Liite F: laskuesimerkkejä

1 Lämpövirta astiasta

Astiasta ympäristöön siirtyvää lämpövirtaa ei voida arvioida vain astian seinämien lämmönjohtavuuksilla, sillä ilma – seinämä ja maali – seinämä -rajapinnoilla on tässä hallitseva osuus. Lasketaan $U = U_{\text{vedellä valeltu pinta}} + U_{\text{kuiva pinta}}$ alussa ja lopussa.

Lämmönjohtavuuden kaava: $U = k \cdot \frac{A \cdot (T_{alku} - T_{loppu})}{L}$.

Seinämien vaikutus arvioidaan kaavalla: $U = h \cdot A \cdot (T_{sisä} - T_{ulko})$, jossa h on rajapinnan lämmönsiirtokerroin, joka määräytyy Nusselt'n numeron ja ominaispituuden perusteella:

$$Nu = \frac{h \cdot k}{L} \Leftrightarrow h = \frac{k \cdot Nu}{L} .$$

Sylinterin Nusselt'n numero: $Nu_{sylinteri} = Nu_{levy} \cdot \left(1 + 1{,}43 \cdot \left(\frac{L}{(D \cdot Gr^{0{,}25})}\right)^{0{,}9}\right)$.

Levyn Nusselt'n numero: $Nu_{levy} = \left(0{,}825 + \frac{0{,}387 \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/6}}{(1 + (0{,}492/Pr)^{9/16})^{8/27}}\right)^2$.

Prandt'n numero: $Pr = C_p \cdot \mu / k$.

Grashof'n numero: $Gr = \frac{g \cdot \beta}{\nu^2} \cdot |T_s - T_\infty| \cdot L^3$, jossa ideaalisille fluideille $\beta = \frac{1}{T}$.

	Alku [ºC]	*Loppu [ºC]*
Kuiva seinämä	32,5	17,1
Märkä seinämä	29,5	9,5
Ympäristö	9	9
Astian sisällä keskellä	71,6	37,8
Astian sisällä reunassa	51,0	26,4

Lasketaan kertoimia β:

$$\beta_{huone} = \frac{1}{273{,}15\,°C/K + 9\,°C} = 0{,}00354\,K^{-1} ,$$

$$\beta_{\text{säiliö alussa}} = \frac{1}{273{,}15\,°C/K + 71{,}6\,°C} = 0{,}00290\,K^{-1} ,$$

$$\beta_{\text{säiliö lopussa}} = \frac{1}{273{,}15\,°C/K + 37{,}8\,°C} = 0.00322\,K^{-1} .$$

Astian korkeus on 2,21 m. Ilman kinemaattinen viskositeetti 20 °C:n lämpötilassa on 0,00001511 m^2/s, lasketaan myös maalin kinemaattinen viskositeetti:

$$\nu=\frac{\mu}{\rho}=\frac{0.00192\,\mathrm{Pas}}{1186\,\mathrm{kg/m^3}}=1{,}62\cdot10^{-6}\,\mathrm{m^2/s}\ .$$

$$Gr_{ilma,\,kuiva,\,alku}=\frac{9{,}81\,\mathrm{m/s^2}\cdot0{,}00354\,\mathrm{K^{-1}}}{(0{,}00001511\,\mathrm{m^2/s})^2}\cdot|32{,}5\,°\mathrm{C}-9\,°\mathrm{C}|\cdot(2{,}21\,\mathrm{m})^3=3{,}86\cdot10^{10}\ ,$$

$$Gr_{ilma,\,märkä,\,alku}=\frac{9{,}81\,\mathrm{m/s^2}\cdot0{,}00354\,\mathrm{K^{-1}}}{(0{,}00001511\,\mathrm{m^2/s})^2}\cdot|29{,}5\,°\mathrm{C}-9\,°\mathrm{C}|\cdot(2{,}21\,\mathrm{m})^3=3{,}37\cdot10^{10}\ ,$$

$$Gr_{ilma,\,kuiva,\,loppu}=\frac{9{,}81\,\mathrm{m/s^2}\cdot0{,}00354\,\mathrm{K^{-1}}}{(0{,}00001511\,\mathrm{m^2/s})^2}\cdot|17{,}1\,°\mathrm{C}-9\,°\mathrm{C}|\cdot(2{,}21\,\mathrm{m})^3=1{,}33\cdot10^{10}\ ,$$

