



SIEMENS

Ingenuity for life



Siemens Digital Industries Software

Simcenter STAR-CCM+

Umożliwienie firmie MSI analizy złożonej hydrauliki pomp

Streszczenie dla kadry zarządzającej

Firma Mechanical Solutions Inc. (MSI) z powodzeniem włączyła oprogramowanie Simcenter STAR-CCM+® do swojego łańcucha procesów jako narzędzie do projektowania i rozwiązywania problemów. Zaawansowany, precyzyjny solwer przepływów dostępny w oprogramowaniu Simcenter STAR-CCM+ zapewnia firmie MSI usprawniony, ekonomiczny proces inżynieryjny do rozwiązywania złożonych problemów występujących w hydraulicznych maszynach przepływowych.

O autorach

Edward Bennett i Artem Ivashchenko z firmy MSI dostarczyli treści do tego artykułu technicznego.

Spis treści

Wprowadzenie	3
Symulacja pomp wodnych z użyciem oprogramowania Simcenter STAR-CCM+	4
Analiza pompy dwustrumieniowej	5
Symulacja pionowej pompy przeciwpowodziowej	7
Symulacja pompy wielostopniowej	9
Podsumowanie.....	10

Wprowadzenie

Projektanci maszyn przepływowych zwracają się ku zaawansowanym metodom projektowania z wykorzystaniem narzędzi do wspomaganego komputerowo projektowania/konstruowania/wytwarzania (CAD/CAE/CAM) w celu wirtualnego prototypowania, optymalizacji i rozwiązywania problemów. Takie narzędzia do symulacji umożliwiają projektantom dokładne przewidywanie wydajności na wcześniejszych etapach cyklu projektowego, analizę wielu projektów, zmniejszenie zależności od licznych prototypów fizycznych i kosztownych testów, optymalizację projektu w celu uzyskania maksymalnej wydajności oraz skrócenie czasu i zmniejszenie kosztów projektowania.

Firma Mechanical Solutions Inc. (MSI), z siedzibą w Whippany w stanie New Jersey, specjalizuje się w projektowaniu maszyn przepływowych, analizie mechaniki płynów oraz projektowaniu i analizie mechanicznej. W branży energetycznej firma MSI skupia się na analizie, testowaniu i rozwiązywaniu problemów występujących we wszystkich rodzajach maszyn wirujących, tłokowych i przepływowych, wykorzystując w tym celu zaawansowane narzędzia do analizy i testowania. Niniejszy artykuł techniczny przedstawia, w jaki sposób oprogramowanie Simcenter STAR-CCM+ — wiodący w branży pakiet symulacyjny firmy Siemens Digital Industries Software — pozwala firmie MSI sprostać wyzwaniom projektowym i szybciej tworzyć lepiej działające pompy. Dr Ed Bennett z firmy MSI tak podsumował doświadczenia swojego zespołu związane z wykorzystywaniem oprogramowania Simcenter STAR-CCM+: — Simcenter STAR-CCM+ udostępnia wszystkie funkcje niezbędne do analizy nawet najbardziej złożonych przepływów w maszynach hydraulicznych.

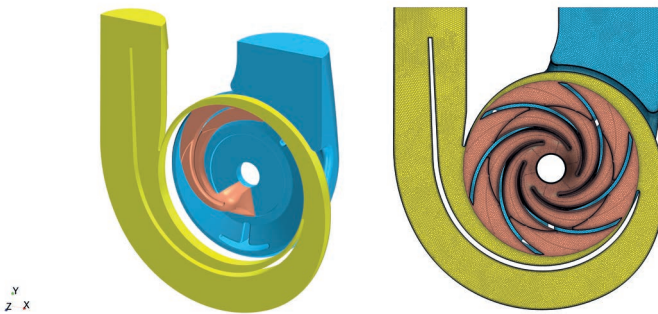
Symulacja pomp wodnych z użyciem oprogramowania Simcenter STAR-CCM+

