



WAMA SMART LAB

EKONOMIA WODY

WARMIŃSKO-MAZURSKIE

Wysokosprawne turbiny wodne typu Kaplana – prace B+R zrealizowane przez WTW Poland sp. z o.o.

Projekt zrealizowany w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój
nr POIR.01.01.01-00-1087/18



Fundusze
Europejskie
Inteligentny Rozwój



Rzeczpospolita
Polska



Narodowe Centrum
Badań i Rozwoju

Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego





WAMA SMART LAB

EKONOMIA WODY

WARMIŃSKO-MAZURSKIE

Zakres opracowania :

Badania przemysłowe

- Etap 1 - Geometria aparatu kierownicy i 3-łopatowego wirnika dla turbin z wlotem osiowym ($nq=260$) wraz z narzędziem obliczeniowym
- Etap 2 - Geometria aparatu kierownicy i 4-łopatowego wirnika dla turbin z wlotem osiowym ($nq=215$) wraz z narzędziem obliczeniowym
- Etap 3 - Geometria aparatu kierownicy i 4-łopatowego wirnika dla turbin z wlotem osiowym ($nq=165$) wraz z narzędziem obliczeniowym
- Etap 4 - Geometria aparatu kierownicy i 4-łopatowego wirnika dla turbin z wlotem promieniowym ($nq=190$) wraz z narzędziem obliczeniowym
- Etap 5 - Geometria aparatu kierownicy i 4-łopatowego wirnika dla turbin z wlotem promieniowym ($nq=160$) wraz z narzędziem obliczeniowym
- Etap 6 - Geometria wlotu, aparatu kierownicy, rury ssącej i 5-łopatowego wirnika dla turbin z wlotem promieniowym ($nq=125$) wraz z narzędziem obliczeniowym
- Etap 7 - Analiza i obliczenia CFD turbiny lewarowej wraz z narzędziem obliczeniowym



WAMA SMART LAB

EKONOMIA WODY

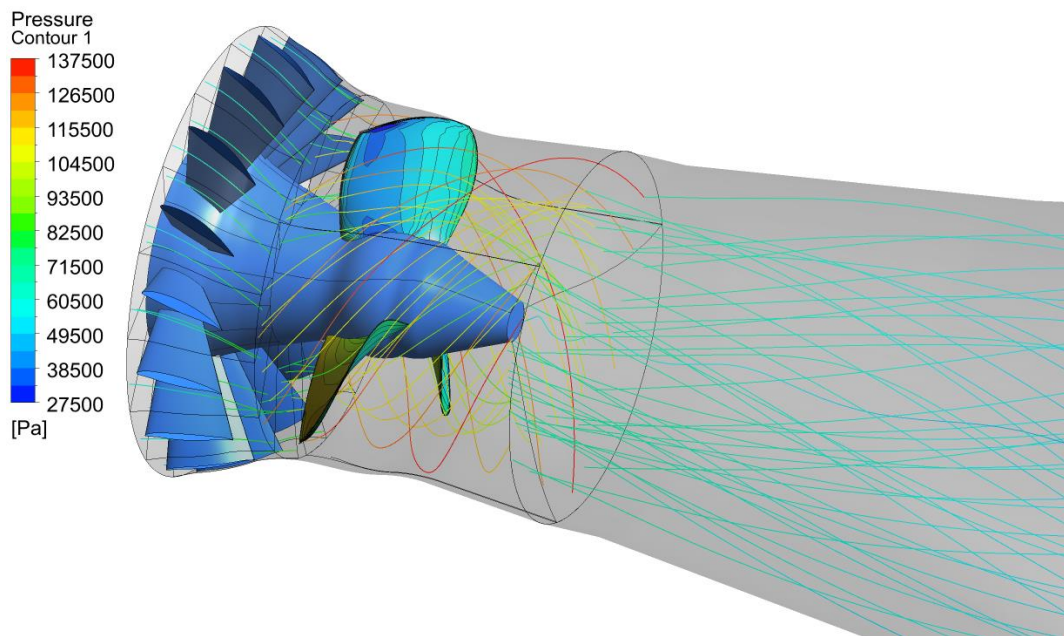
WARMIŃSKO-MAZURSKIE

Zakres opracowania :

Eksperymentalne Prace Rozwojowe

Opracowanie programu umożliwiającego wygenerowanie dokumentacji dowolnej turbiny z typoszeregu od 500 do 2000 mm średnicy wirnika

WP1: 3-łopatowa pozioma turbina Kaplana typu PIT, $n_{q,Qopt} \approx 270$ U/min



Nominalny przepływ:

$$Q_{\text{rated}} = 11.75 \text{ m}^3/\text{s}$$

Przepływ przy BEP:

$$Q_{\text{BEP}} = 0.8 \cdot Q_{\text{rated}} = 9.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nominalny spad netto:

$$H_{\text{rated}} = 3.5 \text{ m}$$

Nominalna moc turbiny:

$$P_{\text{rated}} = 360.6 \text{ kW} (@ \eta_{Q_{\text{max}}} = 90\%)$$

Prędkość obrotowa:

$$n = 224 \text{ U/min}$$

Cel dla współczynnika kawitacji σ :

