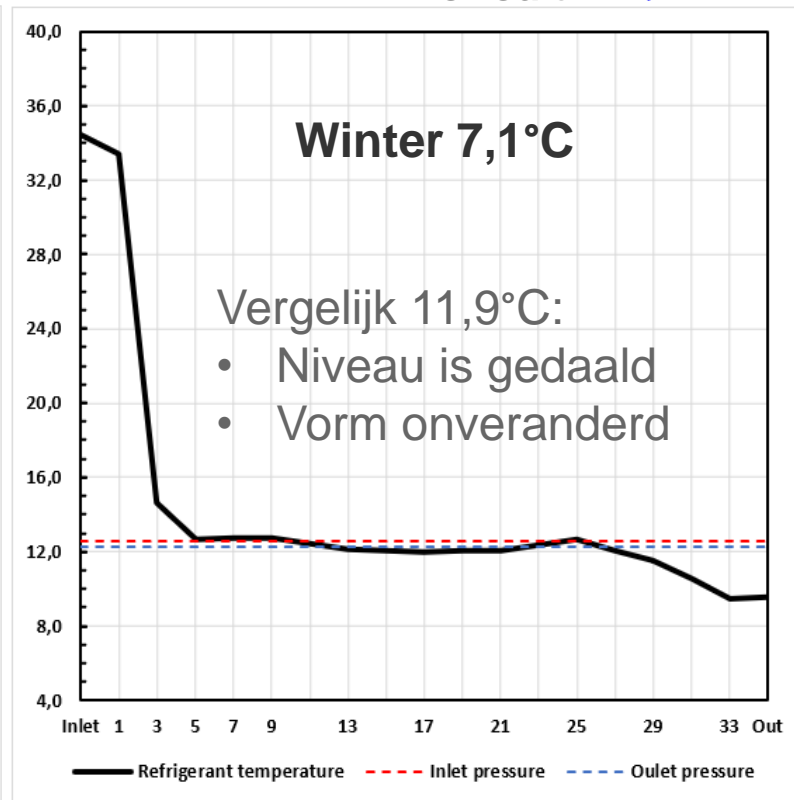
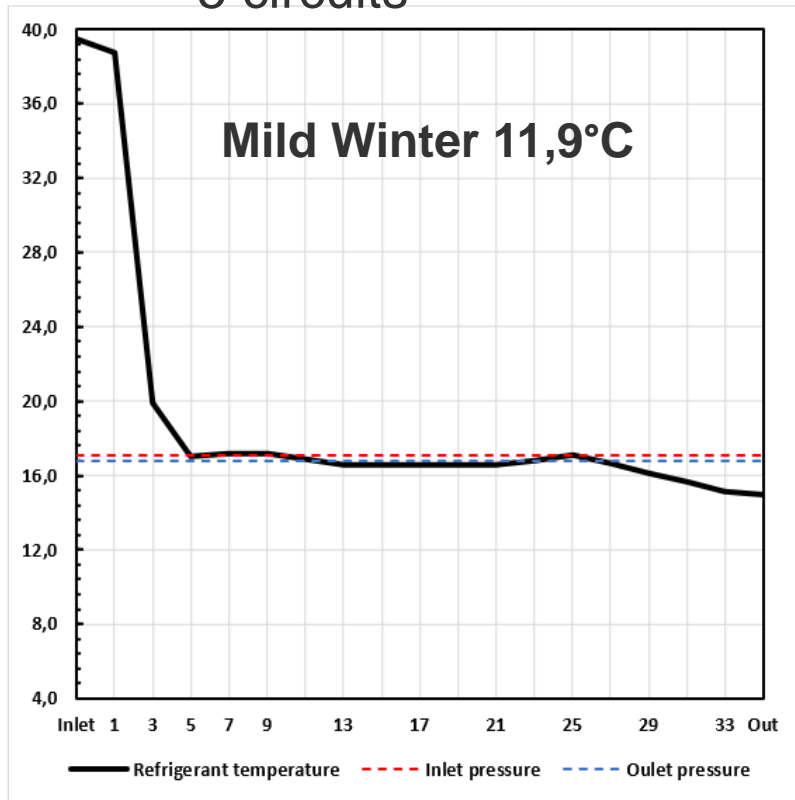
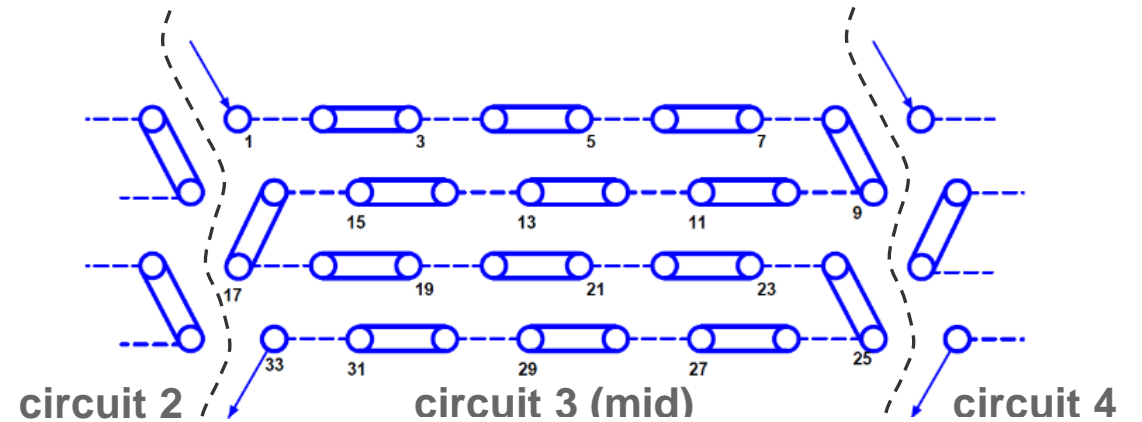
Meetresultaten "M" —

