



Zjawiska przepływowe w otworach odciążających wirników pomp wirowych

Autor : mgr inż. Łukasz Złoty



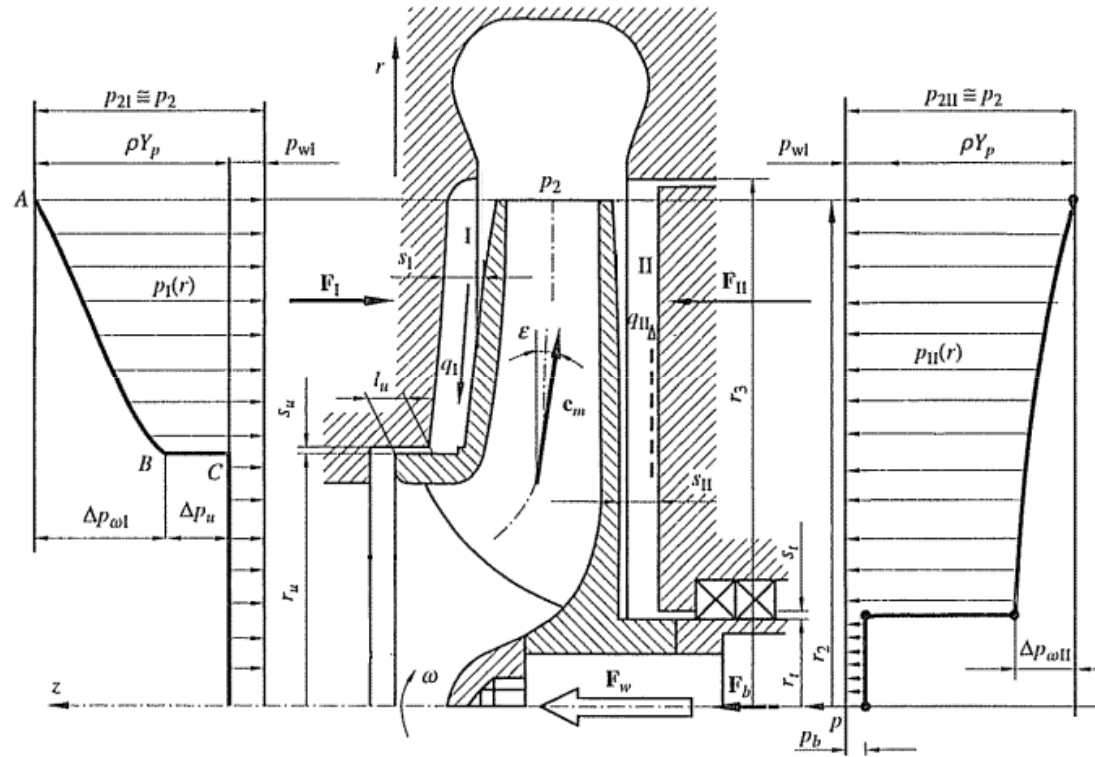
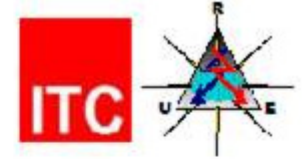
PLAN PREZENTACJI



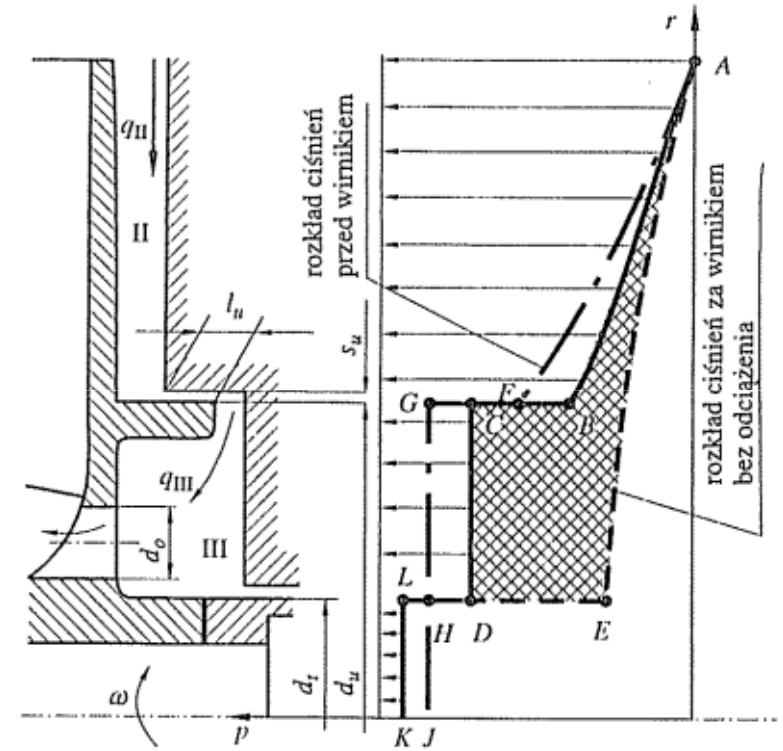
- ANALITYCZNE SPOSOBY OBLICZANIA NAPORU OSIOWEGO W POMPIE WIROWEJ Z OTWORAMI ODCIĄŻAJĄCYMI - WYBRANE PRZYKŁADY
- BADANIA DOŚWIADCZALNE WEDŁUG A. WILKA WYBRANE INFORMACJE
- ETAPY PRZYGOTOWANIA MODELU DO SYMULACJI
- PRZYJĘTE UPROSZCZENIA I MODELE PRZEPŁYWU
- WYNIKI SYMULACJI NA PODSTAWIE BADAŃ I WNIOSKI
- OCENA JAKOŚCIOWA I ILOŚCIOWA ANALIZ NUMERYCZNYCH
- INNOWACYJNE SPOSOBY KSZTAŁOWANIA OTWORÓW ODCIĄŻAJĄCYCH
- PRACE NAD ZAGADNIENIEM W PRZYSZŁOŚCI



ROZKŁADY CIŚNIEŃ NA WIRNIKU POMPY



wirnik bez odciążenia

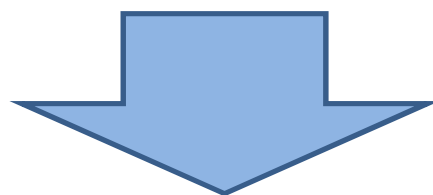


wirnik z otworami
odciążającymi



PORÓWNANIE METOD ANALITYCZNYCH - PRZYKŁADY

lp.	autor	zalecenia	jak liczyć Δp za i przed otworem	szacowana redukcja siły osiowej
1	J. F. Gulich	+	-	80-90%
2	M. Stępniewski	+	+	do 70%
3	Troskoleński/Łazarkiewicz	+	-	do 75%
4	Jankowski/Kurpisz	+	-	60-90%
5	A. J. Stepanoff	+	-	75-90%
6	W. Jędral	+	-	80-90%



analiza numeryczna rozkładu ciśnień w otworze wirującym
zweryfikowana wynikami badań w pracy A. Wilka



WSPÓŁCZYNNIK PRZEPEŁYWU



Do opisu współczynnika przepływu stosuje się funkcję o ogólnej postaci:

$$\mu = f(Q_o, d_o, l_o, \omega)$$

- Q_o - natężenie przepływu przez otwór
- d_o - średnica otworu
- l_o - długość otworu
- ω - prędkości kątowa tarczy



WSPÓŁCZYNNIK PRZEPEŁYWU - ZAŁOŻENIA

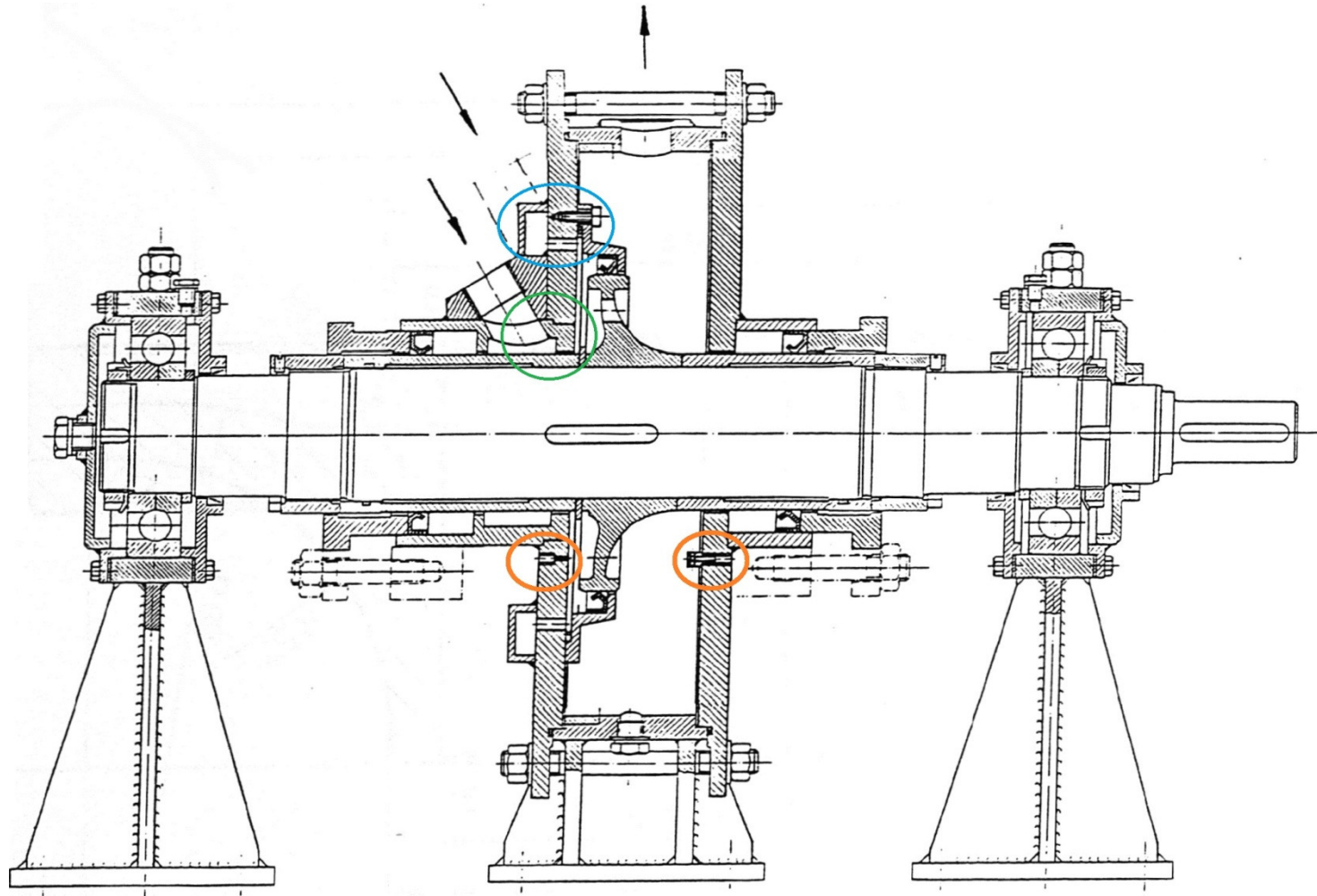
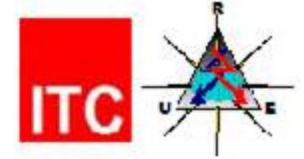


