

# MTETS -01 VELKOMMEN



AARHUS  
UNIVERSITET  
INSTITUT FOR MEKANIK OG PRODUKTION

27. AUGUST 2023

JENS MØLLER ANDERSEN  
ADJUNKT



# MÅL MED KURSET

At gøre det i lærte på 4. semester brugbart + noget mere. (jeg har set en del fejl i afgangsprojektet)

## ***I skal kunne projektere et energiteknisk system***

Læringsmål, de studerende skal kunne:

- Opstille energi- og massebalancer for komponenter der indgår i termisk systemer
- Udføre beregning for ydelsen af et energiteknisk anlæg
- Opstille varme- og massebalance beregninger for termodynamiske systemer
- Gennemføre varmetransmissionsberegninger på varmevekslere mm.
- Optegne et PI-diagram, som viser energitekniske systemers funktion og princip
- Anvende beregningsprogrammer til opstilling af varme- og massebalance beregninger. (fx softwaren EES, MathCad eller Thermoflex)
- Opstille model for en simpel kontrolstrategi for et energisystem, og anvende denne i forbindelse med varme- og massebalanceberegninger.
- Have kendskab til de mest anvendte anlægsprincipper
- Kunne analysere på processerne i et energiteknisk anlæg. Her specifikt kunne gøre rede for, hvordan de forskellige driftsparametre har betydning for anlæggets drift og energiforbrug.
- Kunne konstruere et energiteknisk system til et givet behov, dvs. gennemføre de nødvendige beregninger som danner grundlag for fremstilling af anlægget.
- have kendskab til de mest anvendte anlægskomponenter der indgår i energitekniske systemer og deres funktion
- kunne vælge mellem forskellige anlægsoptioner ud fra en optimering af energiforbrug og anlægsomkostninger
- kunne vælge komponenter til energitekniske anlæg, ud fra en kravspecifikation med fokus på optimering af energiforbruget og anlægsomkostninger.

# KURSUSFORM

4 timer i hvert modul – blanding af forelæsning og opgaveregning.

Der findes ikke en god lærebog til dette emne – vi bruger jeres termodynamik bog. Jeg arbejder på kursusnoter.

Vi bruger EES meget og Excel.

Mundtlig eksamen

Forudsætninger for prøvedeltagelse: Aflevering og godkendelse af 3 caseopgaver.

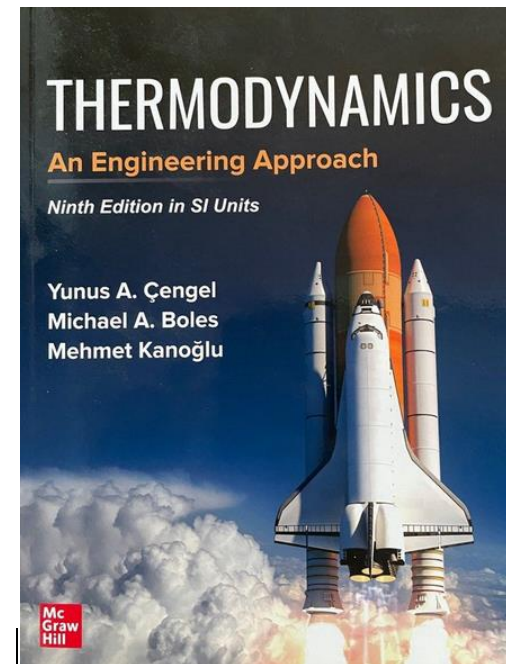
Wed 28 Aug	
08:00 - 10:00	DRAFT
MTETS-01 Thermal Energy Systems	
5125-416 Undervisningslokale	
Holdundervisning	
Student group(s): H-MTETS-E24	
Jens Møller Andersen	
10:00 - 12:00	DRAFT
MTETS-01 Thermal Energy Systems	
5125-416 Undervisningslokale	
Holdundervisning	
Student group(s): H-MTETS-E24	
Jens Møller Andersen	

# LITTERATUR – FLERE MULIGHEDER

Der skal ikke bruges en bestemt bog – for den findes ikke.  
Den termodynamik bog I har brugt tidligere er tilstrækkelig.  
Der udleveres supplerende noter på Brightspace.



INSTITUT FOR MEKANIK OG PRODUKTION



# 2 EKSAMENSSPØRGSMÅL (til at øve sig på):

20 minutter eksamen med 40 minutters forberedelse

En model for 2 koblede varmevekslere med vand, af en type som ses på billedet herunder:

Indløb ved 1 og 11. Udløb ved 3,5 og 13

- Der regnes uden tryktab – er det en rimelig antagelse?
- Hvilke modeltyper kender du: LMTD, AMTD... ?
  - Hvad skal man være opmærksom med for de forskellige modeltyper
- Hvad er de 3 grundlæggende ligninger for beregning på en varmeveksler
- Tag modellen og få den til at regne i EES
- Hvad er det vanskelige ved at få sådan en model til at regne og regne rigtigt?
- Hvis nu "lækagen" m3 fordobles? Hvad sker der med T13 forklar hvorfor.
- skitser temperaturkurver
- Hvilke typer af idealisering er der gjort i denne model
- Hvis du skulle opbygge denne mode fra bunden hvordan vil du så gøre
  - Forklar detaljerne i modellen
- Er der andre ting du kan sige om varmevekslere.

