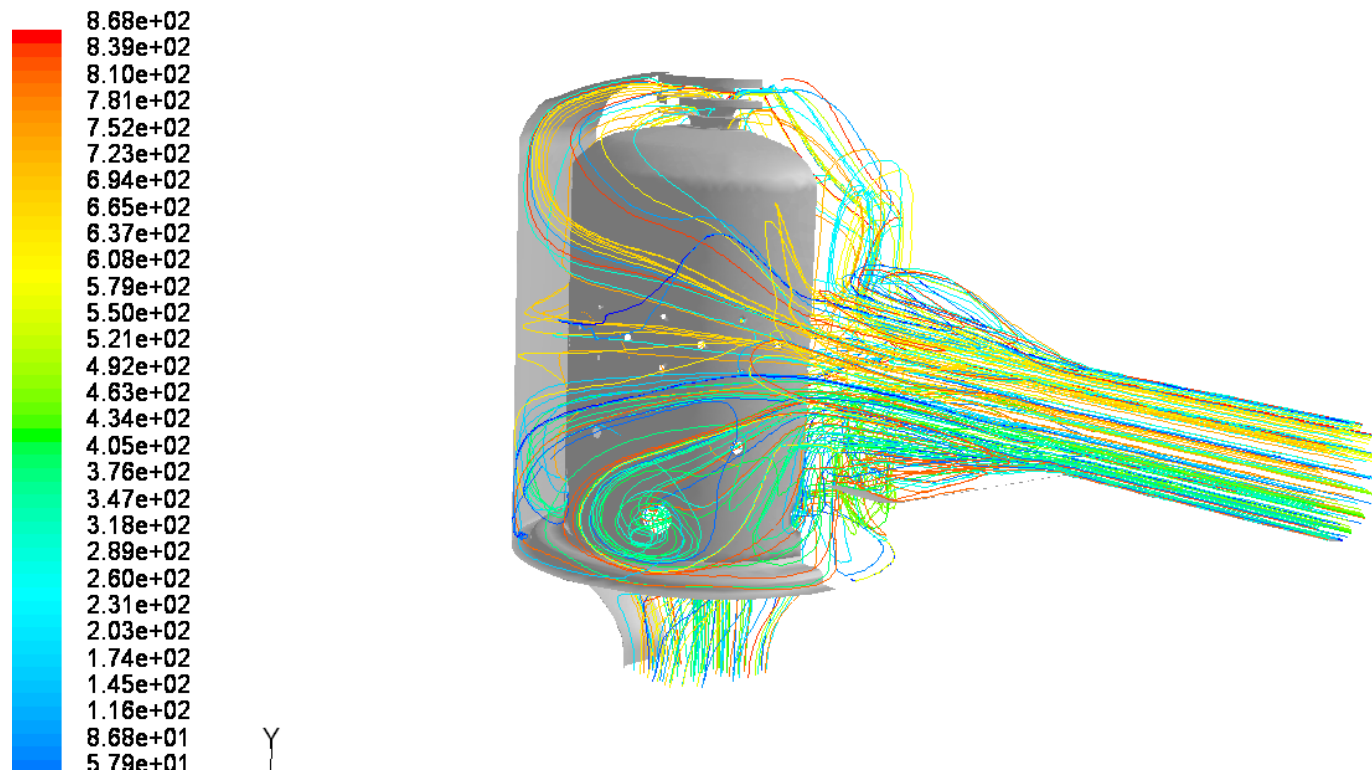


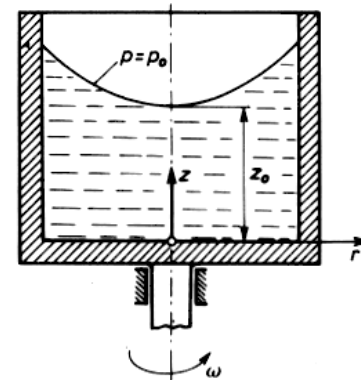
Katedra Energetyki i Aparatury Przemysłowej
Zakład Mechaniki Płynów, Turbin Wodnych i Pomp
J. Szantyr – Wykład 1 – Łagodne wprowadzenie do
Mechaniki Płynów



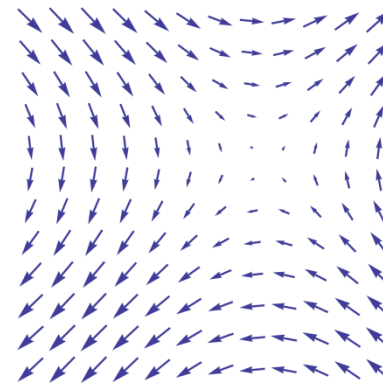
Jan A. Szantyr – jas@pg.gda.pl – tel. 58-347-2507

Mechanika Płynów czyli **Mechanika Cieczy i Gazów** może być podzielona pod względem obszaru zainteresowań na trzy części:

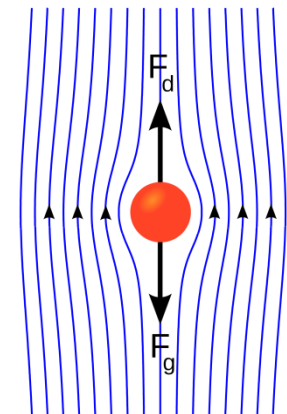
Statyka Płynów – zajmuje się badaniem zachowania się płynów w stanie równowagi



Kinematyka Płynów – zajmuje się badaniem pól prędkości poruszającego się płynu



Dynamika Płynów – zajmuje się badaniem pól sił występujących w powiązaniu z polami prędkości w poruszającym się płynie



Mechanika Płynów czyli Mechanika Cieczy i Gazów może być również podzielona pod względem wykorzystywanych metod i narzędzi badawczych na trzy części:

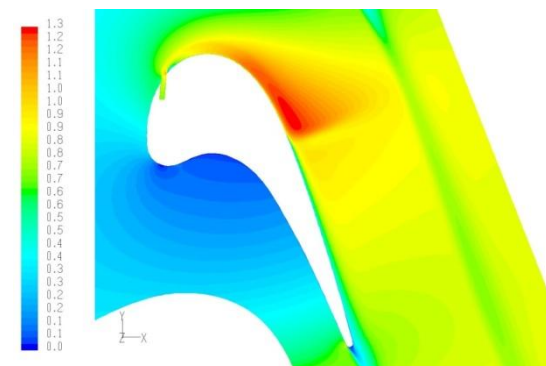
**Eksperymentalna
Mechanika Płynów**



**Teoretyczna
Mechanika Płynów**

$$\frac{d\Omega}{dr} \times \partial r - (\partial r \nabla) u \times \Omega = 0$$

**Numeryczna
Mechanika Płynów**



Eksperymentalna mechanika płynów

- Obserwacja zjawisk fizycznych występujących w przepływach.
- Inspiracja do tworzenia modeli fizycznych i matematycznych tych zjawisk.
- Eksperymentalne badania modelowe jako element projektowania obiektów rzeczywistych.
- Weryfikacja modeli fizycznych i matematycznych oraz metod obliczeniowych.

Teoretyczna mechanika płynów

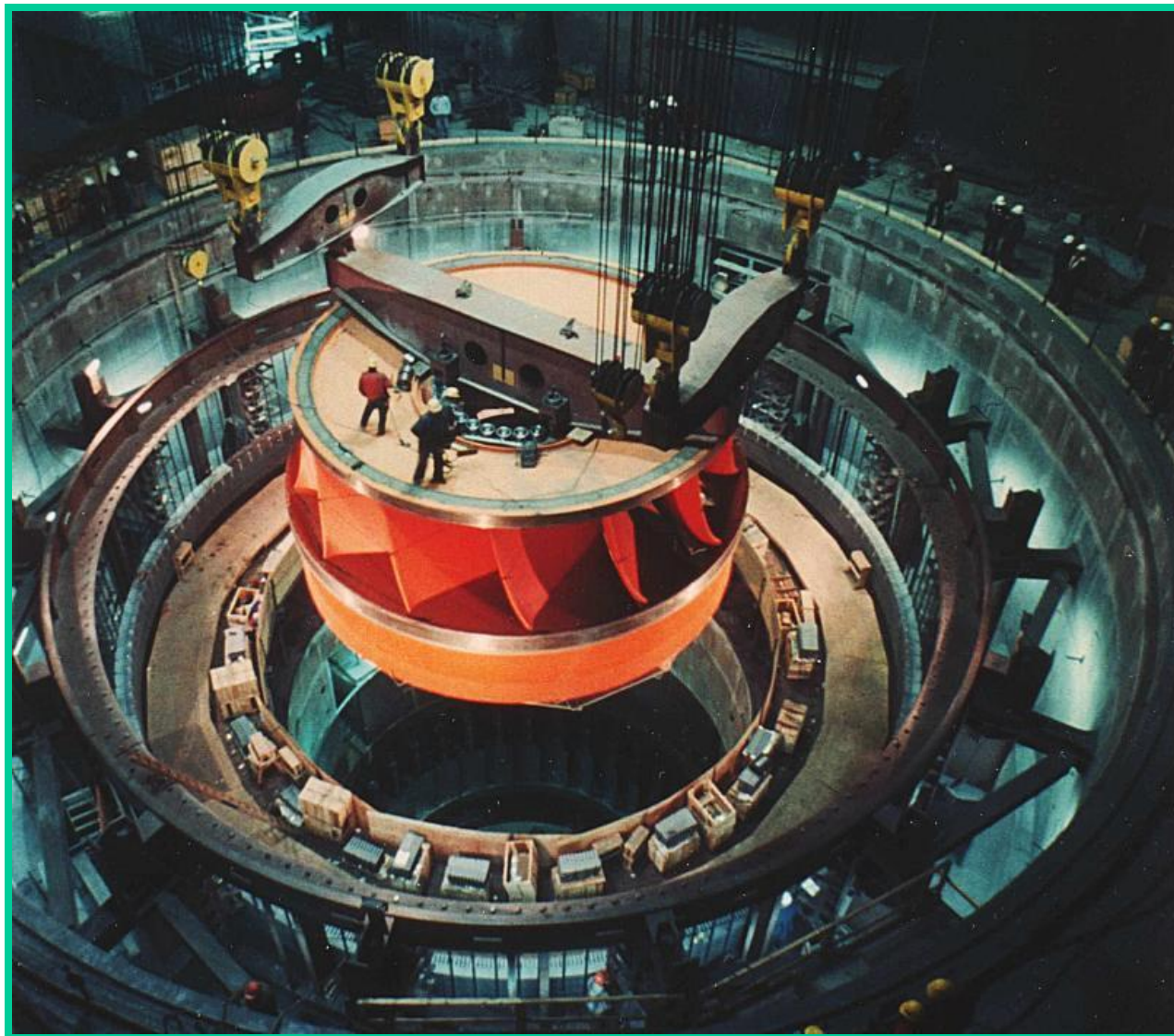
- Tworzenie modeli fizycznych i matematycznych dla zjawisk występujących w przepływach.
- Uzyskiwanie rozwiązań analitycznych prostych zagadnień przepływowych.
- Weryfikacja numerycznych metod obliczeniowych.
- Formułowanie zadań dla eksperymentalnej mechaniki płynów.

Numeryczna mechanika płynów

- Tworzenie metod obliczeniowych do rozwiązywania złożonych zadań praktycznych mechaniki płynów.
- Weryfikacja metod obliczeniowych.
- Prowadzenie analiz obliczeniowych z zakresu mechaniki płynów w procesie projektowania różnych obiektów technicznych.

Obszary praktycznego zastosowania mechaniki płynów

- Pompy i turbiny wodne
- Turbiny parowe i gazowe
- Wentylatory, sprężarki i turbiny wiatrowe
- Systemy rurociągów i aparatura chemiczna
- Okręty, samoloty i pojazdy
- Porty, kanały i budowle hydrotechniczne
- Budowle naziemne i mosty
- Biomechanika i aparatura medyczna
- Meteorologia i klimatologia
- Ekoinżynieria i ochrona środowiska



Turbiny wodne



Turbiny parowe i gazowe



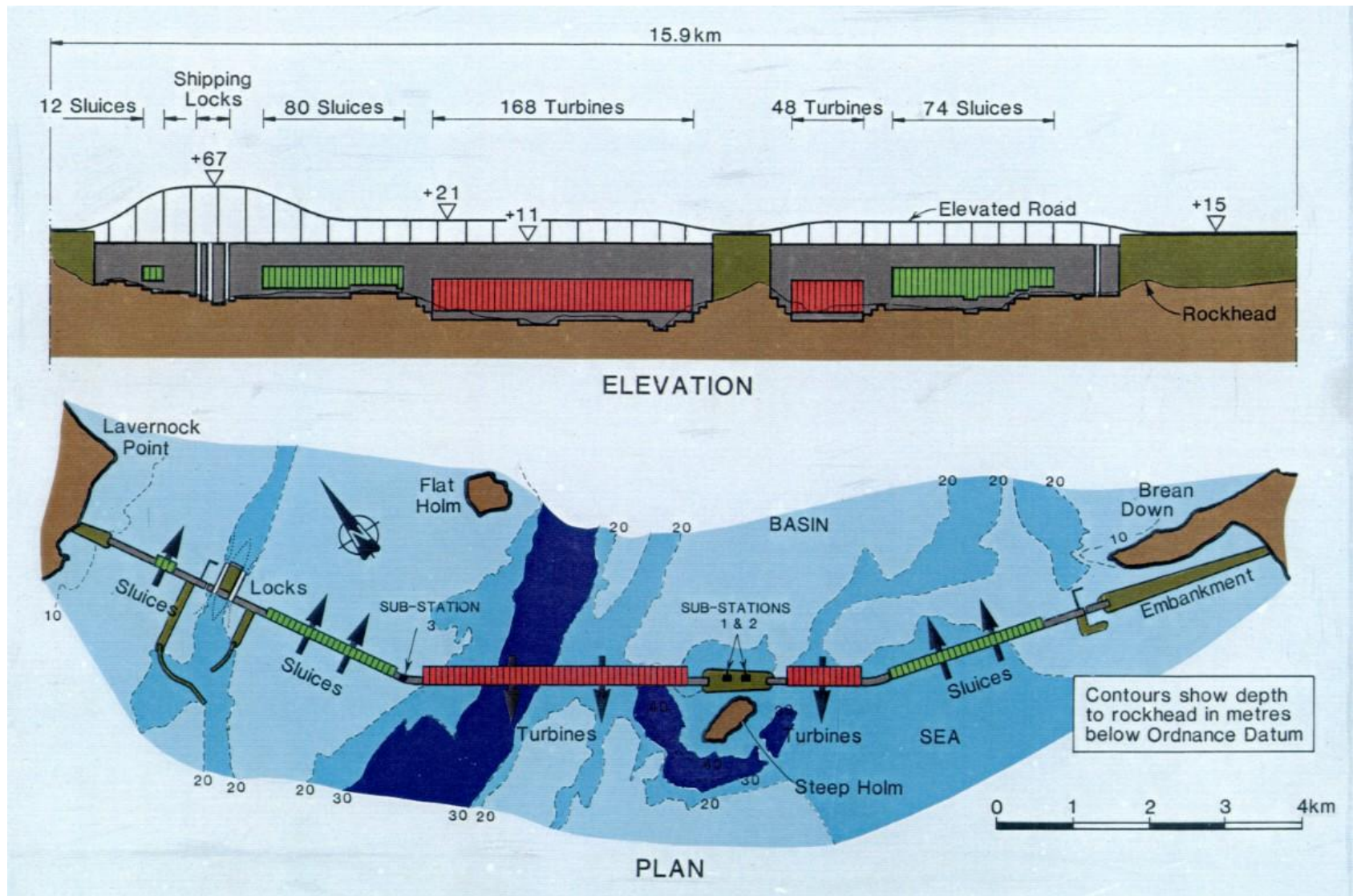
Turbiny wiatrowe



Systemy rurociągów i aparatura chemiczna



Okrety



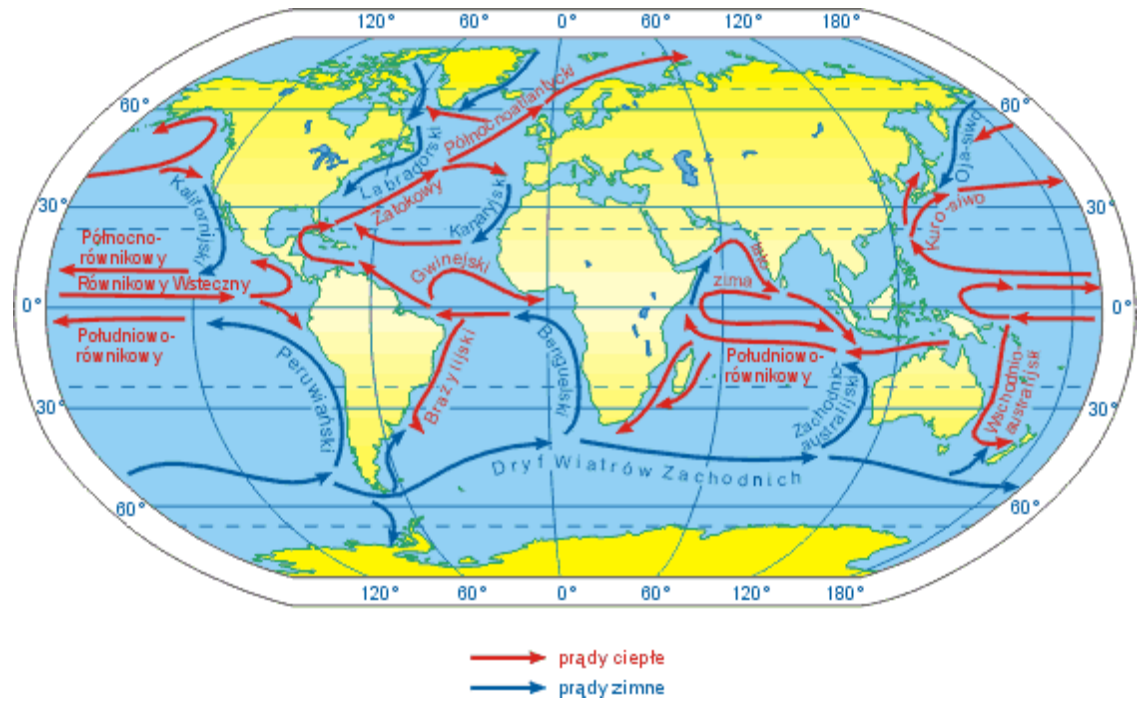
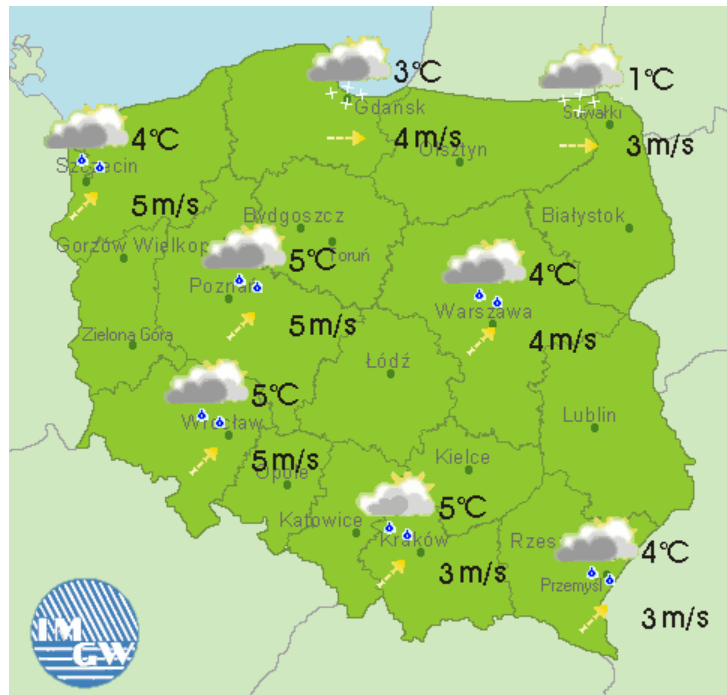
Budowle hydrotechniczne



Budowle naziemne



Aparatura medyczna



Problemy meteorologii i klimatologii

Plan wykładu dla kierunku Mechanika i Budowa Maszyn

Lp.	Temat wykładu
1	Wprowadzenie: Zadania, metody i obszary zastosowań mechaniki płynów
2	Właściwości płynów. Element płynu. Modele płynów. Rodzaje przepływów. Układy współrzędnych. Podstawowe relacje matematyczne.
3	Hydrostatyka: Siły masowe i powierzchniowe. Równowaga płynów. Równanie Eulera.
4	Napór hydrostatyczny na ściany proste i zakrzywione.
5	Pływanie ciał. Stateczność ciał pływających.
6	Kinematyka: Podejście Lagrangea i Eulera. Linie prądu. Tory elementu płynu.
7	Ruch ogólny elementu płynu. Ruch wirowy elementu płynu.
8	Równanie zachowania masy
9	Dynamika: Równanie zachowania pędu 1:
10	Stan naprężenia w płynie. Tensor stanu naprężenia.
11	Równanie zachowania pędu 2: Równanie Naviera-Stokesa.
12	Równanie zachowania energii.
13	Równanie bilansu entropii. Dyssypacja energii mechanicznej.
14	Zamknięty układ równań mechaniki płynów. Warunki początkowe i brzegowe.
15	Równanie Bernoulliego.
16	Podobieństwo przepływów 1: Bezwymiarowa postać równań mechaniki płynów Kryteria podobieństwa. Liczby Strouhala, Froude'a, Eulera, Reynoldsa.
17	Podobieństwo przepływów 2:: Liczba Eckerta. Liczba Prandtla. Efekt skali.
18	Przepływy laminarne i turbulentne. Doświadczenie Reynoldsa. Podstawy teorii Kołmogorowa.
19	Warstwy przyścienne i ślady 1: Równania Prandtla. Oderwanie warstwy przyściennej
20	Warstwy przyścienne i ślady 2: Przejście lam-turb. Struktura turbulentnej warstwy przyściennej.
21	Aerodynamika płatów nośnych. Charakterystyki aerodynamiczne płatów.
22A/B	Kawitacja. Podstawy fizyczne, konsekwencje hydrodynamiczne.
23	Przepływy potencjalne 1:: Równanie Laplace'a.. Potencjalny opływ walca. Paradoks d'Alemberta.
24	Przepływy potencjalne 2: Wirowy opływ walca. Prawo Żukowskiego. Modelowanie przepływów potencjalnych 2D i 3D
25	Przepływy w kanałach zamkniętych 1:Przepływy jednowymiarowe. Straty lokalne i liniowe
26	Przepływy w kanałach zamkniętych 2: Układy rurociągów. Przepływy niestacjonarne.
26bis/27 bis	Podstawy działania pomp wirnikowych
27/28	Przepływy w kanałach otwartych 1: Stacjonarny i niestacjonarny ruch cieczy w ciekach.
29	Gazodynamika 1: Propagacja małych i skończonych zaburzeń w gazie. Prędkość dźwięku.
30	Gazodynamika 2: Proste i skośne fale uderzeniowe. Przepływ przez dyszę de Lavalą.