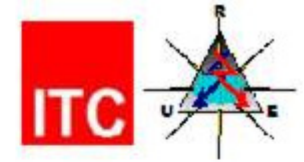
Badania doświadczalne A. Wilka są ważne dla zakresu poniższych parametrów:

- prędkości unoszenia $u = \omega r$ **4.26 ÷ 17.04 m/s**
gdzie **$r = 110$ mm**
- średnice otworów d_o : **10.0 ÷ 29.9 mm**
- długości otworów l_o : **14.1 mm ÷ 25.3 mm**
- wartość przepływu przez otwór Q_o : **do 2.5 dm³/s**

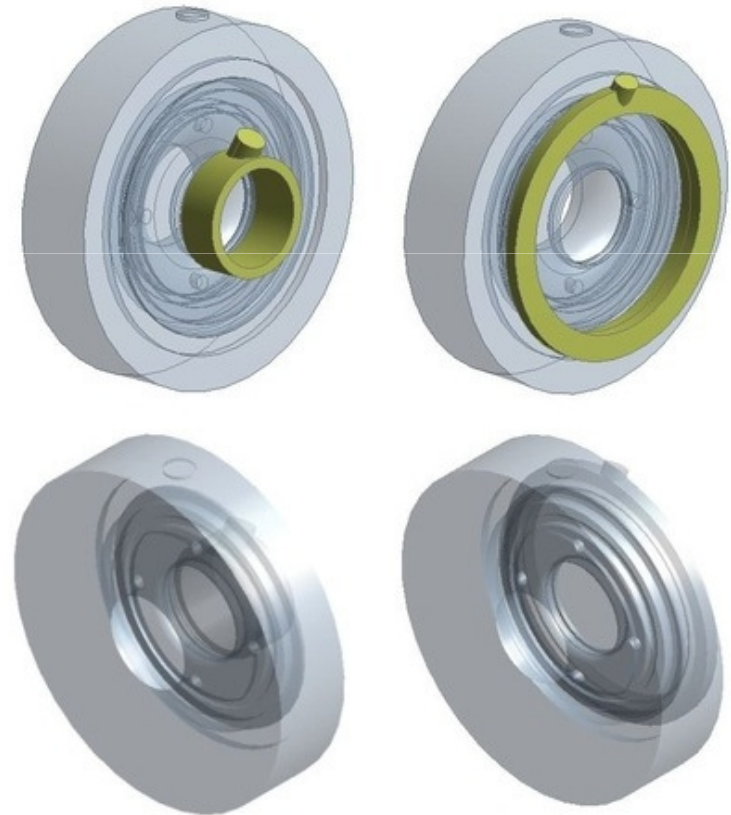
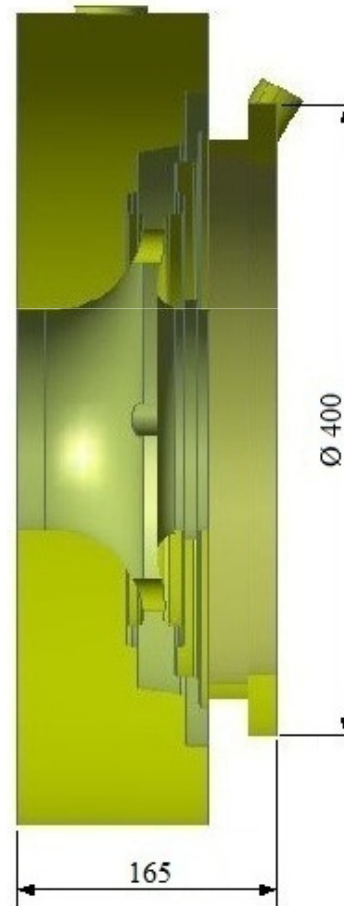
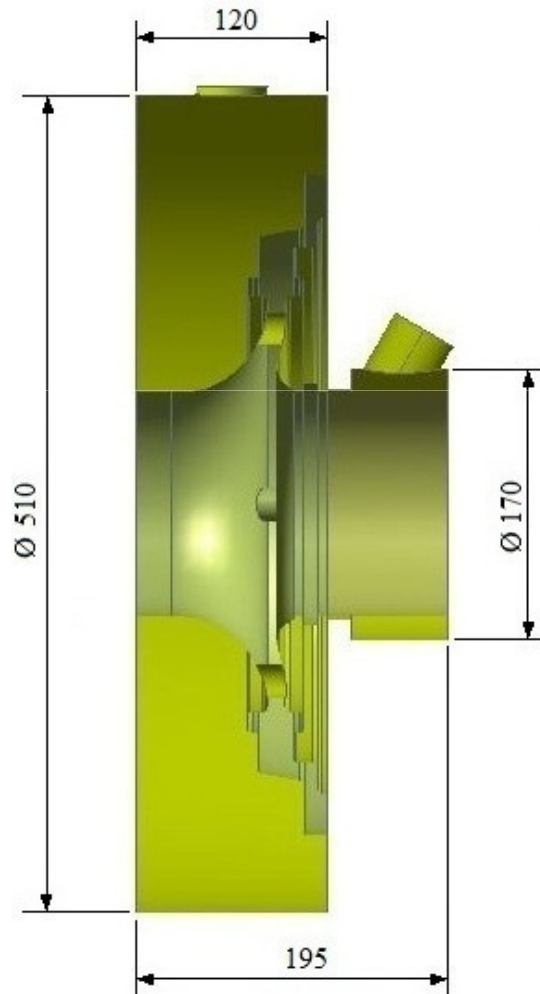


