

Příloha 1

1. Modelové výpočty pro nízkoteplotní aplikace

1.1. Nízkoteplotní aplikace Kalinova cyklu:

Vstupní veličiny výpočtového modelu:

$p_a = 8 \text{ [MPa]}$	... admisní tlak
$t_k = 30 \text{ [°C]}$	... teplota za kondenzátorem
$x = 0,9 \text{ [-]}$	... hmotnostní koncentrace NH_3
$Qu = 0,85 \text{ [-]}$	... kvalita směsi za výparníkem
$p_{gw} = 2 \text{ [MPa]}$	... tlak geotermální vody
$t_{in,gw} = 200 \text{ [°C]}$	... teplota geotermální vody na vstupu do výparníku
$M_{gw} = 20 \text{ [kg/s]}$	... hmotnostní průtok geotermální vody
$t_{in,cw} = 20 \text{ [°C]}$	... teplota chladící vody na vstupu do kondenzátoru
$p_{cw} = 0,1 \text{ [MPa]}$	... tlak chladící vody
$\eta_{td} = 0,87 \text{ [-]}$	... termodynamická účinnost turbosoustrojí
$\eta_m = 0,99 \text{ [-]}$	... mechanická účinnost turbosoustrojí
$\eta_g = 0,98 \text{ [-]}$	... účinnost generátoru
$\eta_{\xi} = 0,75 \text{ [-]}$	... účinnost čerpadel

Modelový výpočet pro jednotlivé uzly dle schématu – obr. 27:

Uzel 1 - výstup základního proudu z výparníku a vstup do separátoru:

Určení hodnot jednotlivých veličin:

$$Call NH3H2O = (238; p_a; x; Qu: t[1], p[1], x[1], h[1], s[1], u_e[1], v[1], Qu[1]) \quad (1.1)$$

$$\text{Výpočet hmotnostního průtoku:} \quad \dot{m}[1] = M \quad (1.2)$$

Uzel 2 - výstup bohatého proudu ze separátoru a vstup do turbíny:

Určení hodnot jednotlivých veličin:

$$Call NH3H2O = (128; t[1]; p_a; 1: t[1], p[1], x[1], h[1], s[1], u_e[1], v[1], Qu[1]) \quad (1.3)$$

$$\text{Výpočet hmotnostního průtoku:} \quad \dot{m}[2] = \dot{m}[1] + \frac{x[1] - x[2]}{x[2] - x[4]} \quad (1.4)$$

Uzel 3 - výstup bohatého proudu z turbíny a vstup do směšovače:

Určení hodnot jednotlivých veličin při izoentropické expanzi v turbíně:

$$\begin{aligned} Call NH3H2O = \\ = (235; p[8]; x; s[2]: t_{iz}[3], p_{iz}[3], x_{iz}[3], h_{iz}[3], s_{iz}[3], u_{iz,e}[3], v_{iz}[3], Qu_{iz}[3]) \end{aligned} \quad (1.5)$$

$$\text{Výpočet reálné entalpie za turbínou:} \quad h_{re}[3] = h[2] - (h[2] - h_{iz}[3]) \cdot \eta_{td} \quad (1.6)$$

Určení hodnot jednotlivých veličin při použití reálné entalpie za turbínou:

$$Call NH3H2O = (234; p[8]; x[2]; h_{re}[3]: t[3], p[3], x[3], h[3], s[3], u_e[3], v[3], Qu[3]) \quad (1.7)$$

$$\text{Výpočet hmotnostního průtoku:} \quad \dot{m}[3] = \dot{m}[2] \quad (1.8)$$

Uzel 4 - výstup chudého proudu ze separátoru a vstup do rekuperátoru:

Určení hodnot jednotlivých veličin:

$$Call NH3H2O = (128; t[1]; p_a; 0: t[4], p[4], x[4], h[4], s[4], u_e[4], v[4], Qu[4]) \quad (1.9)$$

$$\text{Výpočet hmotnostního průtoku:} \quad \dot{m}[4] = \dot{m}[1] + \frac{x[1] - x[2]}{x[4] - x[2]} \quad (1.10)$$

Uzel 5 - výstup chudého proudu z rekuperátoru a vstup do škrtkového ventilu:

Stanovení minimálního teplotního rozdílu rekuperátoru: $PP_R = 3 \text{ [}^\circ\text{C]}$ (1.11)

Stanovení teploty chudého proudu za rekuperátorem: $t_p[5] = t[9] - PP_R$ (1.12)

Určení hodnot jednotlivých veličin:

Call NH3H2O = (123; $t_p[5]$; p_a ; $x[4]$; $t[5]$, $p[5]$, $x[5]$, $h[5]$, $s[5]$, $u_e[5]$, $v[5]$, $Qu[5]$) (1.13)

Výpočet hmotnostního průtoku: $\dot{m}[5] = \dot{m}[4]$ (1.14)

Uzel 6 - výstup chudého proudu ze škrtkového ventilu a vstup do směšovače:

Určení hodnot jednotlivých veličin:

Call NH3H2O = (234; $p[8]$; $x[4]$; $h[5]$; $t[6]$, $p[6]$, $x[6]$, $h[6]$, $s[6]$, $u_e[6]$, $v[6]$, $Qu[6]$) (1.15)

Výpočet hmotnostního průtoku: $\dot{m}[6] = \dot{m}[5]$ (1.16)

Uzel 7 – smíšení chudého a bohatého proudu ve směšovači a vstup do kondenzátoru:

Určení entalpie za směšovačem: $h_p[7] = (m[6] \cdot h[6] + m[3] \cdot h[3])/m[7]$ (1.17)

Určení hodnot jednotlivých veličin:

Call NH3H2O = (234; $p[8]$; x ; $h_p[7]$; $t[7]$, $p[7]$, $x[7]$, $h[7]$, $s[7]$, $u_e[7]$, $v[7]$, $Qu[7]$) (1.18)

Výpočet hmotnostního průtoku: $\dot{m}[7] = M$ (1.19)

Uzel 8 - výstup základního proudu z kondenzátoru a vstup do napájecího čerpadla:

Určení hodnot jednotlivých veličin

Call NH3H2O = (138; t_k ; x ; 0; $t[8]$, $p[8]$, $x[8]$, $h[8]$, $s[8]$, $u_e[8]$, $v[8]$, $Qu[8]$) (1.20)

Výpočet hmotnostního průtoku: $\dot{m}[8] = M$ (1.21)

Uzel 9 - výstup základního proudu z napájecího čerpadla a vstup do rekuperátoru:

Určení hodnot veličin při izentropickém ději v napájecím čerpadle:

Call NH3H2O =
= (235; p_a ; x ; $s[8]$; $t_{iz}[9]$, $p_{iz}[9]$, $x_{iz}[9]$, $h_{iz}[9]$, $s_{iz}[9]$, $u_{iz,e}[9]$, $v_{iz}[9]$, $Qu_{iz}[9]$) (1.22)

Výpočet reálné entalpie za čerpadlem:
$$h_{re}[9] = h[8] - (h_{iz}[9] - h[8])/\eta_c \quad (1.23)$$

Určení hodnot jednotlivých veličin při použití reálné entalpie za čerpadlem:

$$Call\ NH_3H_2O = (234; p_a; x; h_{re}[9]: t[9], p[9], x[9], h[9], s[9], u_e[9], v[9], Qu[9]) \quad (1.24)$$

Výpočet hmotnostního průtoku:
$$\dot{m}[9] = M \quad (1.25)$$

Uzel 10 - výstup základního proudu z rekuperátoru a vstup výparníku:

Určení entalpie základního proudu na výstupu z rekuperátoru:

$$Q_R = m[10] \cdot (h_p[10] - h[9]) = m[5] \cdot (h[4] - h[5]) = 778,096[kJ] \quad (1.26)$$

$$h_p[10] = \frac{Q_R + m[10] \cdot h[9]}{m[10]} \quad (1.27)$$

Určení hodnot jednotlivých veličin při použití entalpie:

$$Call\ NH_3H_2O = (234; p_a; x; h_p[10]: t[10], p[10], x[10], h[10], s[10], u_e[10], v[10], Qu[10]) \quad (1.28)$$

Výpočet hmotnostního průtoku:
$$\dot{m}[10] = M \quad (1.29)$$

Výpočet hmotnostního průtoku základního proudu NH₃H₂O:

Pro zjištění hmotnostního průtoku základního proudu NH₃H₂O bylo nutné vytvořit bilanční výpočet výparníku. Jako vstupní parametry výpočtu jsou zde využity hodnoty veličin základního proudu NH₃H₂O na vstupu a na výstupu z výparníku, tedy uzly 1 a 10. Dále jsou známy parametry geotermální vody na vstupu do výparníku. Pro výparník byl zvolen minimální teplotní rozdíl $PP_E = 5 [^\circ C]$. Celý proces vypařování byl rozdělen do několika segmentů, pro které byly následně určeny příslušné veličiny. Z obr. 29, kde je v Q-T diagramu znázorněn proces vypařování, je patrné, že je v určitém segmentu dosaženo právě zvoleného minimálního teplotního rozdílu. V tomto daném segmentu je tedy možné dopočítat veškeré veličiny a pomocí vztahů uvedených níže poté určit průtok základního proudu NH₃H₂O. Tento bilanční výpočet byl v rozhraní EES kompletně zhotoven pro všechny segmenty, zde je však uveden výpočet pouze pro segment „x“, ve kterém je dosaženo minimálního teplotního rozdílu.

Pro určení hodnot veličin vody a vodní páry byly použity softwarové funkce v rozhraní programu EES, které využívají látkových vlastností podle IAPWS.

Určení entalpie geotermální vody na vstupu do výparníku:

$$h_{in,gw} = enthalpy(Steam_{IAPWS}; p = p_{gw}; t = t_{in,gw}) = 852,454 [kJ/kg] \quad (1.30)$$

Zvolený počet segmentů: $n_E = 100 [-]$ (1.31)

Diferenční změna entalpie: $dh_E = \frac{h[1] - h[10]}{n_E} = 11,700 [kJ/kg]$ (1.32)

Určení entalpie základního proudu NH₃H₂O v segmentu „x“:

$$h_p[x] = h[x - 1] + dh_E = 552,589 [kJ/kg] \quad (1.33)$$

Určení zbylých veličin základního proudu NH₃H₂O v segmentu „x“:

$$Call_{NH3H2O} = (234; p_a; x; h_p[x]; t[x], p[x], x[x], h[x], s[x], u_e[x], v[x], Qu[x]) \quad (1.34)$$

Žádaná je především teplota základního proudu NH₃H₂O v segmentu „x“, kterou lze získat právě pomocí funkce (1.34).

$$t[x] = 120,362 [°C] \quad (1.35)$$

Určení entalpie geotermální vody v segmentu „x“:

$$t_{gw}[x] = t[x] + PP_E = 125,362 [°C] \quad (1.36)$$

$$h_{gw}[x] = enthalpy(Steam_{IAPWS}; p = p_{gw}; t = t_{gw}[x]) = 527,834 [kJ/kg] \quad (1.37)$$

Určení hmotnostního průtoku základního proudu NH₃H₂O v segmentu „x“:

$$h_{gw}[x] = h_{gw}[x + 1] - \left(\frac{dh_E \cdot M}{M_{gw}}\right) \quad (1.38)$$

$$M = \frac{h_{gw}[x + 1] - h_{gw}[x] \cdot M_{gw}}{dh_E} = 8,160 [kg/s] \quad (1.39)$$

Výpočet hmotnostního průtoku chladící vody:

Pro zjištění hmotnostního průtoku chladící vody bylo použito stejného postupu jako při určování průtoku základního proudu NH₃H₂O. Opět byly použity vstupní a výstupní hodnoty veličin základního proudu NH₃H₂O, tedy uzly 7 a 8. Známe jsou také parametry chladící vody na vstupu do kondenzátoru. Pro kondenzátor byla zvolena hodnota minimálního teplotního rozdílu $PP_K = 3 [°C]$. Celý proces kondenzace byl opět rozdělen do několika segmentů, kdy je v níže uvedených rovnicích uvažován pouze segment „x“, ve kterém je dosažena hodnota

zvoleného minimálního teplotního rozdílu. Na obr. 28 je znázorněn Q-T diagram kondenzátoru.

Pro určení hodnot veličin vody a vodní páry byly použity softwarové funkce v rozhraní programu EES, které využívají látkových vlastností podle IAPWS.