Plan wykładu dla kierunku Inżynieria Mechaniczno-Medyczna

Godzina	Nr wykładu	Temat wykładu
1	1	Wprowadzenie 1: Zadania, metody i obszary zastosowań mechaniki płynów
2	2	Wprowadzenie 2: Właściwości płynów. Element płynu. Modele płynów. Rodzaje przepływów. Układy współrzędnych. Podstawowe relacje matematyczne.
3	3	Hydrostatyka 1: Siły masowe i powierzchniowe. Równowaga płynów. Równanie Eulera.
4	4	Hydrostatyka 2: Napór hydrostatyczny na ściany proste i zakrzywione.
5	5	Hydrostatyka 3: Pływanie ciał. Stateczność ciał pływających.
6	6	Kinematyka 1: Podejście Lagrangea i Eulera. Linie prądu. Tory elementu płynu.
7	7	Kinematyka 2: Ruch ogólny elementu płynu. Ruch wirowy elementu płynu.
8	8	Kinematyka 3: Równanie zachowania masy
9	9	Równanie zachowania pędu 1:
10	10	Stan naprężenia w płynie. Tensor stanu naprężenia.
11	11	Równanie zachowania pędu 2: Model płynu Newtona. Równanie Naviera-Stokesa.
12	12	Równanie zachowania energii.
13	13	Równanie bilansu entropii. Dyssypacja energii mechanicznej
14	14	Zamknięty układ równań mechaniki płynów. Warunki początkowe i brzegowe.
15	15	Równanie Bernoulliego.
16	16/17	Podobieństwo przepływów 1: Bezwymiarowa postać równań mechaniki płynów Kryteria podobieństwa. Liczby Strouhala, Froude'a, Eulera, Reynoldsa, Eckerta, Prandtla.
17	18	Przepływy laminarne i turbulentne. Doświadczenie Reynoldsa. Podstawy teorii Kołmogorowa.
18	19	Warstwy przyścienne i ślady 1: Równania Prandtla. Oderwanie warstwy przyściennej
19	20	Warstwy przyścienne i ślady 2: Przejście lam-turb. Struktura turbulentnej warstwy przyściennej.
20	22A/22B	Kawitacja. Podstawy fizyczne, konsekwencje hydrodynamiczne.
21	23	Przepływy potencjalne 1:: Równanie Laplace'a.. Potencjalny opływ walca. Paradoks d'Alemberta.
22	24	Przepływy potencjalne 2: Prawo Żukowskiego. Modelowanie przepływów potencjalnych 2D i 3D
23	25/26	Przepływy w kanałach zamkniętych 1:Przepływy jednowymiarowe. Straty lokalne i liniowe. Układy rurociągów. Przepływy niestacjonarne.
24	26(Med1/ Med2)	Pompy do wspomagania pracy serca. Protezy zastawek aorty.
25	MED1	Cyrkulacja krwi. Informacje o naczyniach krwionośnych.
26	MED2	Prawo Murraya. Układ oddechowy
27	MED3	Równanie konstytutywne krwi.
28	MED4	Rozwiązanie przepływu newtonowskiego w rurce o przekroju kołowym.
29	MED5	Przykładowe rozwiązanie przepływu nienewtonowskiego w rurce o przekroju kołowym
30	MED6	Rozwiązanie Womersleya dla przepływu niestacjonarnego w rurce o przekroju kołowym

Plan wykładu dla kierunku Mechatronika

Godzina.	Nr wykładu	Temat wykładu
1	1/2	Wprowadzenie: Zadania, metody i obszary zastosowań mechaniki płynów. Właściwości płynów. Element płynu. Modele płynów. Rodzaje przepływów. Układy współrzędnych. Podstawowe relacje matematyczne.
2	3	Hydrostatyka: Siły masowe i powierzchniowe. Równowaga płynów. Równanie Eulera.
3	4	Napór hydrostatyczny na ściany proste i zakrzywione.
4	6/7	Kinematyka: Linie prądu. Tory elementu płynu. Ruch ogólny elementu płynu
5	8	Zasada i równanie zachowania masy
6	9/10/11	Dynamika: Zasada i równanie zachowania pędu . Równanie Naviera-Stokesa
7	15	Równanie Bernoulliego.
8	16	Podobieństwo przepływów: Bezwymiarowa postać równań mechaniki płynów Kryteria podobieństwa. Liczby Strouhala, Froude'a, Eulera, Reynoldsa. Efekt skali
9	18	Przepływy laminarne i turbulentne. Doświadczenie Reynoldsa. Podstawy teorii Kołmogorowa.
10	19/20	Warstwy przyścienne i ślady: Równania Prandtla. Oderwanie warstwy przyściennej
11	22A/22B	Kawitacja. Podstawy fizyczne, konsekwencje hydrodynamiczne.
12	23/24	Przepływy potencjalne: Równanie Laplace'a.. Potencjalny i wirowy opływ walca. Paradoks d'Alemberta. Prawo Żukowskiego.
13	25/26	Przepływy w kanałach zamkniętych: Przepływy jednowymiarowe. Straty lokalne i liniowe
14	29/30	Gazodynamika: Propagacja małych i skończonych zaburzeń w gazie. Prędkość dźwięku. Fale uderzeniowe.
15		Test zaliczeniowy

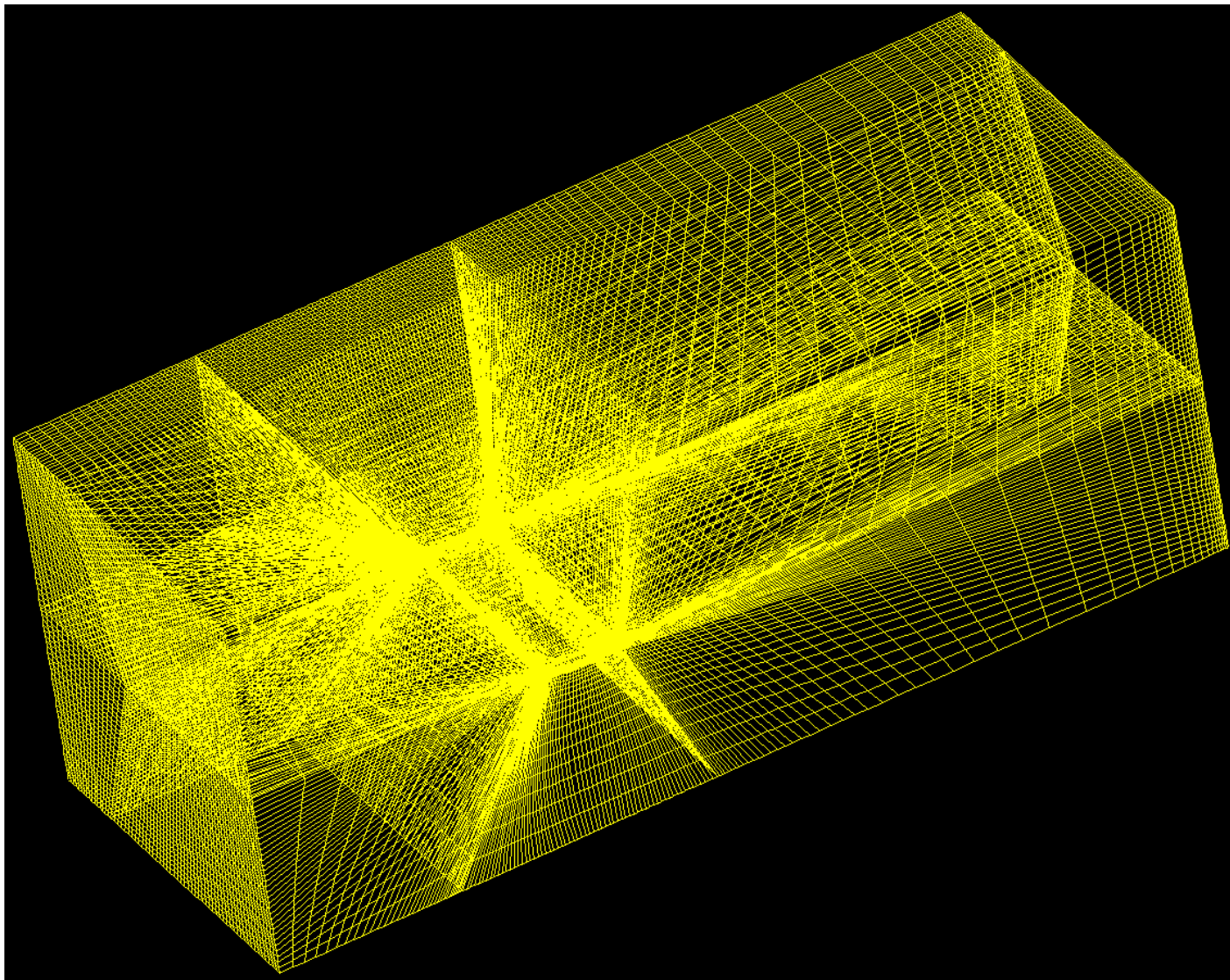
Plan wykładu dla kierunku Zarządzanie i Inżynieria Produkcji

Godzina.	Nr wykładu	Temat wykładu
1	1/2	Wprowadzenie: Zadania, metody i obszary zastosowań mechaniki płynów. Właściwości płynów. Element płynu. Modele płynów. Rodzaje przepływów. Układy współrzędnych. Podstawowe relacje matematyczne.
2	3/4	Hydrostatyka: Siły masowe i powierzchniowe. Równowaga płynów. Równanie Eulera. Napór hydrostatyczny. Pływanie ciał
3	6/7/8	Kinematyka: Linie prądu. Tory elementu płynu. Ruch ogólny elementu płynu. Zasada i równanie zachowania masy
4	9/10/11/15	Dynamika: Zasada i równanie zachowania pędu . Równanie Naviera-Stokesa. Równanie Bernoulliego.
5	16	Podobieństwo przepływów: Bezwymiarowa postać równań mechaniki płynów Kryteria podobieństwa. Liczby Strouhala, Eulera, Froudea i Reynoldsa. Efekt skali.
6	18	Przepływy laminarne i turbulentne. Doświadczenie Reynoldsa. Podstawy teorii turbulencji Kołmogorowa.
7	19/20	Warstwy przyścienne i ślady: Równania Prandtla. Oderwanie warstwy przyściennej.
8	23/24	Przepływy potencjalne: Równanie Laplace'a.. Potencjalny i wirowy opływ walca. Paradoxs d'Alemberta. Prawo Żukowskiego.
9	21	Aerodynamika płatów nośnych.
10	22A/22B	Kawitacja. Podstawy fizyczne, konsekwencje hydrodynamiczne.
11	25	Przepływy w kanałach zamkniętych: Przepływy jednowymiarowe. Straty lokalne i liniowe.
12	26	Przepływy w kanałach zamkniętych: obliczanie rurociągów
13	26bis/27bis	Podstawy działania pomp wirnikowych
14	27/28	Przepływy w kanałach otwartych. Przepływy niestacjonarne, zjawiska falowe.
15	29/30	Podstawy gazodynamiki I/II

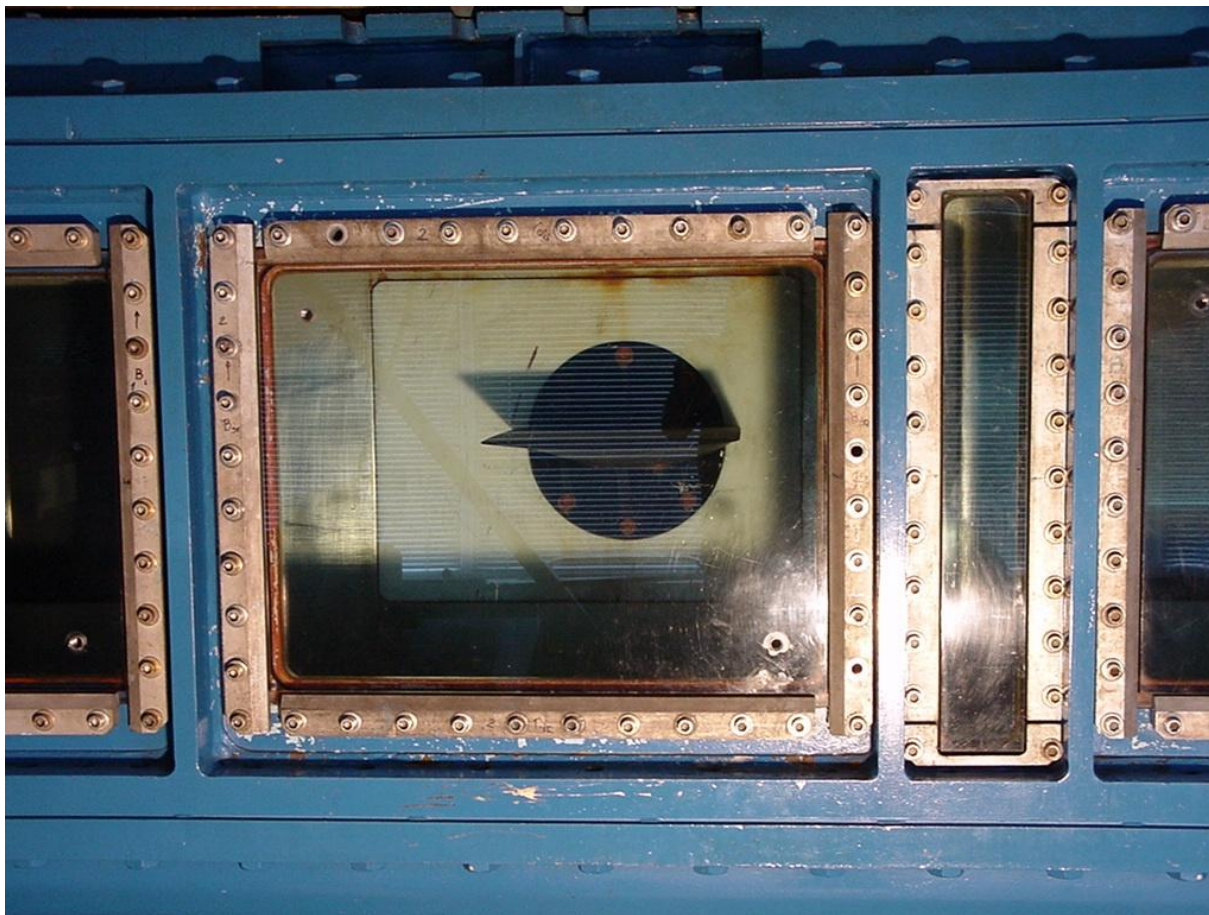
Plan wykładu dla kierunku Inżynieria Materiałowa

Godzina	Nr wykładu	Temat wykładu
1	1/2	Wprowadzenie, podstawowe pojęcia i definicje
2	3/4/5	Statyka płynów – napór hydrostatyczny, pływanie ciał
3	7/8	Kinematyka płynów – zasada zachowania masy
4	11/12/15	Dynamika płynów – zasada zachowania pędu – równanie Naviera-Stokesa – zasada zachowania energii – równanie Bernoulliego
5	16/17	Kryteria podobieństwa przepływów
6	18/19/20	Przepływy laminarne i turbulentne. Podstawy teorii warstwy przyściennej
7	22A/B	Kawitacja. Podstawy fizyczne, konsekwencje hydrodynamiczne.
8	25/26	Przepływy w kanałach zamkniętych

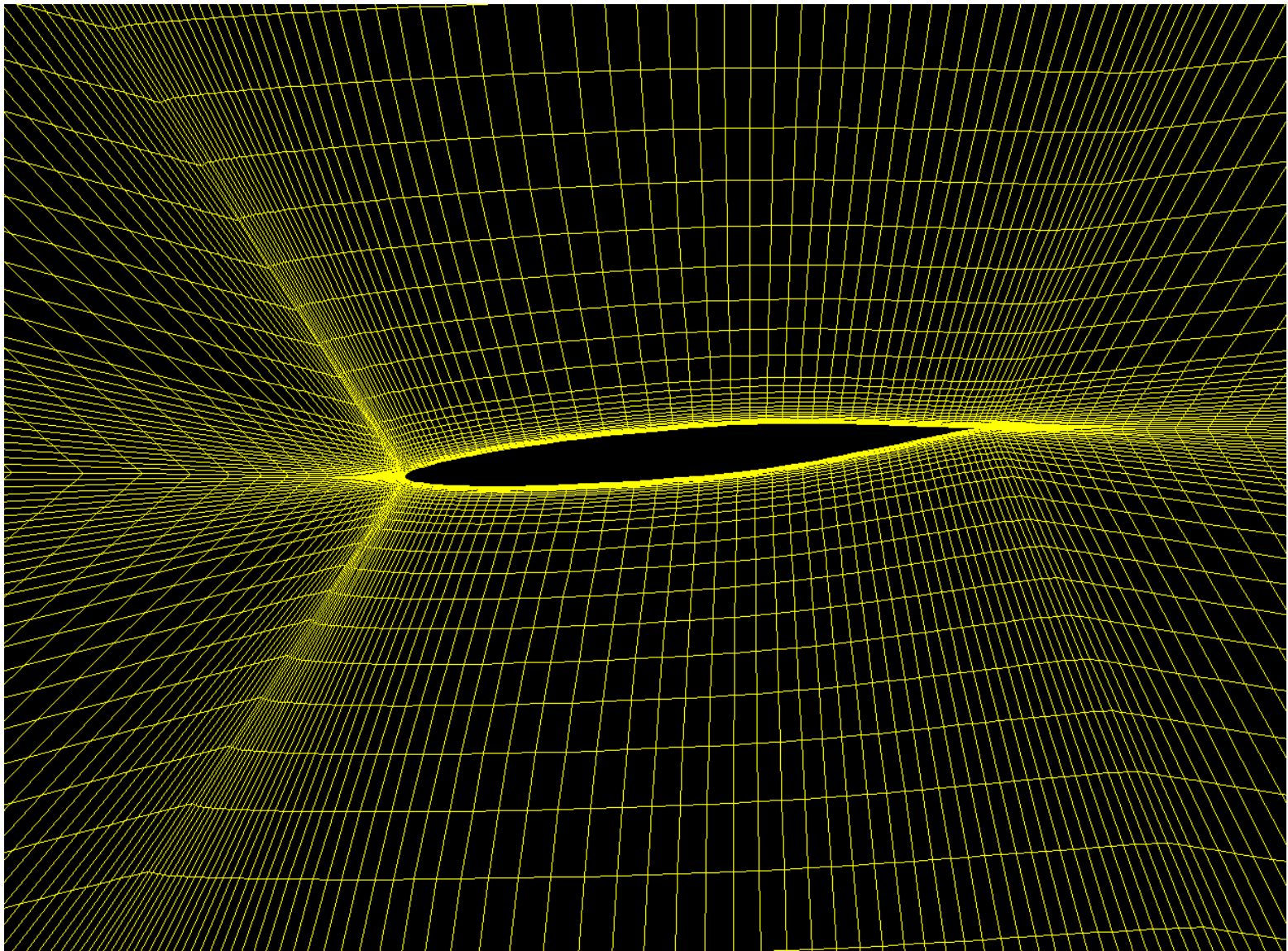
Przykłady zastosowania współczesnych
narzędzi obliczeniowych Mechaniki
Płynów do rozwiązywania różnorodnych
praktycznych problemów technicznych



