

Ćwiczenie 6:

PRZEPŁYW CIEPŁA W ZBIORNIKOWYM MIESZALNIKU CIECZY

1. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się ze sposobami ogrzewania lub chłodzenia cieczy w aparatach zbiornikowych oraz określenie wpływu intensywności mieszania cieczy w mieszalniku z mieszadłem mechanicznym na intensywność przepływu ciepła.

2. WIADOMOŚCI WPROWADZAJĄCE

Wiele procesów prowadzonych w różnego typu aparatach zbiornikowych wymaga dostarczenia lub odbioru określonej ilości ciepła. Ciepło to wydziela się samorzutnie w efekcie przebiegu reakcji egzotermicznych lub też musi być dostarczane do przestrzeni reakcyjnej aparatu w celu podtrzymania reakcji endotermicznych. Regulacja temperatury płynu wewnątrz aparatu ułatwia również przebieg niektórych operacji mechanicznych. Jednym z przykładów takich operacji może być mieszanie cieczy, past lub zawiesin w mieszalnikach zbiornikowych z mieszadłem mechanicznym. Proces mieszania przyśpiesza również przebieg reakcji chemicznych prowadzonych w reaktorach zbiornikowych.

Znanych jest wiele odmian konstrukcyjnych mieszalników typu zbiornikowego. Różnorodność ta wynika ze zróżnicowanego kształtu zbiorników i samych mieszadeł, które mogą być w nich zainstalowane.

Podział mieszadeł zależy od przyjętego kryterium podziału. Ze względu na częstość obrotów wyróżnia się mieszadła:

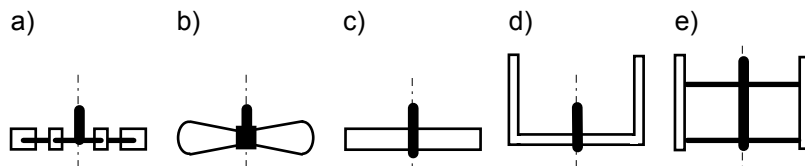
- wolnoobrotowe - przeznaczone zwykle do mieszania cieczy o dużej lepkości;
- szybkoobrotowe - stosowane do mieszania cieczy małowiskozych;

Bardziej obszerny podział mieszadeł związany jest z ich konstrukcją. Ze względu na to kryterium wyróżnić można mieszadła:

- turbinowe;
- śmigłowe;

- łapowe;
- kotwicowe;
- ramowe;
- o konstrukcji specjalnej.

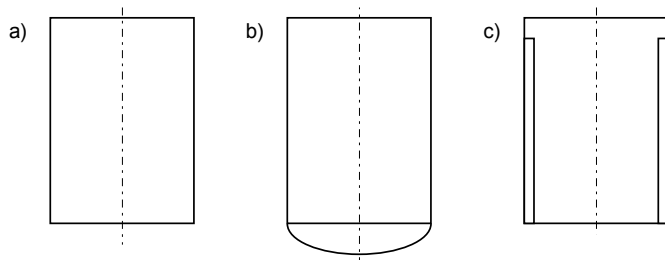
Kształt typowych mieszadeł przedstawiono na rys.1.



Rys.1. Kształt typowych mieszadeł

a) turbinowe, b) śmigłowe, c) łapowe, d) kotwicowe, e) ramowe

Drugim z zasadniczych elementów mieszalnika jest sam zbiornik. Stanowi go zwykle pionowy element cylindryczny zamknięty od dołu dnem płaskim lub elipsoidalnym. Zbiorniki mieszalników wyposaża się niekiedy w przegrody rozmieszczone na ich wewnętrznym obwodzie. Przegrody te ograniczają możliwość swobodnego wirowania cieczy w zbiorniku pod wpływem ruchu obrotowego mieszadła, a tym samym poprawiają efektywność procesu mieszania. Kształt typowych zbiorników mieszalników przedstawiono na rys.2.



Rys.2. Typowe zbiorniki mieszalników mechanicznych

- a) zbiornik cylindryczny z dnem płaskim;
- b) zbiornik cylindryczny z dnem elipsoidalnym;
- c) zbiornik cylindryczny z dnem płaskim i przegrodami.

