

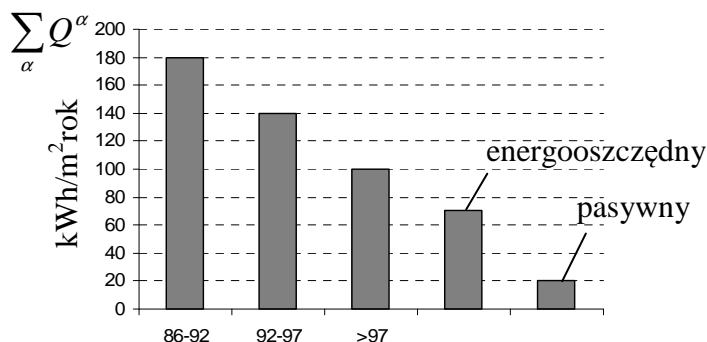
## VIII. BUDYNKI PASYWNE

### 42 Geneza idei budynków pasywnych

Ograniczone źródła energii wymuszają zmniejszone zużycie kopalnych źródeł energii na rzecz tzw. *odnawialnych źródeł energii*. W konsekwencji powinniśmy mieć także inną gospodarkę energetyczną, w której generalnie należy korzystać z wymienionych tu odnawialnych źródeł energii, czyli:

- energii słonecznej;
- ciepła z głębi ziemi;
- energii spiętrzonej wody;
- energii wiatru;
- energii biomasy.

Trend do obniżania zużycia energii w budownictwie rozpoczął się od I kryzysu naftowego w 1973r. a zmiany te ujmują *standardy energetyczne* budynków w Polsce od 1986r, które przedstawiono na rys.42.1.

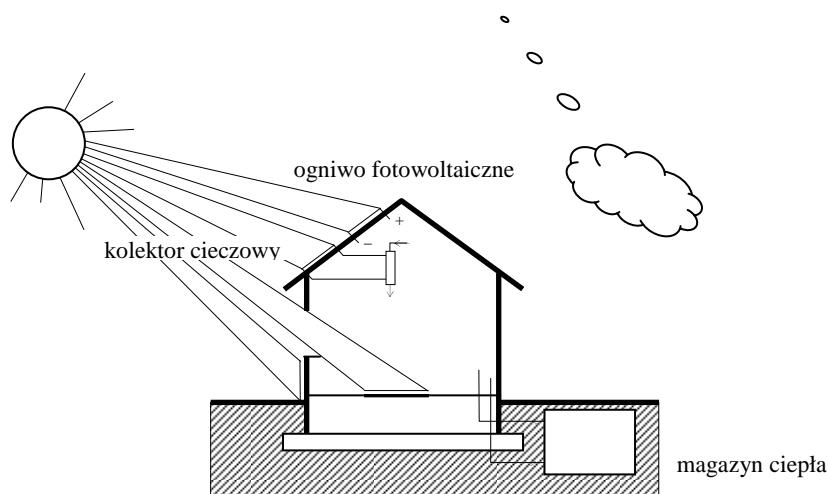


Rys.42.1. Standardy energetyczne budynków

Równocześnie powstała idea budynku o minimalnym *zużyciu energii*  $\sum Q^{\alpha}$ , a nawet o zerowym zużyciu w cyklu rocznym. Odpowiedzą na te trendy są budynki energooszczędne charakteryzujące się:

- wykorzystaniem energii ze źródeł odnawialnych w systemach aktywnych lub pasywnych;
- wykorzystują ciepło z odzysku;
- pozyskiwaniem i konwersją energii.