PRZEKRÓJ STANOWISKA POMIAROWEGO



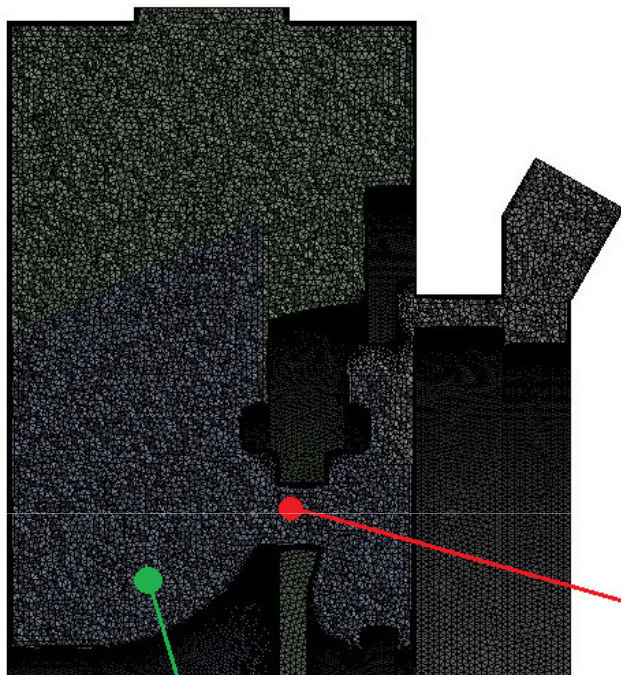


MODELE GEOMETRYCZNE



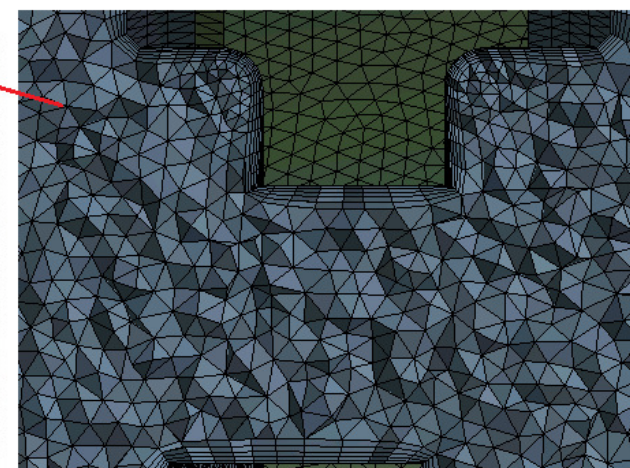
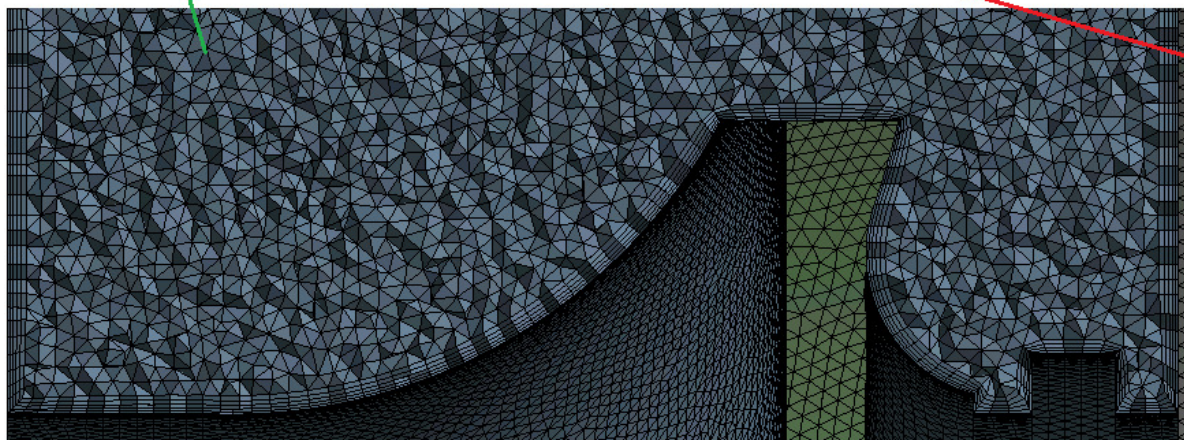


MODEL DYSKRETNY



Liczba elementów: 26 481 400

Liczba węzłów: 5 651 003

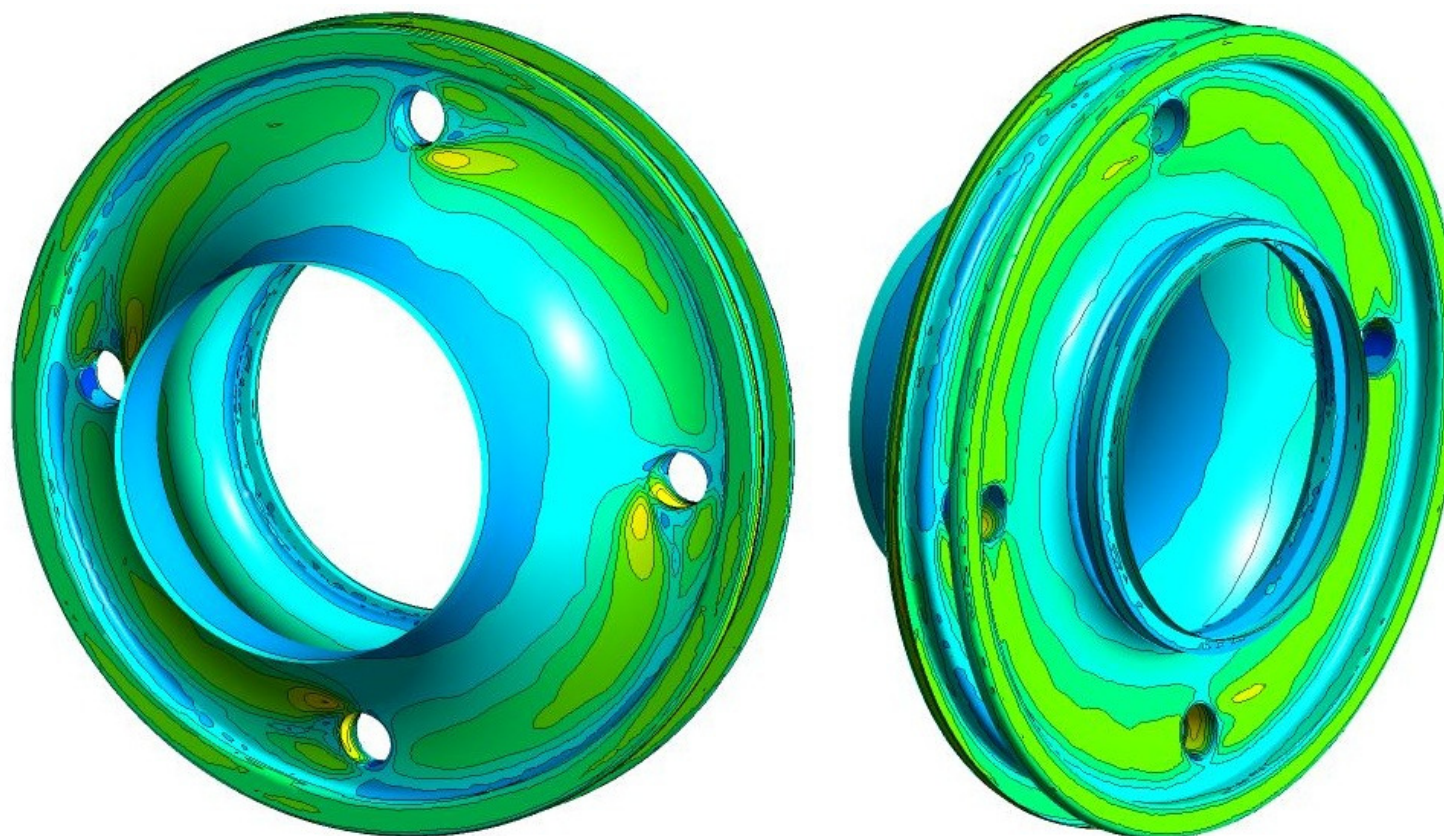
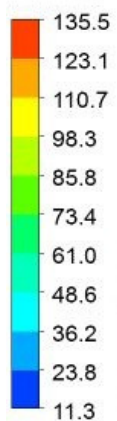




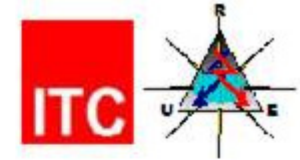
OCENA JAKOŚCI SIATKI W POBLIŻU ŚCIANEK WIRUJĄCYCH - PRZYKŁAD



Yplus

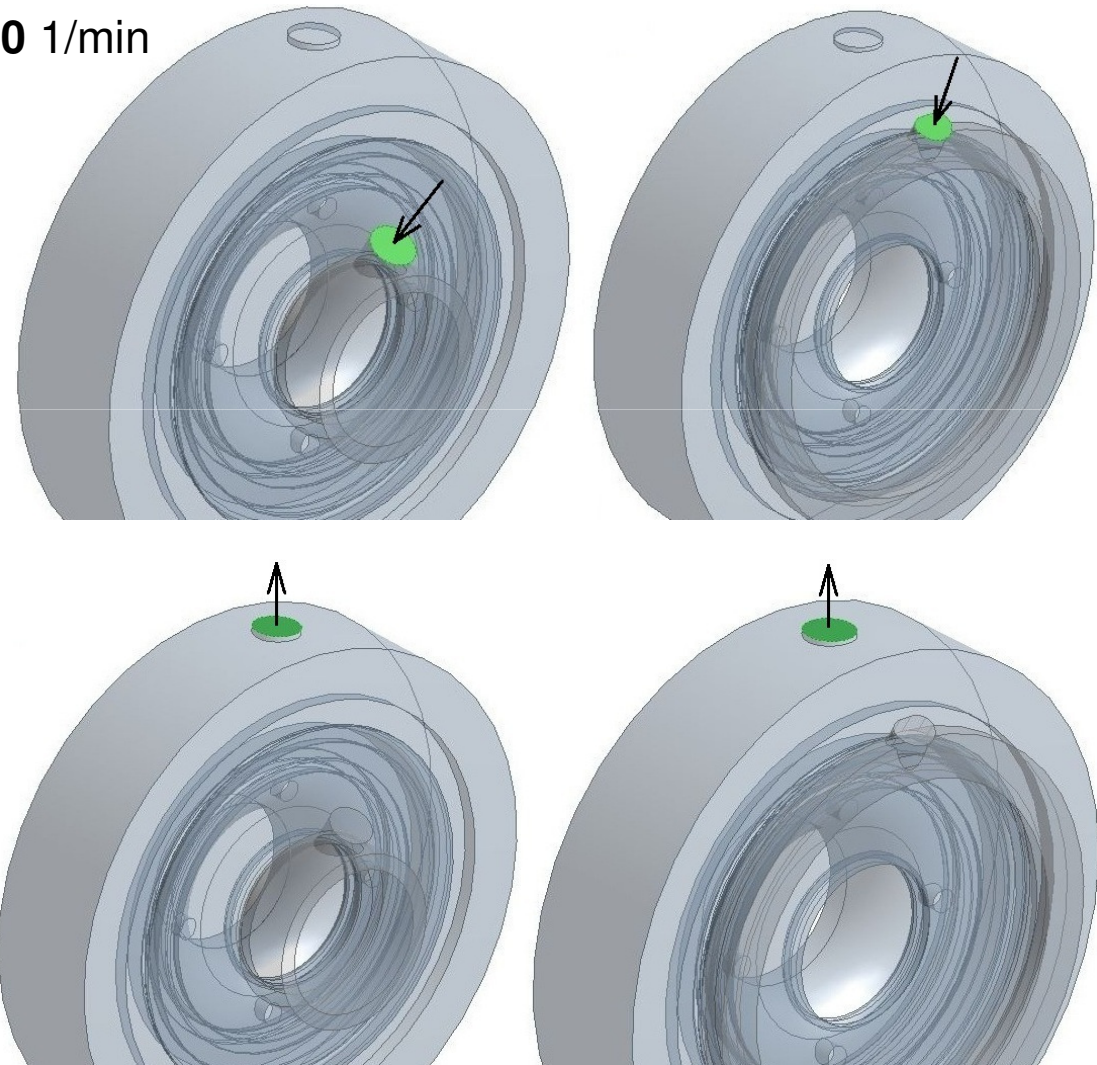
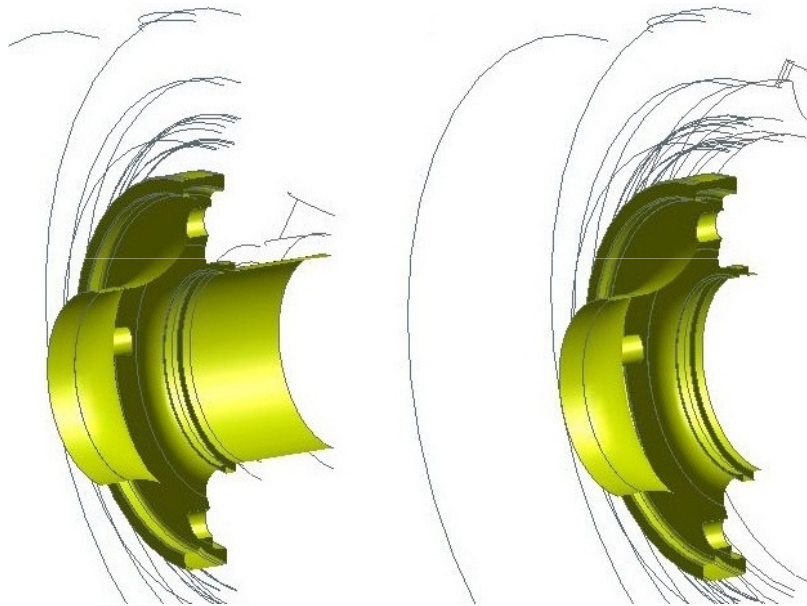


