

STOOMTURBINES EPT:
NLQF/EQF niveau 5
(nr. 198)

Datum	:	
Tijdsduur	:	2 uur
Aantal vragen	:	12
Bijlagen	:	h-s diagram en T-s diagram, Formuleblad.
Toegestane hulpmiddelen	:	rekenmachine, stoomtabel en h-s en T-s diagram
Totaal te behalen punten	:	350

Vraag 1:

Bij een stoomturbine kennen we voor de vermogensregeling zogenaamde straalbuisregeling en smoorregeling. De druk voor de turbine bedraagt 60 bara en 520 °C en de condensordruk 0,1 bara. Gegeven is verder dat de druk na de smoorklep 4,5 bara bedraagt.

Gevraagd:

- (20) a) Geef in een h-s diagram aan hoe de isentrope expansie verloopt bij zowel zuivere straalbuisregeling als bij smoorregeling.
- (10) b) Wat is het nadeel van smoorregeling ten opzichte van zuivere straalbuisregeling.

Vraag 2:

Van een turbine-installatie is het volgende gegeven:

De hoeveelheid stoom die in de condensor stroomt:

$$\dot{m}_s = 180 \text{ ton} / \text{h}$$

Het dampgehalte van de stoom:

$$x = 0,85$$

De druk in de condensor:

$$p_c = 0,02 \text{ bara}$$

De intredetemperatuur van het koelwater:

$$t_1 = 7 \text{ }^\circ\text{C}$$

De uittredetemperatuur van het koelwater:

$$t_2 = 12 \text{ }^\circ\text{C}$$

De condensor is regeneratief.

De k waarde voor de condensor:

$$k = 3,54 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{K})$$

De specifieke of soortelijke warmte van het water bedraagt

$$4,186 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

Bereken:

- (30) a. De grootte van het afkoelend oppervlak, ervan uitgaande dat er 35% van het oppervlak vervuld is.
- (10) b. Het koelwaterveelvoud.

Vraag 3:

Van een cilindrische straalbuis is het volgende gegeven.

De massa doorstromende stoom bedraagt 0,25 kg/s.

De druk van de stoom voor de straalbuis bedraagt 24 bara.

De stoomtemperatuur voor de straalbuis bedraagt 260 °C.

In de keel is de stoomsnelheid 449 m/s.

De werkelijke uitstroomsnelheid van de stoom uit de straalbuis bedraagt 857 m/s, het bijbehorende soortelijk, specifiek, volume bedraagt hier dan 0,77 m³/kg. De aanstroom snelheid van de stoom bedraagt $c_a = 37 \text{ m/s}$.

In de keel geldt bij Oververhitte stoom dat het specifiek volume gelijk is aan 1,63 maal het beginvolume.

Gevraagd:

- (10) a) De diameter aan het begin van de straalbuis.
- (10) b) De diameter in de keeldoorsnede.
- (10) c) De diameter aan het eind van de straalbuis.

Vraag 4:

Een turbine krijgt stoom toegevoerd met een druk van 100 bara en een temperatuur van 560 °C. De condensordruk bedraagt 0,01 bara en is constant. De turbine heeft 2 ongeregelde aftappen, één van 20 bara en één van 4 bara. De massastroom stoom bij vollast bedraagt 75 kg/s. De massa stoom wordt 35 kg/s.

Gevraagd:

(20) Bereken de druk bij de aftap van 4 bara.

Vraag 5:

Van een Parsons turbine is het volgende gegeven:
 De turbine draait met maximaal stromingsrendement.
 De straalbuiscoëfficiënt bedraagt: 0,96
 De stoomdruk voor de turbine: 110 bara
 De stoomtemperatuur voor de turbine: 520 °C
 De condensordruk: 2 bara
 De turbine heeft 64 trappen.
 De aanstroomsnelheid van de stoom voor de straalbuizen bedraagt: 43 m/s
 De straalbuizen maken een hoek met de horizontaal van: 21 °
 De gemiddelde rotordiameter bedraagt 0,72 meter

Gevraagd:

(30) Bereken de omtreksnelheid van de turbine.

Vraag 6:

Bij stoomturbines worden er net zoals in andere technieken bepaalde begrippen gebruikt zoals: Relatieve stoomsnelheid, ideale omtreksnelheid en druktrap.