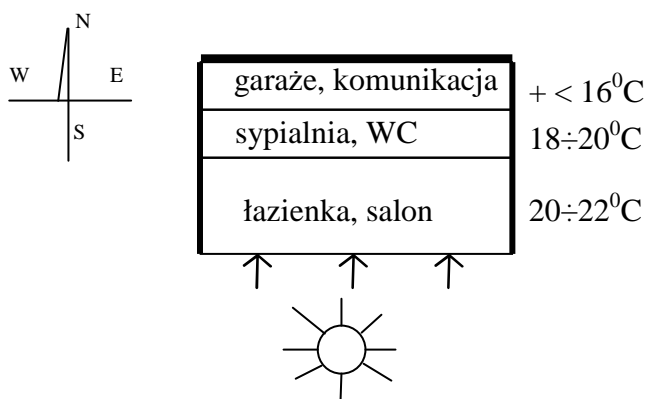
Okazało się wówczas, iż oszczędności energii uzyskujemy wprowadzając urządzenia, których działanie (np. sterowanie przepływami energii z różnych źródeł) wymaga zużycia dodatkowych ilości energii.



Rys.42.2. Schemat budynku pasywnego

W tej sytuacji powstała koncepcja *budynku pasywnego*, a głównie pasywnych systemów słonecznych, w których do pozyskiwania energii słonecznej nie wykorzystuje się innych, dodatkowych źródeł energii.

W budynkach wykorzystujących pasywnie energię słoneczną kształtuje się bryłę budynku, ściany i dach w ten sposób, aby maksymalnie wykorzystać promieniowanie słoneczne na potrzeby energetyczne budynku. W działaniach tych ściany zewnętrzne pochłaniając promieniowanie akumulują energię w dzień, oddając ją w porze nocnej. Zwarta bryła oraz przeszklenia z południa i umieszczenie tam pokoi dziennego przebywania minimalizuje straty.

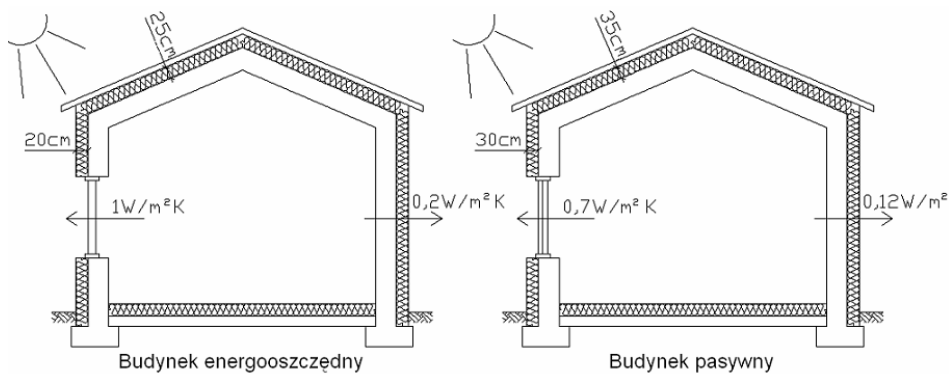


Rys.42.3. Usytuowanie pomieszczeń w budynku pasywnym

Budynek pasywny wykorzystuje w największym stopniu promieniowanie słoneczne przy minimalizacji strat ciepła.

Pierwsza z tych możliwości polega na usytuowaniu na dachu kolektorów cieczowych. Ich wykorzystanie u nas wiąże się z letnim okresem użytkowania budynków, a w zimie może być tylko uzupełniającym źródłem ciepła.

Inna możliwość to absorpcja promieniowania, które w okresie zimowym przez otwory okienne (od południa) dostaje się do pomieszczeń i tam zostaje zmagazynowana. Wariantem tego rozwiązania jest zmienny-fazowy materiał wypełniający element magazynujący ciepło, kiedy przemiana fazowa zachodzi w przedziale temperatur 16-20°C, wtedy możemy ciepło zmagazynowane w ciągu zimowego dnia odbierać w nocy, kiedy temperatura otoczenia spada poniżej 16°C. Pozyskiwanie ciepła przez otwory okienne staje się intensywniejsza po powleczeniu wewnętrznej powierzchni szyby filmem refleksyjnym odbijającym promieniowanie. W budynku energooszczędnym izolacja cieplna ścian wynosi minimalnie 20cm grubości, a w pasywnym już 30cm. Podobne ocieplenie dotyczy dachu i piwnic.