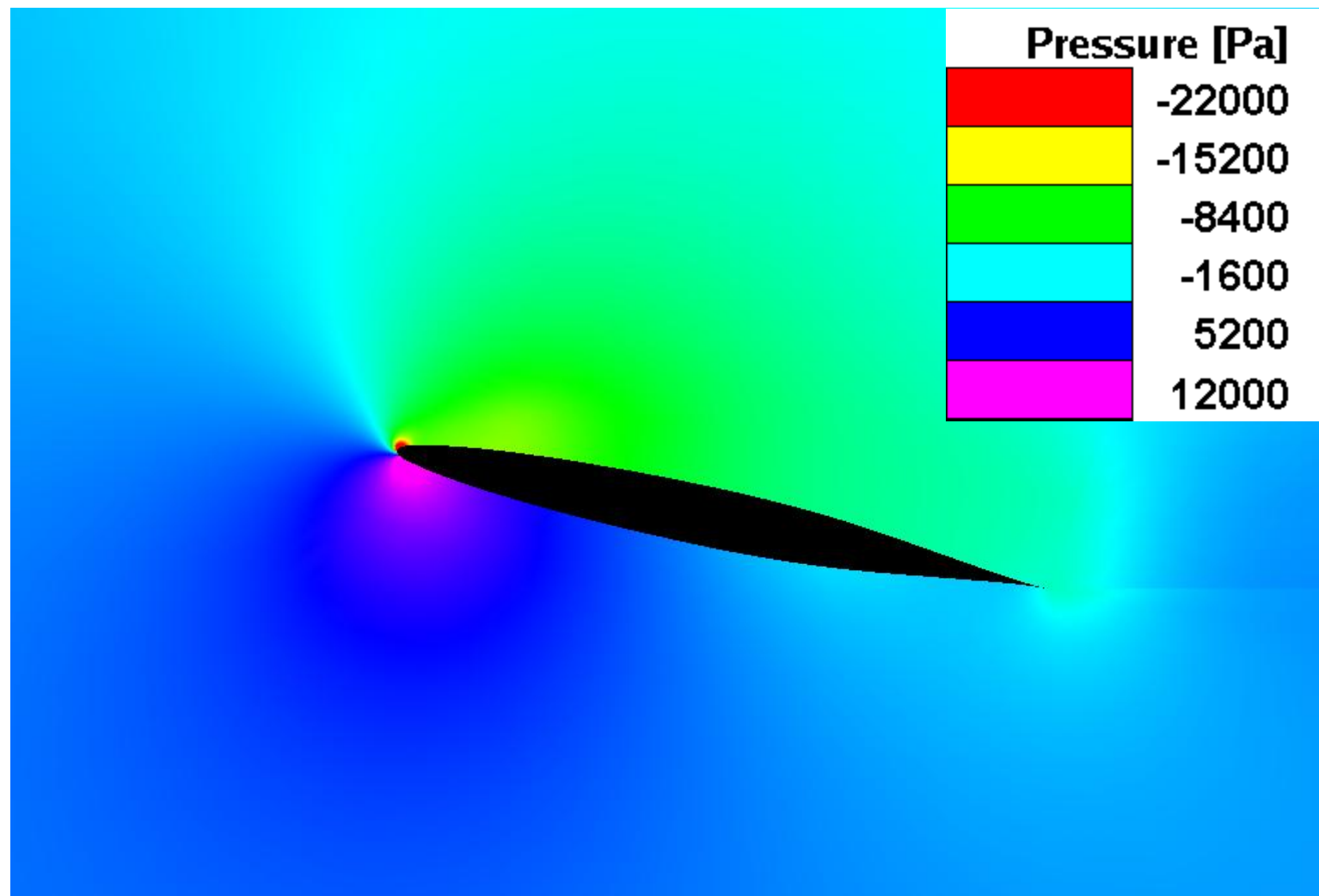
Dyskretyzacja obszaru opływu płata



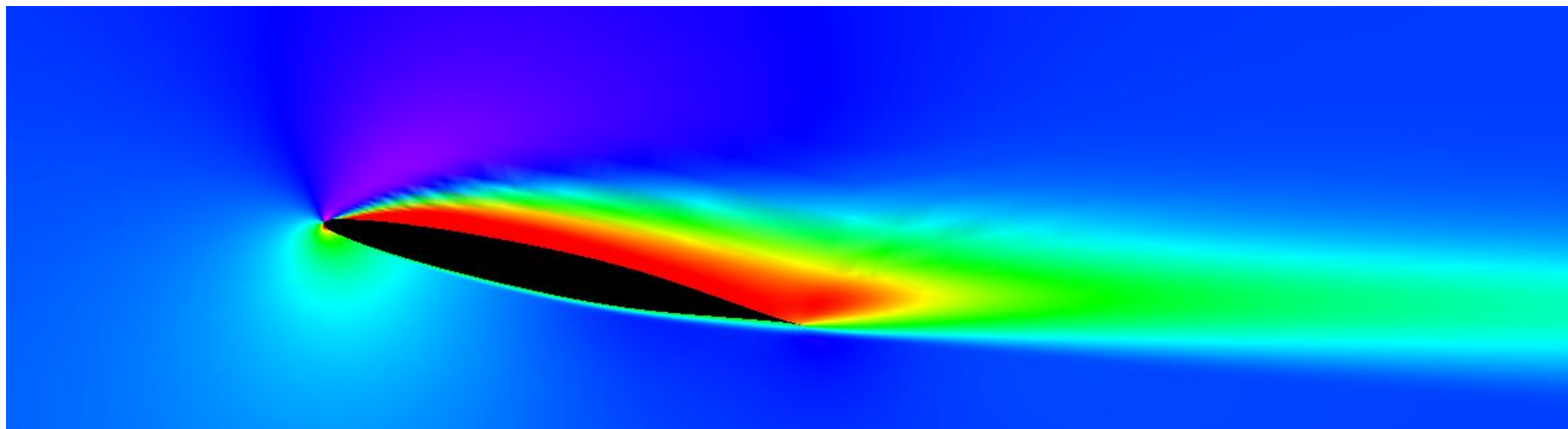
Model płata w obiegowym tunelu wodnym



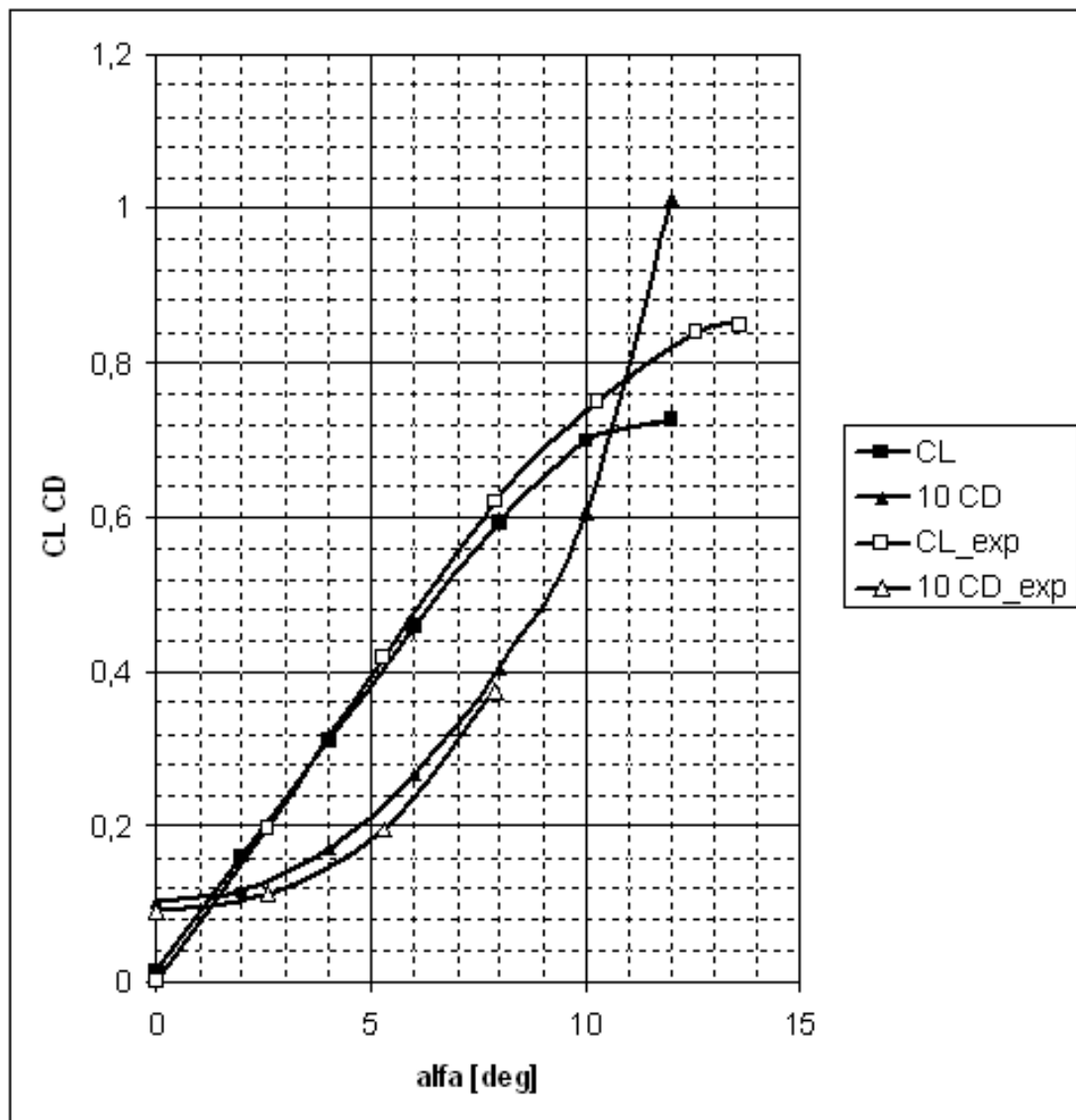
Szczegóły sieci w pobliżu płata



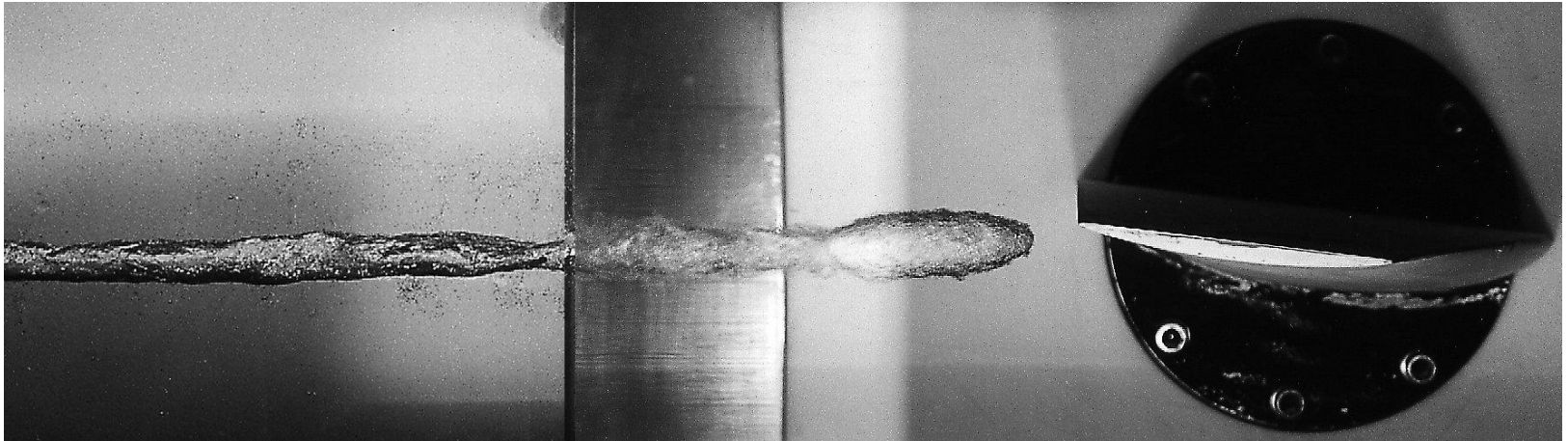
Obliczone pole ciśnienia wokół płata



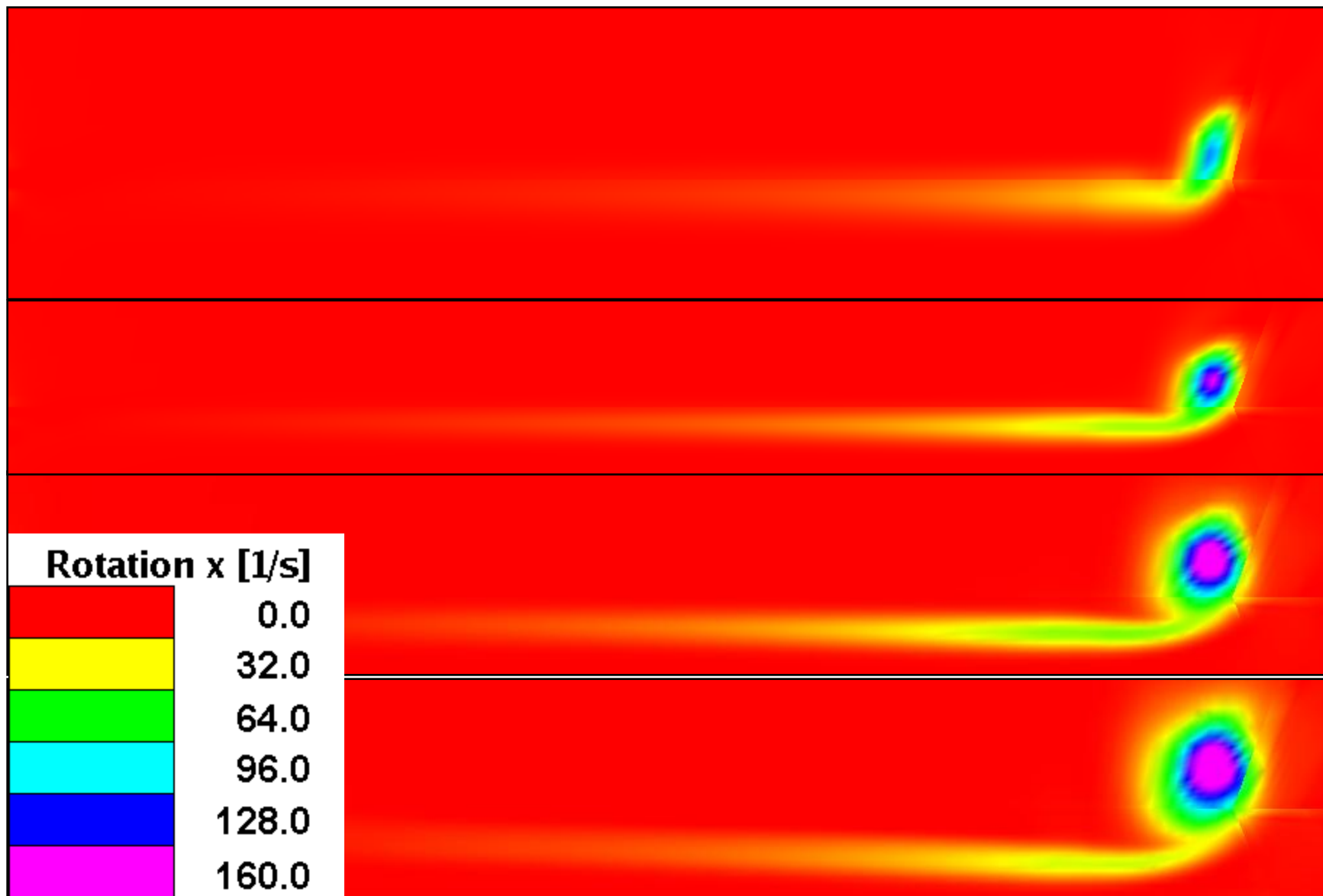
Obliczona wzdłużna składowa prędkości w pobliżu płata



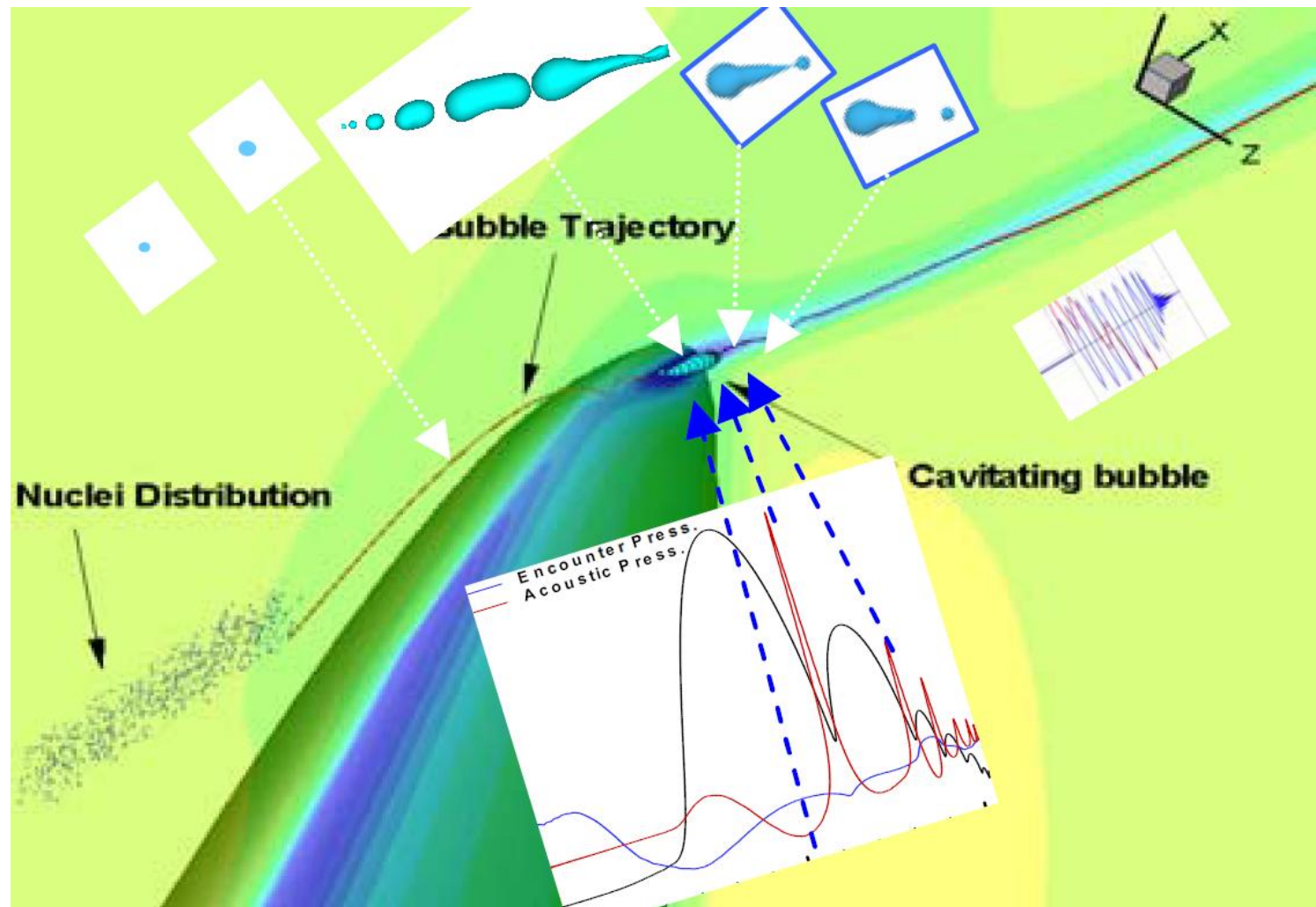
Porównanie obliczonych i zmierzonych charakterystyk płata



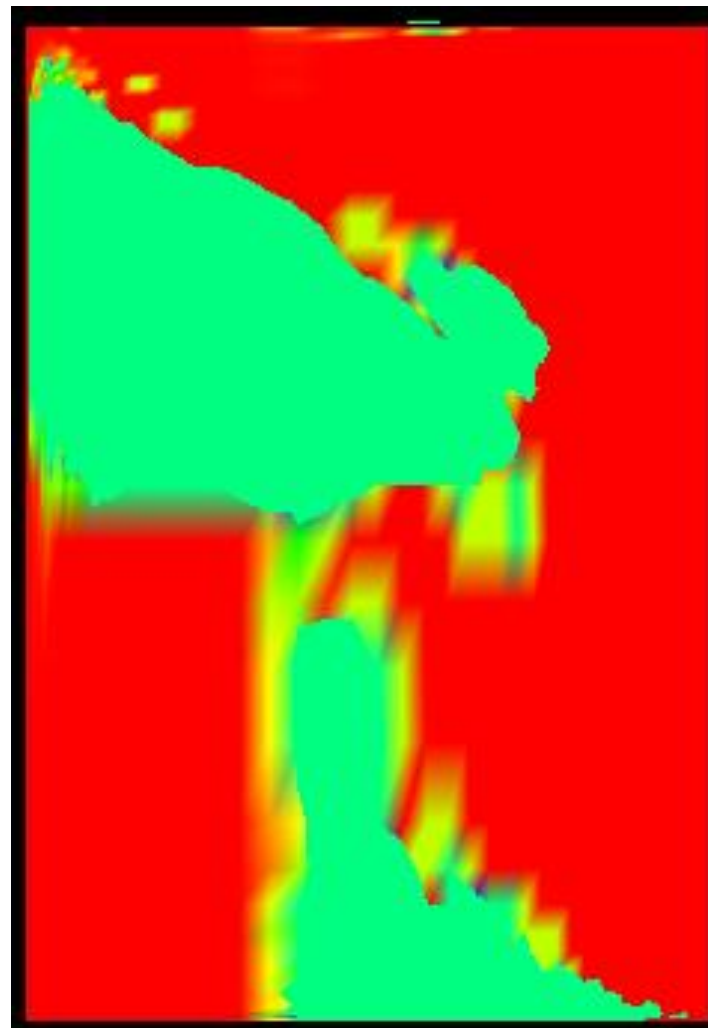
Wir tworzący się za wierzchołkiem płata



Obliczone formowanie się wiru za końcem płata



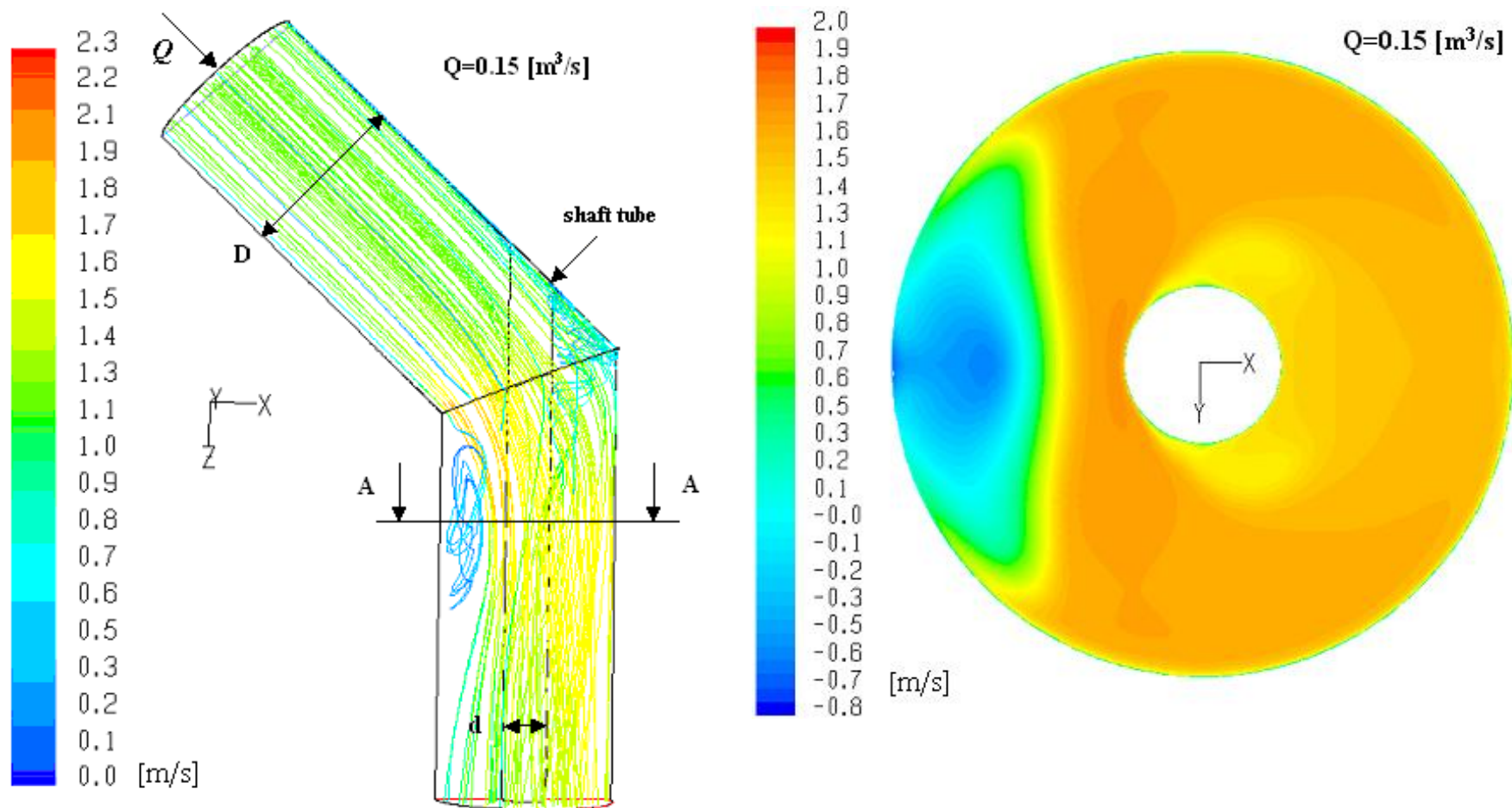
Obliczone formowanie się kawitującego wiru wierzchołkowego



