

Nowe metody doboru i obliczeń wykorzystane przy projektowaniu podgrzewaczy liniowych

Wymiana ciepła

*mgr inż. Cezary Pokrzywniak, mgr inż. Stanisław Wowra
pod kierunkiem dr. hab. inż. Stanisława Nagy, prof. AGH*

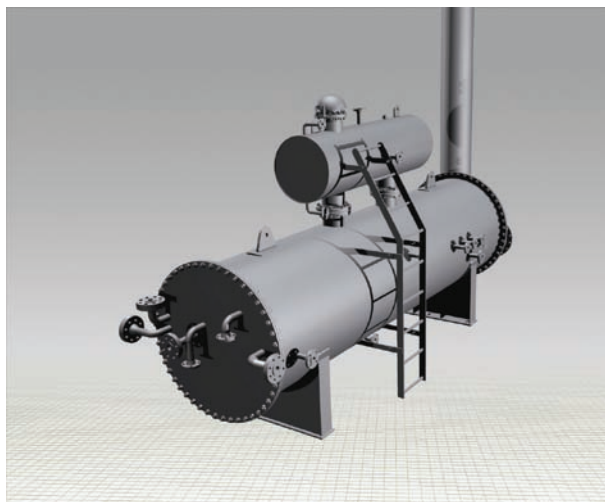
W celu zabezpieczenia instalacji technologicznych oraz rurociągów przesyłowych przed tworzeniem się hydratów (dla odwiertów gazowych) oraz wytrącania parafin (dla odwiertów ropnych) najczęściej wykorzystywane są podgrzewacze liniowe wraz z układami wtrysku inhibitorów. W starych instalacjach wydobywania gazu i ropy korzystano wyłącznie z układów dozowania inhibitorów, jednakże odchodzi się od tego typu rozwiązań z uwagi na konieczność dozowania dużych ilości drogich inhibitorów, których nie można odzyskać.

Głównym miejscem powstawania hydratów i wytrącania parafin jest zawór redukcji ciśnienia głowicowego (choke). Zawór wykorzystuje efekt Joule'a-Thompson'a, w którym zachowanie stałego przepływu medium i obniżenie ciśnienia powoduje równoczesny spadek temperatury. Zwykle temperatura medium po redukcji spada poniżej temperatury tworzenia się hydratów czy wytrącania parafin, co sprawia, że substancje powstające w rurociągach utrudniają lub uniemożliwiają pracę instalacji, w konsekwencji uniemożliwiając wydobywanie. Aby temu zapobiec podnosi się temperaturę medium przed redukcją do wartości, która gwarantuje utrzymanie po redukcji temperatury powyżej warunków krytycznych. Zazwyczaj do tego celu wykorzystuje się bardzo efektywny układ składający się z dwóch wężownic: wstępnej (*preheat coil*) i dogrzewającej (*reheat coil*) z zaworem J-T umieszczonym pomiędzy nimi. Konfiguracja taka umożliwi ponowne podgrzanie medium po redukcji ciśnienia i towarzyszącym temu zjawisku – znaczącemu spadkowi temperatury. Czasami wykorzystywana jest do podgrzewania medium tylko jedna wężownica z zaworem J-T na wyjściu.

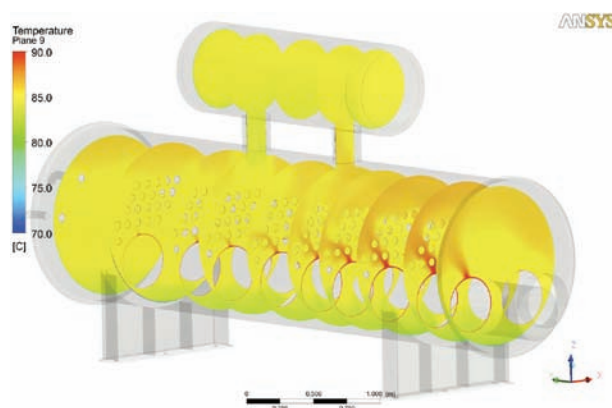
📌 Założenia

Uwzględniając fakt, że na rynku nie jest dostępne specjalistyczne oprogramowanie przeznaczone do doboru tego typu urządzeń a zwykle do ich konstrukcji wykorzystuje się obliczenia wymiany ciepła stosowane w wymiennikach, własne standardy i wytyczne, firma PBG SA przy realizacji projektu zagospodarowania złóż ropy naftowej i gazu ziemnego Lubiatów-Międzychód-Grotów przeprowadziła szczegółową analizę symulacji przepływów wykorzystując metodę elementów skończonych za pomocą oprogramowania ANSYS CFX. Do obliczeń wykorzystano podgrzewacz liniowy