Przebieg zjawisk zachodzących w mieszalniku o określonym kształcie mieszadła i zbiornika, zależy w dużym stopniu od charakterystycznych stosunków wymiarowych układu. Należą do nich:

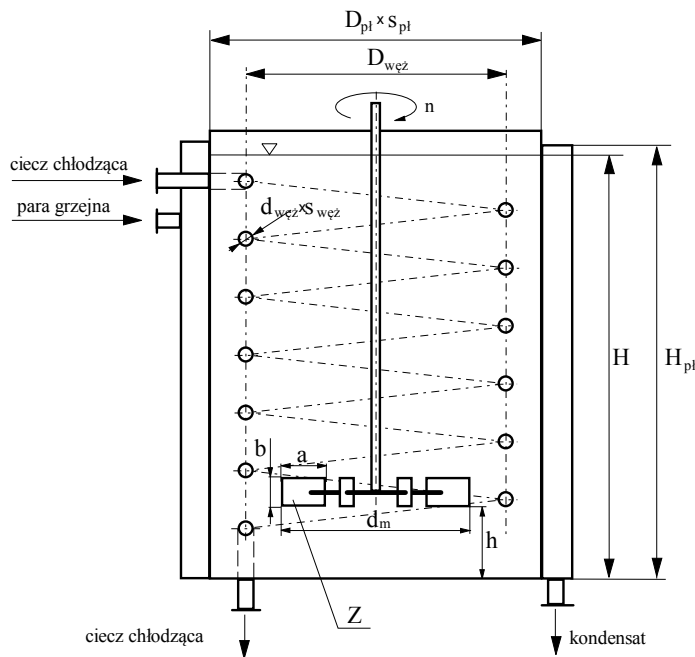
- stosunek średnicy zbiornika do średnicy mieszadła;
- stosunek odległości mieszadła od dna zbiornika do średnicy mieszadła;
- stosunek wysokości mieszadła do jego średnicy;

- stosunek średnicy zbiornika do wysokości napełnienia go cieczą;
- stosunek szerokości przegród do średnicy zbiornika.

Nie bez znaczenia pozostaje również:

- liczba łopatek mieszadła;
- liczba przegród w zbiorniku;
- prędkość obrotowa mieszadła;
- ustawienie mieszadła względem osi zbiornika;
- temperatura cieczy, a tym samym jej właściwości fizyczne.

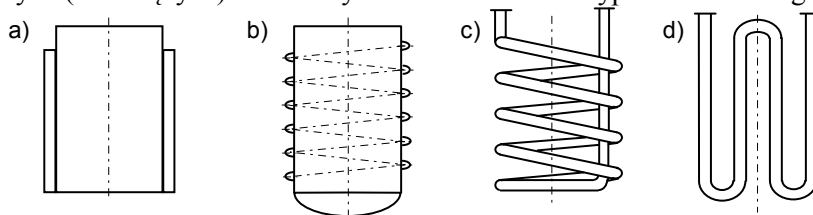
Podstawowe wymiary mieszalnika z dnem płaskim i mieszadłem turbinowym przedstawiono na rys.3.



Rys. 3. Podstawowe charakterystyczne wymiary mieszalnika z dnem płaskim, płaszczem grzejnym i wężownicą chłodzącą

Przepływ ciepła w mieszalniku może się odbywać poprzez płaszcz grzejny (chłodzący) lub też poprzez wężownicę zanurzoną w cieczy mieszanej. W pewnych przypadkach stosuje się obydwie sposoby przepływu ciepła. Może to być podyktowane koniecznością intensywnego grzania (lub chłodzenia) mieszanej cieczy, bądź też np. płaszcz służy do grzania, a wężownica do chłodzenia (lub na odwrót), jeżeli oba te etapy przepływu ciepła są realizowane kolejno po sobie.

Na rys.4. przedstawiono przykładowe rozwiązania konstrukcyjne powierzchni grzejnych (chłodzących) stosowanych w mieszalnikach typu zbiornikowego.



