

TENTAMEN I ENERGITEKNIK OCH MILJÖ (KVM034 och KVM033) 2012-05-21 08.30-12.30 i V-huset

Tentamen omfattar:

Avdelning A: Teori och beskrivande moment
Inga hjälpmedel

Avdelning B: Problem
Tillåtna hjälpmedel:
Valfri kalkylator med tömt minne (kontrolleras med stickprov).
Föreläsningssanteckningar (även "Handouts") i Energiteknik och miljö, kursmaterial i Energiteknik och miljö, Termodynamik och Transportprocesser (ej exempelsamlingar), handböcker.

OBS! Till tentamen får ej medföras lösta exempel eller lösningsgång (sekvens av information i syfte att kunna klara ett räknetal), som inte ingår i tillåtet kursmaterial. Sådana skall, om de medförs, överlämnas till tjänstgörande tentamensvakter omedelbart efter det att du tagit del av detta papper.

När ekvationer används utan härledningar bör källa anges.

Använda symboler skall definieras om dessa inte är de samma som i kursmaterialet.

För godkänt krävs minst 15 poäng. För betyg 4 krävs minst 20 poäng och för betyg 5 minst 25 poäng.

Karin Pettersson (ankn. 8532) kommer ca kl. 09.00 att vara tillgänglig för frågor i skrivsalen. Ytterligare en gång ca kl 10.30.

Lösningar läggs ut på kurshemsidan 2012-05-21. Tentamensresultatet meddelas via LADOK senast 2012-06-11. Granskning av rättning får ske 2012-06-13 kl. 12.30-13.00 eller 2012-09-03 kl. 12.30-13.00 i VoM:s bibliotek.

Avdelning A måste lämnas in innan avdelning B (med hjälpmedel) får påbörjas!

AVDELNING A

A1.

- a) Den slutliga energianvändningen i Sverige fördelas på tre samhällssektorer, vilka? Hur stor andel av den totala energianvändningen står respektive sektor för?
- b) Elproduktionen i Sverige är vanligtvis ungefär lika stor som elanvändningen och domineras kraftigt av kärnkraft och vattenkraft. Vad utgörs övrig elproduktion av?
- c) I Sverige står tre energiintensiva branscher för ca 3/4 av industrins energianvändning. Vilka är branscherna? Vilken bransch har störst energianvändning? Hur stor andel av industrins energianvändning står den för?
- d) Det finns två typer av kärnkraftverk i Sverige. Vad kallas dess typer? Vad är den huvudsakliga skillnaden mellan reaktortyperna.
- e) Vilket kraftvärmeverk kan förväntas ha högst elverkningsgrad av följande alternativ?:
- ett nytt biobränsleeldat kraftvärmeverk i ett fjärrvärmesystem
 - ett nytt biobränsleeldat kraftvärmeverk som förser en industri med ånga och där industrins värmebehov ligger vid ca 250°C

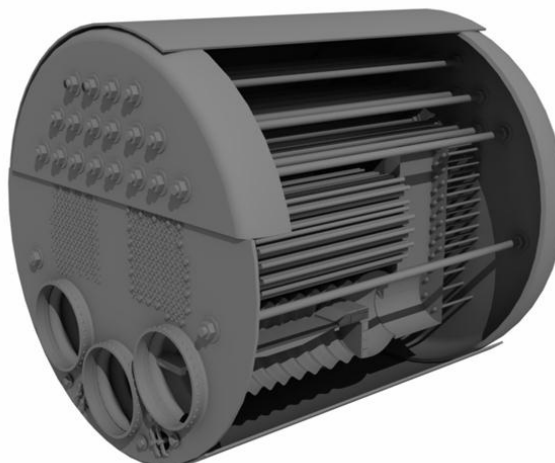
Motivera ditt svar.

(5p)

A2.

Ångproduktion med hjälp av en eldad ångpanna har förekommit i mer än 200 år. Två huvudtyper avseende vattnets inneslutning förekommer.

- a) Vilka är de två huvudtyperna? Förklara skillnaden mellan dem.
- b) Ångpannan avbildad nedan är den konstruktion av en marinångpanna, som Atlantångaren Titanic hade till ett antal av 29. Fartyget gjorde sin ödesdigra jungfruresa i april 1912. Vilken huvudtyp tillhör denna ångpanna? Motivera svaret.
- c) Titanicpannorna eldades med stenkol, som skyfflades in för hand. Vilken sorts förbränningsanordning bör det ha varit? Kan denna panntyp eldas med olja och i så fall hur?
- d) Stenkol karakteriseras främst av två haltangivelser. Vilka är de och vilken betydelse har de?