Určení entalpie chladicí vody na vstupu do kondenzátoru:

$$h_{in,cw} = enthalpy(Steam_{IAPWS}; p = p_{cw}; t = t_{in,cw}) = 84,006 [kJ/kg] \quad (1.40)$$

Zvolený počet segmentů: $n_K = 100 [-]$ (1.41)

Diferenční změna entalpie: $dh_K = \frac{h[7] - h[8]}{n_K} = 9,802 [kJ/kg]$ (1.42)

Určení entalpie základního proudu NH₃H₂O v segmentu „x“:

$$h_p[x] = h[x - 1] - dh_K = 686,005 [kJ/kg] \quad (1.43)$$

Určení zbylých veličin základního proudu NH₃H₂O v segmentu „x“:

$$Call NH3H2O = (234; p[8]; x; h_p[x]; t[x], p[x], x[x], h[x], s[x], u_e[x], v[x], Qu[x]) \quad (1.44)$$

Žádaná je především teplota základního proudu NH₃H₂O v segmentu „x“, kterou lze získat právě pomocí funkce (1.44)(1.34).

$$t[x] = 34,456 [°C] \quad (1.45)$$

Určení entalpie chladicí vody v segmentu „x“:

$$t_{cw}[x] = t[x] - PP_K = 31,456 [°C] \quad (1.46)$$

$$h_{cw}[x] = enthalpy(Steam_{IAPWS}; p = p_{cw}; t = t_{cw}[x]) = 131,909 [kJ/kg] \quad (1.47)$$

Určení hmotnostního průtoku chladicí vody v segmentu „x“:

$$h_{cw}[x] = h_{cw}[x + 1] + \left(\frac{dh_K \cdot M}{M_{cw}}\right) \quad (1.48)$$

$$M_{cw} = \frac{dh_K \cdot M}{h_{cw}[x] - h_{cw}[x + 1]} = 105,199 [kg/s] \quad (1.49)$$

1.2. Nízkoteplotní aplikace Organického Rankinova cyklu:

Vstupní veličiny výpočtového modelu:

$p_a = 0,175 \text{ [MPa]}$... admisní tlak

$p_k = 0,005 \text{ [MPa]}$... tlak za kondenzátorem

$p_{gw} = 2 \text{ [MPa]}$... tlak geotermální vody

$t_{in,gw} = 200 \text{ [°C]}$... teplota geotermální vody na vstupu do výparníku

$M_{gw} = 20 \text{ [kg/s]}$... hmotnostní průtok geotermální vody

$T_{in,cw} = 20 \text{ [°C]}$... teplota chladící vody na vstupu do kondenzátoru

$p_{cw} = 0,1 \text{ [MPa]}$... tlak chladící vody

$\eta_{td} = 0,87 \text{ [-]}$... termodynamická účinnost turbosoustrojí

$\eta_m = 0,99 \text{ [-]}$... mechanická účinnost turbosoustrojí

$\eta_g = 0,98 \text{ [-]}$... účinnost generátoru

$\eta_\xi = 0,75 \text{ [-]}$... účinnost čerpadel

Pára vstupující do expandéru je přesně sytá.

Modelový výpočet pro jednotlivé uzly dle schématu – obr. 33:

Uzel 1 - výstup pracovní látky z výparníku a vstup do turbíny:

Určení hodnot jednotlivých veličin:

$$p[1] = p_a = 0,175 \text{ [MPa]} \quad (1.50)$$

$$x_v[1] = 1 \text{ [-]} \quad (1.51)$$

$$t[1] = \text{Temperature}(\text{Toluene}; p = p[1]; x_v = x_v[1]) = 130,844 \text{ [°C]} \quad (1.52)$$

$$h[1] = \text{Enthalpy}(\text{Toluene}; p = p[1]; x_v = x_v[1]) = 388,504 \text{ [kJ/kg]} \quad (1.53)$$

$$s[1] = \text{Entropy}(\text{Toluene}; p = p[1]; x_v = x_v[1]) = 0,9637 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (1.54)$$

$$\dot{m}[1] = M = 16,133 \text{ [kg/s]} \quad (1.55)$$

Uzel 2 - výstup pracovní látky z turbíny a vstup do kondenzátoru:

Výpočet entalpie na výstupu z turbíny – izoentropická expanze:

$$h_{iz}[2] = \text{Enthalpy}(\text{Toluene}; p = p[2]; s = s[1]) = 275,587 \text{ [kJ/kg]} \quad (1.56)$$

Výpočet skutečné entalpie na výstupu z turbíny:

$$h[2] = h[1] - (h[1] - h_{iz}[2]) \cdot \eta_{td} = 290,266 \text{ [kJ/kg]} \quad (1.57)$$

Určení hodnot jednotlivých veličin:

$$p[2] = p_k = 0,005 \text{ [MPa]} \quad (1.58)$$

$$x_v[2] = \text{Quality}(\text{Toluene}; p = p[2]; h = h[2]) = 1,001 \text{ [-]} \quad (1.59)$$

$$t[2] = \text{Temperature}(\text{Toluene}; p = p[2]; h = h[2]) = 55,043 \text{ [°C]} \quad (1.60)$$

$$s[2] = \text{Entropy}(\text{Toluene}; p = p[2]; h = h[2]) = 1,009 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (1.61)$$

$$\dot{m}[2] = M = 16,133 \text{ [kg/s]} \quad (1.62)$$

Uzel 3 - výstup pracovní látky z kondenzátoru a vstup do napájecího čerpadla:

Určení hodnot jednotlivých veličin:

$$p[3] = p_k = 0,005 \text{ [MPa]} \quad (1.63)$$

$$x_v[3] = 0 \text{ [-]} \quad (1.64)$$

$$t[3] = \text{Temperature}(\text{Toluene}; p = p[3]; x_v = x_v[3]) = 30,434 \text{ [°C]} \quad (1.65)$$

$$h[3] = \text{Enthalpy}(\text{Toluene}; p = p[3]; x_v = x_v[3]) = -148,923 \text{ [kJ/kg]} \quad (1.66)$$

$$s[3] = \text{Entropy}(\text{Toluene}; p = p[3]; x_v = x_v[3]) = -0,4337 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (1.67)$$

$$\dot{m}[3] = M = 16,133 \text{ [kg/s]} \quad (1.68)$$

Uzel 4 - výstup pracovní látky z napájecího čerpadla a vstup do výparníku:

Výpočet entalpie na výstupu z NČ – izoentropický děj:

$$h_{iz}[4] = \text{Enthalpy}(\text{Toluene}; p = p[4]; s = s[3]) = -148,725 \text{ [kJ/kg]} \quad (1.69)$$

Výpočet skutečné entalpie na výstupu z NČ:

$$h[4] = h[3] + \frac{h_{iz}[4] - h[3]}{\eta_c} = -148,658 \text{ [kJ/kg]} \quad (1.70)$$

Určení hodnot jednotlivých veličin:

$$p[4] = p_a = 0,175 \text{ [MPa]} \quad (1.71)$$

$$x_v[4] = \text{Quality}(\text{Toluene}; p = p[4]; h = h[4]) = -0,001 \text{ [-]} \quad (1.72)$$

$$t[4] = \text{Temperature}(\text{Toluene}; p = p[4]; h = h[4]) = 30,511 \text{ [°C]} \quad (1.73)$$

$$s[4] = \text{Entropy}(\text{Toluene}; p = p[4]; h = h[4]) = -0,4335 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (1.74)$$

$$\dot{m}[4] = M = 16,133 \text{ [kg/s]} \quad (1.75)$$

Výpočet hmotnostního průtoku toluenu:

Pro zjištění hmotnostního průtoku toluenu bylo použito stejného postupu jako v kapitole 1.1, při určování průtoku základního proudu $\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$. Za tímto účelem byl vytvořen bilanční výpočet výparníku. Opět byly použity hodnoty veličin toluenu na vstupu a výstupu z výparníku, tedy v uzlech 1 a 4. Známé jsou také parametry geotermální vody na vstupu do výparníku. Pro výparník byla zvolena hodnota minimálního teplotního rozdílu $PP_E = 5 \text{ [°C]}$. Celý proces vypařování byl opět rozdělen do několika segmentů, kdy je v níže uvedených rovnicích uvažován pouze segment „x“, ve kterém je dosažena hodnota zvoleného minimálního teplotního rozdílu. Na obr. 35 je znázorněn Q-T diagram výparníku.

Pro určení hodnot veličin vody a vodní páry byly použity softwarové funkce v rozhraní programu EES, které využívají látkových vlastností podle IAPWS.

Určení entalpie geotermální vody na vstupu do výparníku:

$$h_{in,gw} = enthalpy(Steam_{IAPWS}; p = p_{gw}; t = t_{in,gw}) = 852,454 [kJ/kg] \quad (1.76)$$

$$\text{Zvolený počet segmentů: } n_E = 130 [-] \quad (1.77)$$

$$\text{Diferenční změna entalpie: } dh_E = \frac{h[1] - h[4]}{n_E} = 4,132 [kJ/kg] \quad (1.78)$$

Určení entalpie toluenu v segmentu „x“:

$$h[x] = h[x - 1] + dh_E = 572,466 [kJ/kg] \quad (1.79)$$

Určení teploty toluenu v segmentu „x“:

$$t[x] = Temperature(Toluene; p = p_a; h = h[x]) = 130,844 [°C] \quad (1.80)$$

Určení entalpie geotermální vody v segmentu „x“:

$$t_{gw}[x] = t[x] + PP_E = 135,844 [°C] \quad (1.81)$$

$$h_{gw}[x] = enthalpy(Steam_{IAPWS}; p = p_{gw}; t = t_{gw}[x]) = 572,466 [kJ/kg] \quad (1.82)$$

Určení hmotnostního průtoku toluenu v segmentu „x“:

$$h_{gw}[x] = h_{gw}[x + 1] - \left(\frac{dh_E \cdot M}{M_{gw}} \right) \quad (1.83)$$

$$M = \frac{h_{gw}[x + 1] - h_{gw}[x] \cdot M_{gw}}{dh_E} = 16,133 [kg/s] \quad (1.84)$$

Výpočet hmotnostního průtoku chladící vody:

Pro zjištění hmotnostního průtoku chladící vody bylo použito stejného postupu jako v kapitole 1.1, při určování průtoku chladící vody. Za tímto účelem byl vytvořen bilanční výpočet kondenzátoru. Opět byly použity hodnoty veličin pracovního média na vstupu a výstupu z kondenzátoru, tedy v uzlech 2 a 3. Známé jsou také parametry geotermální vody na vstupu do kondenzátoru. Pro kondenzátor byla zvolena hodnota minimálního teplotního rozdílu $PP_K = 3 [°C]$. Celý proces kondenzace byl opět rozdělen do několika segmentů, kdy je v níže uvedených rovnicích uvažován pouze segment „x“, ve kterém je dosažena hodnota zvoleného minimálního teplotního rozdílu. Na obr. 34 je znázorněn Q-T diagram kondenzátoru.

Pro určení hodnot veličin vody a vodní páry byly použity softwarové funkce v rozhraní programu EES, které využívají látkových vlastností podle IAPWS.