dopływ dośrodkowy – 1500 obr/min



WARUNKI BRZEGOWE

Ścianki wirujące z prędkością zależnie
od przypadku: **0 / 375 / 750 / 1125 / 1500** 1/min



Strumień masy na wlocie do układu
dla każdego przypadku $\approx 5,6$ kg/s

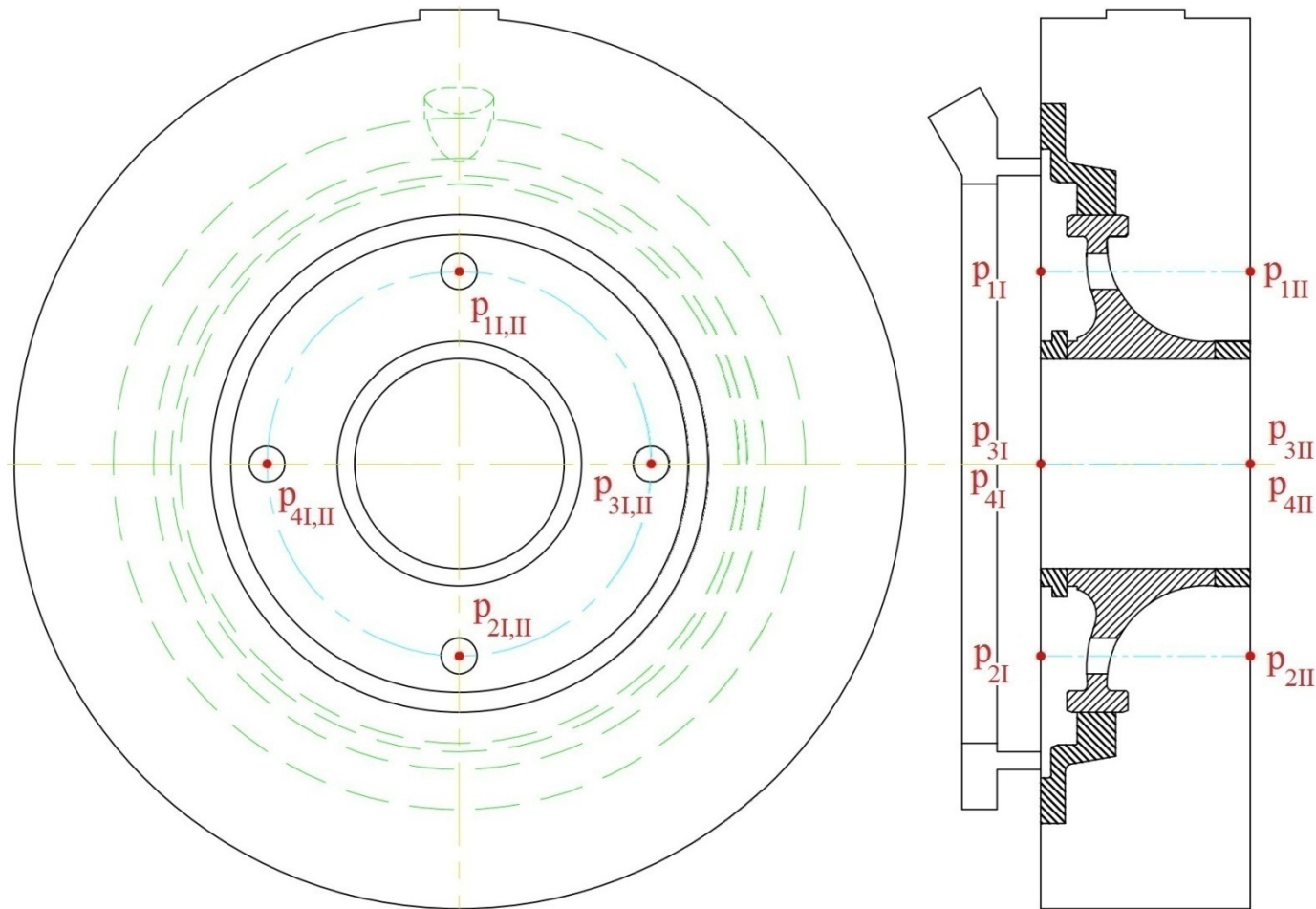
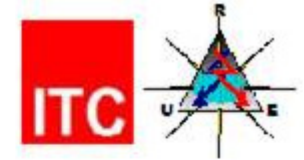


GŁÓWNE USTAWIENIA SOLVERA

- obliczenia prowadzono dla **stanu ustalonego**
- podstawowy algorytm określono jako „**pressure based**”
- przepływ turbulentny modelowano za pomocą dwurównaniowego modelu turbulencji **k- ϵ** , z opcją „Realizable” i „Scalable Wall Function” oraz modelu **k- ω SST**
- równania momentu, współczynnika dyssypacji turbulencji, energii kinetycznej turbulencji, liczone metodą „**drugiego rzędu pod prąd**”
- ciśnienie atmosferyczne zdefiniowano jako 101325 Pa.
- siły grawitacji **nie zostały** uwzględnione



ODCZYT WYNIKÓW LICZBOWYCH Z SYMULACJI





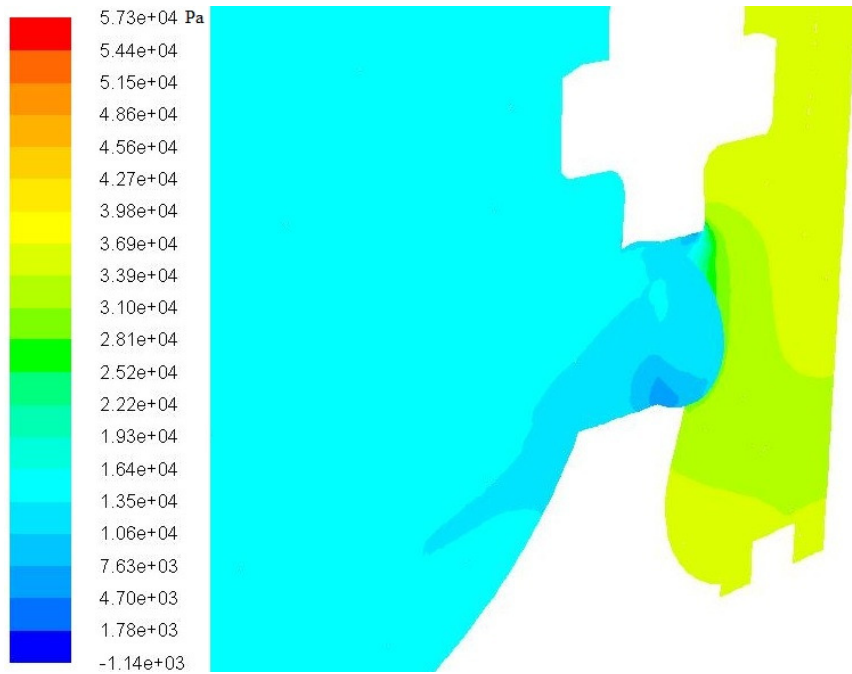
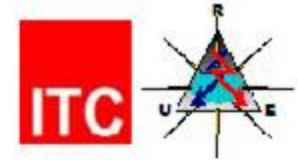
WYNIKI LICZBOWE



