

Rurowa turbina Kaplana o wysokim wyróżniku szybkoobrotowości przeznaczona do pracy pod najniższymi spadami

Zbigniew Krzemianowski*, Janusz Steller*, Maciej Kaniecki*/**

***) Instytut Maszyn Przepływowych w Gdańsku**

Polskiej Akademii Nauk

ul. Fiszer 14, 80-231 Gdańsk



*****) T-G Dnalop Sp. z o.o.**

ul. Przemysłowa 11, 76-200 Redzikowo k/Słupska

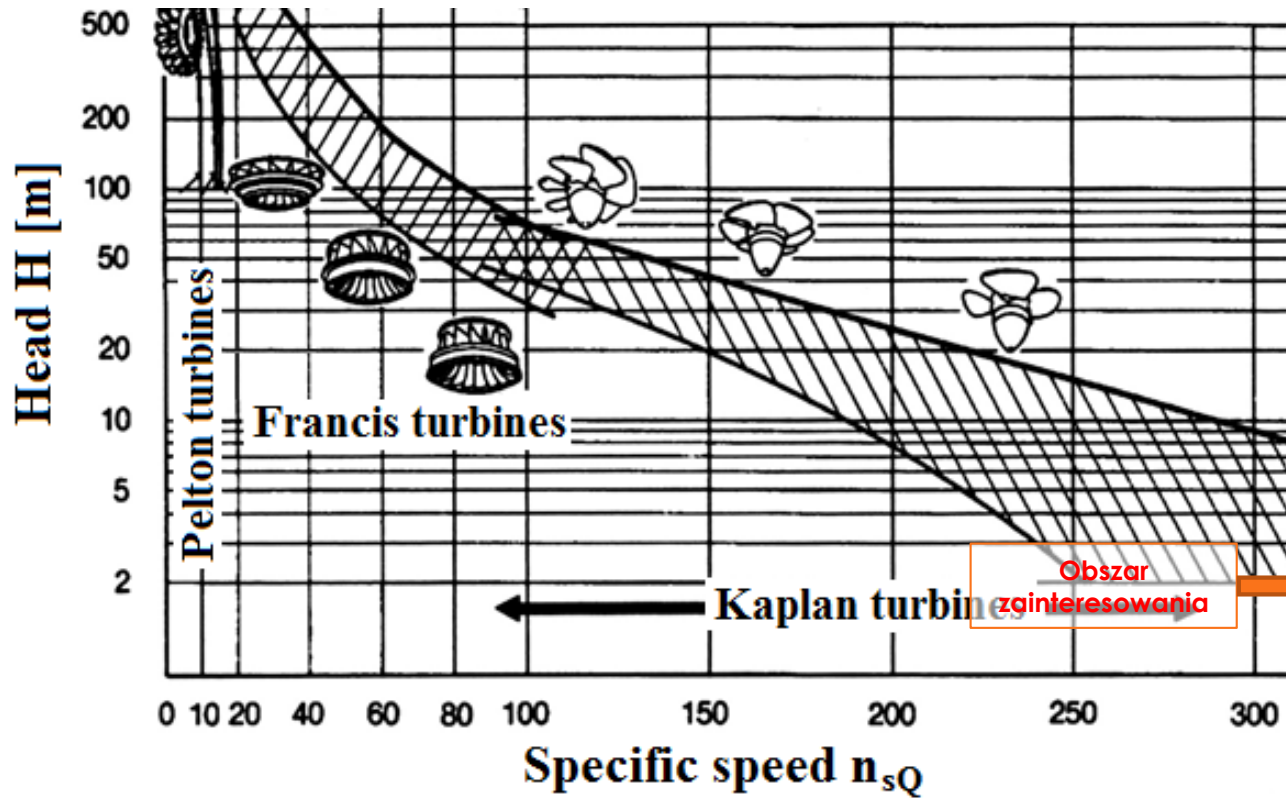


Diagram stosowności turbin wodnych –
Wysokość spadu vs. kin. wyróżnik szybkobieżności
(źródło: VOITH)

Obszar zainteresowania:

- Wysokości spadu: od 1.5 do 3 m
- Wyróżniki szybkobieżności: od 220 do 280

Kinematyczny wyróżnik szybkobieżności

$$n_{sQ} = \frac{n Q^{0.5}}{H^{0.75}}$$

gdzie:

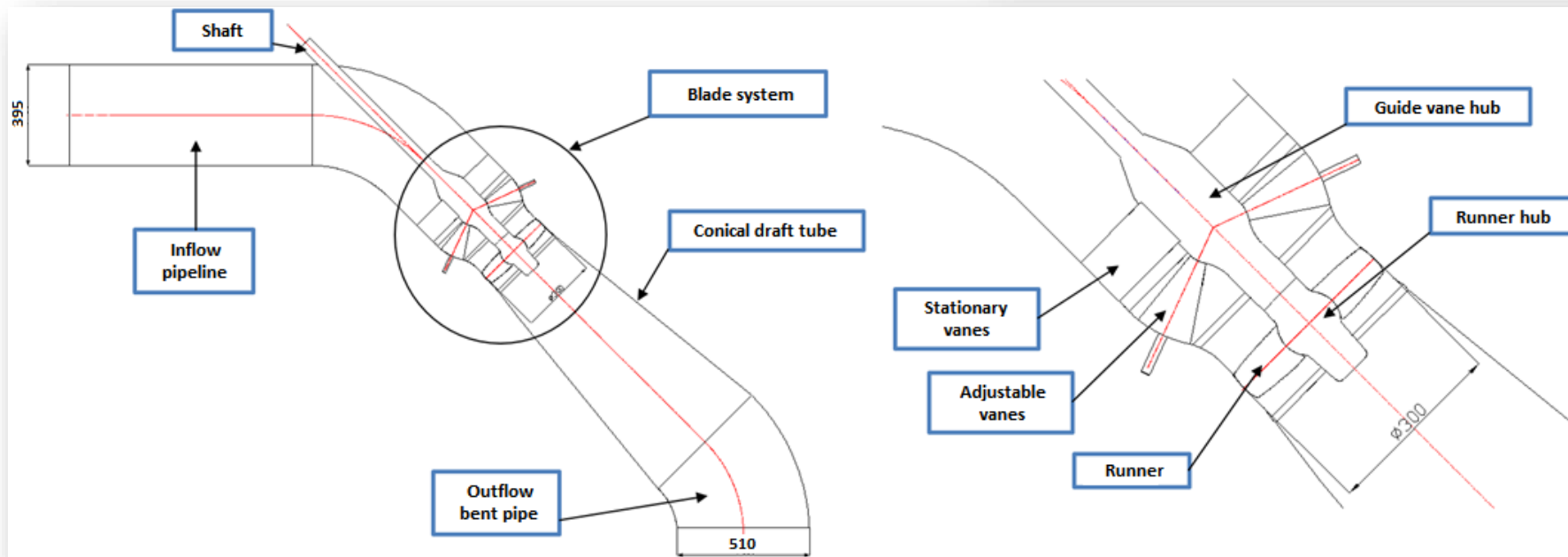
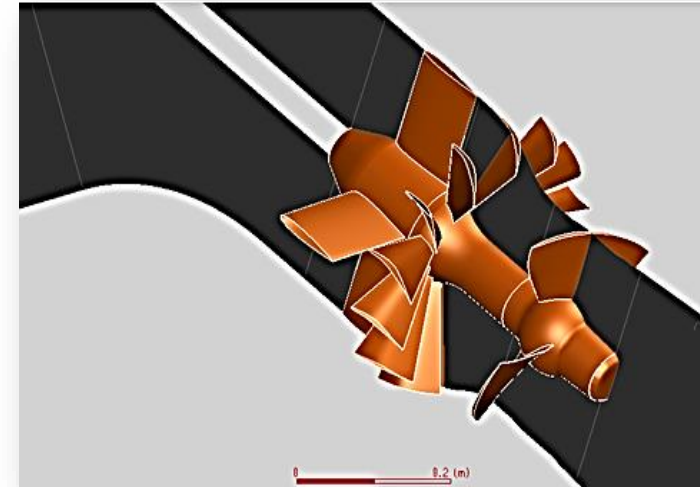
n – optymalna szybkość obrotowa [obr/min]

Q – optymalne objętościowe natężenie przepływu [m³/s]

H – wysokość spadu [m]

Główne parametry geometryczne i ruchowe:

- ✓ Średnica wirnika: $D = \varnothing 300 \text{ mm}$
- ✓ Średnica wlotowa rury: $\sim \varnothing 400 \text{ mm}$
- ✓ Kąt rozwarcia rury ssącej: 11°
- ✓ Liczba łopatek stacjonarnych: 4
- ✓ Liczba łopatek kierowniczych: 14
- ✓ Liczba łopatek wirnikowych: 3
- ✓ Kinematyczny wyróżnik szybkobieżności: $n_{sQ} = \sim 240$



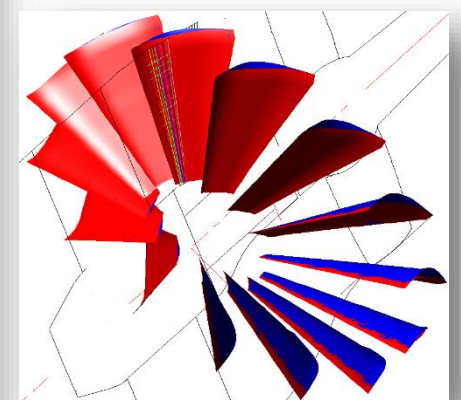
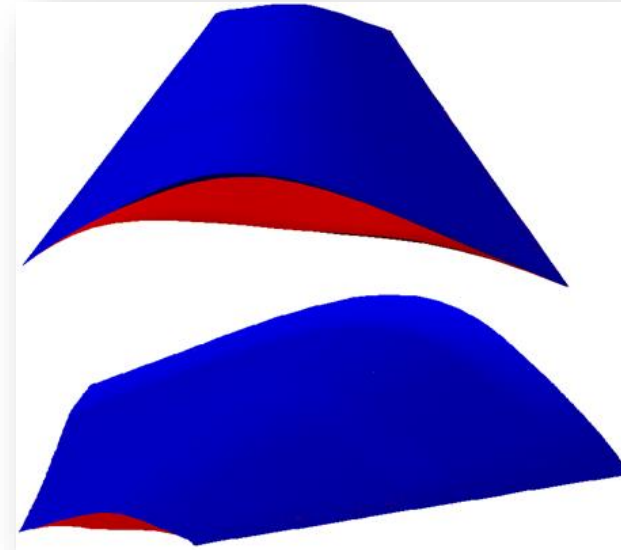
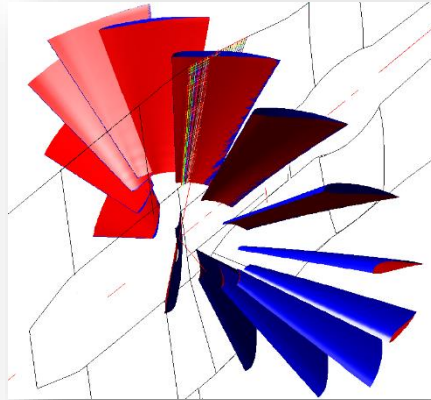
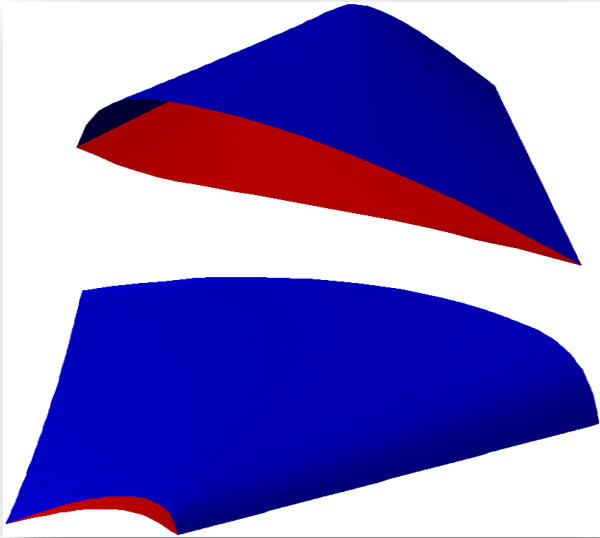
Rurowa turbina Kaplana o wysokim wyróżniku szybkobieżności

