



**System
Elektroenergetyczny:
Bezpieczeństwo
Operacyjne i Rynkowe**

Techniczne aspekty wdrażania w regulatorach turbin wodnych wymagań Kodeksu Sieciowego RfG w zakresie zdolności do utrzymania częstotliwości

Michał Porzeziński, Maciej Jańczuk



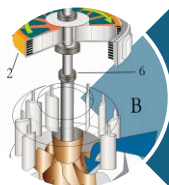
**Instytut
Energetyki**
Oddział Gdańsk

Kazimierz Dolny, 17–19 marca 2026 r.

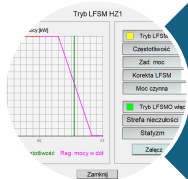
Plan prezentacji



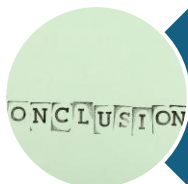
Wymagania NC RfG dla modułów wytwarzania w zakresie zdolności do utrzymania częstotliwości



Właściwości toru sterowania mocą czynną na przykładzie wybranych hydrozespołów



Przykład sposobu realizacji regulatora mocy czynnej spełniającego wymagania NC RfG



Podsumowanie

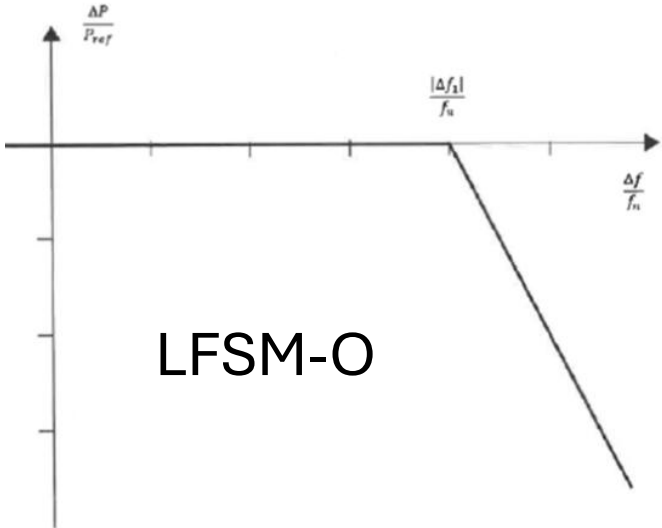
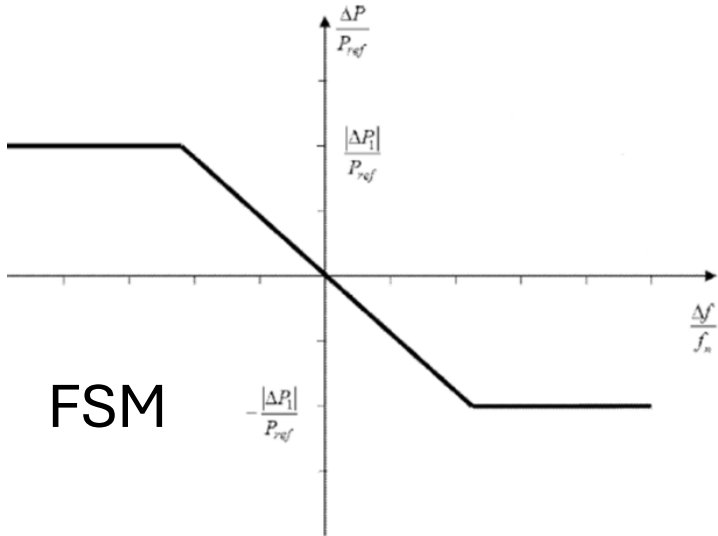
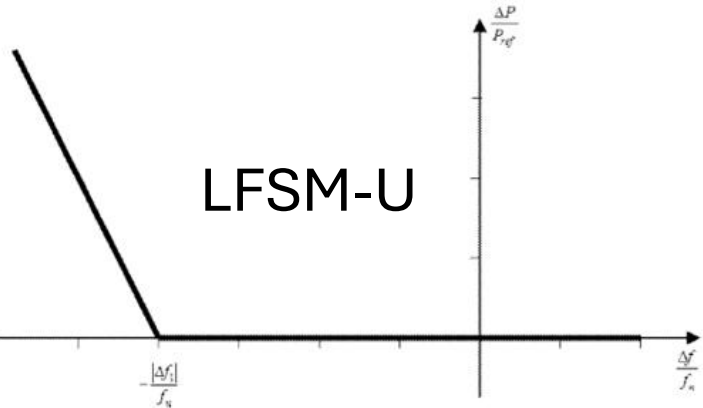
Wymagania NC RfG