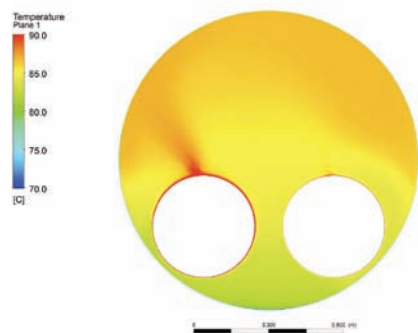
Rysunek 1. Model 3D podgrzewacza liniowego 180-H-100



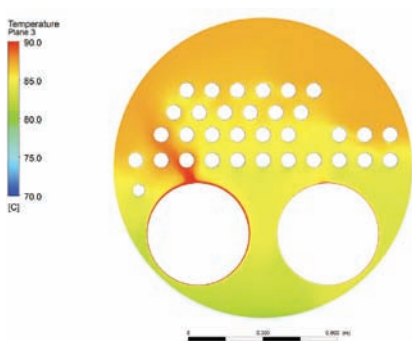
Rysunek 2. Rozkład temperatur mieszaniny wodno-glikolowej w 10 płaszczyznach



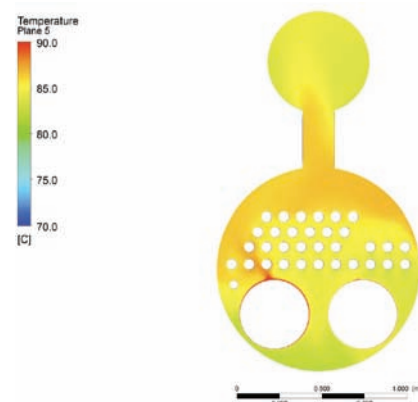
Rysunek 3. Rozkład temperatur mieszaniny wodno-glikolowej. Płaszczyzna 1



Rysunek 4. Rozkład temperatur mieszaniny wodno-glikolowej. Płaszczyzna 3



Rysunek 5. Rozkład temperatur mieszaniny wodno-glikolowej. Płaszczyzna 5



wy 180-H-100 (rysunek 1) projektowany dla podgrzewania płynu złożowego wydobywanego z odwiertu Grotów G-2. Zadaniem tego urządzenia jest podgrzanie (schemat 1):

- płynu złożowego wydobywanego z odwiertu G-2 (węzownica wstępna),
- płynu złożowego wydobywanego z odwiertu G-2 (węzownica dogrzewająca),
- solanki służącej do wygrzewania odwiertu (przestrzeni nadpakerowej),
- gazu paliwowego zasilającego m.in. palnik podgrzewacza.

Zródłem ciepła w tym podgrzewaczu liniowym (typu *indirect fired*) jest płomienica zasilana paliwkiem gazowym, a do przekazywania ciepła z płomienicy do poszczególnych węzownic użyto mieszaniny glikolu MEG z wodą. Na potrzeby symulacji przygotowano analizę termiczną w sześciu wariantach geometrycznych. Podczas symulacji sprawdzano jaki wpływ na obliczenia będzie mieć nie uwzględnienie podpór podgrzewacza, króćców na płaszczu podgrzewacza, króćców na dennicy oraz podpór podtrzymujących węzownice wewnątrz podgrzewacza. Dodatkowo przygotowano modele z izolacją oraz bez izolacji kołnierzy czołowych podgrzewacza.

Przy definicji parametrów pracy mediów w poszczególnych układach podgrzewacza przyjęto zależność gęstości, lepkości, pojemności cieplnej oraz współczynnika przewodzenia ciepła od temperatury. Zależności od ciśnienia zostały pominięte ze względu na względnie małe zmiany ciśnień w poszczególnych układach. Wyjątek stanowi płomienica, gdzie wykorzystano mieszaninę gazów palnych, której właściwości spełniają równanie stanu.