Łopátka kierownicza (2 kształty) projektowane jako zadanie odwrotne

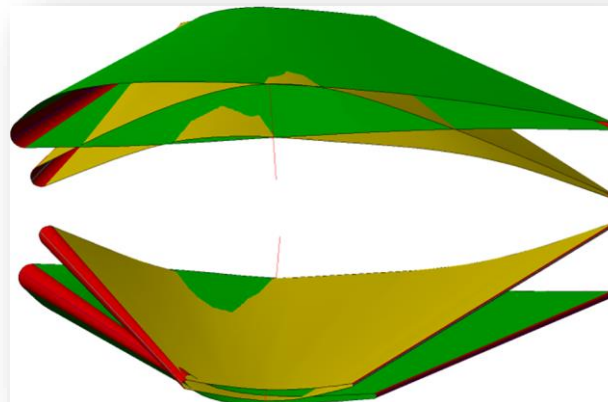
5

Łopátka kierownicza o kształcie klasycznym
(obłożenie materiałem: Goettingen 428)

Łopátka kierownicza o kształcie nieklasycznym
(obłożenie materiałem: własna procedura)



Porównanie obydwu łopatek
(kształt klasyczny – zielona,
kształt nieklasyczny – żółta)



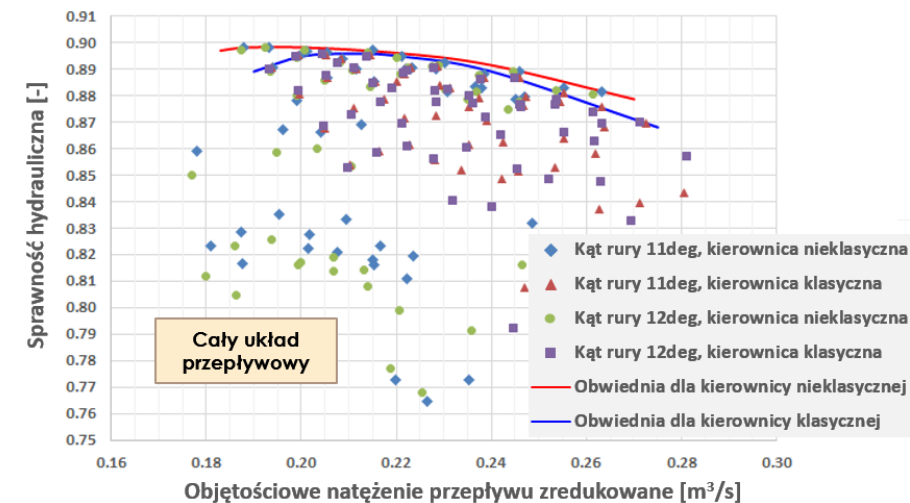
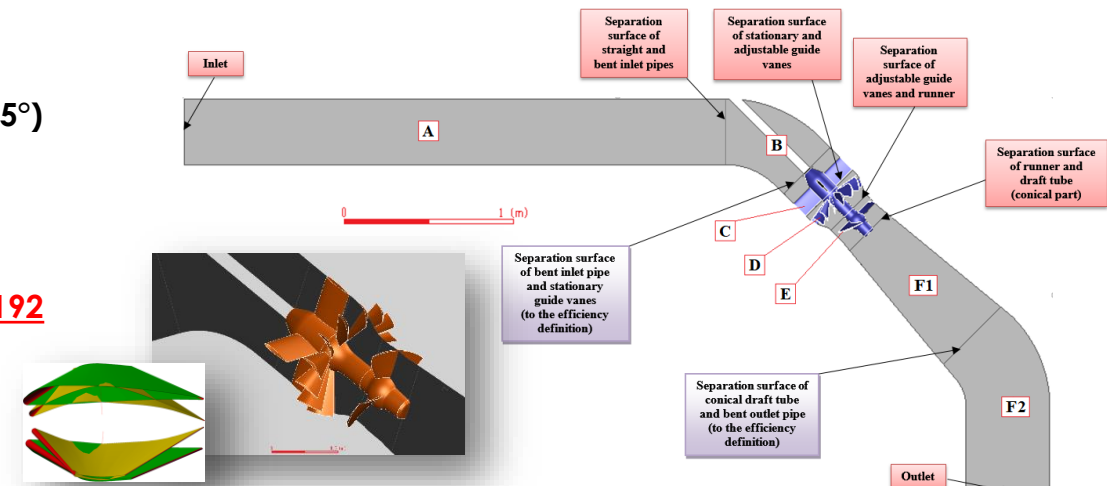
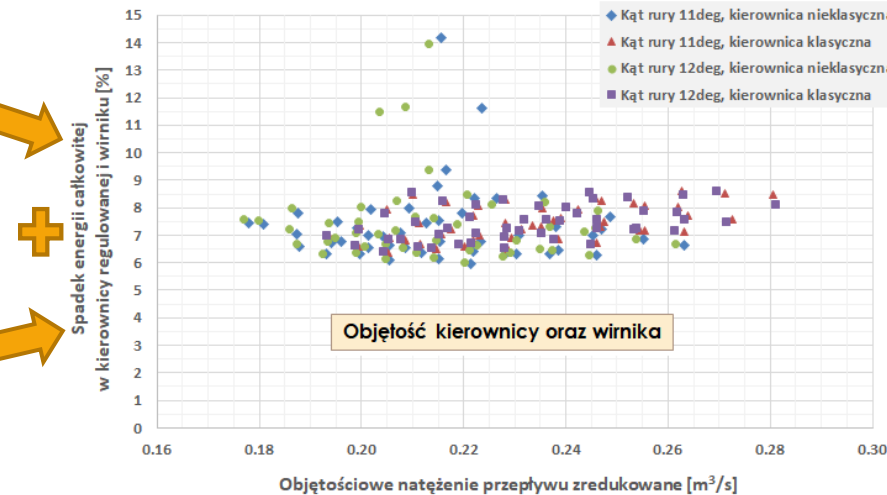
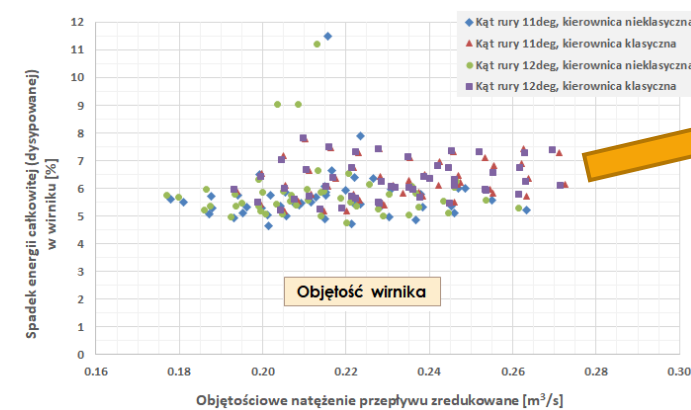
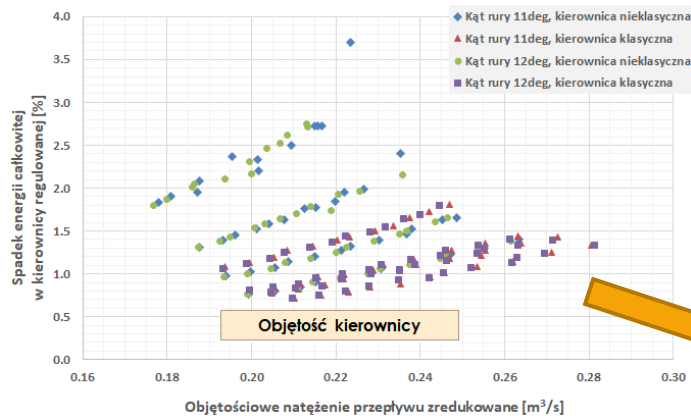
Rurowa turbina Kaplana o wysokim wyróżniku szybkobieżności