Porównanie obserwowanego i obliczonego zakresu kawitacji

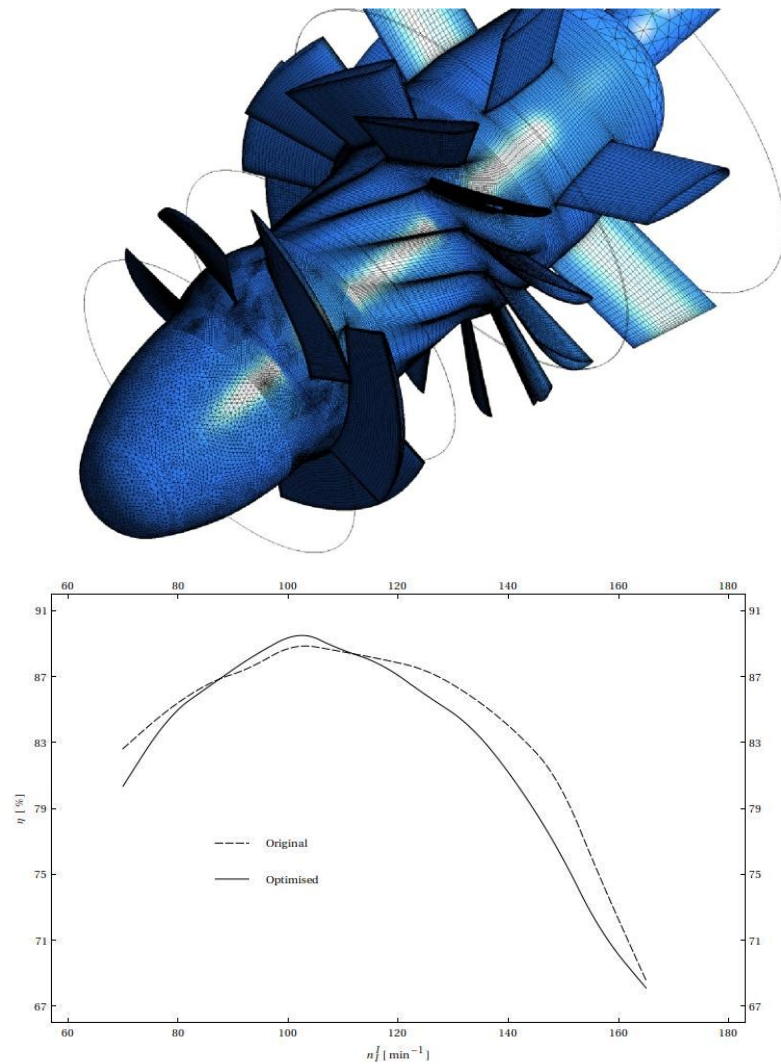
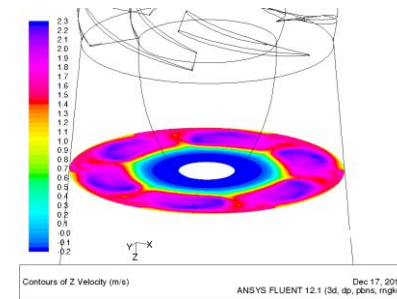
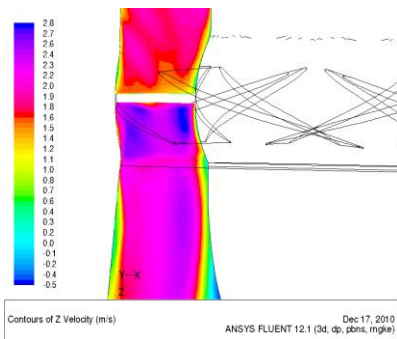
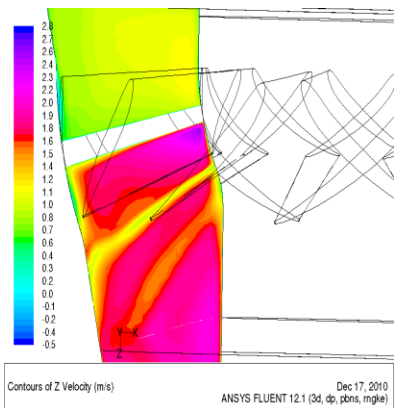
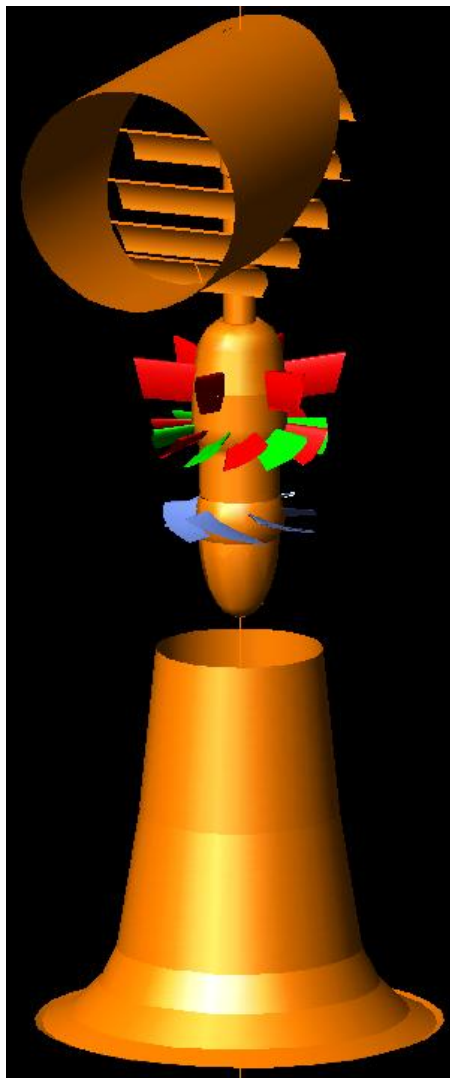


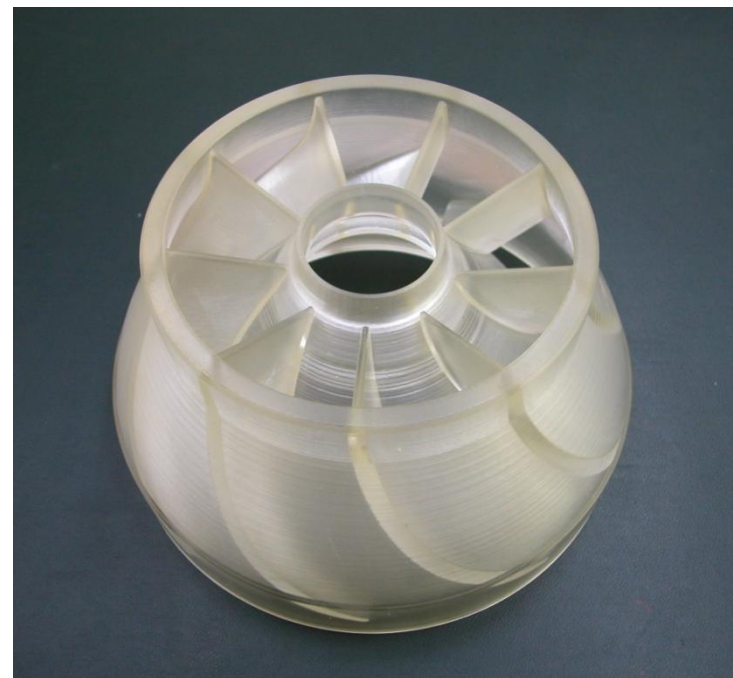
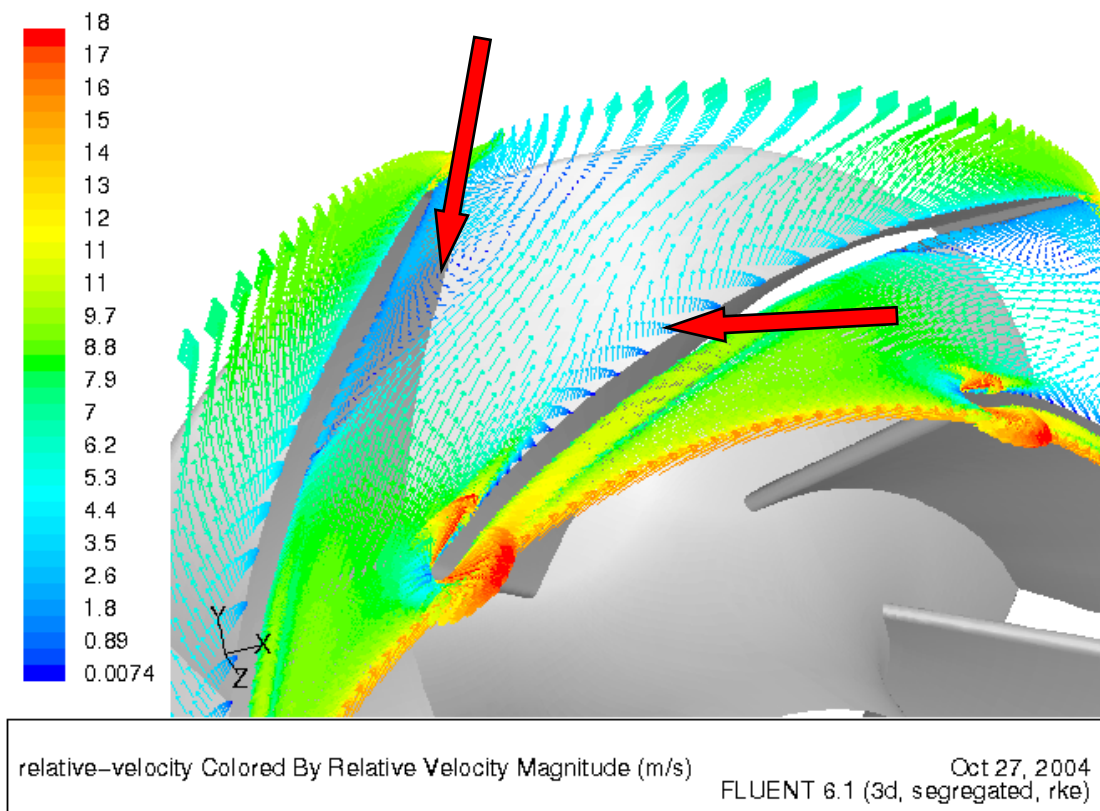
Konsekwencje kawitacji



Wykrycie oderwania przepływu w rurze doprowadzającej wodę do turbiny wodnej

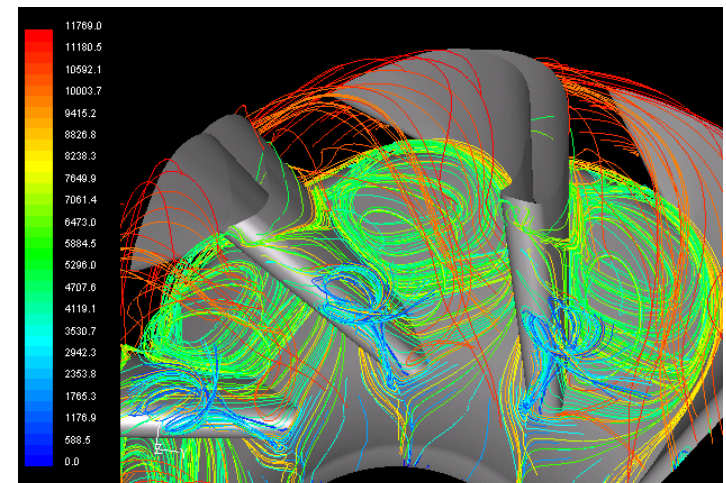
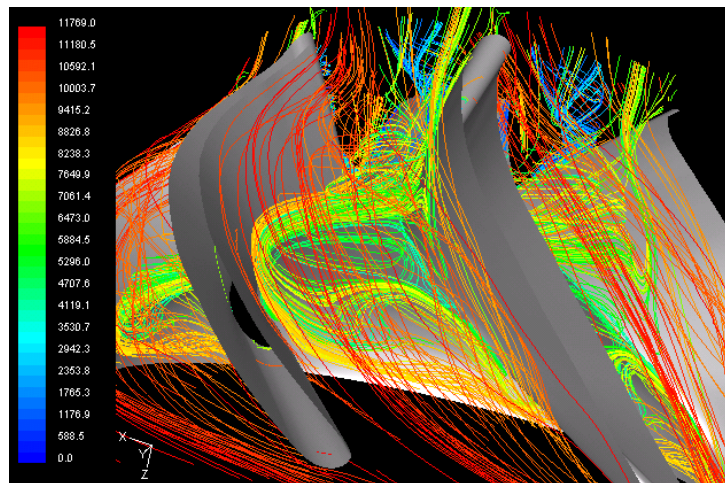
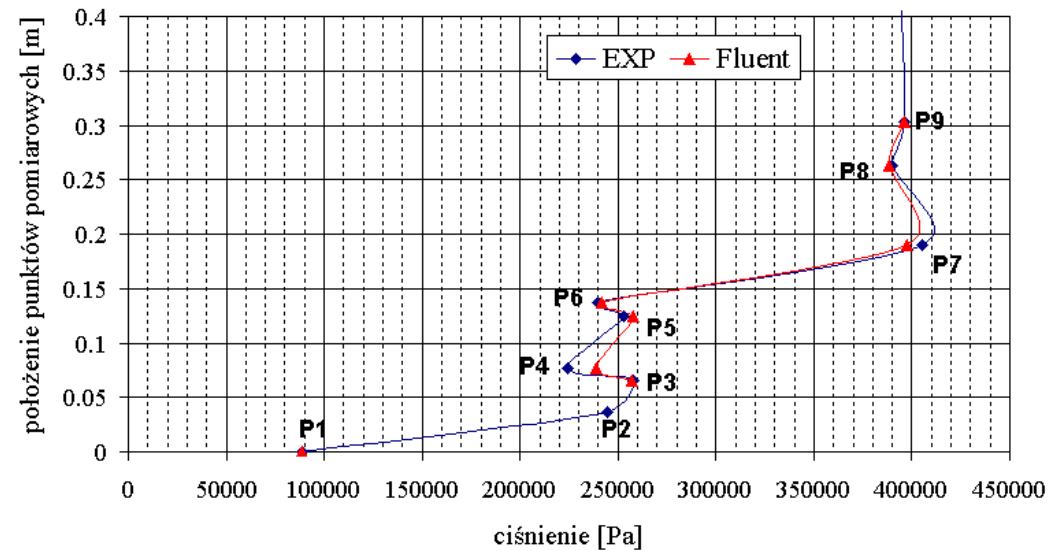
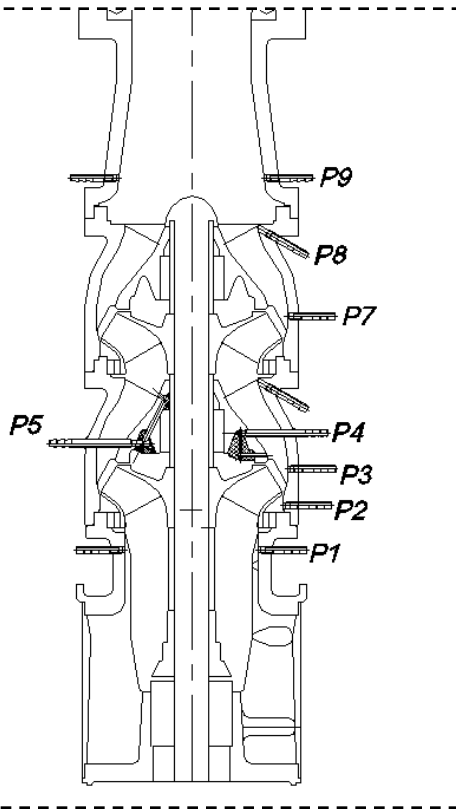
Optymalizacja układu przepływowego turbiny wodnej

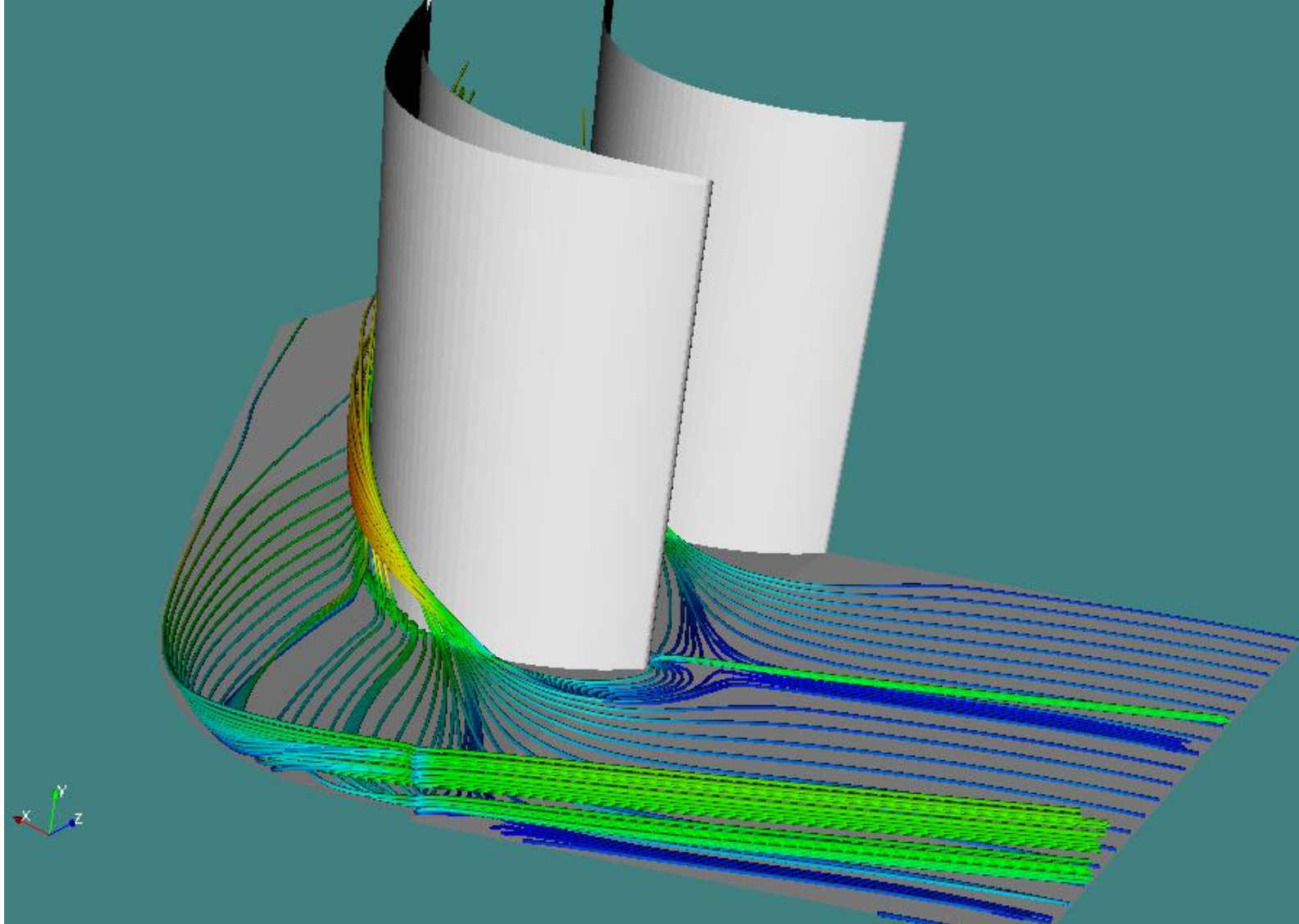




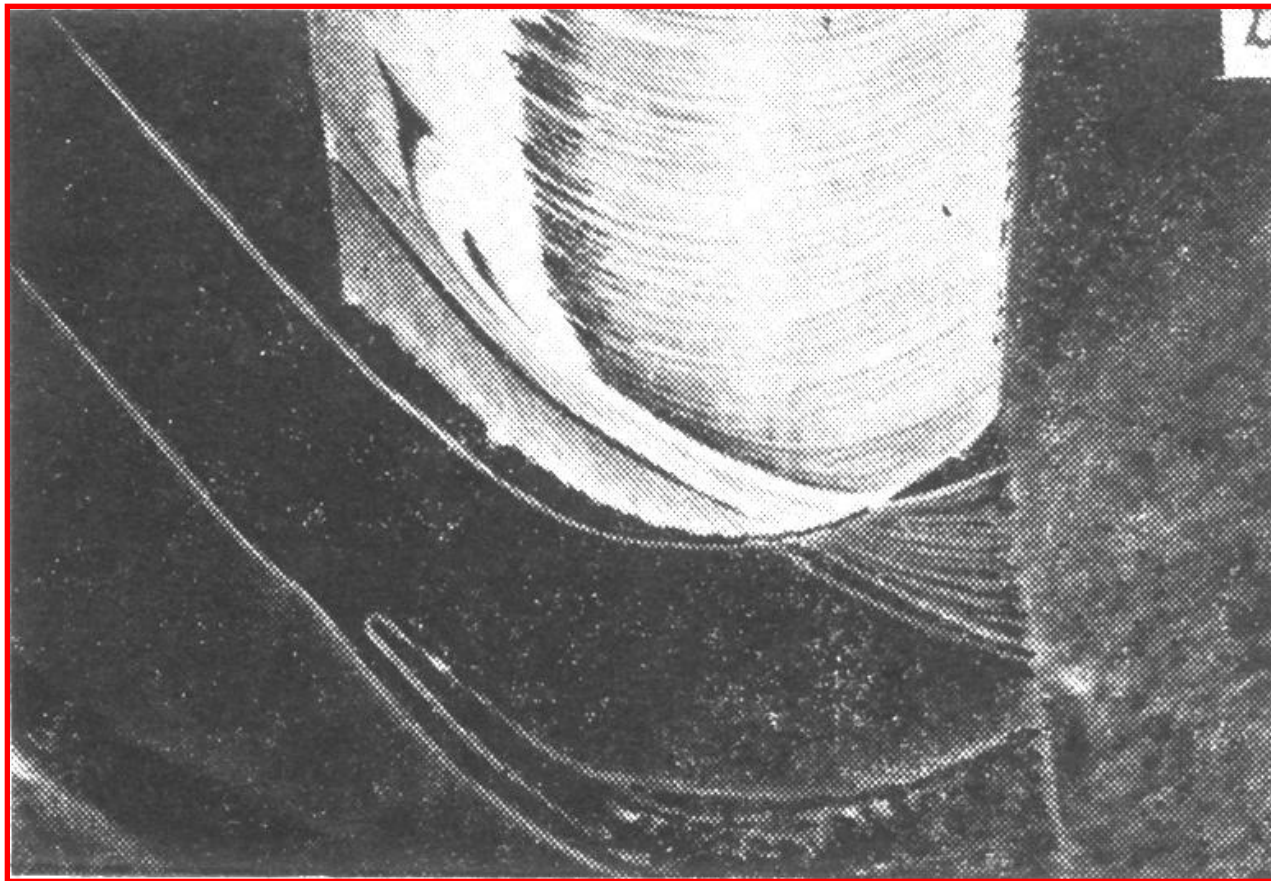
Wykrycie oderwania w wirniku pompy wodnej