$$Gr_{ilma,\,märkä,\,loppu}=\frac{9{,}81\,\mathrm{m/s^2}\cdot0{,}00354\,\mathrm{K^{-1}}}{(0{,}00001511\,\mathrm{m^2/s})^2}\cdot|9{,}5\,°\mathrm{C}-9\,°\mathrm{C}|\cdot(2{,}21\,\mathrm{m})^3=8{,}21\cdot10^{8}\ ,$$

$$Gr_{maali,\,alku}=\frac{9.81\,\mathrm{m/s^2}\cdot0.00290\,\mathrm{K^{-1}}}{(1.62\cdot10^{-6}\,\mathrm{m^2/s})^2}\cdot|71.6\,\mathrm{C}°-51.0\,\mathrm{C}°|\cdot(2.21\mathrm{m})^3=2.41\cdot10^{12}\ ,$$

$$Gr_{maali,\,loppu}=\frac{9{,}81\,\mathrm{m/s^2}\cdot0{,}00322\,\mathrm{K^{-1}}}{(0{,}00162\,\mathrm{m^2/s})^2}\cdot|37{,}8\,°\mathrm{C}-26{,}4\,°\mathrm{C}|\cdot(2.21\,\mathrm{m})^3=1{,}48\cdot10^{12}\ .$$

$$Pr_{ilma}=1005\,\mathrm{J/(kgK)}\cdot\frac{1{,}983\cdot10^{-5}\,\mathrm{Pas}}{0{,}024\,\mathrm{W/(mK)}}=0{,}83\ ,$$

$$Pr_{maali}=4200\,\mathrm{J/(kgK)}\cdot\frac{0{,}00192\,\mathrm{Pas}}{0{,}30\,\mathrm{W/(mK)}}=43{,}5\ .$$

Astian säde on 0,66 m, lasketaan Nusselt'n numeroita.

$$Nu_{levy,\,ilma,\,kuiva,\,alku}=\left(0{,}825+\frac{0{,}387\cdot((3{,}86\cdot10^{10})\cdot0{,}83)^{1/6}}{(1+(0{,}492/0{,}83)^{9/16})^{8/27}}\right)^2=373{,}2\ ,$$

$$Nu_{sylinteri,\,ilma,\,kuiva,\,alku}=373{,}2\cdot\left(1+1{,}43\cdot\left(\frac{2{,}21\,\mathrm{m}}{2\cdot0{,}66\,\mathrm{m}\cdot(3{,}86\cdot10^{10})^{0{,}25}}\right)^{0{,}9}\right)=376{,}7\ ,$$

$$Nu_{levy,\,ilma,\,märkä,\,alku}=\left(0{,}825+\frac{0{,}387\cdot((3{,}37\cdot10^{10})\cdot0{,}83)^{1/6}}{(1+(0{,}492/0{,}83)^{9/16})^{8/27}}\right)^2=357{,}4\ ,$$

$$Nu_{sylinteri,\,ilma,\,märkä,\,alku}=357{,}4\cdot\left(1+1{,}43\cdot\left(\frac{2{,}21\,\mathrm{m}}{2\cdot0{,}66\,\mathrm{m}\cdot(3{,}37\cdot10^{10})^{0{,}25}}\right)^{0{,}9}\right)=360{,}9\ ,$$

$$Nu_{levy,\,ilma,\,kuiva,\,loppu}=\left(0{,}825+\frac{0{,}387\cdot((1{,}33\cdot10^{10})\cdot0{,}83)^{1/6}}{(1+(0{,}492/0{,}83)^{9/16})^{8/27}}\right)^2=266{,}0\ ,$$

$$Nu_{sylinteri,\,ilma,\,kuiva,\,loppu}=266{,}0\cdot\left(1+1{,}43\cdot\left(\frac{2{,}21\,\mathrm{m}}{2\cdot0{,}66\,\mathrm{m}\cdot(1{,}33\cdot10^{10})^{0{,}25}}\right)^{0{,}9}\right)=269{,}2\ ,$$