- 10 kW warmtelast
- Gaskoeler 155 m²
- 6500 m³/h (fans op 67% vast)

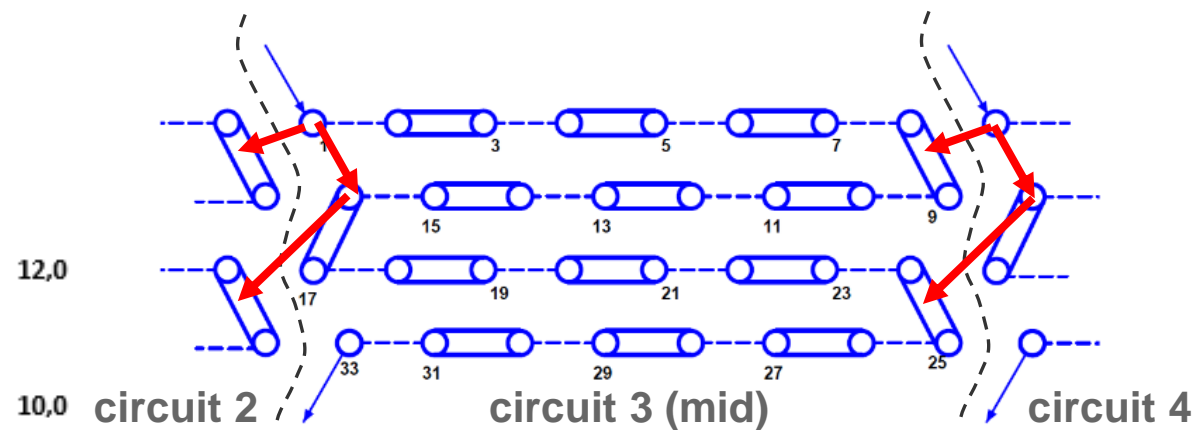
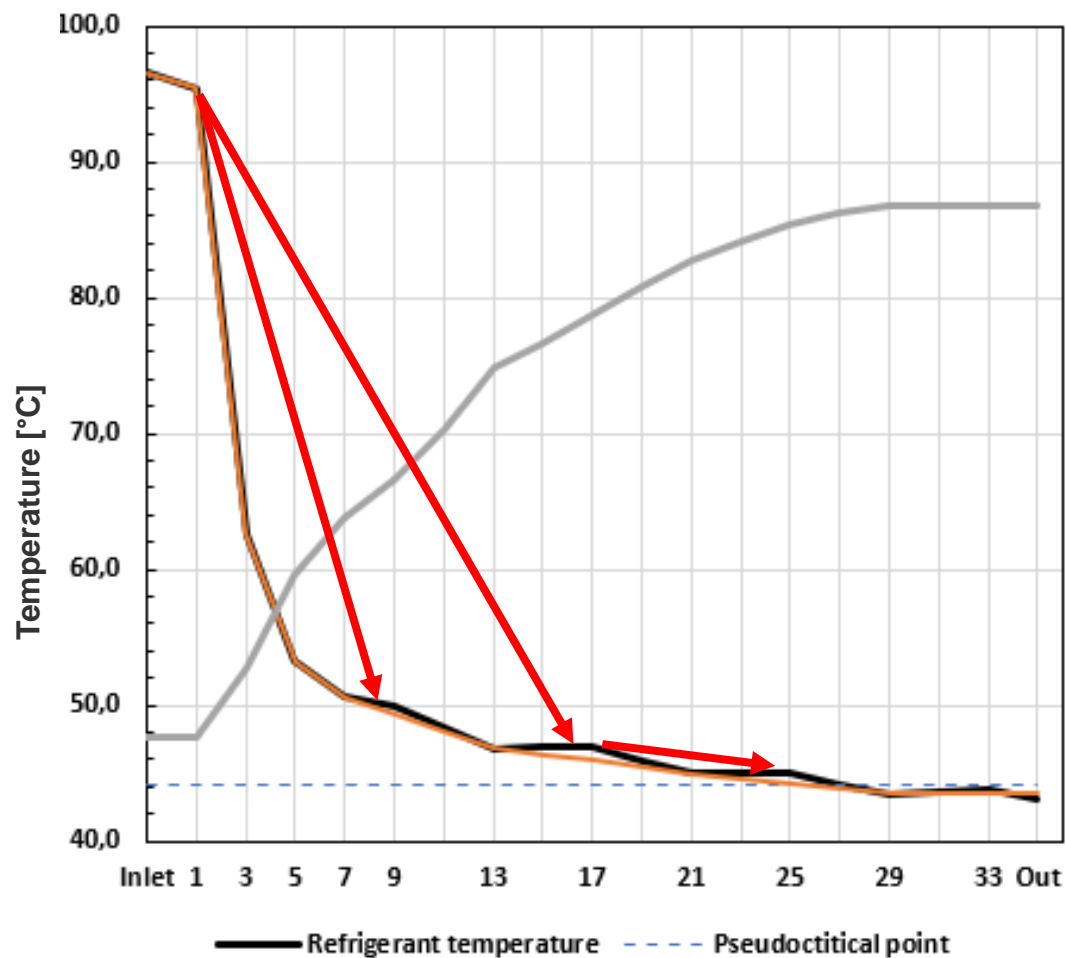