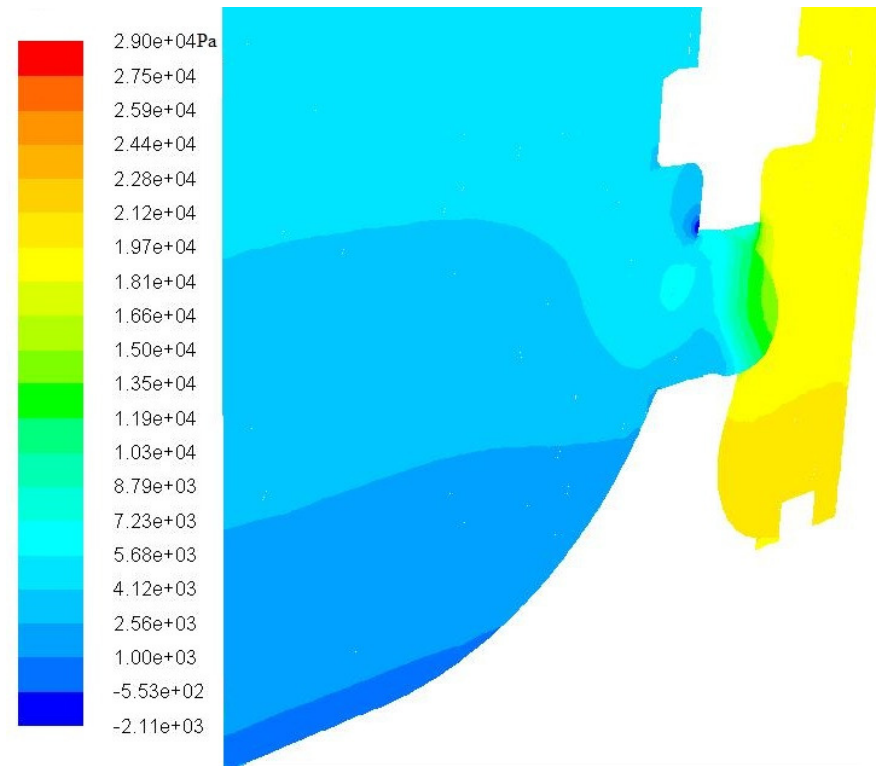
$\emptyset d$	u_o	błąd		dopływ
mm	m/s	k-ε	SST	D/O
20,1	4,32	8,10%	6,70%	D
20,5	8,64	3,30%	-	O
20,5	12,96	5,50%	-	O
20,5	17,23	4,10%	-	O
20,1	17,28	2,60%	7,70%	D



POLA CIŚNIEŃ SATYCZNYCH W OTWORACH



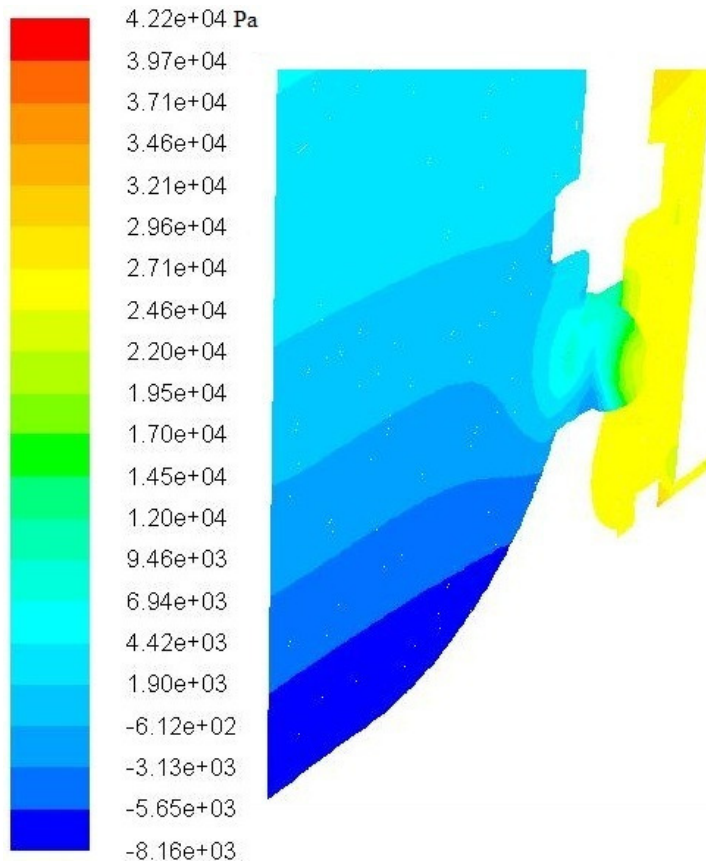
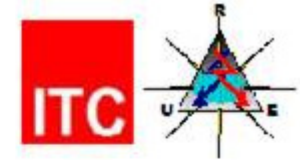
0 obr/min



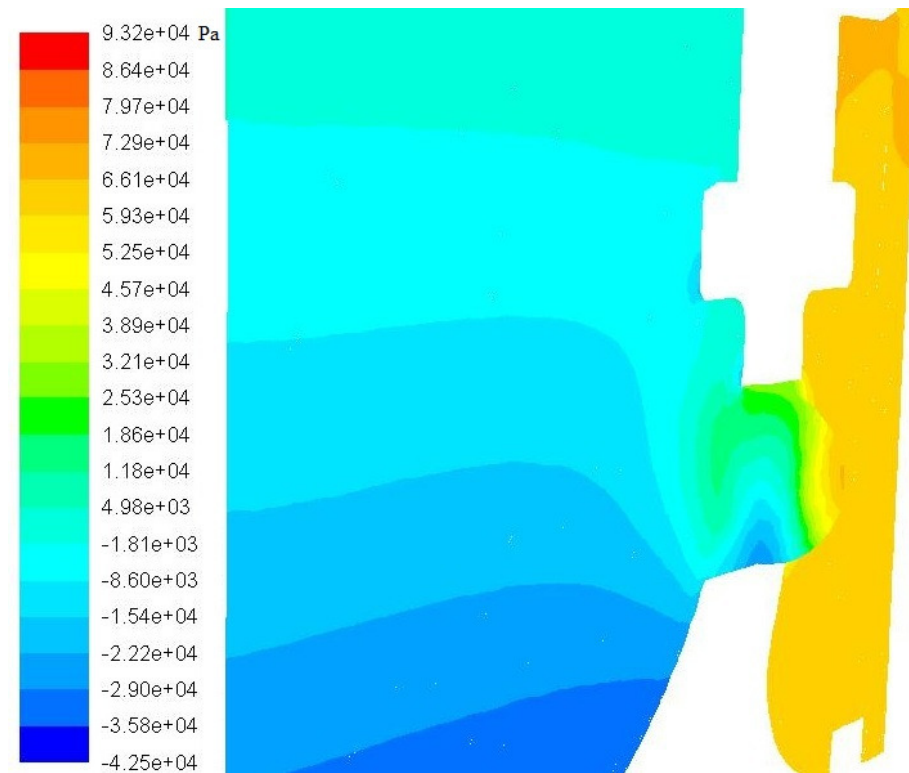
375 obr/min



POLA CIŚNIEŃ SATYCZNYCH W OTWORACH – cd.



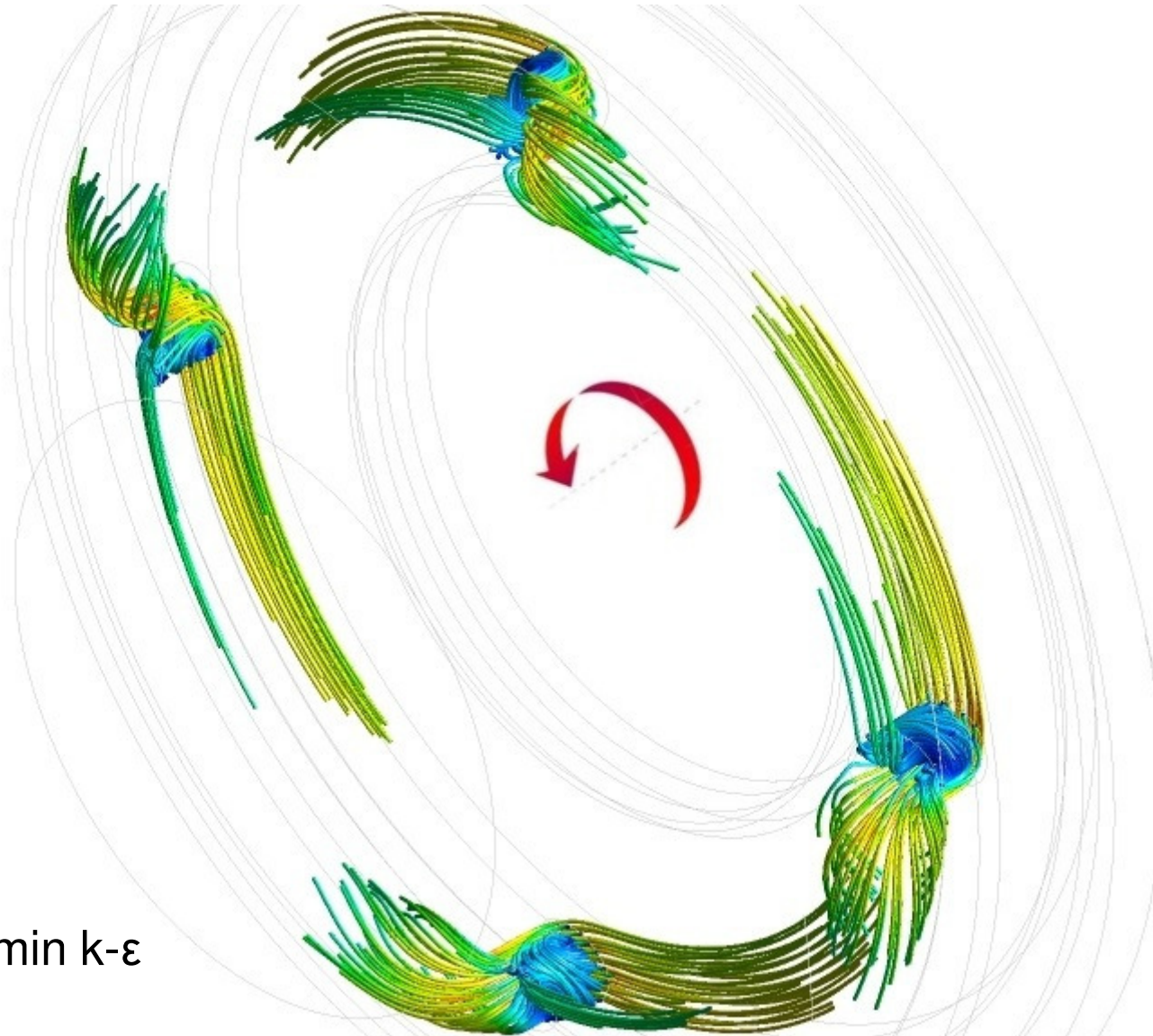
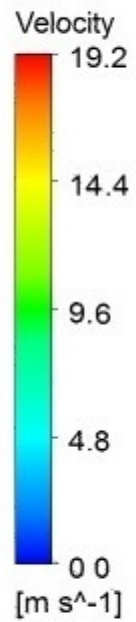
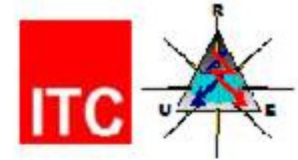
750 obr/min



