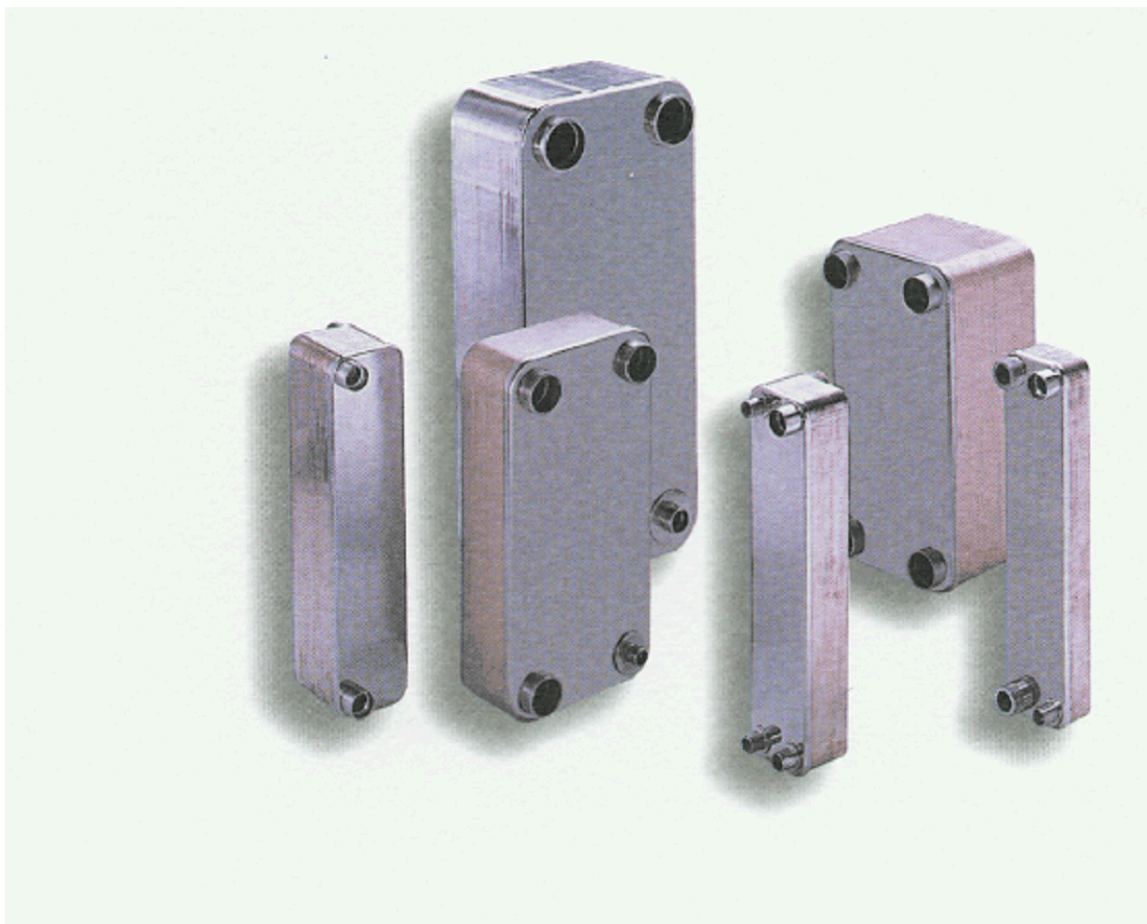


WYMIENNIKI CIEPŁA O PŁYTACH TWARDOLUTOWANYCH



Spis treści

1. OD AUTORA	4
2. NAJCZĘSTSZE PYTANIA I ODPOWIEDZI	5
3. ROZWIĄZANIE TECHNICZNE	7
3.1. Korzyści	7
3.2. Modele standardowe	8
3.2.1. Tabliczka znamionowa	9
3.3. Dodatki	9
3.4. Kontrola jakości	10
3.5. Reklamacje	10
3.6. Wymiar	10
3.6.1. Materiały	11
3.6.2. Warunki eksploatacji	11
3.6.3. Certyfikaty	11
3.7. Złącza	11
4. ZASTOSOWANIA	14
4.1. Ogólne wskazówki doboru urządzeń	14
4.2. Parownik	15
4.2.1. Wprowadzenie	15
4.2.2. Nierównomierność rozplywu (zła dystrybucja) – System-EV	16
4.2.3. Fizyczna wysokość / Liczba płyt	17
4.2.4. Długość cieplna	17
4.2.5. Ograniczenia instalacyjne parowników	18
4.2.6. Złącza parowników	18
4.2.7. Parownik a sprężarka	18
4.3. Skraplacz	19
4.3.1. Wprowadzenie	19
4.3.2. Opis procesu	21
4.4. Zrównoważenie systemu	21
4.5. Wykres ciśnienie-entalpia	21
4.6. Zastosowania parowe	23
4.7. Zastosowania w basenach pływackich	24

5. INSTALACJA	24
5.1 Instrukcje ogólne	24
5.2 Wibracje i pulsacje	24
5.3 Złącza lutowane	25
5.4 Złącza gwintowane	25
5.5 Maksymalna prędkość przepływu wody	26
5.6 Zanieczyszczenia mechaniczne w systemie	26
5.7 Ochrona przed zamarzaniem	27
5.8 Chemiczne czyszczenie BPHE	28
5.8.1 Układy otwarte wodne	28
5.8.2 Metoda czyszczenia	29

1. OD AUTORA

Celem tego katalogu jest objaśnienie czytelnikowi wymienników płytowych (wymienniki nazywane dalej: „BPHE”) opracowanych, wyprodukowanych przez firmę WTK. Służy on także wyjaśnieniu do jakich zastosowań należy je używać, a do jakich nie. Jak radzić sobie ze skomplikowanymi zastosowaniami i instalacją; jak utrzymywać jego wysoką wydajność i co robić, aby ją zachować przez długi okres czasu.

Niniejszy podręcznik techniczny nie jest przewidziany do przeczytania "od deski do deski", a następnie odłożenia na półkę. Winien raczej służyć jako narzędzie przy pojawianiu się pytań wraz z upływem czasu.

Przyjemnej lektury!
Dyrekcja WTK

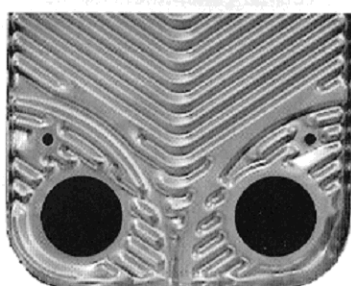
2. NAJCZĘSTSZE PYTANIA I ODPOWIEDZI

- P1 *Wymiennik nie jest odpowiednio oznakowany. Jak określić, po której stronie jest o jeden kanał mniej?*
O1 Zmierz głębokość portu. Włóż patyczek w złącze. Strona, po której jest o jeden kanał mniej, jest ok. 2,5 mm płytsza.
- P2 *O ile zmniejszy się wydajność, jeśli zastosować przepływ współbieżny zamiast przeciwbieżnego?*
O2 Firma WTK zaleca dla większości zastosowań przepływ przeciwbieżny. Wyjątkiem są zastosowania termosyfonowe przy niewielkiej różnicy temperatur. Nie można ogólnie odpowiedzieć na pytanie o utratę wydajności, choć może ona być znaczna.
- P3 *Czy można użyć BPHE w zastosowaniach dot. basenów pływackich?*
O3 Owszem, pod pewnymi warunkami. Patrz § 4.7.
- P4 *Czy można użyć BPHE w zastosowaniach dot. pary wodnej?*
O4 Owszem, pod pewnymi warunkami. Patrz § 4.6.
- P5 *Kiedy trzeba użyć systemu EV, a kiedy nie?*
O5 System EV zaleca się przy bezpośrednim odparowaniu (zasilanie zaworem rozprężnym), gdy używa się więcej niż 30 płyt.
- P6 *Czy można obrócić to urządzenie?*
O6 Tak, można przy wszystkich zastosowaniach, z wyjątkiem zastosowań wymagających użycia systemu EV.
- P7 *Czy wymienniki BPHE nadają się do zastosowań termosyfonowych?*
O7 Owszem, nadają się, ale przy tych zastosowaniach nie można użyć systemu EV. Należy sprawdzić, czy wlot jest na dnie "strony oznakowanej", która ma o jeden kanał mniej. W ten sposób czynnik chłodniczy otoczony jest chłodziwem i osiąga się wyższą wydajność.
- P8a *W trakcie transportu wewnętrznego wymiennik BPHE uległ fizycznemu uszkodzeniu po upuszczeniu go na podłogę. Jak można sprawdzić, czy nadal jest w porządku?*
O8a Aby upewnić się w 100%, należy przeprowadzić ten sam test, jaki wykonuje firma WTK w celu weryfikacji właściwej jakości urządzenia, patrz § 3.4.
- P8b *Przy testowaniu wymiennika okazało się, że utracił szczelność. Czy można je uszczelnić poprzez lutowanie na zewnątrz?*
O8b Firma WTK nie zaleca napraw poprzez lutowanie. Jeśli jednak pomimo tego klient chce naprawić wymiennik, należy użyć srebrnego lutu 45%. Oczywiście nie ma gwarancji powodzenia.

- P9 *Czy w wymienniku BPHE można stosować wodę dejonizowaną?*
O9 Sam wymiennik BPHE radzi sobie z wodą dejonizowaną. Zastosowanie takie może jednak sprawiać problemy, ponieważ miedź wchodzi w reakcję z wodą dejonizowaną.
- P10 *Czy można zrealizować układ z odessaniem (proces pump-down)?*
O10 Należy unikać układu z odessaniem (pump-down), ponieważ w trakcie tego procesu znaczne jest ryzyko zamarznięcia.

