

Formule van Zeuner: $c_0 = \sqrt{2000 \times \Delta h_0 + c_a^2}$

Hierin is:

- c_0 = de theoretische uitstroomsnelheid van de stoom in m/s.
 Δh_0 = de theoretische of isentropische warmteval in kJ/kg.
 c_a = de aanstroomsnelheid van de stoom van de ketel naar de straalbuizen van de turbine in m/s.

Continuïteitsvergelijking voor straalbuisberekening:

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

- A = de oppervlakte van de doorsnede van de straalbuis [m²]
 v = het soortelijk of specifiek volume van de stoom [m³/kg]
 \dot{m} = de doorstromende stoommassa per tijdseenheid [kg/s],
 c = de stoomsnelheid [m/s]
 \dot{V} = het doorstromende stoomvolume per tijdseenheid [m³/s]

Omtreksnelheid of schoepsnelheid:

$$u = \pi \times D \times n \quad [\text{m/s}]$$

- u = omtreksnelheid of schoepsnelheid [m/s]
 D = diameter van het wiel [m]
 n = toerental van de as of wiel [Hz]

Lavalturbine:

Ideale omtreksnelheid, c_2 staat 90° op U $u = \frac{1}{2} \times c_1 \times \cos \alpha_1$ [m/s]

- α_1 = intreehoek [°]
 u = schoepsnelheid [m/s]
 c_1 = intreesnelheid [m/s]
 c_2 = uittrede snelheid [m/s]

Curtisturbine : ideale omtreksnelheid Curtis met Z_c snelheidstrappen:

$$u = \frac{1}{2 \cdot Z_c} \times c_1 \times \cos \alpha_1 \quad [\text{m/s}]$$

Zoelly turbine: uitstroomsnelheid uit straalbuizen Zoelly met Z_z trappen:

$$c_0 = \sqrt{2000 \times \frac{\Delta h_0}{Z_z} + c_a^2} \quad [\text{m/s}]$$

Schoepkracht en vermogen , stromingsrendement :**Schoepkracht enkele gelijkdruktrap:**

$$F_{\text{schoep}} = \dot{m}_{\text{stoom}} \times \Delta c_u \text{ [N]}$$

Waarin:

$$F_{\text{schoep}} = \text{schoepkracht [N]} .$$

$$\dot{m}_{\text{stoom}} = \text{massa stoom per tijdseenheid [kg/s]}$$

$$\Delta c_u = (c_1 \times \cos \alpha_1 - c_2 \times \cos \alpha_2) \text{ is snelheidsverandering in positieve u richting}$$

Schoepvermogen enkele gelijkdruktrap:

$$P_{\text{schoep}} = F_{\text{schoep}} \times u \text{ [W]} \text{ ook geldt } P_{\text{schoep}} = \dot{m}_{\text{stoom}} \times \Delta c_u \times u$$

Totaal schoepvermogen Zoellyturbine:

$$P_{\text{schoep totaal}} = Z_z \times \dot{m}_{\text{stoom}} \times \Delta c_u \times u \text{ [W]}$$

Waarin $Z_z =$ aantal Zoellytrappen.

Stromingsrendement gelijkdruktrap:

$$\eta_{\text{stroming}} = \frac{c_1^2 - c_2^2}{c_1^2} \times 100\% \text{ ook geldt: } \eta_{\text{stroming}} = \frac{P_{\text{schoep}}}{\dot{m}_{\text{stoom}} \times \Delta h} \times 100\%$$

$$\dot{m}_{\text{stoom}} = \text{massa stoom per tijdseenheid [kg/s]}$$

$$\Delta h = \text{warmteval [J/kg]}$$

Maximum stromingsrendement gelijkdruktrap bij ideale omtreksnelheid U:

$$\eta_{\text{stroming}} = [\cos^2 \alpha_1] \times 100\%$$

Overdrukturbine, Parsonsturbine:

$$\text{Actiearbeid} = \frac{1}{2} \times \dot{m}_{\text{stoom}} \times (c_1^2 - c_2^2) \quad \text{Reactiearbeid} = \frac{1}{2} \times \dot{m}_{\text{stoom}} \times (w_2^2 - w_1^2) \quad \text{[Watt]}$$

$$\text{Reactiegraad} = \frac{\text{reactie-arbeid}}{\text{totale arbeid}} = \frac{\text{reactie-arbeid}}{\text{actie-arbeid} + \text{reactie-arbeid}}$$