Optimalizacja geometrii układu przepływowego dwustopniowej pompy wirnikowej

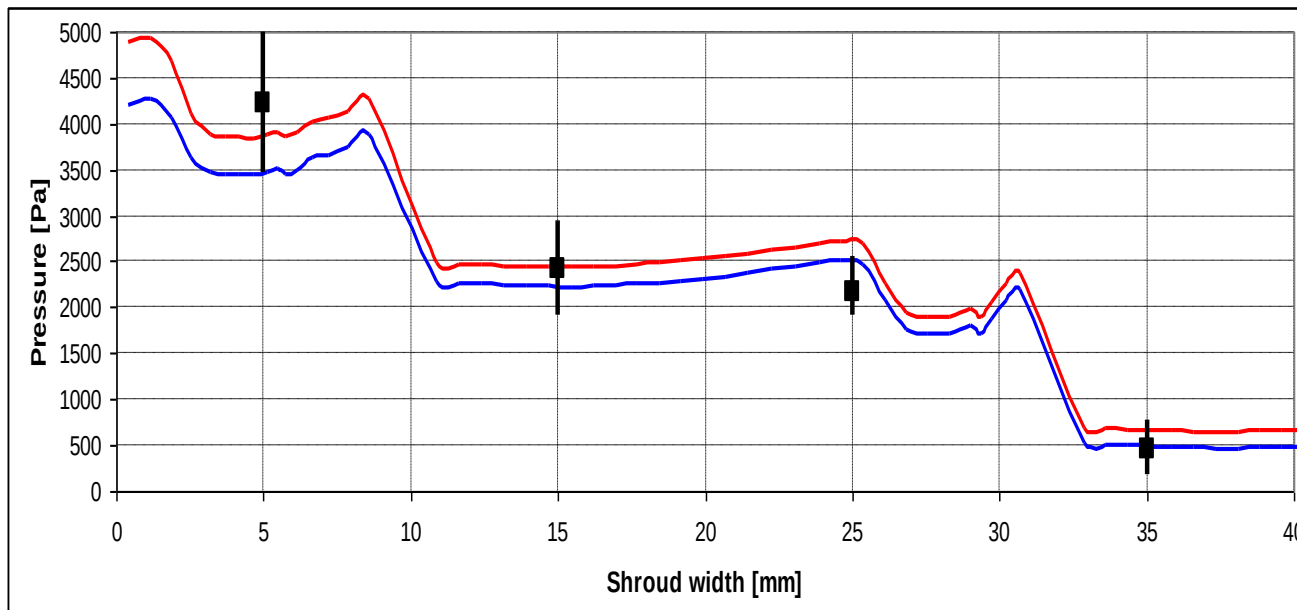
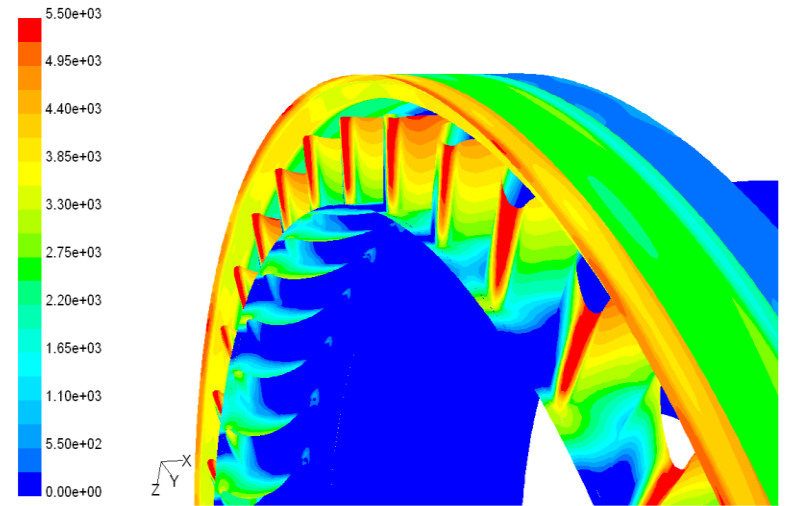
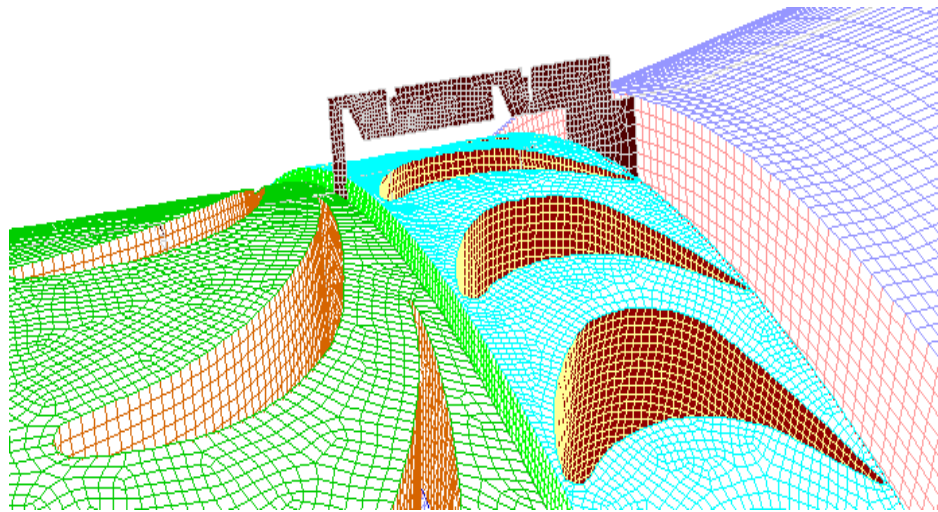




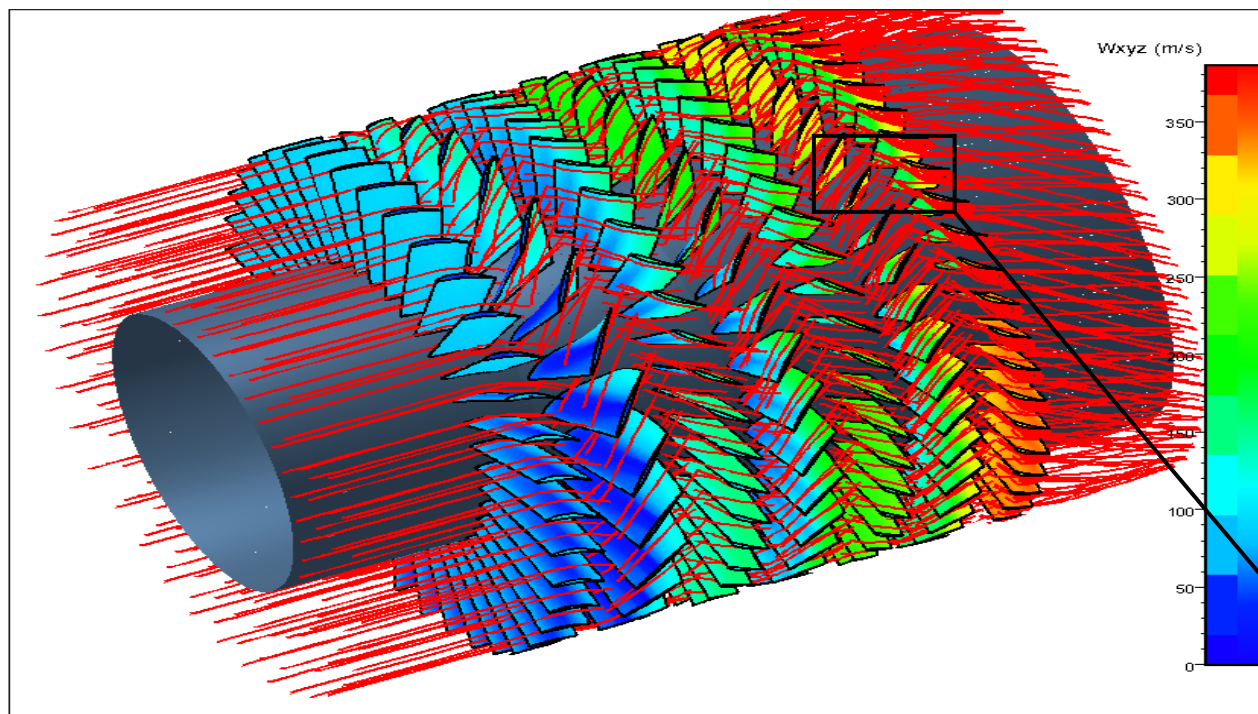
Obliczony przepływ u nasady łopatek turbiny



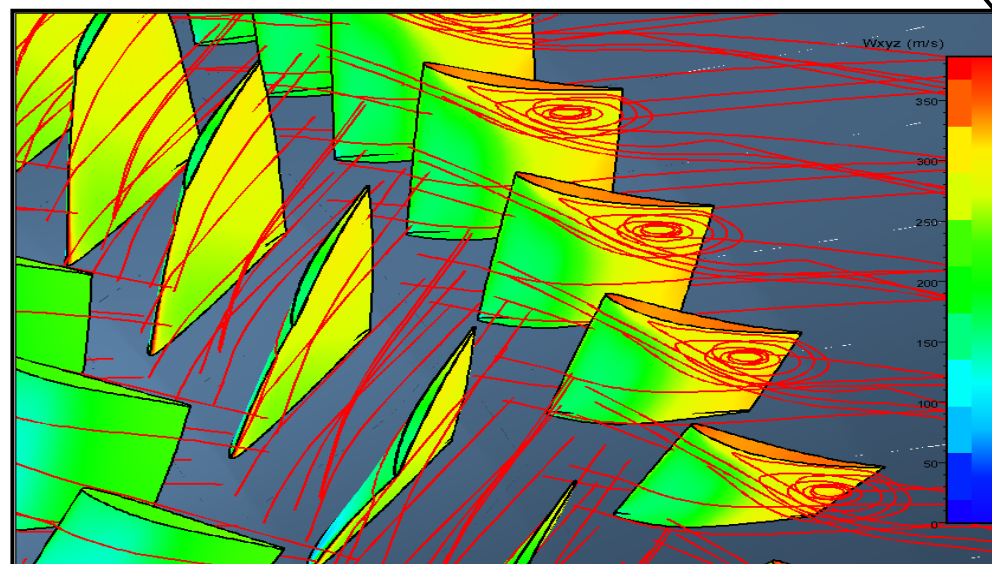
Eksperymentalna wizualizacja opływu łopatek turbin

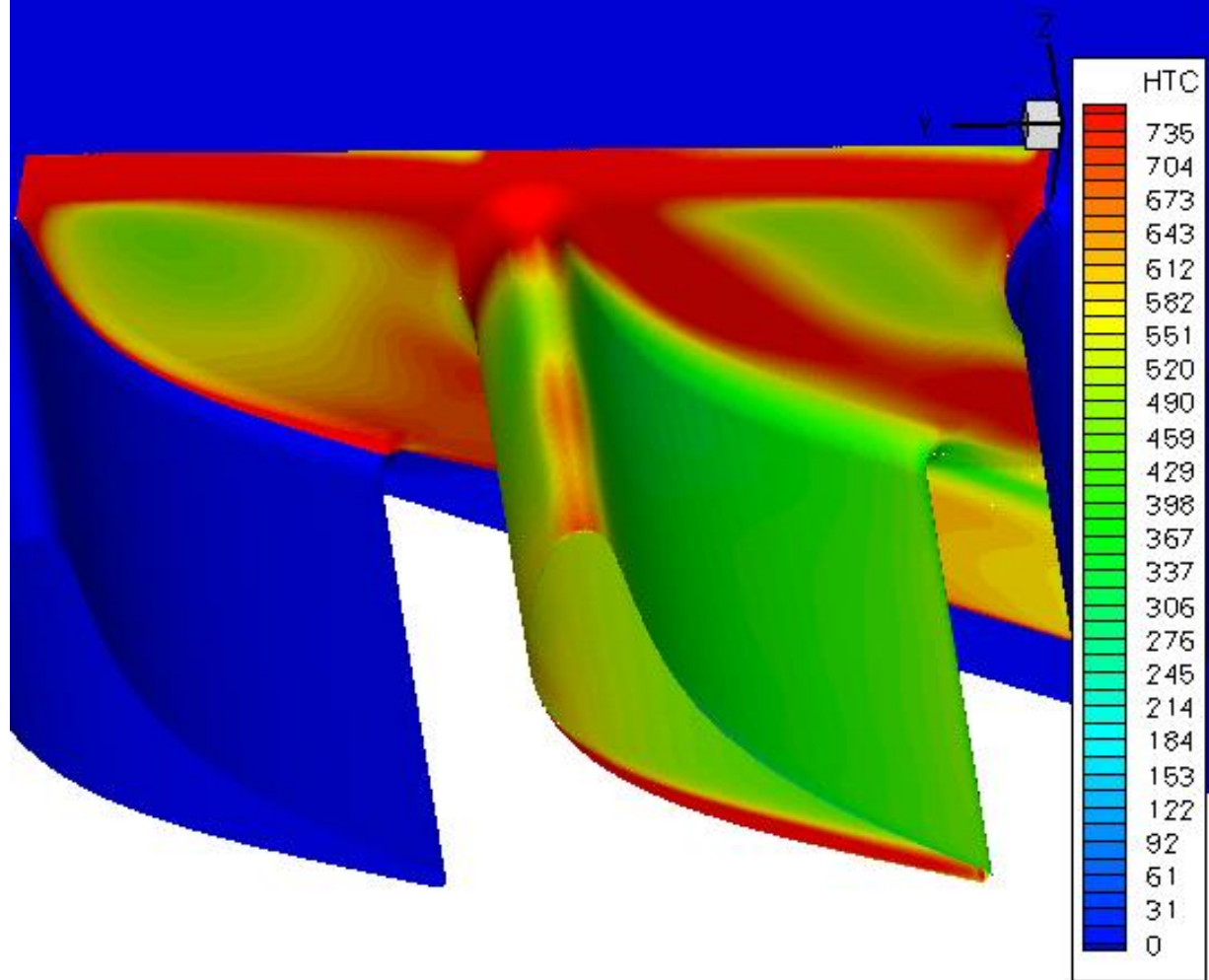


Obliczenia rozkładu ciśnienia w szczelinie wirnika turbiny gazowej



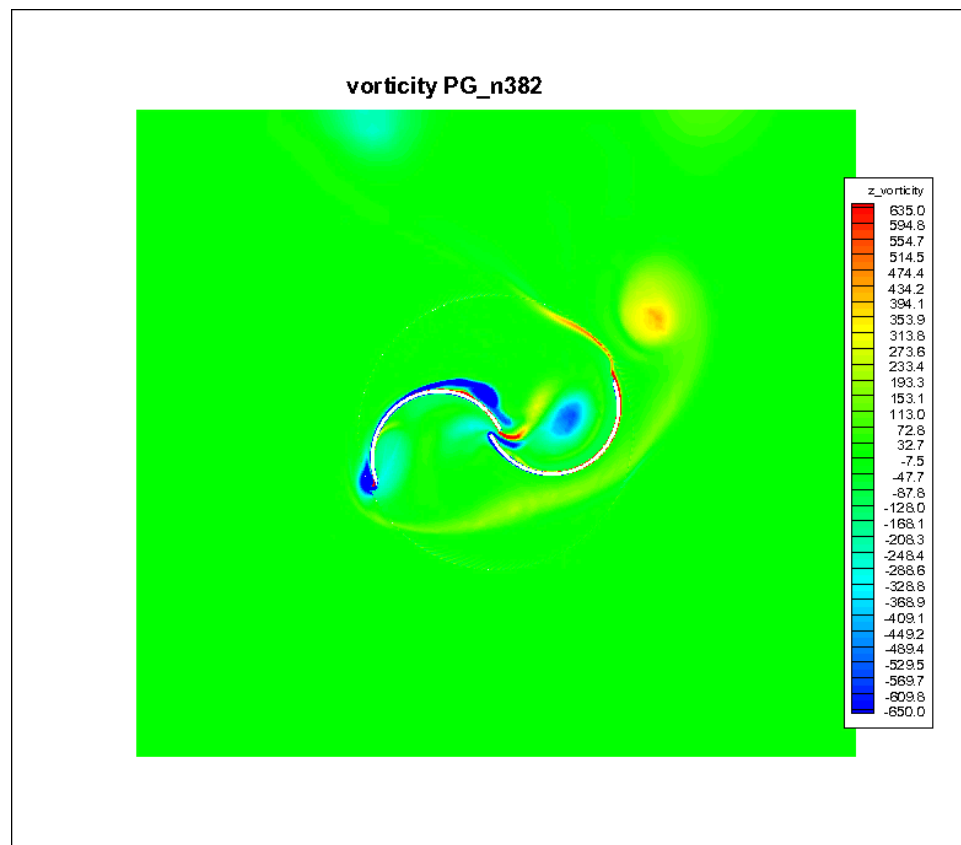
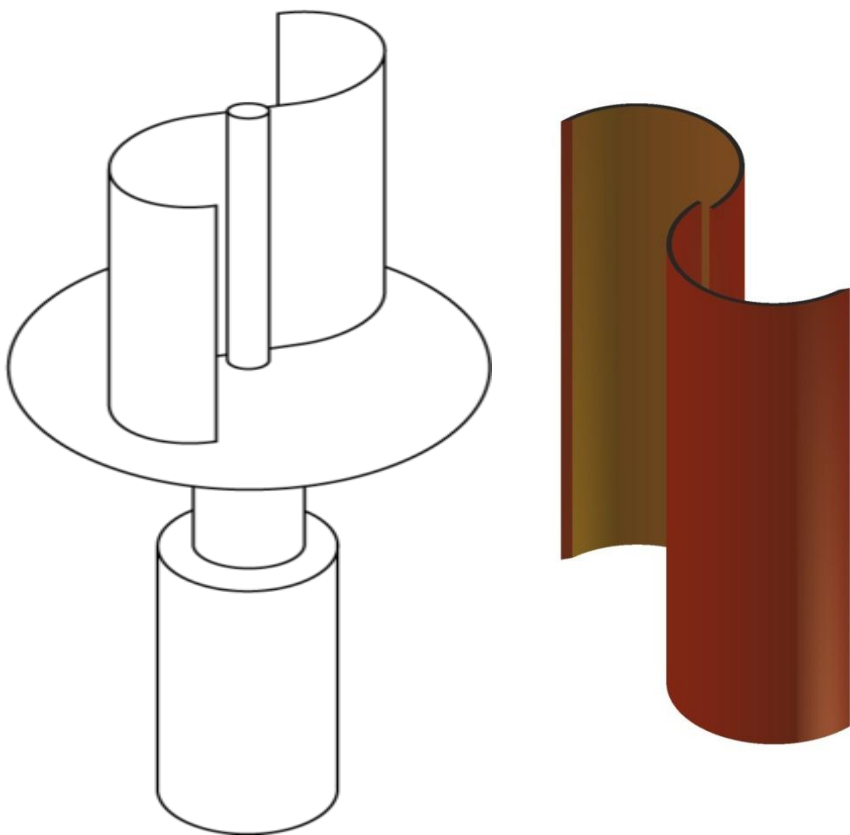
Linie prądu i rozkład ciśnienia
w wirniku sprężarki
wielostopniowej