Pompy wodne są powszechnie stosowane w elektrowniach tradycyjnych (wykorzystujących paliwa kopalne), jądrowych i wodnych, w przetwórstwie chemicznym i chłodnictwie samochodowym, a także w gospodarowaniu ropą i gazem oraz odpadami. Główne wyzwania projektowe dotyczące pomp wodnych wiążą się z przepływami nieustalonymi, kawitacją oraz układami wirującymi. Oprogramowanie Simcenter STAR-CCM+ oferuje funkcje, które można wykorzystać do rozwiązywania tych trudnych problemów fizycznych, a przy tym zapewnia usprawnione, solidne możliwości projektowania numerycznego. Simcenter STAR-CCM+ umożliwia stworzenie efektywnego procesu przepływu danych w celu generowania geometrii, siatek, rozwiązywania problemów numerycznych, postprocessingu oraz optymalizacji.

Funkcje takie jak: solver przepływów nieustalonych, model przepływu nieustalonego z kawitacją, dynamika brył sztywnych (RBM) w zastosowaniach wirujących, zautomatyzowane tworzenie nieustrukturyzowanych siatek o geometrii złożonej oraz możliwości przetwarzania równoległego pozwalają na badanie wielu konstrukcji pomp wodnych w ekonomiczny sposób. Zastosowanie oprogramowania Simcenter STAR-CCM+ umożliwia projektantom łatwe przewidywanie charakterystyki pracy pompy w punktach konstrukcyjnych i pozakonstrukcyjnych, a także pozwala na uniknięcie szkodliwych skutków kawitacji i erozji.

Analiza pompy dwustrumieniowej

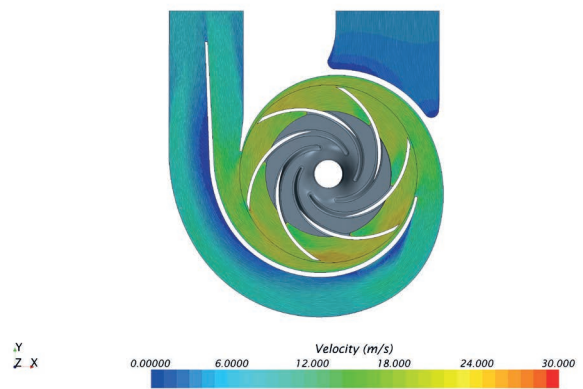
Klient zlecił firmie MSI analizę konstrukcji pompy dwustrumieniowej w celu sprawdzenia, czy spełni ona wymagania w zakresie wydajności. Była to złożona pompa odśrodkowa, lepiej zapobiegająca kawitacji. Wyposażono ją w umieszczony u góry otwór wlotowy z zainstalowaną pośrodku łopatką rozdzielającą, która zmniejszała obciążenia promieniowe, oraz dwa identyczne, prowadzące do spirali wirniki po obu stronach. Przepływ trafiający do pompy był równomiernie rozkładany między obie sekcje wirników. Firma MSI wykorzystowała oprogramowanie Simcenter STAR-CCM+ do stworzenia symulacji złożonych cech fizycznych pompy, w tym 360-stopniowego przepływu przejściowego, geometrii obrotowej oraz przepływu nieustalonego z kawitacją. Ścieżkę przepływu rozdzielono na pół, aby zachować symetrię w symulacji, zaś wlot, wirnik i spiralę stworzono w drodze modelowania. Do dyskretyzacji domeny przepływu użyto dostępnej w oprogramowaniu Simcenter STAR-CCM+ funkcji automatycznego tworzenia siatek wielościennych. Została stworzona siatka dla pojedynczego kanału między łopatkami, a następnie ukształtowano ją w powtarzający się cyklicznie szyk i połączono szyki w całość tak, by uzyskać kompletną siatkę wirnika, zapewniając przy tym jej jednorodność. Komórki pryzmatyczne były tworzone na powierzchniach w sposób automatyczny, aby wyodrębnić warstwę graniczną; w wersji ostatecznej siatka zawierała pięć milionów komórek objętości. Rysunek 1 przedstawia geometrię i siatkę ścieżki przepływu.



Rysunek 1: Geometria ścieżki przepływu pompy (po lewej) i siatka obliczeniowa w oprogramowaniu Simcenter STAR-CCM+ (po prawej) wzdłuż płaszczyzny środkowej.