Rys.42.4. Porównanie strat ciepła w budynkach pasywnym i energooszczędnym

Trochę bardziej złożona jest adsorpcja promieniowania przez ściany, gdzie również powstają problemy łatwej transmisji promieniowania do ściany połączone z refleksyjną warstwą uniemożliwiającą odbicie i powrót promieniowania do otoczenia. Mamy tu do czynienia z problemem „diody cieplnej” przepuszczającej promieniowanie w jednym kierunku i odbijającej je w kierunku przeciwnym. Podobny problem występuje też i w przepływach wilgoci, gdzie „hydrodiody” umożliwia np. przepływ wilgoci do otoczenia, a blokuje przepływ przeciwny.

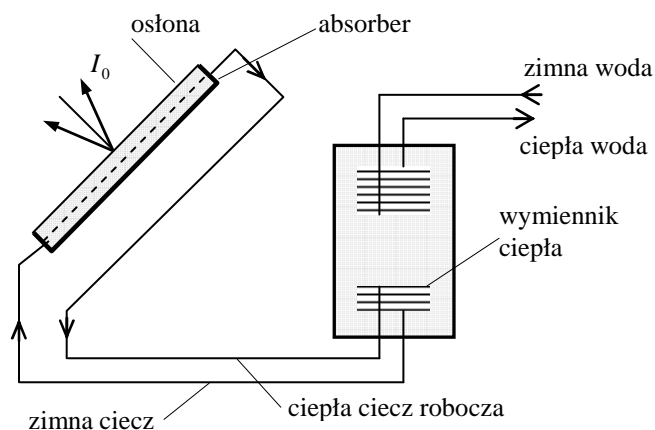
Uzyskane w zakresie budynków pasywnych rozwiązania powinny być obecnie szeroko wprowadzone do budownictwa mieszkaniowego, m.in. przez wprowadzenie postulowanych już w latach 90 *certyfiatów energetycznych*.

W rozdziale tym podamy elementarne wiadomości na temat działania najprostszych urządzeń do pozyskiwania ciepła, jakimi są płaskie kolektory cieczowe. Jest to najtańszy a jednocześnie stosunkowo skuteczny sposób pozyskiwania energii słonecznej w budynkach pasywnych.

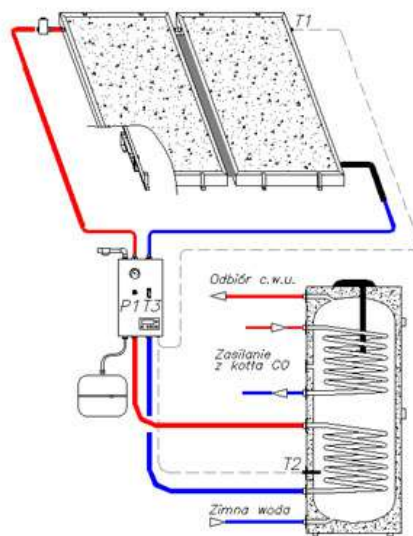
### 43 Budowa kolektora cieczowego

Typowy kolektor cieczowy posiada następujące elementy:

- osłonę zapewniającą przyjęcie promieniowania słonecznego bez strat,
- powierzchniową warstwę absorbera, która ma za zadanie pochłonięcie energii cieplnej,
- zestaw rur równoległych w których przepływa ciecz robocza odbierająca ciepło z absorbera.