"I VV ex spg"  
Cp= 4,18

//VV1  
U\_1=534  
A\_1=0,3

T1=20  
//T2=80 // midlertidig

//T12=110 // midlertidig  
//T13=30 // midlertidig

m\_1 = 0,0142  
m\_2 = m\_1 // Massebevarelse

m\_12 = 0,01 // midlertidig her  
m\_13 = m\_12 // Massebevarelse

Q\_vv1 = m\_1 \* Cp \* (T2 - T1)  
Q\_vv1 = m\_12 \* Cp \* (T12 - T13)  
DTA\_1 = T13 - T1  
DTB\_1 = T12 - T2

LMTD\_1 = (DTA\_1 - DTB\_1) / ln(DTA\_1 / DTB\_1)  
//AMTD\_1 = DTA\_1/2 + DTB\_1/2  
Q\_vv1 = (U\_1 \* A\_1 \* LMTD\_1) / 1000 // div 1000 så over i JK

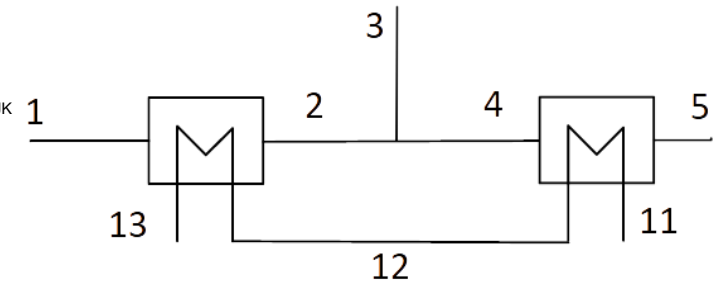
// splitterpunkt

T3 = T2  
T4 = T2  
m\_3 = 0,2 \* m\_2 // Der tabes XX % ved 3  
m\_4 = m\_2 + m\_3

// VV\_2  
U\_2=234  
A\_2=0,2

T11 = 130  
//T5 = 100 // midlertidig

Q\_vv2 = m\_4 \* Cp \* (T5 - T4)  
Q\_vv2 = m\_12 \* Cp \* (T11 - T12)  
DTA\_2 = T12 - T4  
DTB\_2 = T11 - T5  
AMTD\_2 = DTA\_2/2 + DTB\_2/2  
LMTD\_2 = (DTA\_2 - DTB\_2) / ln(DTA\_2 / DTB\_2)  
Q\_vv2 = (U\_2 \* A\_2 \* LMTD\_2) / 1000 // div 1000 så over i JK



# TØRRE PROCESSER, VARMEVEKSLERNETVÆRK OG PINCH (TIL AT ØVE SIG PÅ):

En fabrik støber metalemner, som efterfølgende skal males. Før emnerne bliver malet bliver de sandblæst og vasket. Og så skal emnerne tørres inden de kan blive malet.

Efter emnerne er blevet støbt køles de med luftstrøm. Temperaturen af køleluften ind er 20 grader celsius 60% Rf, 200 m<sup>3</sup>/h. Temperaturen ud er 200 grader celsius.

Der produceres 1 emne pr. 3 minutter a 1 kg

Der hænger 10 g vand på hvert emner efter vask



1. Optegn et procesdiagram for processen og sæt kontrolflader på
2. Optegn skitse af luftstrømmene med temperaturer, overvej hvordan der kan laves varmegenvinding på denne fabrik
3. Hvilke metoder vil du bruge til denne opgave?
4. Hvor meget energi kan der genbruges i denne proces?
5. Hvor meget energi gå der mindst til støbeprocessen?
6. Hvis opgaven var mere kompleks end denne opgave hvad ville du så gøre.

# MTETS-01 PENSUM

## HVERT LEKTIONSNUMMER DÆKKER OVER EN UGE MED 4 UNDERVISNINGSTIMER

- 1: Varmeveksler, LMTD og AMTD, Kondensator, Kompressor, Eta\_is, ikke ideelle komponenter
- 2: Sammensatte komponentmodeller, tryktab og intern varmeveksling, P&ID, model af system - pulverlakering.
- 3: Overhedningsmodel for kondensator, Kondensatormodel, at sætte komponenter sammen
- 4 – Caseopgave 1
- 5: Kraftværker, Rankine og CC. Fødevandsforvarmer og genoverhedning, Kraftværk med røggassystem, SCR, ESP og LUFO.
- 6: Off-design af varmevekslere og et simpelt kraftværk, Dimensionering af pumper og blæsere
- 7 – Caseopgave 2

### Uge 42

- 8: Modeller af Reguleringsystemer
- 9: Tørreprocesser og fugtig luft
- 10: Pinch og varmevekslernetværk
- 11: Elektrolyse og PTX
- 12: Driftoptimering
- 13 – Caseopgave 3
- 14: Øve eksamen

# HVAD KAN I HUSKE?

---

Installation af EES

Repetition :

1. hovedsætning – Energien er bevaret
2. hovedsætning – Entropien vokser for en lukket system