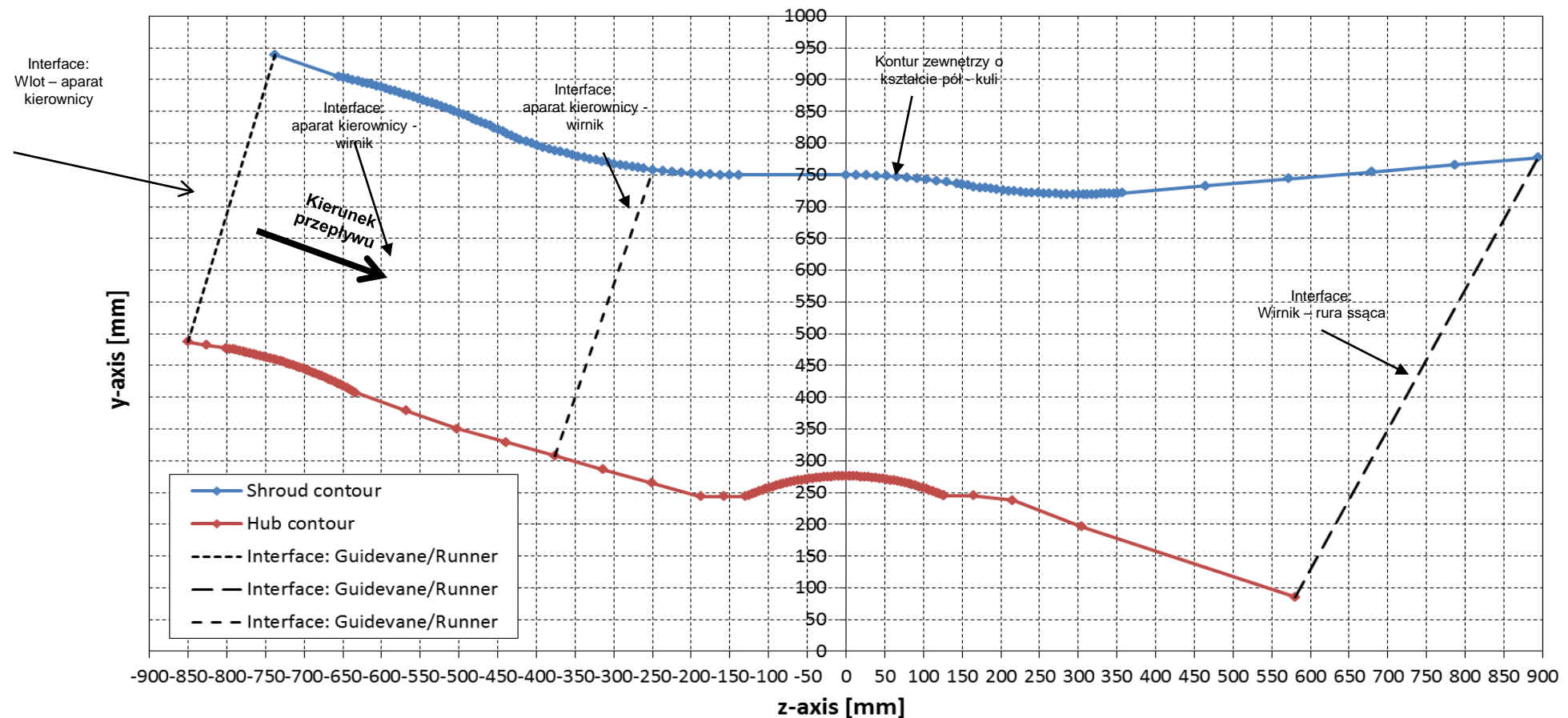
$$\sigma_{Q_{\text{max}}} = 1.50$$

Przy pomocy współczynnika kawitacji σ (również Thoma-No.) wymagana wysokość ssania H_s jest w przybliżeniu określana jako

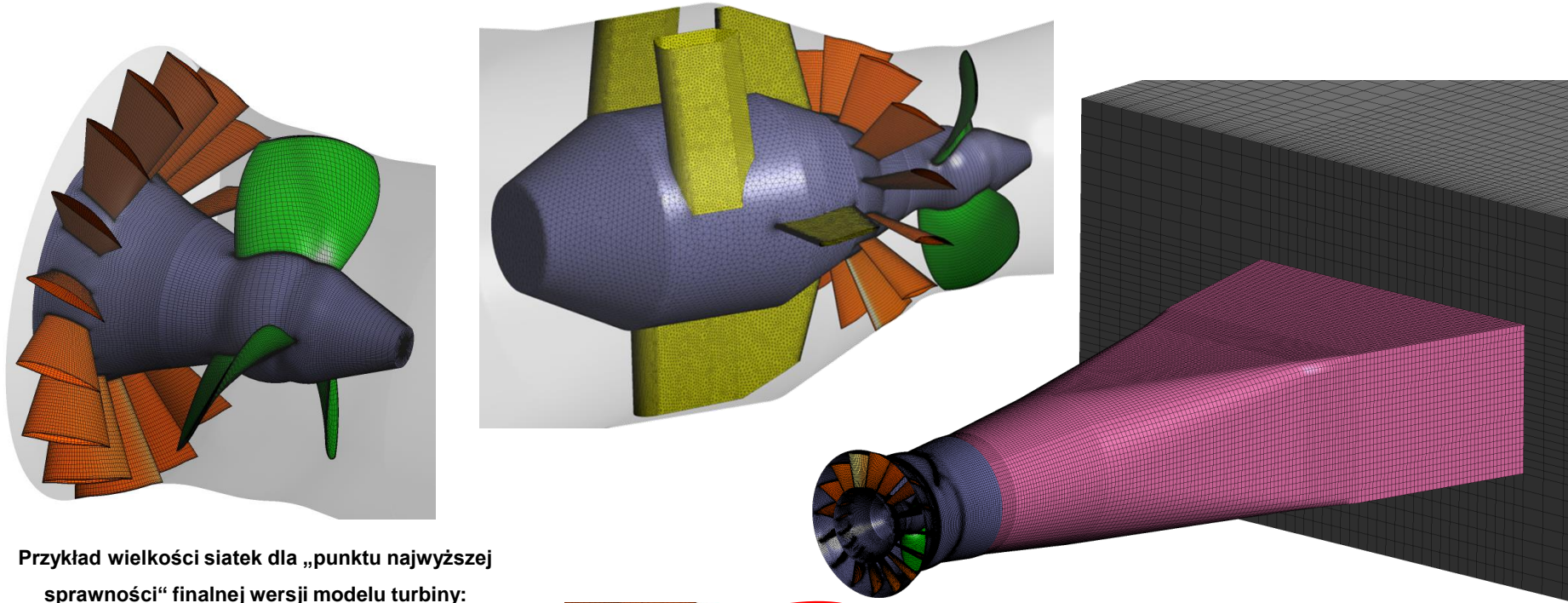
$$H_s = 10 - \sigma \cdot H = 10 - 1.5 \cdot 3.5 = + 4.75$$

Przekrój merydionalny oraz główne wymiary

- Współczynnik piasty – kluczowy parametr do wyznaczenia konstrukcji turbiny, układu przepływowego
- Szczelina wirnika i komory wirnika została przyjęta jako wartość $s_{\text{radial}} = 1.50 \text{ mm}$ (= 1/1000 zewnętrznej średnicy wirnika $D = 1.50 \text{ m}$)
- Aparat kierownicy - 16 sztuk łopat kierownicy