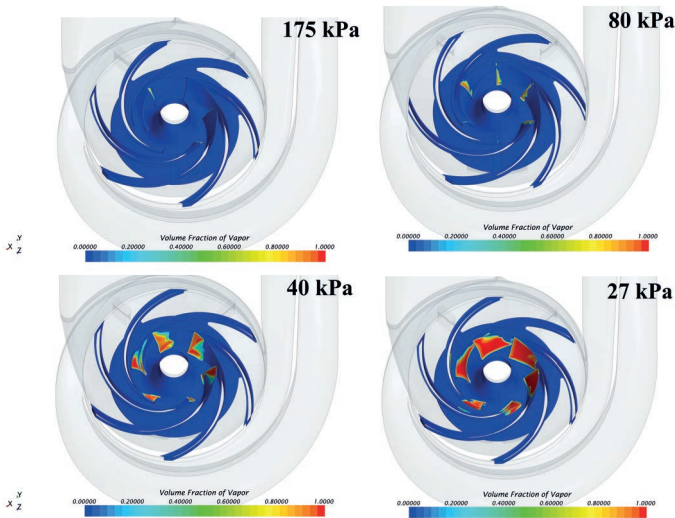
Dostępny w oprogramowaniu Simcenter STAR-CCM+ solver przepływu dzielonego zastosowano wraz ze schematem konwekcji drugiego rzędu oraz modelem turbulencji naprężeń stycznych (SST). Aktywowano wielofazowy model objętości płynu (VOF), aby wykryć granicę faz między wodą a parą wodną. Do symulacji kawitacji wybrano model kawitacji według równania Rayleigha-Plesseta. Warunki ciśnienia całkowitego podano na wlot pompy przez punkt odniesienia, zaś przepływ masowy określono zarówno na wlocie, jak

i wylocie. Obracający się wirnik był otoczony przylegającą do niego granicą faz, a domenę nadano prędkość obrotową odpowiadającą prędkości obrotowej wirnika, wykorzystując w tym celu dynamikę brył sztywnych (RBM). Wybrano nieustalony krok czasowy i czas całkowity, aby przeprowadzić symulację jednego pełnego obrotu wirnika; wykorzystano 20 iteracji wewnętrznych na jeden krok czasowy. Symulację przeprowadzono dla kilku pełnych obrotów, aż do momentu osadzenia wskaźników kontrolnych dla przepływu szczytkowego, kiedy to również wskaźniki kontrolne zmiennych wartości ciśnienia, momentu obrotowego i prędkości przepływu masy wykazywały zachowanie cykliczne.



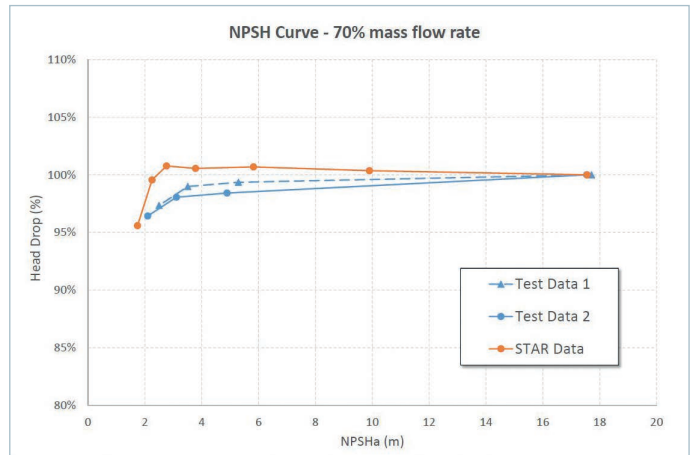
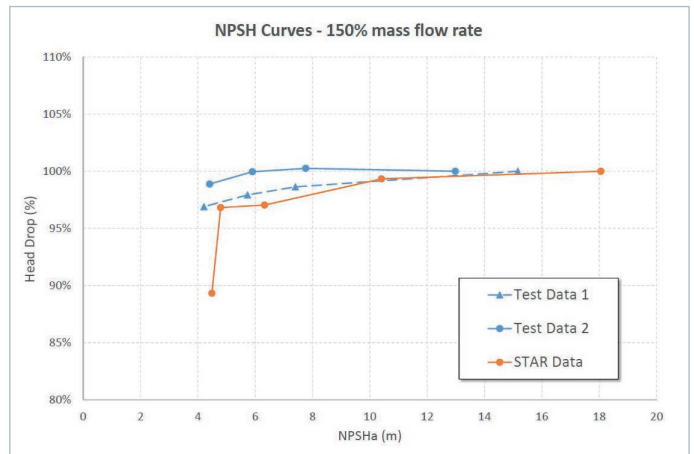
Rysunek 2: Rozkłady prędkości przedstawione jako splot całek krzywoliniowych w płaszczyźnie środkowej.