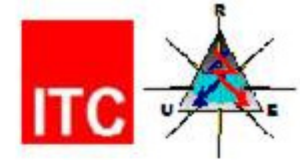
1500 obr/min



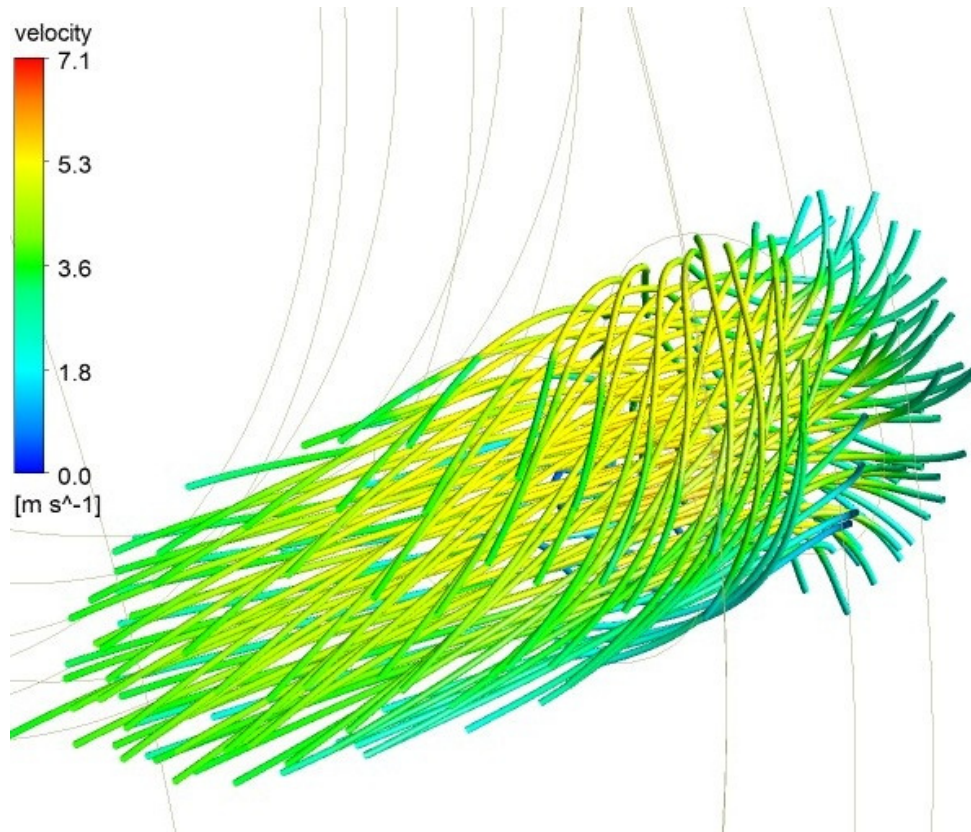
LINIE PRĄDU W OTWORACH



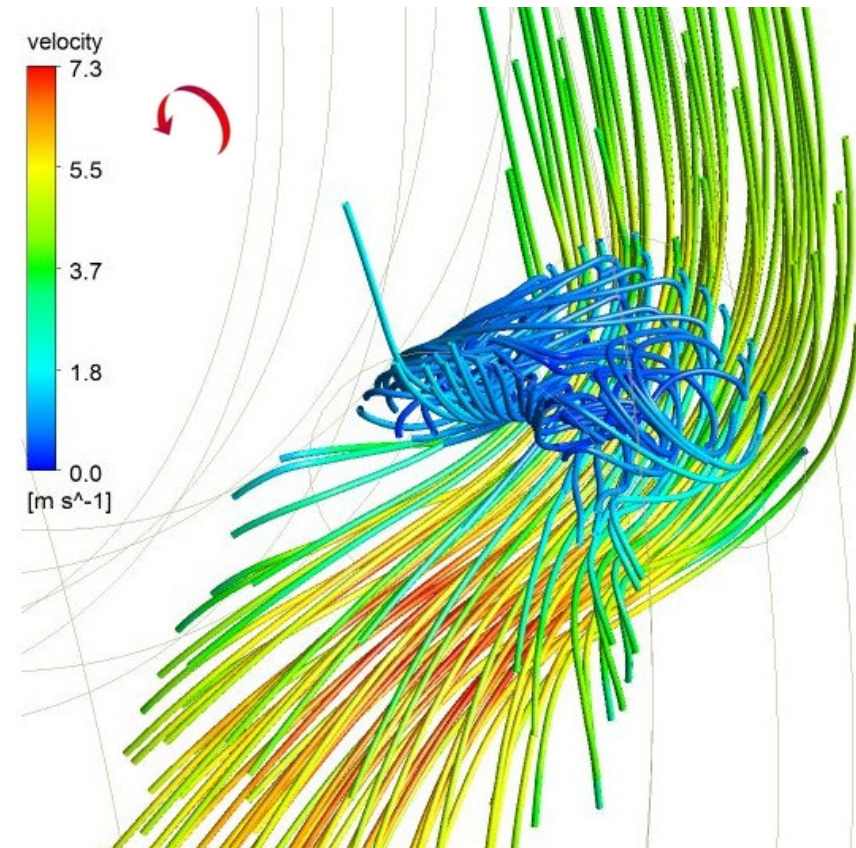
D - 1500 obr/min k-ε



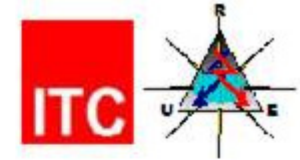
LINIE PRĄDU W OTWORACH cd.