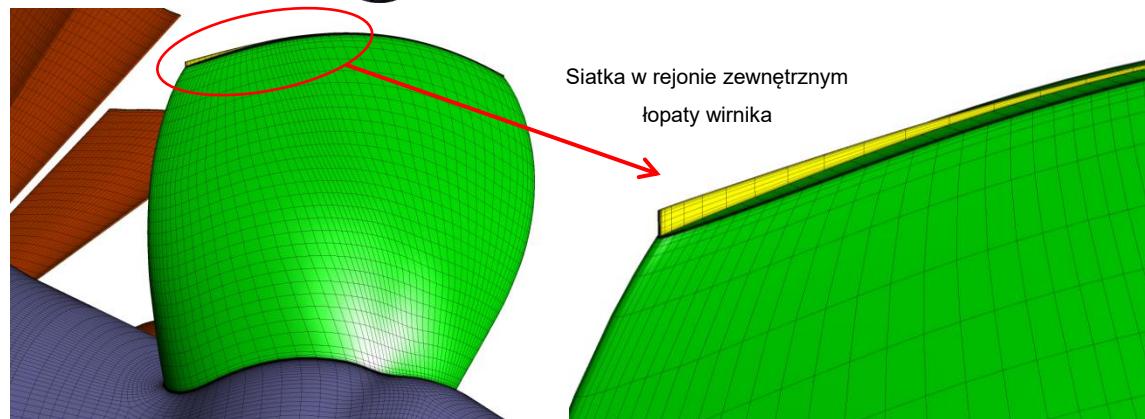
Podgląd siatek obliczeniowych



Przykład wielkości siatek dla „punktu najwyższej sprawności“ finalnej wersji modelu turbiny:

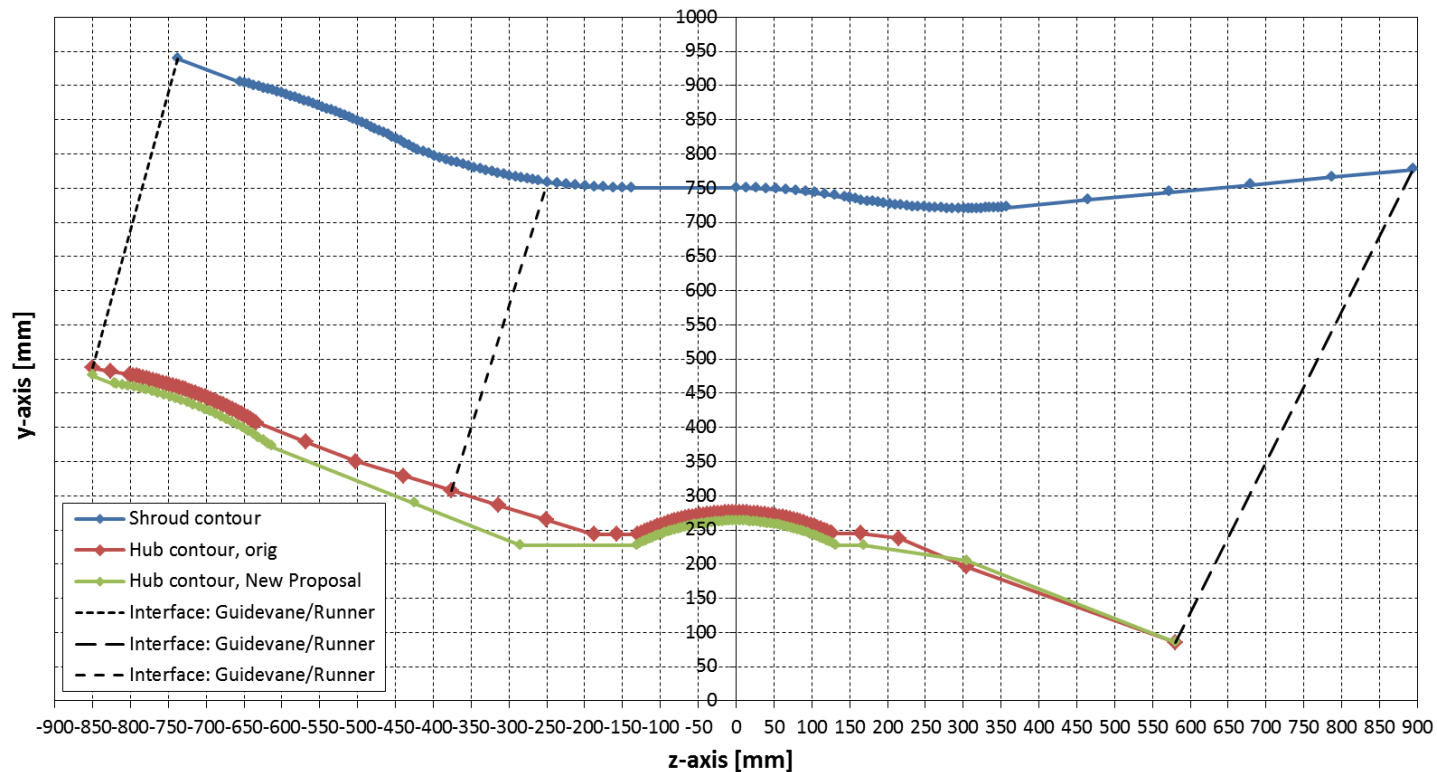
Zakres	Węzły	Elementy
Rura ssąca	1.399.552	1.379.142
Kierownica	2.229.435	2.138.136
Wlot	884.163	2.510.629
Wirnik	1.522.992	1.470.432
Dolna woda	209.000	201.042
Cały zakres	6.245.142	7.699.381

Uwagi: Dalsze udoskonalenie siatki nie przyczyniło się do znacznej poprawy wyników obliczeń CFD.