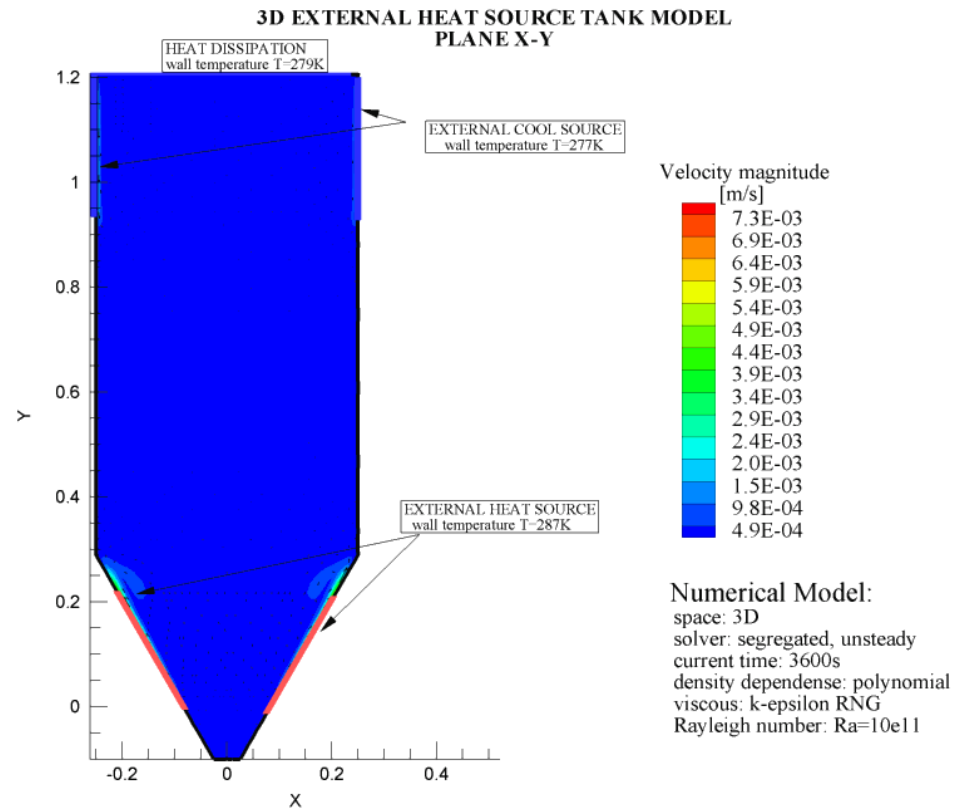
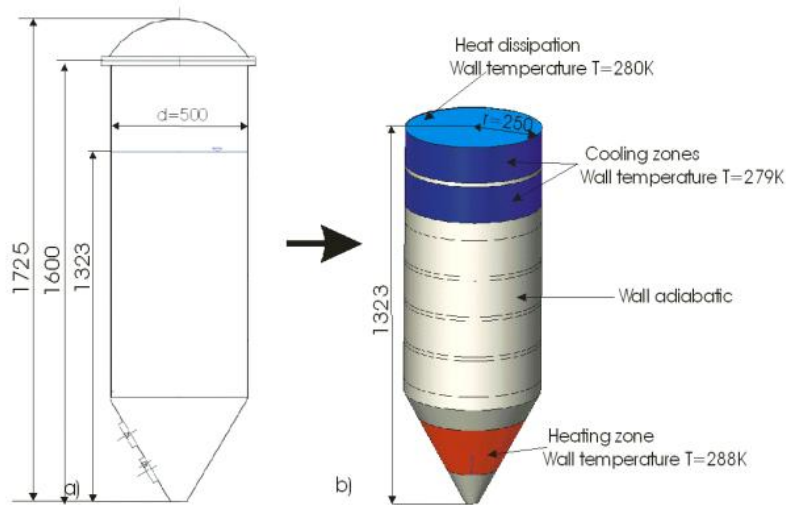


Wyznaczenie współczynnika wymiany ciepła na łopatkach wirnika turbiny gazowej

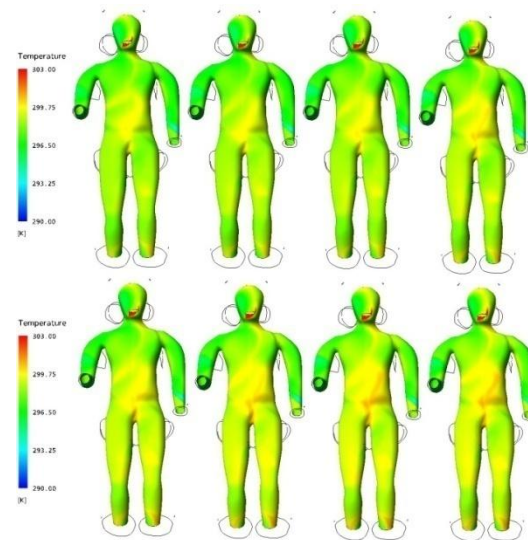
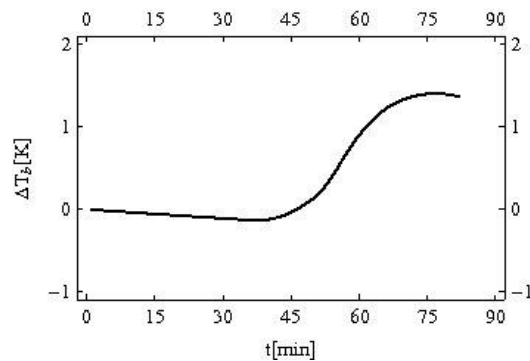
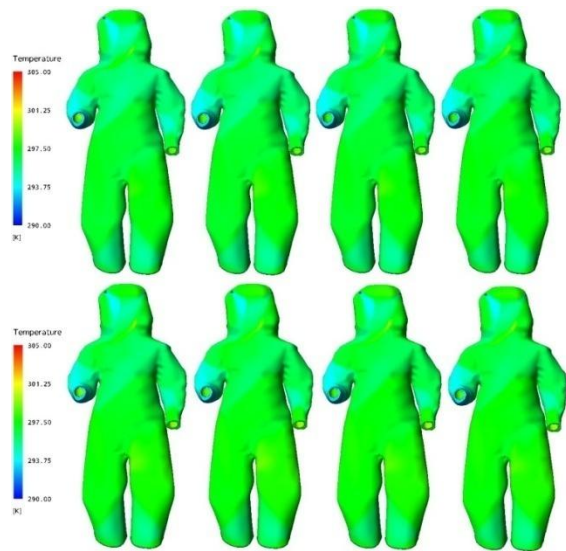
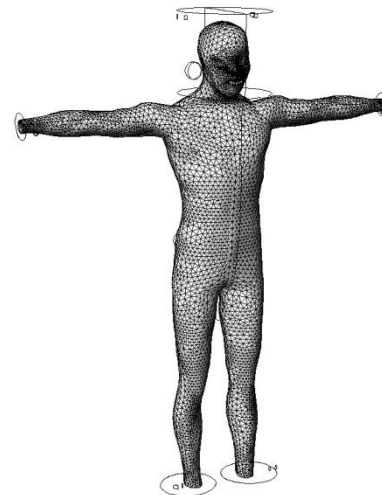
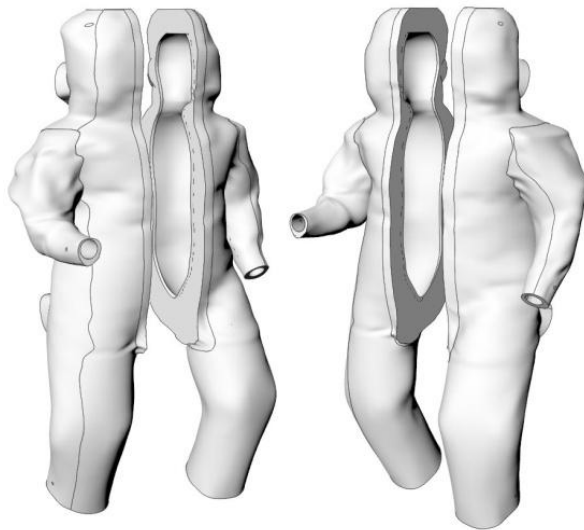
Numeryczne wyznaczanie opływu turbiny wiatrowej Savoniusa