Rys.43.1. Przepływy cieczy w kolektorze cieczowym

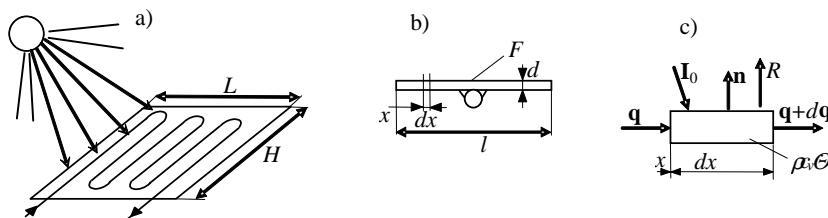


Rys.43.2. Schemat układu: kolektor-wymiennik w budynku pasywnym

#### 44 Teoria przjmowania ciepła przez kolektory

Analizować będziemy przepływy ciepła w płaskim kolektorze cieczowym. Proces traktujemy jako niestacjonarny i źródłowy. W członach źródłowych występuje zarówno adsorpcja promieniowania świetlnego zamieniona na ciepło jak i straty energii do otoczenia.

Typowy element kolektora cieczowego przedstawia rysunek 44.1.



Rys.44.1. Kolektor cieczowy:  
a) schemat kolektora, b) typowy element, c) schemat przepływów

Działanie kolektora polega na przekazie zaadsorbowanego na powierzchni adsorbera ciepła do cieczy wypełniającej kanał absorbera (rys. 44.1 b).

Korzystamy tu z równania przepływu ciepła

$$\rho c_v \dot{\theta} = \rho r - \operatorname{div} \mathbf{q}, \quad \mathbf{q} = -\lambda \operatorname{grad} \theta, \quad \theta = T - T_0, \quad (44.1)$$

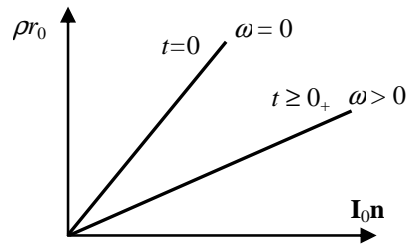
które w rozpatrywanym przepływie jednowymiarowym przyjmie postać

$$\rho c_v \dot{\theta} = \rho r + \lambda \frac{d^2 \theta}{dx^2} \quad \rho r = \rho r_0 - R, \quad (44.2)$$

gdzie  $\rho r_0$  to źródło ciepła zaadsorbowanego w pasie o szerokości  $dx$ , zaś  $R$  – jest upustem (stratą) ciepła na odcinku  $dx$ , a  $\Theta = T - T_0$  - przyrostem temperatury.

Wartość źródła  $\rho r$  obliczymy ze strumienia promieniowania  $\mathbf{I}_0$  sprowadzonego do normalnej  $\mathbf{n}$ , czyli  $\mathbf{I} = B \mathbf{I}_0 \mathbf{n}$ . W konsekwencji źródło ciepła  $\rho r_0$  określa zależność

$$\rho r_0 = B \mathbf{I}_0 \mathbf{n} (A_p + A_r) (1 - \omega) F, \quad (44.3)$$



Rys.44.2. Relacja  $\rho r \sim \mathbf{I}$

gdzie  $A_p$  i  $A_r$  to odpowiednio zdolności adsorpcji promieniowania bezpośredniego i rozproszonego,  $F$  - pole powierzchni adsorbera. Zdolność adsorpcji maleje w miarę zachodzących na powierzchni  $F$  procesów fotochemicznych. Zmiany te opisane są przez parametr uszkodzenia  $\omega$ , który wyznaczmy z równania kinetyki procesu narastania zmian procesów fotochemicznych

$$\frac{d\omega}{dt} = f(\mathbf{I}_0 \mathbf{n}). \quad (44.4)$$

Natomiast upust ciepła  $R$  (czyli straty) będzie proporcjonalny do różnicy  $R = U_L (1 - \omega)^{-1} (\theta - T_0)$  temperatur w kolektorze  $\theta$  i otoczeniu  $T_0$  o współczynniku proporcjonalności  $U_L$  - stratności kolektora.