Gevraagd:

- (10) a) Wat verstaat u onder "actiewerking"?
 (10) b) Wat verstaat u onder een Zoelly turbine?
 (10) c) Wat verstaat u onder snelheidstrap?

Vraag 7.

Gegeven is een turbine-installatie die uit een Hoge Druk (HD) en een Lage Druk (LD) turbine bestaat.

Van de HD turbine is gegeven:

Druk van de stoom voor de turbine: $p_1 = 160$ bara

Temperatuur van de stoom voor de turbine: $t_1 = 460$ °C

Druk na de turbine: $p_2 = 16$ bara

Inwendig rendement HD turbine: $\eta_{HD} = 86\%$

Een deel van de stoom wordt bij 16 bara afgetapt en het restant gaat via de herverhitter naar de LD turbine.

Druk na de herverhitter: $p_4 = p_2 = 16$ bara

Temperatuur na de herverhitter: $t_4 = 320$ °C

Punt 3 is de werkelijke conditie van de stoom na de HD turbine.

Van de LD turbine is gegeven:

Druk van de stoom voor de turbine: $p_4 = 16$ bara

Temperatuur van de stoom voor de turbine: $t_4 = 320$ °C

Condensordruk: $p_5 = 0,05$ bara

Inwendig rendement LD turbine: $\eta_{LD} = 87\%$

In de LD turbine is een aftap voorzien, de druk bij deze aftap is 5 bara, dit is punt 7.

Gevraagd:

- (20) a) Teken het hele proces in het h-s diagram.
- (20) b) Bepaal m.b.v. het h-s diagram van de eerste aftap de temperatuur en het dampgehalte.
- (10) c) Bepaal m.b.v. het h-s diagram de werkelijke eindconditie van de stoom na de LD turbine.
- (10) d) Bepaal m.b.v. het h-s diagram de stoomconditie van de aftap van de LD turbine.

Vraag 8.

Van de stoomconditie na een condensatieturbine is het volgende gegeven:

$$p = 0,035 \text{ bara}$$

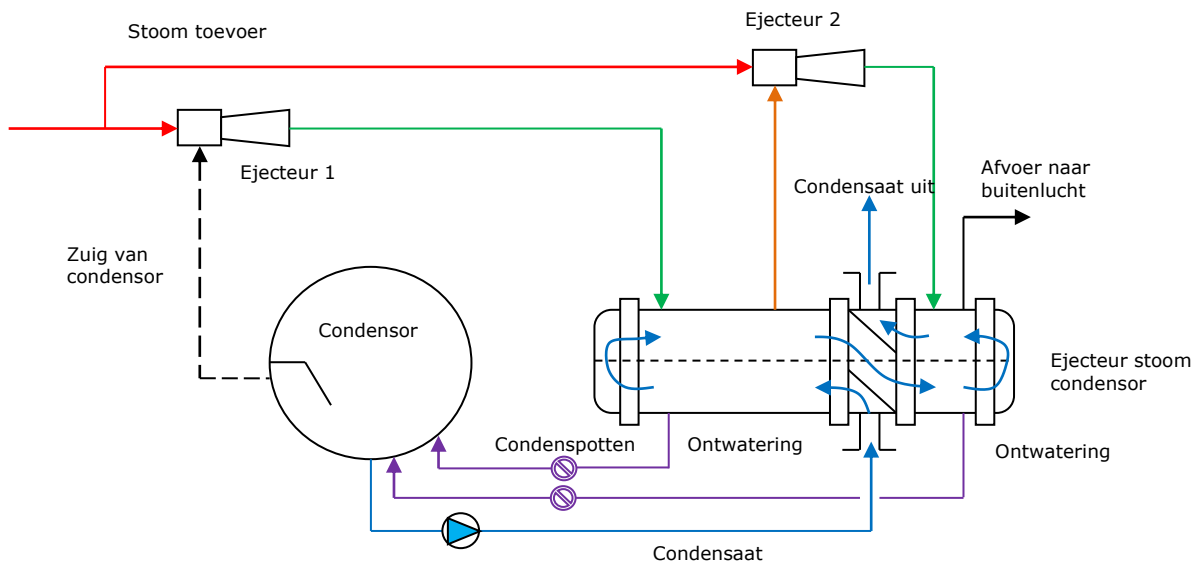
$$x = 0,9$$

Gevraagd:

- (20) a) Het specifieke volume bij deze gegeven stoomconditie.

