

Symulacja czasu ładowania zasobnika C.W.U

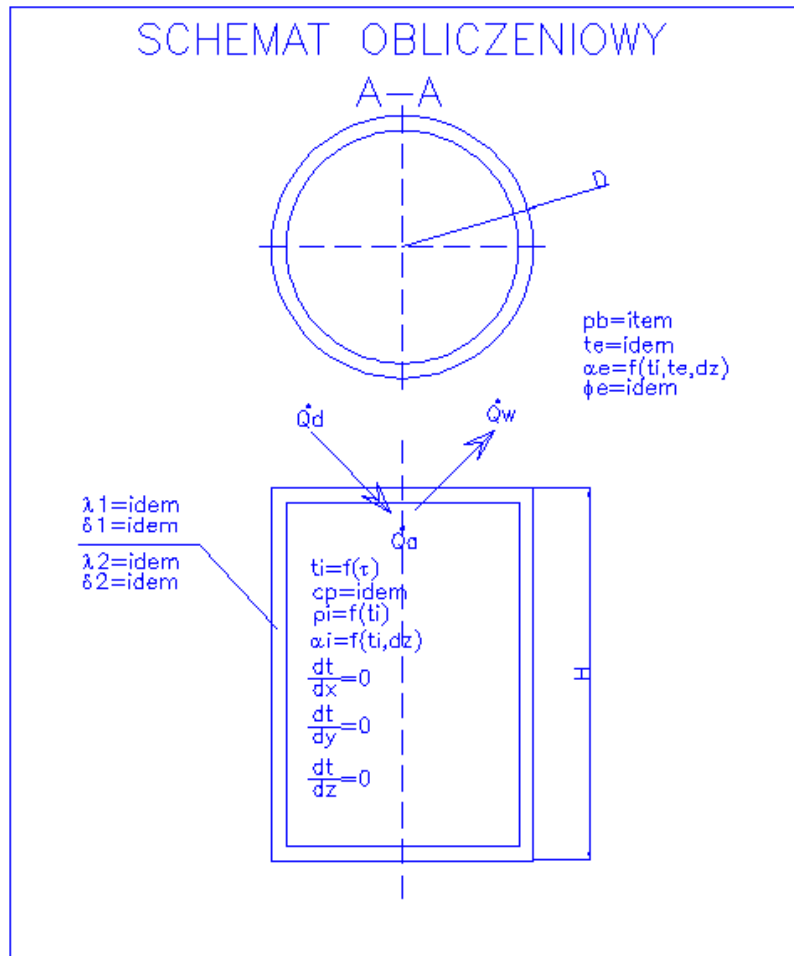
1) Do czego służy Program:

Program służy do szybkiego określenia czasu ładowania zasobnika C.W.U przy założonych warunkach brzegowych (warunki brzegowe definiuje w programie użytkownik – temperatura zasilania i powrotu, moc źródła, temperatura do osiągnięcia itd.). Jak wiadomo zagadnienie to jest często problematyczne w obliczeniach inżynierskich ze względu na nieliniowy charakter tego procesu. Zazwyczaj jest określany orientacyjnie traktując zjawisko jako proces liniowy, przez co obarczony może być sporym błędem, przekraczającym dokładność obliczeń inżynierskich $\pm 10\%$. Program rozwiązuje równanie bilansowe energii doprowadzanej do zasobnika i wyprowadzanej z niego w różniczkowych odstępach czasu, przy uwzględnieniu większości parametrów i zjawisk opisujących ten proces.

Na podstawie porównania wyników symulacji z wynikami rzeczywistymi można stwierdzić, że daje on dość dobre wyniki, dzięki czemu można z powodzeniem stosować je w obliczeniach (tym nie mniej nie zwalnia to projektanta z obowiązkiem porównania z danymi podawanymi przez producenta). Ewentualne różnice pomiędzy wartościami podawanymi przez producentów, a wynikami podawanymi przez program, wynikają z specyficznej konstrukcji zasobników CWU (np. węzownic), niedokładności w określeniu współczynników wnikania ciepła itp. Jesteśmy jednak ciągle w przedziale (wynik rzeczywisty) $\pm 10\%$, co daje wystarczającą dokładność w projektowaniu.