$$Nu_{levy,\,ilma,\,märkä,\,loppu}=\left(0{,}825+\frac{0{,}387\cdot\left(\left(8{,}21\cdot 10^{8}\right)\cdot 0{,}83\right)^{1/6}}{\left(1+\left(0{,}492/0{,}83\right)^{9/16}\right)^{8/27}}\right)^{2}=111{,}5\quad ,$$

$$Nu_{sylinteri,\,ilma,\,märkä,\,loppu}=111{,}5\cdot\left(1+1{,}43\cdot\left(\frac{2{,}21\,\mathrm{m}}{2\cdot 0{,}66\,\mathrm{m}\cdot\left(8{,}21\cdot 10^{8}\right)^{0{,}25}}\right)^{0{,}9}\right)=114{,}0\quad ,$$

$$Nu_{levy,\,maali,\,alku}=\left(0{,}825+\frac{0{,}387\cdot\left(\left(2{,}41\cdot 10^{12}\right)\cdot 43{,}5\right)^{1/6}}{\left(1+\left(0{,}492/43{,}5\right)^{9/16}\right)^{8/27}}\right)^{2}=6881{,}9\quad ,$$

$$Nu_{sylinteri,\,maali,\,alku}=6881{,}9\cdot\left(1+1{,}43\cdot\left(\frac{2{,}21\,\mathrm{m}}{0{,}66\,\mathrm{m}\cdot\left(2{,}41\cdot 10^{12}\right)^{0{,}25}}\right)^{0{,}9}\right)=6907{,}3\quad ,$$

$$Nu_{levy,\,maali,\,loppu}=\left(0{,}825+\frac{0{,}387\cdot\left(\left(1{,}48\cdot 10^{12}\right)\cdot 43{,}5\right)^{1/6}}{\left(1+\left(0{,}492/43{,}5\right)^{9/16}\right)^{8/27}}\right)^{2}=5859{,}5\quad ,$$

$$Nu_{sylinteri,\,maali,\,loppu}=5859{,}5\cdot\left(1+1{,}43\cdot\left(\frac{2{,}21\,\mathrm{m}}{0{,}66\,\mathrm{m}\cdot\left(1{,}42\cdot 10^{12}\right)^{0{,}25}}\right)^{0{,}9}\right)=5883{,}9\quad .$$

Lasketaan rajapintojen lämmönsiirtokertoimia:

$$h_{ilma,\,kuiva,\,alku}=\frac{373{,}2\cdot 0{,}0257\,\mathrm{W/(mK)}}{2{,}21\,\mathrm{m}}=4{,}38\,\mathrm{W/(m^{2}K)}\quad ,$$

$$h_{ilma,\,märkä,\,alku}=\frac{360{,}9\cdot 0{,}0257\,\mathrm{W/(mK)}}{2{,}21\,\mathrm{m}}=4{,}20\,\mathrm{W/(m^{2}K)}\quad ,$$

$$h_{ilma,\,kuiva,\,loppu}=\frac{269{,}2\cdot 0{,}0257\,\mathrm{W/(mK)}}{2{,}21\,\mathrm{m}}=3{,}13\,\mathrm{W/(m^{2}K)}\quad ,$$

$$h_{ilma,\,märkä,\,loppu}=\frac{114{,}0\cdot 0{,}0257\,\mathrm{W/(mK)}}{2{,}21\,\mathrm{m}}=1{,}33\,\mathrm{W/(m^{2}K)}\quad ,$$

$$h_{maali,\,alku}=\frac{6907{,}3\cdot 0{,}30\,\mathrm{W/(mK)}}{2{,}21\,\mathrm{m}}=937{,}6\,\mathrm{W/(m^{2}K)}\quad ,$$

$$h_{maali,\,loppu}=\frac{5883{,}9\cdot 0{,}30\,\mathrm{W/(mK)}}{2{,}21\,\mathrm{m}}=798{,}7\,\mathrm{W/(m^{2}K)}\quad .$$