Uitstroomsnelheid straalbuizen Parsonsturbine met Z_p trappen:

$$c_{0 \text{ Parsons}} = \sqrt{2000 \times \frac{\Delta h_0}{2 \times Z_p}}$$

Ideale omtreksnelheid enkele overdruktrap:

$$u = c_1 \times \cos \alpha_1 \quad [\text{m/s}]$$

Schoepkracht, enkele overdruktrap:

$$F_{\text{schoep,trap}} = \dot{m}_{\text{stoom}} \times \Delta c_u \quad [\text{N}]$$

Schoepvermogen, enkele trap overdruktrap:

$$P_{\text{schoep,trap}} = \dot{m}_{\text{stoom}} \times \Delta c_u \times u \quad [\text{W}]$$

Voor de gehele Parsonsturbine met z_p trappen geldt:

$$F_{\text{schoeptotaal}} = \dot{m}_{\text{stoom}} \times \Delta c_u \times z_p \quad [\text{N}]$$

$$P_{\text{schoeptotaal}} = \dot{m}_{\text{stoom}} \times \Delta c_u \times u \times z_p \quad [\text{W}]$$

$$\eta_{\text{stroming Parsons}} = \frac{2(c_1^2 - c_2^2)}{2c_1^2 - c_2^2} \times 100\% \quad \eta_{\text{stroming Parsons max}} = \frac{2 \times \cos^2 \alpha_1}{1 + \cos^2 \alpha_1} \times 100\% \quad \text{bij reactiegraad} = 50\%$$

Evenwichtszuiger Parsonsturbine:

$$\text{Kracht op rotor } F_r = \frac{\pi}{4} \times (D_m^2 - D_r^2) \times \frac{p_1 - p_e}{2}$$

$$\text{Kracht op evenwichtszuiger } F_e = \frac{\pi}{4} \times (D_e^2 - D_r^2) \times (p_1 - p_e) \quad [\text{N}]$$

Resulterende kracht : $F_{\text{rest}} = F_r - F_e \quad [\text{N}]$ waarin:

p_1	Begindruk van de stoom, intrede druk	$[\text{N/m}^2]$
p_e	Einddruk van de stoom	$[\text{N/m}^2]$
D_e	Diameter evenwichtszuiger	$[\text{m}]$
D_r	Rotordiameter	$[\text{m}]$
D_m	Gemiddelde diameter op gemiddelde schoephoogte	$[\text{m}]$
F_r	De kracht op rotor	$[\text{N}]$
F_e	De kracht op evenwichtszuiger	$[\text{N}]$
F_{rest}	De resulterende kracht	$[\text{N}]$

Gecombineerde turbines:

Voorgeschakeld Laval gelijkdrukwiël vervangt : $z_p = 2 \times \left[\frac{D_{gem,laval}}{D_{gem,parsons}} \right]^2$ Parsonstrappen

Voorgeschakeld Laval gelijkdrukwiël vervangt : $z_z = \left[\frac{D_{gem,laval}}{D_{gem,zoelly}} \right]^2$ Zoelly-trappen

Voorgeschakelde Curtisturbine vervangt : $z_p = 2 \times z_c^2 \times \left[\frac{D_{gem,curtis}}{D_{gem,parsons}} \right]^2$ Parsonstrappen

Voorgeschakelde Curtisturbine vervangt : $z_z = z_c^2 \left[\frac{D_{gem,curtis}}{D_{gem,zoelly}} \right]^2$ Zoelly trappen

Overige formules:**Kritisch toerental:**

$$n_{kr} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{f}} \quad [\text{Hz}] \quad \text{met } g \text{ in } 9,8 \text{ N/kg}, \quad f \text{ doorbuiging van de rotor in meters, } n \text{ in Hz}$$

Wet van Black:

Toegevoerde warmte = afgevoerde warmte.