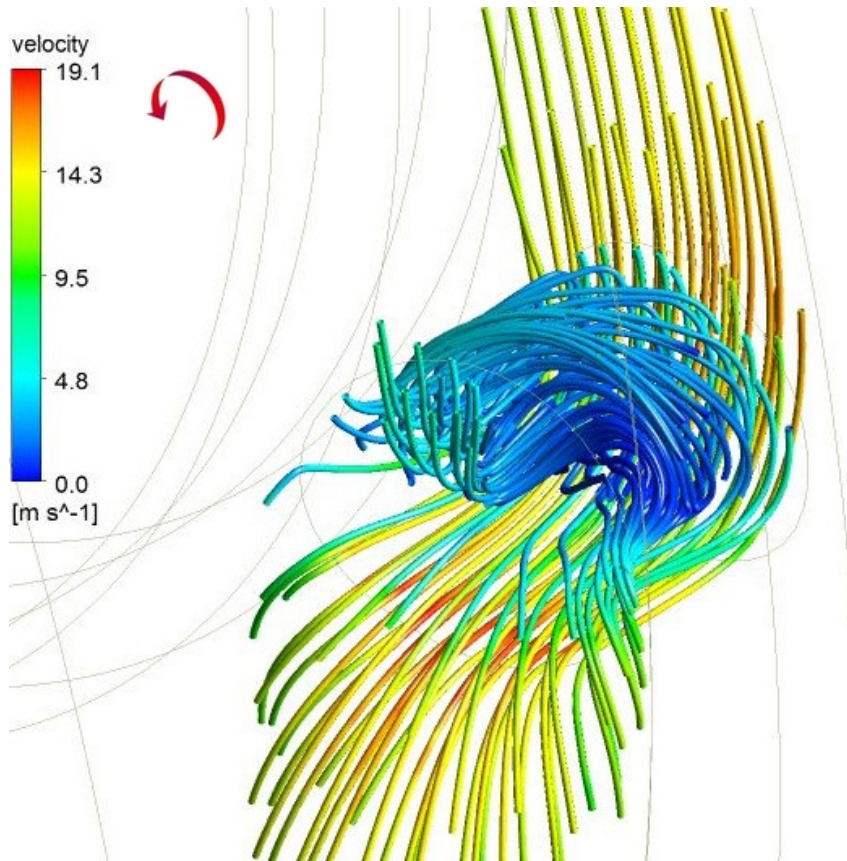
D - 0 obr/min



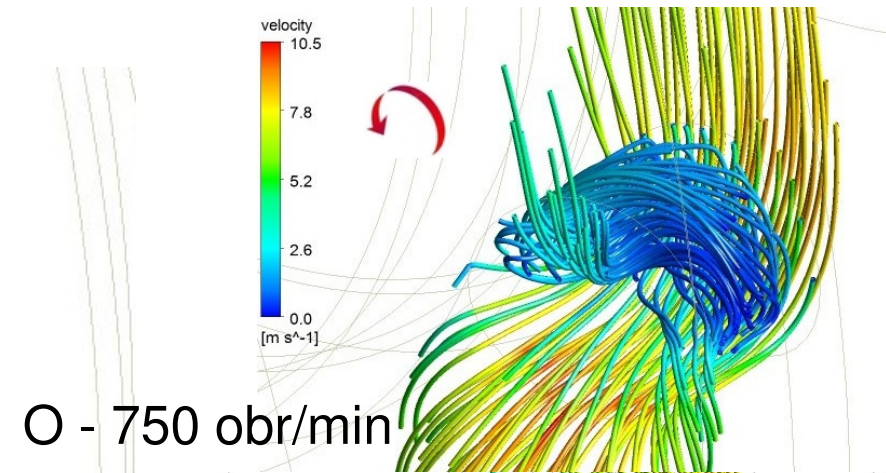
D - 375 obr/min



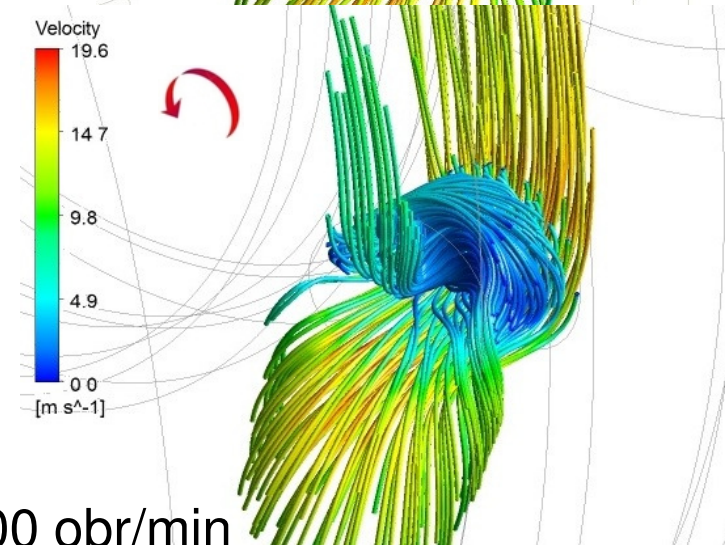
LINIE PRĄDU W OTWORACH cd.

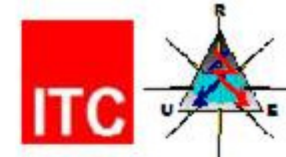


D - 1500 obr/min

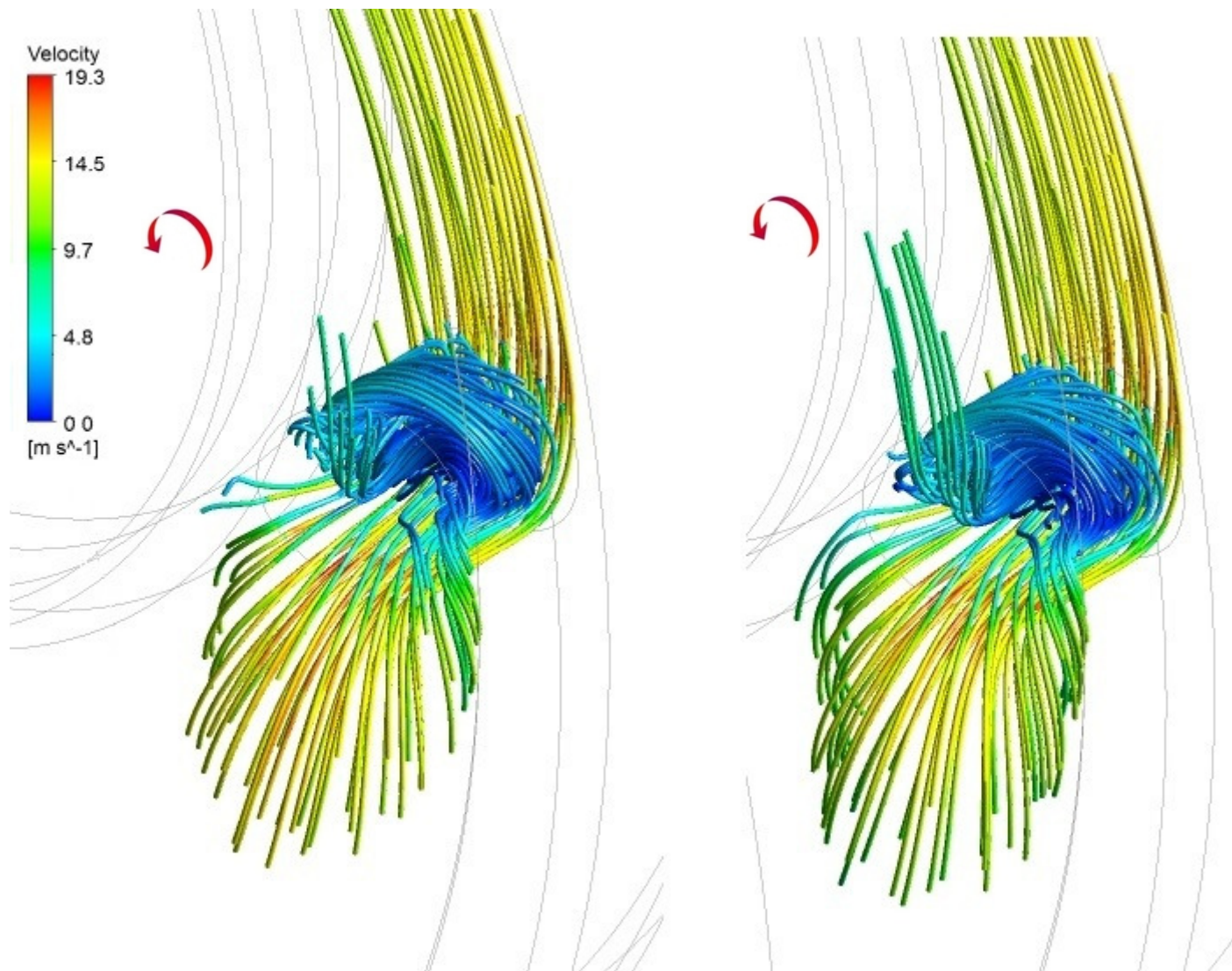


O - 750 obr/min





LINIE PRĄDU W OTWORACH cd.



D - 1500 obr/min SST

D - 1500 obr/min k-ε



WNIOSKI

- faktyczny przepływ przez otwór wirujący następuje **tylko w części jego objętości**, reszta przestrzeni otworu jest zajmowana przez powstające tam wiry
- objętość wiru w otworze **rozszerza się wraz z rosnącą prędkością** unoszenia otworu
- **powstałe wiry** zmniejszają przepływ przez otwór i w konsekwencji **pogarszają** one działanie **układu odciążającego** w pompie co jest zgodne z wynikami badań w pracy A. Wilka

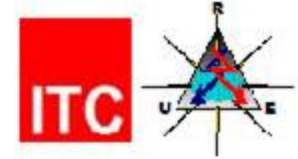


WNIOSKI – cd.

- wyniki liczbowe uzyskane dla sprawdzonych modeli turbulencji różnią się o **kilka punktów procentowych** natomiast **nie wpływają znacząco na strukturę przepływu** cieczy w otworze
- trudno znaleźć różnice w przepływie wody przez otwór wirujący z dopływem dośrodkowym i odśrodkowym
- **czas obliczeń** jednego przypadku wynosił średnio **130 godzin**, a moc obliczeniowa komputera wykorzystana do symulacji to 16 rdzeni procesora o taktowaniu 2.20 GHz oraz 48 GB pamięci RAM



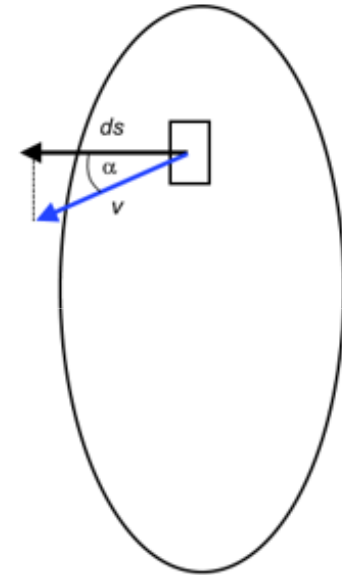
ENERGIA W PRZEKROJACH



$$\rho g H = \frac{\bar{P}}{\bar{v}} = \frac{1}{\bar{v}} \iint p v \cos(\alpha) ds + \frac{\rho}{2\bar{v}} \iint v^3 \cos(\alpha) ds + \rho g z$$