Lasketaan lämpövirtoja:

$$U_{kuiva\,seinä-ilma,\,alku}=4{,}38\,\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^{2}K}}\cdot\left(11{,}88\,\mathrm{m^{2}}-3{,}72\,\mathrm{m^{2}}\right)\cdot\left(32{,}5\,°\mathrm{C}-9\,°\mathrm{C}\right)=840\,\mathrm{W}\quad ,$$

$$U_{märkä\,seinä-ilma,\,alku}=4{,}20\,\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^{2}K}}\cdot 3{,}72\,\mathrm{m^{2}}\cdot\left(29{,}5\,°\mathrm{C}-9\,°\mathrm{C}\right)=320\,\mathrm{W}\quad ,$$

$$U_{kuiva\,seinä-ilma,\,loppu}=3{,}13\,\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^{2}K}}\cdot\left(11{,}88\,\mathrm{m^{2}}-3{,}72\,\mathrm{m^{2}}\right)\cdot\left(17{,}1\,°\mathrm{C}-9\,°\mathrm{C}\right)=207\,\mathrm{W}\quad ,$$

$$U_{märkä\,seinä-ilma,\,loppu}=1{,}33\,\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^{2}K}}\cdot 3{,}72\,\mathrm{m^{2}}\cdot\left(9{,}5\,°\mathrm{C}-9\,°\mathrm{C}\right)=2{,}47\,\mathrm{W}\quad .$$

$$U_{maali,\,alku}=937{,}6\,\frac{W}{m^2K}\cdot 11{,}88\,m^2\cdot(71{,}6\,°C-51{,}0\,°C)=229000\,W$$,

$$U_{maali,\,loppu}=798{,}7\,\frac{W}{m^2K}\cdot 11{,}88\,m^2\cdot(37{,}8°C-26{,}4\,°C)=108000\,W$$.

Lasketaan vielä lämpövirtoja metallissa:

$$U_{kuiva\,seinä-maali\,,alku}=16\,\frac{W}{mK}\cdot\frac{(11{,}88\,m-3{,}72\,m)\cdot(51{,}0\,°C-32{,}5\,°C)}{0{,}003\,m}=805\,kW$$,

$$U_{märkä\,seinä\,-maali,\,alku}=16\,\frac{W}{mK}\cdot\frac{3{,}72\,m\cdot(51{,}0\,°C-29{,}5\,°C)}{0{,}003\,m}=427\,kW$$,

$$U_{kuiva\,seinä-maali\,,loppu}=16\,\frac{W}{mK}\cdot\frac{(11{,}88\,m-3{,}72\,m)\cdot(26{,}4\,°C-17{,}1\,°C)}{0{,}003\,m}=40500\,W$$,

$$U_{loppu,\,märkä\,seinä-\,maali}=16\,\frac{W}{mK}\cdot\frac{3{,}72\,m\cdot(24{,}6\,°C-9{,}5°\,C)}{0{,}003\,m}=30000\,W$$.

2 Lämmönvaihdin

Lasketaan lämmönvaihtimen pituus pinta-alasta, lämpövirrasta ja lämmönvaihdinkohtaisesta kertoimesta. Kertoimen kaava ottaa huomioon suoran lämmönjohtumisen lisäksi myös nesteiden ja seinämän välisten rajapintojen vastukset siten, että suurimman vastuksen vaikutus on määräävä. Lämpötilakeskiarvo on logaritminen keskilämpötilaero.

$$U=h\cdot A\cdot\Delta T_{keskiarvo},\,A=\pi\cdot D\cdot L\Leftrightarrow L=\frac{U}{h\cdot\pi\cdot D\cdot\Delta T_{keskiarvo}}$$,

$$h=\left[\frac{D_o}{h_i\cdot D_i}+\frac{D_o\cdot\ln(D_o/D_i)}{2k}+\frac{1}{h_o}\right]^{-1}\quad \text{ja}\quad \Delta T_{keskiarvo}=\frac{\Delta T_1-\Delta T_2}{\ln\Delta T_1/\Delta T_2}$$.

Lämpötilaeroksi saadaan:

$$\Delta T_{keskiarvo}=\frac{60K-50K}{\ln 60K/50K}=54{,}848\,K$$

, kun oletetaan, että 90 ºC maalia jäähdytetään 30 ºC:hen, ja oletetaan, että jäähdytykseen käytetty vesi on vastaavasti vaihtimessa 35–85 -asteista.

Rajapintojen lämmönsiirtokertoimet lasketaan Nusselt'n numerosta:

$$h=(k/D)\cdot Nu$$.