Centripetale kracht:

$$F_{cp} = m \times \omega^2 \times r \quad [\text{N}]$$

waarin:

ω = hoeksnelheid [rad/s]

r = straal van het massamiddelpunt van de schoep [m]

m = massa van het roterend onderdeel [kg]

Uitzetting van turbinehuis en / of rotor:

$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta T_{gem} \quad [\text{m}]$$

α = lineaire uitzettingscoëfficiënt van turbinehuis of rotor [K⁻¹],
L = huis – of rotorlengte [m]

Condensor:

Formule van Grashof:

$$Q = k \times A \times \Delta T_{gem}$$

Waarin

Q = de over te dragen hoeveelheid warmte in [kW]

k = warmtedoorgangscoefficient [kW / (m².K)]

A = koelend oppervlak (VO) in [m²]

$$\Delta T_{gem} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}} \quad [K] \quad k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad [kW / (m^2.K)]$$

α_1 = warmteoverdrachtscoefficient damp > staal in [kW / (m².K)]

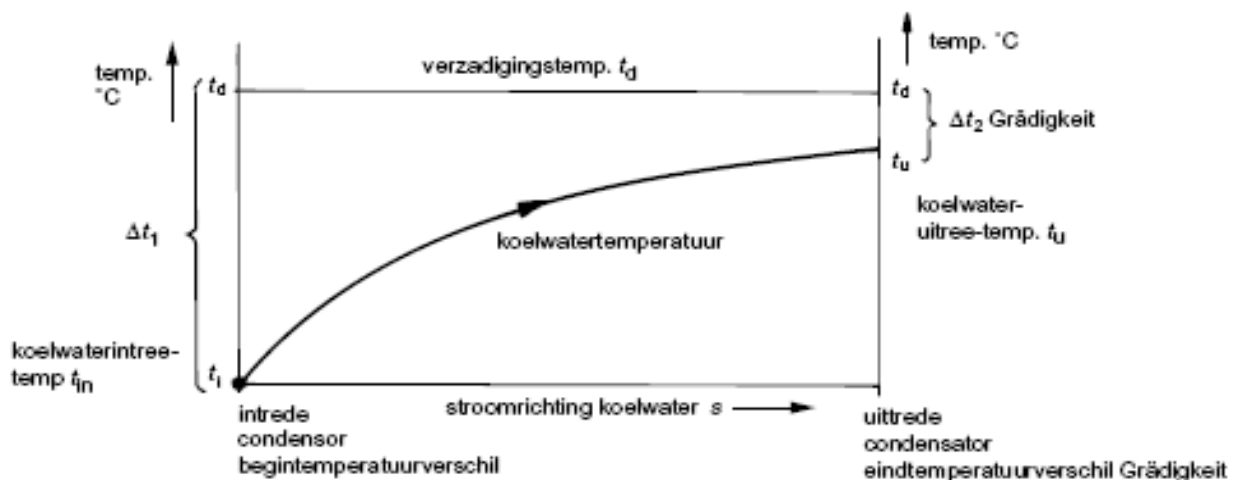
δ = dikte van de pijpwand [m]

λ = warmtegeleidingscoefficient materiaal [kW / (m.K)]

α_2 = warmteoverdrachtscoefficient staal > water [kW / (m².K)]

Grädigkeit condensor:

(bij voorwarmers ook wel Terminal Temperature Difference (T.T.D) genoemd; $t_d - t_u$)



Koeltoren:

Suppleren en spuien van koelwater

$$\text{Indikking} = \frac{\text{Zoutconcentratie in het koelwater} \quad [\%]}{\text{Zoutconcentratie in het suppletiewater} \quad [\%]}$$

$$\dot{m}_{suppletie} = \dot{m}_{verdamping} \cdot \left(\frac{\text{Indikking}}{\text{Indikking}-1} \right)$$

$$\dot{m}_{spui} = \dot{m}_{suppletie} - (\dot{m}_{verdamping} + \dot{m}_{sproei}) \quad [kg/s]$$

$$\dot{m}_{suppletie} = \dot{m}_{verdamping} + \dot{m}_{sproei} + \dot{m}_{spui} \quad [kg/s]$$

$$\text{Koelwaterveelvoud: } KVV = \frac{\text{massastroom koelwater [kg/s]}}{\text{massastroom te condenseren stoom [kg/s]}}$$