(5p)

A3.

a) En viktig aspekt på användning av gasturbincykler som kraftvärmeanläggningar är tillsatsvärmning. Vad innebär det? Varför behövs inget syre tillsättas vid denna förbränning? Varför lämpar sig tillsatseldning bra för industrier med ett värmebehov som varierar över året? Vad händer med α -värdet när tillsatseldning används i en gasturbinkraftvärmeanläggning? Motivera ditt svar.

b) Naturgas är det dominerande bränslet för gasturbincykler. Men det pågår utveckling kring användning av andra bränslen, inte bara gasformiga bränslen, varav vissa används redan idag. Ge exempel (minst 3) på dessa, ej gasformiga, bränslen. Vad är det främst för teknik som möjliggör denna användning? Vad är viktigt för att bränslena ska kunna användas i gastubiner?

(5p)

AVDELNING B

B1.

En industri har ett värmebehov på 100 ton/h av 5 bar mättad ånga. Ångan produceras i en panna med en pannverkningsgrad på 88%, som eldas med eldningsolja av typen 1 (EO1). Kondensatet som återvänder från processerna är underkyllt med 1,85°C (tryckfallet kan försummas). Industrin ska nu byta ut oljepannan och ersätta den med en naturgaseldad gasturbinkombicycle med ett α -värde på 1,25 och en elverkningsgrad på 50%. Elen som produceras kan användas internt på industrin istället för att köpa in el från elnätet.

a) Hur förändras industrins direkta årliga utsläpp av koldioxid av anläggningsbytet? Industrin är igång 8000 h/år.

b) Hur förändras de årliga globala koldioxidutsläppen av anläggningsbytet? Det kan antas att den producerade elen ersätter inköpt el producerat i ett kolkondenskraftverk med en verkningsgrad på 43%. Distributionsförlusterna i elnätet är 5%.

(4p)

B2.

I en kondensångkraftsanläggning produceras 100 MW el genom expansion av ånga av 150 bar, 540°C till trycket 0,06 bar. Turbinens isentropverkningsgrad är 87% och generatorns mekaniska och elektriska verkningsgrad är 96%. Anläggningens kondensator är uppbyggd av vertikala tuber av kolstål med en ytterdiameter på 30 mm och en längd på 6 m på vilken ångan kondenserar. Hur stor total mantelarea måste kondensorn ha för att all ånga från turbinen ska kondenseras? Väggtemperaturen på rörens utsidor antas hållas vid 30°C.

(6p)

B3.

I en ångpanna produceras 24 ton/h överhettad ånga med trycket 60 bar. Ångpannan är uppbyggd så att väggarna i eldstaden är klädda med kokartuber. Konvektionsvärmeytorna utgörs av en överhettare och en ekonomizer. Matarvattnet har en temperatur på 130°C och vattnet från ekonomizern till domen har en temperatur på 220°C. Pannan eldas med naturgas (vilken kan approximeras som metan). Den tillsatta bränsleeffekten är 50 MW (baserat på effektivt värmevärde). För att minska utsläppen av koldioxid så är pannan utrustad med en avskiljningsanläggning för koldioxid. Den avskilda koldioxiden transporteras sedan från anläggning till en lagringsplats. Eftersom man vill underlätta avskiljningen av koldioxid från pannans rökgaser sker förbränningen med ren syrgas istället för luft. Ett överskott på 20% syre jämfört med vad som behövs vid stökiometrisk förbränning tillsätts till pannan. Vilken temperatur har den överhettade ångan från pannan? Temperaturen på rökgaserna in till överhettaren är 900°C och skortenstemperaturen är 150°C.

(5p)

Lycka till!

B1.

En industri har ett värmebehov på 100 ton/h av 5 bar mättad ånga. Ångan produceras i en panna med en pannverkningsgrad på 88%, som eldas med eldningsolja av typen 1 (EO1). Kondensatet som återvänder från processerna är underkyllt med 1,85°C (tryckfallet kan försummas). Industrin ska nu byta ut oljepannan och ersätta den med en naturgaseldad gasturbinkombicycle med ett α -värde på 1,25 och en elverkningsgrad på 50%. Elen som produceras kan användas internt på industrin istället för att köpa in el från elnätet.

a) Hur förändras industrins direkta årliga utsläpp av koldioxid av anläggningsbytet? Industrin är igång 8000 h/år.

b) Hur förändras de årliga globala koldioxidutsläppen av anläggningsbytet? Det kan antas att den producerade elen ersätter inköpt el producerat i ett kolkondenskraftverk med en verkningsgrad på 43%. Distributionsförlusterna i elnätet är 5%.