3. ROZWIĄZANIE TECHNICZNE

Wymiennik Ciepła o Płytach Twardolutowanych (BPHE, Brazed Plate Heat Exchanger) jest kompaktowym wymiennikiem ciepła składającym się z płyt (**Rys. 1**) ze stali nierdzewnej (AISI 316), na stałe przylutowanych do siebie czystą miedzią (99,9% Cu). Płyty te są ułożone jedna nad drugą i tworzą komory przepływowe dla dwóch lub więcej mediów. Płyty te opierają się na pewnej liczbie punktów kontaktowych powstałych tam, gdzie napotykają na siebie grzbiety wytłoczeń. Brzeg każdej z płyt jest zagięty w dół, tak aby stykał się z płytą sąsiednią, co wiąże płyty w pakiet. Na górze i na dole umieszczone są grubsze, niewytłaczane płyty, które chronią płyty umieszczone pomiędzy nimi i poprawiają charakterystykę techniczną. Do górnej i dolnej płyty odpowiednio przytwierdzone są złącza.



Rys. 1. Wytłoczona płyta BPHE

W procesie tłoczenia płyty zaopatrzone w wytłoczenia. Przy montażu co drugą płytę obrócono o 180°, aby utworzyć komory przepływu dla mediów. Płyty wytłoczono aby zoptymalizować przekazywanie ciepła i spadek ciśnienia. Kąt i głębokość wytłoczeń określają termiczne i hydrauliczne własności wymiennika BPHE. Dla producenta wymienników BPHE szczególnie ważna jest pełna kontrola nad optymalizacją wytłoczeń płyt.

Procedurę twardego lutowania przeprowadza się w piecu próżniowym firmy WTK. Miedź topi się, a siła kapilarna kieruje ją do punktów styku, gdzie twarnieje w procesie stygnięcia. Dzięki połączeniu ze sobą lutem miedzianym wszystkich punktów styku wytrzymałość urządzenia BPHE na ciśnienie rozrywające wynosi ponad 150 barów.

3.1. Korzyści

Zasadniczo są dwie podstawowe korzyści ze stosowania wymienników BPHE, a mianowicie ich

niewielkie rozmiary oraz konkurencyjna cena.

Poniżej zestawiono inne, warte wspomnienia, ogólne korzyści:

- WYSOKI współczynnik przejmowania ciepła,
- MAŁA różnica temperatur,
- DUŻA powierzchnia przejmowania ciepła na płycie,
- MNIEJSZA ilość czynnika chłodzącego,
- MNIEJSZA ilość wody/solanki

7/29

- DUŻA turbulencja,
- MAŁE ryzyko zanieczyszczenia.

3.2. Modele standardowe

Są trzy różne rozmiary płyt, z których każdy ma konkretny obszar przejmowania ciepła. Płyty poszczególnych rozmiarów sprzedawane są z różnymi rodzajami złączy na górnej i dolnej płycie.

Tab.1. Standardowe liczby pakietów płyt

P7	P15	P30
P7-10	-	-
P7-14	-	-
P7-20	-	-
P7-24	-	-
P7-30	P15-30	-
P7-40	P15-40	P30-40
P7-50	P15-50	P30-50
P7-60	P15-60	P30-60
P7-80	P15-80	P30-80
-	P15-100	P30-100
-	-	P30-120
-	-	P30-150
-	-	P30-200

Model standardowy winien spełniać następującą charakterystykę:

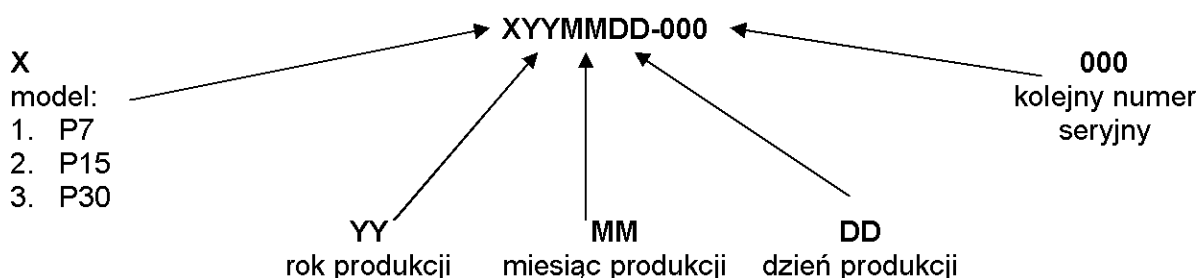
- od czterech do ośmiu złączy, różne ustawienia na płycie górnej i dolnej,
- plastikowe kołpaki ochronne na złączach,
- oznaczenie strony o mniejszej o jeden liczbie kanałów,
- tabliczka znamionowa z numerem seryjnym umożliwiającym identyfikację poszczególnych wymienników z odpowiadającym mu certyfikatem materiałowym, a także certyfikatem wytworzenia, np. procedury lutowania w piecu próżniowym.

3.2.1. Tabliczka znamionowa

Poniżej przedstawiono przykład tabliczki znamionowej dla modelu P30. Każde urządzenie BPHE zaopatrzone jest w tabliczkę znamionową tego typu.

Model	P30 - 100			
Pozycja	1	2	3	4
Złącze	Ev	S	T	
Numer seryjny	XYMMDD-000			
Wyprodukowano	9910			
		Pierwotne	Wtórne	
Ciśnienie znamionowe (bar)		30	30	
Temperatura znamionowa (°C)		200	200	
Objętość (dm ³)		26,0	26,5	
Certyfikowane przez:	TÜV, ISPEL, SAQ			

Numer seryjny utworzono w następujący sposób:



3.3. Dodatki

Do modeli standardowych mogą być dodane następujące opcje:

- **Izolacja:** Każdy z modeli P7 i P15 może być wyposażony w zapinaną izolację. Jest to izolacja zdejmowana. Materiałem jest elastomer.
- **Śruby mocujące:** Wszystkie modele mogą być wyposażone w ułatwiającą instalację śruby mocujące na górnej i dolnej płycie.
- **Uchwyty dla modeli P30:** Największe modele mogą być zaopatrzone w ułatwiające transport uchwyty.
- **Połączenia kołnierzowe:** Modele P15 i P30 mogą być dostarczone z połączeniami kołnierzowymi.

3.4. Kontrola jakości

Procedura testowa służy wykrywaniu egzemplarzy wymienników, które nie spełniają wymogów jakościowych. Wymogi jakościowe mogą określać klienci, lub sam WTK, a także strony trzecie. W celu wykrywania 100% egzemplarzy wymienniki, które nie spełniają wymogów jakościowych, uruchomiono specjalną procedurę testową. W jej trakcie każdy egzemplarz BPHE przechodzi następującą czterostopniową procedurę kontroli jakości:

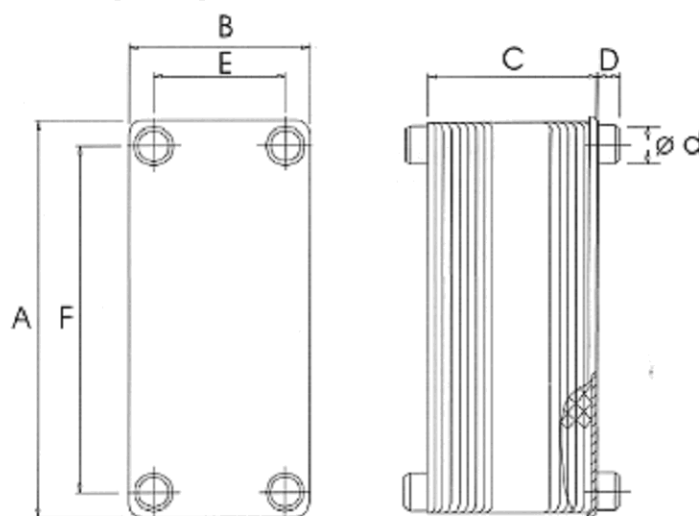
Próba próżniowa strony pierwszej $2,0 \times 10^{-7}$ barów,
 Próba ciśnieniowa strony pierwszej 39 barów,
 Próba ciśnieniowa strony drugiej 39 barów,
 Próba próżniowa strony drugiej $2,0 \times 10^{-7}$ barów

Gdy tylko jakiś egzemplarz BPHE nie osiąga tych wyników w dowolnym punkcie, test przerywa się, wadliwy BPHE wycofuje, a następnie podejmuje drobiazgową analizę aby wykryć, co było powodem wady.

3.5. Reklamacje

Każda reklamacja klienta jest kompleksowo analizowana. Klienta szczegółowo informuje się o jej skutku i jego przyczynie.

3.6. Wymiary



Rys. 3. Wymiary

Tab. 2: Wymiary BPHE produkcji WTK

MODEL	A [mm]	B [mm]	E [mm]	F [mm]	Pojemność na kanał [dm ³]	Powierzchnia wymiany ciepła na płytę [m ²]	Waga pustego [kg]
P7	526	120	66,3	473	0,12	0,070	2,3+0,20 x N
P15	530	265	177	439	0,27	0,15	8,1+0,44 x N
P30	782	350	220	655	0,53	0,30	16,1+0,86 x N

C = 9+2,56 x N [mm]

dla P7

C = 10+2,48 x N [mm]

dla P15

C = 11+2,90 x N [mm]

dla P30

D = 27 [mm]

N = Liczba płyt

3.6.1. Materiał

Płyty i złącza: AISI 316 (W.-1.4401, SS 2347)

Twardy lut: Miedź (99,9% Cu)

3.6.2. Warunki eksploatacji

Wymienniki BPHE są przeznaczone do pracy w następujących temperaturach i ciśnieniach:

Dopuszczalne ciśnienie robocze: max. 30 barów

Dopuszczalna temperatura robocza: max. +200°C min. -160°C

Można stosować je w systemach, gdzie temperatura i ciśnienie mediów nie przekraczają jednocześnie +200°C oraz 30 barów. Przy obniżonych ciśnieniach roboczych można stosować temperatury robocze do +300°C.