W wyniku poczynionych założeń równanie przewodnictwa w elemencie kolektora przyjmie postać

$$\rho c_v \frac{\partial \theta}{\partial t} = B \mathbf{I}_0 \mathbf{n} (A_p + A_r) (1 - \omega) F - U_L (1 - \omega)^{-1} (\theta - T_0) + \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}. \quad (44.5)$$

Otrzymane równanie przepływu ciepła ulegnie uproszczeniu w przypadku przepływów stacjonarnych, kiedy  $\dot{\theta} \approx 0$ .

W efekcie otrzymujemy równanie zwyczajne, słuszne dla typowych sytuacji w absorberze

$$\frac{d^2 \theta}{d x^2} = \frac{1}{\lambda d} [U_L (1 - \omega)^{-1} (\theta - T_0) - B \mathbf{I}_0 \mathbf{n} (A_p + A_r) (1 - \omega) F]. \quad (44.6)$$

Z warunków symetrii otrzymujemy warunki brzegowe dla rozpatrywanego problemu, a mianowicie

$$\frac{d\theta(x=0)}{dx} = 0 \text{ oraz } \theta(x=l/2) = T_z. \quad (44.7)$$

Kolejne uproszczenie uzyskamy po wprowadzeniu nowej zmiennej  $S$  zdefiniowanej przez

$$S = (\theta - T_0) - B \mathbf{I}_0 \mathbf{n} (A_p + A_r) (1 - \omega)^2 \frac{F}{U_L} = \theta - T_0 - D \quad (44.8)$$

do równania (44.6). Będzie

$$\frac{d^2 S}{d x^2} - k^2 S = 0, \text{ gdzie } k^2 = \frac{U_L}{\lambda d (1 - \omega)}, \quad (44.9)$$

$$\frac{dS(x=0)}{dx} = 0, \quad S(x = \frac{l}{2}) = \bar{\theta} - T_0 - D. \quad (44.10)$$

Całka równania (44.9) ma formę

$$S = c_1 \exp(k x) + c_2 \exp(-k x). \quad (44.11)$$

Z warunku  $\frac{dS(x=0)}{dx} = 0$  wynika, że  $c_1 = c_2 = c$ , a z kolejnego warunku uzyskujemy

$$c[\exp(k \frac{l}{2}) + \exp(-k \frac{l}{2})] = \bar{\theta} - T_0 - D, \quad (44.12)$$

stąd  $c = \frac{1}{M}(\bar{\theta} - T_0 - D)$ , gdzie  $M = \exp(k \frac{l}{2}) + \exp(-k \frac{l}{2}) = \cosh(k \frac{l}{2})$ .

Ostatecznie całka równania (44.6) ma postać

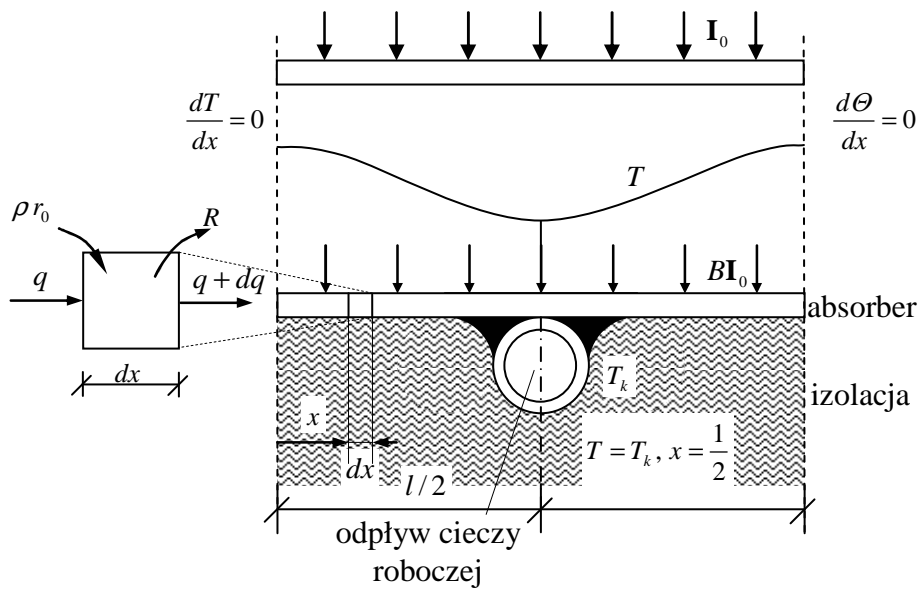
$$\begin{aligned} \Theta - T_0 - D &= \frac{1}{M}(\bar{\theta} - T_0 - D)[\exp(kx) + \exp(-kx)] = \\ &= \frac{1}{M}(\bar{\theta} - T_0 - D) \cosh(kx) \end{aligned} \quad (44.13)$$