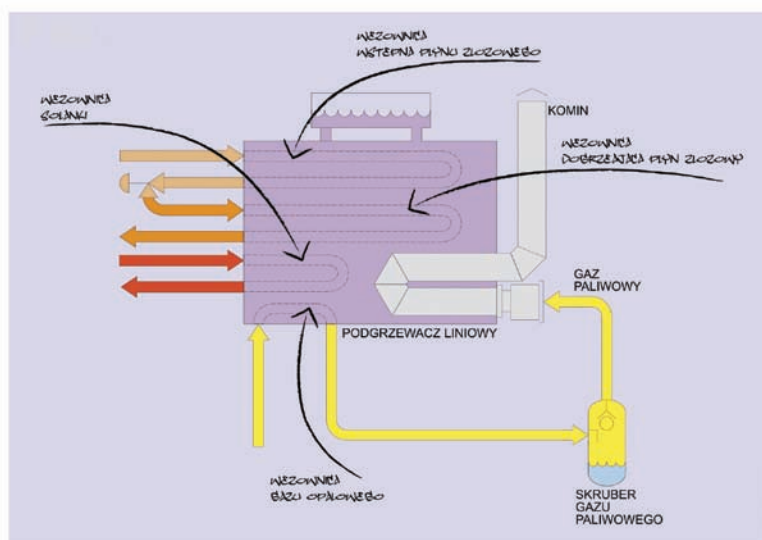
Warunkami odniesienia są obliczenia wykonane w programie HYSYS zgodnie ze danymi przedstawionymi poniżej (schemat 2) stanowiącymi podstawę do doboru wielkości i konstrukcji podgrzewacza.

Warunki brzegowe:

a) Przestrzeń wewnętrzna podgrzewacza liniowego

Przestrzeń wewnątrz podgrzewacza wypełniona jest mieszaniną glikolu i wody. Do obliczeń przyjęto materiał jako mieszaninę jednorodną

Schemat 1. Schemat podgrzewacza liniowego



z właściwościami jak w tabelach 1, 2 i 3, oraz ciśnienie otoczenia wynoszące 1 atm. Chociaż jest to układ zamknięty, występuje w nim ruch płynu wywołany konwekcją naturalną. Ciepło do mieszanki dostarczane jest przez ściankę płomienicy, odbierane jest przez węzownice lub przechodzi do otoczenia jako straty ciepła.

b) Płomienica/komin

Płomienica zbudowana jest z rury z materiału P235GH (należącego do grupy 1.1 wg ISO 15608). Dane materiałowe oraz współczynnik przewodzenia ciepła przyjęto zgodnie z normą. Ścianka płomienicy stanowi w tym rozwiązaniu jednocześnie interfejs pomiędzy wnętrzem płomienicy a wnętrzem zbiornika. Przy definiowaniu wnętrza płomienicy przyjęto pełne odwzorowanie jedностopniowej reakcji spalania metanu w powietrzu na podstawie modelu *Eddy Disipation*. Ze względu na znaczne temperatury w domenie ujęto także zjawisko radiacji modelu *Discrete Transfer*. Wszystkie gazy występujące w płomienicy: O_2 , N_2 , CH_4 , CO_2 , H_2O , zostały przyjęte jako gazy idealne spełniające równanie stanu gazu doskonałego.

Parametry przyjęte do obliczeń:

- masowy przepływ mieszanki : 461,9 [kg/h]
- metan : 0,04762% masowy
- tlen : 0,21905% masowy
- temperatura wlotowa : 20 [°C]
- ciśnienie wylotowe : 1 [atm]