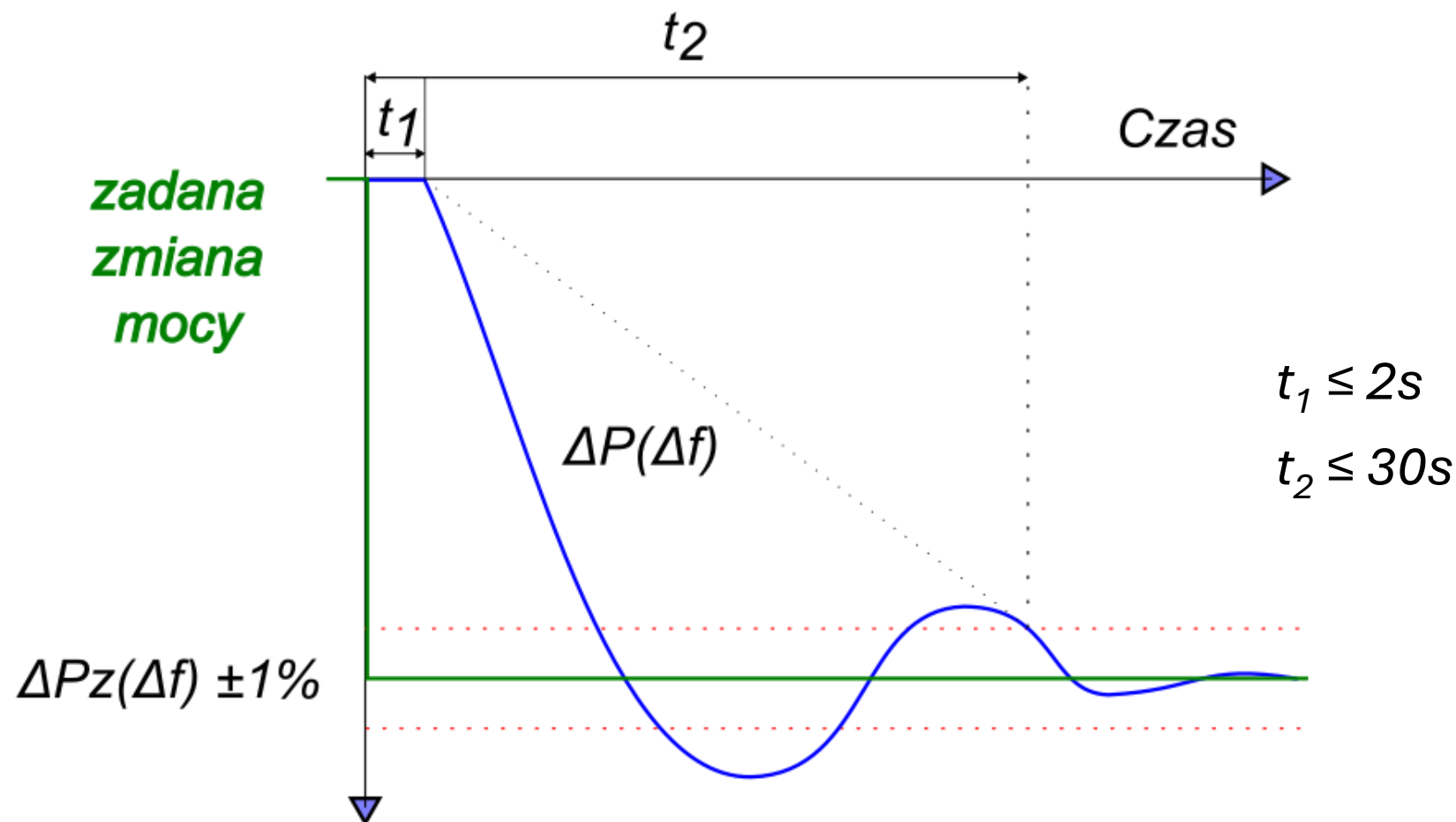
Moc	Typ
do 0,2 MW	A
do 10 MW	B
do 75 MW	C
powyżej 75 MW	D

Tryb		A	B	C	D
LFSM-O		X	X	X	X
LFSM-U				X	X
FSM				X	X

$$s[\%] = 100 \cdot \frac{|\Delta f| - |\Delta f_1|}{f_n} \cdot \frac{P_{ref}}{\Delta P}$$