Rozkłady prędkości (rys. 2) wykazały przepływ ustalony wokół wirnika oraz równomierny przepływ spiralny i recyrkulację w pobliżu łopatki rozdzielającej. Zauważono niewielką recyrkulację w pobliżu wlotu i spirali wynikającą z ograniczonego rozmiaru osiowego pompy. Nierównomierność przepływu uznano za niepożądaną, lecz trzeba było ją zaakceptować, ponieważ zwiększenie przestrzeni osiowej celem uzyskania bardziej równomiernego przepływu nie było możliwe. Rysunek 3 przedstawia rozkłady frakcji pary na wirniku, przy czym obszary niebieskie oznaczają wodę, a czerwone — parę wodną. Można zauważyć, że przy wysokim ciśnieniu dopływowym (175 kilopaskali) kawitacja jest minimalna, natomiast wraz ze spadkiem całkowitego ciśnienia dopływowego kawitacja na wirniku zwiększa się.

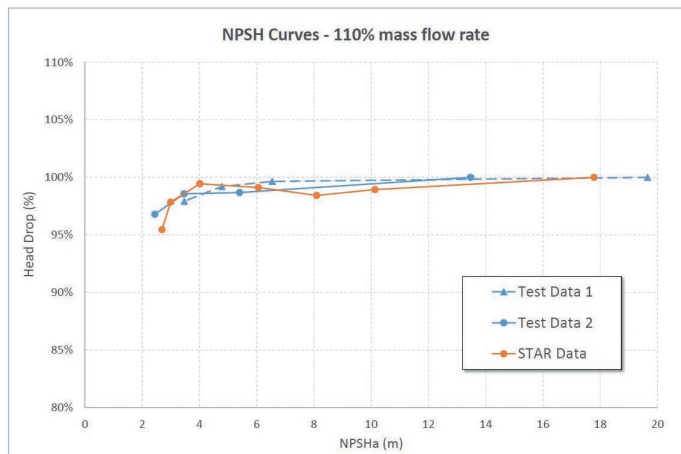


Rysunek 3: Rozkłady frakcji pary na wirniku wykazujące kawitację przy różnych wartościach całkowitego ciśnienia dopływowego.

Rysunek 4 przedstawia porównanie antykawitacyjnej nadwyżki wysokości ssania (NPSH) zmierzonej przez producenta na stanowisku badawczym oraz obliczonej przez oprogramowanie Simcenter STAR-CCM+ dla różnych wartości przepływu. Oprogramowanie Simcenter STAR-CCM+ dokładnie uchwyciło rozkład charakterystyk pracy pompy przy niższych wartościach NPSH i niższym ciśnieniu dopływowym, a uzyskane wyniki wypadają korzystnie w porównaniu z danymi doświadczalnymi. Wykorzystując oprogramowanie Simcenter STAR-CCM+, firma MSI stworzyła numerycznie krzywą rozkładu NPSH dla pompy przy wartościach natężenia przepływu w wysokości odpowiednio 70%, 110% i 150%. Umożliwiło to klientowi podjęcie jasnych decyzji dotyczących projektowania i certyfikacji, w tym wydajności pompy w zakresie zapobiegania kawitacji na podstawie symulacji stworzonych w oprogramowaniu Simcenter STAR-CCM+.



