

HVAC

Xander Vandooren

November 5, 2024

Contents

1 Week 1:	1
1.1 Basisbegrippen Thermodynamica:	1
1.1.1 Energiebronnen → energie omzetters	1
1.1.2 Kinetische energie:	2
1.1.3 Potentiele energie:	2
1.1.4 Inwendige energie	2
1.1.5 Chemische energie	2
1.1.6 Warmte-Nulde wet va de Thermodynamica	2
1.1.6.1 Warmtestromen	2
1.1.6.1.1 Warmtestroomdichtheid	3
1.1.6.1.2 conductie	3
1.1.6.1.3 convectie	3
1.1.6.2 Stofeigenschappen	3
1.1.6.2.1 Dichtheid	4
1.1.6.2.2 Specifieke warmte	4
1.1.6.3 Toestandsgrootheden	4
2 week 2:	4
2.1 Ideale gaswet-oefening 2:	4
2.2 Wet van dalton → gasmengsels:	4
2.2.0.1 voorbeeld:	4
2.3 Eerste wet van de thermodynamica:	5
2.3.0.1 Eerste hoofdwet: "Wet van behoud van energie":	5
2.3.0.2 Behoudswet- Massabalans	5
2.3.0.3 Efficiency van een systeem:	5
2.3.0.4 Arbeid geleverd door een gas:	6
2.3.0.5 Druk verandering gedurende proces:	6
2.3.0.6 Isotherm proces ($\Delta T = 0$)	6
2.3.0.7 Adiabatisch proces ($Q=0$)-isentrop	6
2.3.0.8 Isobaar proces ($p=\text{constant}$)	7
2.3.0.9 Isochoor proces ($V=\text{constant}$)	7
2.4 Tweede hoofdwet:	7
2.4.0.1 Kringprocessen:	7
2.4.0.2 Carnot	8
2.4.0.3 Rankine	8

2.4.0.4	Brayton	8
2.4.0.5	Otto	8
2.4.0.6	Seiliger of Diesel	9
2.4.0.7	Stirling	9
2.5	Open kringprocessen	9
2.5.0.1	Open-system Pomp:	10
2.5.0.2	Smoorvoorziening:	10
2.5.0.3	Warmtewisselaar:	10
2.5.0.4	Ketel:	10
2.5.0.5	Compressor:	10
3	week 3 (4):	11
3.1	warmteproductie via verbranding:	11
3.1.1	Verbrandingschemie:	11
3.1.2	Overzicht van brandstoffen:	12
3.1.3	Theoretische luchthoeveelheid:	12
3.1.4	Dauwpunts temperatuur van rookgassen:	12
3.1.5	Verbrandingsproces:	12
3.1.5.1	Mazoutbranders:	13
3.1.5.2	Aardgasbranders:	13
3.1.6	Warmwaterketels-overzicht:	14
3.1.7	Warmtebalans van een ketel:	14
3.1.8	Ketelrendement en dauwpunt:	15
3.1.9	Na warm water komt stoom:	15
3.1.10	Stoom in de procestechniek:	15
3.1.10.1	Water en zijn verschillende vormen:	15
3.1.10.2	Tv diagramma voor water:	16
3.1.10.3	ph-diagram van water:	16
3.1.10.4	Waterpijpketel:	16
3.1.10.5	Vlampijpketel:	17
3.1.10.6	Spiraalketel:	17
3.1.10.7	De stoomgenerator:	17
3.1.10.8	Overzicht stoominstallatie - toebehoren:	18
4	Week 5:	18
4.1	Pompen en compressoren:	18
4.1.1	Pomp:	18
4.1.1.1	Wet van Bernoulli:	19

4.1.1.2	Manometrische opvoerdruk:	19
4.1.1.3	Asvermogen:	19
4.1.1.4	Pomprendement:	19
4.1.1.5	Cavitatie en NPSH:	20
4.1.1.6	Leiding karakteristieken:	20
4.1.1.7	Automatische wijziging van het werkingpunt:	20
4.1.1.8	Regelstrategien	21
4.1.1.9	Serie- en parallelschakeling van pompen	21
4.1.1.10	Drukval in de leidingen:	22
4.1.1.10.1	Getal van Reynolds:	22
4.1.1.11	Waaierpompen:	23
4.1.1.12	Eulerse opvoerdruck:	23
4.1.2	Compressoren:	23
4.1.2.1	Isentropisch rendement:	24
4.1.2.2	Soorten compressoren:	24
4.1.2.3	Zuigercompressor:	24
4.1.2.3.1	capaciteitsregeling:	25
4.1.2.3.2	Elektrische motor frequentiesturing:	26
4.1.3	Monoschroefcompressor:	26
4.1.4	Schroefcompressor-twin:	27
4.1.4.1	Compressie cyclus:	27
4.1.5	Vi in functie van drukverhouding:	27
4.1.5.1	overdruk en onderdruk:	28
4.1.6	Scroll compressor:	28
4.1.6.1	compressie cyclus:	28
5	Week 6:	28
5.1	Koudemiddelen:	28
5.1.1	Basis-principe:	29
5.1.1.1	Lekverlies:	29
5.2	Opdeling volgens type:	30
5.3	Kringloop:	30
5.4	Indeling van koelsystemen:	31
5.4.0.1	Koudedragers in gebruik bij een Indirect systeem:	31
5.4.0.2	Voordelen en nadelen van het gebruik van een koudedragers:	31
5.5	Koudedragers:	32

Voor vragen mailen naar: pieter.salomez@jci.com school email in cc.

1 Week 1:

Belangrijke slides: 6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,17,18,19,20 **HVAC staat voor heating ventilation en airconditioning**

1.1 Basisbegrippen Thermodynamica:

1.1.1 Energiebronnen → energie omzetters

Belangrijkste bron van energie is de zon.