2) Algorytm symulacji:

Program rozwiązuje bilansowe równanie różniczkowe ciepła dopływającego i odpływającego z przyjętego układu (bilans energii) pokazanego na poniższym rysunku:



równanie to można zapisać:

$$\frac{dQ}{d\tau} = \dot{Q}_a(\tau) - \dot{Q}_w(\tau)$$

gdzie:

dQ – Różniczkowa zmiana ciepła wewnątrz zasobnika C.W.U powodująca zmianę temperatury

$d\tau$ – Różniczkowa zmiana czasu (krok czasowy)

$\dot{Q}_a(\tau)$ – Ciepło doprowadzone do układu w funkcji czasu

$\dot{Q}_w(\tau)$ – Ciepło wyprowadzone z układu w funkcji czasu (strata ciepła do otoczenia)

Z drugiej strony:

$$dQ = \rho(t(\tau)) \cdot V \cdot c_p \cdot dt$$

gdzie:

$\rho(t(\tau))$ – gęstość wody w zasobniku C.W.U w funkcji temperatury zasobnika

V – Objętość zasobnika

cp – Ciepło właściwe wody $cp=idem=4,19$ kJ/kgK

dt – Różniczkowa zmiana temperatury wody w zasobniku

Możemy więc zapisać:

$$\left(\dot{Q}_d(\tau) - \dot{Q}_w(\tau) \right) \cdot d\tau = \rho(t(\tau)) \cdot V \cdot cp \cdot dt$$

$$dt = \frac{\left(\dot{Q}_d(\tau) - \dot{Q}_w(\tau) \right) \cdot d\tau}{\rho(t_i(\tau)) \cdot V \cdot cp}$$

$$\dot{Q}_w(\tau) = U \cdot F \cdot (t_i(\tau) - t_e)$$

$$\dot{Q}_d(\tau) = \rho\left(\frac{t_z - t_p}{2}\right) \cdot m \cdot cp \cdot (t_z - t_p)$$

gdzie:

t_z – temperatura zasilania węzownicy zasobnika C.W.U

t_p – temperatura powrotu węzownicy zasobnika C.W.U

U – współczynnik przenikania ciepła

m – masowy przepływ wody zasilający węzownicę zasobnika

co ostatecznie daje zmianę temperatury w zasobniku:

$$dt = \frac{\left(\rho\left(\frac{t_z - t_p}{2}\right) \cdot m \cdot cp \cdot (t_z - t_p) - U \cdot F \cdot (t_i(\tau) - t_e) \right) \cdot d\tau}{\rho(t(\tau)) \cdot V \cdot cp}$$

czyli temperatura w zasobniku wyniesie:

$$t_i(\tau) + dt = \frac{\rho(t(\tau)) \cdot V \cdot cp \cdot t_i(\tau) + \left(\rho\left(\frac{t_z - t_p}{2}\right) \cdot m \cdot cp \cdot (t_z - t_p) - U \cdot F \cdot (t_i(\tau) - t_e) \right) \cdot d\tau}{\rho(t(\tau)) \cdot V \cdot cp}$$

współczynniki wnikania i przewodzenia ciepła :

$$\alpha_i = \left(18,6 + 20,7 \cdot \sqrt[4]{\frac{t_z + t_p}{2} - t_i(\tau)} \right) \cdot \sqrt[4]{\frac{t_z - t_p}{D}}$$

$$\alpha_e = 5,0 \cdot \sqrt{\frac{t_i(\tau) - t_e}{T_e \cdot d_z}} - \text{konwekcja swobodna (od strony powietrza)}$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{\Pi \cdot \alpha_i \cdot (d_z - \delta_1)} + \frac{\ln \frac{d_z}{d_z - \delta_1}}{2 \cdot \Pi \cdot \lambda_1} + \frac{\ln \frac{d_z + \delta_2}{d_z}}{2 \cdot \Pi \cdot \lambda_2} + \frac{1}{\Pi \cdot \alpha_e \cdot (d_z + \delta_2)}}$$

Otrzymane w ten sposób równania stanowią podstawę programu symulacyjnego.