3.6.3. Certyfikaty

Wszystkie modele BPHE produkcji WTK uzyskały certyfikaty ISPEL, TUV oraz SAQ. Kopie certyfikatów do uzyskania na żądanie.

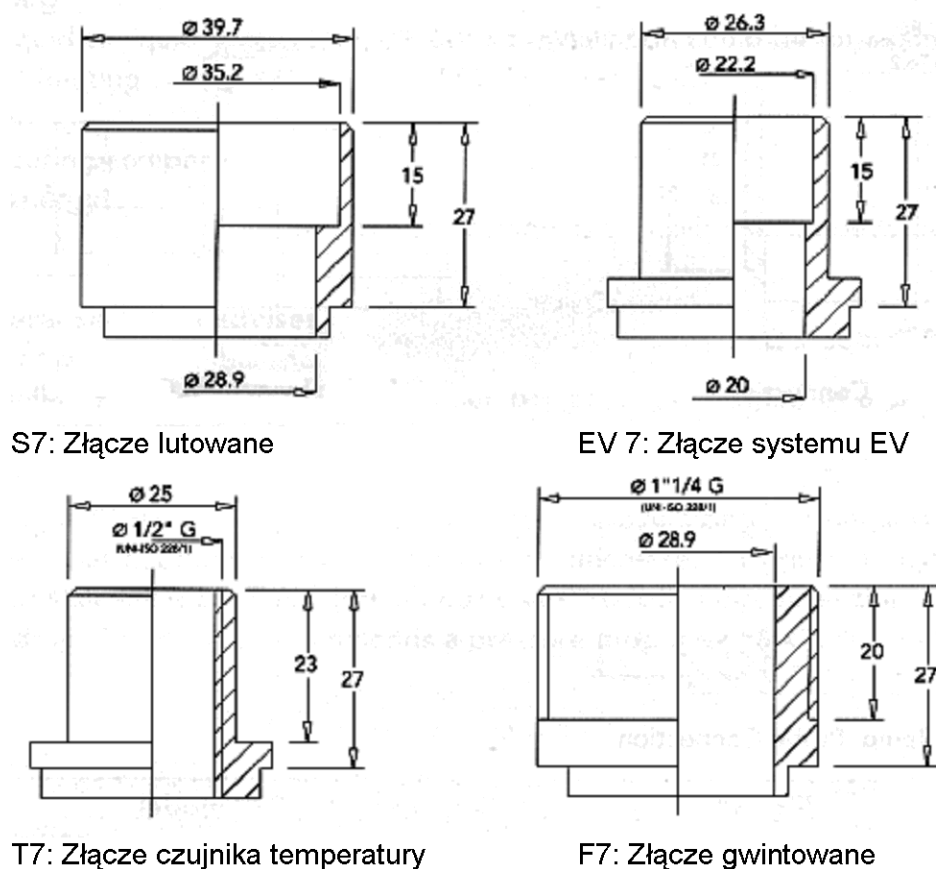
3.7 Złącza

Modele P7 oraz P15 sprzedaje się ze złączami lutowanymi oraz/lub gwintowanymi (Tab. 3). Model P30 ma standardowe złącze lutowane. Oba modele P15 i P30 można otrzymać z kołnierzami. Do wymienników BPHE z systemem EV należy stosować specjalne mniejsze złącza lutowane. Jeśli potrzeba zainstalować czujnik temperatury, należy użyć standardowego złącza czujnika temperatury (żeńskiego). Wysokość wszystkich złączy (z wyjątkiem kołnierzy) wynosi 27 mm.

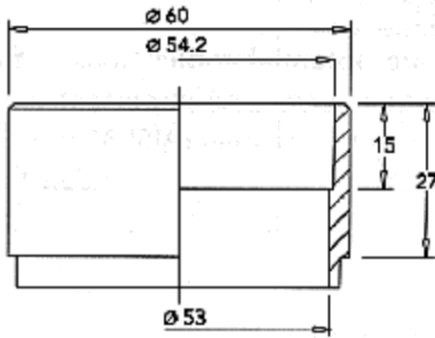
Tab. 3

MODEL	Średnica wewnętrzna standardowego -go złącza lutowanego [mm]	Standardowe złącze systemu EV [mm]	Standardowe złącze gwintowane męskie	Standardowe złącze czujnika temperatury żeńskie	Standardowy układ śrub mocujących
P7	35,2	22,2	1"1/4	1/2"	2 szt. M8x23
P15	54,2	22,2	2"	1"	4 szt. M8x23
P30	76,2	35,2		1"1/2	4 szt. M15x23

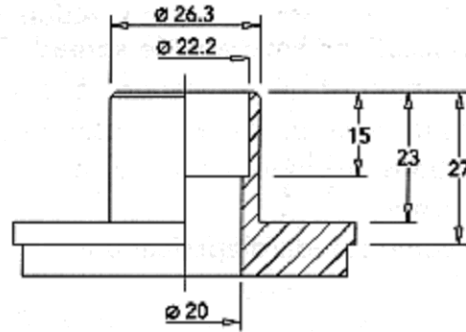
Dalsze szczegóły znaleźć można na poniższych rysunkach. (Rys. 4, 5 oraz 6), na których przedstawiono wszystkie typy standardowych złączy produkowanych dla wymienników BPHE firmy WTK.



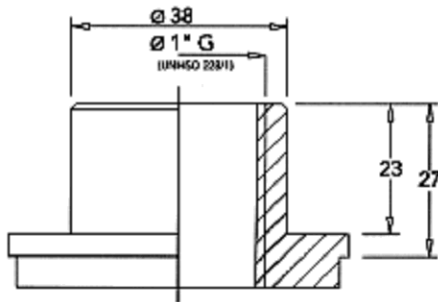
Rys. 4. Dane złączy dla BPHE model P7



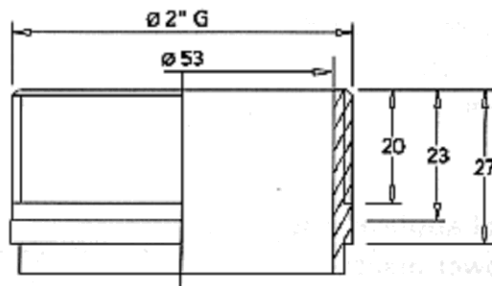
S15: Złącze lutowane



EV 15: Złącze systemu EV

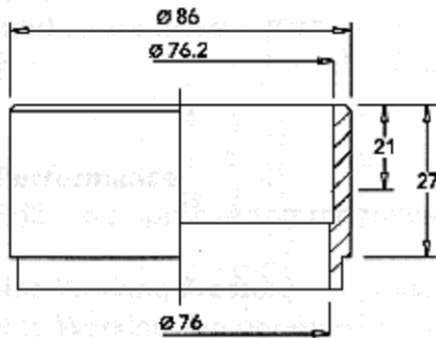


T15: Złącze czujnika temperatury

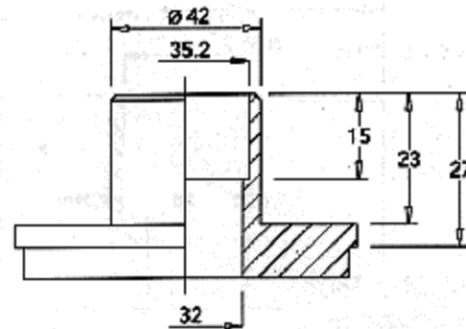


F15: Złącze gwintowane

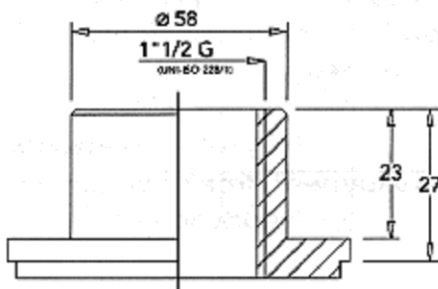
Rys. 5. Dane złącz dla BPHE model P15



S30: Złącze lutowane



EV 30: Złącze systemu EV



T30: Złącze czujnika temperatury

Rys. 6. Dane złącz dla BPHE model P30

4. ZASTOSOWANIA

Wymienniki BPHE służą wielu różnorodnym zastosowaniom. Mogą być stosowane w zasadzie w każdej dziedzinie, gdzie ciecz lub gaz wymieniają ciepło z innym medium.

Ważnym kryterium jest to, że medium takie musi być kompatybilne z miedzią (Cu) oraz stalą nierdzewną (AISI 316).

Pewne zastosowania są bardziej powszechne niż inne, jak np. parownik, skraplacz i wymiennik woda-woda.

Poniżej podano niektóre standardowe zastosowania:

Chłodnictwo/klimatyzacja

- Parowniki
- Skraplacze
- Dochładzacz cieczy
- Ekonomizery
- Odzysk ciepła przegrzania, (schładzacz)
- Chłodnice oleju
- Kaskady

Zastosowania przemysłowe

- Elektrownie napędzane silnikami Diesla,
 - Chłodzenie oleju,
 - Odzysk ciepła,
- Własne elektrownie zakładowe

III. Ciepłownictwo

Głównie zastosowania ciecz-ciecz, gdzie instalacją może być, na przykład:

- Centralne ogrzewanie (węzły ciepłe)
- Kotły
- Energia słoneczna

4.1. Ogólne wskazówki doboru urządzeń

Liczba płyt

O ile to możliwe, wybierajcie raczej większy model z mniejszą liczbą płyt, niż model mniejszy o większej liczbie płyt. Powodem jest mniejsze ryzyko wycieku oraz ryzyka nierównomiernego rozplywu (złej dystrybucji) przy pewnych zastosowaniach.