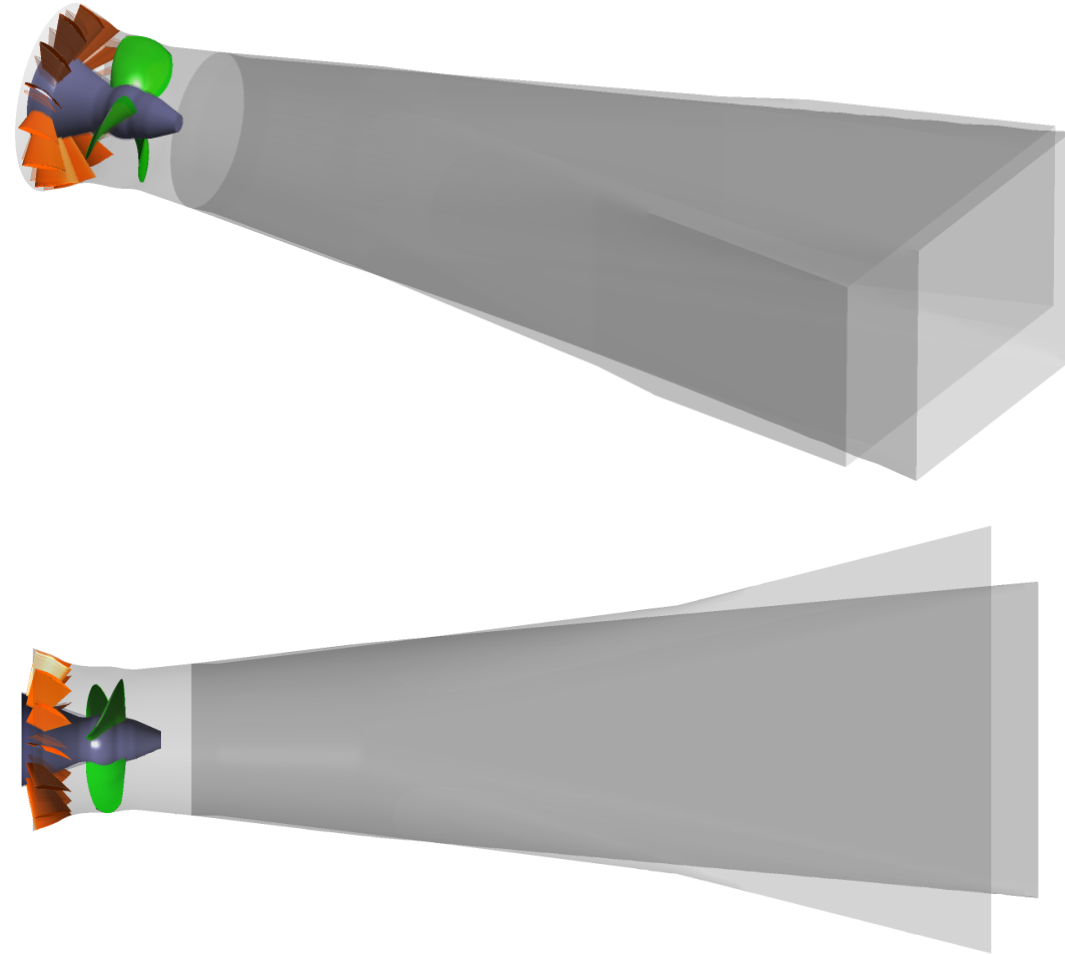
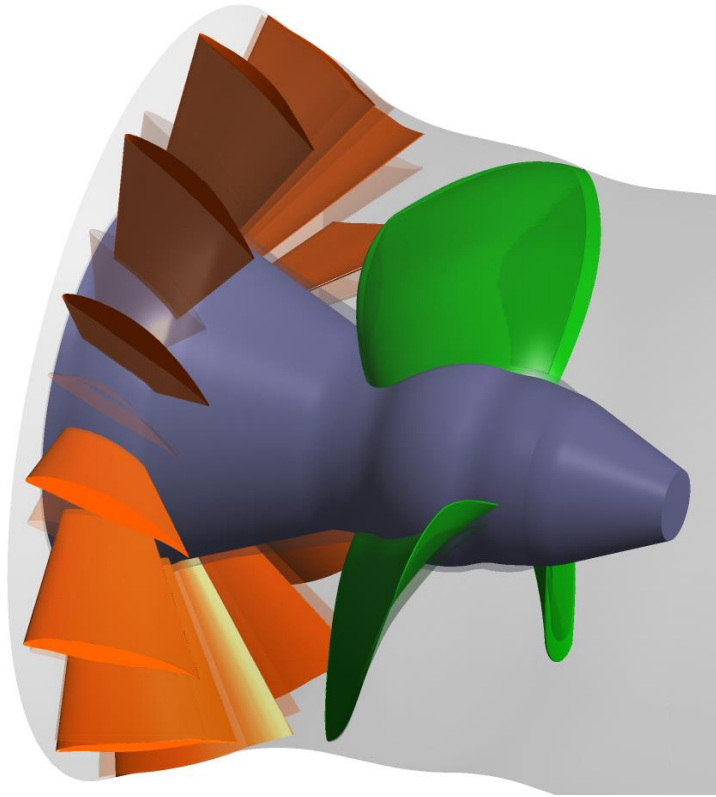
Przegląd procesu optymalizacji

- Pierwszy zestaw obliczeń został przeprowadzony z oryginalną rurą ssącą, początkowym modelem wirnika typu VO1 (z bazowym współczynnikiem piasty), początkowym modelem aparatu kierownicy V01 (ilość łopat kierownicy $z_{GV} = 16$) oraz układem przepływowym opracowanym przez WTW.
- Geometria łopat kierownicy została stworzona zgodnie z wytycznymi NACA. Zmieniając kąt skrzywienia łopaty, przebadano 3 różne wersje. Co więcej, ilość łopat kierownicy została zmniejszona z $z_{GV} = 16$ do $z_{GV} = 13$ aby ograniczyć występujące straty tarcia.
- W celu osiągnięcia najwyższej możliwej sprawności również rura ssąca została przeprojektowana aby uniknąć rozdzielania się przepływu w najważniejszych punktach operacyjnych.
- W trakcie procesu symulacji okazało się, że współczynnik piasty musi zostać zmniejszony do optymalnej wartości