# EES – I INSTALLERER

---

Løsning af simple ligninger

$$A=5$$

$$B=3$$

$$3*A = 4*b + 2*c \quad //c \text{ behøver ikke at blive regnet eksplicit}$$

Stofdata kald

$$T1=200$$

$$P1=100$$

$$h=\text{enthalpy}(R134a;T=T1;P=P1)$$

# LIDT GENOPFRISKNING AF TERMODYNAMIK

---

T : Temperatur (bestemmes af hastigheden af molekylerne)

P : Trykket

Små bogstaver er pr kg, store bogstaver er for hele mængden (eller absolutte størrelser som T).

u : indre energi

h : entapi  $h = u + P * v$

v : volumen

s : entropi – processer er ideelle hvis entropien er bevaret

# IDEELLE KOMPONENTER

---

Ideelle komponenter:

Pumper

$$\Delta S = 0 \text{ (isentrop)}$$

Turbiner

$$\Delta S = 0 \text{ (isentrop)}$$

Kompressor

$$\Delta S = 0 \text{ (isentrop)}$$

Varmevekslere

$$U = \infty \text{ (uendelig godt varmegennemgangstal)}$$

Rør

$$\Delta p = 0 \text{ (ingen tryktab)}$$

Ventil

$$\Delta h = 0 \text{ (ingen entalpiændring)}$$

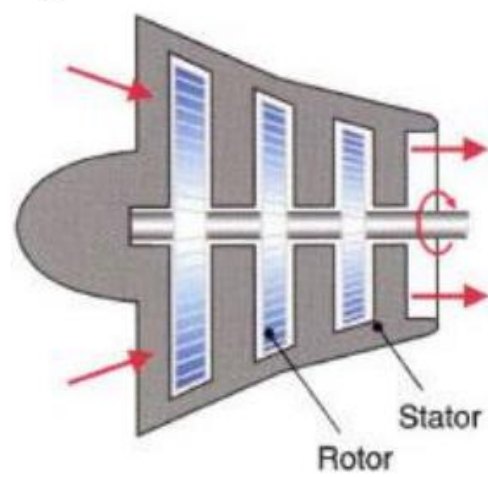
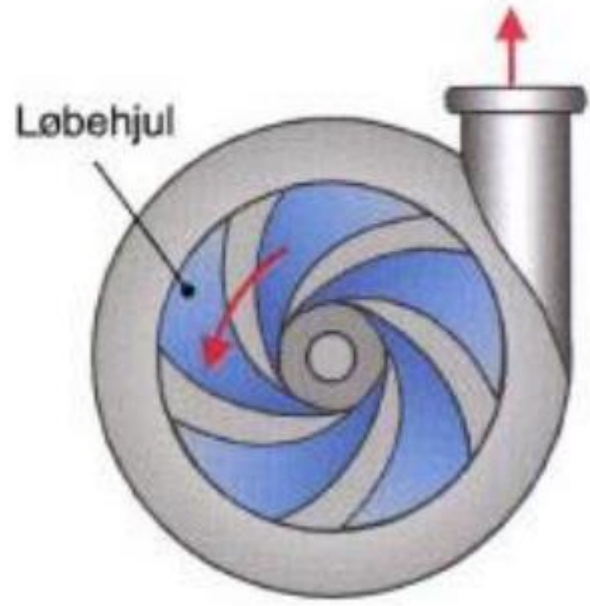
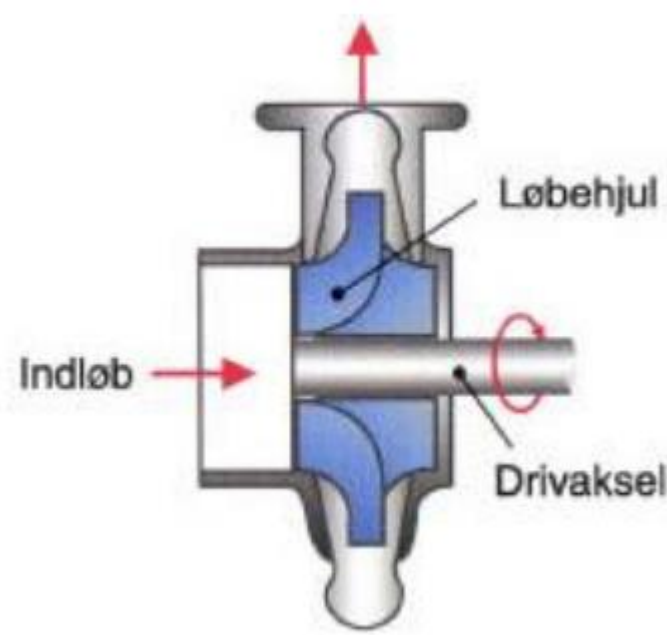