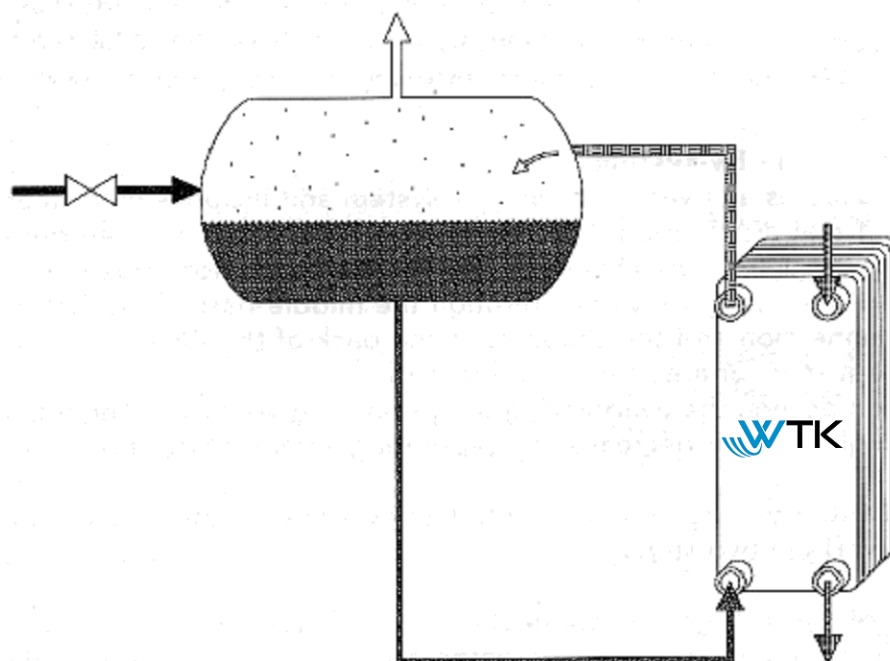
Turbulencja-przewymiarowanie

Przy doborze urządzenia BPHE ważne jest, aby uwzględnić przewymiarowanie. Jeśli wybrana jednostka jest o wiele za duża, spada turbulencja. To z kolei powoduje zmniejszenie wydajności przejmowania ciepła i samooczyszczania. Jako parametr odniesienia może posłużyć spadek ciśnienia. Firma WTK zaleca spadek ciśnienia ponad 10 kPa.

4.2. Parownik

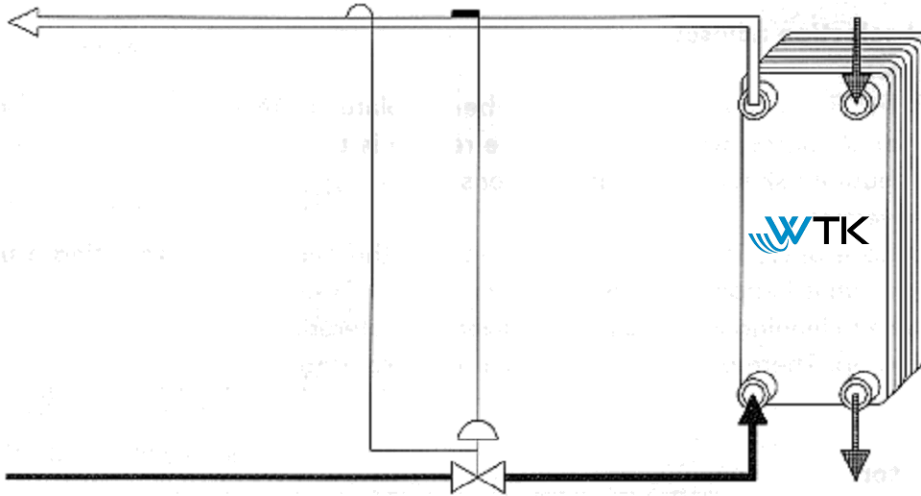
4.2.1. Wprowadzenie

Zasadniczo są dwa rodzaje zastosowań jako parownik: bezpośrednie odparowanie (zasilanie zaworem rozprężnym) i systemy zalane (np. termosyfon). Zastosowanie zalane (Rys. 7.) występuje w paru odmianach, którymi nie będziemy się dalej zajmować w tym katalogu, choć na żądanie przedstawimy ich definicje.



Rys. 7. System zalany

Najczęstszym zastosowaniem BPHE jest bezpośrednie odparowanie. Czynnik chłodniczy zanim dostanie się do parownika przepływa przez zawór rozprężny (Rys. 8.). Większość mediów przepływając przez zawór rozprężny osiąga ok. 25% fazy gazowej. W parowniku czynnik chłodniczy całkowicie wyparowuje i przed jego opuszczeniem poddany zostaje przegrzewaniu.



Rys. 8. Bezpośrednie odparowanie

Wydajność cieplna BPHE, zastosowanego jako parownik, zależy zasadniczo od następujących parametrów:

- Nierównomierność rozplywu (zła dystrybucja)
- Fizyczna wysokość BPHE
- Liczba płyt
- Długość cieplna

4.2.2. Nierównomierność rozplywu (zła dystrybucja) – System-EV

Jeśli jako parownik w systemie bezpośredniego odpływu zainstalować BPHE o więcej niż trzydziestu płytach, pojawia się ryzyko złej dystrybucji. Nierówno rozplywa się czynnik chłodniczy pomiędzy kanały portu wlotowego. Czynnik chłodniczy nie dzieli się równo pomiędzy kanały. Większość czynnika chłodniczego przepływa przez środkową część BPHE. Przepływ przez kanały najbliższe złącza oraz z tyłu BPHE są najniższe. Może to dotyczyć do 70% obszaru przejmowania ciepła.

Jeśli wystąpi zła dystrybucja czynnika, spada temperatura parowania. Im więcej płyt, tym większy ten spadek, zarówno w wartościach względnych, co bezwzględnych.

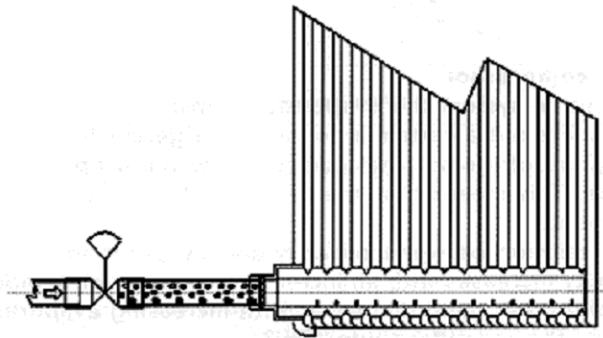
Aby uniknąć złej dystrybucji, firma Thermokey zaprojektowała specjalny system parowania, System-EV (Rys. 9.). System-EV działa w dwóch krokach:

1. Pierwszą część systemu-EV instaluje się na wlocie złącza czynnika chłodniczego.

Rozbija ona krople cieczy tworząc bardziej homogeniczne medium. Im bardziej homogeniczne medium, tym równiej rozplywa się pomiędzy kanałami. Ta część Systemu-EV ma otwory o średnicy 40µm, co odpowiada standardowym filtrom osuszającym. Zapobiega to blokadom, o ile poprawnie działa filtr osuszający. Nacisk kładzie się na wymieszanie obu faz, nie na ich separację.

2. Wlot do portu parownika ma specjalną konfigurację kierującą homogeniczną mieszankę czynnika chłodniczego do dolnej części BPHE. Powodem preferencji dla kierowania przepływem napływającej mieszanki czynnika chłodniczego do dołu wymiennika BPHE jest lepsza dystrybucja i uruchomienie (zabieranie) cieczy, która normalnie zalega na dnie kanału. Jest to szczególnie ważne w systemach o znacznej częstotliwości operacji załącz/wyłącz.

System-EV można zastosować w rewersyjnych pompach ciepłych, gdzie parownik w trybie rewersyjnym działa jako skraplacz.



Rys. 9. Zastosowanie Systemu-EV

4.2.3. Fizyczna wysokość / Liczba płyt

Gdy czynnik chłodniczy dostaje się do parownika jest mieszanką cieczy i gazu. Dzięki Systemowi-EV (patrz 4.2.2) medium staje się bardziej homogeniczne. Wciąż jednak pozostają krople czynnika chłodniczego. Gdy porcje mieszanki czynnika pną się w górę płyt BPHE, krople cieczy opadają, jako gęściejsze. Opadła kropla cieczy ponownie zacznie wspinaczkę ku szczytowi BPHE i wylotowi. Im wyższy BPHE, tym większe prawdopodobieństwo, że krople cieczy będą mieć dość czasu, aby opadać i ponownie uruchamiać procedurę swego parowania zamiast podążać z przepływem gazu na zewnątrz parownika a tym samym nie parować.

Jeśli można wybierać pomiędzy większym BPHE o mniejszej liczbie płyt a mniejszym BPHE z większą liczbą płyt, z technicznego punktu widzenia lepszy będzie ten większy. Są po temu dwa powody:

1. Mniej płyt oznacza mniejsze ryzyko złej dystrybucji czynnika.
2. Większa jednostka jest wyższa, co jest korzystne, jak to wyjaśniono powyżej.