Určení entalpie chladicí vody na vstupu do kondenzátoru:

$$h_{in,cw} = \text{enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_{cw}; t = t_{in,cw}) = 84,006 \text{ [kJ/kg]} \quad (1.85)$$

Zvolený počet segmentů: $n_K = 130 [-]$ (1.86)

Diferenční změna entalpie: $dh_K = \frac{h[2] - h[3]}{n_K} = 3,378 \text{ [kJ/kg]}$ (1.87)

Určení entalpie toluenu v segmentu „x“:

$$h[x] = h[x - 1] - dh_K = 259,860 \text{ [kJ/kg]} \quad (1.88)$$

Určení teploty toluenu v segmentu „x“:

$$t[x] = \text{Temperature}(\text{Toluene}; p = p_K; h = h[x]) = 30,434 \text{ [°C]} \quad (1.89)$$

Určení entalpie chladicí vody v segmentu „x“:

$$t_{cw}[x] = t[x] - PP_K = 27,434 \text{ [°C]} \quad (1.90)$$

$$h_{cw}[x] = \text{enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_{cw}; t = t_{cw}[x]) = 115,097 \text{ [kJ/kg]} \quad (1.91)$$

Určení hmotnostního průtoku chladicí vody v segmentu „x“:

$$h_{cw}[x] = h_{cw}[x + 1] + \left(\frac{dh_K \cdot M}{M_{cw}} \right) \quad (1.92)$$

$$M_{cw} = \frac{dh_K \cdot M}{h_{cw}[x] - h_{cw}[x + 1]} = 212,124 \text{ [kg/s]} \quad (1.93)$$

1.3. Nízkoteplotní aplikace Rankinova cyklu:

Vstupní veličiny výpočtového modelu:

$p_a = 0,350 \text{ [MPa]}$... admisní tlak

$t_k = 40 \text{ [°C]}$... teplota za kondenzátorem

$p_k = p_{sat}(Steam_{IAPWS}; t = t_k) = 0,0074 \text{ [MPa]}$... kondenzační tlak

$t_{NN} = 105 \text{ [°C]}$... teplota v napájecí nádrži

$p_{NN} = p_{sat}(Steam_{IAPWS}; t = t_{NN}) = 0,121 \text{ [MPa]}$... tlak v napájecí nádrži

$p_{gw} = 2 \text{ [MPa]}$... tlak geotermální vody

$t_{in,gw} = 200 \text{ [°C]}$... teplota geotermální vody na vstupu do výparníku

$M_{gw} = 20 \text{ [kg/s]}$... hmotnostní průtok geotermální vody

$T_{in,cw} = 20 \text{ [°C]}$... teplota chladicí vody na vstupu do kondenzátoru

$p_{cw} = 0,1 \text{ [MPa]}$... tlak chladicí vody

$\eta_{td} = 0,87 \text{ [-]}$... termodynamická účinnost turbosoustrojí

$\eta_m = 0,99 \text{ [-]}$... mechanická účinnost turbosoustrojí

$\eta_g = 0,98 \text{ [-]}$... účinnost generátoru

$\eta_{\check{c}} = 0,75 \text{ [-]}$... účinnost čerpadel

$t_z = 2 \text{ [°C]}$... ztráta mezi odběrem z turbíny a napájecí nádrží

Uzel 1 - výstup pracovní látky z výparníku a vstup do turbíny:

Určení hodnot jednotlivých veličin:

$$p[1] = p_a = 0,350 \text{ [MPa]} \quad (1.94)$$

$$x_v[1] = 1 \text{ [-]} \quad (1.95)$$

$$t[1] = \text{Temperature}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[1]; x_v = x_v[1]) = 138,858 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (1.96)$$

$$h[1] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[1]; x_v = x_v[1]) = 2731,986 \text{ [kJ/kg]} \quad (1.97)$$

$$s[1] = \text{Entropy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[1]; x_v = x_v[1]) = 6,940 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (1.98)$$

$$\dot{m}[1] = M = 2,304 \text{ [kg/s]} \quad (1.99)$$

Uzel 2 - výstup pracovní látky z turbíny a vstup do kondenzátoru:

Výpočet entalpie na výstupu z turbíny – izoentropická expanze:

$$h_{iz}[2] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[2]; s = s[1]) = 2161,793 \text{ [kJ/kg]} \quad (1.100)$$

Výpočet skutečné entalpie na výstupu z turbíny:

$$h[2] = h[1] - (h[1] - h_{iz}[2]) \cdot \eta_{td} = 2235,762 \text{ [kJ/kg]} \quad (1.101)$$

Určení hodnot jednotlivých veličin:

$$p[2] = p_k = 0,0074 \text{ [MPa]} \quad (1.102)$$

$$t[2] = t_k = 40 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (1.103)$$

$$x_v[2] = \text{Quality}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[2]; h = h[2]) = 0,860 \text{ [-]} \quad (1.104)$$

$$s[2] = \text{Entropy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[2]; h = h[2]) = 7,177 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (1.105)$$

$$\dot{m}[2] = M - \alpha \cdot M = 2,282 \text{ [kg/s]} \quad (1.106)$$

Uzel 3 - výstup pracovní látky z kondenzátoru a vstup do kondenzátního čerpadla:

Určení hodnot jednotlivých veličin:

$$p[3] = p_k = 0,0074 \text{ [MPa]} \quad (1.107)$$

$$x_v[3] = 0 \text{ [-]} \quad (1.108)$$

$$t[3] = t_k = 40 \text{ [°C]} \quad (1.109)$$

$$h[3] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[3]; x_v = x_v[3]) = 167,535 \text{ [kJ/kg]} \quad (1.110)$$

$$s[3] = \text{Entropy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[3]; x_v = x_v[3]) = 0,572 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (1.111)$$

$$\dot{m}[3] = M - \alpha \cdot M = 2,282 \text{ [kg/s]} \quad (1.112)$$

Uzel 4 - výstup pracovní látky z kondenzátního čerpadla a vstup do rekuperátoru:

Výpočet entalpie na výstupu z KČ – izoentropický děj:

$$h_{iz}[4] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[4]; s = s[3]) = 167,521 \text{ [kJ/kg]} \quad (1.113)$$

Výpočet skutečné entalpie na výstupu z KČ:

$$h[4] = h[3] + \frac{h_{iz}[4] - h[3]}{\eta_{\check{c}}} = 167,687 \text{ [kJ/kg]} \quad (1.114)$$

Určení hodnot jednotlivých veličin:

$$p[4] = p_{NN} = 0,121 \text{ [MPa]} \quad (1.115)$$

$$x_v[4] = \text{Quality}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[4]; h = h[4]) = -0,001 \text{ [-]} \quad (1.116)$$

$$t[4] = \text{Temperature}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[4]; h = h[4]) = 40,013 \text{ [°C]} \quad (1.117)$$

$$s[4] = \text{Entropy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[4]; h = h[4]) = 0,573 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (1.118)$$

$$\dot{m}[4] = M = 2,282 \text{ [kg/s]} \quad (1.119)$$

Uzel 5 - výstup pracovní látky z rekuperátoru a vstup do napájecí nádrže:

Určení teploty pracovní látky za rekuperátorem (zvoleno):

$$t[5] = t_{NN} - 5 = 100 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (1.120)$$

Určení hodnot jednotlivých veličin:

$$p[5] = p_{NN} = 0,121 \text{ [MPa]} \quad (1.121)$$

$$x_v[5] = \text{Quality}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[5]; t = t[5]) = -0,001 \text{ [-]} \quad (1.122)$$

$$h[5] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[5]; x_v = x_v[5]) = 419,182 \text{ [kJ/kg]} \quad (1.123)$$

$$s[5] = \text{Entropy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[5]; x_v = x_v[5]) = 1,307 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (1.124)$$

$$\dot{m}[5] = M - \alpha \cdot M = 2,282 \text{ [kg/s]} \quad (1.125)$$

Uzel 6 – odběr části průtoku pracovní látky z turbíny a vstup do napájecí nádrže:

Určení teploty v odběru z turbíny:

$$t[6] = t_{NN} + t_z = 107 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (1.126)$$

Určení tlaku v odběru z turbíny:

$$p[6] = p_{sat}(\text{Steam}_{IAPWS}; t = t[6]) = 0,1295 \text{ [MPa]} \quad (1.127)$$

Výpočet entalpie na výstupu z turbíny – izoentropická expanze:

$$h_{iz}[6] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[6]; s = s[1]) = 2560,302 \text{ [kJ/kg]} \quad (1.128)$$

Výpočet reálné entalpie na výstupu z turbíny:

$$h[6] = h[1] - (h[1] - h_{iz}[6]) \cdot \eta_{td} = 2582,621 \text{ [kJ/kg]} \quad (1.129)$$

Součinitel poměrného odběru:

$$\alpha = \frac{h[7] - h[5]}{h[6] - h[5]} = 0,00975 \text{ [-]} \quad (1.130)$$

Součinitel nevyužitého spádu:

$$\mu = \frac{h[6]-h[2]}{h[1]-h[2]} = 0,699 [-] \quad (1.131)$$

Určení hodnot zbylých veličin:

$$s[6] = Entropy(Steam_{IAPWS}; p = p[6]; h = h[6]) = 6,999 [kJ/kg \cdot K] \quad (1.132)$$

$$x_v[6] = Quality(Steam_{IAPWS}; p = p[6]; h = h[6]) = 0,954 [-] \quad (1.133)$$

$$\dot{m}[6] = \alpha \cdot M = 0,022 [kg/s] \quad (1.134)$$

Uzel 7 - výstup pracovní látky z napájecí nádrže a vstup do napájecího čerpadla:

Určení hodnot jednotlivých veličin:

$$p[7] = p_{NN} = 0,121 [MPa] \quad (1.135)$$

$$x_v[7] = 0 [-] \quad (1.136)$$

$$t[7] = t_{NN} = 105 [^{\circ}C] \quad (1.137)$$

$$h[7] = Enthalpy(Steam_{IAPWS}; p = p[7]; x_v = x_v[7]) = 440,276 [kJ/kg] \quad (1.138)$$

$$s[7] = Entropy(Steam_{IAPWS}; p = p[7]; x_v = x_v[7]) = 1,363 [kJ/kg \cdot K] \quad (1.139)$$

$$\dot{m}[7] = M = 2,304 [kg/s] \quad (1.140)$$

Uzel 8 - výstup pracovní látky z napájecího čerpadla a vstup do výparníku:

Výpočet entalpie na výstupu z NČ – izoentropický děj:

$$h_{iz}[8] = Enthalpy(Steam_{IAPWS}; p = p[8]; s = s[7]) = 440,516 [kJ/kg] \quad (1.141)$$

Výpočet skutečné entalpie na výstupu z NČ:

$$h[8] = h[7] + \frac{h_{iz}[8] - h[7]}{\eta_{\zeta}} = 440,596 [kJ/kg] \quad (1.142)$$

Určení hodnot jednotlivých veličin:

$$p[8] = p_a = 0,350 \text{ [MPa]} \quad (1.143)$$

$$x_v[8] = \text{Quality}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[8]; h = h[8]) = -0,001 \text{ [-]} \quad (1.144)$$

$$t[8] = \text{Temperature}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[8]; h = h[8]) = 105,036 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (1.145)$$

$$s[8] = \text{Entropy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[8]; h = h[8]) = 1,364 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (1.146)$$

$$\dot{m}[8] = M = 2,304 \text{ [kg/s]} \quad (1.147)$$

Výpočet hmotnostního průtoku parovodní směsi:

Pro zjištění hmotnostního průtoku v parovodním okruhu bylo použito stejného postupu jako v kapitole 1.1, při určování průtoku základního proudu $\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$. Za tímto účelem byl vytvořen bilanční výpočet výparníku. Opět byly použity hodnoty veličin vody/páry na vstupu a výstupu z výparníku, tedy v uzlech 1 a 8. Známé jsou také parametry geotermální vody na vstupu do výparníku. Pro výparník byla zvolena hodnota minimálního teplotního rozdílu $PP_E = 5 \text{ [}^\circ\text{C]}$. Celý proces vypařování byl opět rozdělen do několika segmentů, kdy je v níže uvedených rovnicích uvažován pouze segment „x“, ve kterém je dosažena hodnota zvoleného minimálního teplotního rozdílu. Na obr. 40 je znázorněn Q-T diagram výparníku.

Určení entalpie geotermální vody na vstupu do výparníku:

$$h_{in,gw} = \text{enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_{gw}; t = t_{in,gw}) = 852,454 \text{ [kJ/kg]} \quad (1.148)$$

$$\text{Zvolený počet segmentů: } n_E = 130 \text{ [-]} \quad (1.149)$$

$$\text{Diferenční změna entalpie: } dh_E = \frac{h[1] - h[8]}{n_E} = 17,626 \text{ [kJ/kg]} \quad (1.150)$$

Určení entalpie parovodní směsi v segmentu „x“:

$$h[x] = h[x - 1] + dh_E = 599,231 \text{ [kJ/kg]} \quad (1.151)$$

Určení teploty parovodní směsi v segmentu „x“:

$$t[x] = \text{Temperature}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_a; h = h[x]) = 138,858 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (1.152)$$

Určení entalpie geotermální vody v segmentu „x“:

$$t_{gw}[x] = t[x] + PP_E = 143,858 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (1.153)$$

$$h_{gw}[x] = \text{enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_{gw}; t = t_{gw}[x]) = 606,746 \text{ [kJ/kg]} \quad (1.154)$$

Určení hmotnostního průtoku parovodní směsi v segmentu „x“:

$$h_{gw}[x] = h_{gw}[x + 1] - \left(\frac{dh_E \cdot M}{M_{gw}} \right) \quad (1.155)$$

$$M = \frac{h_{gw}[x + 1] - h_{gw}[x] \cdot M_{gw}}{dh_E} = 2,304 \text{ [kg/s]} \quad (1.156)$$

Výpočet hmotnostního průtoku chladící vody:

Pro zjištění hmotnostního průtoku chladící vody bylo použito stejného postupu jako v kapitole 1.1, při určování průtoku chladící vody. Za tímto účelem byl vytvořen bilanční výpočet kondenzátoru. Opět byly použity hodnoty veličin toluenu na vstupu a výstupu z kondenzátoru, tedy v uzlech 2 a 3. Známé jsou také parametry geotermální vody na vstupu do kondenzátoru. Pro kondenzátor byla zvolena hodnota minimálního teplotního rozdílu $PP_K = 5 \text{ [}^\circ\text{C]}$. Celý proces kondenzace byl opět rozdělen do několika segmentů, kdy je v níže uvedených rovnicích uvažován pouze segment „x“, ve kterém je dosažena hodnota zvoleného minimálního teplotního rozdílu. Na obr. 38 je znázorněn Q-T diagram kondenzátoru.