Obliczenia strát hydraulicznych w przepływie z użyciem CFD

Modyfikacje parametrów geometrycznych i kinematycznych

- 4 warianty otwarcia kierownicy klasycznej (kąty otwarcia: 50°, 55°, 60°, 65°)
- oraz 4 warianty otwarcia kierownicy nieklasycznej (kąty otwarcia: 50°, 55°, 60°, 65°)
- 4 warianty otwarcia wirnika (kąty otwarcia: 14°, 16°, 18°, 20°)
- 2 warianty rozwarcia rury ssącej (kąty otwarcia: 11°, 12°)
- 3 warianty szybkości obrotowej (750, 790, 830 obr/min)

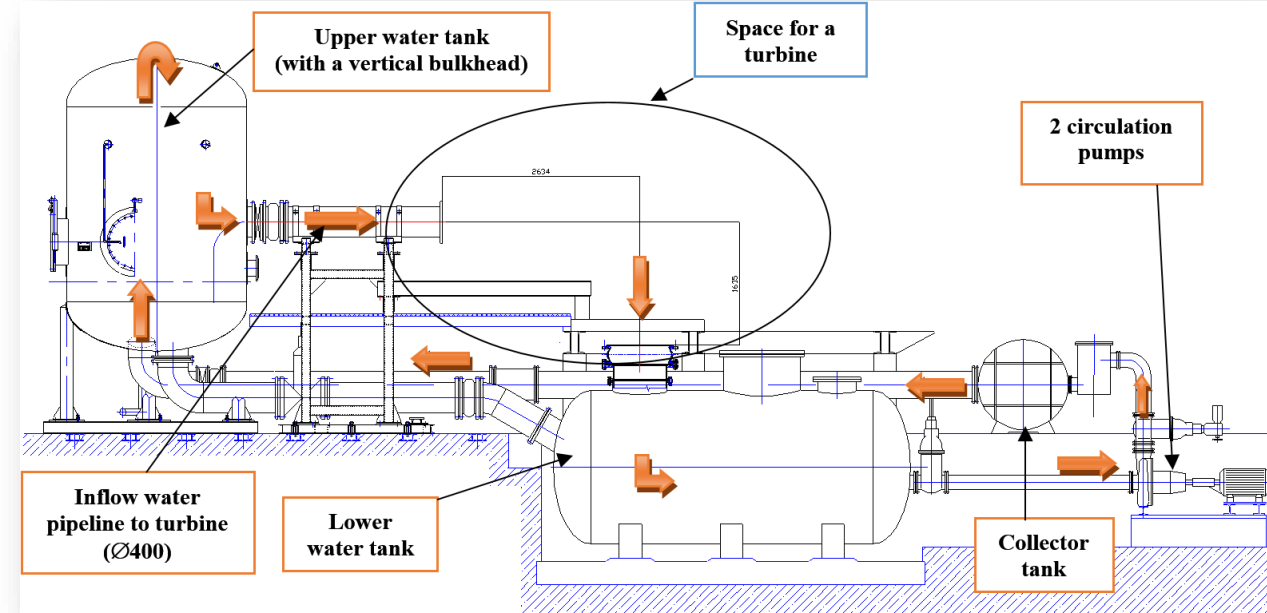
Całkowita liczba kombinacji zmian (liczba punktów obliczeniowych): $(4+4)*4*2*3 = 192$