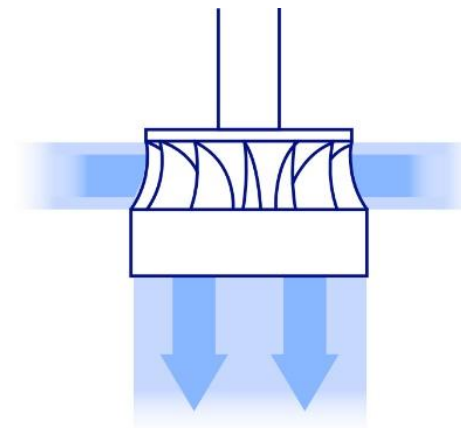
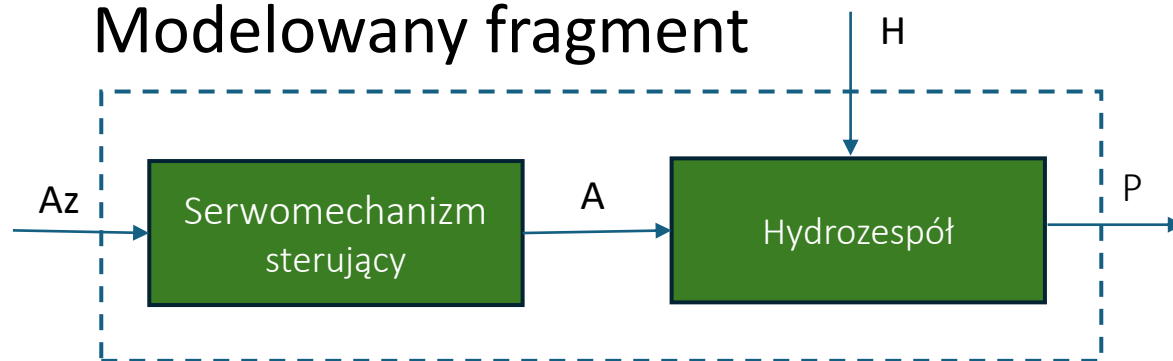
Wymagania dotyczące czasu odpowiedzi