Určení entalpie chladící vody na vstupu do kondenzátoru:

$$h_{in,cw} = \text{enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_{cw}; t = t_{in,cw}) = 84,006 \text{ [kJ/kg]} \quad (1.157)$$

$$\text{Zvolený počet segmentů: } n_K = 130 \text{ [-]} \quad (1.158)$$

$$\text{Diferenční změna entalpie: } dh_K = \frac{h[2] - h[3]}{n_K} = 3,378 \text{ [kJ/kg]} \quad (1.159)$$

Určení entalpie parovodní směsi v segmentu „x“:

$$h[x] = h[2] = 2235,762 \text{ [kJ/kg]} \quad (1.160)$$

Určení teploty parovodní směsi v segmentu „x“:

$$t[x] = t_k = 40 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (1.161)$$

Určení entalpie chladicí vody v segmentu „x“:

$$t_{cw}[x] = t[x] - PP_K = 35 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (1.162)$$

$$h_{cw}[x] = \text{enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_{cw}; t = t_{cw}[x]) = 146,719 \text{ [kJ/kg]} \quad (1.163)$$

Určení hmotnostního průtoku chladicí vody v segmentu „x“:

$$h_{cw}[x] = h_{cw}[x + 1] + \left(\frac{dh_K \cdot M}{M_{cw}} \right) \quad (1.164)$$

$$M_{cw} = \frac{dh_K \cdot M}{h_{cw}[x] - h_{cw}[x + 1]} = 75,248 \text{ [kg/s]} \quad (1.165)$$

2. Modelové výpočty pro vysokoteplotní aplikace:

Pro stanovení potřebných entalpií a entropií v následujících modelových výpočtech bylo nutné stanovit střední hodnoty měrných tepelných kapacit směsi solí. Pro účely stanovení měrných tepelných kapacit bylo použito empirického vztahu (2.5) [24]. Do vztahů pro výpočet měrné tepelné kapacity je nutno dosazovat termodynamickou teplotu ve stupních Kelvina, stejně tak i v případě výpočtů entalpií a entropií. Pro zjednodušení následujících modelových výpočtů byla spočtená také střední měrná tepelná kapacita roztavené soli (2.8). Následující modelové výpočty tedy uvažují pro veškeré výpočty právě tuto střední hodnotu měrné tepelné kapacity roztavené soli. Pro výpočet entalpií bylo využito vztahu (2.9), v kterém je zakomponována referenční teplota (2.2). Tato referenční teplota byla zvolena na 200 °C. Referenční teplota byla využita také pro výpočet entropií dle vztahu (2.12). Hmotnostní průtok roztavené soli M_{ms} byl získán v následujících modelových výpočtech. Níže jsou uvedeny vztahy pro stanovení potřebných veličin směsi roztavených solí, tedy vztahy s indexem „ms“.

Výpočet parametrů roztavené soli:

$$\Delta t_{ms} = 200 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.1)$$

$$t_{ref} = 200 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.2)$$

$$t_{in,ms} = 500 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.3)$$

$$t_{out,ms} = t_{in,ms} - \Delta t_{ms} = 300 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.4)$$

$$c_{P,ms}[i] = 1,723 \cdot 10^{-4} \cdot T_{ms}[i] + 1,443 \quad (2.5)$$

$$c_{P,in,ms} = 1,723 \cdot 10^{-4} \cdot T_{in,ms} + 1,443 = 1,576 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (2.6)$$

$$c_{P,out,ms} = 1,723 \cdot 10^{-4} \cdot T_{out,ms} + 1,443 = 1,542 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (2.7)$$

$$c_{P,střední,ms} = \frac{c_{P,in,ms} - c_{P,out,ms}}{2} = 1,559 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (2.8)$$

$$h_{ms}[i] = c_{P,střední,ms} \cdot (T[i] - T_{ref}) \quad (2.9)$$

$$h_{in,ms} = c_{P,střední,ms} \cdot (T_{in,ms} - T_{ref}) = 467,695 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.10)$$

$$h_{out,ms} = c_{P,střední,ms} \cdot (T_{out,ms} - T_{ref}) = 155,898 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.11)$$

$$s_{ms}[i] = M_{ms} \cdot c_{P,střední,ms} \cdot \frac{(T_{ms}[i] - T_{ref})}{T_{ms}[i]} \quad (2.12)$$

$$s_{in,ms} = M_{ms} \cdot c_{P,střední,ms} \cdot \frac{(T_{in,ms} - T_{ref})}{T_{in,ms}} = 3,493 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (2.13)$$

$$s_{out,ms} = M_{ms} \cdot c_{P,střední,ms} \cdot \frac{(T_{out,ms} - T_{ref})}{T_{out,ms}} = 1,571 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (2.14)$$

2.1. Vysokoteplotní aplikace Kalinova cyklu:

Vstupní veličiny výpočtového modelu:

$p_{high} = 31,5 [MPa]$... hodnota tlaku ve vysokotlaké části cyklu

$p_{medium} = 1,2 [MPa]$... hodnota tlaku ve středotlaké části cyklu

$p_{low} = 1 [MPa]$... hodnota tlaku v nízkotlaké části cyklu

$M = 1 [kg/s]$... hmotnostní průtok NH_3H_2O v základním stavu

$x_z = 0,789 [-]$... hmotnostní koncentrace NH_3 v základním stavu

$Z = 0,4 [-]$... rozdělovací koeficient

$\eta_{td} = 0,87 [-]$... termodynamická účinnost turbosoustrojí

$\eta_m = 0,99 [-]$... mechanická účinnost turbosoustrojí

$\eta_g = 0,98 [-]$... účinnost generátoru

$\eta_{\check{c}} = 0,75 [-]$... účinnost čerpadel

$PP_E = 5 [^{\circ}C]$... minimální teplotní rozdíl výparníku

$PP_{K1} = 5 [^{\circ}C]$... minimální teplotní rozdíl nízkotlakého kondenzátoru

$PP_{K2} = 5 [^{\circ}C]$... minimální teplotní rozdíl středotlakého kondenzátoru

$PP_{R1} = 20 [^{\circ}C]$... minimální teplotní rozdíl prvního rekuperačního výměníku

$PP_{R2} = 5 [^{\circ}C]$... minimální teplotní rozdíl druhého rekuperačního výměníku

$PP_{R3} = 5 [^{\circ}C]$... minimální teplotní rozdíl třetího rekuperačního výměníku

$PP_{R4} = 5 [^{\circ}C]$... minimální teplotní rozdíl čtvrtého rekuperačního výměníku

Uzel 1 - výstup pracovního proudu z výparníku a vstup do turbíny:

Stanovení teploty: $t_p[1] = t_{in,ms} - PP_E = 495 \text{ [}^\circ\text{C]}$ (2.15)

Určení hodnot zbylých veličin:

$Call NH3H2O = (123; t_p[1]; p_{high}; x[17]; t[1], p[1], x[1], h[1], s[1], u_e[1], v[1], Qu[1])$ (2.16)

Výpočet hmotnostního průtoku: $\dot{m}[1] = \dot{m}[17]$ (2.17)

Uzel 2 - výstup pracovního proudu z turbíny a vstup do prvního rekuperátoru:

Určení hodnot veličin při izoentropické expanzi v turbíně:

$Call NH3H2O =$
 $= (235; p_{low}; x[17]; s[1]; t_{iz}[2], p_{iz}[2], x_{iz}[2], h_{iz}[2], s_{iz}[2], u_{iz,e}[2], v_{iz}[2], Qu_{iz}[2])$ (2.18)

Výpočet reálné entalpie za turbínou: $h_{re}[2] = h[1] - (h[1] - h_{iz}[2]) \cdot \eta_{td}$ (2.19)

Určení hodnot veličin při použití reálné entalpie za turbínou:

$Call NH3H2 = (234; p_{low}; x[17]; h_{re}[2]; t[2], p[2], x[2], h[2], s[2], u_e[2], v[2], Qu[2])$ (2.20)

Výpočet hmotnostního průtoku: $\dot{m}[2] = \dot{m}[17]$ (2.21)

Uzel 3 - výstup pracovního proudu z prvního rekuperátoru a vstup do druhého rekuperátoru:

Stanovení teploty za rekuperátorem: $t_p[3] = t[20] + PP_{R1} = 114,498 \text{ [}^\circ\text{C]}$ (2.22)

Určení hodnot zbylých veličin:

$Call NH3H2O = (123; t_p[3]; p_{low}; x[17]; t[3], p[3], x[3], h[3], s[3], u_e[3], v[3], Qu[3])$ (2.23)

Výpočet hmotnostního průtoku: $\dot{m}[3] = \dot{m}[17]$ (2.24)

Uzel 4- výstup pracovního proudu z druhého rekuperátoru a vstup do prvního směšovače:

Stanovení teploty za rekuperátorem: $t_p[4] = t[10] + PP_{R2} = 44,508 \text{ [}^\circ\text{C]}$ (2.25)

Určení hodnot zbylých veličin:

$Call \text{ NH}_3\text{H}_2\text{O} = (123; t_p[4]; p_{low}; x[17]: t[4], p[4], x[4], h[4], s[4], u_e[4], v[4], Qu[4])$ (2.26)

Výpočet hmotnostního průtoku: $\dot{m}[4] = \dot{m}[17]$ (2.27)

Uzel 5 - výstup pracovního proudu z prvního směšovače a vstup do nízkotlakého kondenzátoru:

Stanovení entalpie za směšovačem:

$$h_p[5] = \frac{h[16] \cdot m[16] - h[4] \cdot m[4]}{m[5]} = 715,642 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.28)$$

Určení hodnot zbylých veličin:

$Call \text{ NH}_3\text{H}_2\text{O} = (234; p_{low}; x_z; h_p[5]: t[5], p[5], x[5], h[5], s[5], u_e[5], v[5], Qu[5])$ (2.29)

Výpočet hmotnostního průtoku: $\dot{m}[5] = M$ (2.30)

Uzel 6 – výstup základního proudu z nízkotlakého kondenzátoru a vstup do prvního kondenzátčního čerpadla:

Určení hodnot jednotlivých veličin:

$Call \text{ NH}_3\text{H}_2\text{O} = (238; p_{low}; x_z; 0: t[6], p[6], x[6], h[6], s[6], u_e[6], v[6], Qu[6])$ (2.31)

Výpočet hmotnostního průtoku: $\dot{m}[6] = M$ (2.32)

Uzel 7 - výstup základního proudu z prvního kondenzátčního čerpadla a vstup do rozdělovače:

Určení hodnot veličin při izentropickém ději v kondenzátčním čerpadle:

$$\begin{aligned} \text{Call NH3H2O} &= \\ &= (235; p_{\text{medium}}; x_z; s[6]: t_{iz}[7], p_{iz}[7], x_{iz}[7], h_{iz}[7], s_{iz}[7], u_{iz,e}[7], v_{iz}[7], Qu_{iz}[7]) \end{aligned} \quad (2.33)$$

$$\text{Výpočet reálné entalpie za čerpadlem:} \quad h_{re}[6] = h[6] - (h_{iz}[7] - h[6])/\eta_{\xi} \quad (2.34)$$

Určení hodnot veličin při použití reálné entalpie za čerpadlem:

$$\text{Call NH3H2O} = (234; p_{\text{medium}}; x_z; h_{re}[7]: t[7], p[7], x[7], h[7], s[7], u_e[7], v[7], Qu[7]) \quad (2.35)$$

$$\text{Výpočet hmotnostního průtoku:} \quad \dot{m}[7] = M \quad (2.36)$$

Uzel 8 – výstup minoritní části základního proudu z rozdělovače a vstup do druhého směšovače:

Hodnoty jednotlivých veličin jsou shodné s hodnotami v uzlu 7. Tento uzel se liší pouze hmotnostním průtokem za rozdělovačem.

$$\text{Výpočet hmotnostního průtoku:} \quad \dot{m}[8] = Z \cdot M \quad (2.37)$$

Uzel 9 – výstup majoritní části základního proudu z rozdělovače a vstup do čtvrtého rekuperátoru:

Hodnoty jednotlivých veličin jsou shodné s hodnotami v uzlu 7. Tento uzel se liší pouze hmotnostním průtokem za rozdělovačem.

$$\text{Výpočet hmotnostního průtoku:} \quad \dot{m}[9] = M - Z \cdot M \quad (2.38)$$

Uzel 10 - výstup majoritní části základního proudu z čtvrtého rekuperátoru a vstup do druhého rekuperátoru:

Stanovení entalpie za rekuperátorem:

$$h_p[10] = \frac{h[9] \cdot m[9] + h[14] \cdot m[14] - h[15] \cdot m[15]}{m[10]} = 77,158 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.39)$$

Určení hodnot zbylých veličin:

$$\begin{aligned} & \text{Call NH3H2O} \\ & = (234; p_{\text{medium}}; x_z; h_p[10]; t[10], p[10], x[10], h[10], s[10], u_e[10], v[10], Qu[10]) \end{aligned} \quad (2.40)$$

$$\text{Výpočet hmotnostního průtoku:} \quad \dot{m}[10] = M - Z \cdot M \quad (2.41)$$

Uzel 11 - výstup majoritní části základního proudu z druhého rekuperátoru a vstup do separátoru:

Stanovení entalpie za rekuperátorem:

$$h_p[11] = \frac{h[10] \cdot m[10] + h[3] \cdot m[3] - h[4] \cdot m[4]}{m[11]} = 77,158 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.42)$$

Určení hodnot zbylých veličin:

$$\begin{aligned} & \text{Call NH3H2O} \\ & = (234; p_{\text{medium}}; x_z; h_p[11]; t[11], p[11], x[11], h[11], s[11], u_e[11], v[11], Qu[11]) \end{aligned} \quad (2.43)$$

$$\text{Výpočet hmotnostního průtoku:} \quad \dot{m}[11] = M - Z \cdot M \quad (2.44)$$

Uzel 12 - výstup bohatého proudu ze separátoru a vstup do třetího rekuperátoru:

Určení hodnot jednotlivých veličin:

$$\begin{aligned} & \text{Call NH3H2O} \\ & = (128; t[11]; p_{\text{medium}}; 1; t[12], p[12], x[12], h[12], s[12], u_e[12], v[12], Qu[12]) \end{aligned} \quad (2.45)$$

$$\text{Výpočet hmotnostního průtoku:} \quad \dot{m}[12] = \dot{m}[11] + \frac{x[11] - x[14]}{x[12] - x[14]} \quad (2.46)$$

Uzel 13 - výstup bohatého proudu z třetího rekuperátoru a vstup do druhého směšovače:

Stanovení teploty za rekuperátorem: $t_p[13] = t[19] + PP_{R3} = 51,186 \text{ [}^\circ\text{C]}$ (2.47)

Určení hodnot zbylých veličin:

Call NH3H2O
 $= (123; t_p[13]; p_{medium}; x[12]: t[13], p[13], x[13], h[13], s[13], u_e[13], v[13], Qu[13])$ (2.48)

Výpočet hmotnostního průtoku: $\dot{m}[13] = \dot{m}[12]$ (2.49)

Uzel 14 - výstup chudého proudu ze separátoru a vstup do čtvrtého rekuperátoru:

Určení hodnot jednotlivých veličin:

Call NH3H2O
 $= (128; t[11]; p_{medium}; 0: t[14], p[14], x[14], h[14], s[14], u_e[14], v[14], Qu[14])$ (2.50)

Výpočet hmotnostního průtoku: $\dot{m}[14] = \dot{m}[11] + \frac{x[11] - x[12]}{x[14] - x[12]}$ (2.51)

Uzel 15 - výstup chudého proudu ze čtvrtého rekuperátoru a vstup do škrťacího ventilu:

Stanovení teploty za rekuperátorem: $t_p[15] = t[9] + PP_{R4} = 37,742 \text{ [}^\circ\text{C]}$ (2.52)

Určení hodnot zbylých veličin:

Call NH3H2O
 $= (123; t_p[15]; p_{medium}; x[14]: t[15], p[15], x[15], h[15], s[15], u_e[15], v[15], Qu[15])$ (2.53)

Výpočet hmotnostního průtoku: $\dot{m}[15] = \dot{m}[14]$ (2.54)

Uzel 16 - výstup chudého proudu z škrťícího ventilu a vstup do druhého směšovače:

Škrčení je zde uvažováno jako izoentalpický děj:

$$h_p[16] = h[15] = -40,333 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.55)$$

Určení hodnot zbylých veličin:

$$\begin{aligned} & \text{Call NH3H2O} \\ & = (234; p_{low}; x[14]; h_p[16]; t[16], p[16], x[16], h[16], s[16], u_e[16], v[16], Qu[16]) \end{aligned} \quad (2.56)$$

$$\text{Výpočet hmotnostního průtoku:} \quad \dot{m}[16] = \dot{m}[14] \quad (2.57)$$

Uzel 17 – výstup pracovního proudu z druhého směšovače a vstup do středotlakého kondenzátoru:

Určení entalpie za druhým směšovačem:

$$h_p[17] = \frac{h[13] \cdot m[13] + h[8] \cdot m[8]}{m[17]} = 597,456 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.58)$$

Určení hmotnostní koncentrace NH3 za druhým směšovačem:

$$x_p[17] = \frac{x[13] \cdot m[13] + x[8] \cdot m[8]}{m[17]} = 0,867 \text{ [-]} \quad (2.59)$$

Určení hodnot zbylých veličin:

$$\begin{aligned} & \text{Call NH3H2O} \\ & = (234; p_{medium}; x_p[17]); h_p[17]; t[17], p[17], x[17], h[17], s[17], u_e[17], v[17], Qu[17]) \end{aligned} \quad (2.60)$$

$$\text{Výpočet hmotnostního průtoku:} \quad \dot{m}[17] = \dot{m}[13] + \dot{m}[8] \quad (2.61)$$

Uzel 18 – výstup pracovního proudu ze středotlakého kondenzátoru a vstup do druhého kondenzátního čerpadla:

Určení hodnot jednotlivých veličin:

$$\begin{aligned} & \text{Call NH3H2O} \\ & = (238; p_{medium}; x[17]; 0; t[18], p[18], x[18], h[18], s[18], u_e[18], v[18], Qu[18]) \end{aligned} \quad (2.62)$$

$$\text{Výpočet hmotnostního průtoku:} \quad \dot{m}[18] = \dot{m}[17] \quad (2.63)$$

Uzel 19 - výstup pracovního proudu ze druhého kondenzátního čerpadla a vstup do třetího rekuperátoru:

Určení hodnot veličin při izoentropickém ději v kondenzátním čerpadle:

$$\begin{aligned} \text{Call NH3H2O} = (235; p_{high}; x[17]; s[18]: t_{iz}[19], p_{iz}[19], x_{iz}[19], \\ , h_{iz}[19], s_{iz}[19], u_{iz}[19], v_{iz}[19], Qu_{iz}[19]) \end{aligned} \quad (2.64)$$

$$\text{Výpočet reálné entalpie za čerpadlem:} \quad h_{re}[119] = h[18] - (h_{iz}[19] - h[18])/\eta_c \quad (2.65)$$

Určení hodnot veličin při použití reálné entalpie za čerpadlem:

$$\begin{aligned} & \text{Call NH3H2O} \\ & = (234; p_{high}; [17]; h_{re}[19]: t[19], p[19], x[19], h[19], s[19], u_e[19], v[19], Qu[19]) \end{aligned} \quad (2.66)$$

$$\text{Výpočet hmotnostního průtoku:} \quad \dot{m}[19] = \dot{m}[19] \quad (2.67)$$

Uzel 20 - výstup pracovního proudu z třetího rekuperátoru a vstup do prvního rekuperátoru:

Stanovení entalpie za rekuperátorem:

$$h_p[20] = \frac{h[12] \cdot m[12] + h[19] \cdot m[19] - h[13] \cdot m[13]}{m[20]} = 77,158 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.68)$$

Určení hodnot zbylých veličin:

$$\begin{aligned} & \text{Call NH3H2O} \\ & = (234; p_{high}; x[17]; h_p[20]: t[20], p[20], x[20], h[20], s[20], u_e[20], v[20], Qu[20]) \end{aligned} \quad (2.69)$$

$$\text{Výpočet hmotnostního průtoku:} \quad \dot{m}[20] = \dot{m}[17] \quad (2.70)$$

Uzel 21 - výstup pracovního proudu z třetího rekuperátoru a vstup do prvního rekuperátoru:

Stanovení entalpie za rekuperátorem:

$$h_p[21] = \frac{h[2] \cdot m[2] + h[20] \cdot m[20] - h[3] \cdot m[3]}{m[21]} = 483,533 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.71)$$

Určení hodnot zbylých veličin:

Call NH3H2O

$$= (234; p_{high}; x[17]; h_p[21]; t[21], p[21], x[21], h[21], s[21], u_e[21], v[21], Qu[21]) \quad (2.72)$$

Výpočet hmotnostního průtoku: $\dot{m}[21] = \dot{m}[17]$ (2.73)

Výpočet hmotnostního průtoku roztavené soli:

Pro zjištění hmotnostního průtoku roztavené soli bylo použito stejného postupu jako v kapitole 1.1. Nízkoteplotní aplikace Kalinova cyklu, při určování průtoku základního proudu $\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$. Za tímto účelem byl vytvořen bilanční výpočet výparníku. Opět byly použity hodnoty veličin směsi $\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$ na vstupu a výstupu z výparníku, tedy v uzlech 1 a 21. Známé jsou také parametry roztavené soli na vstupu a výstupu z výparníku. Pro výparník byla zvolena hodnota minimálního teplotního rozdílu $PP_E = 5 \text{ [}^\circ\text{C]}$. Celý proces vypařování byl opět rozdělen do několika segmentů, kdy je v níže uvedených rovnicích uvažován pouze segment „x“, ve kterém je dosažena hodnota zvoleného minimálního teplotního rozdílu. Na obr. 45 je znázorněn Q-T diagram výparníku.

Určení předaného tepla ve výparníku:

Zvolený počet segmentů: $n_E = 60 [-]$ (2.74)

Diferenční změna entalpie: $dh_E = \frac{h[1] - h[21]}{n_E} = 34,11 \text{ [kJ/kg]}$ (2.75)

Určení entalpie pracovního proudu $\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$ v segmentu „x“:

$$h_p[x] = h[x - 1] + dh_E = 2530,341 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.76)$$

Určení zbylých veličin základního proudu NH₃H₂O v segmentu „x“:

$$\begin{aligned} & \text{Call NH3H2O} \\ & = (234; p_{high}; x[17]; h_p[x]; t[x], p[x], x[x], h[x], s[x], u_e[x], v[x], Qu[x]) \end{aligned} \quad (2.77)$$

Žádaná je především teplota základního proudu NH₃H₂O v segmentu „x“, kterou lze získat právě pomocí funkce (2.77).

$$t[x] = 495,000 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.78)$$

Určení entalpie roztavené soli v segmentu „x“:

$$t_{ms}[x] = t[x] + PP_E = 500 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.79)$$

$$h_{ms}[x] = c_{P, \text{střední}, ms} \cdot (T_{ms}[x] - T_{ref}) = 467,695 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.80)$$

Určení hmotnostního průtoku roztavené soli v segmentu „x“:

$$h_{ms}[x] = h_{ms}[x + 1] - \left(\frac{dh_E \cdot \dot{m}[21]}{M_{ms}} \right) \quad (2.81)$$

$$M_{ms} = \frac{dh_E \cdot \dot{m}[21]}{h_{ms}[x + 1] - h_{ms}[x]} = 5,775 \text{ [kg/s]} \quad (2.82)$$

Výpočet hmotnostního průtoku chladící vody nízkotlakého kondenzátoru:

Pro zjištění hmotnostního průtoku chladící vody nízkotlakého kondenzátoru bylo použito stejného postupu jako v kapitole 1.1. Nízkoteplotní aplikace Kalinova cyklu. Za tímto účelem byl vytvořen bilanční výpočet nízkotlakého kondenzátoru. Byly použity vstupní a0výstupní hodnoty veličin základního proudu NH₃H₂O, tedy uzly 5 a 6. Známé jsou také parametry chladící vody na vstupu do nízkotlakého kondenzátoru. Pro nízkotlaký kondenzátor byla zvolena hodnota minimálního teplotního rozdílu $PP_{K1} = 5 \text{ [}^\circ\text{C]}$. Celý proces kondenzace byl opět rozdělen do několika segmentů, kdy je v níže uvedených rovnicích uvažován pouze segment „x“, ve kterém je dosažena hodnota zvoleného minimálního teplotního rozdílu. Na obr. 43 je znázorněn Q-T diagram nízkotlakého kondenzátoru.