(4p)

Lösning till uppgift B1:

Givet:

Ånga:

$$m_{\dot{a}} = 100 \text{ t/h} = 27,78 \text{ kg/s}$$

$$p_{\dot{a}} = 5 \text{ bar (mättad)}$$

Panna:

$$\eta_{\text{panna}} = 0,88$$

$$\text{Bränsle EO1} \rightarrow C_{\text{EO1}} = 271 \text{ kg/MWh}$$

$$T_{\text{kondensat}} = T_{\text{sat}} - 1,85 \text{ K}$$

$$t = 8000 \text{ t/år}$$

NGCC:

$$\text{Bränsle NG} \rightarrow C_{\text{NG}} = 203 \text{ kg/MWh}$$

$$\alpha = 1,25$$

$$\eta_{\text{el}} = 0,5$$

Elen används internt

Fråga:

a) Förändringar av industrins direkta årliga utsläpp av koldioxid till följd av anläggningsbytet

b) Förändringar av globala årliga koldioxidutsläppen till följd av anläggningsbytet ($\eta_{\text{kolkondens-KV}} = 0,43$; Distributionsförluster 0,05, Bränsle Kol $\rightarrow C_{\text{kol}} = 327 \text{ kg/MWh}$)

Lösning:

a)

$$Q_{\dot{\text{ånga}}} = m_{\dot{a}} * [h''(5\text{bar}) - h(5\text{bar}; T_{\text{sat}} - 1,85\text{K})] = 58798,04 \text{ kW}$$

$$h''(5\text{bar}) = 2748,79 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{\text{sat}} = 151,85 \text{ °C}$$

$$h(5\text{bar}; 150 \text{ °C}) = 632,2 \text{ kJ/kg} + 0,0010906(5-4,75) * 10^2 = 632,23 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{\text{bränsle,panna}} = Q_{\dot{\text{ånga}}} / \eta_{\text{panna}} = 58798,04 \text{ kW} / 0,88 = 66815,95 \text{ kW}$$

$$\text{Pannans CO}_2 \text{ utsläpp} = Q_{\text{bränsle}} * t * C_{\text{EO1}} = 66815,95 \text{ kW} * 8000 \text{ h/år} * 271 \text{ kg/MWh} * 10^{-3} \text{ MWh/kWh} \\ = 144\,856\,981,6 \text{ kg_CO}_2/\text{år} = 144,86 \text{ kt_CO}_2/\text{år}$$

$$\text{CHP anläggningens CO}_2 \text{ utsläpp} = Q_{\text{bränsle,CHP}} * t * C_{\text{NG}} = 146995,1 \text{ kW} * 8000 \text{ h/år} * 203 \text{ kg/MWh} * \\ 10^{-3} \text{ MWh/kWh} = 238\,720\,042,4 \text{ kg/år} = 238,7 \text{ kt/år}$$

$$Q_{\text{bränsle, CHP}} = P_{\text{el}} / \eta_{\text{el}} = \alpha_{\text{CHP}} * Q_{\text{ånga}} / \eta_{\text{el}} = 1,25 * 58798,04 \text{ kW} / 0,5 = 146995,1 \text{ kW}$$

Lokala CO₂ konsekvenser av anläggningsbyte:

CHP anläggningens CO₂ utsläpp - Pannans CO₂ utsläpp = 238,7 kt/år - 144,86 kt_CO₂/år = **+93,84 kt_CO₂/år**

Svar: Lokala CO₂-utsläpp ökar med 94 kt_CO₂/år

b)

$$\text{Kolkraftverkets CO}_2 \text{ utsläpp} = P_{\text{el}} / (\eta_{\text{distr}} * \eta_{\text{kolkondens-KV}}) * t * C_{\text{kol}} = 73497,55 \text{ kW} / (0,95 * 0,43) * 8000 \text{ h/år} * 327 \text{ kg/MWh} * 10^{-3} \text{ MWh/kWh} = 470\,672\,192,9 \text{ kg_CO}_2/\text{år} = 470,7 \text{ kt_CO}_2/\text{år}$$

$$\eta_{\text{distr}} = 1 - \text{distributions förluster} = 1 - 0,05 = 0,95$$

$$P_{\text{el}} = \alpha_{\text{CHP}} * Q_{\text{ånga}} = 1,25 * 58798,04 \text{ kW} = 73497,55 \text{ kW}$$