Rurowa turbina Kaplana o wysokim wyróżniku szybkobieżności

Badania eksperymentalne na stanowisku w IMP PAN

7

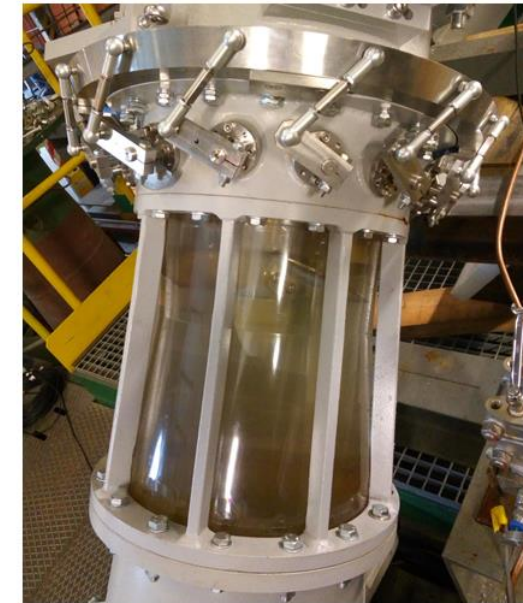


Założona wielkość w badaniach laboratoryjnych:

- ✓ Spad: 1.5 m

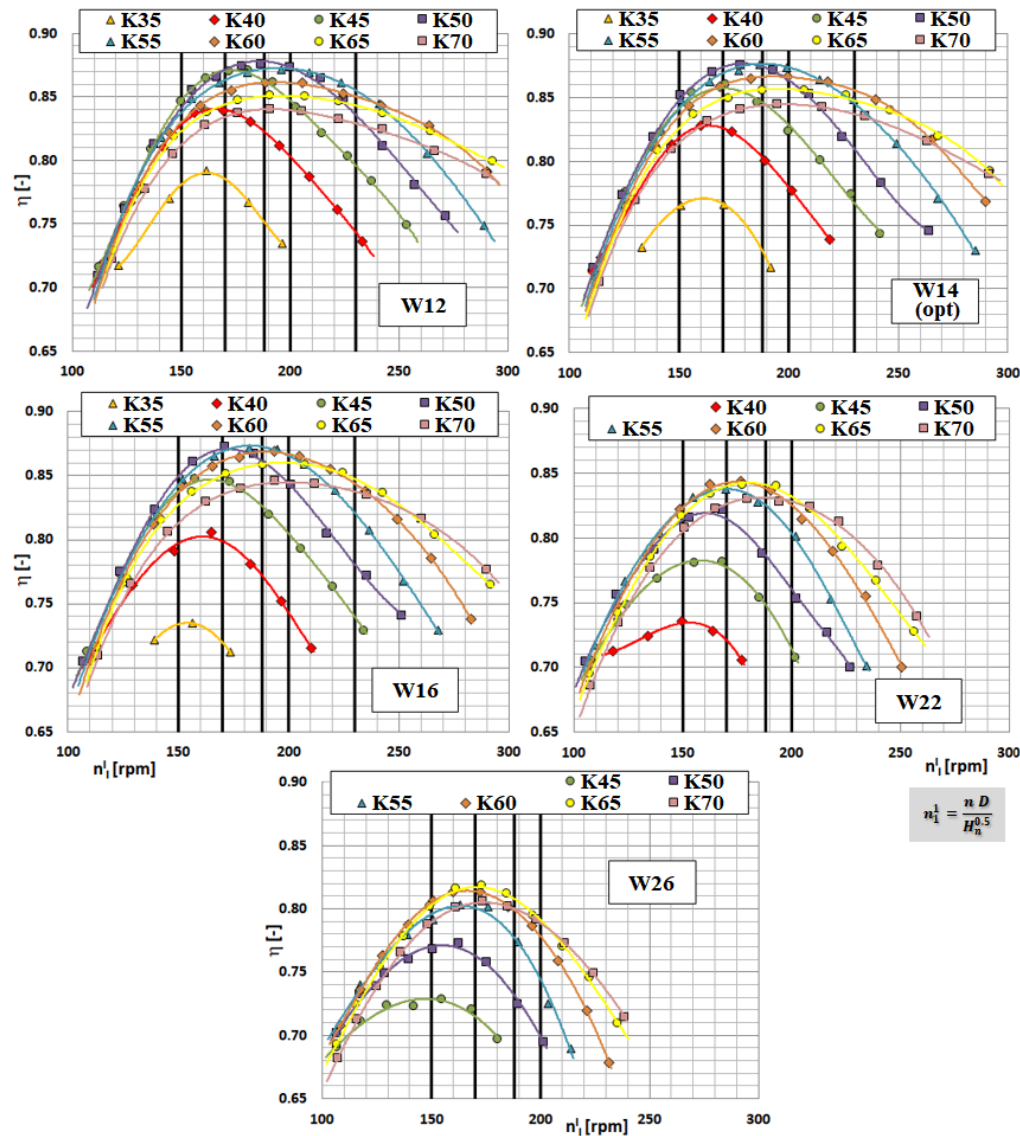
Podstawowe parametry kinematyczne i energetyczne wyznaczone w badaniach laboratoryjnych:

- ✓ Maksymalna moc 3.7 kW
- ✓ Maksymalna sprawność: 87.73%
- ✓ Kinematyczny wyróżnik szybkobieżności: ~240
- ✓ Optymalny kąt otwarcia kierownicy: 55°
- ✓ Optymalny kąt otwarcia wirnika: 14°
- ✓ Optymalna szybkość obrotowa: 760 obr/min ($n_1^1 = 188$ obr/min)
- ✓ Optymalne objętościowe natężenie przepływu: 0.178 m³/s (max.: ~0.35 m³/s; $Q_1^1 = 1.641$ m³/s)