4.2.4. Długość cieplna

Przy doborze parownika ważne jest, aby wzór płyt odpowiadał jego zastosowaniom. Firma Thermokey zidentyfikowała optymalny dzisiaj wzór płyt, umożliwiający wydajne parowanie. Chodzi o to, że stronę czynnika chłodniczego należy zoptymalizować w kategoriach wydajności parowania, zaś strona wtórna winna zapewnić właściwy spadek ciśnienia. Właściwy spadek ciśnienia to ok. 30 kPa. Ponieważ standardowe pompy wodne radzą sobie z takimi spadkami ciśnienia, lepiej jest zwiększyć długość cieplną (tzn. spadek ciśnienia) aby uzyskać wydajniejsze parowanie.

4.2.5. Ograniczenia instalacyjne parowników

Parowniki należy montować stojące w pozycji pionowej ze złączami poziomo. Patrz instrukcje instalacyjne w 5.1. Czynnik chłodniczy wpada do parownika złączem dolnym, opuszcza go zaś górnym. Jeśli zastosowano System-EV, wlot umieszczony jest w lewym dolnym rogu (kiedy patrzeć na BPHE w pozycji pionowej i "stroną oznakowaną" po lewej).

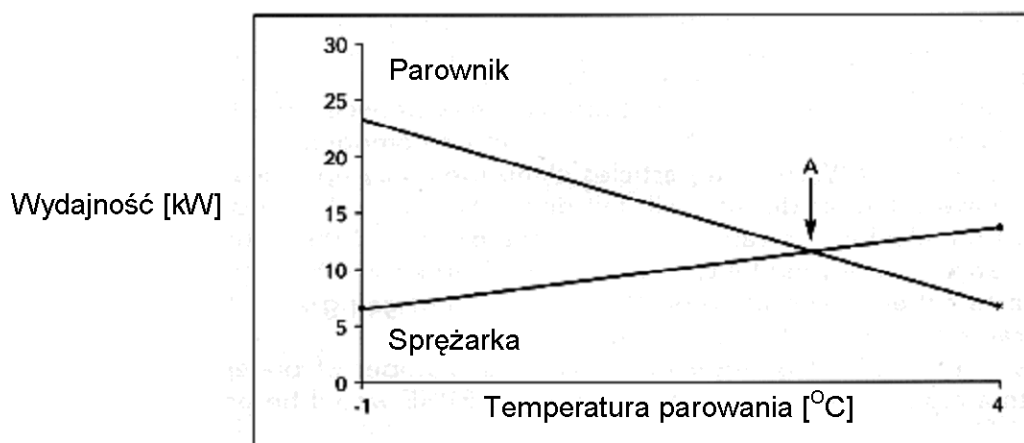
4.2.6. Złącza parowników

Złącze wylotu czynnika chłodniczego jest stosunkowo duże, złącze wlotu zaś stosunkowo małe. Powodem jest zmiana fazy, a więc istotna zmiana objętości. Objętość gazu na wylocie jest ok. 40 razy większa niż objętość (cieczy i gazu) na wlocie dla R22 przy temperaturach parowania i skraplania odpowiednio 0°C oraz 40°C.

4.2.7. Parownik a sprężarka

W standardowych systemach chłodniczych parownik instaluje się tuż przed sprężarką. Sprężarka zasysa pewną ilość czynnika chłodniczego z parownika – jest to wydajność objętościowa (m³/godz.). Czynnik chłodniczy winien opuszczać parownik jako gaz przegrzany. Oznacza to, że ograniczenia parownika określa wydajność objętościowa sprężarki.

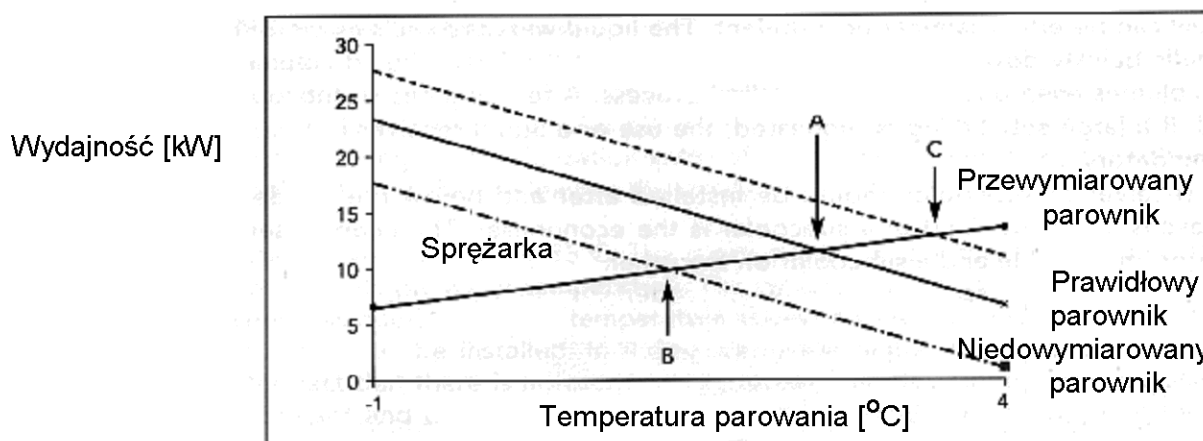
Badając zależność pomiędzy wydajnością i temperaturą parowania widać, że wydajność sprężarki rośnie wraz ze wzrostem temperatury parowania. Z drugiej strony ze wzrostem temperatury parowania spada wydajność parownika. Punkt A (Rys. 10.) to punkt pracy - równowagi pomiędzy temperaturą parowania i wydajnością chłodniczą w systemie chłodniczym.



Rys. 10. Zależność pomiędzy parownikiem a sprężarką

Jeśli dobierze się za mały parownik, punkt pracy dla wydajności/temperatury parowania (Rys. 10.) przesuwa się wzdłuż krzywej sprężarki ku niższym temperaturom parowania (punkt B), patrz Rys. 11. poniżej. W takim przypadku zachodzą zasadniczo trzy niekorzystne oddziaływania:

1. Temperatura parowania jest w tym punkcie niebezpiecznie bliska temperaturze zamrażania, co w konsekwencji poważnie zagraża zamrożeniem parownika. Zwykle zamrożenie niszczy jednostkę BPHE, ponieważ zbudowana jest z określonej liczby zlutowanych ze sobą punktów stykowych.
2. Jeśli gaz czynnika chłodniczego nie wyparował całkowicie, rośnie ryzyko dostania się kropli cieczy do sprężarki, co może ją zniszczyć.
3. Zachodzi także znaczne ryzyko tego, że zawór rozprężny spróbuje zrekompensować zbyt mały parownik, a więc będzie otwierać się i zamykać powodując niestabilność systemu.



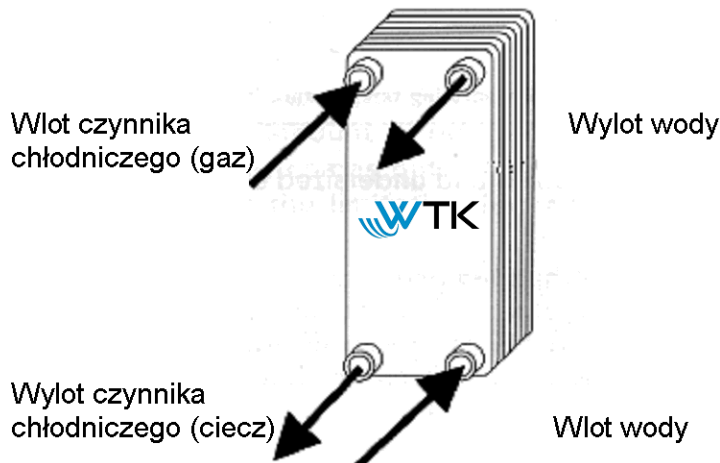
Rys. 11. Przewymiarowanie i niedowymiarowanie parownika – sprężarki

Aby uniknąć powyższego nie należy dobierać zbyt małego parownika. Lepiej dobrać parownik odpowiadający punktowi A lub nawet większy, odpowiadający punktowi C. Kolejną korzyść z wyboru większego parownika polega na tym, że zmaleje spadek ciśnienia po stronie wody. To z kolei zmniejszy przyszłe koszty energii zasilania pomp.

4.3. Skraplacz

4.3.1. Wprowadzenie

Z procesem skraplania (Rys. 9) znacznie łatwiej radzić sobie niż z parowaniem. W normalnych warunkach w wymienniku BPHE zachodzi heterogeniczne skraplanie błonowe. Przepływ błony może być albo uwarstwiony, albo turbulentny. Ciecz zwilża ścianki BPHE i szybko opada na dno jednostki wpada do jednostki. Na dnie BPHE tworzą się kolumny cieczy. Kolumny cieczy wyrównują się w samosterownym procesie. Można dopuścić kilka stopni dochłodzenia. Jeśli potrzeba znacznego dochłodzenia, konieczne jest użycie zbiornika lub dochładzacza cieczy. Z oczywistych powodów należy je zainstalować za skraplaczem i poniżej niego. Specjalnym rodzajem dochładzacza jest ekonomizer. Ekonomizer z jednej strony działa jako parownik, z drugiej zaś jako dochładzacz.

