



Projekt: P03 Alternativa köldbärare för indirekta kylsystem

ETANOLBASERADE KÖLDBÄRARE FÖR BERGVÄRMEPUMPAR I EUROPA OCH USA

Monika Ignatowicz, doktorand
KTH, Inst. för Energiteknik
monikai@kth.se

**GEOENERGI-
DAGEN 2017**
ÄLVSJÖ 28-29 SEPTEMBER



BAKGRUND

Köldbärare är oftast vattenbaserade lösningar av organiska eller oorganiska ämnen och har använts länge i olika indirekta kylsystem och värmepumpar.

F-gas förordning 517/2014 om fluorerade växthusgaser => nya krav på köldbärare





KLASSIFIKATION

- **Glykoler**



- ✓ etylenglykol (EG),
- ✓ propylenglykol (PG),

- **Alkoholer**

- ✓ etanol,



- ✓ metanol,

- **Salter**

- ✓ kaliumacetat
- ✓ kaliumformiat
- ✓ klorider

- **Ammoniak**

NUVARANDE TRENDER



USA and Kanada: propylenglykol, metanol eller etanol

Europa: etanol, salter eller propylenglykol

- **Nordiska länder:** etanol (**Sverige:** 75% av alla BVP)
- **Finland:** etanol, propylenglykol or salter (klimat)
- **Västeuropa:** propylenglykol (strikt reglering)

Nya trender:

nya installationer med etanol (Schweiz, Holland)



ETANOL

FÖRDELAR:

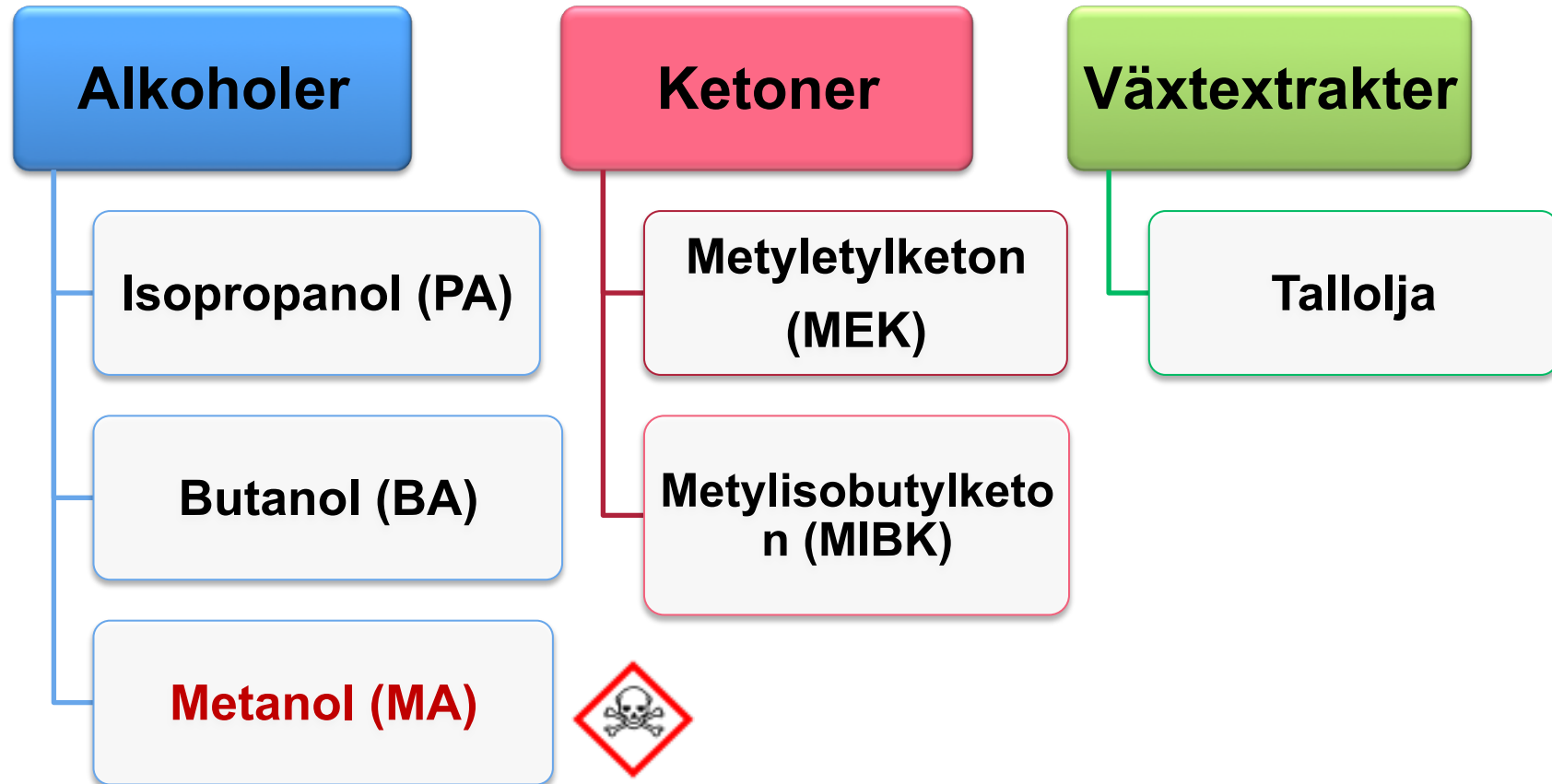
- Miljömässig (fermenteringsprodukt),
- Låg toxicitet och kort nedbrytningstid (läckage),
- Bra termofysikaliska egenskaper,
- Lägre pumpeffekt jämfört med propylenglykol.