c) Węzownica wstępna

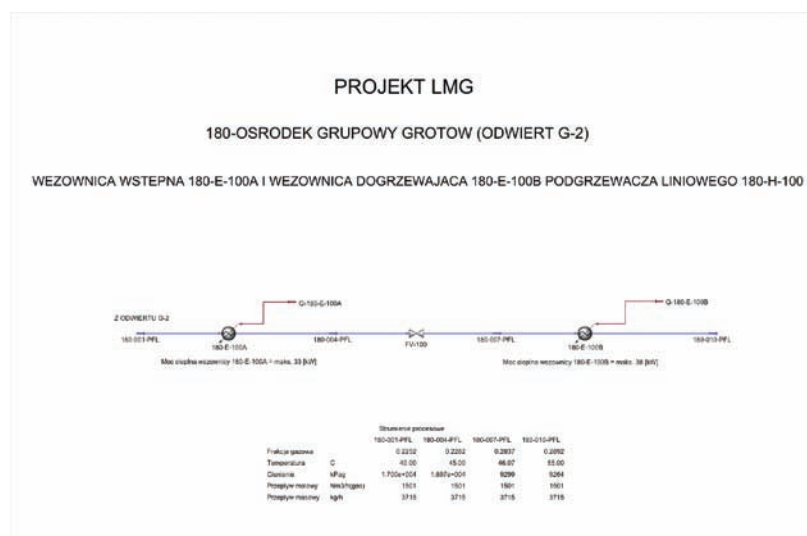
Węzownica wstępna służy do podgrzewu płynu złożowego przed redukcją ciśnienia. Zbudowana jest z rury o średnicy 60,3 mm x 8,8 mm z materiału P355NH (należącego do grupy 1.2 wg ISO 15608). Dane materiałowe oraz współczynnik przewodzenia ciepła przyjęto zgodnie z normą.

Parametry przyjęte do obliczeń:

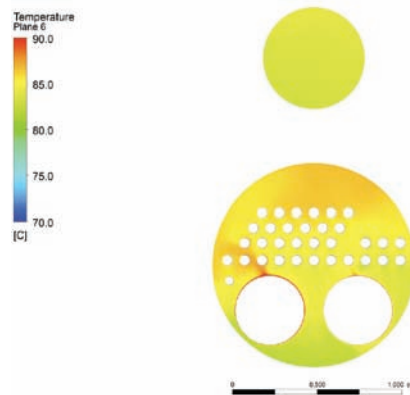
- przepływ masowy : 3715 [kg/h]
- temperatura wlotowa : 40 [°C]
- ciśnienie wlotowe : 17 000 [kPa]

d) Węzownica dogrzewająca

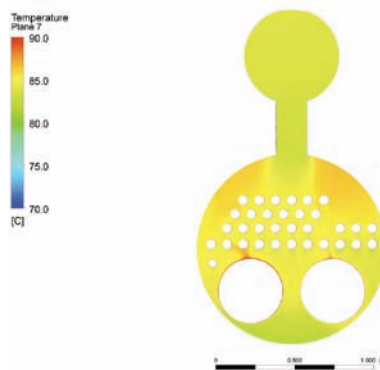
Schemat 2. Obliczenia mocy węzownic wykonane w programie HYSYS



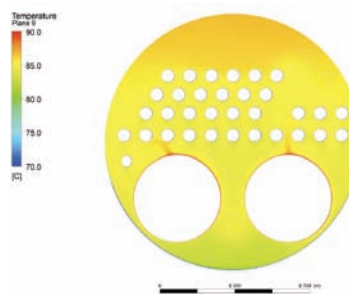
Rysunek 6. Rozkład temperatur mieszanki wodno-glikolowej. Płaszczyzna 6



Rysunek 7. Rozkład temperatur mieszanki wodno-glikolowej. Płaszczyzna 7



Rysunek 8. Rozkład temperatur mieszanki wodno-glikolowej. Płaszczyzna 8



Rysunek 9. Rozkład temperatur w węzownicy wstępnej płynu złożowego. Wiązka 1 góra



Rysunek 10. Rozkład temperatur w węzownicy wstępnej płynu złożowego. Wiązka 2 dół



Rysunek 11. Rozkład temperatur w węzownicy dogrzewającej płynu złożowego



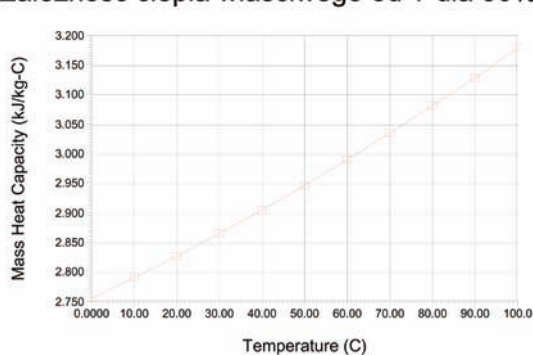
Rysunek 12. Rozkład temperatur w węzownicy solanki. Wiązka 1 góra