Rys. 4. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne powierzchni grzejnych (chłodzących) w mieszalnikach zbiornikowych

a) płaszcz zwykły, b) płaszcz z półrur, c) węzownica spiralna, d) węzownica pionowa

W przypadku wykorzystania nasyconej pary wodnej jako nośnika ciepła w układach grzewczych, bardziej celowym jest stosowanie układu ogrzewania wykonanego w postaci płaszcza zwykłego. Doprowadzana od góry płaszcza para ulega kondensacji na zewnętrznej pionowej powierzchni zbiornika, co ułatwia jej grawitacyjny spływ i odbiór u dołu płaszcza. Ułatwiony ruch kondensatu po pionowej ścianie, powoduje intensyfikację przepływu ciepła. Układy grzewcze wykonane w postaci węzownicy lub płaszcza z półrur lub kształtowników, powinny być natomiast stosowane w odniesieniu do płynów nie zmieniających swojego stanu skupienia w trakcie przepływu przez aparat. Dobre warunki dla wnikania ciepła po wewnętrznej stronie rury węzownicy można bowiem osiągnąć przy stosunkowo dużej prędkości przepływu płynu grzewczego. Prędkość tę można ustalić na drodze odpowiednio dobranej średnicy rury z której węzownica jest wykonana.

Powierzchnie chłodzące mieszalników prawie z reguły wykonuje się w postaci węzownic przez które tłoczony jest płyn pobierający ciepło, gdyż proces kondensacji pary w węzownicach przebiega mało efektywnie, a prędkość przepływu płynów w płaszczach zwykłych, ze względu na ich duże pole przekroju poprzecznego, jest niewielka.

Wnikanie ciepła w mieszalnikach jest bardziej złożone niż w przypadku rekuperatorów rurowych, a to ze względu na bardziej złożone warunki hydrodynamiczne, jakie panują w mieszalniku. Współczynnik wnikania ciepła w mieszalniku jest różny w zależności od miejsca na powierzchni przepływu ciepła, np. w przypadku mieszadeł turbinowych, dających promieniowy przepływ cieczy, najbardziej intensywny przepływ ciepła zachodzi na wysokości zawieszenia mieszadła. Dla obliczeń konstrukcyjnych mieszalnika, największe znaczenie mają wartości średniego współczynnika wnikania ciepła obowiązujące dla całego aparatu. Określenie wartości tego współczynnika umożliwiają

podawane w literaturze, np. [1], równania empiryczne, często obowiązujące dla konkretnych rozwiązań konstrukcyjnych mieszalników.

Dla wykorzystywanego w opisywanym ćwiczeniu mieszalnika z mieszadłem turbinowym o łopatkach prostych i dnem płaskim, nie zaopatrzonego w przegrody, wnikanie ciepła od płaszcza zwykłego wykonanego na części cylindrycznej zbiornika, do cieczy mieszanej, może być opisane równaniem

$$\text{Nu}_{\text{pł}} = 0,54 \text{Re}^{0,67} \text{Pr}^{0,33} \Omega \left(\frac{\eta_{\text{c}}}{\eta_{\text{c},\text{śc}}} \right)^{0,14}, \quad (1)$$

w którym bezwymiarowe liczby podobieństwa zdefiniowane są następująco

$$\text{Nu}_{\text{pł}} = \frac{\alpha_{\text{pł}} D_{\text{pł}}}{\lambda_{\text{c}}}, \quad (2)$$

$$\text{Pr} = \frac{c_{\text{p,c}} \eta_{\text{c}}}{\lambda_{\text{c}}}, \quad (3)$$

$$\text{Re} = \frac{n d_{\text{m}}^2 \rho_{\text{c}}}{\eta_{\text{c}}}, \quad (4)$$

$$\Omega = \left(\frac{D_{\text{pł}}}{d_{\text{m}}} \right)^{0,25} \left(\frac{b}{D_{\text{pł}}} \right)^{0,15} \left(\frac{h}{H} Z \right)^{0,15}. \quad (5)$$

Symbole występujące w równaniach (1)-(5) oznaczają:

η_{c} - współczynnika dynamiczny lepkości cieczy, Pa·s;

$\eta_{\text{c},\text{śc}}$ - współczynnika dynamiczny lepkości cieczy w temperaturze ściany, Pa·s;

$\alpha_{\text{pł}}$ - współczynnik wnikania ciepła do cieczy w zbiorniku, W/(m²K);

λ_{c} - współczynnik przewodzenia ciepła cieczy, W/(mK);

$c_{\text{p,c}}$ - ciepło właściwe cieczy, J/(kgK);

ρ_{c} - gęstość cieczy, kg/m³;

n - prędkość obrotowa mieszadła, 1/s;

$D_{\text{pł}}$, d_{m} , b , h , H , - wymiary wg oznaczeń z rys. 3;

Z - liczba łopatek.