- **Verdamping & neerslag**
 - waterkracht → elektriciteit
- **Biomassa**
 - Elektriciteit-centrale → elektriciteit
 - Brandstof conversie → warmte
- **Fossiele brandstof**
 - Elektriciteit-centrale → elektriciteit
 - Warmte-centrale → warmte
 - verbrandings-motoren → arbeid
- **Wind**
 - Windturbine → elektriciteit
- **Zonlicht**
 - Zonnepanelen → elektriciteit
 - zonnecollector → warmte
- **van oppervlak en atmosfeer**
 - warmtepomp → warmte

1.1.2 Kinetische energie:

Is een vorm van energie, eigen aan een bewegend lichaam, vanwege de traagheid van massa. De kinetische energie van een bewegend lichaam is.

$E_{kin} = 1/2 * m * v^2$ hierbij is m de massa en v de snelheid in km/h .

De eenheid voor kinetische energie is in Joule (J) opdracht:

1.1.3 Potentiele energie:

In de natuurkunde is de potentiele energie de arbeid die een voorwerp in staat is (= de potentie heeft) te verrichten als gevolg van de toestand waarin het voorwerp zich bevindt. Deze toestand kan de situering in een krachtenveld zijn of de interne configuratie van het voorwerp. $E_{Pot} = m.g.h$ hierbij is m de massa (in kg) g de zwaartekracht ($9.81 m/s^2$) en h de hoogte.

1.1.4 Inwendige energie

1.1.5 Chemische energie

$$H_{ch} = m_{br} * h_0$$

1.1.6 Warmte-Nulde wet va de Thermodynamica

De 'nulde wet' stelt voor dat als A dezelfde temperatuur heeft als B, en B heeft dezelfde temperatuur als C, A ook dezelfde temperatuur heeft als C.

Een andere formulering is dat **warmte alleen van een hogere naar een lagere temperatuur stroomt.**

1.1.6.1 Warmtestromen

- Convectie
 - Warmte overdracht door verplaatsing van een warme vloeistof of een warm gas, of van een koude vloeistof of een koud gas. Wanneer warmte door stroming wordt meegevoerd, kan de mate daarvan worden uitgedrukt met de **warmteoverdrachtscoëfficiënt h [W/m^2K]**

- conductie
 - Dit is de warmteoverdracht binnen de desbetreffende stof, waarbij warmte stroomt van deeltjes
- radiatie

1.1.6.1.1 Warmtestroomdichtheid Warmtestroomdichtheid

1.1.6.1.2 conductie Dit is de warmteoverdracht binnen de desbetreffende stof, waarbij warmte stroomt van deeltjes met de hogere kinetische energie (temperatuur) naar minder energierijke (koude) deeltjes. De warmtestroom is afhankelijk van de temperatuursverschil over de afstand (temperatuurgradient) en de interne weerstand tegen de warmtestroom van het betreffende materiaal, die de thermische geleidbaarheid of warmtegeleidingscoëfficiënt λ [W/mK] genoemd wordt.

1.1.6.1.3 convectie Warmtetransport door convectie is een proces waarbij warmte wordt overgedragen door de beweging van vloeistoffen of gassen. Dit gebeurt wanneer een warmer deel van de vloeistof het gas zich verplaatst naar een kouder deel, waardoor warmte wordt getransporteerd. Convectie kan op twee manieren plaatsvinden.

- **Natuurlijke convectie:**
 - Dit gebeurt door temperatuurverschillen die leiden tot dichtheidsverschillen in de vloeistof of het gas. Bijvoorbeeld warme lucht stijgt op omdat het minder dicht is dan de koude lucht.
- **Geforceerde convectie:**
 - Hierbij wordt de beweging van de vloeistof of het gas veroorzaakt door externe krachten, zoals een ventilator of pomp.

1.1.6.2 Stofeigenschappen

1.1.6.2.1 Dichtheid Dichtheid, ook wel massadichtheid genoemd, is een maat voor de massa per volume-eenheid van een materiaal. Het wordt vaak aangeduid met de Griekse letter ρ (rho). $\rho = m/v$

1.1.6.2.2 Specifieke warmte

1.1.6.3 Toestandsgrootheden

2 week 2:

belangrijke slides:5-21,23-36

2.1 Ideale gaswet-oefening 2:

In een zuurstoffles bevindt zich 50 dm^3 zuurstof van 17°C bij een druk van 150 bar.

2.2 Wet van dalton → gasmengsels:

De totale druk van een gasmengsel is gelijk aan de som van de drukken welke elk gas zou uitoefenen **partieel-druk**

2.2.0.1 voorbeeld:

we hebben een waterboiler met een inhoud van 120L bij een temp van 60°C . er wordt water afgetapt met een volumedebiet van 5L/min. er wordt water aangevuld met een temperatuur van 10°C . Het water is homogeen verdeelt. Wat is de watertemperatuur na 10 minuten?

2.3 Eerste wet van de thermodynamica:

Veert men aan een lichaam (kan bvb een gasmassa zijn) een hoeveelheid warmte Q toe, dan zal de toestand waarin dit lichaam verkeert veranderen. Dit **verschil** is de energie die met name de snelheid van de moleculen m.a.w de **kinetische energie van de moleculen vergroot**. Deze **Kinetische energie** is nu juist ed **inwendige energie U** .

2.3.0.1 Eerste hoofdwet: "Wet van behoud van energie": Heeft een massa van 1kg een inwendige energie van u_1 en voert men Q joule aan de warmte toe, dan wordt de inwendige energie u_2 en wordt er arbeid naar buiten toe geleverd (de volumevergroting moet duwen tegen de omgeving).
 $\Delta U = Q + W$

- **Exotherm proces:** van binnen naar buiten $\Delta U < 0$
- **Endotherm proces:** van buiten naar binnen $\Delta U > 0$

2.3.0.2 Behoudswet- Massabalans

$$(Toegevoerde - Afgevoerde)_{SG} + Productie_{SYST} = Teename_{SYST}$$

2.3.0.3 Efficiency van een systeem:

- Mechanische rendement: Wordt gebruikt bij processen waarbij mechanische energie van een energiedrager wordt overgedragen naar een andere energiedrager.
- Thermisch rendement: Bij omzetting van warmte in arbeid wordt gesproken over thermisch rendement.
- Coefficient of performance (COP) : is een verhouding die weergeeft in welke mate de primaire energie wordt omgezet in een daardwerkelijke eindresultaat. (hoe hoger uw COP hoe beter)
- Primaire energie ratio: Primaire energie ratio (PER) is een maatstaf voor de hoeveelheid primaire energie die nodig

2.3.0.4 Arbeid geleverd door een gas:

Als een gas uitzet of krimpt, duwt het een of meer van zijn begrenzde wanden voor zich uit waardoor het volume toe- of afneemt. Het gas levert dan arbeid op zijn omgeving (+) of neemt arbeid op (-).