NACKDELAR:

Hög brännbarhet (begränsning: 30 vikt-% => $T_f = -20.5\text{ °C}$)

P.g.a. berusningsrisk används denatureringsmedel för att förhindra förtäring.

DENATURERINGSMEDEL





ETANOLBASERADE PRODUKTER

Sverige

- **10 vikt-% alkoholer**
(8vikt-% PA + 2vikt-% BA)
- **12 vikt-% alkoholer**
(10vikt-% PA + 2vikt-% BA)

Finland

- **4.5 vol-% ketoner**
(1.8 vol-% MEK + 2.7 vol-% MIBK)

Schweiz

- **2.5 vol-% ketoner**
(2 vol-% MEK + 0.5 vol-% MIBK)

USA

- **3-10 vikt-% metanol**

Kanada

- **0.5 vikt-% tallolja**



ETANOLBASERADE PRODUKTER

PRODUKTER	Etanol	D1	D2
EA20	20.0 (24.47 vol-%)	0	0
EA18+PA1.6+BA0.4	18.0 (22.07 vol-%)	isopropanol (1.6 vikt-%)	butanol (0.4 vikt-%)
EA17.5+PA2+BA0.5	17.5 (21.47 vol-%)	isopropanol (2 vikt-%)	butanol (0.5 vikt-%)
EA20+MEK1.8+MIBK2.7	20.0 (24.47 vol-%)	MEK (1.8 vol-%)	MIBK (2.7 vol-%)
EA20+MEK2+MIBK0.5	20.0 (24.47 vol-%)	MEK (2 vol-%)	MIBK (0.5 vol-%)
EA18+MA2	18 (22.07 vol-%)	metanol (2 vikt-%)	0
MA20	0	0	0

GENOMFÖRANDE

Termofysikaliska egenskaper:

Densitet, viskositet, specifik värmekapacitet,
värmeledningsförmåga och fryspunkt



Värmeövergångstal - två typiska rördimensioner för bergvärmekollektorer - djup 250m

Flöden (0.4; 0.5 and 0.6 l·s⁻²)

Arbetstemperaturer: -5, 0, 5°C



Tryckfall - två typiska rördimensioner för bergvärmekollektorer - djupt 250m

Flöden (0.4; 0.5 and 0.6 l·s⁻²)

Arbetstemperaturer: -5, 0, 5°C



FRYSPUNKT

PRODUKT	T _f exp (°C)	T _f ref (°C)	Differens (K)
EA20	-10.92	-10.92	0.00
EA18+PA1.6+BA0.4	-10.58	-10.92	+0.34
EA17.5+PA2+BA0.5	-10.46	-10.92	+0.46
EA20+MEK1.8+MIBK2.7	-13.47	-10.92	-2.55
EA20+MEK2+MIBK0.5	-12.21	-10.92	-1.29
EA18+MA2	-11.34	-10.92	-0.42
MA20	-15.06	-15.02	+0.04