Natomiast dla węzownicy zanurzonej we wnętrzu takiego mieszalnika, równanie opisujące proces wnikania ciepła może być zapisane w postaci

$$\text{Nu}_{\text{węż}} = 0,036 \text{Re}^{0,641} \text{Pr}^{0,353} \left(\frac{h_{\text{c}}}{h_{\text{c},\text{śc}}} \right)^{0,2} \left(\frac{D_{\text{pł}}}{D_{\text{węż}}} \right)^{0,375}. \quad (6)$$

Liczby podobieństwa w równaniu (6) zdefiniowane są następująco

$$\text{Nu}_{\text{węź}} = \frac{\alpha_{\text{węź}} d_{\text{węź}}}{\lambda_c}, \quad (7)$$

$$\text{Re} = \frac{n d_m^2 \rho_c}{\eta_c}, \quad (8)$$

$$\text{Pr} = \frac{c_{p,c} \eta_c}{\lambda_c}. \quad (9)$$

Poszczególne parametry występujące w równaniach (6)÷(9) są adekwatne do parametrów ujętych w równaniach (1)÷(5).

Do pomiaru współczynnika wnikania ciepła w ogrzewanych aparatach zbiornikowych stosuje się różne metody pomiarowe, realizowane w procesie ustalonego lub też nieustalonego ruchu ciepła.

Pomiary prowadzone w procesie ustalonym, w którym temperatura poszczególnych punktów układu nie ulega zmianie w czasie, mogą być przebiegać na drodze:

- równoczesnego grzania i chłodzenia cieczy w aparacie, przy wykorzystaniu płaszczu i węzownicy lub dwóch węzownic;
- grzania (chłodzenia) płaszczem albo węzownicą z jednoczesnym ciągłym przepływem cieczy mieszanej przez mieszalnik.

Pomiary współczynnika wnikania ciepła prowadzone w procesie nieustalonym, polegają na okresowym ogrzewaniu lub ochładzaniu cieczy w mieszalniku, z jednoczesnym pomiarem zmian temperatury mieszanej cieczy w czasie.

W opisywanym, ćwiczeniu, do wyznaczenia współczynnika wnikania ciepła wykorzystuje się pomiary prowadzone w warunkach ustalonych przy jednoczesnym ogrzewaniu cieczy w mieszalniku płaszczem grzejnym i chłodzeniu jej węzownicą. Sposób postępowania pozwalający na określenie wartości, mierzonych w sposób pośredni, wartości współczynnika wnikania ciepła oraz metodyka wyznaczania charakterystycznych dla procesu parametrów, jest następujący.

Płaszcz grzejny

Korzysta się z równania definicyjnego opisującego proces przenikania ciepła

$$Q_{pł} = k_{pł} F_{pł} \Delta T_{pł,m}, \quad (10)$$

w którym: $Q_{pł}$ - strumień ciepła przenikającego przez płaszcz grzejny do cieczy w mieszalniku, W;

$k_{pł}$ - współczynnik przenikania ciepła dla płaszcza, $W/(m^2K)$;
 $F_{pł}$ - powierzchnia przenikania ciepła płaszcza, m^2 ;
 $\Delta T_{pł,m}$ - średnia różnica temperatury pomiędzy płynem grzejnym i ciecżą w mieszalniku, K .