Algorytm przedstawia się następująco:

- Dla warunków brzegowych, w pierwszym kroku czasowym ($\tau=0$; $t_i=t_{i0}$) obliczana jest strata ciepła $\dot{Q}_w(\tau) \cdot d\tau$, oraz zysk ciepła $\dot{Q}_d(\tau) \cdot d\tau$, dla różniczkowego kroku czasowego $d\tau$. Wynik sumowany jest z ciepłem zakumulowanym w zasobniku i na tej podstawie wyznaczana jest nowa wartość temperatury zasobnika
- W następnych krokach czasowych $\tau + d\tau$ obliczana jest temperatura t_i wewnątrz układu, straty i zyski ciepła itd. aż do zakończenia symulacji tzn. osiągnięcia zadanej temperatury:

$$t_{i(n)} = \frac{\rho(t(\tau)) \cdot V \cdot cp \cdot t_{i(n-1)}(\tau) + \left(\rho \left(\frac{t_z - t_p}{2} \right) \cdot m \cdot cp \cdot (t_z - t_p) - U \cdot F \cdot (t_{i(n-1)}(\tau) - t_e) \right) \cdot d\tau}{\rho(t_{i(n-1)}(\tau)) \cdot V \cdot cp}$$

$$t_{i(n+1)} = \frac{\rho(t(\tau)) \cdot V \cdot cp \cdot t_{i(n)}(\tau) + \left(\rho \left(\frac{t_z - t_p}{2} \right) \cdot m \cdot cp \cdot (t_z - t_p) - U \cdot F \cdot (t_{i(n)}(\tau) - t_e) \right) \cdot d\tau}{\rho(t_{i(n)}(\tau)) \cdot V \cdot cp}$$

3) Założenia poczynione w symulacji:

- 3.1. Brak gradientu temperatury wody w zasobniku C.W.U. (w całym zasobniku jest wyrównana temperatura)

$$\frac{dt}{dx} = 0; \frac{dt}{dy} = 0; \frac{dt}{dz} = 0;$$

- 3.2. Na zewnątrz zasobnika panują warunki konwekcji swobodnej.
- 3.3. W obliczeniach strat ciepła założono, że kubatura pomieszczenia w którym znajduje się zasobnik jest bardzo duża, co pozwala na założenie stałej temperatury otaczającego zasobnik powietrza ($t_e = \text{const}$).
- 3.4. Program nie uwzględnia strat ciepła przez promieniowanie.
- 3.5. Współczynniki konwekcyjne (konwekcja swobodna i konwekcja wymuszona) obliczane są za pomocą równań Schack'a)

4) Symbolika zastosowana w programie:

t_i – temperatura wody w zasobniku

t_e – temperatura powietrza otaczającego zasobnik

ϕ_e – wilgotność względna powietrza otaczającego zasobnik

p_b – ciśnienie atmosferyczne powietrza

V – pojemność zasobnika c.w.u

c_p – ciepło właściwe wody $c_p = \text{idem} = 4,19 \text{ kJ/kgK}$

λ_1 – współczynnik przewodzenia ciepła materiału zasobnika

δ_1 – grubość ścianki zasobnika

λ_2 – współczynnik przewodzenia ciepła materiału izolacji zasobnika

δ_2 – grubość izolacji zasobnika

H – wysokość zasobnika

D – średnica zasobnika

$d\tau$ – długość elementarnego kroku czasowego

U – Współczynnik przenikania ciepła