Als de druk van het gas p is, is de grootte van de kracht, door het gas op de binnenkant van de zuiger uitgeoefend. $F = p.A$ wanneer de zuiger over een zeer kleine of elementaire afstand dx verplaatst dan is: $W = F.\Delta x = p.A.\Delta x$
 $\Delta U = Q = p.dV$

2.3.0.5 Druk verandering gedurende proces:

$$W = \int_{V_B}^{V_A} p.dV$$

- **Isobaar:** $n=0$
- **Isotherm:** $n=1$
- **Isentropisch of adiabatisch:** $n=\infty$
- **Isochoor:** $n=+\infty$
- praktisch \rightarrow polytroop
 - Ligt tussen isotherm en isentroop
 - Afhnakelijk van polytropische index (n)

2.3.0.6 Isotherm proces ($\Delta T = 0$)

Hebben we een proces waarbij **de temperatuur constant** is, dan spreken we van een isotherm proces. Isotherm is de griekgse vertaling voor 'Gelijke temperatuur'. Spreken we van een ideaal gas dan weten we door de wet van Boyle dat druk maal volume constant is bij een gegeven temperatuur T .

2.3.0.7 Adiabatisch proces ($Q=0$)-isentrop

Dit is een proces waarbij er geen warmte in of uit het proces stroomt. We kunnen 2 situaties hebben waarbij dit voorkomt:

1. Ten eerste kan er sprake zijn van een systeem die in die mate geïsoleerd is dat er geen warmte kan uitstromen.
2. Ten tweede kan het verloop fan het proces zo snel gebeuren dat de warmte de tijd niet heeft om weg te stromen.

2.3.0.8 Isobaar proces ($p=\text{constant}$)

Dit is een proces waarbij **de druk constant** wordt gehouden. Bij het opwarmen van een gas kan het volume toenemen, zonder meer.

2.3.0.9 Isochoor proces ($V=\text{constant}$)

Dit is een proces waarbij **het volume constant** wordt gehouden. Een voorbeeld hiervan is het opwarmen van een gasfles. De temperatuur zal toenemen maar de systeem grenzen kunnen niet aangepast worden.

2.4 Tweede hoofdwet:

Vaststelling:

- Warmte stroomt van nature van warme naar koude gebieden en nooit spontaan van koud naar warm.
- Arbeid Kan wel volledig in warmte,

2.4.0.1 Kringprocessen:

- Carnot-proces
 - **Beschrijving:** Het ideale kringproces met het hoogste theoretische rendement. Het bestaat uit twee isotherme en twee diabetische processen.
 - **voorbeeld:** Een Carnot-warmtepomp die warmte van een koude naar een warme omgeving verplaatst met maximale efficiëntie.
- Rankine-proces
- Brayton-proces
- Otto-proces
- Stirling-proces

2.4.0.2 Carnot

De Carnot-cyclus is een theoretisch ideaal thermodynamisch kringproces dat bestaat uit vier omkeerbare stappen. Hier is een overzicht van de stappen in de Carnot-cyclus:

- 1.

2.4.0.3 Rankine

Een typisch voorbeeld van de Rankine-cyclus is een kolengestookte elektriciteitscentrale. Hier is een stap-voor-stap beschrijving van hoe de Rankine-cyclus in zo'n centrale werkt:

1. Isentropische compressie:
2. Isobare warmte toevoer

2.4.0.4 Brayton

De Brayton-cyclus, ook welbekend als de Joule-cyclus, is een thermodynamisch kringproces dat vaak wordt gebruikt in gasturbines en straalmotoren. Het proces bestaat uit vier hoofdfasen.

1. compressie
2. verbranding
3. Expansie
4. Uitlaat

2.4.0.5 Otto

De Otto-cyclus bestaat uit vier hoofdprocessen:

1. Isentropische compressie: Het lucht-brandstofmengsel wordt adiabatisch en reversibel gecomprimeerd in de cilinder, waardoor de druk en temperatuur
2. Isochore warmte toevoer:
3. Isentropische expansie:

4. Isochore warmte afvoer:

Praktisch:

-

2.4.0.6 Seiliger of Diesel

De Diesel-cyclus bestaat uit vier hoofdprocessen:

1. Isentropische compressie:
2. Isobare warmte toevoer:
3. Isentropische expansie:
4. Isobare Warmte afvoer:

2.4.0.7 Stirling

De Stirling-cyclus is een thermodynamisch proces dat wordt gebruikt in de Stirlingmotoren, die bekend staan om hun efficiëntie en stille werking. Hier is een overzicht van de Stirling-cyclus:

1. Isotherme compressie:
2. Isovolumetrische (isochorische) verwarming:

2.5 Open kringprocessen

- Pomp:
 -
 -
- Smoorvoorziening:
- Warmtewisselaar:
- ketel:
- Compressor:

2.5.0.1 Open-system Pomp:

Een pomp is een werktuig dat wordt gebruikt om vloeistoffen of gassen te verplaatsen door er energie aan toe te voegen in de vorm van een drukverhoging of snelheidsverhoging. **Dit betekent dat een pomp vloeistoffen of gassen van een lager niveau naar een hoger niveau kan verplaatsen.**

$$\bullet P_{pomp} =$$

2.5.0.2 Smoorvoorziening:

Een smoorvoorziening wordt gebruikt om de druk te verlagen in een systeem.

$$h_{uit} = h_{in}$$

Een expansieventiel is een essentieel onderdeel van koel- en airconditioningsystemen. Het heeft als doel het koudemiddel van een hoge druk (en hoge temperatuur) naar een lage druk (en lage temperatuur) te brengen. Dit proces zorgt ervoor dat het koudemiddel verder kan verdampen en warmte kan opnemen uit de omgeving.