# KOMPONENTER: KOMPRESSORER

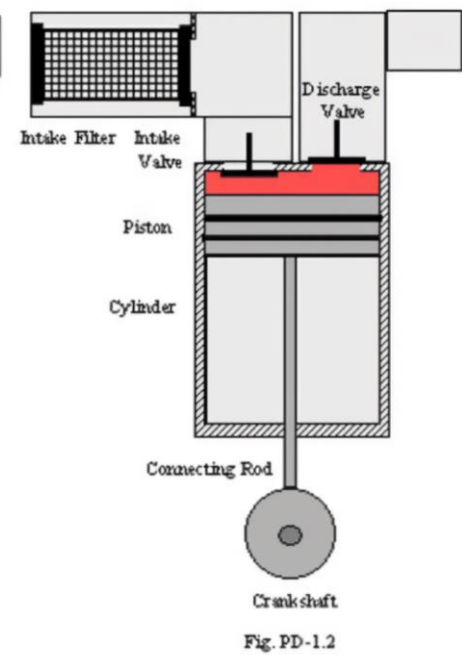
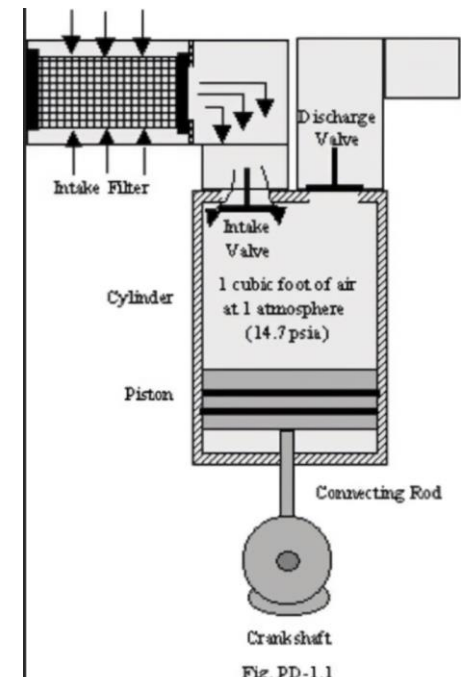
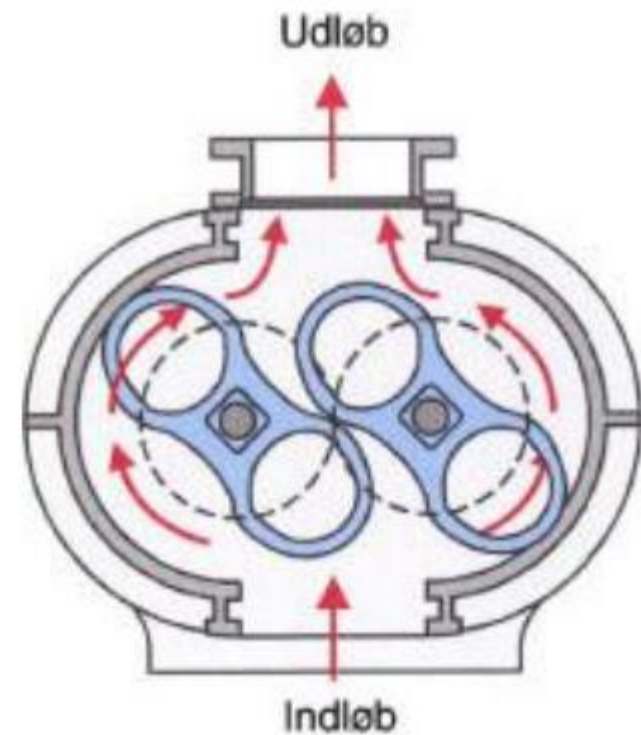
---



# KOMPRESSORER TYPER



 kompressor



# KOMPRESSORER

## TERMODYNAMIK KAP 6.2

Ideel kompressor:  $s_1 = s_2$

Ikke ideel kompressor:  $\eta_{s} = \eta_{is} = W_{ideelt} / W_{reelt} = (h_{2s} - h_1) / (h_2 - h_1)$



**Regneøvelse** : Find tilført effekt til kompressoren

$\dot{M} = 0,05$

$P_1 = 2 \text{ bar}$        $x_1 = 1$

$\eta_s = 0,7$        $P_2 = 8 \text{ bar}$



# LØSNING TIL OPGAVE

---

$$\dot{m} = 0,05$$

$$P_1 = 200$$

$$x_1 = 1$$

$$h_1 = \text{enthalpy}(\text{R134a}, P=p_1; x=x_1)$$

$$s_1 = \text{entropy}(\text{R134a}, P=p_1; x=x_1)$$

$$\eta_s = 0,7$$

$$P_2 = 800$$

$$h_2 = \text{enthalpy}(\text{R134a}, P=p_2; s=s_1)$$

$$\eta_s = (h_2 - h_1) / (h_{2s} - h_1)$$

$$W_s = (h_2 - h_1) \cdot \dot{m}$$



# PAUSE





# KOMPONENTER: VARMEVEKSLERE

---

Advarsel: det er faktisk lidt svært at regne på  
varmevekslere

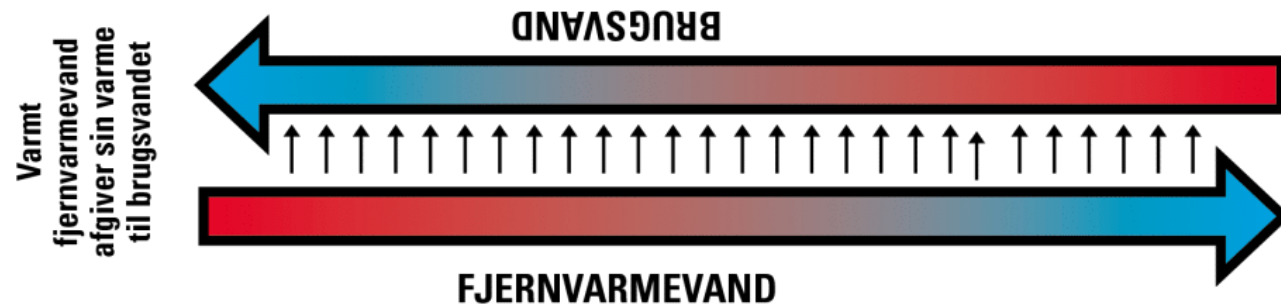
# FRA TERMODYNAMIKBOGEN

De 3 ligninger for en varmeveksler:

$$Q = \dot{m} \cdot \Delta h \quad [\text{kW}] \quad \text{Energibevarelse for den ene strøm}$$

$$Q = U \cdot A \cdot \text{LMTD} \quad [\text{kW}] \quad \text{Varmeoverførsel}$$

$$Q = \dot{m} \cdot \Delta h \quad [\text{kW}] \quad \text{Energibevarelse for den anden strøm}$$

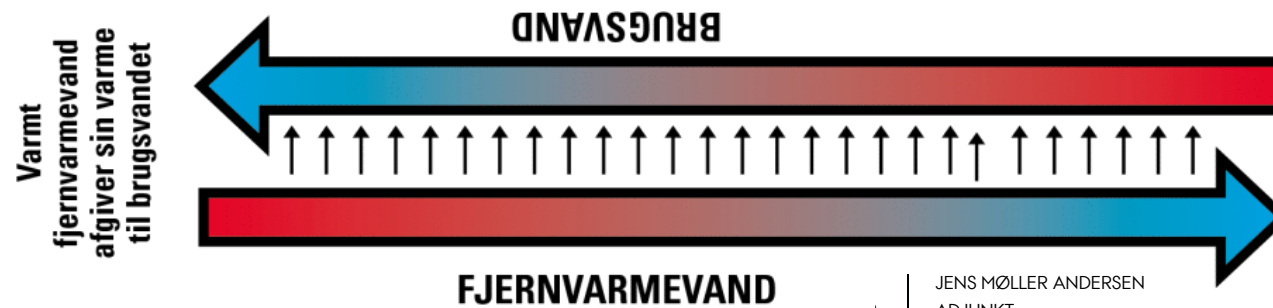


# LMTD OG AMTD

DT<sub>a</sub> og DT<sub>b</sub>

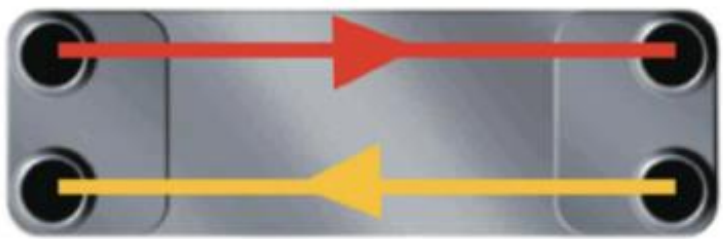
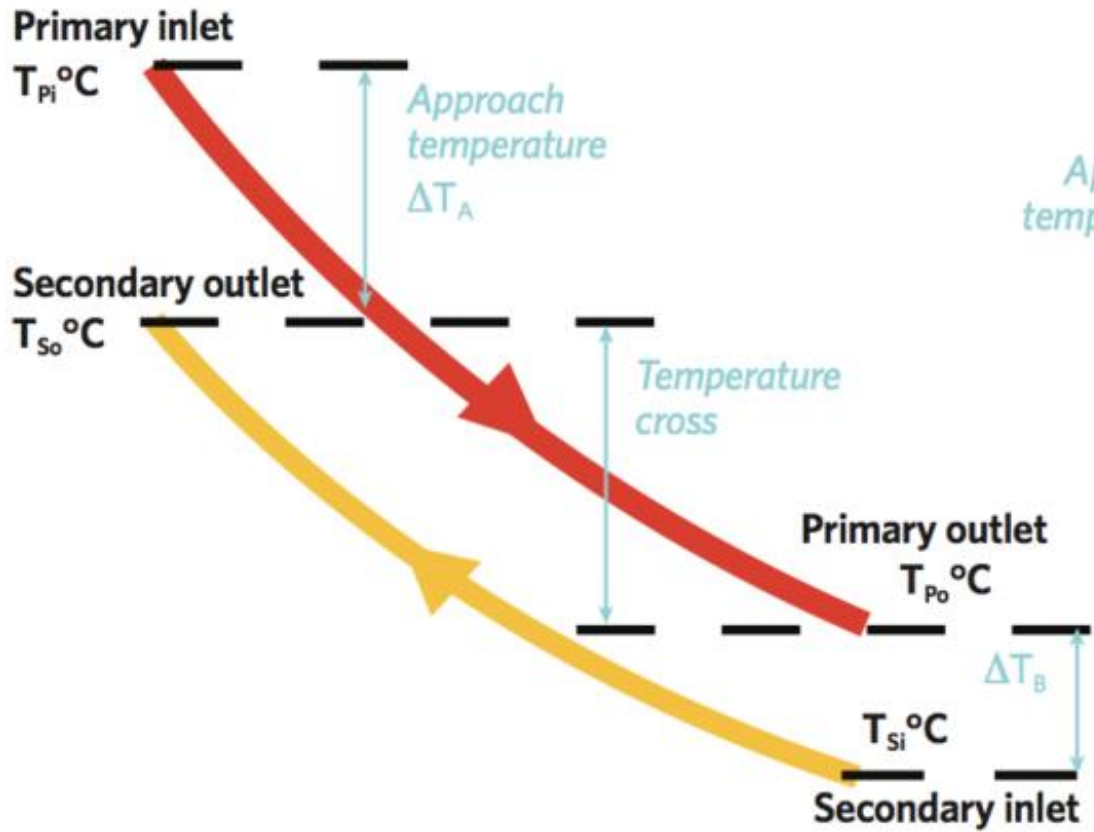
$$LMTD = (DT_a - DT_b) / \ln(DT_a / DT_b)$$