Pro určení hodnot veličin vody a vodní páry byly použity softwarové funkce v rozhraní programu EES, které využívají látkových vlastností podle IAPWS.

Určení entalpie chladicí vody na vstupu do kondenzátoru:

$$h_{in,cw1} = enthalpy(Steam_{IAPWS}; p = p_{cw}; t = t_{in,cw}) = 84,006 [kJ/kg] \quad (2.83)$$

Zvolený počet segmentů: $n_{K1} = 60 [-]$ (2.84)

Diferenční změna entalpie: $dh_{K1} = \frac{h[6] - h[5]}{n_{K1}} = 11,836 [kJ/kg]$ (2.85)

Určení entalpie základního proudu NH₃H₂O v segmentu „x“:

$$h_p[x] = h[x - 1] - dh_{K1} = 478,912 [kJ/kg] \quad (2.86)$$

Určení zbylých veličin základního proudu NH₃H₂O v segmentu „x“:

$$Call_{NH3H2O} = (234; p_{low}; x_z; h_p[x]; t[x], p[x], x[x], h[x], s[x], u_e[x], v[x], Qu[x]) \quad (2.87)$$

Žádaná je především teplota základního proudu NH₃H₂O v segmentu „x“, kterou lze získat právě pomocí funkce (2.87).

$$t[x] = 34,456 [°C] \quad (2.88)$$

Určení entalpie chladicí vody v segmentu „x“:

$$t_{cw1}[x] = t[x] - PP_{K1} = 41,741 [°C] \quad (2.89)$$

$$h_{cw1}[x] = enthalpy(Steam_{IAPWS}; p = p_{cw}; t = t_{cw1}[x]) = 153,993 [kJ/kg] \quad (2.90)$$

Určení hmotnostního průtoku chladicí vody v segmentu „x“:

$$h_{cw1}[x] = h_{cw1}[x + 1] + \left(\frac{dh_{K1} \cdot M}{M_{cw1}} \right) \quad (2.91)$$

$$M_{cw1} = \frac{dh_{K1} \cdot M}{h_{cw1}[x] - h_{cw1}[x + 1]} = 6,765 [kg/s] \quad (2.92)$$

Výpočet hmotnostního průtoku chladicí vody středotlakého kondenzátoru:

Pro zjištění hmotnostního průtoku chladicí vody nízkotlakého kondenzátoru bylo použito stejného postupu jako u nízkotlakého kondenzátoru. Za tímto účelem byl vytvořen bilanční výpočet středotlakého kondenzátoru. Byly použity vstupní a výstupní hodnoty veličin pracovního proudu $\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$, tedy uzly 17 a 18. Znamé jsou také parametry chladicí vody na vstupu do středotlakého kondenzátoru. Pro středotlaký kondenzátor byla zvolena hodnota minimálního teplotního rozdílu $PP_{K2} = 5$ [°C]. Celý proces kondenzace byl opět rozdělen do několika segmentů, kdy je v níže uvedených rovnicích uvažován pouze segment „x“, ve kterém je dosažena hodnota zvoleného minimálního teplotního rozdílu. Na obr. 44 je znázorněn Q-T diagram středotlakého kondenzátoru.

Pro určení hodnot veličin vody a vodní páry byly použity softwarové funkce v rozhraní programu EES, které využívají látkových vlastností podle IAPWS.

Určení entalpie chladicí vody na vstupu do kondenzátoru:

$$h_{in,cw2} = \text{enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_{cw}; t = t_{in,cw}) = 84,006 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.93)$$

$$\text{Zvolený počet segmentů: } n_{K2} = 60 [-] \quad (2.94)$$

$$\text{Diferenční změna entalpie: } dh_{K2} = \frac{h[17] - h[18]}{n_{K2}} = 8,785 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.95)$$

Určení entalpie základního proudu $\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$ v segmentu „x“:

$$h_p[x] = h[x - 1] - dh_{K2} = 597,456 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.96)$$

Určení zbylých veličin základního proudu $\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$ v segmentu „x“:

$$\begin{aligned} & \text{Call NH3H2O} \\ & = (234; p_{medium}; x[17]; h_p[x]; t[x], p[x], x[x], h[x], s[x], u_e[x], v[x], Qu[x]) \end{aligned} \quad (2.97)$$

Žádaná je především teplota základního proudu $\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$ v segmentu „x“, kterou lze získat právě pomocí funkce (2.97)

$$t[x] = 40,699 \text{ [°C]} \quad (2.98)$$

Určení entalpie chladicí vody v segmentu „x“:

$$t_{cw2}[x] = t[x] - PP_{K2} = 35,699 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.99)$$

$$h_{cw2}[x] = \text{enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_{cw}; t = t_{cw2}[x]) = 149,642 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.100)$$

Určení hmotnostního průtoku chladicí vody v segmentu „x“:

$$h_{cw2}[x] = h_{cw2}[x + 1] + \left(\frac{dh_{K2} \cdot M}{M_{cw2}} \right) \quad (2.101)$$

$$M_{cw2} = \frac{dh_{K2} \cdot M}{h_{cw2}[x] - h_{cw2}[x + 1]} = 6,857 \text{ [kg/s]} \quad (2.102)$$

2.2. Vysokoteplotní aplikace Rankinova cyklu:

Vstupní veličiny výpočtového modelu:

$$p_a = 13 \text{ [MPa]} \quad \dots \text{ admisní tlak}$$

$$p_k = 0,005 \text{ [MPa]} \quad \dots \text{ tlak za kondenzátorem}$$

$$M = 1 \text{ [kg/s]} \quad \dots \text{ hmotnostní průtok v parovodním okruhu}$$

$$\eta_{td} = 0,87 \text{ [-]} \quad \dots \text{ termodynamická účinnost turbosoustrojí}$$

$$\eta_m = 0,99 \text{ [-]} \quad \dots \text{ mechanická účinnost turbosoustrojí}$$

$$\eta_g = 0,98 \text{ [-]} \quad \dots \text{ účinnost generátoru}$$

$$\eta_{\check{c}} = 0,75 \text{ [-]} \quad \dots \text{ účinnost čerpadel}$$

$$PP_E = 5 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \dots \text{ minimální teplotní rozdíl výparníku}$$

$$PP_K = 5 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \dots \text{ minimální teplotní rozdíl kondenzátoru}$$

$$PP_{NTO} = 3 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \dots \text{ minimální teplotní rozdíl nízkotlakého ohříváku}$$

$$PP_{VTO} = 5 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \dots \text{ minimální teplotní rozdíl vysokotlakého ohříváku}$$

$$\Delta t_{NTO} = 25 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \dots \text{ ohřátí v NTO}$$

$$\Delta t_{VTO} = 26 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \dots \text{ ohřátí ve VTO}$$

$$t_z = 2 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \dots \text{ ztráta mezi odběrem z turbíny a příslušným ohřívákem}$$

Uzel 1 - výstup pracovní látky z výparníku a vstup do turbíny:

Určení hodnot jednotlivých veličin:

$$p[1] = p_a = 13,000 \text{ [MPa]} \quad (2.103)$$

$$t[1] = t_{in,ms} - PP_E = 495,000 \text{ [°C]} \quad (2.104)$$

$$h[1] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[1]; t = t[1]) = 3323,282 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.105)$$

$$x_v[1] = \text{Quality}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[1]; h = h[1]) = 1,001 \text{ [-]} \quad (2.106)$$

$$s[1] = \text{Entropy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[1]; h = h[1]) = 6,423 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (2.107)$$

$$\dot{m}[1] = M = 1 \text{ [kg/s]} \quad (2.108)$$

Uzel 2 - výstup pracovní látky z turbíny a vstup do kondenzátoru:

Výpočet entalpie na výstupu z turbíny – izoentropická expanze:

$$h_{iz}[2] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[2]; s = s[1]) = 1957,617 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.109)$$

Výpočet skutečné entalpie na výstupu z turbíny:

$$h[2] = h[1] - (h[1] - h_{iz}[2]) \cdot \eta_{td} = 2135,024 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.110)$$

Určení hodnot jednotlivých veličin:

$$p[2] = p_k = 0,005 \text{ [MPa]} \quad (2.111)$$

$$t[2] = t_{sat}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[2]) = 32,874 \text{ [°C]} \quad (2.112)$$

$$x_v[2] = \text{Quality}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[2]; h = h[2]) = 0,824 \text{ [-]} \quad (2.113)$$

$$s[2] = \text{Entropy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[2]; h = h[2]) = 7,003 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (2.114)$$

$$\dot{m}[2] = M - \left(M \cdot \sum_{i=5}^{14} \alpha_i \right) = 0,6084 \text{ [kg/s]} \quad (2.115)$$

Uzel 3 - výstup pracovní látky z kondenzátoru a vstup do kondenzátního čerpadla:

Určení hodnot jednotlivých veličin:

$$p[3] = p_k = 0,005 \text{ [MPa]} \quad (2.116)$$

$$x_v[3] = 0 \text{ [-]} \quad (2.117)$$

$$t[3] = t[1] = 32,874 \text{ [°C]} \quad (2.118)$$

$$h[3] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[3]; x_v = x_v[3]) = 137,750 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.119)$$

$$s[3] = \text{Entropy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[3]; x_v = x_v[3]) = 0,476 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (2.120)$$

$$\dot{m}[3] = M - \left(M \cdot \sum_{i=9}^{14} \alpha_i \right) = 0,7590 \text{ [kg/s]} \quad (2.121)$$

Uzel 4 - výstup pracovní látky z kondenzátního čerpadla a vstup do NTO1:

Výpočet entalpie na výstupu z KČ – izoentropický děj:

$$h_{iz}[4] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[4]; s = s[3]) = 138,271 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.122)$$

Výpočet skutečné entalpie na výstupu z KČ:

$$h[4] = h[3] + \frac{h_{iz}[4] - h[3]}{\eta_{\check{c}}} = 138,528 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.123)$$

Určení hodnot jednotlivých veličin:

$$p[4] = p[9] = 0,5855 \text{ [MPa]} \quad (2.124)$$

$$x_v[4] = \text{Quality}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[4]; h = h[4]) = -0,001 \text{ [-]} \quad (2.125)$$

$$t[4] = \text{Temperature}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[4]; h = h[4]) = 32,935 \text{ [°C]} \quad (2.126)$$

$$s[4] = \text{Entropy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[4]; h = h[4]) = 0,477 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (2.127)$$

$$\dot{m}[4] = \dot{m}[3] = 0,7590 \text{ [kg/s]} \quad (2.128)$$

Uzel 5 - výstup pracovní látky z NTO9 a vstup do NTO8:

Určení hodnot jednotlivých veličin hlavního proudu:

$$p[5] = p[9] = 0,5855 \text{ [MPa]} \quad (2.129)$$

$$t[5] = t[4] + \Delta t_{NTO} = 57,935 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.130)$$

$$h[5] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[5]; t = t[5]) = 243,018 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.131)$$

$$x_v[5] = \text{Quality}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[5]; h = h[5]) = -0,001 \text{ [-]} \quad (2.132)$$

$$s[5] = \text{Entropy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[5]; h = h[5]) = 0,805 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (2.133)$$

$$\dot{m}[5] = \dot{m}[3] = 0,7590 \text{ [kg/s]} \quad (2.134)$$

Určení hodnot veličin příslušného odběru z turbíny:

Hodnoty veličin kondenzátu za NTO:

$$t_{kon}[5] = t[5] + PP_{NTO} = 60,935 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.135)$$

$$p_{kon}[5] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; t = t_{kon}[5]; x_v = 0) = 0,021 \text{ [MPa]} \quad (2.136)$$

$$h_{kon}[5] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_{kon}[5]; x_v = 0) = 255,098 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.137)$$

Hodnoty veličin odběrové páry před NTO:

$$t_{od}[5] = t_{kon}[5] + t_Z = 62,935 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.138)$$

$$p_{od}[5] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; t = t_{od}[5]; x_v = 1) = 0,023 \text{ [MPa]} \quad (2.139)$$

$$h_{iz,od}[5] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_{od}[5]; s = s[1]) = 2130,264 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.140)$$

$$h_{r,od}[5] = h[1] - (h[1] - h_{iz,od}[5]) \cdot \eta_{td} = 2285,356 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.141)$$

Součinitel poměrného odběru:

$$\alpha[5] = \frac{(h[5] - h[4]) \cdot (1 - \sum_{i=9}^{14} \alpha[i]) - (\sum_{i=6}^8 \alpha[i]) \cdot (h_k[5] - h_k[6])}{h_{r,od}[5] - h_k[5]} = 0,0333 \text{ [-]} \quad (2.142)$$