Przekształcając równanie (10) otrzymuje się

$$k_{pł} = \frac{Q_{pł}}{F_{pł} \Delta T_{pł,m}} \quad (11)$$

Z równania definicyjnego współczynnika przenikania ciepła wynika, że

$$\frac{1}{k_{pł}} = \frac{1}{\alpha_g} + \frac{s_{pł}}{\lambda_{pł}} + \frac{1}{\alpha_{c,pł}} + \Sigma \frac{1}{\alpha_o}, \quad (12)$$

gdzie: $k_{pł}$ - współczynnik przenikania ciepła od płynu grzejnego do cieczy w zbiorniku przez ściankę płaszcza, $W/(m^2 \cdot K)$;

α_g - współczynnik wnikania ciepła dla płynu grzejnego, $W/(m^2K)$;

$\alpha_{c,pł}$ - współczynnik wnikania ciepła po stronie cieczy ogrzewanej w zbiorniku, $W/(m^2K)$;

$s_{pł}$ - grubość ścianki płaszcza (zbiornika) mieszalnika, m ;

$\lambda_{pł}$ - współczynnik przewodzenia ciepła materiału ścianki, $W/(mK)$;

$\Sigma \frac{1}{\alpha_o}$ - opór cieplny osadów wydzielonych na ściance, $(m^2K)/W$.

Jeżeli ogrzewanie mieszalnika prowadzone jest nasyconą parą wodną, kondensującą się na powierzchni grzejnej płaszcza, to w równaniu (12) można pominąć człon $1/\alpha_g$, jako bardzo mały w porównaniu do pozostałych składników tego równania. Zatem

$$\frac{1}{k_{pł}} \approx \frac{s_{pł}}{\lambda_{pł}} + \frac{1}{\alpha_{c,pł}} + \Sigma \frac{1}{\alpha_o}, \quad (13)$$

czyli

$$\alpha_{c,pł} \approx \frac{1}{\frac{1}{k_{pł}} - \frac{s_{pł}}{\lambda_{pł}} - \Sigma \frac{1}{\alpha_o}} \quad (14)$$

Wstawiając do (14) zależność (11), po kilku prostych przekształceniach otrzymuje się ostatecznie

$$\alpha_{c,pt} \approx \frac{Q_{pt} \lambda_{pt}}{F_{pt} \lambda_{pt} \Delta T_{pt,m} - Q_{pt} s_{pt} - Q_{pt} \lambda_{pt} \sum \frac{1}{\alpha_o}}. \quad (15)$$

Strumień ciepła przenikającego przez powierzchnię grzejną płaszcza można określić z zadowalającą dokładnością poprzez pomiar strumienia powstającego kondensatu i wykorzystaniu równania

$$Q_{pt} = G_k r, \quad (16)$$

w którym: G_k - strumień kondensatu, kg/s;

r - ciepło kondensacji pary wodnej nasyconej o danym ciśnieniu, J/kg.

Przy uwzględnieniu strat ciepła cieczy w mieszalniku, strumień ciepła Q_{pt} może być także określony (dla ruchu ciepła w warunkach ustalonych) na podstawie bilansu cieplnego dla cieczy chłodzącej płynącej przez wężownicę, równanie (19).

Wobec stałej temperatury kondensującej pary wewnątrz płaszcza grzejnego i stałej średniej temperatury cieczy w mieszalniku (warunki ustalone ruchu ciepła) różnica temperatury, pod wpływem której zachodzi przenikanie ciepła

$$\Delta T_{pt,m} = t_k - t_c, \quad (17)$$

gdzie: t_k - temperatura kondensującej pary wodnej nasyconej, °C;

t_c - średnia (w objętości) temperatura cieczy w mieszalniku, °C.

Opór cieplny osadów oraz współczynnik przewodzenia ciepła ścian zbiornika określić można na podstawie tablic, np. [1].

Wężownica

Procedura postępowania przy wyznaczaniu współczynnika wnikania ciepła od cieczy w mieszalniku do powierzchni wężownicy jest podobna jak w przypadku płaszcza grzejnego. Z ogólnego równania dla przenikania ciepła oraz z równania opisującego współczynnik przenikania, otrzymuje się zależność

$$\alpha_{c,w\acute{e}z} = \left(\frac{F_{w\acute{e}z} \Delta T_{w\acute{e}z,m}}{Q_{w\acute{e}z}} - \frac{s_{w\acute{e}z}}{\lambda_{w\acute{e}z}} - \frac{1}{\alpha_{ch}} - \sum \frac{1}{\alpha_o} \right)^{-1} \quad (18)$$

w której: $\alpha_{c,w\acute{e}z}$ - współczynnik wnikania ciepła od cieczy w mieszalniku do wężownicy, W/(m²K);