$$AMTD = (DT_a/2 + DT_b/2) \quad \text{Advarsel: må kun bruges som startgæt!}$$

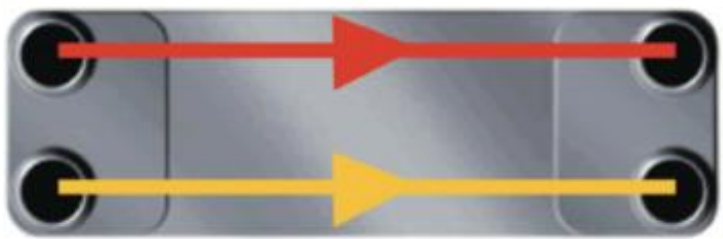
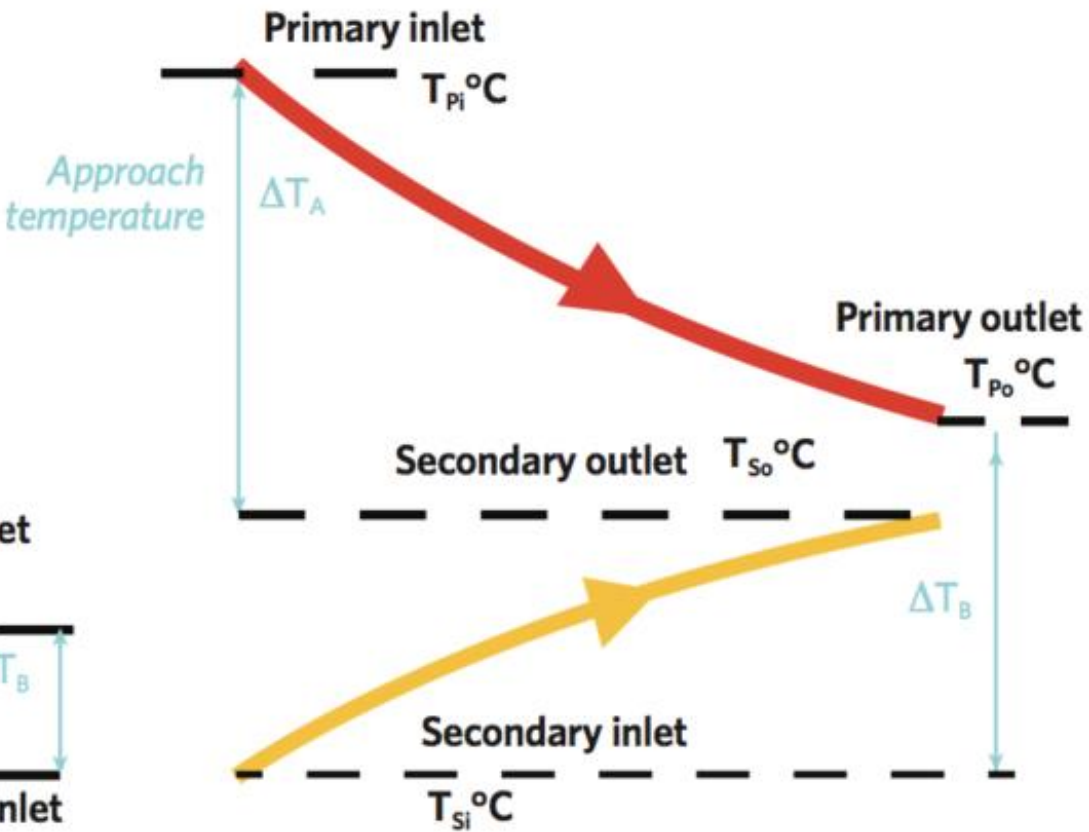


# TEMPERATURFORLØB

Counter flow heat exchanger



Parallel flow heat exchanger



# REGNEØVELSE - FJERNVARMEVEKSLER

Vi skal i brusebad – hvad bliver temperaturen?