2.5.0.3 Warmtewisselaar:

Een warmtewisselaar is een apparaat dat warmte overdraagt van een medium (zoals een vloeistof of gas) naar een ander medium, zonder dat de tweede media direct met elkaar in contact komen. Dit proces wordt vaak gebruikt in verwarmings-, ventilatie- en airconditioningsystemen (HVAC), industriële processen, en energieopwekkingssystemen om efficiëntie te verhogen en energie te besparen.

2.5.0.4 Ketel:

Een verbrandingsketel, ook wel bekend als een cv-ketel of centrale verwarmingsketel, is een apparaat dat wordt gebruikt om warmte te genereren door het verbranden van brandstoffen zoals gas, olie, hout of biomassa.

$$\phi$$

2.5.0.5 Compressor:

Een compressor is een apparaat dat lucht of een ander gas samenperst tot een hogere druk. Dit samengeperst gas kan vervolgens worden gebruikt

voor verschillende toepassingen, zoals het aandrijven van gereedschappen en machines, spuitwerk van verf, of het oppompen van banden.

$$P_{Compressor} = \dot{\phi}_m * (h_{uit} - h_{in})$$

$$W_{Compressor} = \dot{\phi}_m * (h_{uit} - h_{in})$$

$P_{Compressor}$ = Compressor vermogen [W]

3 week 3 (4):

belangrijke slides: 4, 5, 6, 9-31

3.1 warmteproductie via verbranding:

Verbranding is een **chemische reactie** waarbij een oxidatiemiddel snel creëert met een brandstof om opgeslagen energie vrij te maken. Het **oxidatiemiddel** voor verbranding is **zuurstof in de lucht**. De oxidatie vindt normaal gesproken plaats met de **brandstof in dampvorm (gasvorm)**. Een uitzondering is oxidatie van vaste stof, koolstof, die direct met de vaste fase plaatsvindt.

3.1.1 Verbrandingschemie:

- verbrandingswarmte Vb:
 - Is de **warmte** die vrijkomt bij het verdampen van vast of vloeibare stoffen:
 - * Bij verbranding van 1kg C tot CO₂ ontstaan 33,9 MJ voor C
 - * Bij verbranding van 1kg tot S tot SO₂ ontstaan 10,4 MJ voor S
 - * Bij verbranding van 1kg tot H₂O (vloeibaar) ontstaan 144, @ MJ
- Stookwaarde Vo:
 - De **energie** die vrijkomt bij het verbranden van een brandstof.

3.1.2 Overzicht van brandstoffen:

- Calorische bovenwaarde: Dit is de verbrandingswaarde van een brandstof.
- Calorische onderwaarde: Dit is de stookwaarde van een brandstof.

3.1.3 Theoretische luchthoeveelheid:

Theoretische luchthoeveelheid L₀: 1m³ lucht bevat met andere woorden 0,207m³

- Zuurstof die we nodig hebben voor een **volledige verbranding**. Of met andere woorden een volledige verbranding krijgen we pas bij $4,83m_n^3 \rightarrow 1/0.207$ lucht.

3.1.4 Dauwpunts temperatuur van rookgassen:

- dauwpunttemperatuur van rookgassen bij de verbranding van **stookolie** ligt doorgaans tussen de **45 en 55 graden celsius**.
- dauwpunttemperatuur van rookgassen bij de verbranding van **aardgas** ligt meestal rond de **55 tot 60 graden celsius**.

3.1.5 Verbrandingsproces:

- Vlamtemperatuur:
 - is afhankelijk van de soort brandstof die wordt verbrand. Ideaal gebeurt de verbranding volledig, zonder afgifte van warmte aan omliggende wanden. Dit zou dan de adiabatische Vlamtemperatuur heten. Praktische ligt deze waarde enkele honderden graden lager als gevolg van straling naar omgeving.
- Ontstekings temperatuur:
 - De ontstekings temperatuur van een brandstof is het laagste punt waarop een brandstof vanzelf zal ontbranden zonder dat er een externe ontstekingsbron nodig is.
 - Meestal is dit aardgas en diesel. aardgas is tussen de 400-950 graden en diesel rond 450 graden celsius

3.1.5.1 Mazoutbranders:

- Gele vlambrander:
 - klassieke uitvoering van de mazoutbrander, maar onderging een hele evolutie voor een betere werking.
- Blauwe vlambrander:
 - Blauwe vlambrander is een populaire mazoutbrander: stoot amper roet of CO uit, de brandstof zo goed als volledig verbruikt wordt. Je herkent dit type brander aan de blauwe vlam. Lage vlamtemperatuur wat de vorming van stikstofdioxide of NOx tegengaat.
- Low-NOx-brander of grijze vlambrander:
 -
- Modulerende olieverdampingsbrander:
 -

3.1.5.2 Aardgasbranders:

- Atmosferische branders:
 - Deze branders mengen gas met lucht voordat het mengsel wordt ontstoken. Ze zijn eenvoudig en betrouwbaar, maar minder efficiënt dan andere types.
- Premix branders:
 - Deze branders mengen gas en lucht in een vooraf bepaalde verhouding voor een efficiëntere verbranding en lagere uitstoot.
 - Condensatiebranders:
 - * Deze branders gebruiken de warmte van de rookgassen om water te verwarmen, wat resulteert in een zeer hoog rendement.

3.1.6 Warmwaterketels-overzicht:

- Conventionele ketels:
 - Werking: Verbranden brandstof (zoals aardgas, stookolie) om water te verwarmen.
 - Voorbeeld: Novum warmwaterketels zijn ontworpen voor commerciële en industriële toepassingen met watertemperaturen tot 100 °C
- Hogedruk: Warmwaterketels:
 - Werking: Werken bij hogere druk en temperatuur, vaak boven 110 °C, voor industriële toepassingen.
 - Voorbeeld: Vitomax HW van Viessmann, met een vermogen van 0,35 tot 20,0 MW en een efficiëntie van meer dan 95,5%.
 - Biomassaketels:
 - Elektrische ketels:
 - Hybride ketels:
- Lagedruk-Warmwaterketels:
 - Werking: Werken bij lagere druk en temperatuur, geschikt voor minder intensieve toepassingen.
 - Voorbeeld: Vitomax LW van Viessmann, met een vermogen van 0,65 tot 22,0 MW en geschikt voor diverse brandstoffen.
- Condensatieketels:
 - Werking: Maken gebruik van de warmte uit de rookgassen door condensatie, wat resulteert in een hoger rendement.
 - Voorbeeld: HR-ketels (Hoog Rendement ketels) die vaak in huishoudens worden gebruikt voor hun energie-efficiëntie.