α_{ch} - współczynnik wnikania ciepła dla cieczy chłodzącej wewnątrz wężownicy, W/(m²K);

$F_{w\acute{e}z}$ - powierzchnia przenikania ciepła wężownicy, m²;

$\Delta T_{w\acute{e}z,m}$ - średnia różnica temperatury pomiędzy cieczą w mieszalniku i cieczą chłodzącą w wężownicy, K;

$s_{w\acute{e}z}$ - grubość ścianki rury wężownicy, m;

$\lambda_{w\acute{e}z}$ - współczynnik przewodzenia ciepła materiału wężownicy, W/(mK);

$\Sigma \frac{1}{\alpha_o}$ - opór cieplny osadów po obu stronach wężownicy, (m²K)/W;

Strumień ciepła pobieranego przez ciecz chłodzącą wynika z równania bilansu cieplnego dla tego płynu

$$Q_{w\acute{e}z} = G_{ch} c_{p,ch} (t_{ch,wyl} - t_{ch,wl}) \quad (19)$$

w którym: $Q_{w\acute{e}z}$ - strumień ciepła, W;

G_{ch} - strumień cieczy chłodzącej, kg/s;

$c_{p,ch}$ - ciepło właściwe cieczy chłodzącej w jej temperaturze średniej, J/(kgK);

$t_{ch,wyl}$ - temperatura cieczy chłodzącej na wylocie z wężownicy, °C;

$t_{ch,wl}$ - temperatura cieczy chłodzącej na wlocie do wężownicy, °C;

Średnia różnica temperatury pomiędzy cieczą w mieszalniku i cieczą chłodzącą w wężownicy może być wyznaczona jako średnia logarytmiczna

$$\Delta T_{w\acute{e}z,m} = \frac{t_{ch,wyl} - t_{ch,wl}}{\ln \frac{t_c - t_{ch,wl}}{t_c - t_{ch,wyl}}} \quad (20)$$

w której: t_c - średnia (w objętości) temperatura cieczy w mieszalniku, °C;

$t_{ch,wyl}$, $t_{ch,wl}$ - jak w równaniu (19).

Jeżeli w trakcie prowadzenia pomiarów zapewni się burzliwy przepływ cieczy chłodzącej w wężownicy, to współczynnik wnikania ciepła dla płynu chłodzącego wyznacza się na podstawie równania

$$\alpha_{ch} = 0,023 \left(1 + 3,54 \frac{d_{w,w\acute{e}z}}{D_{w\acute{e}z}} \right) \frac{\lambda_{ch}}{d_{w,w\acute{e}z}} Re_{ch}^{0,8} Pr_{ch}^{0,4} \quad (21)$$

w którym: $d_{w,w\acute{e}z}$ - średnica wewnętrzna rury wężownicy, m;

$D_{w\acute{e}z}$ - średnica zwojów wężownicy, m;

Re_{ch} - liczba Reynoldsa dla cieczy chłodzącej, -;

Pr_{ch} - liczba Prandtla dla cieczy chłodzącej, -;