Součinitel nevyužitého entalpického spádu:

$$\mu[5] = \frac{h_{r,od}[5] - h[2]}{h[1] - h[2]} = 0,1265 \text{ [-]} \quad (2.143)$$

Uzel 6 - výstup pracovní látky z NTO8 a vstup do NTO7:

Určení hodnot jednotlivých veličin hlavního proudu:

$$p[6] = p[9] = 0,5855 \text{ [MPa]} \quad (2.144)$$

$$t[6] = t[5] + \Delta t_{NTO} = 82,935 \text{ [°C]} \quad (2.145)$$

$$h[6] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[6]; t = t[6]) = 347,760 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.146)$$

$$x_v[6] = \text{Quality}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[6]; h = h[6]) = -0,001 \text{ [-]} \quad (2.147)$$

$$s[6] = \text{Entropy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[6]; h = h[6]) = 1,110 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (2.148)$$

$$\dot{m}[6] = \dot{m}[3] = 0,7590 \text{ [kg/s]} \quad (2.149)$$

Určení hodnot veličin příslušného odběru z turbíny:

Hodnoty veličin kondenzátu za NTO:

(2.150)

$$t_{kon}[6] = t[6] + PP_{NTO} = 85,935 \text{ [°C]}$$

$$p_{kon}[6] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; t = t_{kon}[6]; x_v = 0) = 0,060 \text{ [MPa]} \quad (2.151)$$

$$h_{kon}[6] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_{kon}[6]; x_v = 0) = 359,949 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.152)$$

Hodnoty veličin odběrové páry před NTO:

(2.153)

$$t_{od}[6] = t_{kon}[5] + t_Z = 87,935 \text{ [°C]}$$

$$p_{od}[6] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; t = t_{od}[6]; x_v = 1) = 0,065 \text{ [MPa]} \quad (2.154)$$

$$h_{iz,od}[6] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_{od}[6]; s = s[1]) = 2265,363 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.155)$$

$$h_{r,od}[6] = h[1] - (h[1] - h_{iz,od}[6]) \cdot \eta_{td} = 2402,892 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.156)$$

Součinitel poměrného odběru:

(2.157)

$$\alpha[5] = \frac{(h[6] - h[5]) \cdot (1 - \sum_{i=9}^{14} \alpha[i]) - (\sum_{i=7}^8 \alpha[i]) \cdot (h_k[6] - h_k[7])}{h_{r,od}[6] - h_k[6]} = 0,0350 \text{ [-]}$$

Součinitel nevyužitého entalpického spádu:

(2.158)

$$\mu[6] = \frac{h_{r,od}[6] - h[2]}{h[1] - h[2]} = 0,2254 \text{ [-]}$$

Uzel 7 - výstup pracovní látky z NTO7 a vstup do NTO6:

Určení hodnot jednotlivých veličin hlavního proudu:

$$p[7] = p[9] = 0,5855 \text{ [MPa]} \quad (2.159)$$

$$t[7] = t[6] + \Delta t_{NTO} = 107,935 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.160)$$

$$h[7] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[7]; t = t[7]) = 453,013 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.161)$$

$$x_v[7] = \text{Quality}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[7]; h = h[7]) = -0,001 \text{ [-]} \quad (2.162)$$

$$s[7] = \text{Entropy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[7]; h = h[7]) = 1,396 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (2.163)$$

$$\dot{m}[7] = \dot{m}[3] = 0,7590 \text{ [kg/s]} \quad (2.164)$$

Určení hodnot veličin příslušného odběru z turbíny:

Hodnoty veličin kondenzátu za NTO:

(2.165)

$$t_{kon}[7] = t[7] + PP_{NTO} = 110,935 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.165)$$

$$p_{kon}[7] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; t = t_{kon}[7]; x_v = 0) = 0,148 \text{ [MPa]} \quad (2.166)$$

$$h_{kon}[7] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_{kon}[7]; x_v = 0) = 465,375 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.167)$$

Hodnoty veličin odběrové páry před NTO:

(2.168)

$$t_{od}[7] = t_{kon}[7] + t_Z = 112,935 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.168)$$

$$p_{od}[7] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; t = t_{od}[7]; x_v = 1) = 0,158 \text{ [MPa]} \quad (2.169)$$

$$h_{iz,od}[7] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_{od}[7]; s = s[1]) = 2393,234 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.170)$$

$$h_{r,od}[7] = h[1] - (h[1] - h_{iz,od}[7]) \cdot \eta_{td} = 2514,140 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.171)$$

Součinitel poměrného odběru:

(2.172)

$$\alpha[7] = \frac{(h[7] - h[6]) \cdot (1 - \sum_{i=9}^{14} \alpha[i]) - (\alpha[8]) \cdot (h_k[7] - h_k[8])}{h_{r,od}[7] - h_k[7]} = 0,0370 \text{ [-]} \quad (2.172)$$

Součinitel nevyužitého entalpického spádu:

(2.173)

$$\mu[7] = \frac{h_{r,od}[7] - h[2]}{h[1] - h[2]} = 0,3191 \text{ [-]} \quad (2.173)$$

Uzel 8 - výstup pracovní látky z NTO6 a vstup do napájecí nádrže:

Určení hodnot jednotlivých veličin hlavního proudu:

$$p[8] = p[9] = 0,5855 \text{ [MPa]} \quad (2.174)$$

$$t[8] = t[7] + \Delta t_{NTO} = 132,935 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.175)$$

$$h[8] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[8]; t = t[8]) = 559,113 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.176)$$

$$x_v[8] = \text{Quality}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[8]; h = h[8]) = -0,001 \text{ [-]} \quad (2.177)$$

$$s[8] = \text{Entropy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[8]; h = h[8]) = 1,665 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (2.178)$$

$$\dot{m}[8] = \dot{m}[3] = 0,7590 \text{ [kg/s]} \quad (2.179)$$

Určení hodnot veličin příslušného odběru z turbíny:

Hodnoty veličin kondenzátu za NTO: (2.180)

$$t_{kon}[8] = t[8] + PP_{NTO} = 135,935 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.180)$$

$$p_{kon}[8] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; t = t_{kon}[8]; x_v = 0) = 0,322 \text{ [MPa]} \quad (2.181)$$

$$h_{kon}[8] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_{kon}[8]; x_v = 0) = 571,746 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.182)$$

Hodnoty veličin odběrové páry před NTO: (2.183)

$$t_{od}[8] = t_{kon}[8] + t_Z = 137,935 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.183)$$

$$p_{od}[8] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; t = t_{od}[8]; x_v = 1) = 0,341 \text{ [MPa]} \quad (2.184)$$

$$h_{iz,od}[8] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_{od}[8]; s = s[1]) = 2514,351 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.185)$$

$$h_{r,od}[8] = h[1] - (h[1] - h_{iz,od}[8]) \cdot \eta_{td} = 2619,512 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.186)$$

Součinitel poměrného odběru:

$$\alpha[8] = \frac{(h[8] - h[7]) \cdot (1 - \sum_{i=9}^{14} \alpha[i])}{h_{r,od}[8] - h_k[8]} = 0,03393 \text{ [-]} \quad (2.187)$$

Součinitel nevyužitého entalpického spádu:

$$\mu[8] = \frac{h_{r,od}[8] - h[2]}{h[1] - h[2]} = 0,4077 \text{ [-]} \quad (2.188)$$

Uzel 9 - výstup pracovní látky z NTO5 a vstup do napájecího čerpadla:

Určení hodnot jednotlivých veličin hlavního proudu:

$$p[9] = \text{Pressure}(\text{Steam}_{IAPWS}; t = t[9]; x_v = x_v[9]) = 0,5855 \text{ [MPa]} \quad (2.189)$$

$$t[9] = t[4] + 5 \cdot \Delta t_{NTO} = 157,935 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.190)$$

$$h[9] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[9]; t = t[9]) = 665,510 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.191)$$

$$x_v[9] = 0 \text{ [-]} \quad (2.192)$$

$$s[9] = \text{Entropy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[9]; h = h[9]) = 1,922 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (2.193)$$

$$\dot{m}[9] = M = 1,000 \text{ [kg/s]} \quad (2.194)$$

Určení hodnot veličin příslušného odběru z turbíny:

Hodnoty veličin kondenzátu za NTO:

(2.195)

$$t_{kon}[9] = t[9] = 157,935 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.195)$$

$$p_{kon}[9] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; t = t_{kon}[9]; x_v = 0) = 0,586 \text{ [MPa]} \quad (2.196)$$

$$h_{kon}[9] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_{kon}[9]; x_v = 0) = 666,511 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.197)$$

Hodnoty veličin odběrové páry před NTO:

(2.198)

$$t_{od}[9] = t_{kon}[9] + t_z = 159,935 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.198)$$

$$p_{od}[9] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; t = t_{od}[9]; x_v = 1) = 0,617 \text{ [MPa]} \quad (2.199)$$

$$h_{iz,od}[9] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_{od}[9]; s = s[1]) = 2615,676 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.200)$$

$$h_{r,od}[9] = h[1] - (h[1] - h_{iz,od}[9]) \cdot \eta_{td} = 2707,665 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.201)$$

Součinitel poměrného odběru:

(2.202)

$$\alpha[9] = \frac{(h[9] - h[8]) - (h_{kon}[11] - h[8]) \cdot (\sum_{i=11}^4 \alpha[i])}{h_{r,od}[9] - h[8]} = 0,0243 \text{ [-]} \quad (2.202)$$

Součinitel nevyužitého entalpického spádu:

(2.203)

$$\mu[9] = \frac{h_{r,od}[8] - h[2]}{h[1] - h[2]} = 0,4819 \text{ [-]} \quad (2.203)$$

Uzel 10 - výstup pracovní látky z napájecího čerpadla a vstup do VTO4:

Výpočet entalpie na výstupu z NČ – izoentropický děj:

$$h_{iz}[10] = Enthalpy(Steam_{IAPWS}; p = p[10]; s = s[9]) = 680,167 [kJ/kg] \quad (2.204)$$

Výpočet skutečné entalpie na výstupu z NČ:

$$h[10] = h[9] + \frac{h_{iz}[10] - h[9]}{\eta_{\dot{c}}} = 684,651 [kJ/kg] \quad (2.205)$$

Určení hodnot jednotlivých veličin:

$$p[10] = p_a = 13,000 [MPa] \quad (2.206)$$

$$x_v[10] = Quality(Steam_{IAPWS}; p = p[10]; h = h[10]) = -0,001 [-] \quad (2.207)$$

$$t[10] = Temperature(Steam_{IAPWS}; p = p[10]; h = h[10]) = 160,429 [°C] \quad (2.208)$$

$$s[10] = Entropy(Steam_{IAPWS}; p = p[10]; h = h[10]) = 1,932 [kJ/kg \cdot K] \quad (2.209)$$

$$\dot{m}[10] = M = 1,000 [kg/s] \quad (2.210)$$

Uzel 11- výstup pracovní látky z VTO4 a vstup do VTO3:

Určení hodnot jednotlivých veličin hlavního proudu:

$$p[11] = p_a = 13,000 [MPa] \quad (2.211)$$

$$t[11] = t[10] + \Delta t_{VTO} = 186,429 [°C] \quad (2.212)$$

$$h[11] = Enthalpy(Steam_{IAPWS}; p = p[11]; t = t[11]) = 797,329 [kJ/kg] \quad (2.213)$$

$$x_v[11] = Quality(Steam_{IAPWS}; p = p[11]; t = t[11]) = -0,001 [-] \quad (2.214)$$

$$s[11] = Entropy(Steam_{IAPWS}; p = p[11]; h = h[11]) = 2,185 [kJ/kg \cdot K] \quad (2.215)$$

$$\dot{m}[11] = M = 1,000 [kg/s] \quad (2.216)$$

Určení hodnot veličin příslušného odběru z turbíny:

Hodnoty veličin kondenzátu za VTO:

(2.217)

$$t_{kon}[11] = t[11] + PP_{VTO} = 191,429 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$p_{kon}[11] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; t = t_{kon}[11]; x_v = 0) = 1,295 \text{ [MPa]}$$

(2.218)

$$h_{kon}[11] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_{kon}[11]; x_v = 0) = 813,806 \text{ [kJ/kg]}$$

(2.219)

Hodnoty veličin odběrové páry před VTO:

(2.220)

$$t_{od}[11] = t_{kon}[11] + t_z = 193,429 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$p_{od}[11] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; t = t_{od}[11]; x_v = 1) = 1,352 \text{ [MPa]}$$