3.1.7 Warmtebalans van een ketel:

Water moet zeker 1 keer per week +/- tot 60 graden opgewarmd worden in uw boiler om legionella tegen te gaan (kan ontstaan 20-30 graden bij stilstaand water).

3.1.8 Ketelrendement en dauwpunt:

- HR-ketels:
 - Maken gebruik van het feit dat rookgassen waterdamp bevatten.
 - Hoe lager uw Cv-retourtemperatuur hoe hoger uw ketelrendement. Het condensatiepunt is 58.6 graden celsius.

3.1.9 Na warm water komt stoom:

Stoom wordt gebruikt voor arbeid

- Natte stoom:
 - Stoom waarin kleine waterdeeltjes zweven. Door deze waterdeeltjes is het soortelijk gewicht gestegen. Indien natte stoom verhit wordt, dan zullen allereerst deze waterdeeltjes verdampen. Bij voldoende verwarming wordt de stoom dan droog verzadigd.
- Verzadigde stoom:
 - Is stoom die condenseert bij verlaging van temperatuur. Deze stoom is ongeschikt voor het aandrijven van een stoomturbine, maar voldoet prima voor het aandrijven van een stoommachine of voor de overdracht van warmte. Er wordt dan wel gebruikgemaakt van verzadigde stoom die bij hogere druk is gegenereerd.
- Overhitte stoom:
 - Om overhitte stoom te maken moet de stoom extra worden opgewarmd naar een hogere temperatuur. In een fluitketel kan dat niet omdat daar alleen het water wordt verwarmd. In een stoomketel gebeurt hetzelfde. maar de geproduceerde stoom kan vervolgens door een overhitten worden geleid. De verzadigde stoom stijgt in temperatuur en wordt dan overhitte stoom genoemd.

3.1.10 Stoom in de procestechniek:

3.1.10.1 Water en zijn verschillende vormen: Bij 4 graden celsius is water het zwaarste.

- Overgangsfase(s):

- Bijgevoegde grafiek is een pT-diagram, die de verschillende fase-toestanden weergeeft van water. Naast vaste stof (ijs), vloeibaar (water), gas (waterdamp) zien we ook de relatie tussen alle drie. Bij 1 wel gemikt, specifiek, punt bestaan ze alle drie in elkaar. Dit is het zogenaamde triple punt. De andere speciale toestand kennen we als "Critical point" of Kritisch punt. Hier bestaan gas en vloeistof in elkaar.

Sublimatie is van vast direct naar gas zonder het in vloeibare vorm te moeten omzetten.

3.1.10.2 Tv diagramma voor water: Water onder constante druk en het bijhorende soortelijk volume.

3.1.10.3 ph-diagram van water: Water onder constante druk en het bijhorende soortelijk volume.

- X-as: Temperatuur [in graden celsius]
- Y-as: Saturatiedruk [bar]

3.1.10.4 Waterpijpketel: Oude verwarmingen werkten ook op dit principe.

- Constructie:
 - Bestaat uit een voedingswatervat aan de onderzijde, een stoomvat aan de bovenzijde, en waterpijpen die de twee vaten verbinden.
- Werkingsprincipe:
 -
- Voordelen
- Toepassingen

3.1.10.5 Vlampijpketel: Dit wordt voornamelijk in de industrie gebruikt.

- Constructie:
 - Bestaat uit een cilindrische ketelwand met een of meer vuurgangen, vlampijpen, een vlamkas, water en stoom.
- Werkingsprincipe:
 -
- Voordelen:
- Toepassingen:

3.1.10.6 Spiraalketel:

- Constructie:
 - Bestaat uit een spiraalvormige buis waarin water wordt gepompt.
De buis wordt
- Werkingsprincipe:
 -
- Voordelen

3.1.10.7 De stoomgenerator:

- Compact ontwerp:
- Efficiëntie:
- Veiligheid:
- Toepassingen:

gasbuizen worden meestal in het geel gekleurd (dit is de norm).

3.1.10.8 Overzicht stoominstallatie - toebehoren:

- watervoorbereiding-hardheidscontrole-doseerinstallatie
- Voedingstank-Ontgasser
- Voedingspompen
- Brander
- LUVO-Luchttoevoer naar brander
- Economizer
- Rookgaskoeler
- Elektrische kast
- Veiligheden
- Collector
- Spuitank - spui op geleidbaarheid - bodemspui

4 Week 5:

belangrijke slides:4-11,13-17,19,20,21,23-28

4.1 Pompen en compressoren:

4.1.1 Pomp:

Pomp heeft als hoofdfunctie het verplaatsen van vloeistoffen van de ene plaats naar de andere.

- Verhogen van druk:
 - Pompen worden vaak gebruikt om de druk van een vloeistof te verhogen, zodat deze door leidingen kan stromen of naar hogere niveaus kan worden getransporteerd.
- Verplaatsen van vloeistoffen:

- Pompen kunnen vloeistoffen verplaatsen van een lager naar een hoger niveau, zoals bij het oppompen van water uit een put.

4.1.1.1 Wet van Bernoulli: De bernoullivergelijking is een fundamentele vergelijking in de vloeistofmechanica die het gedrag van een vloeistof beschrijft langs een stroomlijn. **formule:**

4.1.1.2 Manometrische opvoerdruk: Manometrische opvoerdruk is de totale druk die een pom moet leveren om een vloeistof te verplaatsen.

- Statische opvoerdruk (P_{stat}): Dit is de druk die nodig is om het hoogteverschil tussen de zuig- en perszijde van de pomp te overwinnen.
- Dynamische druk (P_{dyn}): Dit is de druk die nodig is om de vloeistof op de gewenste snelheid te brengen.
- Leidingweerstand (P_w): Dit omvat de drukverliezen door wrijving in de leidingen, bochten, ventielen, ...