Liczba Reynoldsa dla cieczy chłodzącej

$$Re_{ch} = \frac{4 G_{ch}}{\pi d_{w,węż} \eta_{ch}}, \quad (22)$$

liczba Prandtla dla cieczy chłodzącej

$$Pr = \frac{c_{p,ch} \eta_{ch}}{\lambda_{ch}} \quad (23)$$

Właściwości fizyczne w (22) i (23) wyznaczyć należy dla temperatury średniej

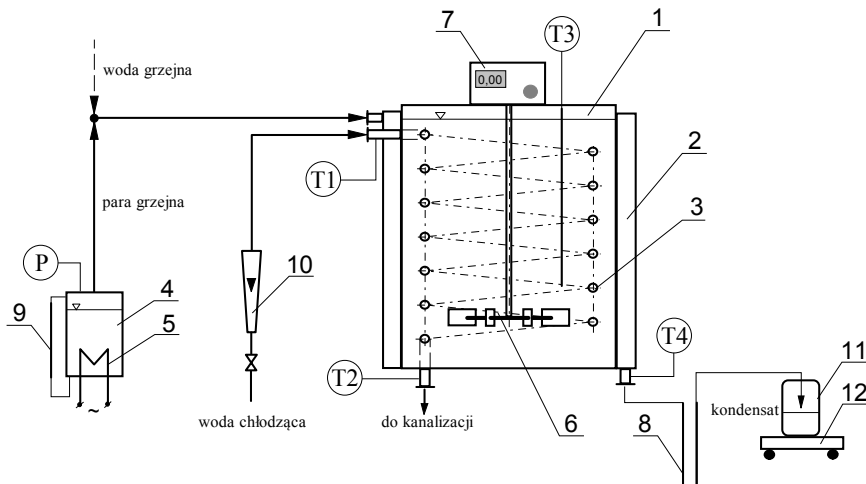
$$t_{śr,ch} = \frac{t_{ch,wł} + t_{ch,wyl}}{2} \quad (24)$$

Opór cieplny osadów i przewodność cieplną materiału węzownicy podaje literatura, np. [1].

Wyznaczenie wartości współczynnika wnikania ciepła dla płaszcza i węzownicy przy różnej prędkości obrotowej mieszadła pozwala na ocenę wpływu mieszania na intensywność ruchu ciepła w mieszalniku.

3. OPIS STANOWISKA LABORATORYJNEGO

Schemat stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Schemat stanowiska pomiarowego

1 - zbiornik, 2 - płaszcz grzejny, 3 - węzownica, 4 - wytwornica pary, 5 - grzałka, 6 - mieszadło, 7 - układ sterowania obrotami mieszadła, 8 - zamknięcie wodne, 9 - cieczowskaz, 10 - rotametr, 11 - zlewka, 12 - waga, T1, T2 - pomiar temperatury cieczy chłodzącej, T3 - pomiar temperatury cieczy w mieszalniku, T4 - pomiar temperatury kondensatu, P - pomiar ciśnienia pary

Głównym elementem stanowiska jest mieszalnik z cylindrycznym zbiornikiem (1) o dnie płaskim, wyposażony w zwykły płaszcz grzewczy (2). Zbiornik mieszalnika w trakcie pomiarów jest wypełniony wodą. We wnętrzu zbiornika umieszczono węzownicę miedzianą (3) oraz mieszadło turbinowe (6) z układem sterowania prędkości obrotowej (7). Na obudowie układu sterowania znajduje się pokrętko regulacyjne i wyświetlacz cyfrowy. Stanowiąca płyn grzejny nasycona para wodna, wytwarzana jest w wytwornicy (4) ogrzewanej grzałką elektryczną (5). Zasilanie grzałki odbywa się poprzez autotransformator. Zamknięcie wodne (8) uniemożliwia wypływ nieskroplonej pary z płaszcza grzejnego. Termometry T1 i T2 mierzą temperaturę wody chłodzącej, termometr T3 temperaturę cieczy w zbiorniku, a termometr T4 wskazuje temperaturę kondensatu. Manometr P umożliwia kontrolę ciśnienia, a tym samym parametrów, nasyconej wytwarzanej pary wodnej. Wymiary poszczególnych elementów mieszalnika, wg oznaczeń z rys. 3, są następujące:

$$D_{pl} \times s_{pl} = 280 \times 3 \text{ mm}, \quad H_{pl} = 280 \text{ mm}, \quad h = 150 \text{ mm}, \quad Z = 6 \text{ sztuk}, \\ d_{w\acute{e}z} \times s_{w\acute{e}z} = 12 \times 1 \text{ mm}, \quad D_{w\acute{e}z} = 200 \text{ mm}, \quad a \times b = 25 \times 25 \text{ mm}, \quad d_m = 100 \text{ mm}.$$

Węzownica wykonana jest z rury miedzianej o długości całkowitej 8 m, płaszcz z blachy stalowej. Pomiar strumienia wody chłodzącej umożliwia rotametr (10) wyskalowany w dm^3/h . Ilość tworzącego się kondensatu określana jest poprzez ciągłe ważenie skroplin spływających do zlewki (11).

W celu ograniczenia strat ciepła do otoczenia, cały mieszalnik zaizolowano warstwą materiału ciepłochronnego.