EA – etanol

PA – isopropanol

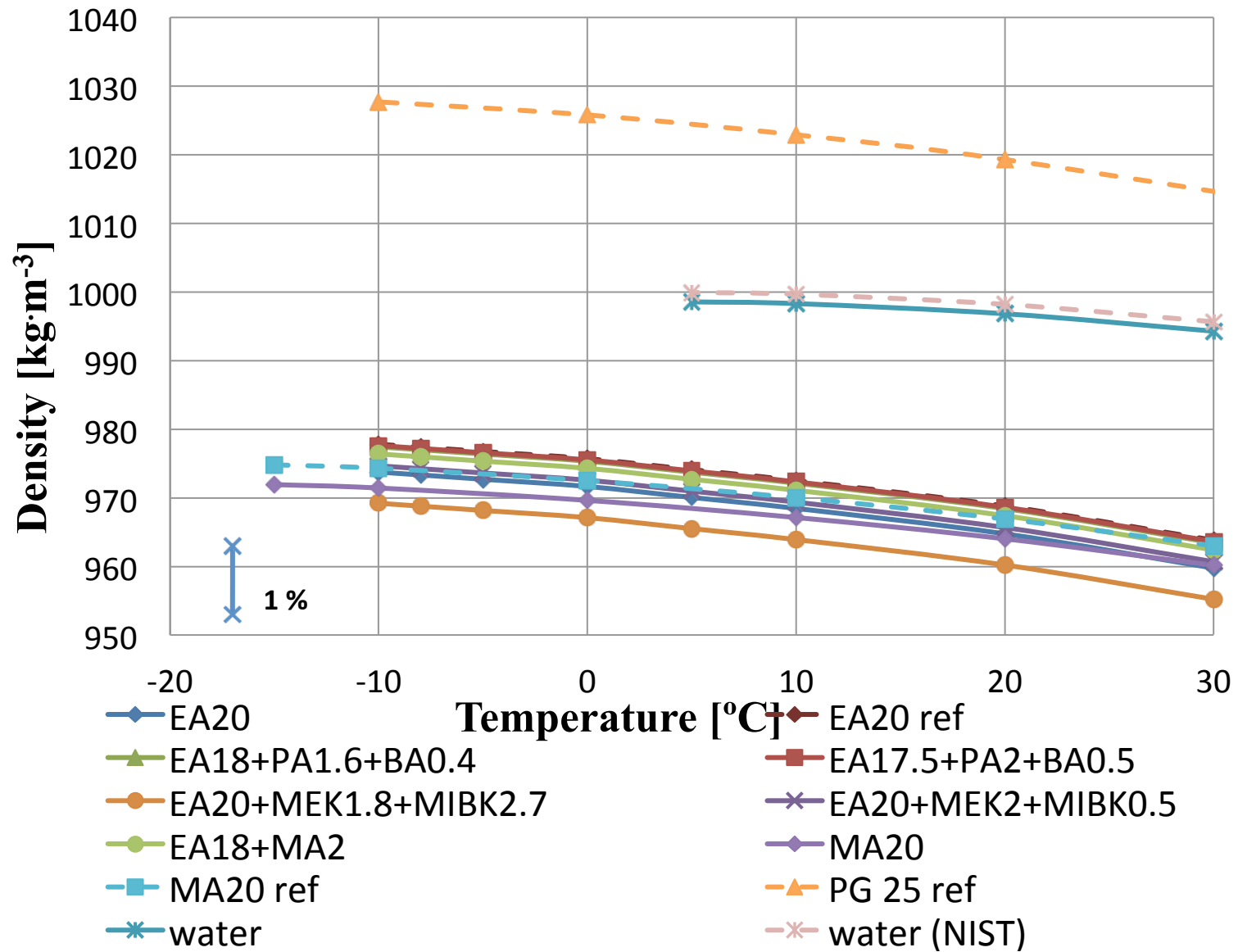
BA – butanol

MEK - metyletylketon

MIBK – metylisobutylketon

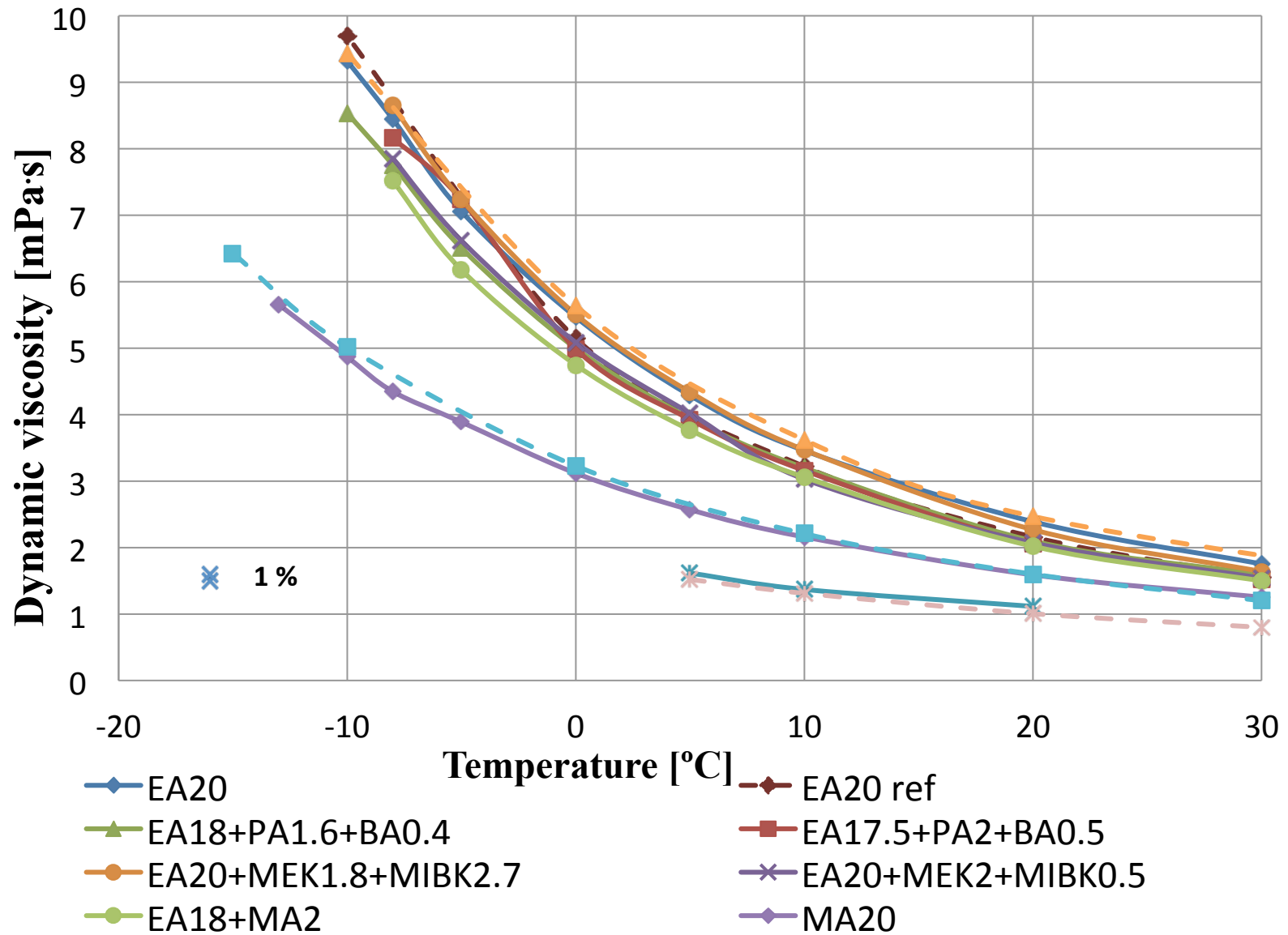