Dit komt overeen met de wet van Bernoulli:

- Kinetische energie → Dynamische druk
- Potentiele energie → Statische opvoerdruk

4.1.1.3 Asvermogen: Uw asvermogen is altijd kleiner dan uw elektrisch vermogen. Als we het debiet laten toenemen zal ons vermogen laten stijgen. Ons debiet is evenredig met de snelheid van onze pomp.

4.1.1.4 Pomprendement: Het rendement van elke machine is de verhouding van het afgegeven vermogen ten opzichte van het opgenomen vermogen.

- Motorrendement (elektrisch en mechanisch)
- volumetrisch rendement
- Hydraulische rendement

formule: $rendement_{tot} = rendement_M \cdot rendement_{vol} \cdot rendement_{hydro}$

4.1.1.5 Cavitatie en NPSH: Als lokaal in de pomp een gebied bestaat waar de statische druk lager is dan de dampdruk van de vloeistof, ontstaan dampbellen. Dit wordt cavitatie genoemd. Het ontstaat als gevolg van lokale versnelling van de vloeistof, waarbij statische druk wordt omgezet in kinetische energie. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren bij de inlaat van de pomp, waar de vloeistof enigszins versneld wordt alvorens het de waaier binnentreedt. Een andere plaats is dicht in de buurt van het neusprofiel van de waaierschoepen of aan de tip van propellers.

- De anti-cavitatie druk-marge of Net Positive Suction Head (NPSH) is gedefinieerd (in meters):

$$- \text{NPSH} = \frac{p_s}{\rho \cdot g} + \frac{v_s^2}{2 \cdot g} + \frac{p_v}{\rho \cdot g}$$

- p_s = statische druk aan pompinlaat
- v_s = snelheid aan pompinlaat
- p_v = dampdruk vloeistof
- We kunnen hier nog 2 begrippen in onderscheiden:

$$\star \text{NPSH}_a$$

4.1.1.6 Leiding karakteristieken: snijpunt pompkarakteristiek en installatiekarakteristiek = werkingpunt.

- Dat wil zeggen dat er op dat punt een evenwicht heerst tussen het aangeboden vermogen van de pomp en het verbruikte vermogen van het buizenstelsel. De pomp-opvoerhoogte is altijd net zo groot als de doostromingsweerstand van de installatie.

4.1.1.7 Automatische wijziging van het werkingpunt: Dat wil zeggen dat er op een dat punt een evenwicht heerst tussen het aangeboden vermogen van de pomp en het verbruikte vermogen van het buizenstelsel. De pom-opvoerhoogte is altijd net zo groot als de doostromingsweerstand van de installatie. Dit resulteert dan in het debiet dat door de pomp geleverd kan worden.

4.1.1.8 Regelstrategien

- Constante verschildruk (dit komt het meest voor): De door de pomp opgewekte verschildruk over het toelaatbare debietbereik constant op de ingestelde waarde H_s tot aan de maximaalkarakteristiek
- Variabele verschildruk (komt niet echt voor): De door de pomp aan te houden gewenste verschildruk bijvoorbeeld lineair tussen H_s en $1/2 H_s$. De gewenste verschildruk H neemt met het debiet Q af c.q. toe.
- Verschildruk constant/variabel: Verschildruk constant/variabel Bij deze regelingsmodus houdt de door de pomp opgewekte verschildruk tot een bepaald debiet constant op de ingestelde verschildruk (H_s 100%). Daalt het debiet verder, dan verandert de door de pomp aan te houden verschildruk lineair.

4.1.1.9 Serie- en parallelschakeling van pompen Als in praktijk de benodigde opvoerhoogte of volumestroom hoger is dan een bepaald type pomp kan leveren, is het mogelijk om pompen parallel of in serie te laten werken.

- Parallelschakeling:
 - Aangezien bij parallelschakeling van pompen de druk aan de zuigzijde (zuighoogte) voor beide pompen gelijk is, zal de geleverde druk nooit hoger kunnen zijn dan de maximale opvoerhoogte van een van de twee pompen. Om te voorkomen dat de stroomrichting omkeert in deze 'zwakkere' pomp moeten er bij parallelschakeling altijd terugslagkleppen gemonteerd worden.
- Serieschakeling:
 - Bij serieschakeling van twee pompen is de perszijde van de eerste pomp gekoppeld aan de zuigzijde van de tweede pomp. Nadat de druk van de vloeistof verhoogd is in de eerste pomp, wordt deze nogmaals verhoogd in de tweede pomp. De volumestroom door beide pompen is gelijk. De gezamenlijke pompkarakteristiek kan dus worden geconstrueerd uit de afzonderlijke karakteristieken door de opvoerhoogten bij gelijke volumestroom op te tellen.

4.1.1.10 Drukval in de leidingen:

- De vloeistofsnelheid
- De oppervlaktegesteldheid (ruwheid)
- De vloeistofeigenschappen zoals de dichtheid en de viscositeit

$$\text{Formule: } \Delta p = f * \frac{L}{D_h} * \frac{1}{2} * \rho * v^2$$

- δp = drilva; p_{ver} de leiding [Pa]
- D_h = Hydraulische diameter [m]
- ρ = Soortelijke massa ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)
- v = bulksnelheid van de stroming ($\frac{\text{m}}{\text{s}}$)

Voor hydraulische diameter van leiding te berekenen: **(Dit zeker kennen kan mss gevraagd worden op examen!)**

- $A = \pi * r^2$
- $O = 2 * \pi * r$
- $D_h = 4 * \frac{A}{O}$
- vb:

$$- \frac{4}{2} = \frac{\pi * r^2}{2 * \pi * r} \rightarrow$$

$$- D_h = 4 * 2 * \frac{\pi * 2^2}{2 * \pi * 2} = 22 = \text{diameter}$$

4.1.1.10.1 Getal van Reynolds: Om te weten of je laminaire of turbulente flow hebt kan je deze formule gebruiken:

- Laminaire flow heeft slechte warmte overdracht (meeste warmte zal aan buitenkant zijn in midden weinig).
- Bij turbulente flow wordt warmte overdracht gelijk verdeelt over alle stromen.