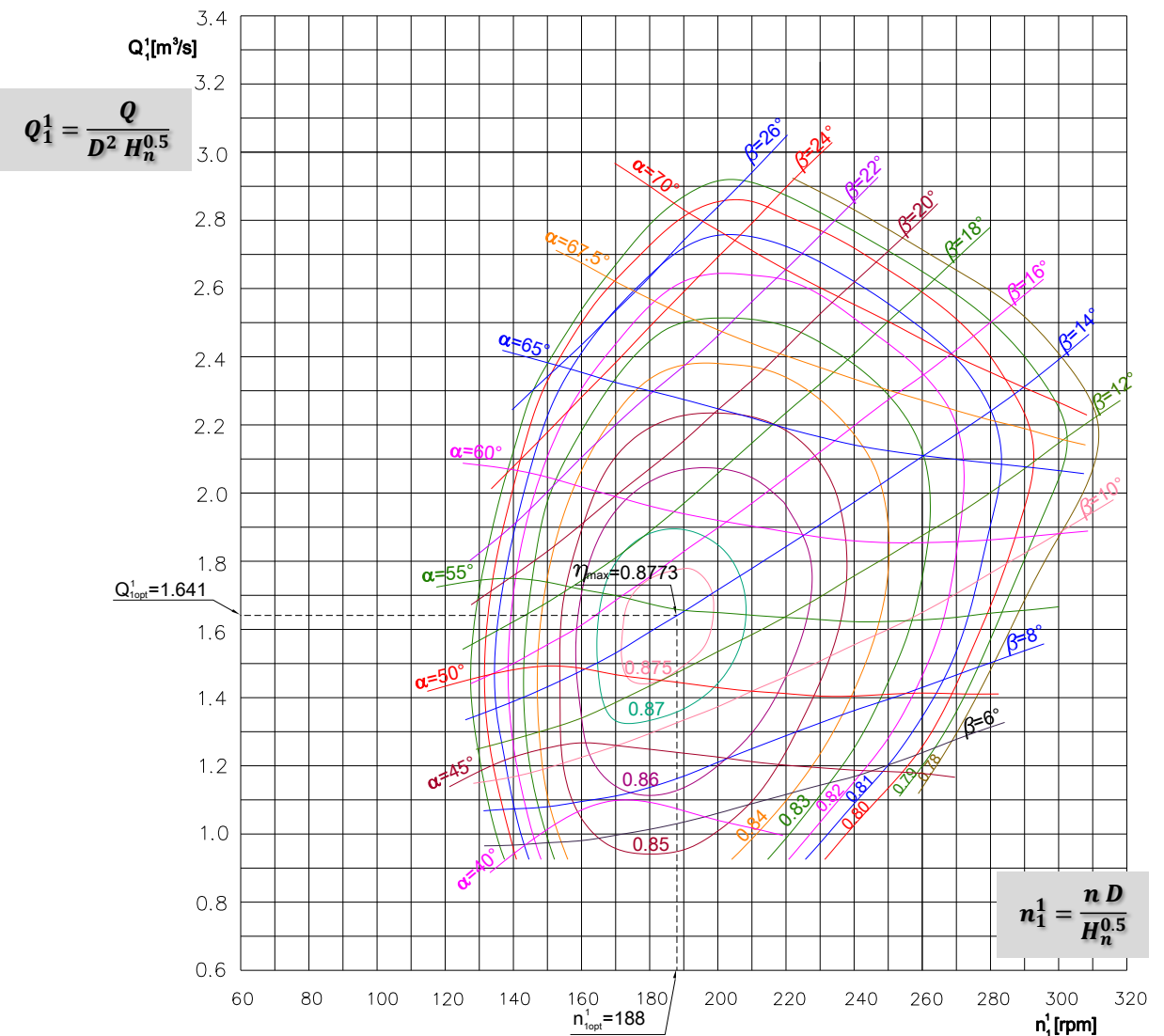


Rurowa turbina Kaplana o wysokim wyróżniku szybkobieżności

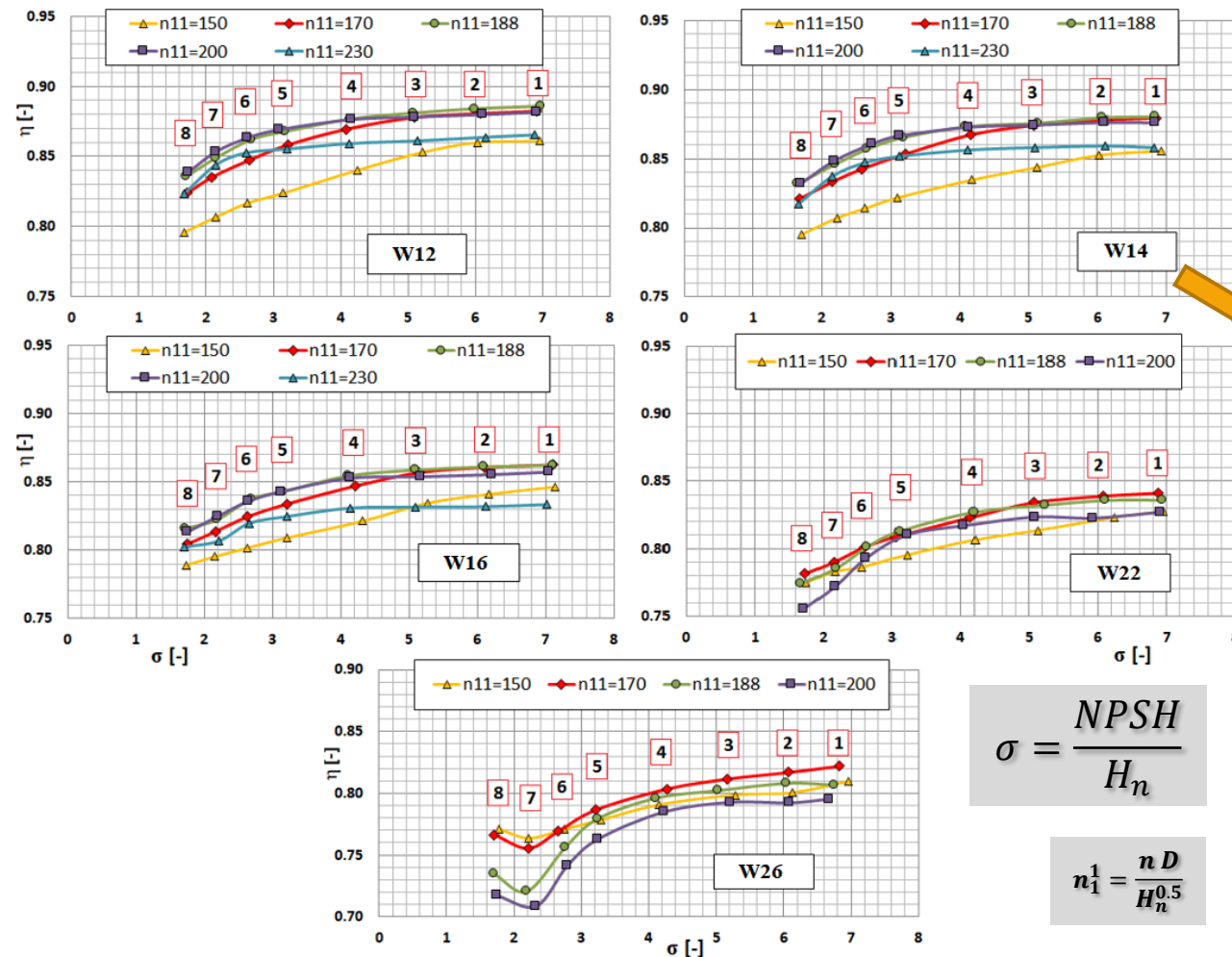
Badania podstawowe



Sprawność (η) vs. podwójnie zredukowana szybkość obrotowa (n_1) dla różnych otwarć kierownicy (K) i wirnika (W)

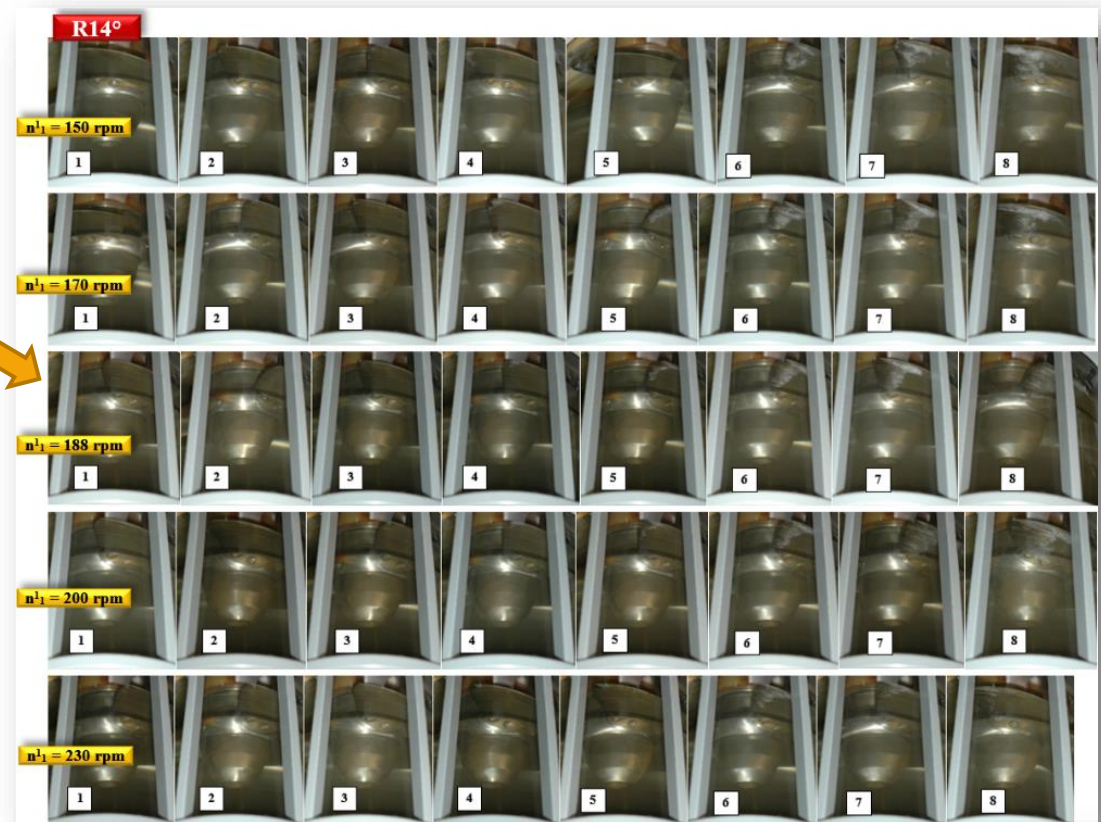