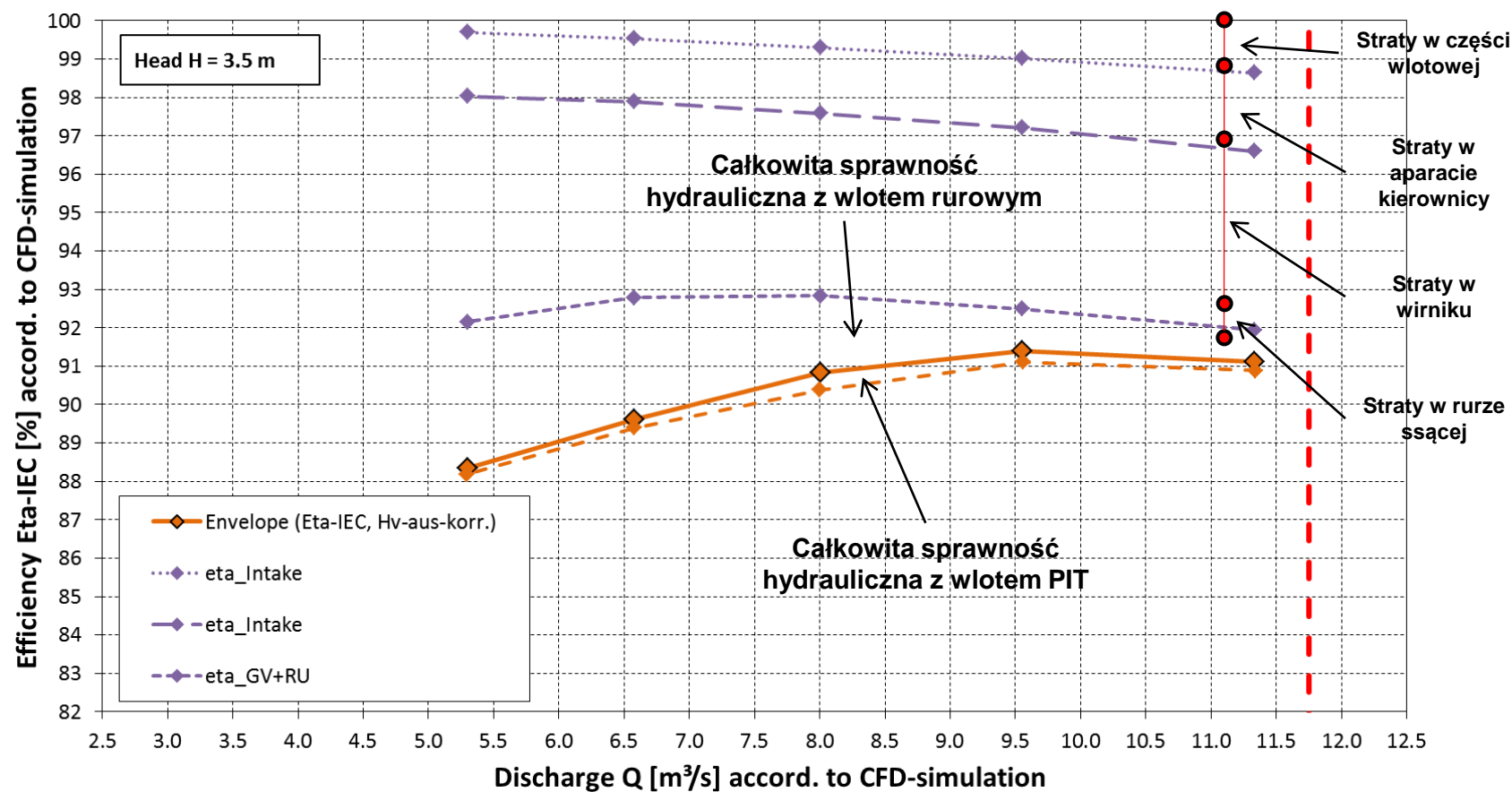
Przegląd procesu optymalizacji

- Obrazy zaprezentowane poniżej pokazują wzajemne położenie bazowej i finalnej wersji turbiny. Dla lepszego zobrazowania oryginalne elementy są przezroczyste. Okazało się, że kilka adaptacji projektowych było koniecznych aby osiągnąć satysfakcjonujący poziom całkowitej sprawności turbiny.



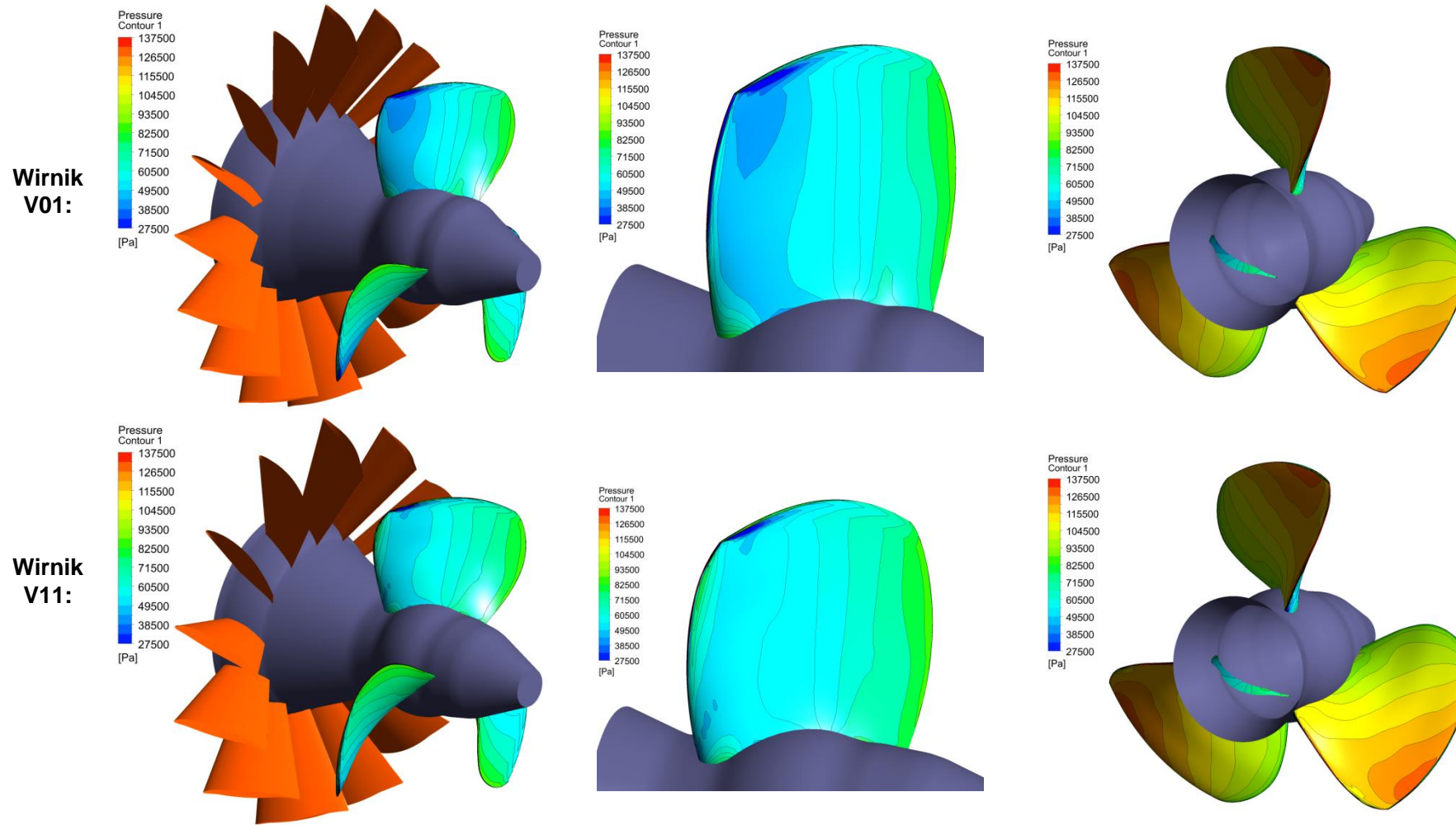
Wyniki CFD: Pełny 360° model turbiny

- Poniższy wykres pokazuje całkowitą hydrauliczną sprawność turbiny jak również rozkład strat w poszczególnych komponentach turbiny dla $H = 3.5$ m. Przy $Q_{BEP} \approx 9.5$ m³/s osiągnięto niezwykle wysoką sprawność turbiny wynoszącą 91.4 %..
- Pomarańczową przerywaną linią zobrazowano sprawność hydrauliczną turbiny obliczoną dla wlotu typu PIT zamiast wlotu rurowego. W przypadku wlotu PIT, straty na wlocie wzrosły co skutkuje nieco niższą sprawnością. Przy $Q_{BEP} \approx 9.5$ m³/s osiągnięto sprawność hydrauliczną turbiny na poziomie 91.1 %.