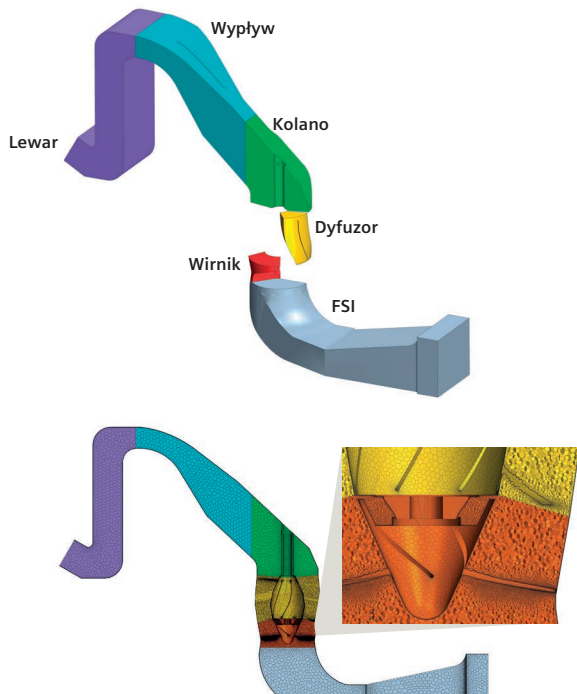
Rysunek 4: Porównanie krzywej rozkładu kawitacji — dane z oprogramowania Simcenter STAR-CCM+ kontra dane testowe przedstawiające wartości NPSH w odniesieniu do spadku wysokości ssania dla trzech różnych wartości natężenia przepływu.



Symulacja pionowej pompy przeciwpowodziowej

Zadaniem firmy MSI było przeanalizowanie konstrukcji dużej pompy osiowej dla Nowego Orleanu pod kątem problemów z rezonansem i drganiami wynikających z nieustalanej, wymuszonej charakterystyki pracy, której można spodziewać się przy trudnych warunkach pogodowych. Tego typu nowoczesne pionowe pompy przeciwpowodziowe mają być solidne, pracować wydajnie i usuwać nadmiar wody z miasta w razie powodzi.

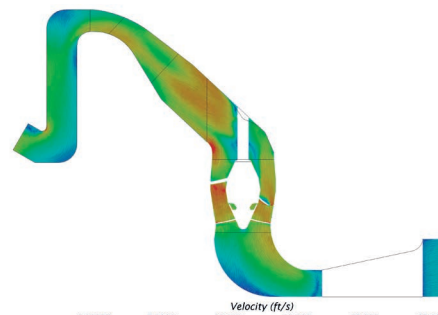
Pompę wyposażono w duży otwór wlotowy, wirnik o średnicy ponad jednego metra, dyfuzor łopatkowy, wał wewnętrzny, łopatkę wypływową podpartą łopatkami kierowniczymi oraz lewar wylotowy. Złożoną geometrię pompy zaimportowano do oprogramowania Simcenter STAR-CCM+ i poddano dyskretyzacji przy użyciu funkcji automatycznego tworzenia siatek wielościennych z warstwą pryzmatyczną. W wersji ostatecznej siatka obliczeniowa zawierała cztery miliony komórek objętościowych, precyzyjnie odwzorowując złożoną geometrię wraz z wieloma kanałami i ścieżkami przepływu. Rysunek 5 przedstawia geometrię złożoną i siatkę obliczeniową ścieżki przepływu.