Anslået  $U$  værdi = 500

$A$  : Vi tæller plader og regner arealet

$m_{fjv} = 350 \text{ l/h}$  [læg mærke til enhederne og omregn]

$m_{bruser} = 10 \text{ l/minut}$

$T_{fjv \text{ ind}} = 60^\circ\text{C}$

$T_{vand \text{ ind}} = 10^\circ\text{C}$

Brug både LMTD og AMTD – prøv at skrue på og ned for  $m_{fjv}$

- Vi diskutere jeres erfaringer

# KONDENSATOR OG FORDAMPER

Vi kikker på  $DT_a$  og  $DT_b$

$$LMTD = (DT_a - DT_b) / (DT_a / DT_b)$$

$$AMTD = (DT_a/2 + DT_b/2)$$

**Bemærk:** Dette ikke er hverken modstrøms eller medstrøms, det er en slags krydsstrøms varmeveksler.



## Hvordan er temperaturforløbet?

# REGNEØVELSE - MODEL AF A/C KONDENSATOR

---

Hint:

Tegn kølekreds, tegn energistrømme

Hvad skal man begynde med at låse fast (det lære vi mere om senere)

Give gode gæt på:

- lufttemperatur
- Luftmængde
- Kølemiddel tilstand ind og ud

Termodynamikbogen afsnit 9.5

# IKKE IDEELLE KOMPONENTER

---

Vi kikker på den gamle kondensator

- Hvordan kan komponenter være "ikke ideelle"?

Ikke Ideelle komponenter: (angives ofte med en isentropisk virkningsgrad)

Pumper  $\Delta S \neq 0$

Turbiner  $\Delta S \neq 0$

Kompressorer  $\Delta S \neq 0$

Varmevekslere  $U \neq \infty$

Rør  $\Delta p \neq 0$

Ventil  $\Delta h \neq 0$



# REGNEØVELSE – FJERNVARMEVEKSLER IGEN

Varmeveksleren er smudset til, derfor bliver varmeovergangstallet mindre og røret er stoppet lidt til, så der ikke kommer så meget fjernvarmevand. – hvordan virker det nu?

Vi skal i brusebad – hvad bliver temperaturen?

Anslået U værdi = 300

A : Vi tælle og regner

$m_{fjv} = 250 \text{ l/h}$  [læg mærke til enhederne og omregn]

$m_{bruser} = 10 \text{ l/minut}$

$T_{fjv \text{ ind}} = 60^\circ\text{C}$

$T_{vand \text{ ind}} = 10^\circ\text{C}$

Brug både LMTD og AMTD – prøv at skrue på og ned for  $m_{fjv}$

- Vi diskutere jeres erfaringer

$$mf_{jv}=350$$

$$m_{fjv}=mf_{jv}/3600$$

$$m_{brus}=10$$

$$m_{brus}=m_{brus}/60$$

$$P=300 \text{ [kPa]}$$

$$U=19 \text{ "!" i kW eller i W ?"}$$

$$A=0,21*0,07*12$$

$$T_{fjv\_ind}=60$$

$$T_{vand\_ind}=10$$

$$//T_{fjv\_ud}=33$$

$$//T_{vand\_ud}=50$$

$$h_{vand\_ind}=enthalpy(\text{Water};P=P;T=T_{vand\_ind})$$

$$h_{fjv\_ind}=enthalpy(\text{Water};P=P;T=T_{fjv\_ind})$$

$$h_{vand\_ud}=enthalpy(\text{Water};P=P;T=T_{vand\_ud})$$

$$h_{fjv\_ud}=enthalpy(\text{Water};P=P;T=T_{fjv\_ud})$$

$$DT_a = (T_{fjv\_ind} - T_{vand\_ud})$$

$$DT_b = (T_{fjv\_ud} - T_{vand\_ind})$$

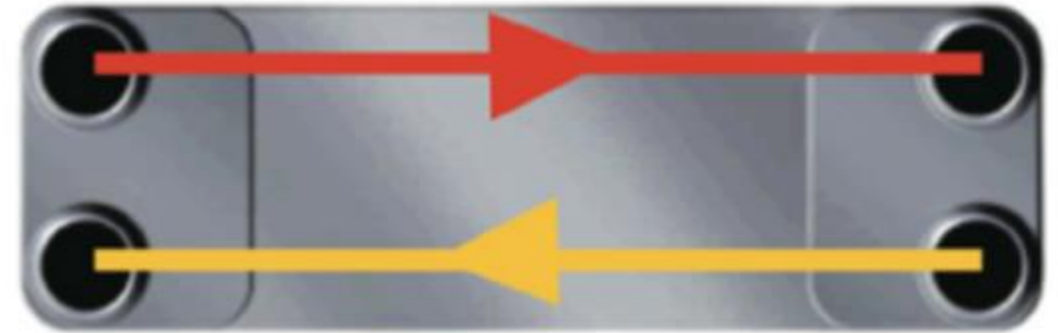
$$Q = m_{brus} * (h_{vand\_ud} - h_{vand\_ind})$$