Charakterystyka muszlowa – sprawność (η) vs. podwójnie zredukowana szybkość obrotowa (n_1) i podwójnie zredukowane natężenie przepływu (Q_1)

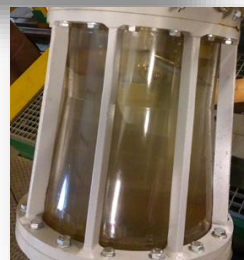


$$\sigma = \frac{NPSH}{H_n}$$

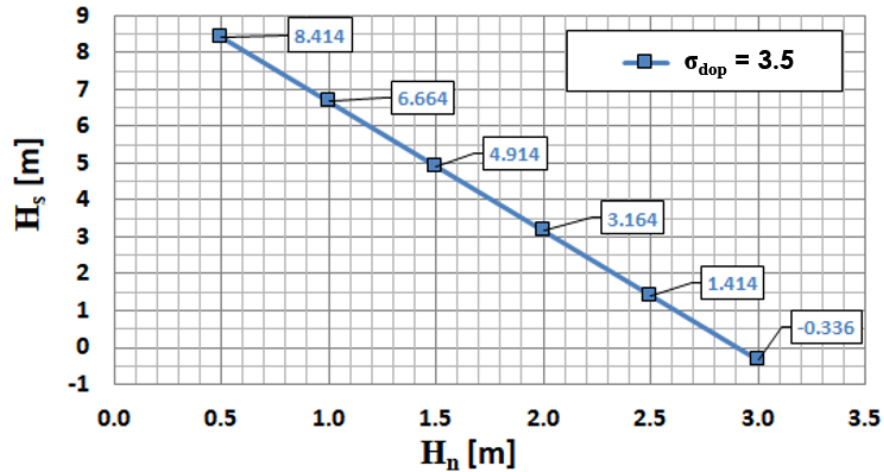
$$n_1 = \frac{n D}{H_n^{0.5}}$$



Wizualizacja dla optymalnego kąta otwarcia wirnika: 14° (R14)