MA - metanol

DENSITET

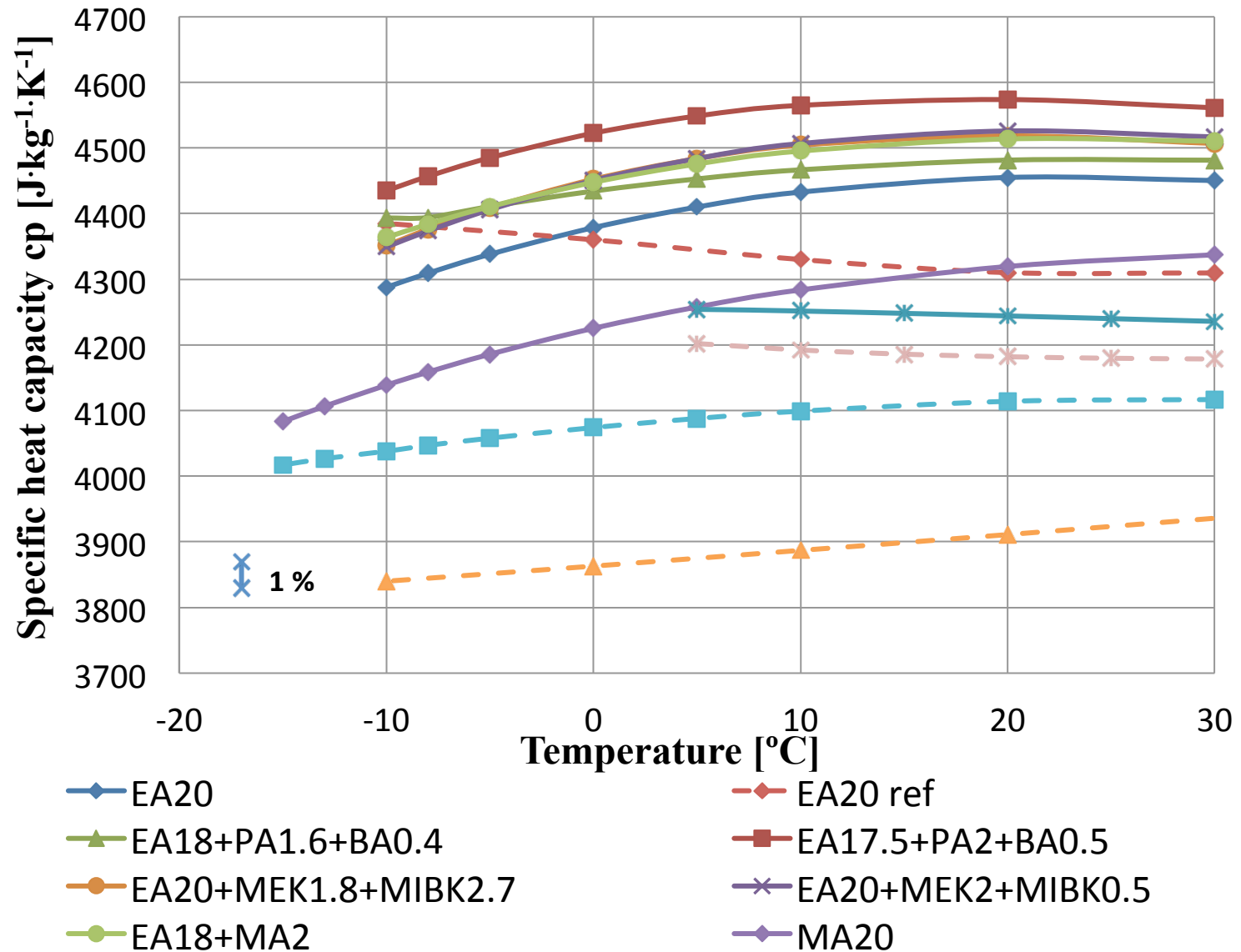




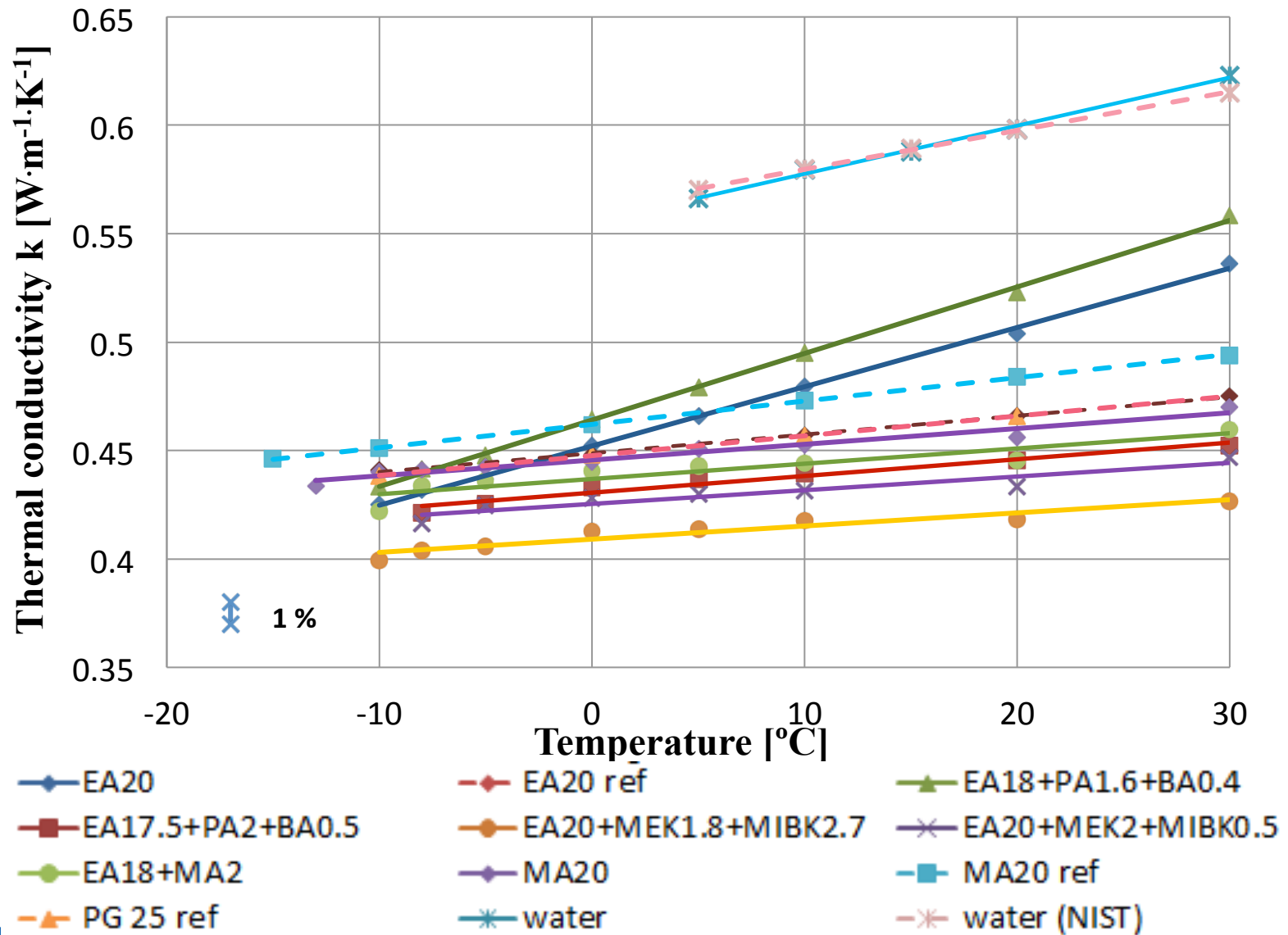
VISKOSITET



SPECIFIK VÄRMEKAPACITET



VÄRMELEDNINGSFÖRMÅGA