(2.221)

$$h_{iz,od}[11] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_{od}[11]; s = s[1]) = 2761,070 \text{ [kJ/kg]}$$

(2.222)

$$h_{r,od}[11] = h[1] - (h[1] - h_{iz,od}[11]) \cdot \eta_{td} = 2834,158 \text{ [kJ/kg]}$$

(2.223)

Součinitel poměrného odběru:

(2.224)

$$\alpha[11] = \frac{(h[11] - h[10]) - (h_{kon}[12] - h_{kon}[11]) \cdot (\sum_{i=12}^{14} \alpha[i])}{h_{r,od}[11] - h_{kon}[11]} = 0,0458 \text{ [-]}$$

Součinitel nevyužitého entalpického spádu:

(2.225)

$$\mu[11] = \frac{h_{r,od}[11] - h[2]}{h[1] - h[2]} = 0,5884 \text{ [-]}$$

Uzel 12- výstup pracovní látky z VTO3 a vstup do VTO2:

Určení hodnot jednotlivých veličin hlavního proudu:

$$p[12] = p_a = 13,000 \text{ [MPa]} \quad (2.226)$$

$$t[12] = t[11] + \Delta t_{VTO} = 212,429 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.227)$$

$$h[12] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[12]; t = t[12]) = 912,584 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.228)$$

$$x_v[12] = \text{Quality}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[12]; t = t[12]) = -0,001 \text{ [-]} \quad (2.229)$$

$$s[12] = \text{Entropy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[12]; h = h[12]) = 2,429 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (2.230)$$

$$\dot{m}[12] = M = 1,000 \text{ [kg/s]} \quad (2.231)$$

Určení hodnot veličin příslušného odběru z turbíny:

Hodnoty veličin kondenzátu za VTO: (2.232)

$$t_{kon}[12] = t[12] + PP_{VTO} = 217,429 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.232)$$

$$p_{kon}[12] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; t = t_{kon}[12]; x_v = 0) = 2,207 \text{ [MPa]} \quad (2.233)$$

$$h_{kon}[12] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_{kon}[12]; x_v = 0) = 931,678 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.234)$$

Hodnoty veličin odběrové páry před VTO: (2.235)

$$t_{od}[12] = t_{kon}[12] + t_z = 219,429 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.235)$$

$$p_{od}[12] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; t = t_{od}[12]; x_v = 1) = 2,294 \text{ [MPa]} \quad (2.236)$$

$$h_{iz,od}[12] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_{od}[12]; s = s[1]) = 2868,459 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.237)$$

$$h_{r,od}[12] = h[1] - (h[1] - h_{iz,od}[12]) \cdot \eta_{td} = 2927,586 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.238)$$

Součinitel poměrného odběru:

$$\alpha[12] = \frac{(h[12] - h[11]) - (h_{kon}[13] - h_{kon}[12]) \cdot (\sum_{i=13}^{14} \alpha[i])}{h_{r,od}[12] - h_{kon}[12]} = 0,0504 \text{ [-]} \quad (2.239)$$

Součinitel nevyužitého entalpického spádu:

$$\mu[12] = \frac{h_{r,od}[12] - h[2]}{h[1] - h[2]} = 0,6670 \text{ [-]} \quad (2.240)$$

Uzel 13- výstup pracovní látky z VTO2 a vstup do VTO1:

Určení hodnot jednotlivých veličin hlavního proudu:

$$p[13] = p_a = 13,000 \text{ [MPa]} \quad (2.241)$$

$$t[13] = t[12] + \Delta t_{VTO} = 238,429 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.242)$$

$$h[13] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[13]; t = t[13]) = 1031,481 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.243)$$

$$x_v[13] = \text{Quality}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[13]; t = t[13]) = -0,001 \text{ [-]} \quad (2.244)$$

$$s[13] = \text{Entropy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[13]; h = h[13]) = 2,667 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (2.245)$$

$$\dot{m}[13] = M = 1,000 \text{ [kg/s]} \quad (2.246)$$

Určení hodnot veličin příslušného odběru z turbíny:

Hodnoty veličin kondenzátu za VTO: (2.247)

$$t_{kon}[13] = t[13] + PP_{VTO} = 243,429 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.247)$$

$$p_{kon}[13] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; t = t_{kon}[13]; x_v = 0) = 3,553 \text{ [MPa]} \quad (2.248)$$

$$h_{kon}[13] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_{kon}[13]; x_v = 0) = 1053,905 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.249)$$

Hodnoty veličin odběrové páry před VTO: (2.250)

$$t_{od}[13] = t_{kon}[13] + t_z = 245,429 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.250)$$

$$p_{od}[13] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; t = t_{od}[13]; x_v = 1) = 3,678 \text{ [MPa]} \quad (2.251)$$

$$h_{iz,od}[13] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_{od}[13]; s = s[1]) = 2975,428 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.252)$$

$$h_{r,od}[13] = h[1] - (h[1] - h_{iz,od}[13]) \cdot \eta_{td} = 3020,649 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.253)$$

Součinitel poměrného odběru: (2.254)

$$\alpha[13] = \frac{(h[13] - h[12]) - (h_{kon}[14] - h_{kon}[13]) \cdot (\alpha[14])}{h_{r,od}[13] - h_{kon}[13]} = 0,0563 \text{ [-]} \quad (2.254)$$

Součinitel nevyužitého entalpického spádu: (2.255)

$$\mu[13] = \frac{h_{r,od}[13] - h[2]}{h[1] - h[2]} = 0,7453 \text{ [-]} \quad (2.255)$$

Uzel 14- výstup pracovní látky z VTO1 a vstup do výparníku:

Určení hodnot jednotlivých veličin hlavního proudu:

$$p[14] = p_a = 13,000 \text{ [MPa]} \quad (2.256)$$

$$t[14] = t[13] + \Delta t_{VTO} = 264,429 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.257)$$

$$h[14] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[14]; t = t[14]) = 1155,683 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.258)$$

$$x_v[14] = \text{Quality}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[14]; t = t[14]) = -0,001 \text{ [-]} \quad (2.259)$$

$$s[14] = \text{Entropy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p[14]; h = h[14]) = 2,904 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \quad (2.260)$$

$$\dot{m}[14] = M = 1,000 \text{ [kg/s]} \quad (2.261)$$

Určení hodnot veličin příslušného odběru z turbíny:

Hodnoty veličin kondenzátu za VTO: (2.262)

$$t_{kon}[14] = t[14] + PP_{VTO} = 269,429 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.262)$$

$$p_{kon}[14] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; t = t_{kon}[14]; x_v = 0) = 5,454 \text{ [MPa]} \quad (2.263)$$

$$h_{kon}[14] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_{kon}[14]; x_v = 0) = 1182,213 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.264)$$

Hodnoty veličin odběrové páry před VTO: (2.265)

$$t_{od}[14] = t_{kon}[14] + t_z = 271,429 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.265)$$

$$p_{od}[14] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; t = t_{od}[14]; x_v = 1) = 5,627 \text{ [MPa]} \quad (2.266)$$

$$h_{iz,od}[14] = \text{Enthalpy}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_{od}[14]; s = s[1]) = 3081,912 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.267)$$

$$h_{r,od}[14] = h[1] - (h[1] - h_{iz,od}[14]) \cdot \eta_{td} = 3113,290 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.268)$$

Součinitel poměrného odběru: (2.269)

$$\alpha[14] = \frac{h[14] - h[13]}{h_{r,od}[14] - h_{kon}[14]} = 0,0643 \text{ [-]} \quad (2.269)$$

Součinitel nevyužitého entalpického spádu: (2.270)

$$\mu[14] = \frac{h_{r,od}[14] - h[2]}{h[1] - h[2]} = 0,8233 \text{ [-]} \quad (2.270)$$

Výpočet hmotnostního průtoku roztavené soli:

Pro zjištění hmotnostního průtoku roztavené soli bylo použito stejného postupu jako v kapitole 2.1. Vysokoteplotní aplikace Kalinova cyklu. Za tímto účelem byl opět vytvořen bilanční výpočet výparníku. Použity byly hodnoty veličin parovodní směsi na vstupu a výstupu z výparníku, tedy v uzlech 1 a 14. Známé jsou také parametry roztavené soli na vstupu a výstupu z výparníku. Pro výparník byla zvolena hodnota minimálního teplotního rozdílu $PP_E = 5$ [°C]. Celý proces vypařování byl opět rozdělen do několika segmentů, kdy je v níže uvedených rovnicích uvažován pouze segment „x“, ve kterém je dosažena hodnota zvoleného minimálního teplotního rozdílu. Na obr. 54 je znázorněn Q-T diagram výparníku.

$$\text{Zvolený počet segmentů: } n_E = 60 [-] \quad (2.271)$$

$$\text{Diferenční změna entalpie: } dh_E = \frac{h[1] - h[21]}{n_E} = 36,127 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.272)$$

Určení entalpie parovodní směsi v segmentu „x“:

$$h[x] = h[x - 1] + dh_E = 1516,949 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.273)$$

Určení teploty parovodní směsi v segmentu „x“:

$$t[x] = \text{Temperature}(\text{Steam}_{IAPWS}; p = p_a; h = h[x]) = 328,814 \text{ [°C]} \quad (2.274)$$

Určení entalpie roztavené soli v segmentu „x“:

$$t_{ms}[x] = t[x] + PP_E = 333,814 \text{ [°C]} \quad (2.275)$$

$$h_{ms}[x] = c_{P, \text{střední}, ms} \cdot (T_{ms}[x] - T_{ref}) = 208,615 \text{ [kJ/kg]} \quad (2.276)$$

Určení hmotnostního průtoku roztavené soli v segmentu „x“:

$$h_{ms}[x] = h_{ms}[x + 1] - \left(\frac{dh_E \cdot M}{M_{ms}} \right) \quad (2.277)$$

$$M_{ms} = \frac{dh_E \cdot M}{h_{ms}[x + 1] - h_{ms}[x]} = 6,972 \text{ [kg/s]} \quad (2.278)$$

Výpočet hmotnostního průtoku chladící vody kondenzátoru:

Pro zjištění hmotnostního průtoku chladící vody kondenzátoru bylo použito stejného postupu jako v kapitole 2.1. Vysokoteplotní aplikace Kalinova cyklu. Za tímto účelem byl vytvořen bilanční výpočet kondenzátoru. Byly použity vstupní a výstupní hodnoty veličin parovodní směsi, tedy v uzlech 2 a 3. Známe jsou také parametry chladící vody na vstupu do kondenzátoru. Pro kondenzátor byla zvolena hodnota minimálního teplotního rozdílu $PP_K = 5$ [°C]. Celý proces kondenzace byl opět rozdělen do několika segmentů, kdy je v níže uvedených rovnicích uvažován pouze segment „x“, ve kterém je dosažena hodnota zvoleného minimálního teplotního rozdílu. Na obr. 53 je znázorněn Q-T diagram kondenzátoru.

Pro určení hodnot veličin vody a vodní páry byly použity softwarové funkce v rozhraní programu EES, které využívají látkových vlastností podle IAPWS.

Určení entalpie chladící vody na vstupu do kondenzátoru:

$$h_{in,cw} = enthalpy(Steam_{IAPWS}; p = p_{cw}; t = t_{in,cw}) = 84,006 [kJ/kg] \quad (2.279)$$

$$\text{Zvolený počet segmentů: } n_K = 60 [-] \quad (2.280)$$

$$\text{Diferenční změna entalpie: } dh_K = \frac{h[2] - h[3]}{n_K} = 33,288 [kJ/kg] \quad (2.281)$$

Určení entalpie parovodní směsi v segmentu „x“:

$$h[x] = h[x - 1] - dh_K = 2135,024 [kJ/kg] \quad (2.282)$$

Určení teploty parovodní směsi v segmentu „x“:

$$t[x] = Temperature(Steam_{IAPWS}; p = p_a; h = h[x]) = 32,874 [°C] \quad (2.283)$$

Určení entalpie chladící vody v segmentu „x“:

$$t_{cw}[x] = t[x] - PP_K = 27,874 [°C] \quad (2.284)$$

$$h_{cw}[x] = enthalpy(Steam_{IAPWS}; p = p_{cw}; t = t_{cw}[x]) = 116,936 [kJ/kg] \quad (2.285)$$

Určení hmotnostního průtoku chladící vody v segmentu „x“:

$$h_{cw}[x] = h_{cw}[x + 1] + \left(\frac{dh_K \cdot M}{M_{cw}}\right) \quad (2.286)$$

$$M_{cw} = \frac{dh_K \cdot M}{h_{cw}[x] - h_{cw}[x + 1]} = 45,289 [kg/s] \quad (2.287)$$