lub w formie bezwymiarowej

$$\pi = \frac{\theta - T_0 - D}{\bar{\theta} - T_0 - D} = \frac{\cosh(kx)}{\cosh(k \frac{l}{2})}. \quad (44.14)$$

Podane w postaci bezwymiarowej równanie rozkładu temperatur może służyć do oceny sprawności kolektora cieczowego. W szczególności, można na podstawie tej zależności oszacować parametry materiałowe kolektora decydujące o jego sprawności energetycznej, a co ważniejsze zmian tej sprawności w czasie eksploatacji.

W ogólności podane rozwiązanie może służyć do sformułowania zadania odwrotnego na szacowanie parametrów.



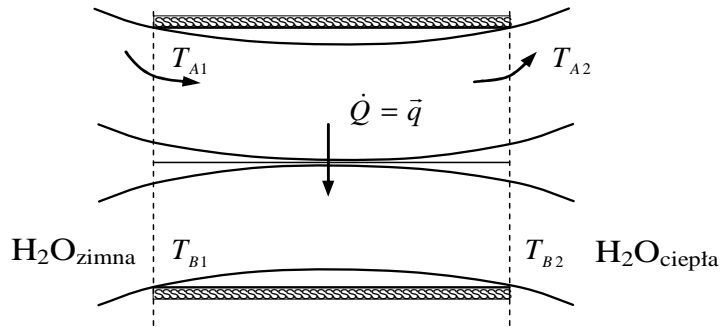
Rys.44.3. Zmiany temperatury  $T$  powierzchni kolektora w otoczeniu odpływu



## 45 Wymiennik ciepła

Wymiennik ciepła to kolejne urządzenie związane z kolektorem cieczowym. W wymienniku ciecz robocza (np. glikol), wymienia ciepło z wodą zimną podgrzewając ją. Ciecz robocza znajdująca się w kolektorze, stykając się z otoczeniem nie powinna zamarzać w temperaturze do  $-40^{\circ}\text{C}$ .

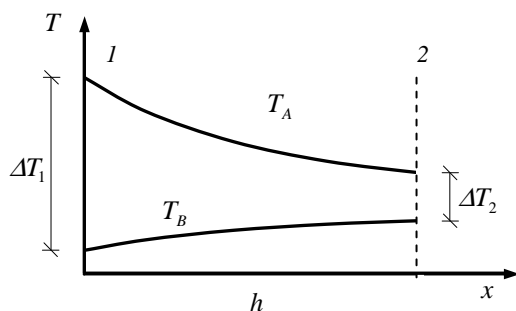
Ciecz robocza, znajdująca się na zewnątrz budowli w kolektorach, przejmuje ciepło od promieniowania słonecznego. Przepływając następnie do wymiennika przekazuje go wodzie. Otrzymujemy podgrzaną wodę, którą wykorzystujemy do celów bytowych.



Rys.45.1. Przepływy ciepła w wymienniku współprądowym.