Formule:

$$\bullet Re = \frac{\rho * v * D_h}{\text{rendement}} = \frac{\text{traagheidskrachten}}{\text{Visceuze krachten}}$$

- Uw rendement = Dynamische viscositeit [$\frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$]

4.1.1.11 Waaierpompen:

- Hoe groter deze diameter hoe groter de opvoerhoogte
- Radiale type (lage volumestroom en hoge opvoerhoogte) tot het axiale type (hoge volumestroom en lage opvoerhoogte)
- als je eerder hoge druk verschillen willen aankunnen best radiale type (meerdere radiale pompen in parallel) en voor hoge hoeveelheden axiale type.

4.1.1.12 Eulerse opvoerdruk: Formule: $P_e = \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g}$

- U_2 = de omtreksnelheid aan de buitenkant van de waaier
- U_1 = de omtreksnelheid aan de binnenkant van de waaier
- g = de zwaartekrachtversnelling

De eulerse opvoerdruk wordt gebruikt om de theoretische prestaties van een pomp te evalueren. Het houdt rekening met de ideale omstandigheden waarin alle energie die door de waaier aan de vloeistof wordt overgedragen. In de praktijk zijn er echter verliezen door wrijving, botsingen en andere factoren, waardoor de werkelijke opvoerdruk lager is dan de Eulerse opvoerdruk.

4.1.2 Compressoren:

- Isentropische compressie (p_{is})
- Isentropische vermogen (P_{is})
- Werkelijk vermogen (P_{as})

Hoe groter het druk verschil tussen p_1 en p_2 hoe meer het effect zal hebben op uw Isentropische compressie

4.1.2.1 Isentropisch rendement: $\eta_{is} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$

- Theoretische kringloop
- Werkelijke kringloop
- Isentropisch rendement: hoe groter het verschil hoe lager uw rendement.

4.1.2.2 Soorten compressoren: Compressoren:

- Verdringingscompressoren:
 - Zuigercompressoren
 - Roterende compressoren
 - * Schroefcompressoren:
 - Monoschroefcompressor
 - Dubbelschroefcompressor
 - * Scrollcompressoren
 - * Speciale compressoren
 - Rolzuigercompressor
 - Schoftencompressor
- Dynamische compressoren:
 - Centrifugaalcompressoren
 - Dampstraalcompressoren

4.1.2.3 Zuigercompressor:

- Positieve verdringing als werkingsprincipe
- Kleppen zorgen voor een afsluiten van zuigdruk of persdruk
- V_s slagvolume van de compressor of mechanische volume zonder dode ruimte.
- V_z effectief beschikbaar slagvolume onder gegeven condities.

- Waarom? een zuigklep opent pas wanneer de druk in de cilinder lager is dan de heersende zuigerdruk boven de klep
- Omgekeerd bij persdruk zal de klep pas opengaan wanneer de druk in de cilinder groter is dan heersende persdruk boven de klep.
- Wat met de druk in de dode ruimte na compressie?
 - Druk=zuigdruk
 - Druk=persdruk
 - Druk=druk in cilinder

Volumetrisch rendement: $\lambda = \frac{V_z}{V_s} = \frac{V_c - V_z}{V_c - V_s}$ Het volumetrisch rendement is afhankelijk van de drukverhouding, Langs empirische weg wordt dit voor alle compressoren bepaald: $\pi = \frac{P_c}{P_o}$ (hier heeft π niets met 3.1415 te maken maar wordt het symbool gewoon gebruikt)

Maximale drukverhouding voor zuigers in de praktijk is 8 want dan heb je een rendement van ongeveer 40% kan dit nog juist alles onder 40% is niet meer interessant.

4.1.2.3.1 capaciteitsregeling: capaciteitsregeling:

- kleplichting:
 - allebij de kleppen zijn open en je kan hier wat aanpassingen mee maken. Met kleplichting gaat uw rendement naar beneden
- snelheidsregeling

Deellast werking:

- Typische voorbeelden zijn overslag en ateliërs.
- Ontwerp condities zijn "worst-case":
 - dT van 8 a 10K
 - Praktisch kunnen we deze gaan verkleinen tot 5K.
 - gemiddelde toename van de COP met 3,5% per °C hoger verdampen

- Sutringsgewijs spreken we an een vlottende verndampingstemperatuur.
- VSD gestuurde compressor in functie van de gevraagde koelcapaciteit leidt tevens tot een verbetering an de COP voor zuigercompressie.

4.1.2.3.2 Elektrische motor frequentiesturing: Je kan uw toerental aanpassen via een frequentiesturing. $n = \frac{60 \cdot f}{p}$

- Hierbij is f uw frequentie (als je gewoon op net steekt 50hz)
- p is uw poolparen (2-polen=1 poolpaar, 4-polen=2 poolparen, 6-polen=3 poolparen)
- bvb:
 - f=50hz en p=1 (1 poolpaar) $\rightarrow \frac{60 \times 50 \text{hz}}{1} = 3000$ toeren
 -

4.1.3 Monoschroefcompressor:

- aanzuig:
 - Tijdens de omwenteling van de rotor loopt een groef die in open verbinding staat met de zuigkamer, door de standen a, b en c en wordt geleidelijk gevuld met zuigdamp, waarbij de glijdende tand van het rechter tandwiel als een aanzuigende "zuiger" fungeert.
- Comperessie:
 - Net na het positon c wordt de groef vergrendeld door een tand van het linker tandwiel en wordt de damp volledig omsloten door het binnenoppervlak van de cilindrische behuizing, de drie zijden van de groef en het bovenoppervlak van de tand. Naarmate de rotatie vordert, komt de groef in positie d, waar het volume is afgenomen en de damp wordt samengedrukt
- Pers:

- Op het geometrisch gefixeerde punt waar de voorste groefrand en de rand van de uitlaatpoort samenvallen, vindt open communicatie plaats tussen de groef en de afvoerkamer. Hier stopt de compressie en wordt de damp afgevoerd naar de afvoerkamer (positie E) totdat het groefvolume tot nul is teruggebracht.