Vraag 9.

Gegeven is het onderstaande schema van een condensor met twee ejecteurs en een ejecteur stoomcondensator.



Gevraagd:

- (10) a) Wat is de reden dat de ejecteur op de luchtkoeler van de condensor aangesloten is?
- (10) b) Op een willekeurige condensor is een drietraps ejecteur aangesloten, de druk in de condensor bedraagt 0,1 bara. De druk na de derde trap van de ejecteur bedraagt 1,5 bara.
Bereken de compressieverhouding ε per trap.

Vraag 10.

- (10) Wat wordt verstaan onder Elasto Hydrodynamische smering en waar komt dit voor?

Vraag 11.

Van een stoomturbine is het volgende gegeven:

Stoomdruk en temperatuur voor de turbine:	90 bara & 470°C
De theoretische warmteval:	$\Delta h_0 = 550 \text{ kJ/kg}$
Enthalpie na adiabatische expansie:	$h_3 = 2830 \text{ kJ/kg}$
De aanstroomsnelheid van de stoom voor de straalbuis:	$c_a = 30 \text{ m/s}$
De turbine is een gelijkdruk turbine.	
De straalbuiscoëfficiënt:	$\phi = 0,96$
De loopschoepcoëfficiënt:	$\psi = 0,95$
Het inwendig rendement:	$\eta_{inw} = 94\%$
Het mechanisch rendement turbine:	$\eta_{mech} = 95\%$
De absolute intredehoek:	$\alpha_1 = 14^\circ$
Massastroom stoom door turbine:	50 kg/s
De turbine draait met een maximaal stromingsrendement.	
De turbine heeft 10 trappen en is van het type Zoelly.	

Gevraagd:

- (20) a. Bereken het restverlies in kJ/kg (als het inwendig verlies bestaat uit enkel het straalbuis verlies en het restverlies)
- (10) b. Bereken het asvermogen van deze turbine in kW.

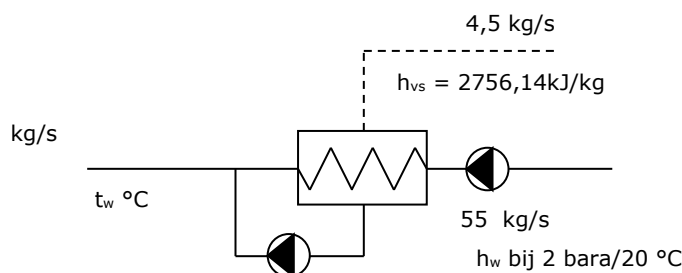
Vraag 12.

Gegeven is een oppervlakte voorwarmer.

De voorwarmer wordt gevoed met verzadigde stoom van 6 bara.

Het condensaat verlaat de voorwarmer als kokend water bij 6 bara en wordt in de hoofd condensaatstroom gepompt.

Het geheel is weergegeven op onderstaande afbeelding:



De hoeveelheid condensaat bedraagt 55 kg/s.

De hoofd condensaatstroom die aan de voorwarmer wordt toegevoerd komt rechtstreeks uit de condensor en heeft een druk van 2 bara en een temperatuur van 20°C.

De hoeveelheid verzadigde stoom bedraagt $\dot{m}_{vs} = 4,5 \text{ kg / s}$

Gevraagd:

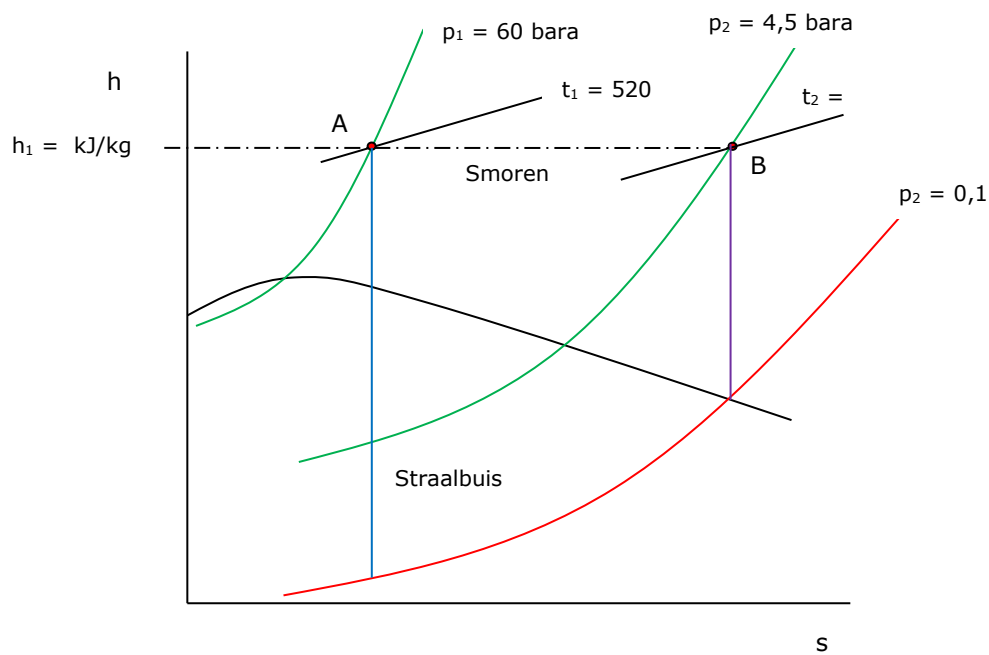
- (30) Bereken de temperatuur van de hoofd condensaatstroom bij uittrede voorwarmer, nadat het gemengd is met het condensaat van de verwarmingsstoom.
Neem voor de specifieke warmte van het water: $c_w = 4,186 \text{ kJ / (kg} \cdot \text{K)}$

LET OP HIERNA KOMEN DE UITWERKINGEN

Datum	:
Tijdsduur	:	2 uur
Aantal vragen	:	12
Totaal te behalen punten	:	350

Antwoord vraag 1:

(20) a)



(10) b)

Bij smoorregeling neemt het thermisch rendement sterk af, omdat de theoretische warmteval kleiner word.

Antwoord vraag 2:

(30) a) Voor de "natte stoom" na de turbine geldt:

$$h_{ns} = h_w + x \cdot (h_{vs} - h_w)$$

Bij 0,02 bara wordt dit:

$$h_{ns} = 73,43 + 0,85 \cdot (2532,91 - 73,43)$$

$$h_{ns} = 2163,99 \text{ kJ / kg}$$

De afgevoerde warmte in de condensor wordt dan:

$$\dot{Q} = \dot{m}_s \cdot (h_{ns} - h_w)$$

$$\dot{Q} = 50 \cdot (2163,99 - 73,43)$$

$$\dot{Q} = 104.528 \text{ kW}$$

Voor ΔT gemiddelde vinden we:

$$\Delta T_{gem} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}\right)}$$

$$\Delta T_{gem} = \frac{(17,495 - 7) - (17,495 - 12)}{\ln\left(\frac{17,495 - 7}{17,495 - 12}\right)} = 7,727^\circ\text{C of } K$$

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta T$$

$$104,528 = 3,54 \cdot A \cdot 7,727$$

$$A = 3821,36 \text{ m}^2$$

Als de vervuiling 35% is, moet de condensor een afkoelend oppervlak hebben van:

$$A_{werkelijk} = \frac{3821,36}{0,65} = 5879,0 \text{ m}^2$$

(10) b. Het koelwaterveelvoud m.

Aan koelwater is nodig:

$$\dot{Q} = \dot{m}_w \cdot c_w \cdot \Delta t_w$$

$$104,528 = \dot{m}_w \cdot 4,186 \cdot (12 - 7)$$

$$\dot{m}_w = 4994,17 \text{ kg / s}$$

$$m = \frac{\dot{m}_{water}}{\dot{m}_{stoom}} = \frac{4994,17}{50} = 99,88$$

Antwoord vraag 3:

(30) Bij 24 bara en 260 °C is het specifiek volume van de stoom volgens de stoomtabel 0,093703 m³/kg.