Wymienniki ciepła to urządzenia, w których dochodzi do przekazywania ciepła od cieczy roboczej znajdującej się w wyższej temperaturze do czynnika o niższej temperaturze, np. podgrzewanej wodzie. W zależności od kierunków przepływu mamy wymienniki współprądowe – o zgodnym kierunku przepływu obu cieczy, przeciwprądowe, jeżeli prędkości przepływów są przeciwnie skierowane oraz skrzyżowane. W tym ostatnim przypadku wektory prędkości przepływów są do siebie prostopadłe.

Ilość ciepła w jednostce czasu wymianianego między cieczą roboczą a wodą podgrzewaną w wymienniku oblicza się z wzoru na strumień ciepła  $q$ . Zakładając z kolei stałość tego strumienia na powierzchni wewnętrznej  $F$  wymiennika obliczymy ilość wymianianego ciepła w jednostce czasu



Rys.45.2. Rozkład temperatur obu cieczy wzdłuż wymiennika

$$F \cdot q \cdot n = \dot{Q} = k \cdot F \cdot \Delta T, \quad (45.1)$$

gdzie  $F$ ,  $k$  i  $\Delta T$  oznacza pole powierzchni wymiany, współczynnik przenikania ciepła przyrost  $\Delta T$ .

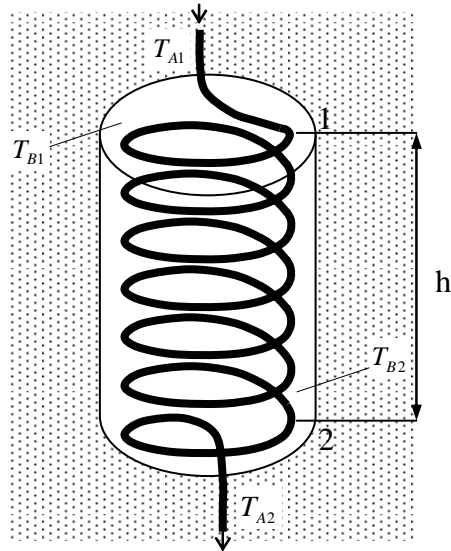
Przyrost temperatury  $\Delta T$  obliczymy z wzoru

$$\Delta T = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}. \quad (45.2)$$

Podstawowe zadanie jakie tu stawiamy: to obliczenie pola powierzchni wymiennika  $F$ . Jest ono równe zapotrzebowaniu na moc cieplną  $q$  podzieloną przez opór cieplny ściany wymiennika „ $k$ ” i różnicą temperatur przy wymianie ciepła.

Możemy stąd wyznaczyć poszukiwane pole powierzchni wymiennika

$$F = \frac{\dot{Q}}{k \cdot \Delta T}. \quad (45.3)$$



Rys.45.3. Schemat działania cylindrycznego wymiennika cieczowego

#### Przykład VIII.1

Należy wyznaczyć potrzebną wewnętrzną powierzchnię wymiany ciepła we współprądowym wymienniku ciepła, w którym dochodzi do wymiany mocy cieplnej  $F = 160\text{kW}$ . Przy czym spadek temperatury cieczy roboczej wynosi od  $373\text{K}$  do  $350\text{K}$  i towarzyszy mu podgrzanie wody od  $280\text{K}$  do  $320\text{K}$ . Współczynnik przenikania ciepła wynosi  $k = 1100\text{W/mk}$ .

#### Rozwiązanie:

Poszukiwaną powierzchnię  $A$  wyznaczamy z przybliżonego wzoru

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{qF}{k\Delta T} = \frac{qF}{k} \frac{\ln\Delta T_1 - \ln\Delta T_2}{\Delta T_1 - \Delta T_2} = \\
 &= \frac{160\,000}{1100[(37,3 - 280) - (350 - 330)]} \ln(373 - 280) - \ln(350 - 330) = \quad (45.4) \\
 &= 2,98\text{m}^2 \approx 3\text{m}^2
 \end{aligned}$$