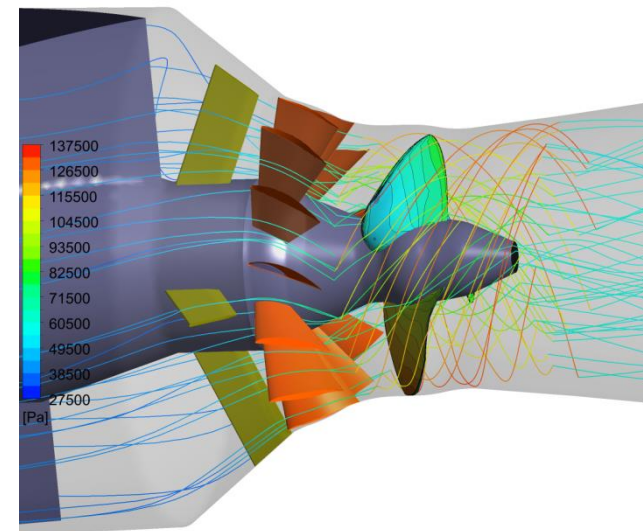
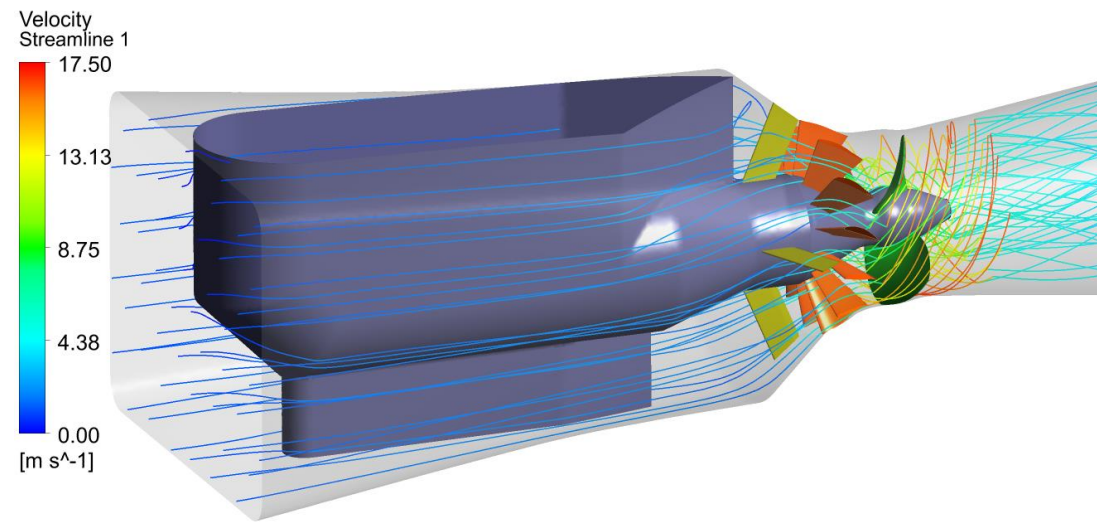
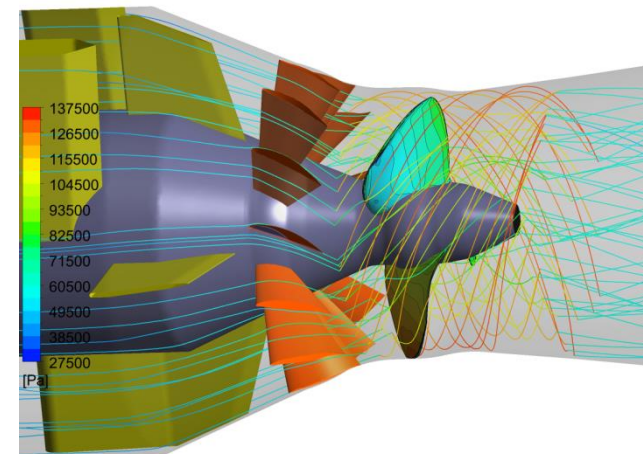
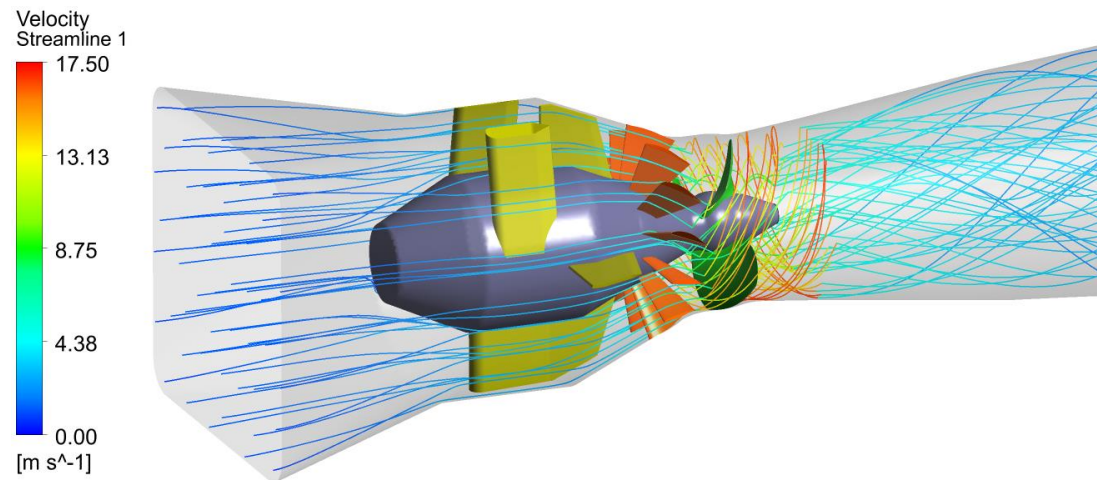
Wyniki CFD: Wizualizacja

- Dla najwyższego punktu sprawności ($Q \approx 9.5 \text{ m}^3/\text{s}$) poniższe obrazy prezentują kontury (pola) ciśnienia dla początkowej (V01) i finalnej (V11) wersji łopaty wirnika. Generalnie osiągnięto homogeniczny rozkład ciśnienia z płynnym liniowym zmniejszeniem od krawędzi atakującej do krawędzi spływowej łopaty.