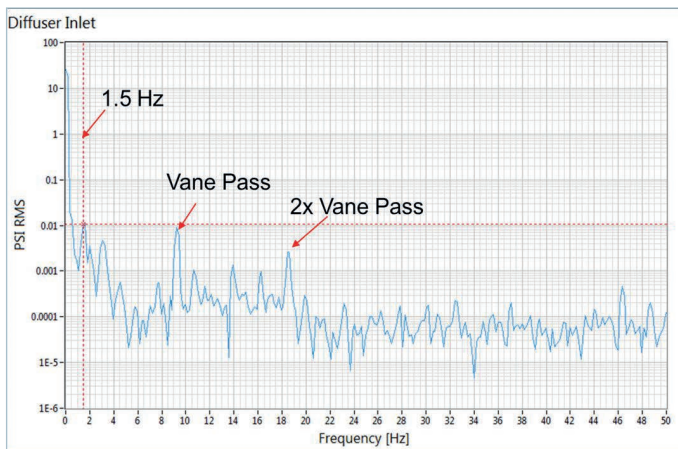
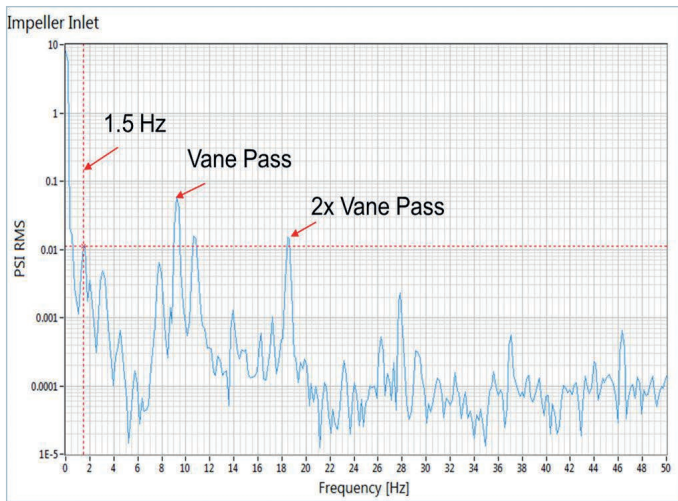
Rysunek 5: Geometria pompy pionowej (po lewej) i siatka obliczeniowa wzdłuż płaszczyzny środkowej (po prawej).

Wybrano dostępny w oprogramowaniu Simcenter STAR-CCM+ solver przepływu dzielonego wraz ze schematem konwekcji drugiego rzędu i modelem turbulencji k-epsilon. Płynem roboczym była woda w standardowej temperaturze i pod standardowym ciśnieniem. Określono również warunek graniczny dotyczący natężenia przepływu na wlocie, ciśnienie statyczne na wylocie oraz prędkość obrotową na obszarze wokół wirnika. Przeprowadzono symulację w celu uzyskania jednego pełnego obrotu wirnika z 20 iteracjami wewnętrznymi w każdym takcie. Symulację przeprowadzono dla kilku pełnych obrotów, aż do momentu osadzenia wskaźników kontrolnych dla przepływu szczytkowego, kiedy to również wskaźniki kontrolne wartości ciśnienia, momentu obrotowego i prędkości przepływu masy wykazywały zachowanie cykliczne.

Rysunek 6 przedstawia rozkłady prędkości w płaszczyźnie linii środkowej pompy. Obraz przedstawia przepływ wirowy przez obszar wypływu utworzony przez wał. Działania przeprowadzone w firmie MSI potwierdziły wiarygodność oprogramowania Simcenter STAR-CCM+, dlatego dane na temat ciśnienia pochodzące z symulacji wykorzystano do przeprowadzenia analizy częstotliwości za pomocą oprogramowania National Instruments LabVIEW zamiast używania w tym celu wartości doświadczalnych. Ciśnienie na każdej z granic faz w obszarze przetworzono w dziedzinie częstotliwości w programie LabVIEW przy użyciu szybkiej transformacji Fouriera (FFT) do analizy widmowej. Omawiana analiza uchwyciła częstotliwości oscylacji w ścieżce przepływu, w tym częstotliwości oscylacji kanału międzyłopatkowego i wirnika oraz dwukrotnego przejścia przez kanał międzyłopatkowy (rys. 7). Przechwycone częstotliwości przeanalizowano w oprogramowaniu do analizy modalnej i nie stwierdzono żadnych problemów z drganiami/rezonansem w konstrukcji pompy.



Rysunek 6: Rozkłady prędkości w płaszczyźnie środkowej przedstawione jako splot całek krzywoliniowych.

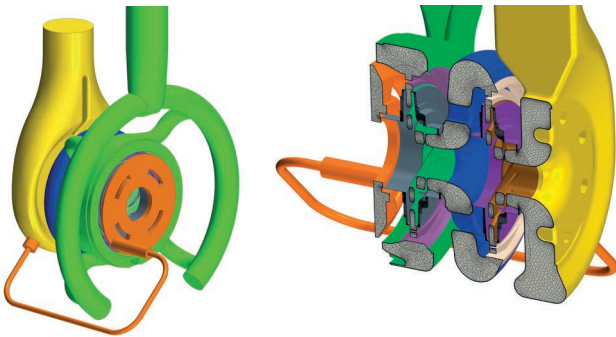


Rysunek 7: Odpowiednie częstotliwości wirnika pochodzące z oprogramowania Simcenter STAR-CCM+ na wlocie wirnika i dyfuzora.