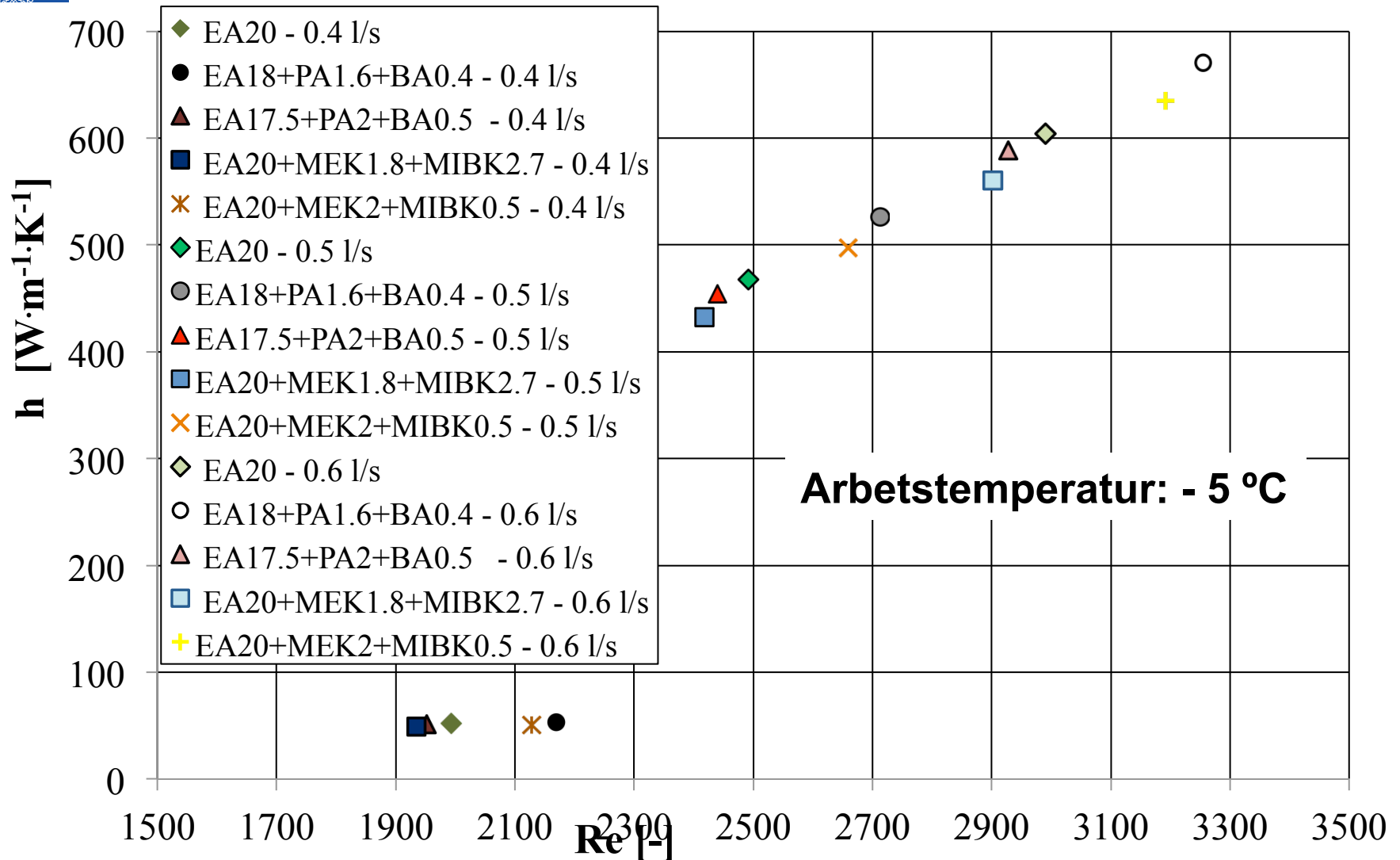




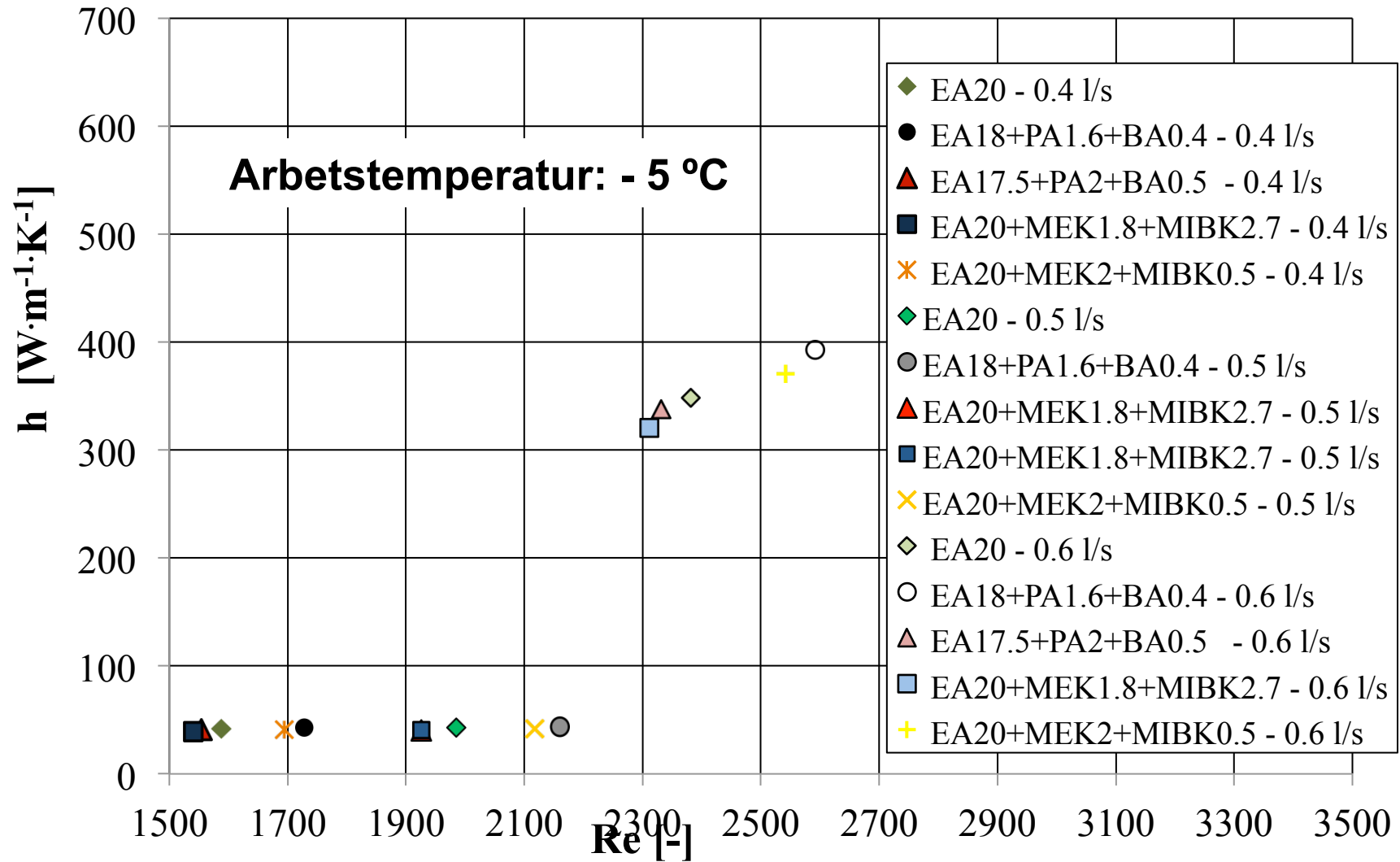
SAMMANFATTNING

Produkt	T_f	μ	k	Cp
EA20	-10.9 °C	-	-	-
EA18+PA1.6+BA0.4	+0.34	- 8%	+ 2%	+ 2%
EA17.5+PA2+BA0.5	+0.46	- 4%	-2.5%	+2.5 %
EA20+MEK2+MIBK0.5	-1.29	- 7%	-3%	+1.5%
EA20+MEK1.8+MIBK2.7	-2.55	+ 2%	-7%	+1.5%
EA18+MA2	-0.42	- 12%	-0.2%	+1.7%
MA20	-	- 19%	+1%	- 3%