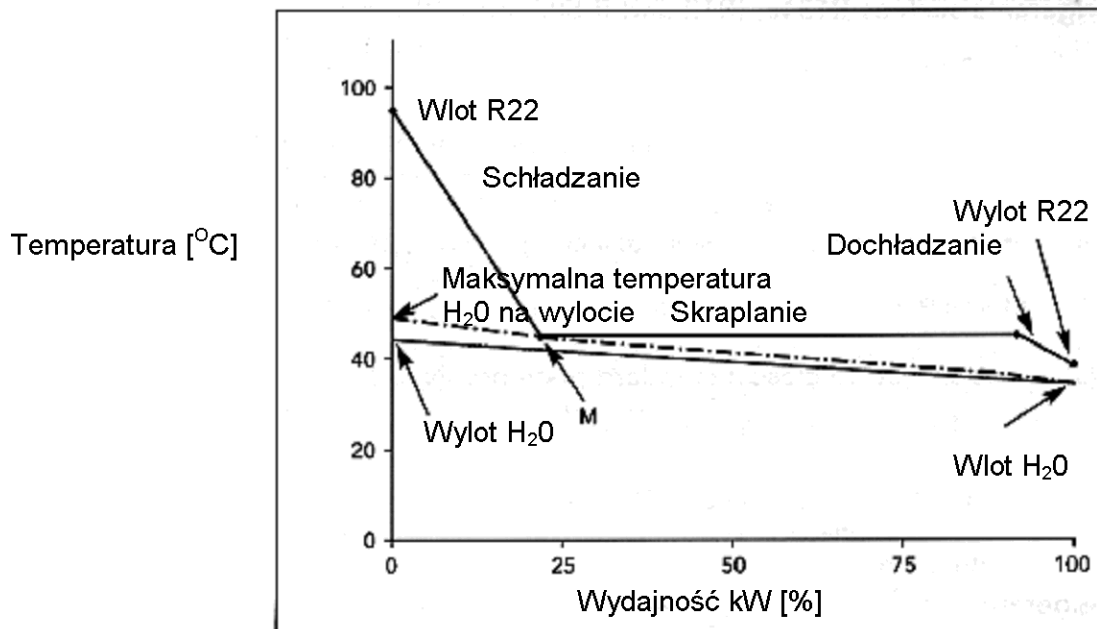


Rys. 9: Normalne złącza skraplacza BPHE.

W standardowych systemach chłodniczych skraplacz BPHE działa w czterech etapach:

1. Schładzanie przegrzanego gazu czynnika chłodniczego,
2. Skraplanie gazu
3. Dochładzanie cieczy

Normalnie medium chłodzącym jest woda. Proces ten przedstawiono na poniższym wykresie (Rys. 10).



Rys. 10: Przykład działania skraplacza

4.3.2. Opis procesu (dla przykładowych parametrów)

Czynnik chłodniczy:

Czynnik chłodniczy dostaje się do BPHE ze sprężarki. Jest w stanie gazu o wysokiej temperaturze 95°C. Odbywa się schładzanie i temperatura czynnika chłodniczego spada do 45°C. Po pewnym dochłodzeniu rusza skraplanie. Po skropleniu ciekły czynnik chłodniczy, zanim opuści skraplacz, dochładza się do 40°C.

Woda:

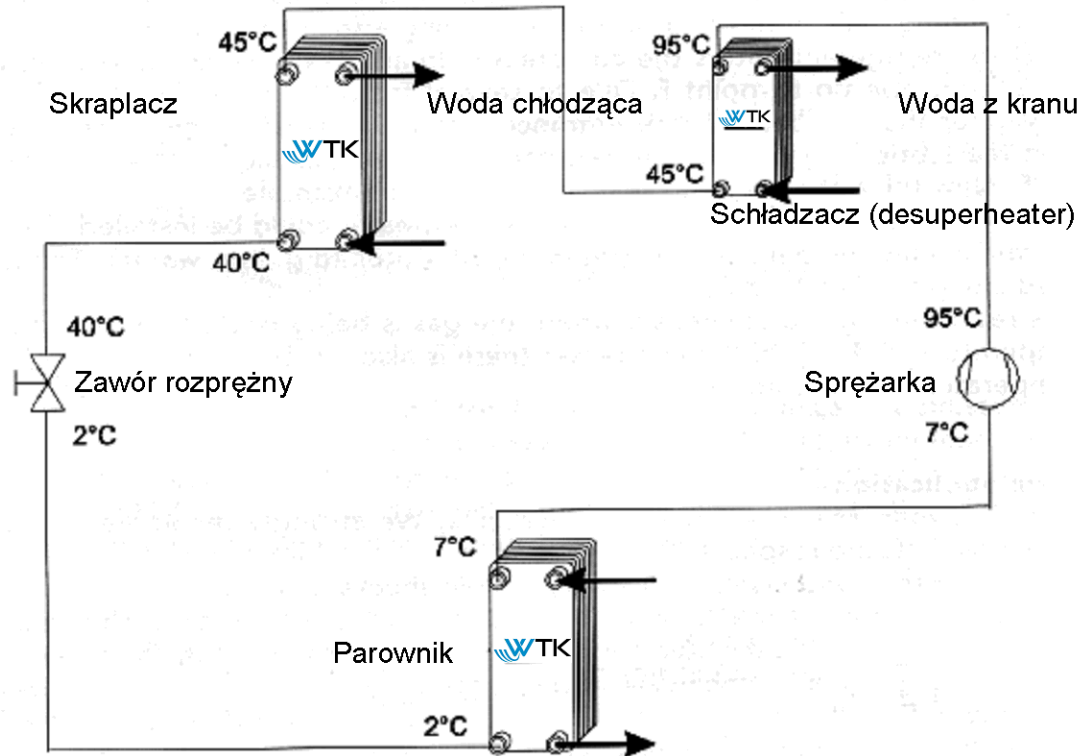
Woda na wlocie ma temperaturę 35°C. Na wylocie 45°C. W teoretycznym, idealnym wymienniku ciepła granice temperatury wody określa punkt M. Krzywa maksymalnej temperatury wody (wykropkowana) nie może go przekroczyć. Jeśli od systemu wymaga się wody o temperaturze ponad ten poziom, można zainstalować schładzacz (desuperheater) – wymiennik do odzysku ciepła przegrzania. W schładzaczu można osiągnąć wyższe temperatury, ze względu na to, że nie zachodzi tam proces skraplania. Schładzacz instaluje się pomiędzy sprężarką a skraplaczem. Ich wydajność wynosi zwykle ok. 20% wydajności skraplacza.

4.4. Zrównoważenie systemu

Przy zastosowaniu wymienników BPHE zarówno jako parowniki, jak i skraplacze, w tym samym systemie ważne jest zachowanie pewnej równowagi pomiędzy nimi. Zaleca się różnice w rozmiarach poniżej 25%. Znaczy to, że jeśli najpierw dobrano parownik, skraplacz powinien być co najmniej wielkości 75% tego parownika.

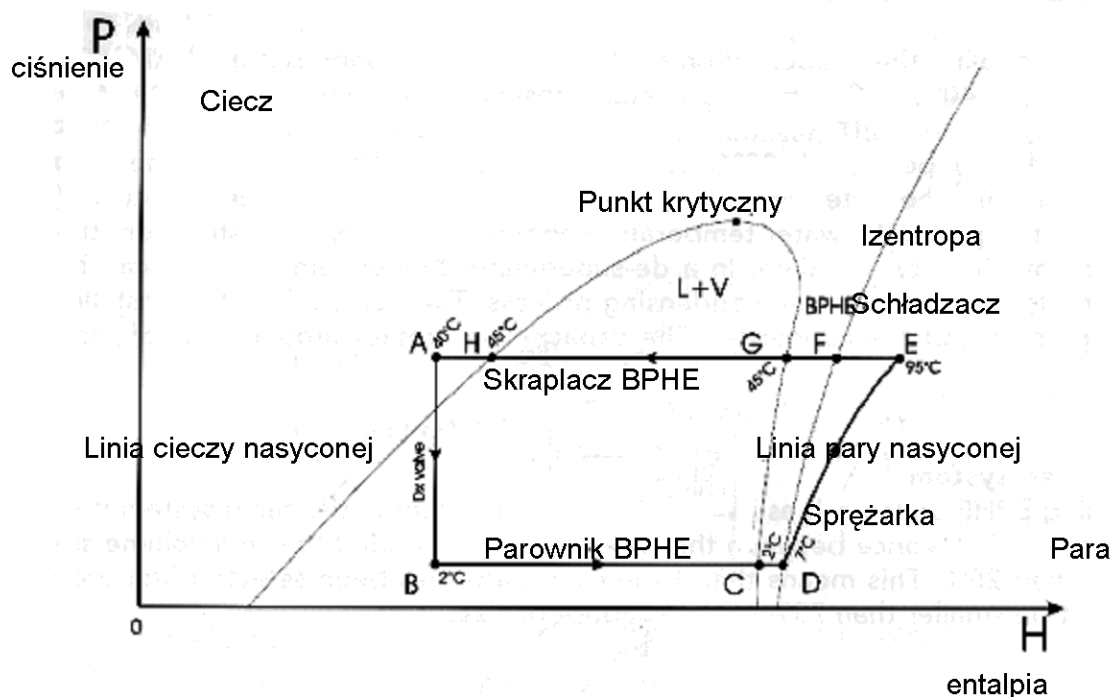
4.5. Wykres ciśnienie-entalpia

Podstawowe systemy chłodnicze objaśnia wykres ciśnienie-entalpia (Rys. 12). Cały proces opisanego poniżej cyklu przedstawiono na nim jako funkcję ciśnienia i entalpii (Rys. 11).



Rys. 11: Zastosowanie schładzacza BPHE

W punkcie A czynnik chłodniczy ma temperaturę 40°C, został dochłodzony o 5°C od temperatury skraplania. Pomiędzy punktami A i B medium przepływa przez zawór rozprężny, czyli przechodzi ze strony wysokiego ciśnienia na stronę niskiego ciśnienia. Za zaworem rozprężnym jest ok. 25% gazu i 75% cieczy. Nie zachodzi wymiana energii z otoczeniem.