Globala CO₂ konsekvenser av anläggningsbyte:

CHP anläggningens CO₂ utsläpp - Pannans CO₂ utsläpp - Kolkraftverkets CO₂ utsläpp = 238,7 kt/år - 144,86 kt_CO₂/år - 470,7 kt_CO₂/år = **-377 kt_CO₂/år**

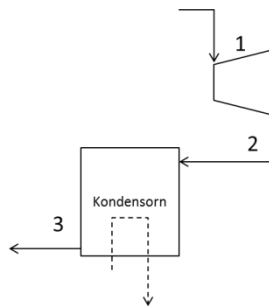
Svar: Globala CO₂-utsläppen minskar med 377 kt_CO₂/år

B2.

I en kondensångkraftsanläggning produceras 100 MW el genom expansion av ånga av 150 bar, 540°C till trycket 0,06 bar. Turbinens isentropverkningsgrad är 87% och generatorns mekaniska och elektriska verkningsgrad är 96%. Anläggningens kondensator är uppbyggd av vertikala tuber av kolstål med en ytterdiameter på 30 mm och en längd på 6 m på vilken ångan kondenserar. Hur stor total mantelarea måste kondensorn ha för att all ånga från turbinen ska kondenseras? Väggtemperaturen på rörens utsidor antas hållas vid 30°C.

(6p)

Indata:



$$\begin{aligned}P_{el} &= 100 \text{ MW} \\P_1 &= 150 \text{ bar} \\T_1 &= 540 \text{ }^\circ\text{C} \\ \eta_{is} &= 0.87 \\ \eta_{m+g} &= 0.96 \\ d_o &= 0.03 \text{ m} \\ L &= 6 \text{ m} \\ T_w &= 30 \text{ }^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Lösning:

Turbinen:

$$h_1 (150 \text{ bar}, 540^\circ\text{C}) = 3422 \text{ kJ/kg} \quad (\text{D\&D s.53})$$

$$s_1 (150 \text{ bar}, 540^\circ\text{C}) = 6.487 \text{ kJ/kg K} \quad (\text{D\&D s.53})$$

$$s_{2,is} = 6.487 \text{ kJ/kg K}$$

$$h_{2,is} (0.06 \text{ bar}, 6.487 \text{ kJ/kg K}) = ? \quad (\text{D\&D s.42})$$

Blandning av mättad vätska och ånga ($T=36.18 \text{ }^\circ\text{C}$)! Det går alltså inte att läsa direkt ur D&D, man måste veta hur stor andel som är mättad ånga (x_{is})

$$s_{2,is} = x_{is} \cdot s'' + (1-x_{is}) \cdot s'$$

$$s'' = 8.329 \text{ kJ/kg K}, s' = 0.5209 \text{ kJ/kg K}, \text{ ger } x_{is} = 0.76$$

$$h_{2,is} = x_{is} \cdot h'' + (1-x_{is}) \cdot h'$$

$$h'' = 2566.87 \text{ kJ/kg}, h' = 151.542 \text{ kJ/kg}, \text{ ger } h_{2,is} = 1997.07 \text{ kJ/kg}$$

Från definitionen av isentropiska verkningsgraden kan man nu räkna fram h_2

$$\eta_{is} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2,is}} \quad h_2 = 2182.31 \text{ kJ/kg}$$

Blandning av mättad vätska och ånga ($T=36.18 \text{ }^\circ\text{C}$)!

$$h_2 = x \cdot h'' + (1-x) \cdot h'$$

$$h'' = 2566.87 \text{ kJ/kg}, h' = 151.542 \text{ kJ/kg}, \text{ ger } x = 0.84 \text{ (det här visar alltså hur stor andel av totala ångflödet genom turbinen som är ånga efter turbinen)}$$

Från energibalansen i turbinen kan man räkna ut det totala massflödet genom turbinen:

$$P_{el} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) \cdot \eta_{m+g} \quad \dot{m} = 84.03 \text{ kg/s}$$

Kondensorn

För värmetransport genom filmen gäller:

$q = h_o A_o (T_o - T_{wo})$, där q och h_o är okända.

q :

Efter expansionen i turbinen har vi en blandning av mättad vätska och ånga. Detta innebär att en del ånga redan har kondenserats och att effekten i kondensorn är:

$$q_{kond} = m \cdot x \cdot (h'' - h_3)$$

h_3 (mättad vätska vid 0,06 bar) = 151.542 kJ/kg (D&D s.42), $q_{kond} = 170.64$ MW

h_o :

Använd ekvation 21-20 i WWW.

$$h_o = 0.943 \left\{ \frac{\rho_L g k^3 (\rho_L - \rho_v) \left[h_{fg} + \frac{3}{8} C_{pL} (T_{sat} - T_w) \right]}{L \mu (T_{sat} - T_w)} \right\}^{1/4}$$

Data som ska tas vid mättnadstemperaturen, T_{sat}

$h_{fg} = 2415320$ J/kg (D&D s.42)

$\rho_v = 0.042116$ kg/m³ (från volymitet D&D s.42)

Datas som ska tas vid filmtemperaturen, T_{film}

$$T_{film} = \frac{(T_{wo} + T_{sat})}{2} = 33.09 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Interpolering från D&D s76, mellan 30 °C och 40 °C:

$$C_{pL} = 4175 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}; \rho_L = 994.71 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \mu = 0.000756 \text{ Pa s}; k = 0.620562 \text{ W/mK}$$

$$h_o = 3548.919 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

Från $q = h_o A_o (T_o - T_{wo})$, löser vi $A_o = 7780$ m²

Kontrollera att ekvation 21-20 gäller (gäller vid laminära förhållanden med låga Re-tal):

Arean av en tub är: $A_{tub} = \pi d_o L = 0.5655$ m²

Vi behöver $N=11569$ tuber.

$$Re = \frac{4 m}{\pi d_o \mu N} = 288.36$$

Ok att använda ekv 21-20!

B3.

I en ångpanna produceras 24 ton/h överhettad ånga med trycket 60 bar. Ångpannan är uppbyggd så att väggarna i eldstaden är klädda med kokartuber. Konvektionsvärmeytorna utgörs av en överhettare och en ekonomiser. Matarvattnet har en temperatur på 130°C och vattnet från ekonomizern till domen har en temperatur på 220°C. Pannan eldas med naturgas (vilken kan approximeras som metan). Den tillsatta bränsleeffekten är 50 MW (baserat på effektivt värmevärde). För att minska utsläppen av koldioxid så är pannan utrustad med en avskiljningsanläggning för koldioxid. Den avskilda koldioxiden transporteras sedan från anläggning till en lagringsplats. Eftersom man vill underlätta avskiljningen av koldioxid från pannans rökgaser sker förbränningen med ren syrgas istället för luft. Ett överskott på 20% syre jämfört med vad som behövs vid stökiometrisk förbränning tillsätts till pannan. Vilken temperatur har den överhettade ångan från pannan? Temperaturen på rökgaserna in till överhettaren är 900°C och skortenstemperaturen är 150°C.

Givet:

$$m_{\text{H}_2\text{O}}=24 \text{ ton/h}=6,67 \text{ kg/s}$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}}=60 \text{ bar}$$

$$t_{\text{H}_2\text{O,ekoin}}=130^\circ\text{C} \text{ (matarvattnet till ekonomizern)}$$

$$t_{\text{H}_2\text{O,ekout}}=220^\circ\text{C}$$

$$q_{\text{bränsle}}=50 \text{ MW}$$

$$t_{\text{rökg,öhin}}=900^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{rökg,ekout}}=150^\circ\text{C} \text{ (skortenstemperaturen)}$$