Mengvoorwarmer:

Aftapstoomhoeveelheid naar mengvoorwarmer voor 1 kg voedingswater:

$$\begin{aligned} &\text{toegevoerde warmte} = \text{afgevoerde warmte} \\ &(1 - \alpha) \cdot h_{\text{condensaat naar voorwarmer}} + \alpha \cdot h_{\text{aftapstoom}} = 1 \cdot h_{\text{voedingswater uit voorwarmer}} \\ &\alpha = \text{massa aftapstoom [kg]} \end{aligned}$$

Na aftap van α kg stoom bedraagt de **geleverde turbinearbeid** per kg toegevoerde verse stoom:

$$W_{\text{turbine}} = (1 - \alpha) \cdot (h_{\text{verse stoom}} - h_{\text{afgewerkte stoom}}) + \alpha \cdot (h_{\text{verse stoom}} - h_{\text{aftapstoom}}) \quad [\text{kJ/kg}]$$

Verliezen en rendementen:

$$\text{Straalbuisverlies: } \dot{Q}_{\text{straalbuis}} = \frac{1}{2} \times \dot{m}_{\text{stoom}} \times (c_0^2 - c_1^2) \quad [\text{J/s}]$$

\dot{m}_{stoom} = de massa stoom per tijdsenheid in [kg/s]

c_0 = de theoretische uitstroomsnelheid van de stoom uit de straalbuis in [m/s]

c_1 = de werkelijke uitstroomsnelheid van de stoom uit de straalbuis in [m/s]

$$\text{Schoepverlies: } \dot{Q}_{\text{schoep}} = \frac{1}{2} \times \dot{m}_{\text{stoom}} \times (w_1^2 - w_2^2) \quad [\text{J/s}]$$

w_1 en w_2 = de relatieve in-en uitredetredesnelheid van de stoom in het loopschoepkanaal in [m/s]

$$\text{Uittredeverlies uit laatste loopwiel: } \dot{Q}_{\text{uitrede}} = \frac{1}{2} \times \dot{m}_{\text{stoom}} \times c_2^2 \quad [\text{J/s}]$$

Waarin: c_2 = de absolute uitredesnelheid van de stoom uit het loopschoepkanaal in [m/s]

$$\text{Thermisch rendement: } \eta_{\text{th}} = \frac{\text{turbine arbeid}}{\text{aan ketel toegevoerde energie}} = \frac{(h_{\text{verse stoom}} - h_{\text{afgewerkte stoom}})}{(h_{\text{verse stoom}} - h_{\text{voedingswater}})} \times 100\%$$

$$\text{Inwendig turbinerendement: } \eta_{\text{inw}} = \frac{\text{inwendig vermogen}}{\text{theoretisch vermogen}} = \frac{P_i}{P_{\text{th}}} \times 100\%$$

$$\text{Mechanisch rendement: } \eta_{\text{mech}} = \frac{\text{effectief vermogen}}{\text{inwendig vermogen}} = \frac{P_e}{P_i} \cdot 100\%$$

Thermodynamisch rendement: $\eta_{\text{th dyn}} = \frac{P_e}{P_{\text{th}}} \times 100\%$

Warmteverbruik bij elektriciteitsopwekking in kJ / kWh.

1 kWh = 3600 kJ. Bij rendement van 50% bedraagt warmteverbruik:

$$\text{bruto warmteverbruik} = \frac{(h_{\text{stoom}} - h_{\text{voedingwater}}) \times \dot{m}_{\text{stoom}}}{P_{\text{elektrisch}}} \left[\frac{\text{kJ/s}}{\text{kW}} \right]$$
$$\text{netto warmteverbruik} = \frac{(h_{\text{os}} - h_{\text{vw}}) \times \dot{m}_s}{P_{\text{elektrisch}} - P_{\text{elektrisch eigen gebruik}}} \left[\frac{\text{kJ/s}}{\text{kW}} \right]$$