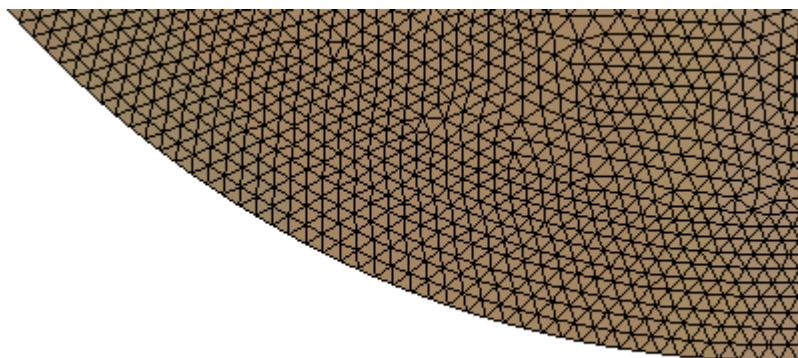
Biorąc pod uwagę, że $\bar{v} = \frac{1}{S} \iint v \cos(\alpha) ds$

gdzie $v \cos(\alpha)$ jest rzutem prędkości v na kierunek ds



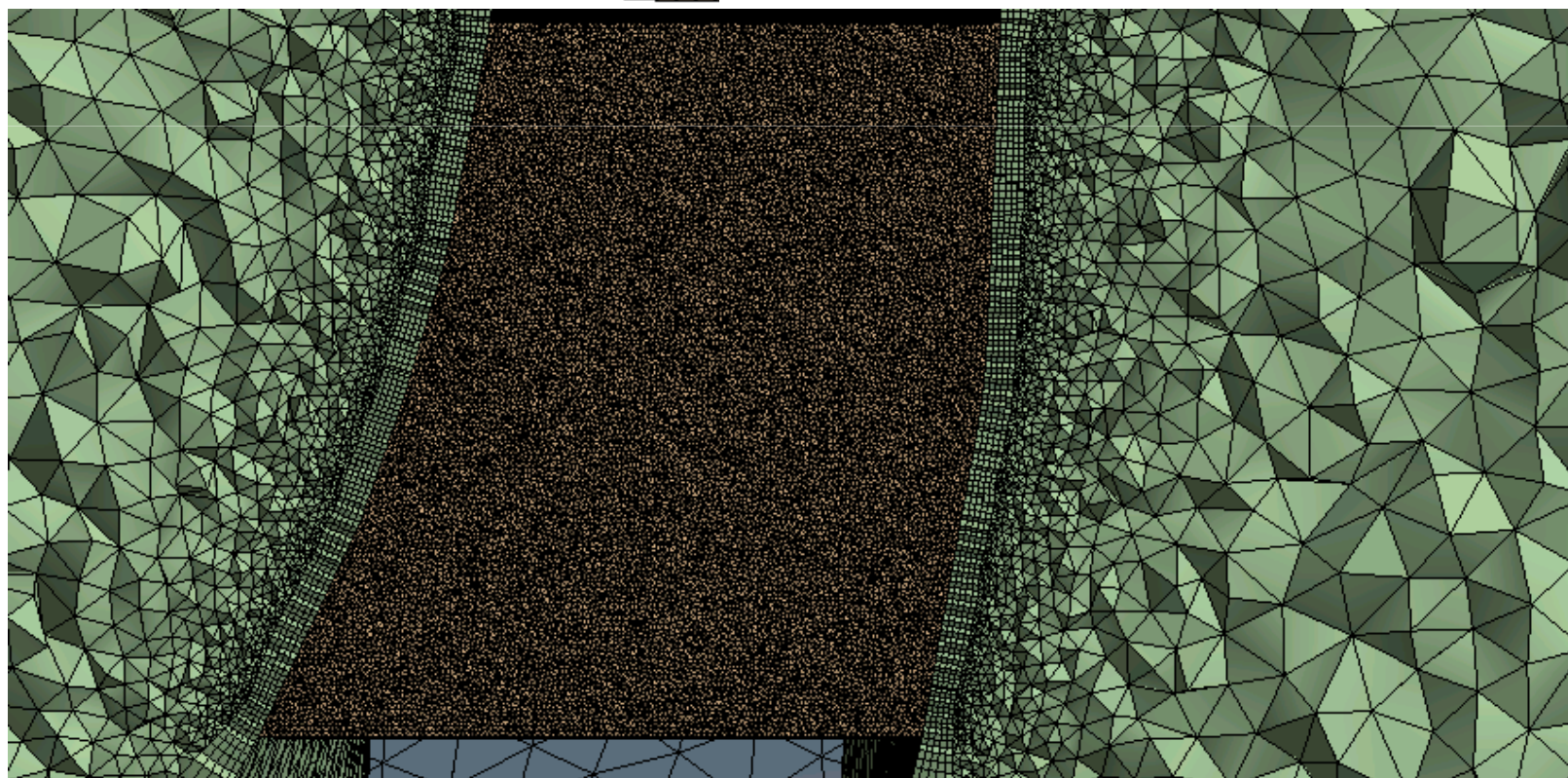


MODEL DYSKRETNY – ΔΕΝΕΓΡΙΙ



Liczba elementów: ~34 mln

Liczba węzłów: ~7 mln





WYNIKI LICZBOWE – siatka zagęszczona

$\Delta p_{[1]} = 87\ 136\ \text{Pa}$	
Δp_s [Pa]	błąd [%]
85 734	1,6
89 084	2,2
88 062	1,1
87 249	0,1
87 532	0,5

średnie wartości Δp_s i błędu:

D - 1500 - 20.1 - 16.1 k-e

s – wynik odczytany z symulacji
[1] – wartość wg badań doświadczalnych



ENERGIA W PRZEKROJACH - cd

Obliczone wartości energii na powierzchni* wlotowej oraz wylotowej otworów:

pr. unoszenia	wlot	wylot	$ \Delta E_{\text{energii}} $
$u = 0 \text{ m/s}$	38W	31,8W	6,2W
$u = 17,28 \text{ m/s}$	101W	424W	323W

*ilość podziałów na powierzchni wlotowej/wylotowej ~25 tys.

Wg doświadczenia A.Wilka dla $u = 17,28 \text{ m/s}$

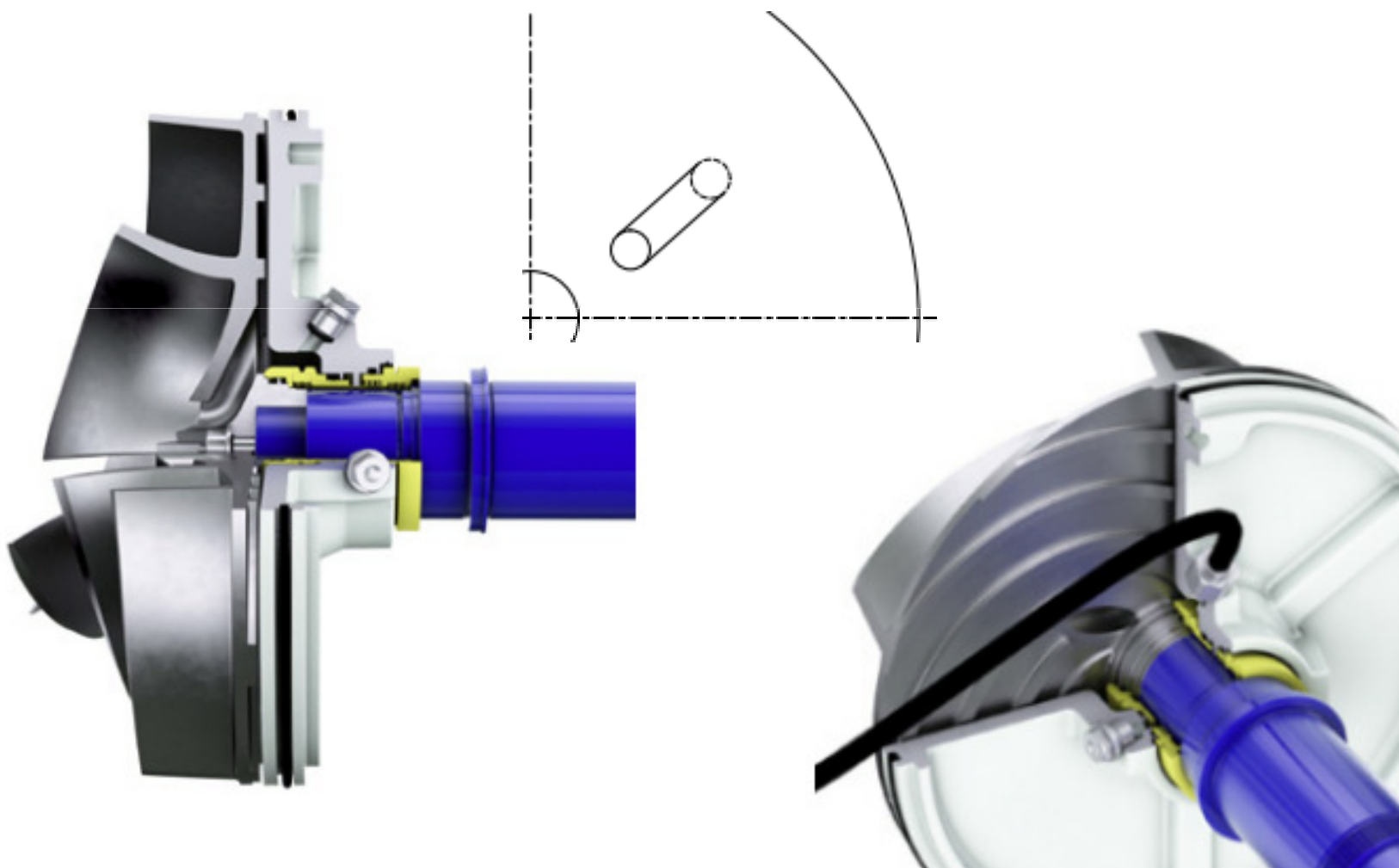
$$\Delta E = v_{\text{sr}} * A_o * \Delta p = 123,3 \text{ W} \quad \underline{\underline{323/123,3 = 2,62}}$$

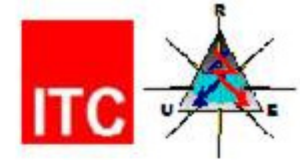


ROZWIĄZANIA PATENTOWE



Sulzer – typoszereg pomp SNS





PLANOWANE PRACE

- I. Porównanie sprawności odciążenia za pomocą otworów walcowych równoległych do osi wirnika oraz usytuowanych pod kątem do osi wirnika

- II. Próba uchwycenia zależności $f(\varnothing) = \Delta Y - Q_{str}$
gdzie ΔY – zmiana energii płynu
 Q_{str} – wartość przecieku

- III. Wpływ geometrii otworów na zdolności ssawne pompy
– badania laboratoryjne



Dziękuję za uwagę