Rysunek 13. Rozkład temperatur w węzownicy solanki. Wiązka 2 środek



Zależność ciepła właściwego od T dla 50% MEG



Węzownica dogrzewająca służy do podgrzewu płynu złożowego po redukcji ciśnienia. Zbudowana jest z rury o średnicy 60,3 mm x 6,3 mm z materiału P355NH (należącego do grupy 1.2 wg ISO 15608). Dane materiałowe oraz współczynnik przewodzenia ciepła przyjęto zgodnie z normą.

Parametry przyjęte do obliczeń:

- przepływ masowy : 3715 [kg/h]
- temperatura wlotowa : 46,1 [°C]
- ciśnienie wlotowe : 9300 [kPa]

e) Węzownica solanki

Węzownica solanki służy do podgrzewu płynu grzewczego służącego do wygrzewania przestrzeni nadpakerowej głowicy. Zbudowana jest z rury o średnicy 60,3 mm x 6,3 mm z materiału P355NH (należącego do grupy 1.2 wg ISO 15608). Dane materiałowe oraz współczynnik przewodzenia ciepła przyjęto zgodnie z normą.

Parametry przyjęte do obliczeń:

- przepływ masowy : 4000 [kg/h]
- temperatura wlotowa : 49,5 [°C]
- ciśnienie wlotowe : 750 [kPa]

f) Węzownica gazu opałowego

Węzownica gazu opałowego służy do podgrzewu gazu ziemnego służącego do zasilania m.in. palnika podgrzewacza liniowego. Zbudowana jest z rury o średnicy 48,3 mm x 5,6 mm z materiału P355NH (należącego do grupy 1.2 wg ISO 15608). Dane materiałowe oraz współczynnik przewodzenia ciepła przyjęto zgodnie z normą.

Parametry przyjęte do obliczeń:

- przepływ masowy : 564,5 [kg/h]
- temperatura wlotowa : 5 [°C]
- ciśnienie wlotowe : 3500 [kPa]

g) Izolacja

Do obliczeń przyjęto uproszczoną symulację opływu podgrzewacza przez boczny wiatr o prędkości 20 m/s, na podstawie której wyznaczono przybliżony współczynnik wnikania ciepła. Jako materiał izolacji przyjęto wełnę mineralną o współczynniku przewodzenia ciepła wynoszącym 0,039 W/mK. Pominięto opór kontaktu pomiędzy częściami zbiornika.

Parametry przyjęte do obliczeń:

- temperatura otoczenia : -27 [°C]
- temperatura gruntu : -20 [°C]
- współczynnik wnikania ciepła : 80 [W/m²K]

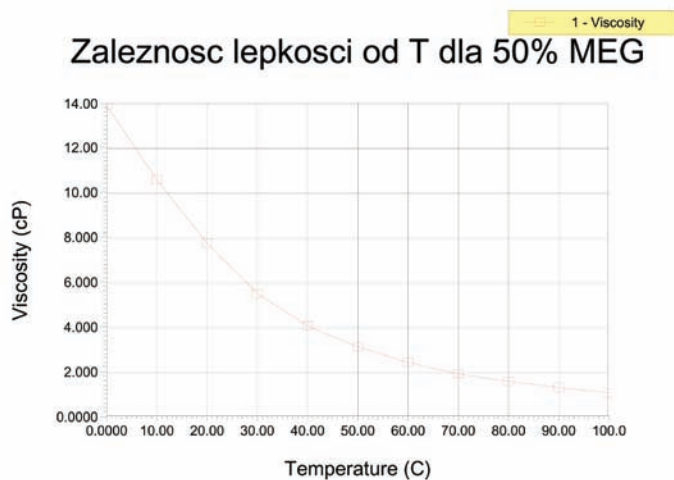
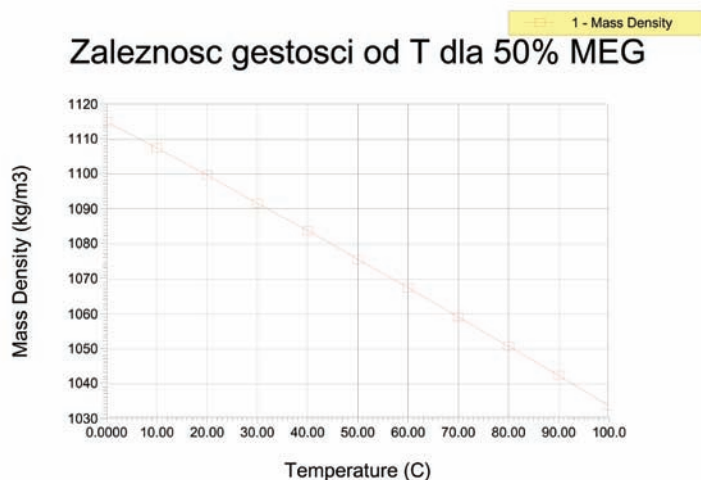
Wyniki