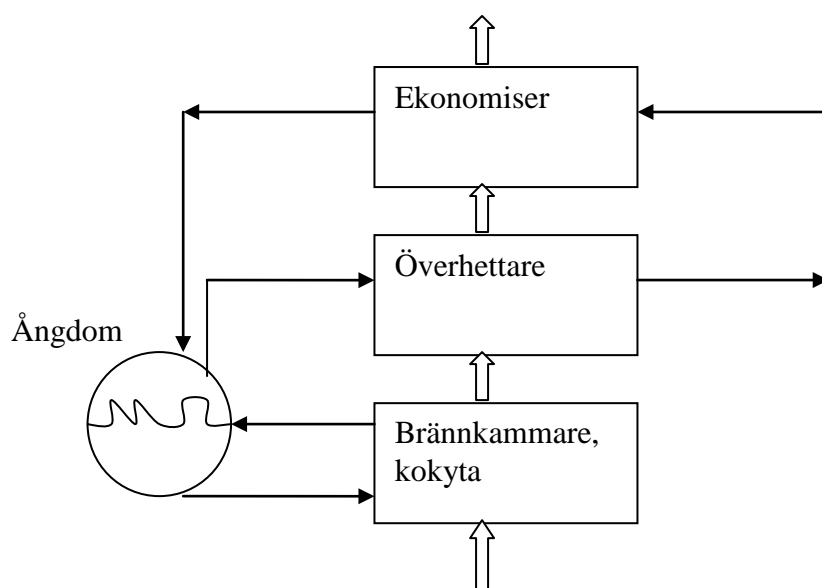
$$m_{\text{O}_2}=1,2 \text{ (20\% syreöverskott)}$$

Sökt:

Temperaturen på den överhettade ångan, $t_{\text{H}_2\text{O,öhut}}$.

Lösning:

Bild över systemet:



Genom att sätta upp en energibalans över överhettaren (avgivet värme är lika med upptaget värme) kan entalpin för den överhettade ångan beräknas och sedan kan temperaturen slås upp:

$$V_{\text{rökg}} \cdot (h_{\text{rökg,öhin}} - h_{\text{rökg,öhut}}) = m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (h_{\text{H}_2\text{O,öhut}} - h_{\text{H}_2\text{O,öhin}})$$

$$h_{\text{H}_2\text{O,öhin}} = h''(\text{P}_{\text{H}_2\text{O}}) = 2784,36 \text{ kJ/kg, D\&D s.45}$$

För att bestämma flödet av rökgaser och entalpin på rökgaserna in till överhettaren måste vi ställa upp förbränningsreaktionen för metan (förbränt med ren syrgas som tillsätts i ett överskott av 20% jämfört med vad som behövs för stökiometrisk förbränning):



Vid förbränningen av 1 m³ CH₄ bildas alltså i detta fall 3,4 m³ rökgaser vilka består av 29,4% CO₂ (1/3,4), 58,8% H₂ (2/3,4) och 11,8% O₂ (0,4/3,4).

$$V_{\text{bränsle}} = q_{\text{bränsle}}/H_i \text{ där } H_i = 35,33 \text{ MJ/m}^3 \text{ (D\&D s.26) vilket ger } v_{\text{bränsle}} = 1,415 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{\text{rökg}} = 3,4 \cdot v_{\text{bränsle}} = 4,812 \text{ m}^3/\text{s}$$

Entalpin för rökgaserna in till överhettaren fås från D&D s.28 där entalpin för olika gaser per m³ listas. Genom viktning erhålls:

$$h_{\text{rökg,öhin}} = 1611,47 \text{ kJ/m}^3$$

Då återstår bara att bestämma h_{rökg,öhut}. Detta görs genom att sätta upp en energibalans över ekonomizern (avgivet värme är lika med upptaget värme):

$$V_{\text{rökg}} \cdot (h_{\text{rökg,öhut}} - h_{\text{rökg,ekout}}) = m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (h_{\text{H}_2\text{O,ekout}} - h_{\text{H}_2\text{O,ekoin}})$$

Vattnet är underkyllt både innan och efter ekonomizern:

$$h_{\text{H}_2\text{O,ekoin}} = 546,3 + (60 - 2,7) \cdot 0,0010697 \cdot 10^2 = 552,4 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{\text{H}_2\text{O,ekout}} = 943,7 + 0,00119 \cdot (60 - 23,2) \cdot 10^2 = 948,1 \text{ kJ/kg}$$

Entalpin för rökgaserna ut från ekonomizern, alltså till skorstenen, fås från D&D s.28 där entalpin för olika gaser per m³ listas. Genom viktning erhålls:

$$h_{\text{rökg,ekout}} = 232,61 \text{ kJ/m}^3$$

$$\text{Vilket ger } h_{\text{rökg,öhut}} = 780,78 \text{ kJ/m}^3.$$

Nu kan h_{H₂O,öhut} beräknas till 3383,92 kJ/kg. Genom interpolering av värden i D&D s.52 fås att denna entalpi motsvarar temperaturen t_{H₂O,öhut} = 484,6°C.

Svar: Temperaturen på den överhettade ångan från pannan är 484,6°C.