Reynolds'in numeroa tarvitaan Nusselt'n numeron laskemisessa ja se myös määrittää oikean kaavan Nusselt'n numeron laskemiseen:

$$Re = D \cdot v_{neste} \cdot \nu^{-1}$$.

Reynolds'n numeron laskemiseen tarvitaan veden ja maalin virtausnopeudet. Maalista tunnetaan massavirta 90 l/min, joka muutetaan virtausnopeudeksi 2” putkessa, jonka sisähalkaisijaksi valitaan 0,0573 m ajatuksella, että seinämät olisivat n. 1,5 mm paksuja:

$$\frac{0{,}09\,m^3/min}{\pi \cdot \left(\frac{0{,}0573\,m}{2}\right)^2 \cdot 60\,s/min} \approx 0{,}582\,m/s$$.

Lasketaan 90 l/min virtaavan maalin energiavirta:

$$4200\,J/(kg\,K) \cdot \frac{90\,l/min \cdot 1{,}19\,kg/l}{60\,s/min} \cdot 60\,K = 449{,}8\,kJ/s$$.

Tästä saadaan veden vaadittava tilavuusvirta:

$$\frac{449800\,J/s}{4186\,J/(kg\,K) \cdot 1\,kg \cdot 50\,K} = 2.15\,kg/s$$, $$2{,}15\,dm^3/s \cdot 60\,s/min = 129\,l/min$$.

Lasketaan tarvittava nopeus olettamalla vaippa tuuman sisäputkea paksummaksi:

$$\frac{0{,}00215\,m^3/s}{\pi \cdot \left(\left(\frac{0{,}0889\,m - 2 \cdot 0{,}0015\,m}{2}\right)^2 - \left(\frac{0{,}0603\,m - 2 \cdot 0{,}0015\,m}{2}\right)^2\right)} = 0{,}668\,m/s$$.

Lasketaan Reynolds'n numerot (70 °C-asteisen veden viskositeetti on $0{,}475 \cdot 10^{-6}\,m^2/s$):

$$Re_{maali} = 0{,}0573\,m \cdot 0{,}58\,m/s \cdot (1{,}62 \cdot 10^{-6}\,m^2/s)^{-1} = 20515$$,

$$Re_{vesi} = 0{,}0256\,m \cdot 0{,}67\,m/s \cdot (0{,}475 \cdot 10^{-6}\,m^2/s)^{-1} = 36109$$.

Reynolds'n numero määrää käytetyn Nusselt'n numeron kaavan. Arvon ollessa yli 4000, voidaan käyttää turbulenttisen virtauksen kaavaa:

$Nu = 0{,}027 \cdot Re^{0{,}8} \cdot Pr^{1/3} \cdot (\mu/\mu_{reuna})^{0{,}14}$, josta oletetaan: $\mu = \mu_{reuna} \Rightarrow (\mu/\mu_{reuna})^{0{,}14} = 1$, koska maalin viskositeettia eri lämpötiloissa ei tarkkaan tunneta.

Maalin Prandtl'n numero tunnetaan, lasketaan sama vedelle:

$$Pr_{vesi} = 4180\,J/(kgK) \cdot 0{,}467 \cdot 10^{-3}\,Pas / 0{,}6\,W/(mK) = 3{,}25$$.

Voidaan laskea maalin ja veden Nussent'n numerot, sekä rajapintojen lämmönsiirtokertoimet:

$$Nu_{vesi} = 0{,}027 \cdot (3{,}61 \cdot 10^4)^{0{,}8} \cdot 3{,}25^{1/3} = 177{,}0$$,

$$Nu_{maali} = 0{,}027 \cdot (2{,}05 \cdot 10^4)^{0{,}8} \cdot 43{,}5^{1/3} = 267{,}3$$.

$$h_{vesi} = \frac{0{,}58\,W/(mK)}{0{,}0256\,m} \cdot 177{,}0 = 4010{,}2\,W/(m^2K)$$,

$$h_{maali} = \frac{0{,}30\ \mathrm{W/(mK)}}{0{,}0573\ \mathrm{m}} \cdot 267{,}3 = 1399{,}5\ \mathrm{W/(m^2 K)}\ .$$