Przedmiotem przeprowadzonej symulacji komputerowej podgrzewacza liniowego 180-H-100 było uzyskanie:

- rozkładu temperatur kąpieli wodno-glikolowej w komorze głównej i ekspansyjnej,
- rozkładu temperatur medium w poszczególnych węzownicach,
- rozkładu temperatur płomienicy (od płomienia do wylotu do komina),
- rozkładu temperatur płaszcza podgrzewacza i jego podpór,
- straty ciepła dla podgrzewacza z izolacją oraz bez izolacji.

Podsumowanie

Pomimo że konstrukcja podgrzewacza liniowego nie jest skomplikowana, model podgrzewacza sporządzony do obliczeń na podstawie danych projektowych jest bardzo złożony. Występuje w nim wiele zjawisk związanych z wymianą ciepła: przewodzenie ciepła przez ściankę, konwekcja naturalna, reakcje spalania wraz z radiacją oraz zmiana właściwości fizykochemicznych płynów w zależności od temperatury. Dodatkowo w modelu podgrzewacza występuje wieloskalowość zjawisk: jest szybki i dynamiczny przepływ w płomienicy oraz wolny przepływ wewnątrz zbiornika. W związku z dużą rozpiętością procesów zachodzących podczas pracy podgrzewa-



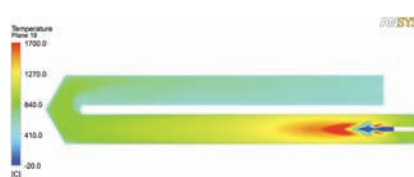
Rysunek 14. Rozkład temperatur w węzownicy solanki. Wiązka 3 dół



Rysunek 15. Rozkład temperatur w węzownicy gazu opałowego



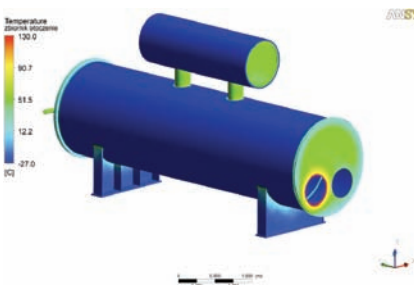
Rysunek 16. Rozkład temperatur wewnątrz płomienicy



Rysunek 17. Rozkład temperatur w ścianie płomienicy, dół



Rysunek 18. Rozkład temperatur na płaszczu podgrzewacza z izolacją, przód



cza liniowego, szczegółowej analizie poddano poszczególne zjawiska zachodzące wewnątrz urządzenia. Pozwoliło to na uzyskanie wyników stanowiących podstawę do analizy poprawności doboru podgrzewacza oraz optymalizacji jego konstrukcji pod kątem termicznym. Niemniej jednak należy pamiętać, że wyniki uzyskane metodami numerycznymi należy traktować jako przybliżone, bardzo uzależnione od danych wejściowych.