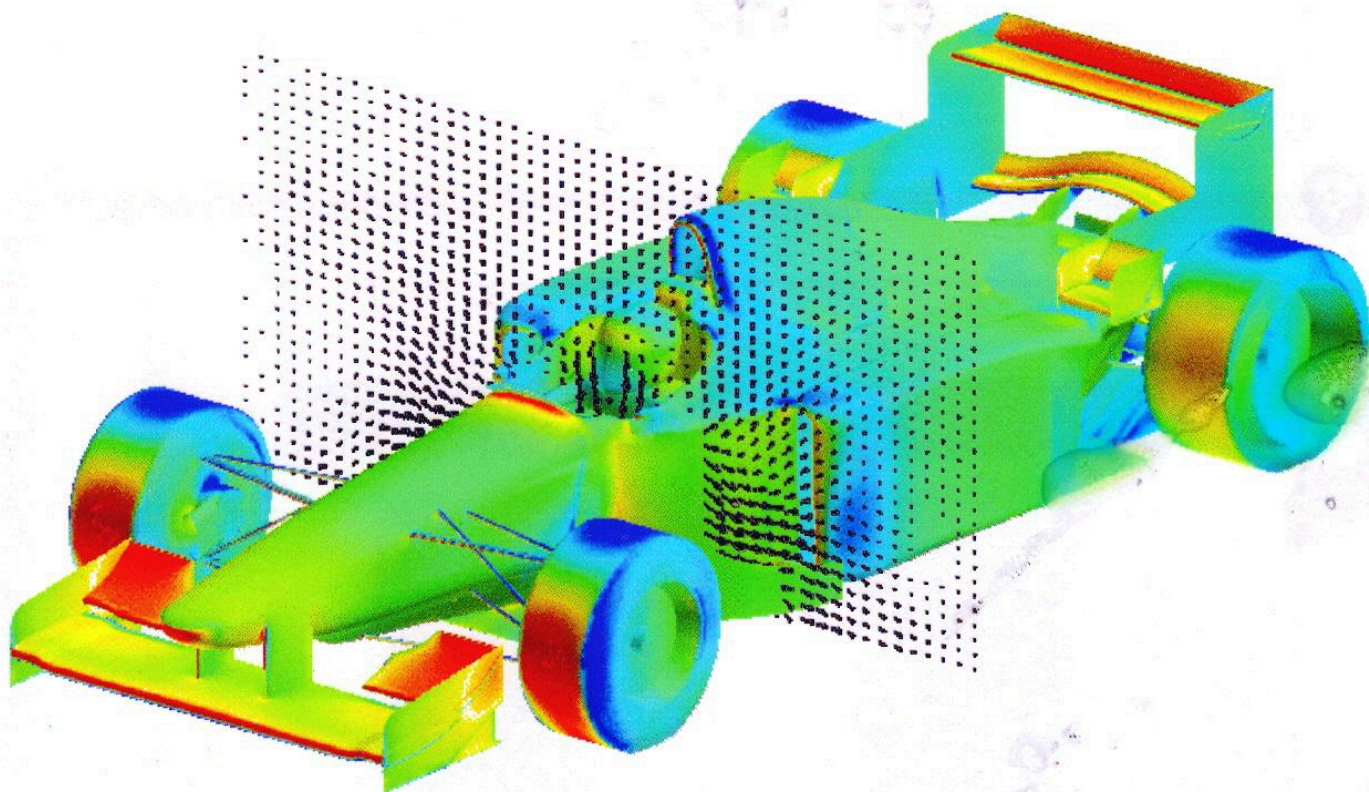


Wyznaczanie przepływu wywołanego różnicą temperatur w mieszalniku

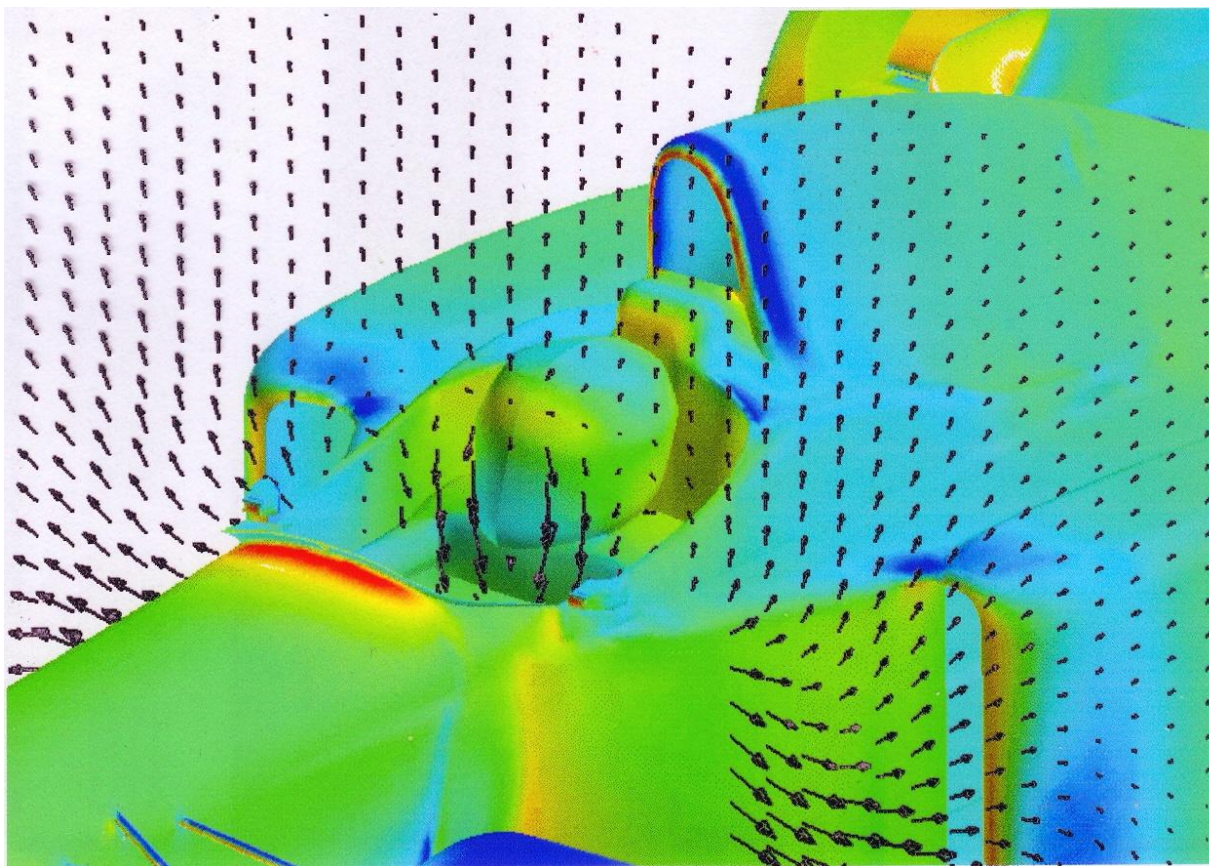


Wyznaczenie przepływu i rozkładu temperatury w skafandrze

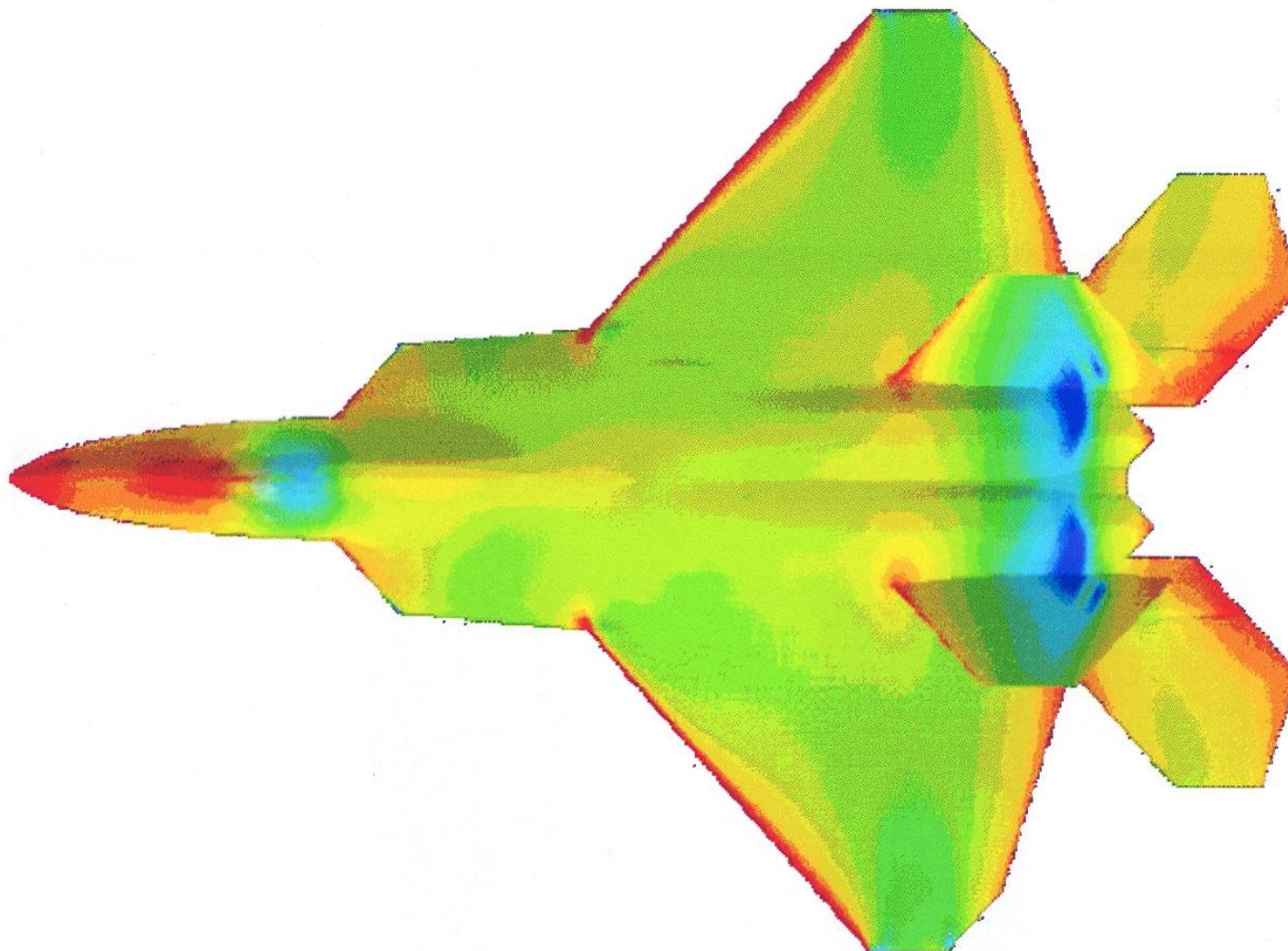




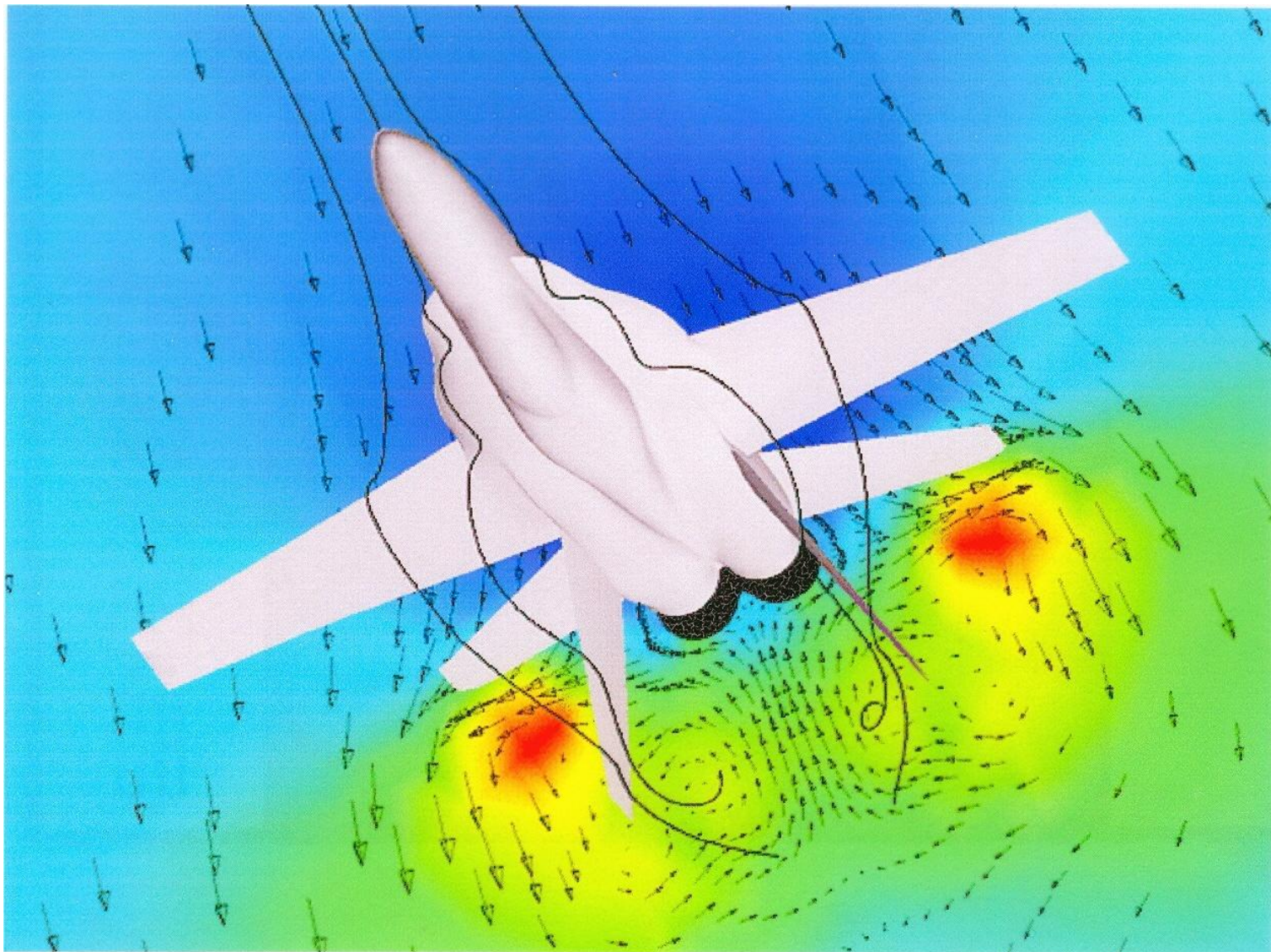
Obliczony opływ samochodu wyścigowego



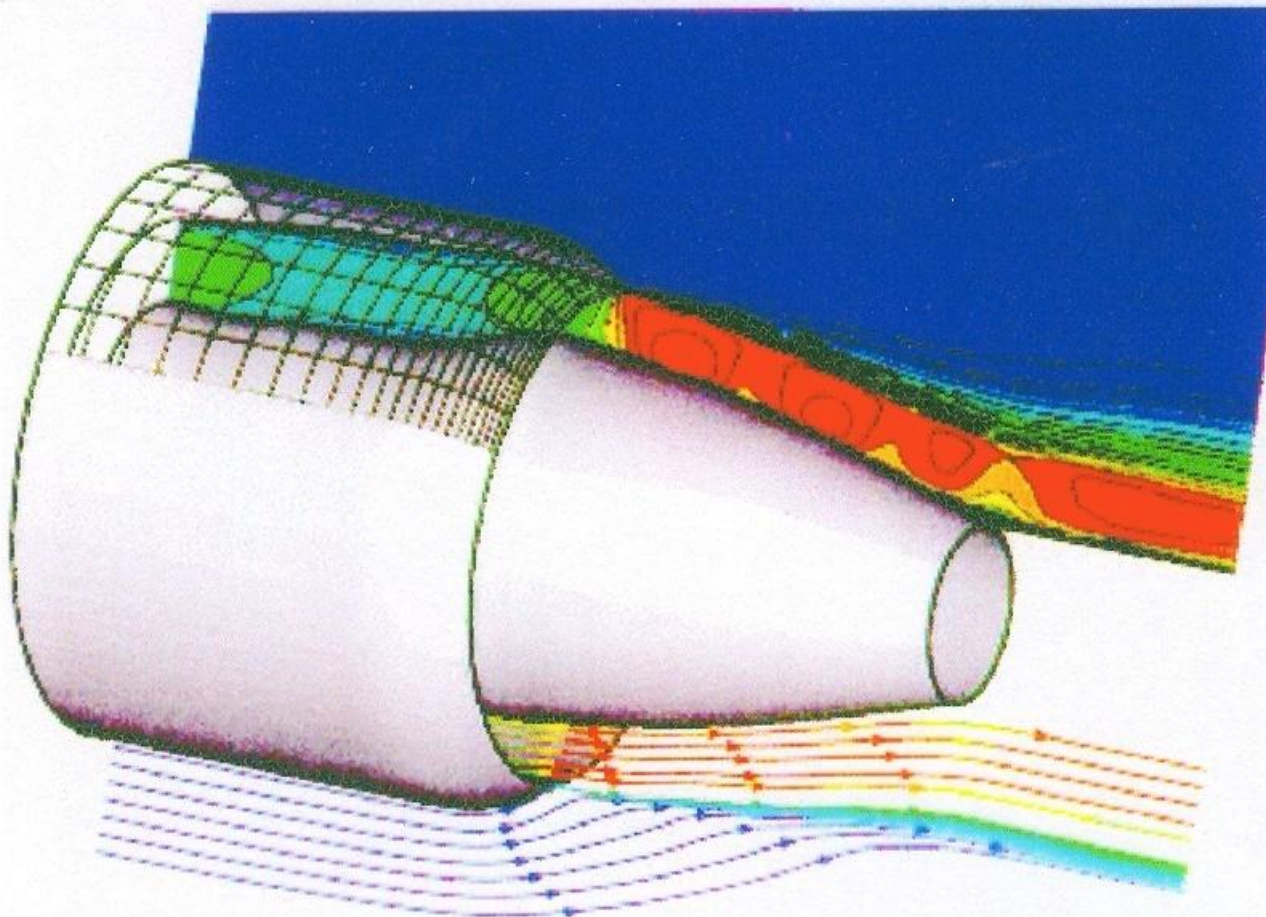
Szczegóły obliczonego opływu kabiny kierowcy



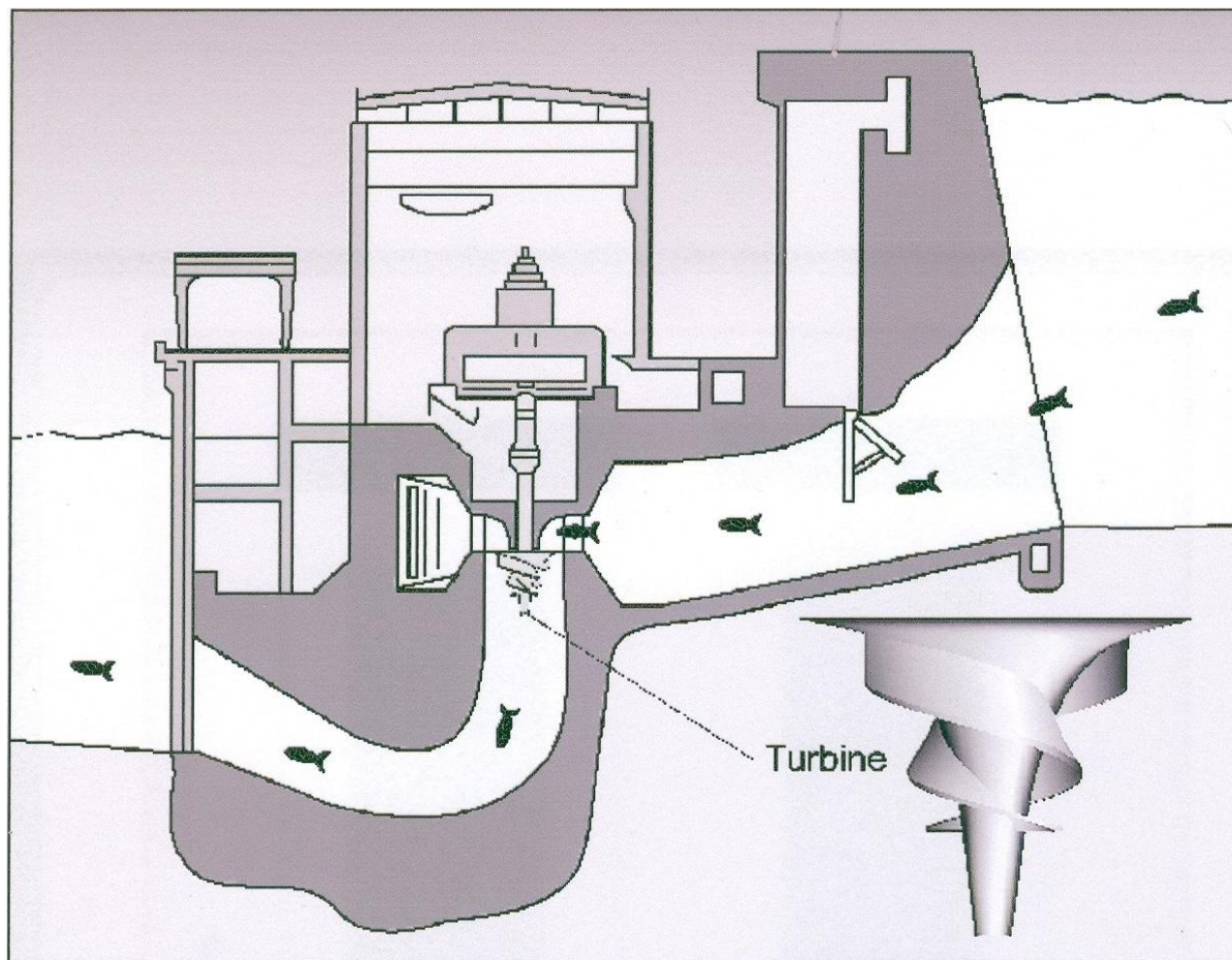
Obliczony rozkład ciśnienia na samolocie



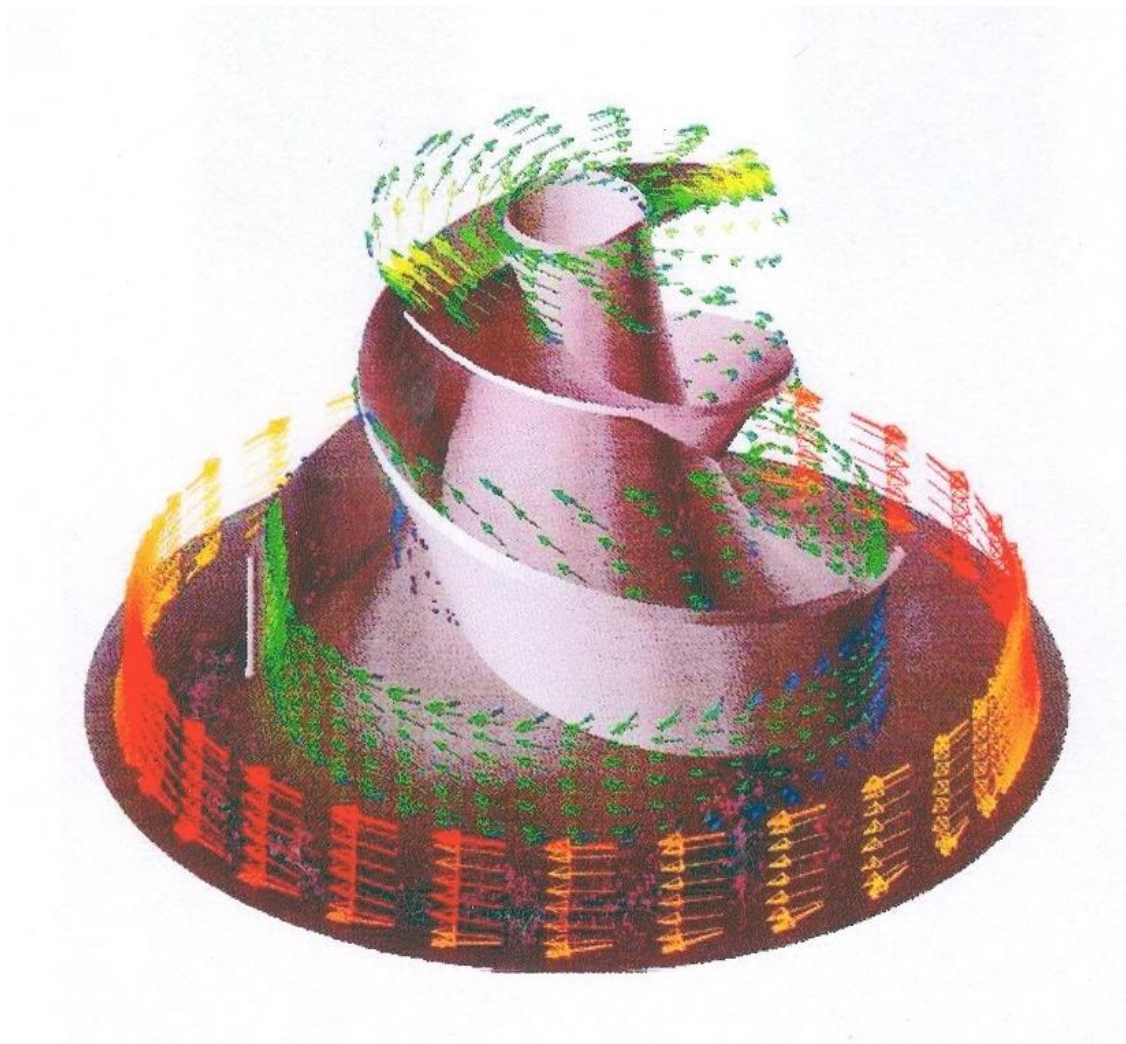
Obliczone wektory prędkości i linie prądu na samolocie



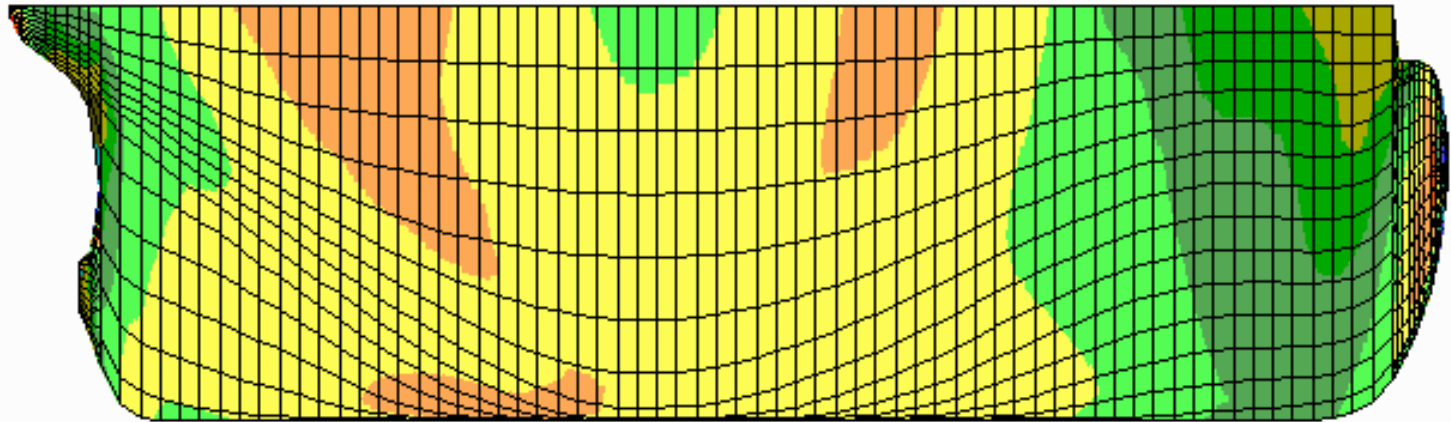
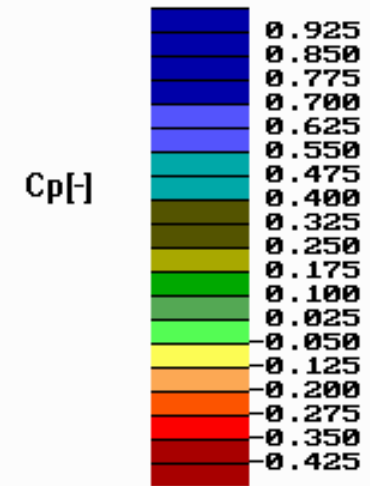
Obliczony wypływ z odrzutowego silnika lotniczego



Turbina wodna umożliwiającą swobodny przepływ ryb



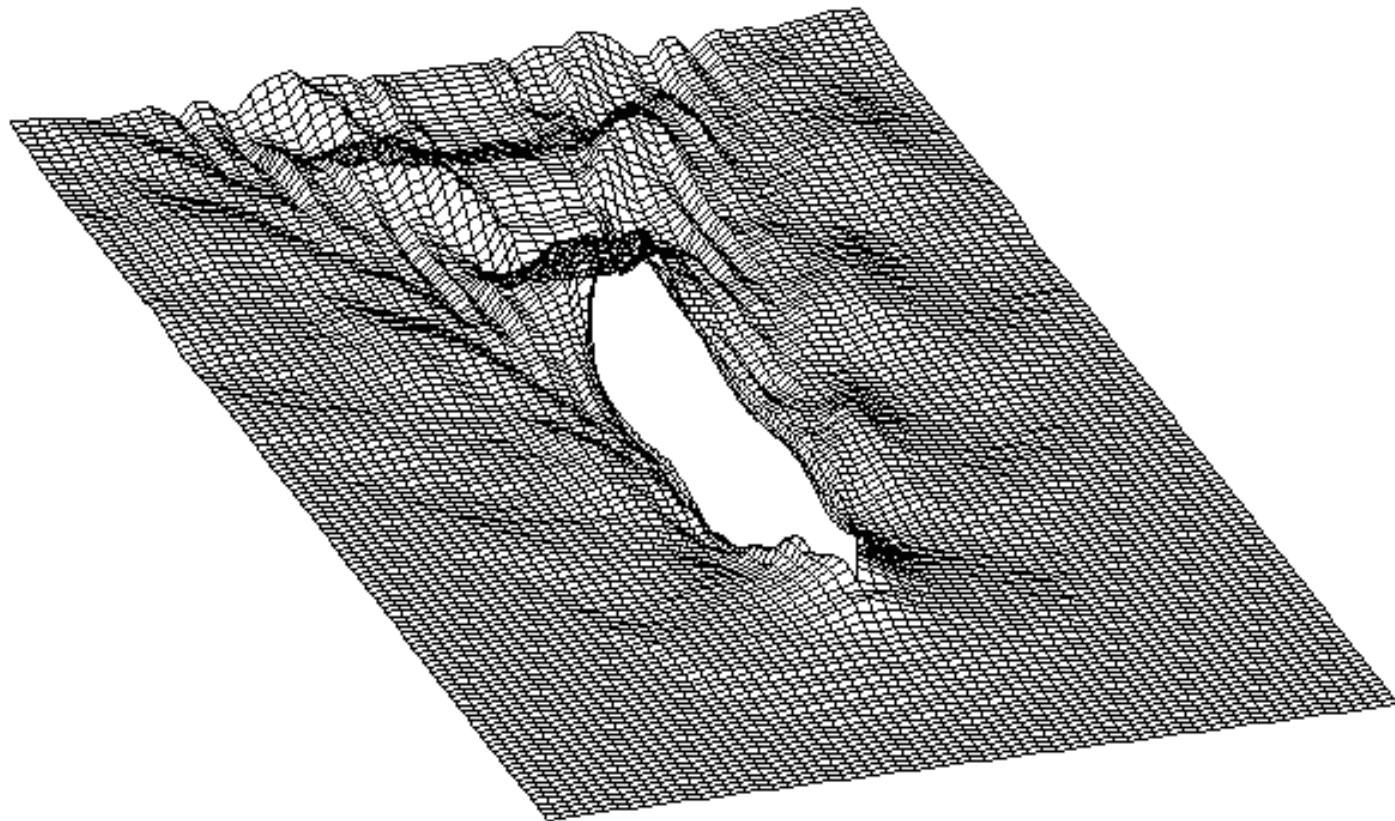
Obliczone wektory prędkości przepływu przez wirnik turbiny



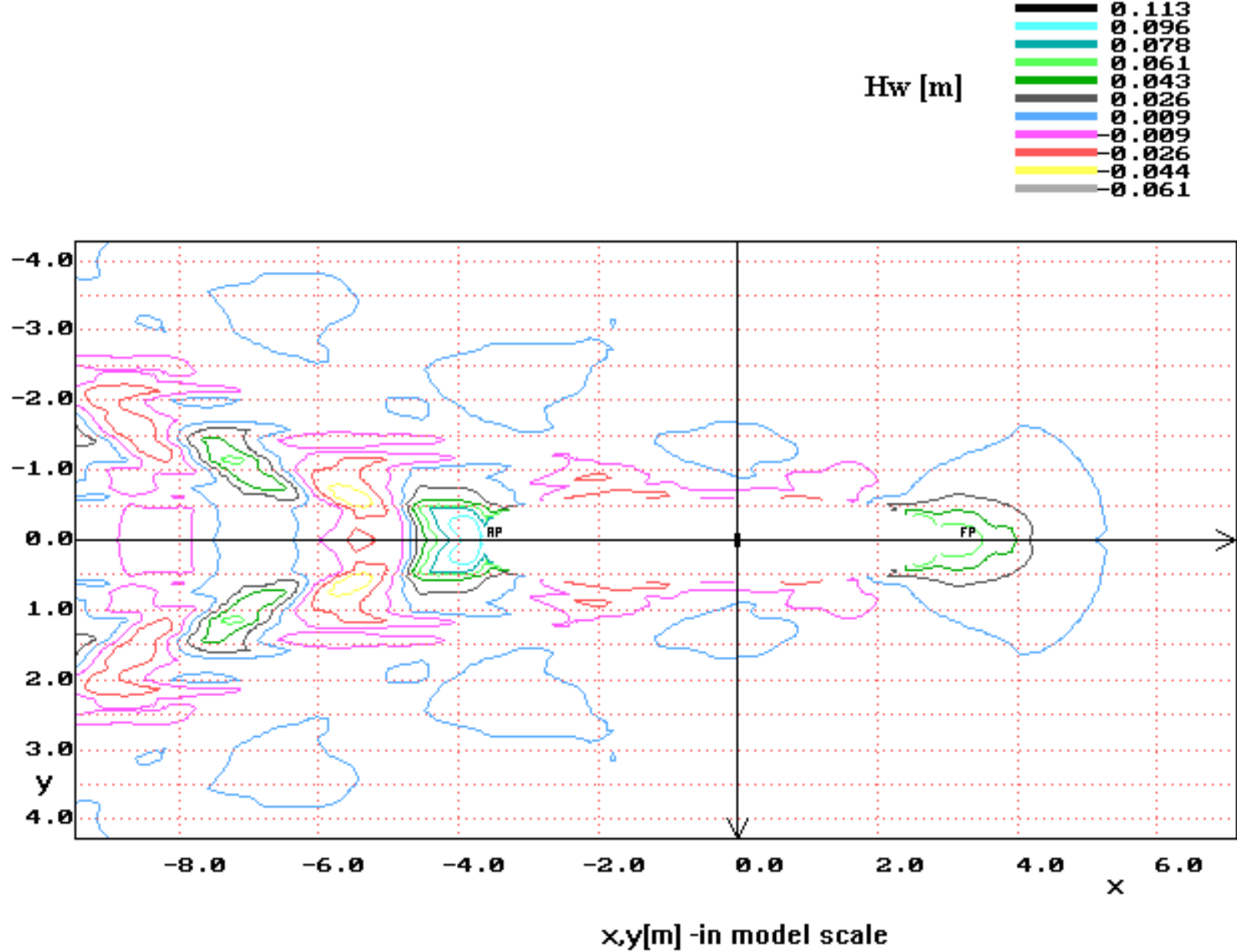
Side view

Obliczone pole ciśnienia na kadłubie okrętu

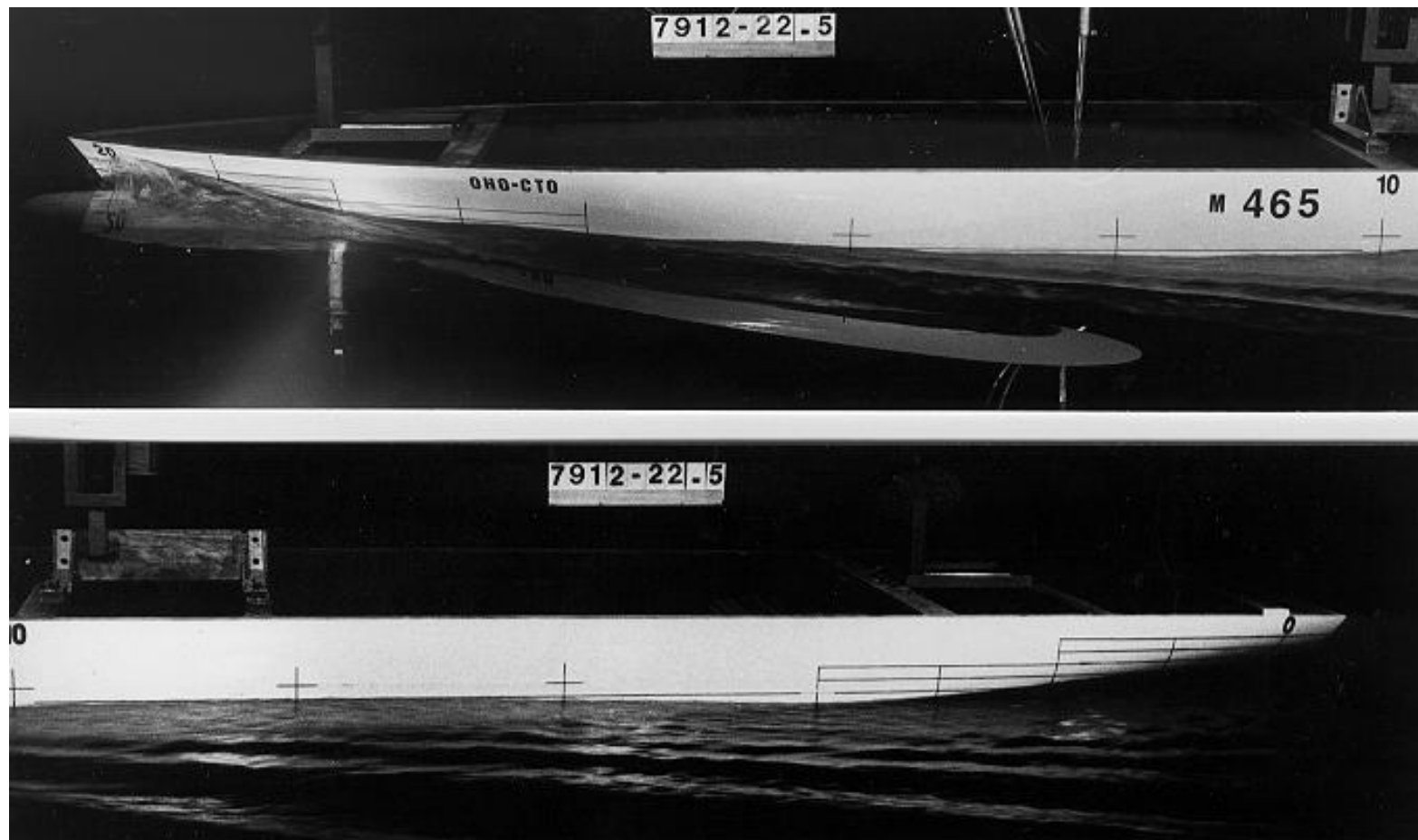
Wave elevation is multiplied by 5.