$$\dot{m} \cdot v = A \cdot c$$

$$A = \frac{\dot{m} \cdot v}{c}$$

$$\frac{\pi}{4} \cdot D_{begin}^2 = \frac{\dot{m} \cdot v}{c}$$

$$D_{begin} = \sqrt{\frac{\dot{m} \cdot v \cdot 4}{c \cdot \pi}}$$

$$D_{begin} = \sqrt{\frac{0,25 \cdot 0,093703 \cdot 4}{37 \cdot \pi}} = 0,02839 \text{ m} = 28,39 \text{ mm}$$

In de keel geldt bij Oververhitte stoom dat het specifiek volume gelijk is aan 1,63 maal het beginvolume.

$$v_{keel} = 1,63 \cdot v_{begin}$$

$$v_{keel} = 1,63 \cdot 0,093703$$

$$v_{keel} = 0,152735 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$\dot{m} \cdot v = A \cdot c$$

$$A = \frac{\dot{m} \cdot v}{c}$$

$$\frac{\pi}{4} \cdot D_{keel}^2 = \frac{\dot{m} \cdot v_{keel}}{c}$$

$$D_{keel} = \sqrt{\frac{\dot{m} \cdot v_{keel} \cdot 4}{c \cdot \pi}}$$

$$D_{keel} = \sqrt{\frac{0,25 \cdot 0,152735 \cdot 4}{449 \cdot \pi}} = 0,0104 \text{ m} = 10,4 \text{ mm}$$

Aan het eind van de straalbuis geldt dan:

$$\dot{m} \cdot v = A \cdot c$$

$$A = \frac{\dot{m} \cdot v}{c}$$

$$\frac{\pi}{4} \cdot D_{eind}^2 = \frac{\dot{m} \cdot v_{eind}}{c}$$

$$D_{eind} = \sqrt{\frac{\dot{m} \cdot v_{eind} \cdot 4}{c \cdot \pi}}$$

$$D_{eind} = \sqrt{\frac{0,25 \cdot 0,77 \cdot 4}{857 \cdot \pi}} = 0,0169 \text{ m} = 16,91 \text{ mm}$$

Antwoord vraag 4:

(20)

$$\frac{35^2}{75^2} = \frac{p_1^2 - 0,01^2}{4^2 - 0,01^2}$$

$$p_1 = 1,867 \text{ bara}$$

Antwoord vraag 5

(30) Uit de gegevens volgt:

$$h_{os} = 3414,92 \text{ kJ / kg}$$

$$s_{os} = 6,6098 \text{ kJ / kg}$$

Bij 2 bara:

$$h_w = 504,68 \text{ kJ / kg}$$

$$h_{vs} = 2706,24 \text{ kJ / kg}$$

$$s_w = 1,53010 \text{ kJ / (kg} \cdot \text{K)}$$

$$s_{vs} = 7,12686 \text{ kJ / (kg} \cdot \text{K)}$$

Voor de theoretische eindconditie van de stoom na de turbine geldt:

$$s_{eind} = s_{begin} \quad (\text{isentrop})$$

$$s_{eind} = s_w + x \cdot (s_{vs} - s_w)$$

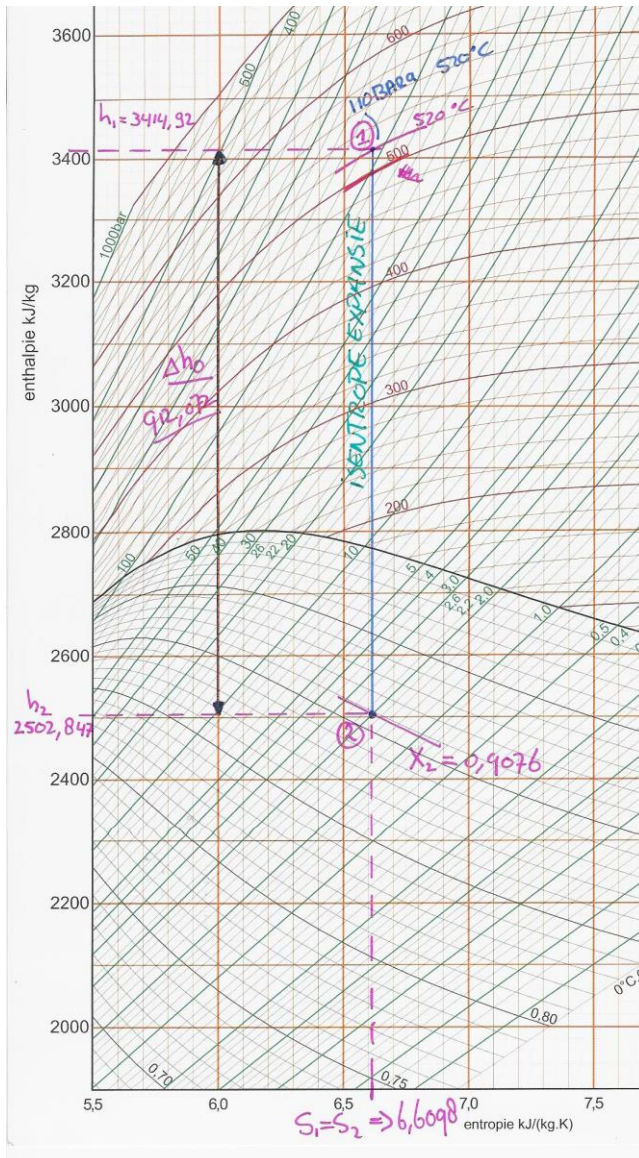
$$6,6098 = 1,53010 + x \cdot (7,12686 - 1,53010)$$

$$x = 0,9076$$

$$h_{eind} = h_w + x \cdot (h_{vs} - h_w)$$

$$h_{eind} = 504,68 + 0,9076 \cdot (2706,24 - 504,68)$$

$$h_{eind} = 2502,816 \text{ kJ / kg}$$



$$\Delta h_0 = h_{begin} - h_{eind}$$

$$\Delta h_0 = 3414,92 - 2502,816$$

$$\Delta h_0 = 912,104 \text{ kJ / kg} \quad (\text{Totale warmteval})$$

$$c_1 = \varphi \cdot \sqrt{2000 \cdot \frac{\Delta h_0}{2 \cdot m_{parsons}} + c_a^2}$$

$$c_1 = 0,96 \cdot \sqrt{2000 \cdot \frac{912,104}{2 \cdot 64} + 43^2}$$

$$c_1 = 121,8 \text{ m / s}$$

$$u = c_1 \cdot \cos \alpha_1$$

$$u = 121,8 \cdot \cos 21$$

$$u = 113,7 \text{ m / s}$$

$$u = \pi \cdot D \cdot n$$

$$113,7 = \pi \cdot 0,72 \cdot n$$

$$n = 50,27 \text{ Hz} \quad (\text{Dit werd niet gevraagd, enkel ter info})$$

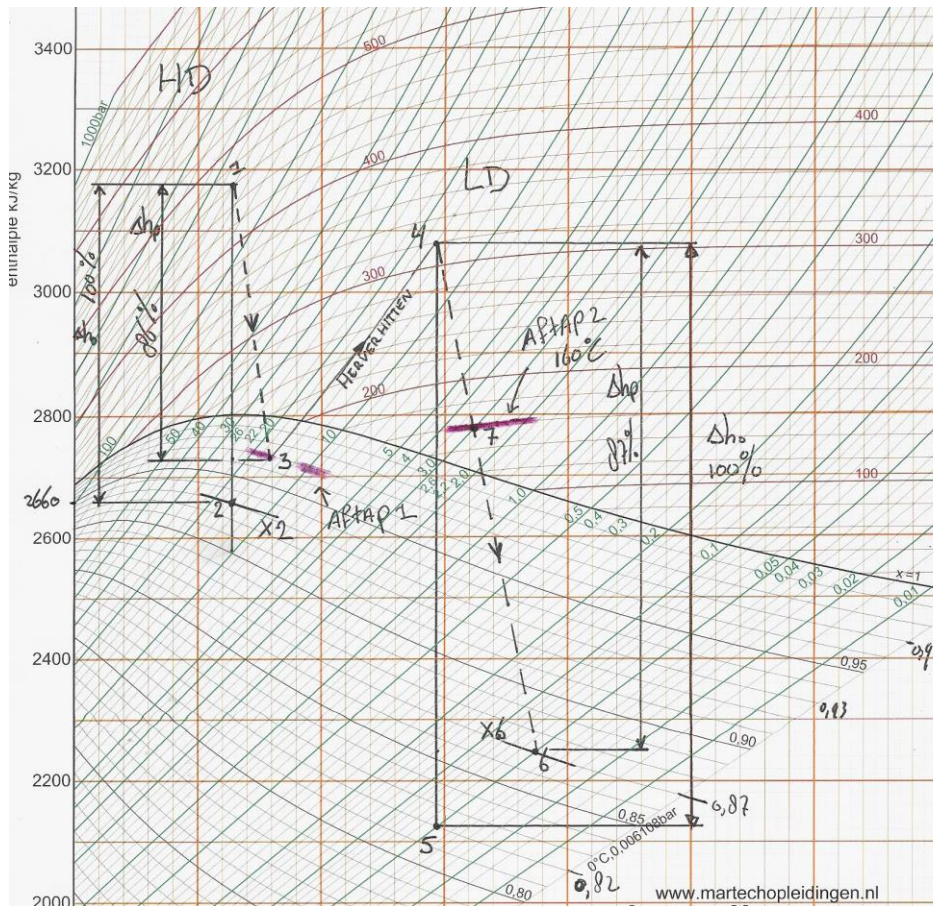
Antwoord vraag 6:

- (10) a. Onder actie werking verstaan we die krachtwerking op de schoepenkrans, die een gevolg is van de richtingverandering die de stoom in de schoepkanalen ondergaat.
- (10) b. Onder een Zoelly turbine verstaan we een gelijkdruk (actie) turbine met meerdere druktrappen, elk gevolgd door één snelheidstrap.
- (10) c. Onder een snelheidstrap verstaan we een loopschoepenkrans, waarin de absolute stoomsnelheid als gevolg van arbeid verrichting afneemt.

Antwoord vraag 7:

(20) a)

Eerst wordt het proces in het h-s diagram getekend.



Voor punt 1 en 4 volgt uit de stoomtabel:

- 1) $h_1 = 3172,98 \text{ kJ / kg}$
- 4) $h_4 = 3080,05 \text{ kJ / kg}$

Voor punt 2 volgt uit het h-s diagram:

$h_2 = 2660 \text{ kJ / kg}$
 $x_2 = 0,93$

$\Delta h_{0 HD} = h_1 - h_2 = 3172,98 - 2660 = 512,98 \text{ kJ / kg}$

Voor punt 3 vinden we:

$$h_3 = h_1 - (\eta_{inw} \cdot \Delta h_{0 HD})$$

$$h_3 = 3172,98 - (0,86 \cdot 512,98)$$

(20) b) $h_3 = 2731,817 \text{ kJ / kg}$

$$x_3 = 0,97$$

$$t_{3(16\text{bara})} = 201,378 \text{ }^\circ\text{C}$$

Dit is tevens aftap 1, de bijbehorende temperatuur bij 16 bara "natte stoom" bedraagt 201,378 °C.

Voor punt 5 volgt uit het h-s diagram:

$$h_5 = 2122,5 \text{ kJ / kg}$$

$$x_5 = 0,82$$

$$\Delta h_{0 LD} = h_4 - h_5 = 3080,05 - 2122,5 = 957,55 \text{ kJ / kg}$$

Voor punt 6 vinden we:

$$h_6 = h_4 - (\eta_{inw} \cdot \Delta h_{0 LD})$$

(10) c) $h_6 = 3080,05 - (0,87 \cdot 957,55)$

$$h_6 = 2246,98 \text{ kJ / kg}$$

$$x_6 = 0,87$$

(10) d) Voor de aftap in de LD turbine wordt bij een druk van 5 bara een temperatuur van 200 °C gevonden op de adiabaat van punt 4 → punt 6.

Antwoord vraag 8:

(20) a) Het specifiek volume bij de gegeven stoomconditie:

Uit de stoomtabel volgt bij 0,035 bara:

$$v_{vs} = 39,46781 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$v_w = 0,0010034 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$v_{ns} = v_w + x \cdot (v_{vs} - v_w)$$

$$v_{ns} = 0,0010034 + 0,9 \cdot (39,46781 - 0,0010034)$$

$$v_{ns} = 35,521 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

Antwoord vraag 9:

(10) a) De druk in de luchtkoeler is lager dan die in de rest van de condensor, dit komt omdat hier de pijpen droog staan en dus kouder zijn. Hierdoor wordt tevens de druk ter plaatse lager. Men krijgt hier nu een natuurlijke stroming, om deze reden is de ejecteur op de luchtkoeler aangesloten.