$$Q = m_{fjv} * (h_{fjv\_ind} - h_{fjv\_ud})$$

$$LMTD = (DT_a - DT_b) / \ln(DT_a / DT_b)$$

$$AMTD = DT_a/2 + DT_b/2$$

$$Q = U * A * LMTD$$



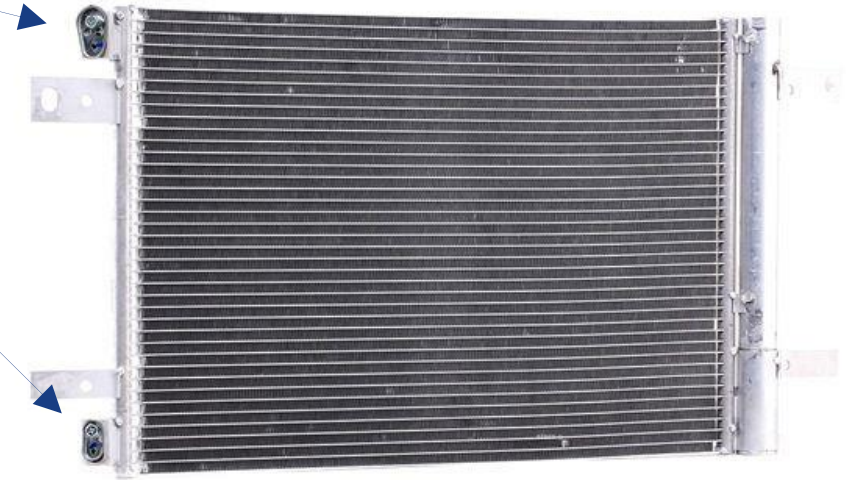
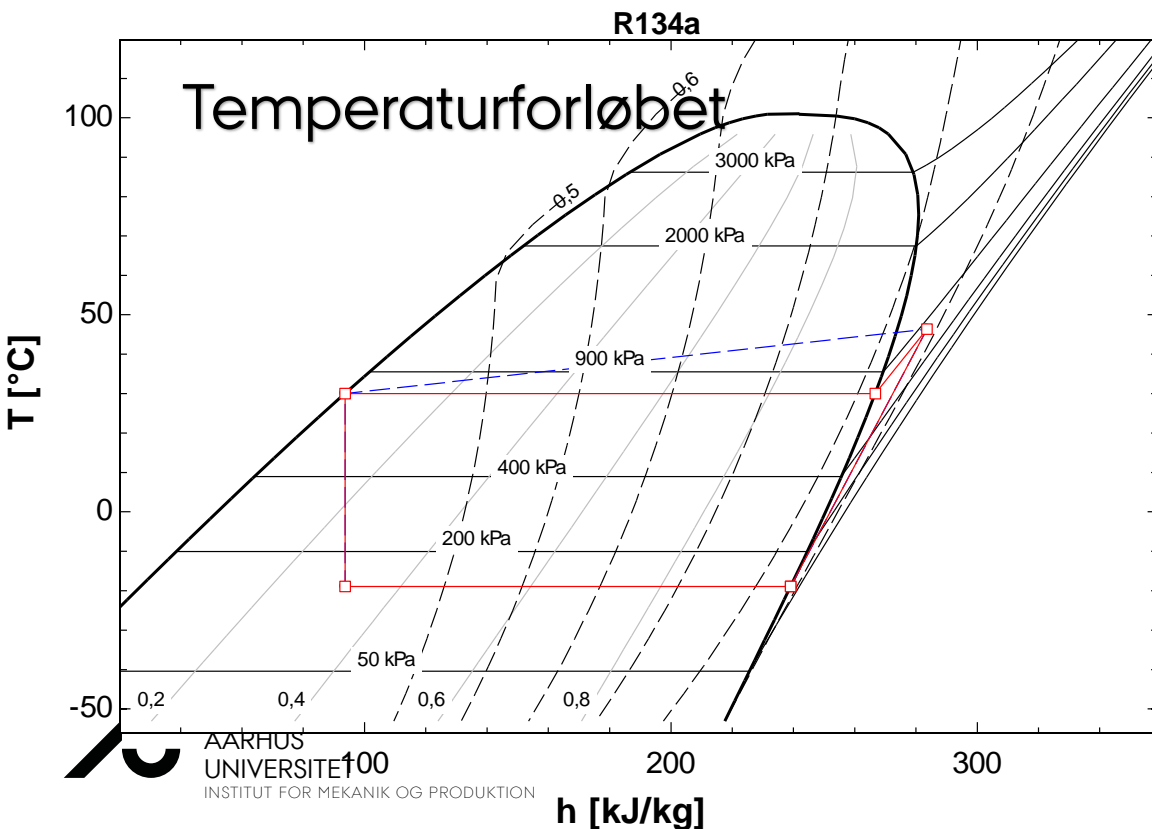
# KONDENSATOR OG FORDAMPER

Vi kikker på  $DT_a$  og  $DT_b$

$$LMTD = (DT_a - DT_b) / (DT_a / DT_b)$$

$$AMTD = (DT_a/2 + DT_b/2)$$

?



Ph og Th diagrammer

# REGNEØVELSE

## - MODEL AF KONDENSATOR DEL (FJERN OVERHEDNING)

Hint:

Tegn kølekreds

Byg videre på min model

Give gode gæt på det der mangler:

Termodynamikbogen afsnit 9.5

"! Fjerne overhedning fra kølemiddelstrøm "

" Hvor stor skal arealet være "

$\alpha_{\text{luft}} = 0,02$  // i kW/K m<sup>2</sup>

$\alpha_{\text{luft}} = U$  // det udvendige udvendige overgangstal styrer

$P[2] = 800$

$T[2] = 60$

//A = 10 // udvendig areal i m<sup>2</sup> - med midlertidig ind til jeg regner det ud fra de andre tal

$\dot{m} = 0,01$  //kølemiddelstrøm

$m_{\text{luft}} = 1$

$T_{\text{luft\_ind}} = 20$  // ved 31 C se på DT<sub>a</sub>

// prøv at gå tæt på kondenseringstemperaturen og vis forskel LÆMTD og AMTD

$C_{p\_luft} = 1$



AARHUS  
UNIVERSITET