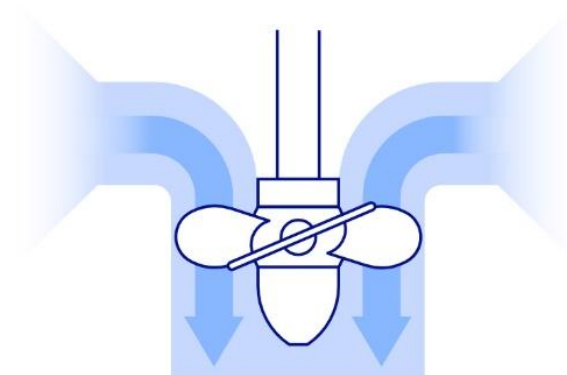
Model hydrozespołu



Modelowany fragment

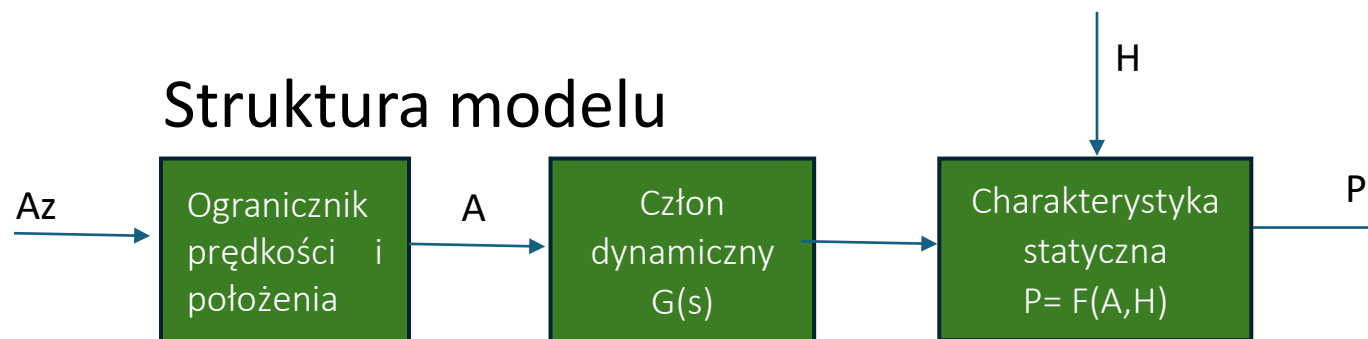


Grafika - źródło: <https://hydro.ioze.pl/>



Grafika - źródło: <https://hydro.ioze.pl/>

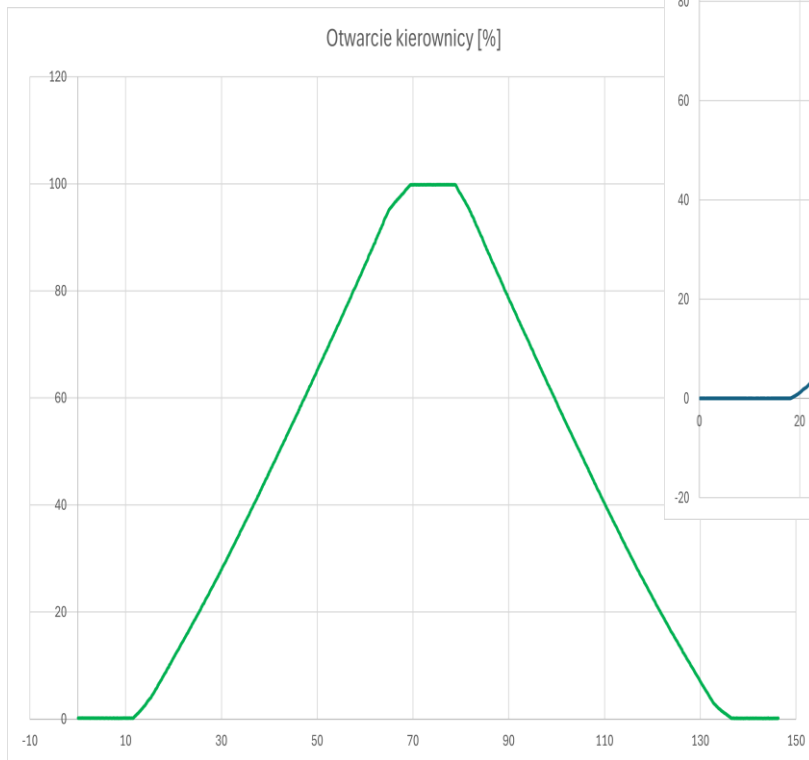
Struktura modelu