(10) b) $\sqrt[3]{\frac{1,5}{0,1}} = 2,4662 \text{ bara}$

Antwoord vraag 10:

- (10) Bij kogellagers of rollagers wordt olie onder invloed van hoge druk tijdelijk elastisch en wordt niet meer uitgeperst. Vandaar de naam elasto-hydrodynamische smering. Als gevolg van de puntbelasting van de kogels op de binnen en buitenring van het lager wordt er een erg hoge druk op de olie uitgeoefend.

Als gevolg van deze hoge druk wordt de olie als het ware "vast", plastisch, hierdoor maakt de kogel geen metallisch contact met de binnen en buitenring.

Antwoord Vraag 11:

- (10) We weten dat c_2 loodrecht staat, omdat gegeven is dat het stromingsrendement maximaal is en daardoor geldt:

$$u = \frac{1}{2} \cdot c_1 \cdot \cos \alpha_1$$

$$c_0 = \sqrt{2000 \cdot \frac{\Delta h_0}{m_z} + c_a^2}$$

$$c_0 = \sqrt{2000 \cdot \frac{550}{10} + 30^2}$$

$$c_0 = 333 \text{ m / s}$$

$$c_1 = \varphi \cdot c_0$$

$$c_1 = 0,96 \cdot 333$$

$$c_1 = 319,68 \text{ m / s}$$

$$u = \frac{1}{2} \cdot c_1 \cdot \cos \alpha_1$$

$$u = \frac{1}{2} \cdot 319,68 \cdot \cos 14$$

$$u = 155 \text{ m / s}$$

Het straalbuisverlies per trap:

$$\frac{c_0^2 - c_1^2}{2000} = \frac{333^2 - 319,68^2}{2000} = 4,34 \text{ kJ / kg}$$

Het totale inwendig verlies van de turbine bedraagt:

$$Q_{inw} = \Delta h_0 - \eta_{inw} \cdot \Delta h_0$$

$$Q_{inw} = 550 - 0,94 \cdot 550$$

$$Q_{inw} = 33 \text{ kJ / kg}$$

Het restverlies bedraagt:

$$Q_{rest} = 33 - 4,34$$

$$Q_{rest} = 28,66 \text{ kJ / kg}$$

Asvermogen:

$$P_{as} = \dot{m} \cdot \Delta h_p \cdot \eta_{mech}$$

$$P_{as} = 50 \cdot (3310,5 - 2760,5) \cdot 0,96 = 26880 \text{ kW}$$

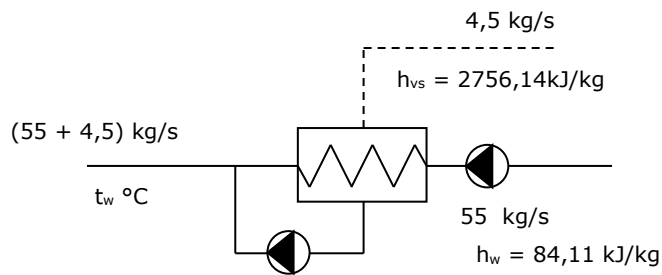
Antwoord Vraag 12.

(30) Bij 6 bara geldt:

$$h_{vs} = 2756,14 \text{ kJ / kg}$$

Het water, condensaat, uit de condensor bij 2 bara en 20 °C:

$$h_w = 84,11 \text{ kJ / kg}$$



Voor de voorwarmer geldt:

$$\dot{Q}_{toe} = \dot{Q}_{af}$$

$$\dot{m}_{vs} \cdot h_{vs} + \dot{m}_w \cdot h_w = (\dot{m}_{vs} + \dot{m}_w) \cdot c_{pw} \cdot t_w$$

$$4,5 \cdot 2756,14 + 55 \cdot 84,11 = (4,5 + 55) \cdot 4,186 \cdot t_w$$

$$t_w = 68,37 \text{ °C}$$