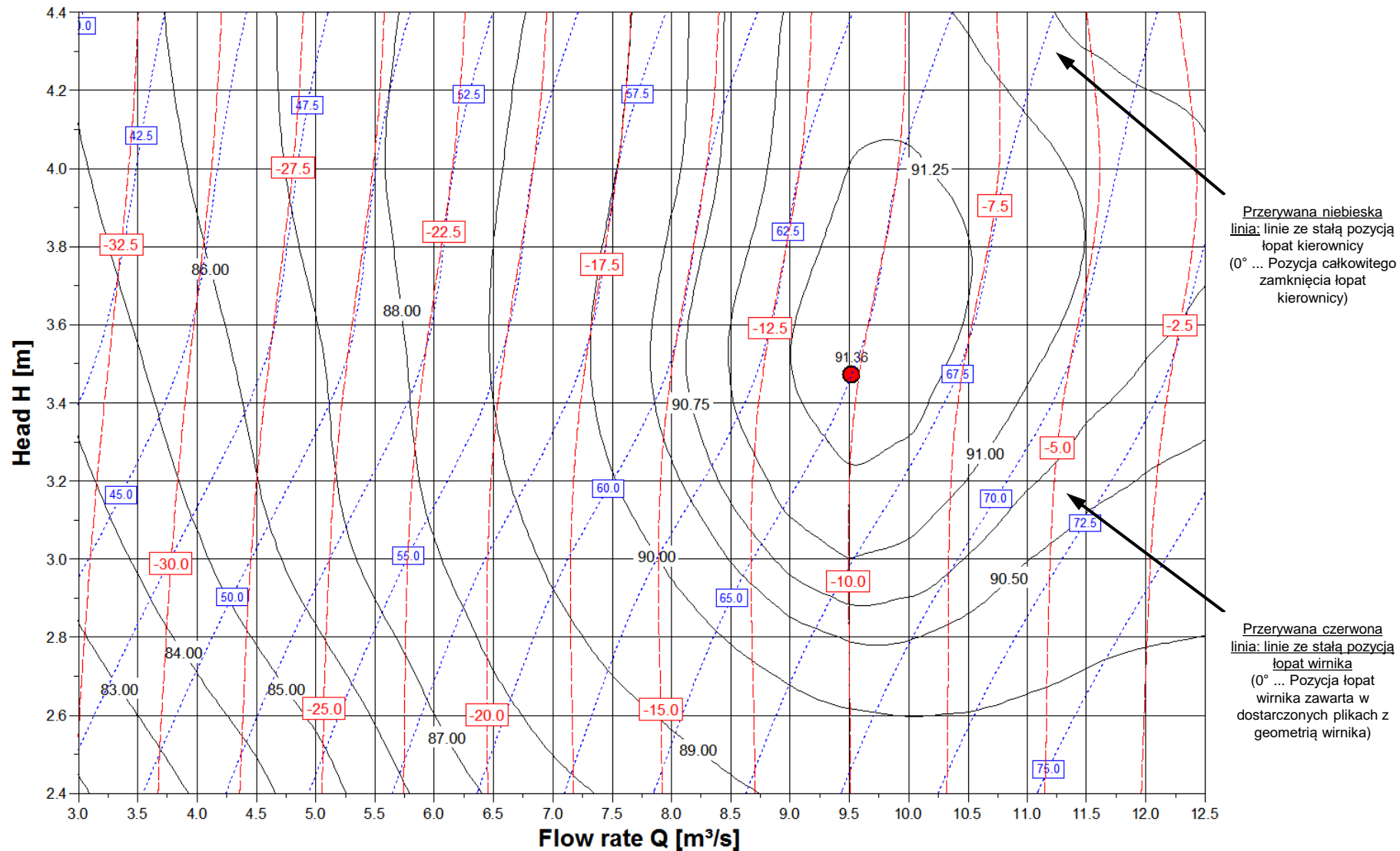
Wyniki CFD: Wizualizacja

- Poniższe rysunki wizualizują przepływ przez turbiny w konfiguracji turbiny rurowej oraz PIT.



Wykres muszlowy (H/Q/ η)

- Wykres muszlowy H-Q- η pokazuje punkt maksymalnej sprawności, który został osiągnięty dokładnie dla spadku projektowanego H = 3.5m. Jednak, jeśli spadek będzie nieco wyższy lub niższy (H = 3.2m – 4.1m) wartość szczytowa sprawności na poziomie 91.25% będzie osiągnięta..





WAMA SMART LAB

EKONOMIA WODY

WARMIŃSKO-MAZURSKIE

Zakres opracowania :

Eksperymentalne Prace Rozwojowe

- 7 etapów badań przemysłowych - opracowanie modeli 3D turbozespołów, posiadających zakładaną sprawność hydrauliczną, współczynnik kawitacji oraz pozostałe cechy techniczne
- Wykonanie prac informatycznych w środowisku VisualBasic dla SolidWorks - makro umożliwiające automatyczną generację łopaty wirnika, piasty, łopaty kierownicy oraz pozostałych elementów wirnika
- Działanie makra dla dowolnej średnicy turbiny z typoszeregu zakresie od 500 mm do 2000 mm