VÄRMEÖVERGÅNGSTAL - PE40 x 2.4 mm

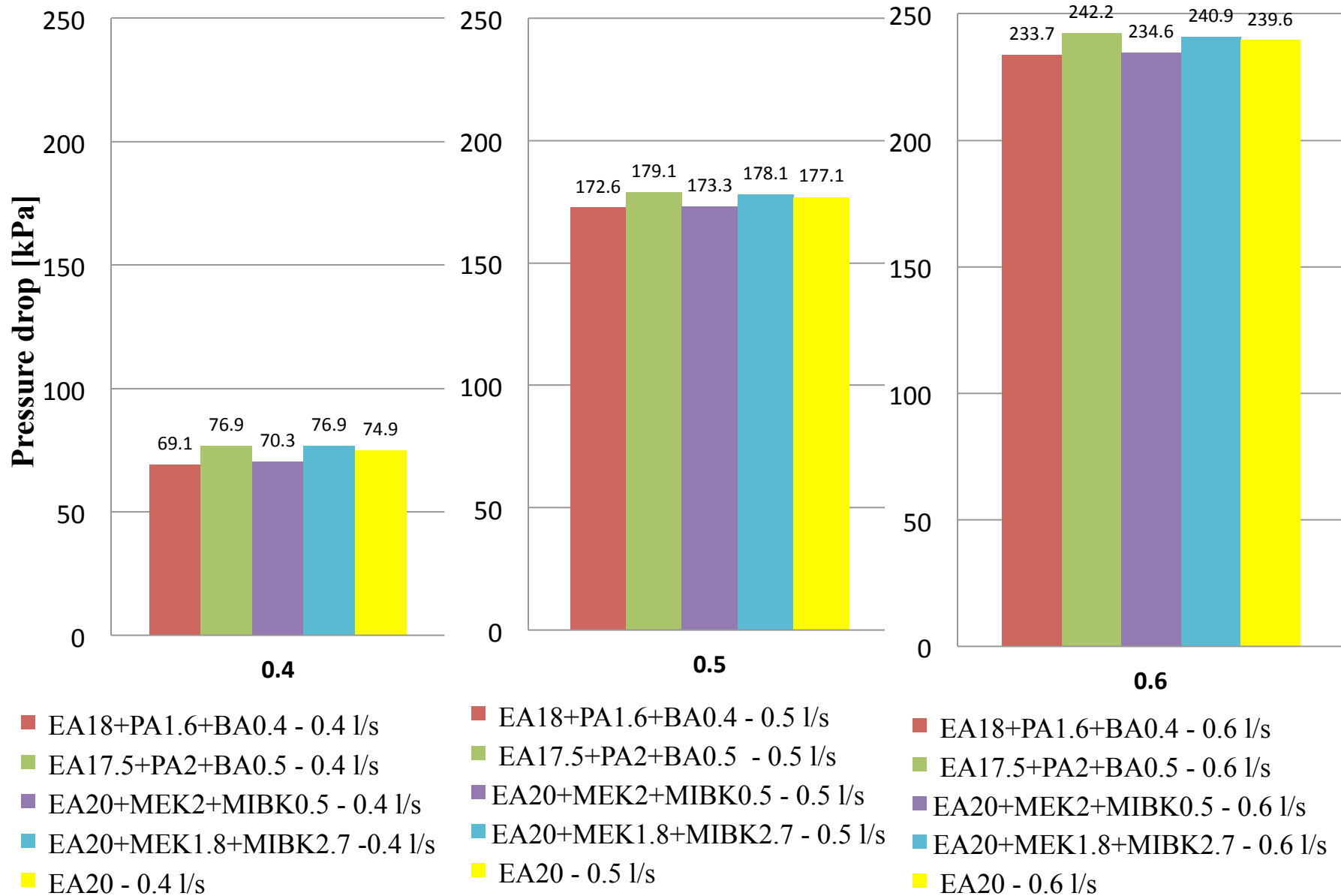


VÄRMEÖVERGÅNGSTAL - PE50 x 2.9 mm



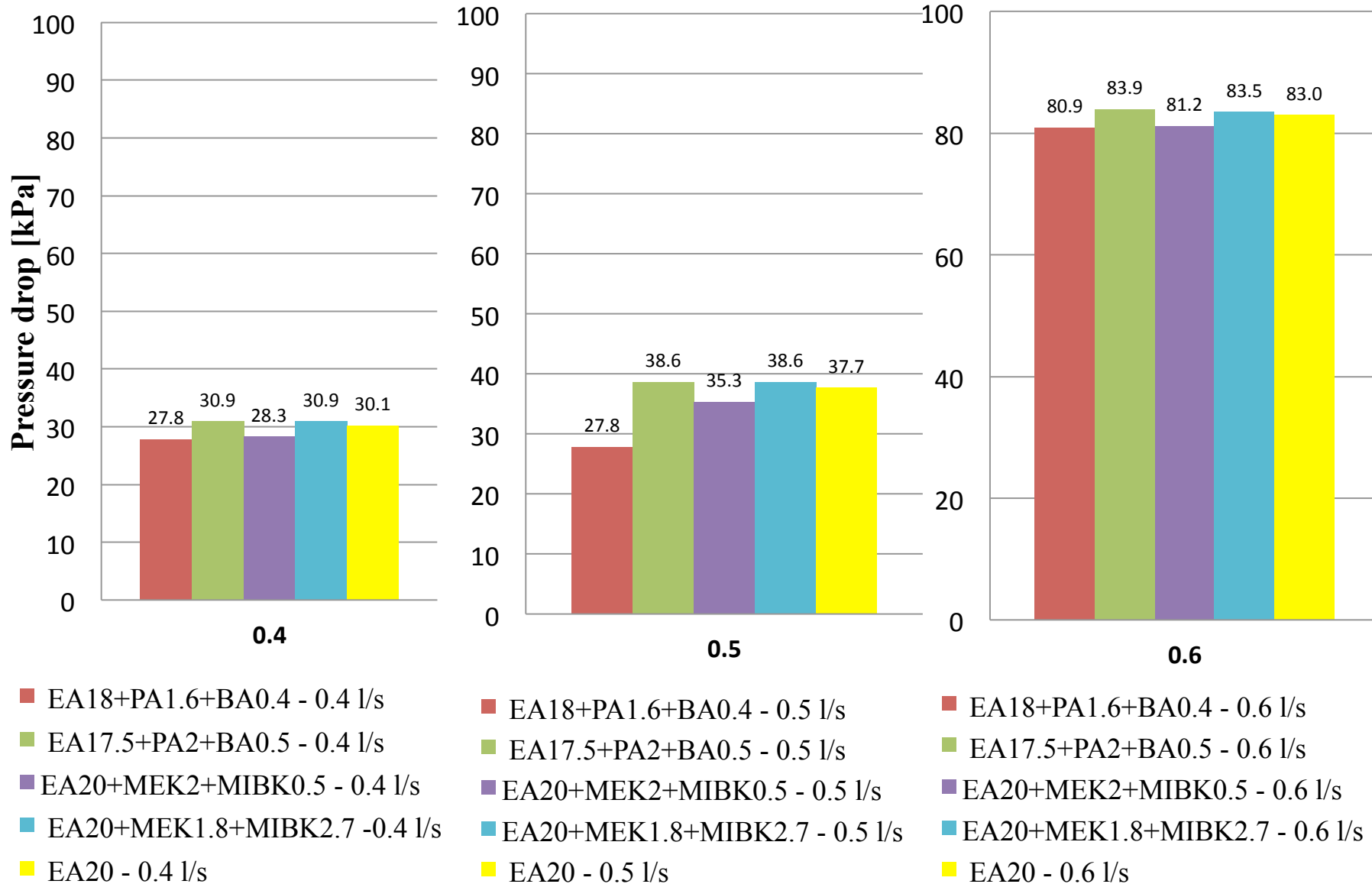


TRYCKFALL - PE40 x 2.4 mm, T = - 5 °C





TRYCKFALL - PE50 x 2.9 mm, T = - 5 °C





SLUTSATSER (1)

- Mätningar visade på betydliga skillnader i egenskaper hos etanolbaserade produkter i Europa och USA,
- Den vanligaste etanolbaserade produkten i Sverige (EA18 + PA1.6 + BA0.4) visade de bästa egenskaperna bland alla produkter i Europa **(10% högre värmeöverföring och 3% lägre tryckfall)**,
- En annan produkt (EA20 + MEK2 + MIBK0.5) som används i Schweiz visade näst bästa prestanda **(5% högre värmeöverföring och 2% lägre tryckfall)**



SLUTSATSER (2)

- (EA17.5 + PA2 + BA0.5) och (EA20 + MEK1.8 + MIBK2.7) visade de sämsta prestanda,
- MA20 har bättre termiska egenskaper än (EA18+MA2), men är hälsofarlig.
- Produkter som innehåller små mängder av isopropanol och butanol eller ketoner rekommenderas.