Rys. 12: Wykres P-H z podaniem temperatur oraz stanu czynnika chłodniczego. Mieszanka wchodzi do parownika przy 2°C, w parowniku zachodzi proces całkowitego wyparowania oraz przegrzania do 5°C. Proces ten przedstawia linia od B do C z zakończeniem w D. W parowniku uzyskuje się efekt chłodniczy.

W punkcie D czynnik chłodniczy wpada do sprężarki. W systemie idealnym czynnik chłodniczy winien być sprężany izentropowo do punktu F. Ze względu na kilka czynników takich jak tarcie wewnętrzne w parze, powrót pary do wejścia zamiast opuszczenia sprężarki, energia tarcia w oleju smarującym, itp. czynnik chłodniczy podąża nieco bardziej stromym torem do punktu E. Teraz czynnik chłodniczy z naszego przykładu osiągnął temperaturę 95°C.

Za sprężarką można zainstalować BPHE działający jako schładzacz. Chodzi o to, aby wykorzystać tą dość wysoką temperaturę do podgrzewania wody (np. wody z kranu). Proces ten opisuje linia od E do G. Odcinek od G do H reprezentuje skraplacz, gdzie gaz skrapla się w temperaturze 45°C. W skraplaczu zachodzi także dochładzanie o 5°C, co ponownie sprowadza temperaturę startową do 40°C, odcinek H-A.

4.6. Zastosowania parowe

Zastosowania parowe są bardzo ważne. Stanowczo zalecamy przestrzeganie następujących czterech aspektów:

- Swobodne wyjście po stronie skroplin pozwala uniknąć ewentualnych uderzeń.
- Para musi wlatywać górnym złączem po "stronie oznakowanej". "Strona oznakowana" ma o jeden kanał mniej, a zatem para będzie otoczona przez stronę cieczy.
- Unikać tworzenia się bąbelków pary (korków gazowych) poprzez poprawną regulację ciśnienia po stronie wtórnej.
- Unikać różnic temperatur ponad 50°C przy procedurze uruchamiania. W trakcie funkcjonowania BPHE różnicę temperatur można zwiększyć.

23/29

4.7. Zastosowania w basenach pływackich

Zastosowania w basenach pływackich są zastosowaniami delikatnymi. To niepewne zastosowanie dla BPHE. Zależnie od instalacji i zastosowania, BPHE może działać bardzo dobrze, albo powodować poważne problemy. Potencjalny problem stanowi zawartość chlorku w wodzie. Jaki jest jego procent, jaka temperatura, w którym punkcie procesu dodaje się chlorek? Jest więcej takich pytań, które należy wziąć pod uwagę. Ważne jest, aby dodawać chlorek za BPHE, nie zaś przed nim. W ten sposób unika się ryzyka nierównomiernego stężenia chlorku w wodzie przepływającej przez BPHE. Tym niemniej chlorek w wysokim stężeniu będzie wchodził w reakcję z miedzią, co oczywiście szkodzi wymiennikowi BPHE.

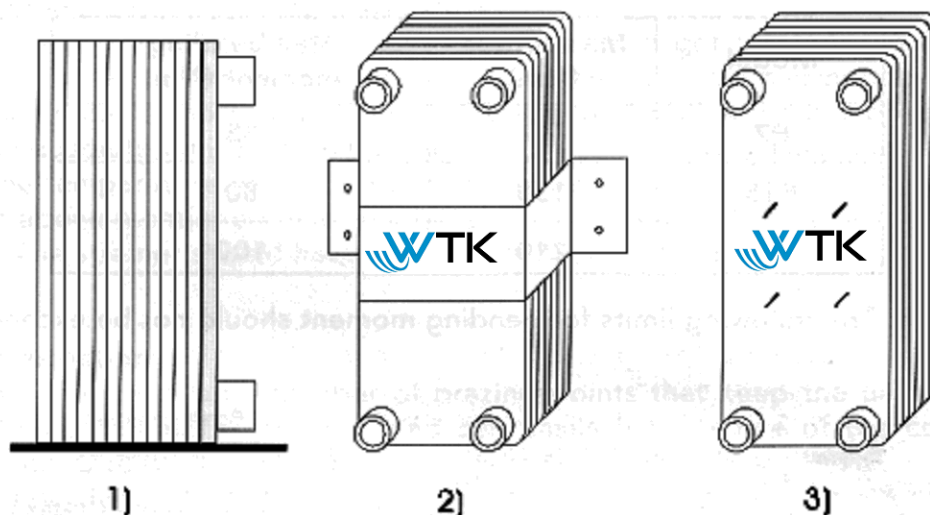
5. INSTALACJA

5.1. Instrukcje ogólne

BPHE należy instalować w pozycji pionowej, tzn. stojącej. **Na BPHE nie powinny przenosić się żadne wibracje, ani pulsacje.** W razie potrzeby należy użyć urządzenia antywibracyjnego i antypulsacyjnego. W szczególności należy sprawdzić, czy zawory regulacyjne (rozprężne) nie powodują wibracji lub uderzeń ciśnienia. Należy unikać nacisków i naprężeń złączy.

BPHE można zamontować w jeden z następujących sposobów (Rys. 13):

1. umieszczony na płaskiej powierzchni,
2. zamontowany w uchwycie,
3. przy pomocy śrub mocujących.



Rys. 13: Propozycje montażu BPHE.

5.2. Wibracje i pulsacje

Wibracje, pulsacje lub nadmierne zmiany ciśnienia i temperatury mogą uszkodzić BPHE od środka.

Jeśli, na przykład, schładzacz zainstalowano w pobliżu sprężarki, trzeba uważać. Sprężarki emitują wibracje. Tych wibracji nie można przenosić na BPHE.

Dla ochrony BPHE przed uszkodzeniem z powodu zbyt szybkiego wlotu gazu, ustalono następujące wytyczne.

Tab. 4: Maksymalna wydajność objętościowa sprężarek dla modeli BPHE

Model urządzenia Thermokey	Maksymalna wydajność objętościowa sprężarki [m ³ /godz.]
P7	80
P15	170
P30	430

BPHE mogą także zniszczyć szkodliwe skoki lub pulsacja ciśnienia. Zalecamy zatem zainstalowanie tłumika pulsacji pomiędzy sprężarką a schładzaczem.

5.3. Złącza lutowane

Ponieważ BPHE jest lutowane na twardo miedzią, temperatura lutowania nie może przekroczyć 750°C. Powyżej tej temperatury zachodzi ryzyko zmiany struktury miedzi, jej pęknięć, a w konsekwencji wycieków.

Materiałem lutowniczym powinno być co najmniej 45% srebro (Ag).

Najlepsze rezultaty zapewnia przestrzeganie następującej procedury:

1. Oczyszczyć i odłuszczyć powierzchnie lutowane.
2. Nałożyć topnik chlorkowy.
3. Wstawić rurę w złącze.
4. Chronić BPHE przed nagraniem przepłukując go wodą lub okładając wilgotnymi szmatami.
5. Aby uniknąć utleniania przepuszczać N₂ przez rurę w trakcie lutowania.

5.4. Złącza gwintowane

Przy instalacji BPHE zasadniczo ważne jest, aby na jednostkę nie przenosiły się żadne wibracje. Innym ważnym czynnikiem są naprężenia w BPHE. Naprężenia złącz są częstsze gdy BPHE wyposażone jest w kryzy lub złącza gwintowane.

Możliwe naprężenia można podzielić na dwa różne rodzaje momentów: skręcający i zginający (Rys. 14). Moment czysto skręcający nie jest tak szkodliwy jak moment zginający lub kombinacja ich obu.

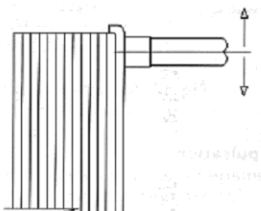
Tab. 5: Nie należy przekraczać powyższych wartości granicznych momentu zginającego

Model	Maksymalny moment skręcający [Nm]	Maksymalny moment zginający [Nm]
P7	75	35
P15	150	80
P30	210	100

Moment skręcający



Moment zginający



Rys. 14: Momenty skręcający i zginający

Najpierw zainstaluj i zamontuj BPHE. Zainstaluj system rurowy i przyłączając go do gwintów lub kryz BPHE uważaj, aby nie przykładać szkodliwych sił.

5.5. Maksymalna prędkość przepływu wody

Użycie BPHE w zastosowaniu o zbyt dużej prędkości wlotowej cieczy może je uszkodzić od środka.

Poniżej (Tab. 6) zestawiono maksymalne prędkości przepływu zalecane dla modeli BPHE. Dane te obowiązują dla ciekłej WODY pod normalnym ciśnieniem. Dane te są określone na bazie maksymalnej prędkości wody 6 m/sek na wlocie do BPHE. Dane dla innych mediów mogą się różnić.

Tab. 6: Maksymalny przepływ zalecany dla BPHE.

Model	Maksymalny przepływ [m ³ /godz]
P7	12
P15	40
P30	85

5.6. Zanieczyszczenie mechaniczne w systemie

W zasadzie należy unikać zanieczyszczeń mechanicznych w systemie. Zawsze zachodzi ryzyko, że utkną w jednostce BPHE lub jakiejś innej części systemu. Jeśli zanieczyszczenia mechaniczne utkną w BPHE zachodzi ryzyko spadku wydajności, wzrostu spadku ciśnienia, czy nawet zamarznięcia przy pewnych zastosowaniach. Jeśli utknie jedno zanieczyszczenie, ryzyko utknięcia następnych oczywiście rośnie, ponieważ zmniejszyła się powierzchnia kanału.