UserForm1

Średnica wirnika	1015	Szerokość rowka pod oring	4.5	Grubość cęgła	9	Głębokość zatoczenia 2	4
	1015	Liczba rowków pod oring	2	Szerokość cęgła	26	Średnica otworu pionowego	60
Średnica piasty	352	Średnica wewn. rowka pod oring	140	Średnica otworów cęgła	14	Odległość płaszczyzny wycięcia	80.5
Średnica grzybka	163.2	Grubość gumy oringa czolowego	4	Odległość pomiędzy otworami cęgła	94	Odległość płaszczyzny tulei malej	59.5
Średnica otworu na grzybek (w niszcie)	163.4	Średnica zewnętrzna rowka	150	M wkręta łączącego cęgła	8	Odległość płaszczyzny tulei dużej	117
Wysokość grzybka	15.8	Głębokość rowka - uwzględnić luz!	3.4	Grubość tarczy krzyżaka	22	Średnica gwintu otworów wału	16
Głębokość otworu na grzybek (w niszcie)	16	Średnica zewnętrzna tulei dużej	136	Średnica tarczy krzyżaka	250	Średnica gwintu otworów osłownki	8
Wysokość występu centrującego orzybka	9	Średnica wewnętrzna tulei dużej	128	Średnica podziałowa śrub uszu krzyżaka	213	Średnica podz. Otw trzpieni zab. Przed obr.	105
Średnica występu centrującego orzybka	52	Grubość kołnierza tulei dużej	4	Średnica otworów dla uszu	16	Średn. trzpieni zab. Krzyżak przed obrotem	21
		Średnica kołnierza tulei dużej	143	M śrub uszu	14	Długość trzpieni zab. Krzyżak przed obrotem	118
Długość wkręta cęgła	35	Wysokość tulei malej (bez kołnierza)	22			M gwintu trzpieni	16
		Średnica zewnętrzna tulei malej	61	Wysokość otworu w uchu	19	Długość sruby mocowania osłownki	30
Mśruby mocowania łopatki	16	Średnica wewnętrzna tulei malej	53	Średnica drąga regulacyjnego	30	Skurcz odlewniczy	1.022
Średnica podziałowa śrub łopatki	101	Wysokość kołnierza tulei malej	4	M śruby drąga regulacyjnego	20	Naddatek na obróbkę	5
		Średnica kołnierza tulei malej	69	Skok regulacji wirnika	48	Grubość ściany modelu	30
Średnica pogłębiacza pod łeb śrub	26	Średnica otworu w dźwigni	75				
Odsunięcie pł. szkicu otworów od powierzchni orzybka	48	Grubość kołnierza dźwigni	9				
Grubość materiału pod śrubą na nonleheniu	9	Grubość części walcowej dźwigni	23				
Kąt startowy otworów grzybka	351	Średnica walca dźwigni	125				
Kąt pomiędzy otworami	37.5	Średnica mała dźwigni	35	Średnica walców piasty	309		
Kąt położenia otworu kołka	30	Średnica otworu pod tulejkę śrubowa	22	Wysokość górnego walca niastv	35		
Średnica kołka ustalającego łopatke	11	Średnica otworu w tulejce śrubowej	16	Wysokość dolnego walca niastv	23		
Głębokość otworu pod kolek (w orzybku)	21	Długość dźwigni (pomiędzy osiami)	83	Średnica Centrująca kołnierza Wału	246		
Wymiar wewnętrzny oringa nonrzczeno	157	Kąt poprawkowy otworów dźwigni	163.5	Głębokość centrowania kołnierza Wału	3		
Grubość gumy oringa	3.5	Długość całkowita osi łopatki	103	Średnica zatoczenia 2	147		

Wirniki Ax3

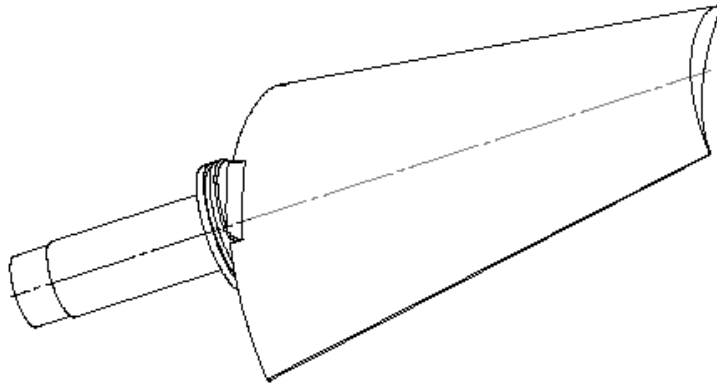
208 222 238 253 271 288 309 330 352 375 401 427 456 488 521 555 593 633 677 722 770 823 879 939
600 640 685 730 780 830 890 950 1015 1080 1155 1230 1315 1405 1500 1600 1710 1825 1950 2080 2220 2370 2535 2705

Średnica wirnika

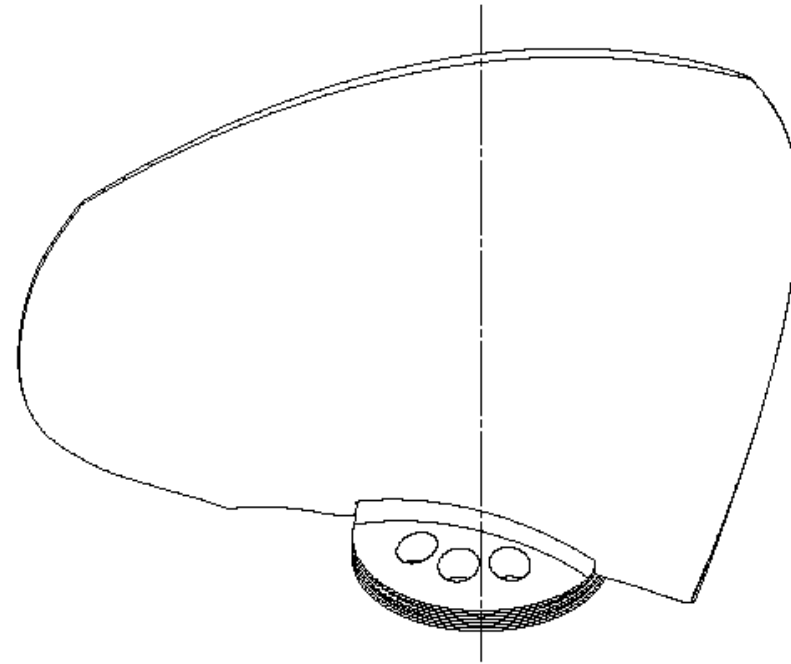
Obliczenia Rysuj


Uwagi:

Etap 1: Geometria aparatu kierownicy i 3-łopatego wirnika dla turbin z wlotem osiowym



wyóżnik szybkobieżności $nq = 270$
 współczynnik kawitacji $\sigma = 1.5$
 zastosowanie : zakres spadów 2 do 5 m



Sporządził Inż. Grzegorz Wiszniewski	Data	Zatwierdził mgr Inż. Mateusz Wiszniewski	Data	Historia	Podziałka 15
 WTW Poland sp. z o.o.		Nazwa części/stadania		Nazwa	Arkusz 1/1
		Nazwa projektu <small>„Opisowanie w przedmiarobótce WTW Poland Sp. z o.o. wyszczególnionych turbin wodnych Kaplan, przeznaczonych na zbiór, średnie i wysokie spadki”</small>		Nr rys.	A3