4.1.4 Schroefcompressor-twin:

In praktijk wordt de twin-schroefcompressor meer gebruikt.

4.1.4.1 Compressie cyclus:

- Zuiggas wordt aangezogen door uit elkaar werkende rotoren
- Maximum aangezogen zuigvolume V_s
- Start van compressie door in elkaar draaiende rotoren
- Verplaatsen van het ingesloten volume richting perszijde
- Einde van compressie wordt bepaald door positie van uitlaat
- Alle gas is naar HD zijde

Bij warmtepompen zijn heeft de as meestal een dikke diameter maar kleine lengte om meer kracht te kunnen zetten.

4.1.5 V_i in functie van drukverhouding:

Schroefcompressor heeft geen kleppen ($p_D > p_C$)

- De locatie van de perspoort het maximale persdrukkniveau dat wordt bereikt voordat het geperste gas in de persleiding wordt geduwd.
- De volumeverhouding is een ontwerpkenmerk van alle schroefcompressoren, omdat de compressor in wezen een volumereductie-apparaat is.

- De vergelijking van het volume ingesloten gas bij de aanzuiging (V_s) met het volume ingesloten gas dat in de compressiekamer achterblijft wanneer deze zich opent voor persgas (V_d), definieert de interne volumereductieverhouding van de compressor. Deze volume-index, of " V_i ", bepaalt de interne drukverhouding
- $V_i = \frac{V_s}{V_d}$
 - V_i =Volume ratio or index
 - V_s =Volume at section
 - V_d =Volume at discharge

4.1.5.1 overdruk en onderdruk: Bij overdruk moet je meer kracht geven om genoeg energie te krijgen.

4.1.6 Scroll compressor:

Wordt veel in de praktijk gebruikt.

4.1.6.1 compressie cyclus:

- Positieve verdringer
- Vaste spiraal en Variabele spiraal
- Minimale snelheid is 40hz
- Veel toegepast in chiller applicaties met meerdere compressoren in parallel
- Alternatieve manier van capaciteitsregeling middels "Digitale scroll" of persgas bypass.

5 Week 6:

5.1 Koudemiddelen:

voor de tweede wereldoorlog:

- Huishoudkoelkasten: Methychloride
- Industrie :Zwavel-Dioxyde
- Schepen: niet-giftige Kooldioxyde

Na de tweede wereldoorlog:

5.1.1 Basis-principe:

Koudemiddelen bezitten de eigenschappen te gaan "koken" onder de atmosfeer druk bij temperaturen ver onder het nulpunt. Koudemiddelen bestaan er in "verschillende maten en gewichten". Maar boven in synthetische of natuurlijke vorm. Natuurlijke koudemiddelen:

- Ammoniak R717
- Koolstofdioxide R744
- Propaan R290
- Propyleen R1290
- Isobutaan R600a
- Water R718

De gene waar er 7 na de R staat is de rest de moleculaire massa.

5.1.1.1 Lekverlies: Wettelijk maximaal 5% per jaar. Stel een koelinstallatie met R134a met een inhoud van 100kg koudemiddel. Voertuigen met benzine,LPG-, of aargasmotor:78 g/km. Equivalente km's → 5kg per jaar → 91.670km of 7,63 jaar rond rijden bij een gemiddeld van 12.000 km per jaar.

GWP → Global warming potential → aaropwarmingselement: Bijdrage van een broeikasgas tot de klimaatopwarming:

- R717 → 0
- R744 → 1
- R290 → 3

- R600a → 4
- R134a → 1.430
- R404A → 3.922
- R32 → 675

Europa probeert af te stappen van de synthetische koudemiddelen zoals R134a, R404A, R32.

5.2 Opdeling volgens type:

- CFK's: zijn berucht voor schadelijke effecten op de ozonlaag ook schadelijk voor opwarming aarde. Door milieubeleid
- HCFC's: groep van synthetische koudemiddelen, nog altijd schadelijk voor ozonlaag maar minder schadelijk is ook slecht voor opwarming aarde (broeikaseffect).
- HFK's: synthetische koudemiddelen die de ozonlaag niet aantasten heeft wel nog altijd effect op opwarming aarde.
- HFO's: Nu zitten we hier, nieuwe generatie synthetische koudemiddelen als milieuvriendelijker alternatief voor HFK's heeft een lager GWP (Global warming potential) en draagt niet bij aan de afbraak van de ozonlaag.

5.3 Kringloop:

- Condenseror → hoge druk naar verampder → lage druk:
 - Expansie
 - Via expansieventiel
 - Druk verandering
- Verdampers → lage druk naar condensor → hoge druk

5.4 Indeling van koelsystemen:

- Directe koeling:(koude middel loopt overal door)
 - Pomp circulatie systeem
 - Natuurlijke circulatie systemen
 - DX of directe eXpansie
- Indirecte koeling:(gaat door een specifiek deel)
 - Verdampende koudedrager
 - Koudedrager

5.4.0.1 Koudedrager in gebruik bij een Indirect systeem:

- Verdam

Voorbeeld: In ziekenhuizen is het water 12C/7C →

- Commerciele systemen hebben vooral een delta T van 2k
- Industriële systemen meestal een delta T van 3K
- $Q=k.a.\Delta T$

5.4.0.2 Voordelen en nadelen van het gebruik van een koudedrager:

- Voordelen:
 - Koudemiddel beperkt zicht tot de machinekamer
 - Kant- en klare oplossing → reductie van de installatie tijd on-site
 - Gebruik van "niet-traditionele" koudemiddelen zoals

5.5 Koudedragers:

Boven 0 graden kunnen we water gebruiken.

- Dynamische viscosity is bijna dubbel bij propyleen glycol dan bij ethylene glycol.
- Dus bij propyleen glycol moeten we meer energie gebruiken dan bij ethylene glycol.
- De reden waarom we propyleen glycol gebruiken is omdat de meeste propylene glycol veiliger/gezonder is voor de mens dan ethylene glycol.
- In warmte toepassingen wordt vooral ethyleen gebruik (bvb bij voertuigen)
- Bij omgevingen waar we met voeding werken gebruiken we vooral Propyleen glycol.