Symulacja pompy wielostopniowej

Firma MSI wykonała symulację działania pompy wielostopniowej dla klienta zainteresowanego analizą charakterystyki pracy pompy z nietypowym wylotem. Wielostopniową pompę odśrodkową zaprojektowano tak, by zapewnić dużą całkowitą wysokość pompowania (TDH). Poza złożonymi przepływami przejściowymi, układami wirującymi i niestabilną wymuszoną charakterystyką pracy, w pompie występowały również złożone przepływy wtórne, przez co tak istotne było, aby narzędzie do symulacji uchwyciło wszystkie te aspekty w analizie. Symulacja pompy obejmowała przepływ od wlotu przez dwa stopnie z dwoma wirnikami w układzie szeregowym oraz wypływ przez spiralę. Urządzenie równoważące siłę nacisku przekierowało część przepływu wylotowego z powrotem na wlot. W pompie występowała złożona ścieżka przepływu pierwotnego i wtórnego; urządzenie zaprojektowano tak, by zwiększyć jego wydajność w zakresie hydrauliki oraz zapobiegania kawitacji.

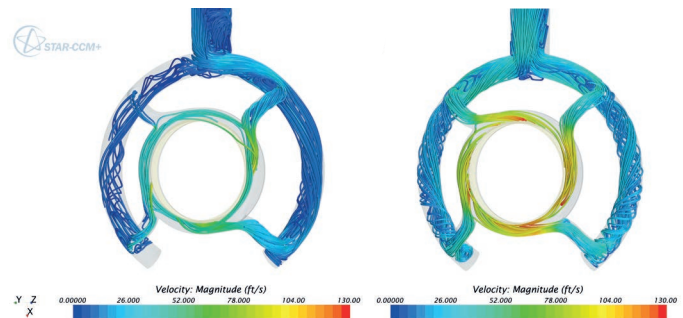
Przepływ w pompie wielostopniowej obejmował wlot, wypływ, przepływ pierwotny i wtórny oraz granice faz łączące obszary nieruchome z wirującymi. Rysunek 8 przedstawia geometrię i siatkę obliczeniową pompy. W symulacji obszary nieruchome były połączone z obszarami wirującymi łącznie ośmioma granicami faz, zarówno pierwotnymi, jak i wtórnymi. Oprogramowania Simcenter STAR-CCM+ użyto do rozwiązania kwestii przepływu wokół wirnika oraz obszarów wgłębień z przodu i z tyłu tarczy wzmacniającej każdego elementu, oprócz przepływu wewnątrz przewodu rurowego, który łączył wlot z wylotem.



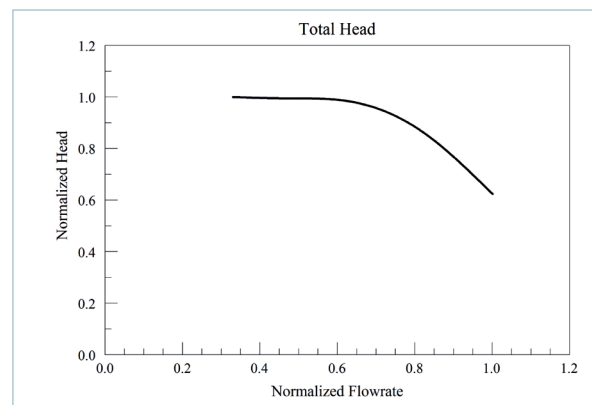
Rysunek 8: Geometria (po lewej) i siatka obliczeniowa (po prawej) pompy w oprogramowaniu Simcenter STAR-CCM+.