Cząstki podzielić można na **hydrofobowe (rozpuszczone w wodzie – nie ulegające uwodnieniu)** i **osadowe**.

Cząstek osadowych pod żadnym pozorem nie można tolerować w systemie. Cząstki osadowe mają silną tendencję do utknięcia w wymienniku.

Jeśli chodzi o cząstki hydrofobowe, mniejsze mogą przejść przez BPHE bez utknięcia w nim. Ponieważ maksymalna wysokość kanału wynosi ok. 2.5mm, cząstki hydrofobowe o rozmiarach do 0.50mm mogłyby zapewne bez problemów przejść przez BPHE. Trudno jest ustalić absolutną granicę, ponieważ zależy ona od różnych czynników takich jak prędkość medium, temperatura, właściwości medium itp.

Aby uniknąć wspomnianych powyżej cząstek hydrofobowych w BPHE, zalecamy zastosowanie filtra siatkowego. Filtr winien być wykonany z siatki o oczkach nie większych niż 0.5 mm.

5.7. Ochrona przed zamarzaniem

BPHE zbudowane jest z wielu punktów lutowniczych, które utrzymują jednostkę w całości. Jeśli nastąpi zamarznięcie, woda rozszerza się i łatwo może uszkodzić niektóre punkty styku lub płytę. Ze względu na to ryzyko należy unikać zamarznięcia BPHE.

Jeśli w BPHE używa się czystej wody, są zasadniczo dwa scenariusze zamarznięcia:

1. temperatura otoczenia spada poniżej 0°C;
2. drugie medium ma temperaturę poniżej 0°C.

Przy pierwszym scenariuszu należy zadbać o odpowiednią izolację BPHE, a także o grzałkę elektryczną z termostatem, która zabezpieczyła wodę przed zamarznięciem. Ryzyko zamarznięcia znacznie rośnie, jeśli system nie pracuje.

Drugi scenariusz to poważniejszy problem. Zachodzi tu proces dochładzania wody przez powierzchnię ścianki po stronie wody i zaczyna się zamarzanie.

W warunkach pracy stabilnej przy odpowiednio dobranych parametrach temperatura parowania może spadać poniżej 0°C bez obawy o zamarznięcie po stronie wody. Niestety warunki pracy stabilnej nie są możliwe do utrzymania przez dłuższy czas. Przy turbulencji i złej dystrybucji łatwo rozpoczyna się tworzenie lodu. Jeśli zacznie się w jednym kanale, oznacza to także zmniejszony przepływ, a więc jeszcze niższą temperaturę wody ze względu na słabszy przepływ, czyli dalsze tworzenie lodu.

Z tego względu przy stosowaniu czystej wody jako medium chłodzącego zasadniczo ważne jest utrzymywanie temperatury parowania powyżej 0°C.

Jednym ze sposobów unikania zamarzania jest dodanie glikolu do wody. Obniżenie punktu zamarzania jest w przybliżeniu proporcjonalne do stężenia glikolu.

Ważna rada:

1. Upewnij się, że BPHE można opróżnić po stronie wody.
2. Zainstaluj BPHE w pozycji stojącej z wlotem czynnika chłodniczego u dołu.

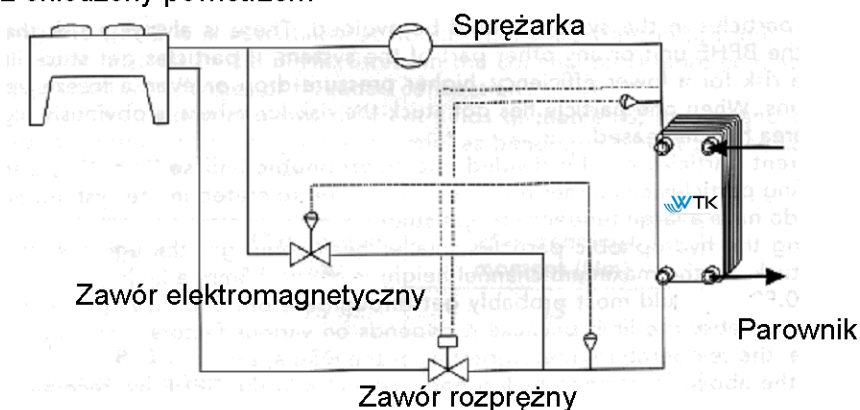
Jest kilka sposobów budowy urządzenia tak, aby zapobiec zamarzaniu. (Rys. 15). Poniżej przedstawiono najczęściej stosowane systemy ochronne:

1. Najpowszechniejszym rozwiązaniem jest zastosowanie czujnika temperatury po stronie wody w celu kontrolowania temperatury wody. Zwykle instaluje się je zarówno na wlocie, jak i wylocie, wody. Przy takim rozwiązaniu ryzyko polega na tym, że może wystąpić częściowe zamarzanie, którego nie ujawnią czujniki temperatury.
2. Wtrysk gazu. Wprowadź przegrzany gaz z linii tłoczenia sprężarki do wlotu parownika. Podniesie to temperaturę po stronie czynnika chłodniczego, a tym samym także po stronie wody.

27/29

3. Połączenie pomiędzy sprężarką i wlotem czynnika chłodniczego. Rozwiązanie polega na pomiarze temperatury czynnika chłodniczego na wlocie do wymiennika i wyłączenie sprężarki jeśli osiągnie ona owo niebezpieczne 0°C.

Skrapłacz chłodzony powietrzem



Rys. 15: Kontrola zamarzania poprzez wtrysk gazu

5.8. Chemiczne czyszczenie BPHE

Ponieważ BPHE stanowi jednostkę zamkniętą, której nie można rozebrać, oczywiste jest, że mechaniczne czyszczenie płyt nie wchodzi w grę. Można zastosować czyszczenie chemiczne (Rys. 16).

Kiedy konieczne jest chemiczne czyszczenie BPHE?. Jeśli woda jest bardzo twarda, tzn. zawiera wiele wapnia, wówczas warstwa wapnia rosnąć będzie na ściankach wewnątrz BPHE.

Aby uniknąć zanieczyszczenia, skuteczna jest silna turbulencja w kanałach. Wszakże przy pewnych zastosowaniach zanieczyszczenie może nadal pozostawać problemem, nawet przy silnej turbulencji. Znaczne narastanie zanieczyszczenia zmniejsza wydajność BPHE, zwiększa spadek ciśnienia oraz/lub może powodować ryzyko zamarzania przy pewnych zastosowaniach.

5.8.1. Układy otwarte wodne

Jakość wody znacznie różni się w różnych częściach świata. W pewnych regionach dostępna woda chłodnicza, zwykle do zastosowań skraplaczowych, ma wysoką zawartość wapienia, jest bardzo twarda i zawiera inne zanieczyszczenia. To powoduje szybsze gromadzenie się zanieczyszczeń w BPHE.

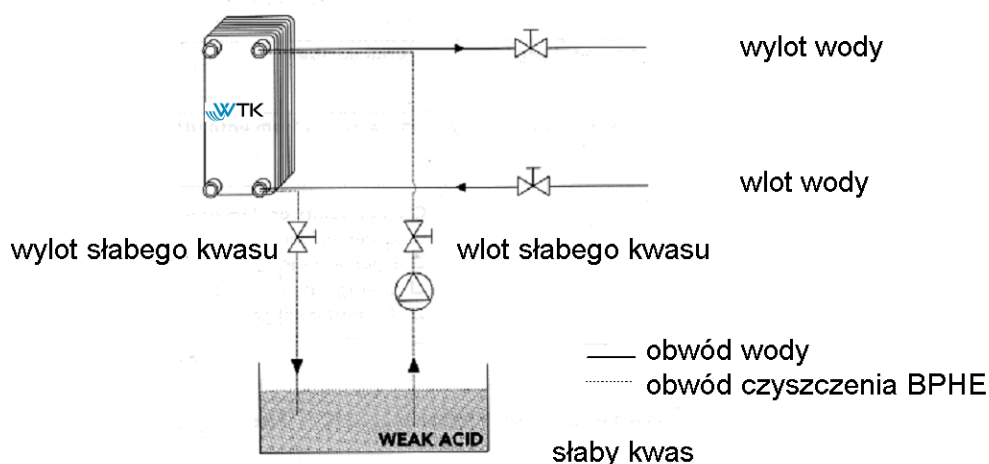
Gdy podgrzać tak zanieczyszczoną wodę, pojawia się wytrącanie zanieczyszczeń. Wytrącone tak cząstki kamienia wapiennego i innych nieczystości przylegają do powierzchni płyt, ponieważ mają one najwyższą temperaturę. Z czasem nieczystości te tworzą warstwę na płytach, tzn. zanieczyszczenie. Jeśli warstwa ta staje się zbyt gruba, BPHE nie będzie już tak wydajne, jak zwykle. Należy wówczas przeprowadzić czyszczenie chemiczne.

5.8.2. Metoda czyszczenia

Zalecany roztwór czyszczący:

- 5% kwasu ortofosforowego w temperaturze pokojowej,
- 5% kwasu szczawowego w temperaturze pokojowej,
- 10% kwasu azotowego w temperaturze maks. 50°C.

Przepompuj płyn czyszczący przez BPHE w odwrotnym kierunku (Czyszczenie w miejscu, CIP) dla lepszego usuwania warstwy zanieczyszczeń z płyt. Staraj się wymusić przepływ 1,5 razy szybszy niż przy roboczym zastosowaniu BPHE. Nie zapomnij dokładnie przepłukać systemu wodą przed jego ponownym uruchomieniem do eksploatacji.



Rys. 16: Opis sposobu chemicznego czyszczenia BPHE