Lämmönvaihtimen lämmönsiirtokerroin on:

$$h = \left[\frac{0{,}0603\,\mathrm{m}}{1399{,}4\ \mathrm{W/(m^2 K)} \cdot 0{,}0573\,\mathrm{m}} + \frac{0{,}0603\,\mathrm{m} \cdot \ln\left(\frac{0{,}0603\,\mathrm{m}}{0{,}0573\,\mathrm{m}}\right)}{2 \cdot 16\ \mathrm{W/(mK)}} + \frac{1}{4010{,}2\,\mathrm{W/(m^2 K)}}\right]^{-1}$$
$$h = 911{,}1\ ,$$

josta saadaan pituus:

$$L = \frac{449800\ \mathrm{W}}{911{,}1 \cdot \pi \cdot 0{,}0603\,\mathrm{m} \cdot 54{,}848\,\mathrm{K}} \approx 47{,}5\,\mathrm{m}\ .$$

3 Jäähdytysrivat

Ripahyötysyhteen yhtälö on $n_f = \frac{\tanh(m \cdot L)}{m \cdot L}$, $m = \frac{2 \cdot h}{k \cdot \tau}$, josta kerroin m tiedetään olevan 155 m^{-2}. Arvioidaan lisäpinta-ala kaavalla:

$$\frac{\frac{D_{säiliö} \cdot \pi}{d_{ripa}} \cdot n_f \cdot 2 \cdot L_{ripa} + D_{säiliö} \cdot \pi - \frac{D_{säiliö} \cdot \pi}{d_{ripa}} \cdot \tau}{D_{säiliö} \cdot \pi} = \text{parannuskerroin}\ .$$

Rivan paksuudeksi valitaan 3 mm, säiliön säde on 0,66 m ja ripojen etäisyys 0,015 m. Esimerkiksi rivanpituudella 0,01 m hyötysuhde on:

$$n_f = \frac{\tanh(155\,\mathrm{m}^{-2} \cdot 0{,}01\,\mathrm{m})}{155\,\mathrm{m}^{-2} \cdot 0{,}01\ \mathrm{m}} = 0{,}59\ .$$

Tästä saadaan seuraava reaalinen pinta-alan lisäys:

$$\frac{\frac{0{,}66 \cdot \pi}{0{,}015\,\mathrm{m}} \cdot 0{,}59 \cdot 2 \cdot 0{,}01\,\mathrm{m} + 0{,}66\ \mathrm{m} \cdot \pi - \frac{0{,}66\,\mathrm{m} \cdot \pi}{0{,}015\ \mathrm{m}} \cdot 0{,}003\ \mathrm{m}}{0{,}66\,\mathrm{m} \cdot \pi} = 2{,}59\ .$$

4 Emissiivisyys

Tutkitaan lämpösäteilyn määrää astian seinistä. Ohessa on laskettu säteily sekä seinämän alku, että loppulämpötiloilla. Ulkolämpötilaksi oletetaan 9 ºC.

$U = \sigma \cdot A \cdot T_{abs}^4$, sovellettuna:

$$U = \left(\sigma \cdot A \cdot T_{abs}^4 - T_{ympäristö}^4\right)_{vedellä\ valeltu} + \left(\sigma \cdot A \cdot T_{abs}^4 - T_{ympäristö}^4\right)_{kuiva} .$$

	Alku [ºC]	*Loppu [ºC]*
Kuiva seinämä	32	17,1
Märkä seinämä	29,5	9,5
Ympäristö	9	9

$$U_{alku} = 8{,}16\,m^2 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \cdot \left[\left(273.15\,K + 32\,K\right)^4 - \left(273{,}15\,K + 9\,K\right)^4\right]$$
$$+7{,}51\,m^2 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \cdot \left[\left(273{,}15\,K + 29{,}5\,K\right)^4 - \left(273{,}15\,K + 9\,K\right)^4\right] = 1954\,W$$
,

$$U_{loppu} = 8{,}16\,m^2 5{,}67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \cdot \left[\left(273{,}15\,K + 17{,}1\,K\right)^4 - \left(273{,}15\,K + 9\,K\right)^4\right]$$
$$+7{,}51\,m^2 5{,}67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \cdot \left[\left(273{,}15\,K + 9{,}5\,K\right)^4 - \left(273{,}15\,K + 9\,K\right)^4\right] = 371\,W$$
.