REFERENSER:

1. Ignatowicz M., Melinder Å., Palm B., 2017. Different ethyl alcohol secondary fluids used for GSHP in Europe. 12th IEA Heat Pump Conference, Rotterdam, the Netherlands.
2. Ignatowicz M., Melinder Å., Palm B., 2017. Properties of different ethyl alcohol based secondary fluids used for GSHP in Europe and USA. IGSHPA Technical/Research Conference and Expo, Denver, USA.



SAMARBETSPARTNERS



Resurseffektiva kyl- och värmepumpssystem
samt kyl- och värmelager

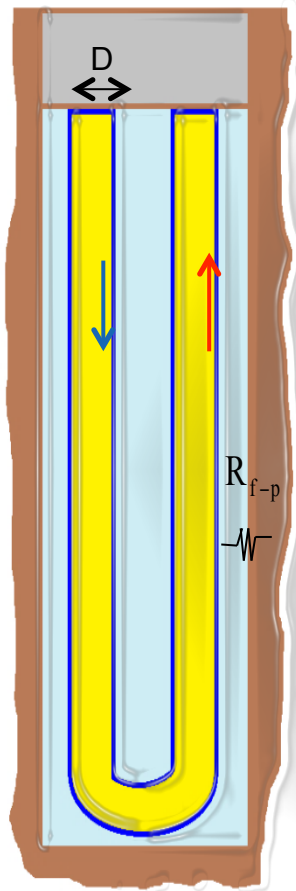




FRÅGOR?

Kontakt: monikai@kth.se

EKVATIONER



$$\Delta P = f \frac{\rho \cdot w^2}{2} \cdot \frac{L}{D}$$

for $Re \leq 2300$, $f = 64/Re$
for $Re > 2300$,
 $f = (0,79 \cdot \ln(Re) - 1,64)^{-2}$

$$Re = u \cdot D \cdot \rho / \mu \quad Pr = \mu \cdot c_p / k \quad Nu = h \cdot D / k$$

$$Nu = (f/8) (Re/D - 1000) Pr^{1/4} + 12.7 (f/8)^{1/4} (Pr^{1/3} - 1)$$

$$Nu = 3,66 + 0,0688 \cdot Gz / (1 + 0,04 \cdot Gz^{1/3}) \quad , \quad Gz = Re \cdot Pr \cdot (D/h)$$