Wnioski

Tabela 4. Różnice w wynikach uzyskanych w symulacjach w programie HYSYS i w programie ANSYS CFX

	HYSYS	ANSYS	Różnica
Wylot płynu złożowego z węzownicy wstępnej	45 °C	53 °C	17%
Wylot płynu złożowego z węzownicy dogrzewającej	55 °C	60 °C	9%
Wylot solanki	65 °C	63 °C	3%
Wylot gazu paliwowego	40 °C	25 °C	37%
Wylot spalin z płomienicy	475 °C	477 °C	0%

Wyniki przedstawione w tabeli 4 wskazują na znaczne różnice między temperaturami wylotowymi z węzownic dla poszczególnych mediów. Przyczyn rozbieżności może być wiele. Najprawdopodobniej różnice temperatur na króćcach wylotowych z węzownic z gazem opałowym oraz płynem złożowym mogą wynikać z definicji medium w programie ANSYS CFX, w którym przyjęto uproszczone modele substancji odpowiadające głównym właściwościom mieszaniny gazów (dla gazu paliwowego) oraz wody, ropy i gazu (dla płynu złożowego), zamiast odwzorowania modeli rzeczywistych. Obliczenia wykazały, że do analizy doboru poszczególnych węzownic programem HYSYS przyjęto błędne założenia, gdyż program ten nie uwzględnia różnic w wartościach temperatur w zależności od poziomu usytuowania węzownicy we wnętrzu zbiornika. HYSYS zakłada stałą wartość temperatury mieszaniny wodno-glikolowej w całej przestrzeni zbiornika, natomiast w analizowanym przypadku różnica temperatur we wnętrzu podgrzewacza wynosiła nawet do 7°C.

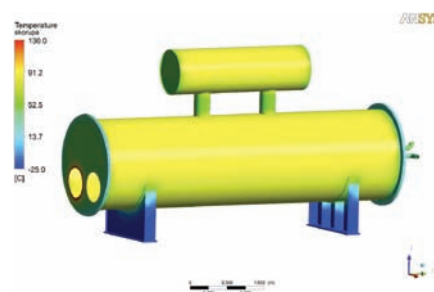
Reasumując, powyższe wyniki można uznać za zbliżone do rzeczywistych a otrzymane dane pozwoliły zoptymalizować konstrukcję podgrzewacza liniowego 180-H-100 pod względem termicznym oraz określić wytyczne optymalizacji pozostałych podgrzewaczy liniowych dla projektu LMG.

mgr inż. Cezary Pokrzywniak, PBG SA, cezary.pokrzywniak@pbg-sa.pl
mgr inż. Stanisław Wowra, MESco Sp. z o. o., swowra@mesco.com.pl

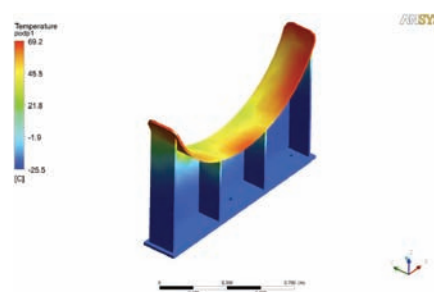
Literatura

- [1] MESco, Raport symulacji przepływu dla podgrzewacza liniowego 180-H-100
- [2] GPSA: Engineering data book. Vol. 1.
- [3] John M. Campbell: Gas conditioning and processing. Vol. 2.
- [4] Cezary Pokrzywniak, Leszek Kulawski: Procesy obróbki ropy naftowej i gazu ziemnego. Wymienniki ciepła, „Nowoczesne Technologie w Przemysle”, wydanie 5 (16)/2008, ss. 26-34.
- [5] Standards of the Tubular Exchanger Manufacturers Association.

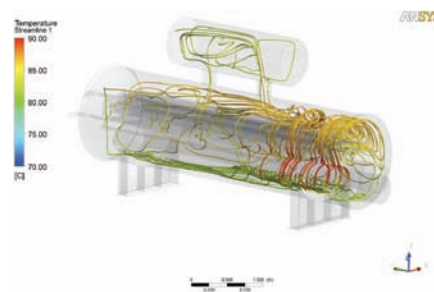
Rysunek 19. Rozkład temperatur na płaszczu podgrzewacza bez izolacji



Rysunek 20. Rozkład temperatur na podporze podgrzewacza, przód



Rysunek 21. Rozkład wektorów prędkości mieszaniny wodno-glikolowej



Rysunek 22. Rozkład wektorów prędkości mieszaniny wodno-glikolowej przy płomienicy