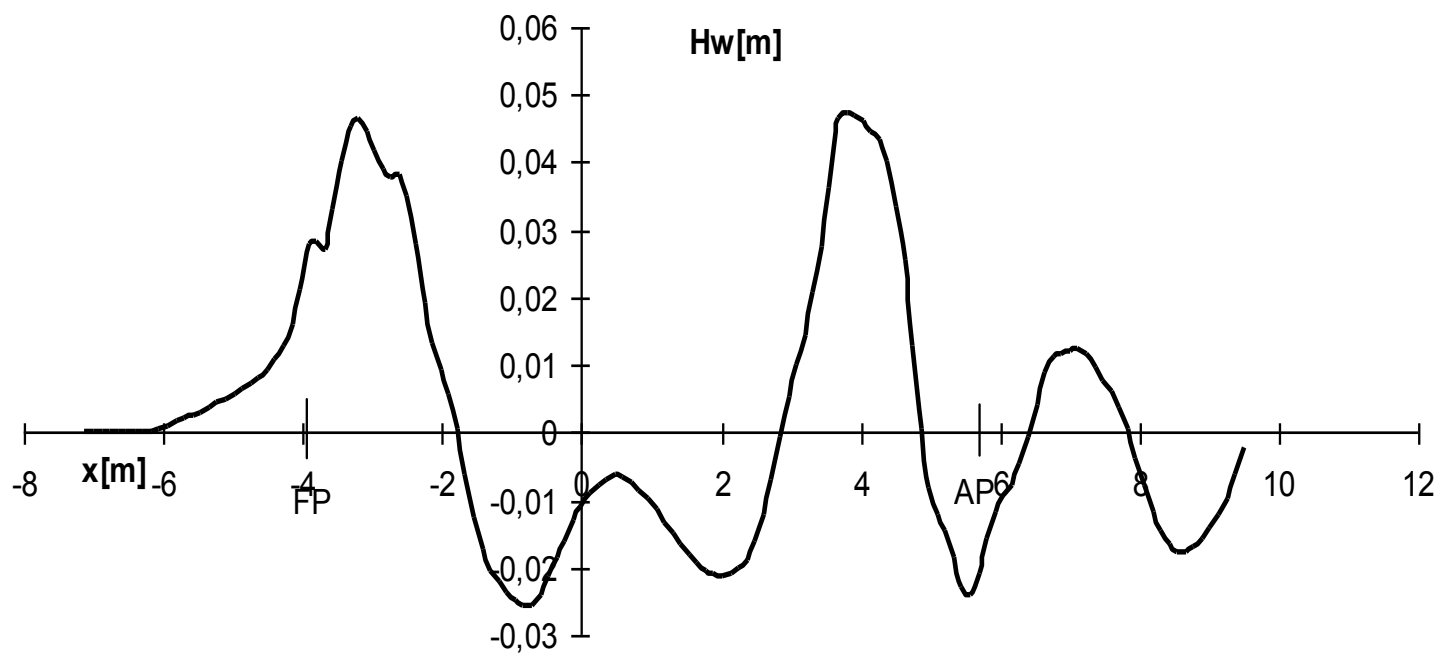
Obliczony układ fal wokół okrętu



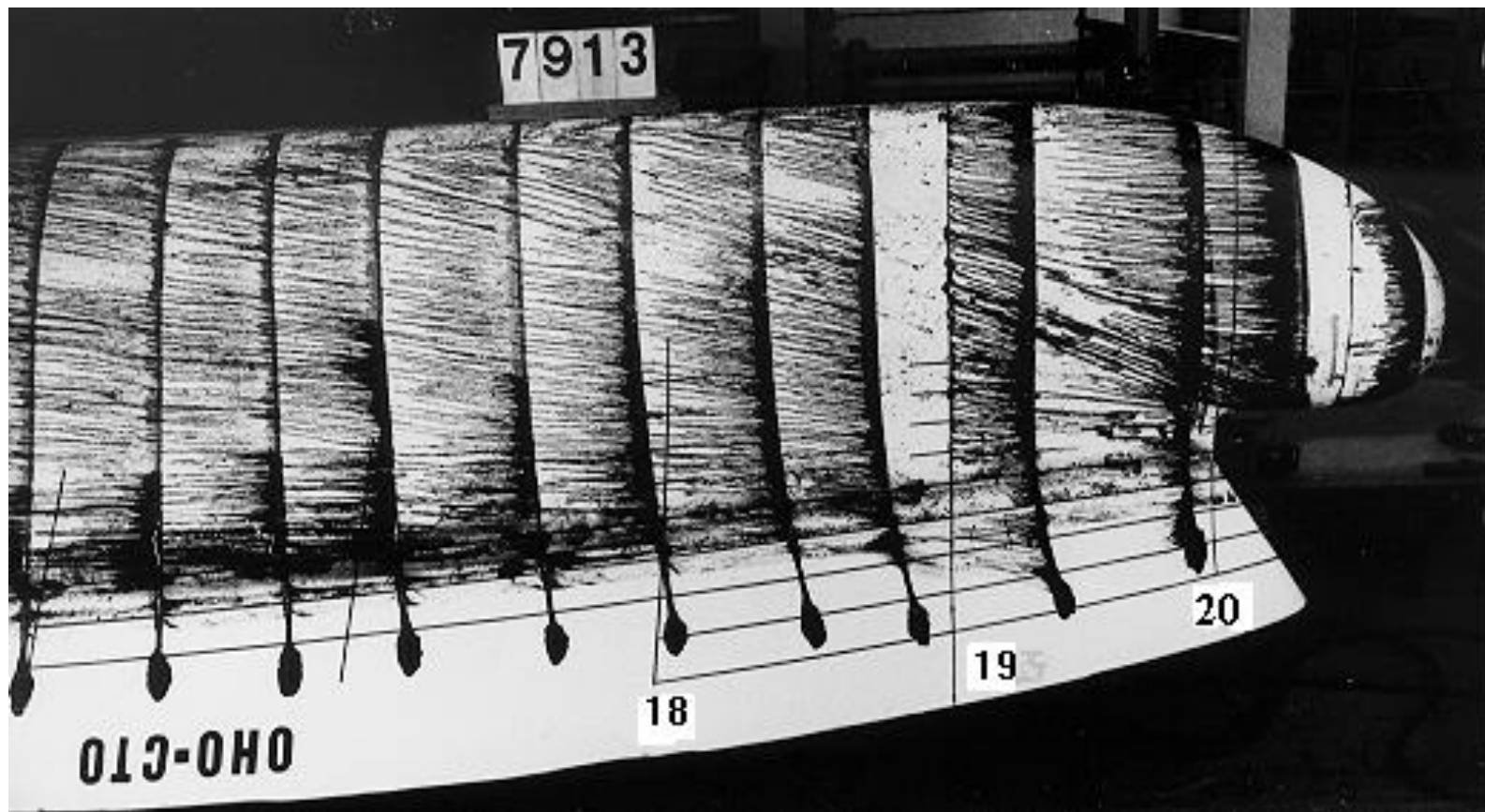
Mapa obliczonego układu falowego wokół okrętu



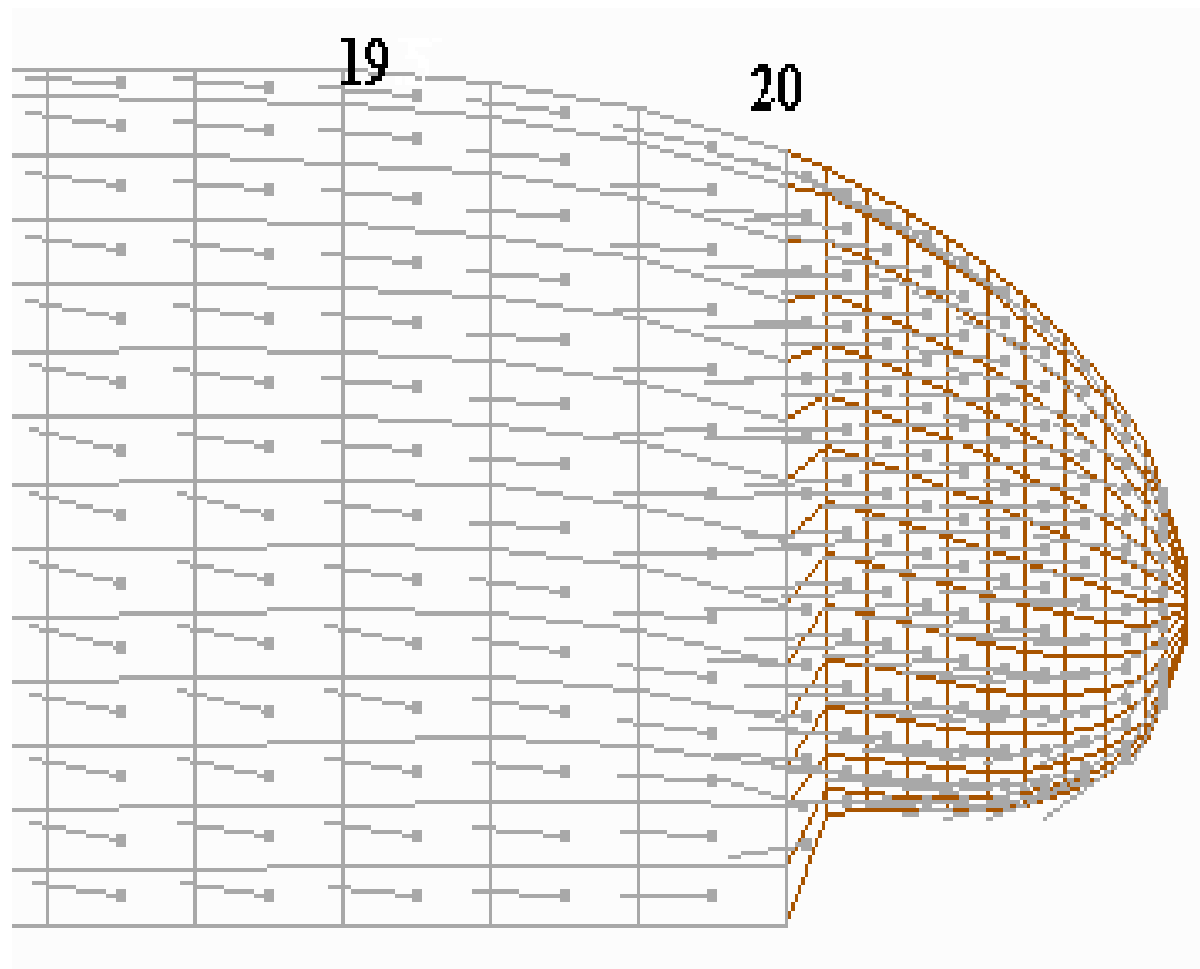
Експериментальна спостереження хвиля вздовж моделі корабля



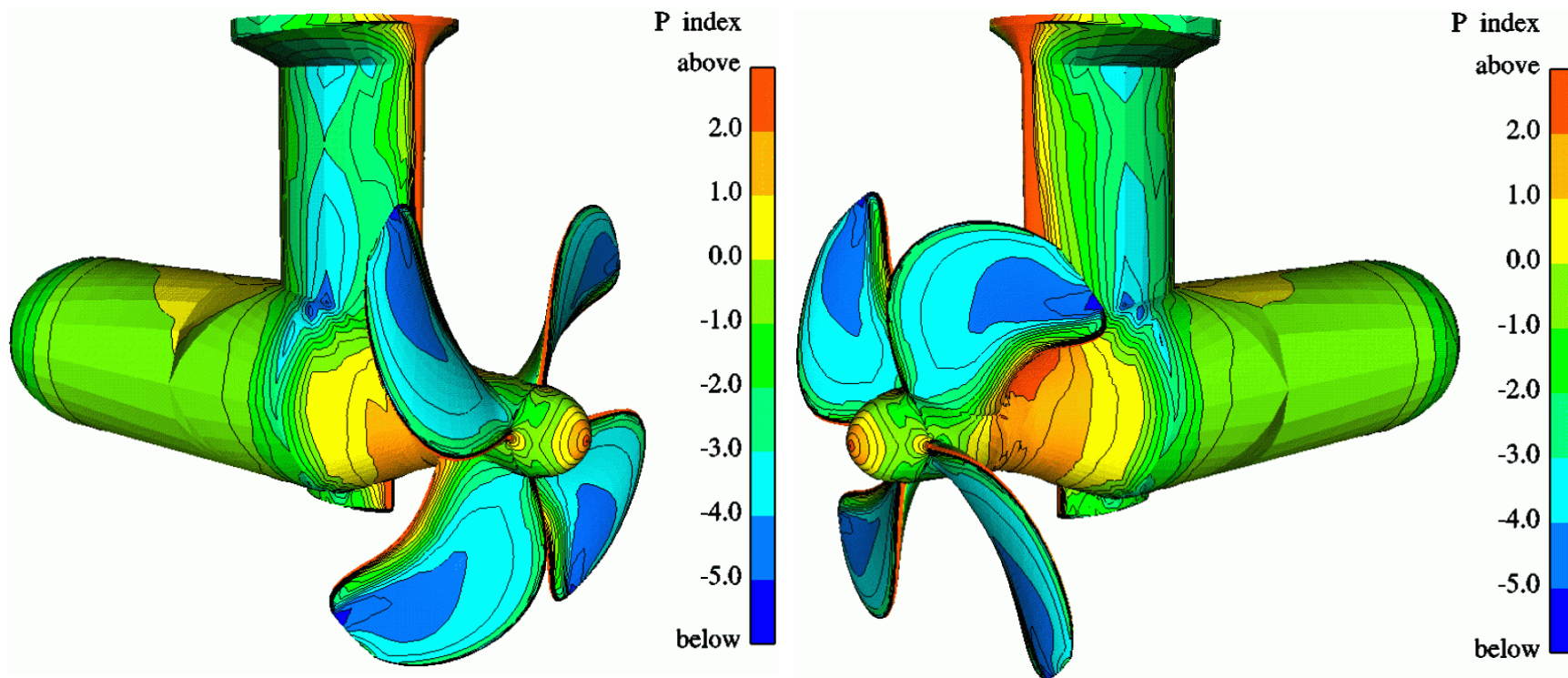
Obliczony zarys fali wzdłuż kadłuba okrętu



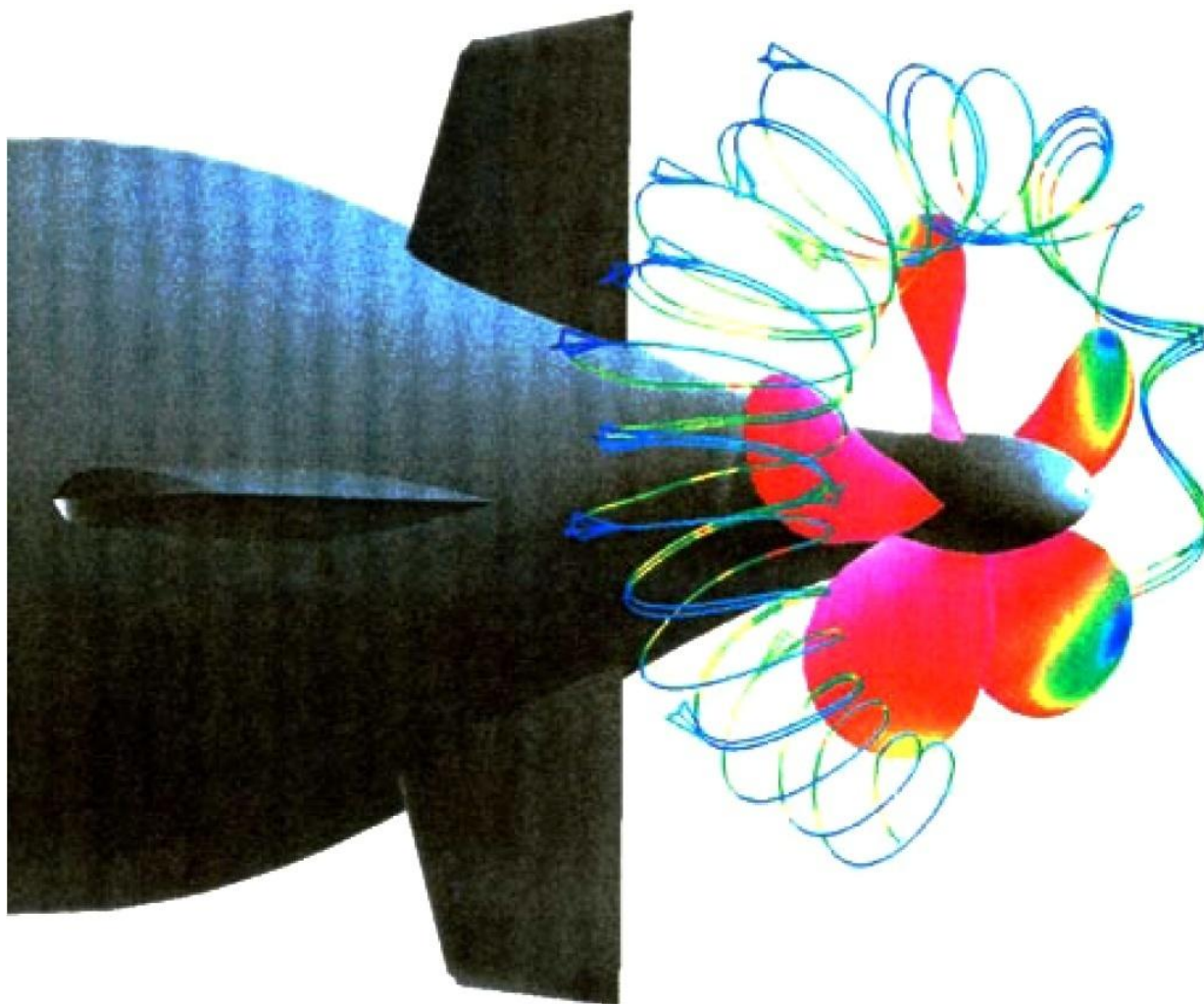
Eksperymentalnie wyznaczone linie prądu na kadłubie okrętu



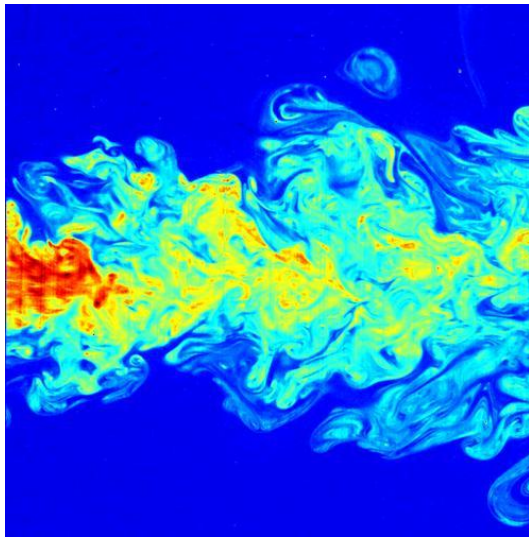
Obliczone linie prądu na dziobie okrętu



Obliczony rozkład ciśnienia na okrętowym pędniku gondolowym



Praca śruby napędowej podczas hamowania okrętu podwodnego



Dziękuję za uwagę!