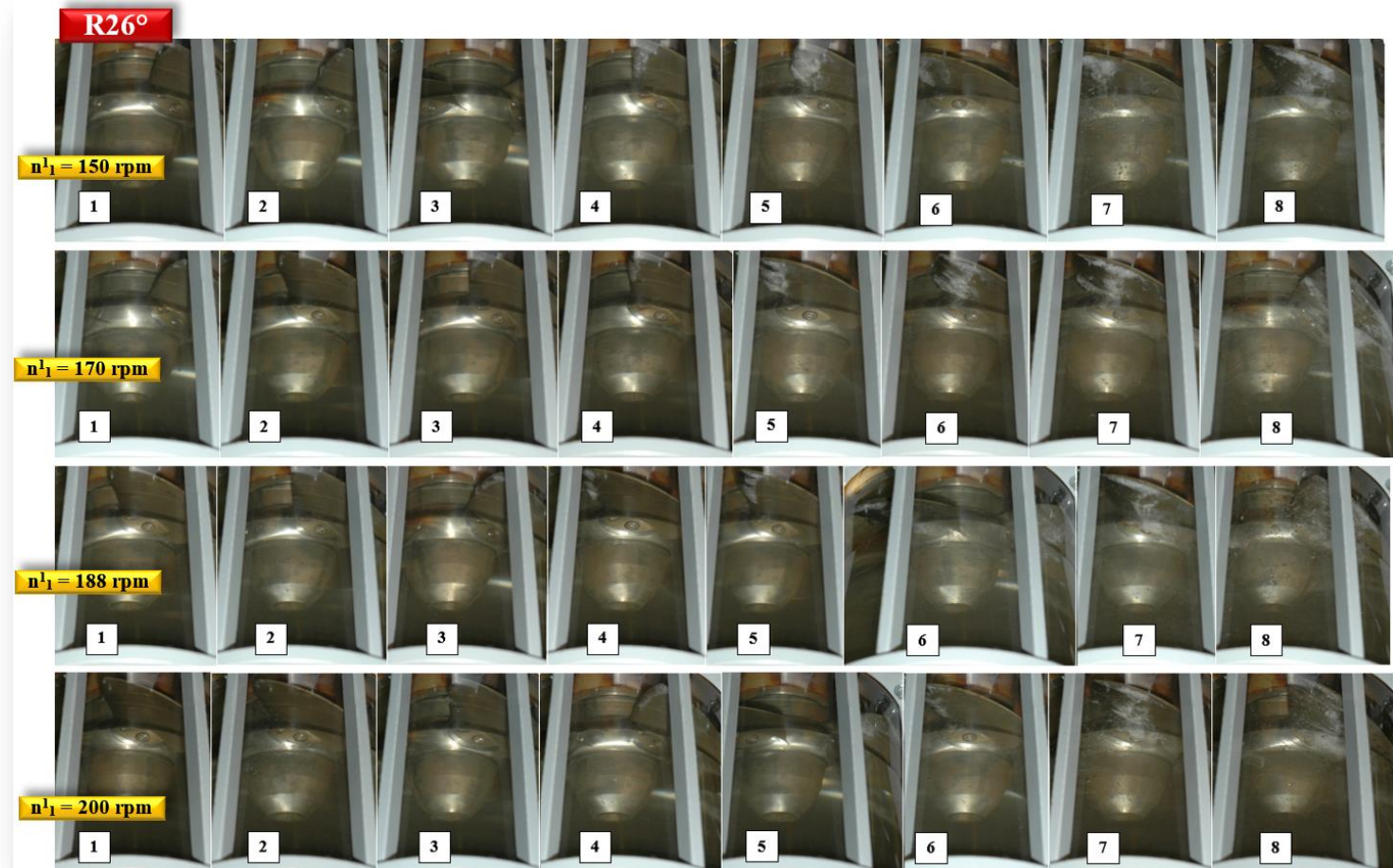
Sprawność (η) vs. liczba kawitacyjna dla różnych szybkości obrotowych (n_1) i różnych otwarć wirnika (W)



Wysokość ssania vs. spadek netto dla dopuszczalnej liczby kawitacyjnej $\sigma_{dop} = 3.5$

$$H_s = \frac{(p_a - p_v)}{\rho g} - \overbrace{\sigma_{dop}}^{\text{z badań}} H_n$$

gdzie: H_n – spadek netto, p_a – ciśnienie otoczenia na wylocie z hydrozespołu (ciśnienie atmosferyczne), p_v – ciśnienie parowania wody, σ_{dop} – dopuszczalna liczba kawitacyjna, ρ – gęstość, g – przyspieszenie ziemskie.



Wizualizacja dla optymalnego kąta otwarcia wirnika: 26° (R26)

1. Uzyskana sprawność turbiny wyniosła blisko 88% przy wysokim wyróżniku szybkobieżności ~ 240 . Biorąc pod uwagę efekt skali sprawność turbiny powinna przekraczać znacząco 90%. Charakterystyka muszlowa jest wypłaszczona w prawym górnym kwadrancie, a więc w obszarze wysokich natężeń przepływu i szybkości obrotowych przy niskiej dynamice drgań. Obszar ten jest szczególnie atrakcyjny pod kątem doboru ze względu na minimalizację rozmiarów turbiny.
2. Zmiana kąta rozwarcia stożka rury ssącej nie wpłynęła na zmianę sprawności. Wydaje się, że wartości przyjęte w obliczeniach 11° i 12° (powszechnie zalecany zakres to 10° - 16°) są optymalne dla zaprezentowanej niskospadowej turbiny wodnej Kaplana z punktu widzenia sprawności (w tym przypadku zastosowano kąt 11°).
3. Badania kawitacyjne wskazują, że proponowana konstrukcja jest odporna na kawitację w szerokim obszarze regulacji swojej pracy, pomimo realizacji większych przepływów (większe prędkości) w porównaniu z klasycznymi turbinami.
4. Proponowana konstrukcja wydaje się być dobrą propozycją dla małych elektrowni wodnych. Łączy wysoką sprawność z maksymalizacją mocy, zmniejszając w ten sposób koszty instalacji, umożliwiając eliminację przekładni i pozwalając na redukcję liczby par biegunów generatora.