Circuitontwerp

- Buizen 8 mm
- 40 x 4 buizen
- 5 circuits



Circuitontwerp

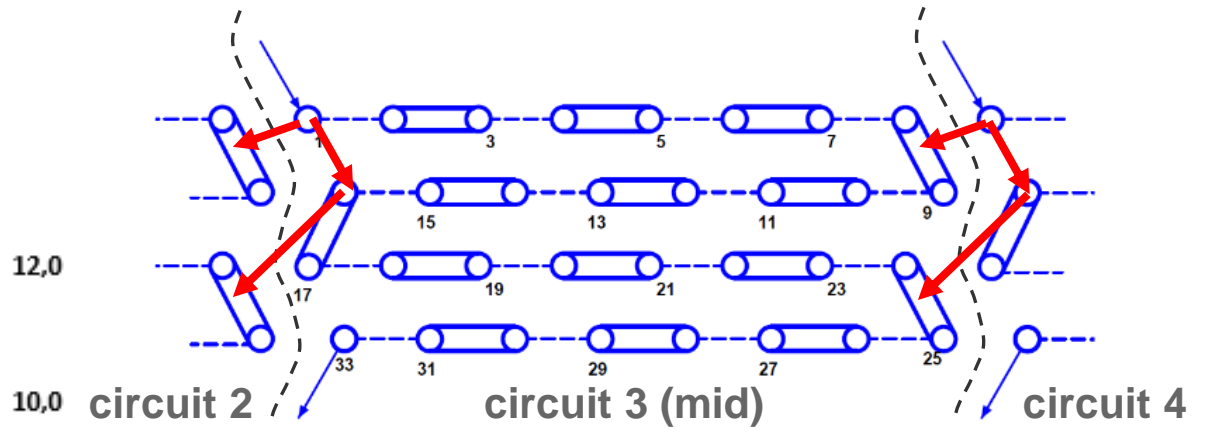
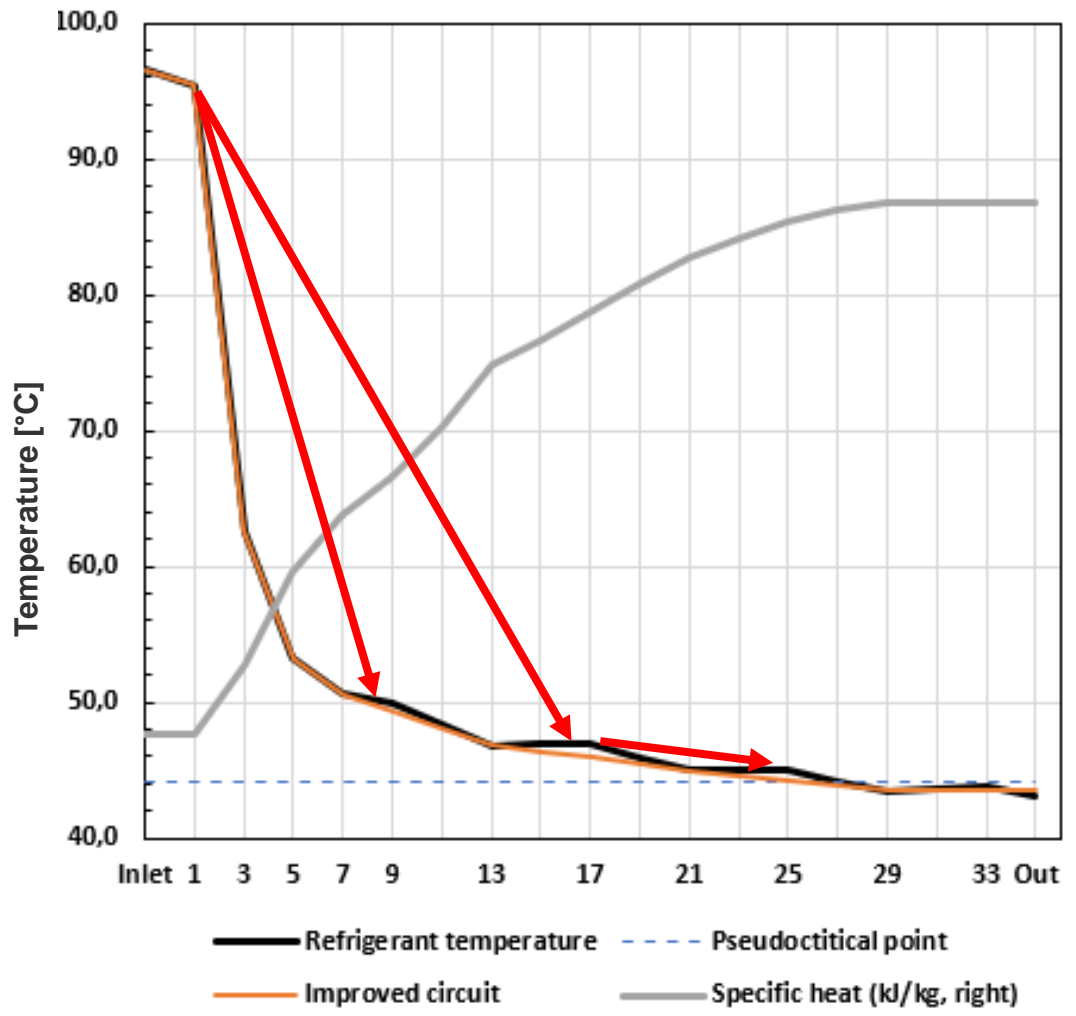


Circuitbuizen verwarmen elkaar!

- van hete inlaat buis 1 naar buis 8/9
- van hete inlaat buis 1 naar buis 16/17
- van warme buis 17 naar buis 24/25

Hoe groot is de parasitaire warmtestroom?

Circuitontwerp



Circuitbuizen verwarmen elkaar!

- van hete inlaat buis 1 naar buis 8/9
- van hete inlaat buis 1 naar buis 16/17
- van warme buis 17 naar buis 24/25

Kleine ΔT levert grote Δh (grijze lijn):

- Schatting ongeveer 11% parasitaire warmtestroom

Conclusie en outlook

1. **Is de 2 K eis haalbaar?** **Ja**; alleen onduidelijk verloop tussen DT1 (5-6 K) @ 15°C en Approach (0,5K) @ 43°C onduidelijk
2. Gelijke circuits hebben een behoorlijk parasitair verlies
3. Vele experimentele factoren hebben invloed:
 - a. De **constante koellast** is moeilijk
 - b. De goedkope **diesel** luchtverhitter is **moeilijk regelbaar**
 - c. Goede luchtverdeling: **zeer lange luchtunnel**
 - d. Buizenpakket gaskoeler **goed isoleren**
 - e. **Buiten-metingen** zijn niet constant
4. Herhalingsmetingen komen er aan (met echt variërende omgevingstemperatuur)
5. Research activiteiten ondersteunen onderwijs activiteiten



Meer weten?

www.posthbokoudetechniek.nl

Start opleidingen:

Post HBO: 25 september 2023

Masterclass CO₂: 6 juni 2023

Masterclass WP: najaar 2023



Speciaal bedankt:

- Koning Koudetechniek
- Stichting Gustav Lorentzen 2012

Geert Doornbos | Post HBO Koudetechniek
geert.doornbos@transferworks.nl