Rysunek 9 przedstawia porównanie linii prądu przepływu przy małym i dużym natężeniu przepływu przez pompę. Przy małym natężeniu przepływu lewa strona spirali wykazuje inną charakterystykę przepływu niż prawa, gdzie przepływ jest tłumiony, natomiast po

lewej stronie niesymetryczny. Przy dużym natężeniu przepływ jest wirowy, lecz bardziej równomierny po obu stronach. Rysunek 10 przedstawia całkowitą wartość TDH przy różnych wartościach natężenia przepływu. Jak zauważył klient, zmiany TDH stabilizują się wraz ze zmianą natężenia przepływu z wartości dużej na małą. Na podstawie symulacji wykonanych w oprogramowaniu Simcenter STAR-CCM+ nierównomierny przepływ rozpoznano jako przyczynę pogorszenia się charakterystyki pracy pompy przy małych wartościach natężenia przepływu. Ta analiza i obserwacja okazały się przydatne dla klienta przy zmianie projektu pompy w celu uzyskania pożądanej wartości TDH przy mniejszym natężeniu przepływu.



Rysunek 9: Linie prądu przepływu w wypływie pompy zaznaczone kolorem dla przepływu o natężeniu 359 (z lewej) i 1 110 (z prawej) galonów na minutę.



Rysunek 10: Porównanie natężenia przepływu (galony na minutę) z wysokością pompowania w oprogramowaniu Simcenter STAR-CCM+.

Podsumowanie

Firma MSI z powodzeniem włączyła oprogramowanie Simcenter STAR-CCM+ do swojego łańcucha procesów jako narzędzie do projektowania i rozwiązywania problemów zapewniające oczekiwane rezultaty. Zaawansowany, precyzyjny solver przepływów dostępny w oprogramowaniu Simcenter STAR-CCM+ zapewnia firmie MSI usprawniony, oszczędny proces inżynierski do rozwiązywania wysoce złożonych problemów występujących w hydraulicznych maszynach przepływowych. Opisane tutaj przypadki świadczą o korzyściach płynących z symulacji numerycznej tworzonej z wykorzystaniem oprogramowania Simcenter STAR-CCM+ do projektowania i analizy

działania maszyn przepływowych w warunkach przemysłowych. Zastosowanie oprogramowania Simcenter STAR-CCM+ przyniosło firmie MSI wiele korzyści w zakresie projektowania maszyn przepływowych, w tym:

- Zdobycie nowych zamówień
- Utrzymanie zadowolenia wśród obecnych klientów
- Szybsze projektowanie lepiej działających pomp
- Uzyskanie cenniejszej wiedzy w porównaniu do testów fizycznych

Siemens Digital Industries Software

Centrala

Granite Park One
5800 Granite Parkway
Suite 600
Plano, TX 75024
USA
+1 972 987 3000

Ameryka Pn. i Płd.

Granite Park One
5800 Granite Parkway
Suite 600
Plano, TX 75024
USA
+1 314 264 8499

Europa

Stephenson House
Sir William Siemens Square
Frimley, Camberley
Surrey, GU16 8QD
+44 (0) 1276 413200

Azja i Pacyfik

Unit 901-902, 9/F
Tower B, Manulife Financial Centre
223-231 Wai Yip Street, Kwun Tong
Koulun, Hongkong
+852 2230 3333

O firmie Siemens Digital Industries Software

Siemens Digital Industries Software przewodzi współczesnym przemianom, które pozwolą zbudować cyfrowe przedsiębiorstwo, gdzie inżynieria, produkcja i elektronika tworzą przyszłość. Nasze rozwiązania pomagają firmom każdej wielkości tworzyć i wykorzystywać cyfrowe bliźniaki, dzięki którym organizacje zyskują nowe pomysły i informacje, więcej możliwości i wyższy poziom automatyzacji, co umożliwia tworzenie innowacji. Aby uzyskać więcej informacji na temat produktów i usług firmy Siemens Digital Industries Software, odwiedź stronę [siemens.com/software](https://www.siemens.com/software) lub obserwuj nas w serwisach [LinkedIn](#), [Twitter](#), [Facebook](#) i [Instagram](#). Siemens Digital Industries Software – Where today meets tomorrow.

[siemens.com/software](https://www.siemens.com/software)

© 2017 Siemens. Listę znaków towarowych firmy Siemens można znaleźć [tutaj](#). Pozostałe znaki towarowe należą do odpowiednich podmiotów.
66944-78499-C6-PL 12/20 LOC