4. METODYKA PROWADZENIA POMIARÓW

W celu przeprowadzenia badań współczynników wnikania ciepła w mieszalniku przedstawionym na rys. 5., należy:

- a) sprawdzić i ewentualnie uzupełnić poziom wody w zbiorniku mieszalnika, tak ażeby węzownica była całkowicie zanurzona;
- b) zmierzyć poziom cieczy w zbiorniku, zanurzając w niej linijkę;
- c) w przypadku ogrzewania parą wodną, sprawdzić poziom wody w wytwornicy i poprzez autotransformator włączyć grzałkę;
- d) w przypadku ogrzewania gorącą wodą, wymusić jej przepływ przez płaszcz;
- e) wymusić przepływ wody chłodzącej przez węzownicę;
- f) odczekać ok. 15 minut w celu termicznej stabilizacji stanowiska, czyli do momentu, gdy wskazania termometrów cieczy chłodzącej i wody w zbiorniku mieszalnika nie będą ulegały zmianie przez okres ok. 5 minut;
- g) okres stabilizacji termicznej przy ogrzewaniu parowym należy liczyć od chwili, w której rozpocznie się odbiór kondensatu;

- h) po okresie stabilizacji termicznej stanowiska, dokonać odczytu temperatury cieczy w zbiorniku, temperatury wody chłodzącej na wlocie i wylocie z węzownicy, strumienia wody chłodzącej i masy kondensatu wytwarzającego się w określonym czasie;
- i) wyniki zanotować w tabeli;
- j) włączyć zasilanie układu sterowania mieszadłem i ustalić jego prędkość obrotową na 4 obr/s;
- k) powtórzyć czynności wg punktów f) ÷ i), dokonując ewentualnej korekty wielkości strumienia wody w węzownicy;
- l) powtórzyć pomiary przy prędkości obrotowej mieszadła 8 obr/s i 12 obr/s.

Przeływ ciepła w mieszalniku zbiornikowym						
Ciecz mieszana: woda						
Płyn grzejny:						
Ciecz chłodząca: woda						
Powierzchnia grzejna płaszczu: m ²						
Powierzchnia przepływu ciepła węzownicy: m ²						
Rodzaj mieszadła: turbinowe, z sześcioma łopatkami prostymi						
Kondensat		Obroty mieszadła	Strumień wody chłodzącej	Temperatura wody		
przyros masy	czas			mieszanej	chłodzącej na wlocie	chłodzącej na wylocie
kg	s	obr/s	dm ³ /h	°C	°C	°C

5. ZAKRES OPRACOWANIA WYNIKÓW

1. Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów wyznaczyć współczynniki wnikania ciepła dla węzownicy przy różnej prędkości obrotowej mieszadła, równania (18)÷(24).
2. Jeżeli ogrzewanie prowadzono parą wodną, wyznaczyć również współczynnik wnikania ciepła dla płaszczu grzejnego, równania (15)÷(17).
3. Sporządzić wykresy zależności współczynnika wnikania ciepła od prędkości obrotowej mieszadła dla węzownicy i ewentualnie płaszczu grzejnego.
4. Określić współczynniki wnikania na drodze rachunkowej, równania (1)÷(9).
5. Porównać uzyskane wartości współczynników zmierzonych i obliczonych.
6. Podać wnioski z przeprowadzonego ćwiczenia.

6. LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA

- [1] TRONIEWSKI L. i inni: Tablice do obliczeń procesowych, skrypt PO nr 186, Opole 1997
[2] STREK F.: Podstawy teorii i techniki mieszania, WNT W-wa 1976
[3] HOBLER T.: Ruch ciepła i wymienniki, WNT W-wa 1986

7. TEMATYKA ZAGADNIEŃ KONTROLNYCH

1. Sposoby ogrzewania i chłodzenia aparatów zbiornikowych.
2. Rozwiązania konstrukcyjne mieszalników zbiornikowych.
3. Ruch ciepła na drodze wnikania i przenikania.
4. Wpływ warunków mieszania na ruch ciepła w mieszalniku.
5. Rodzaje nośników ciepła w przepływowym ogrzewaniu aparatury procesowej.