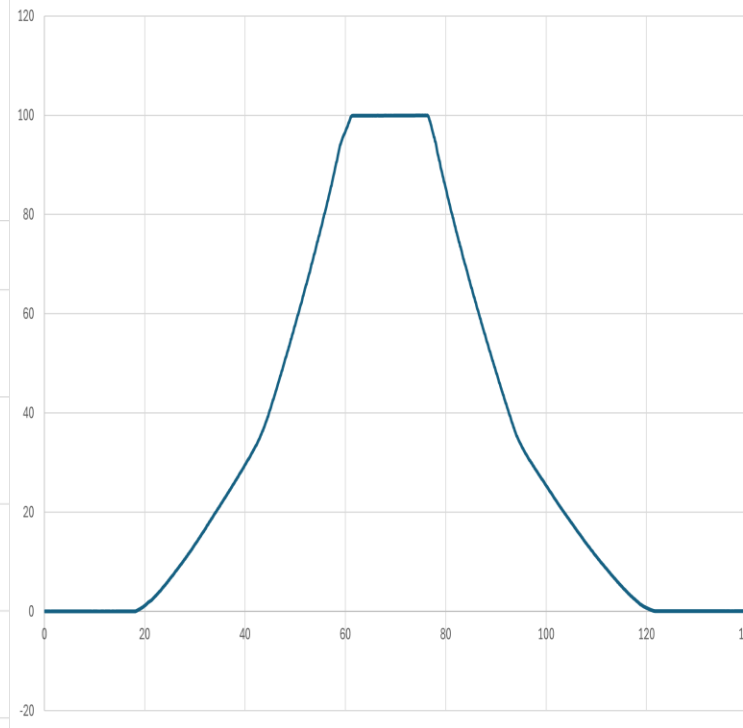
Ogranicznik prędkości serwomechanizmu



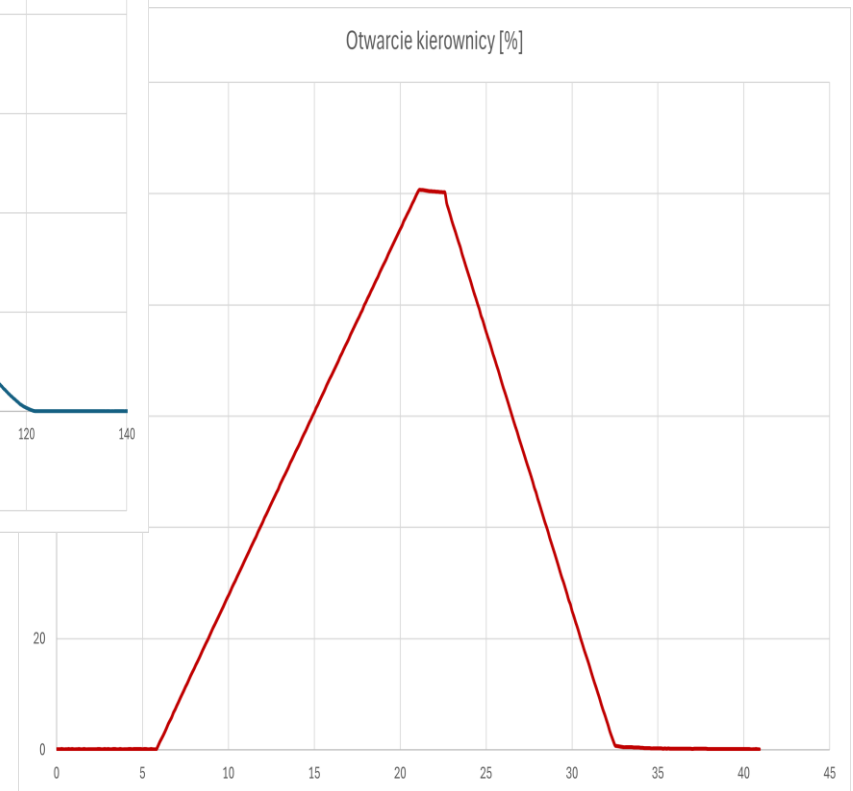
$T_{\uparrow} = 55\text{ s}$
 $T_{\downarrow} = 53\text{ s}$



Otwarcie kierownicy [%]

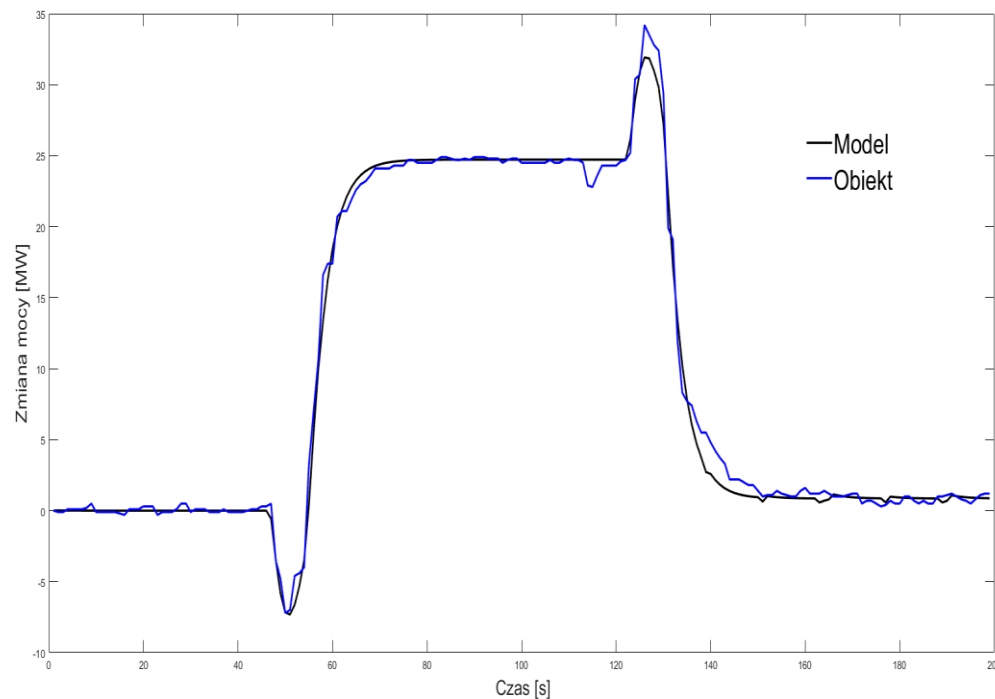


$T_{\uparrow} = 15\text{ s}$
 $T_{\downarrow} = 10\text{ s}$



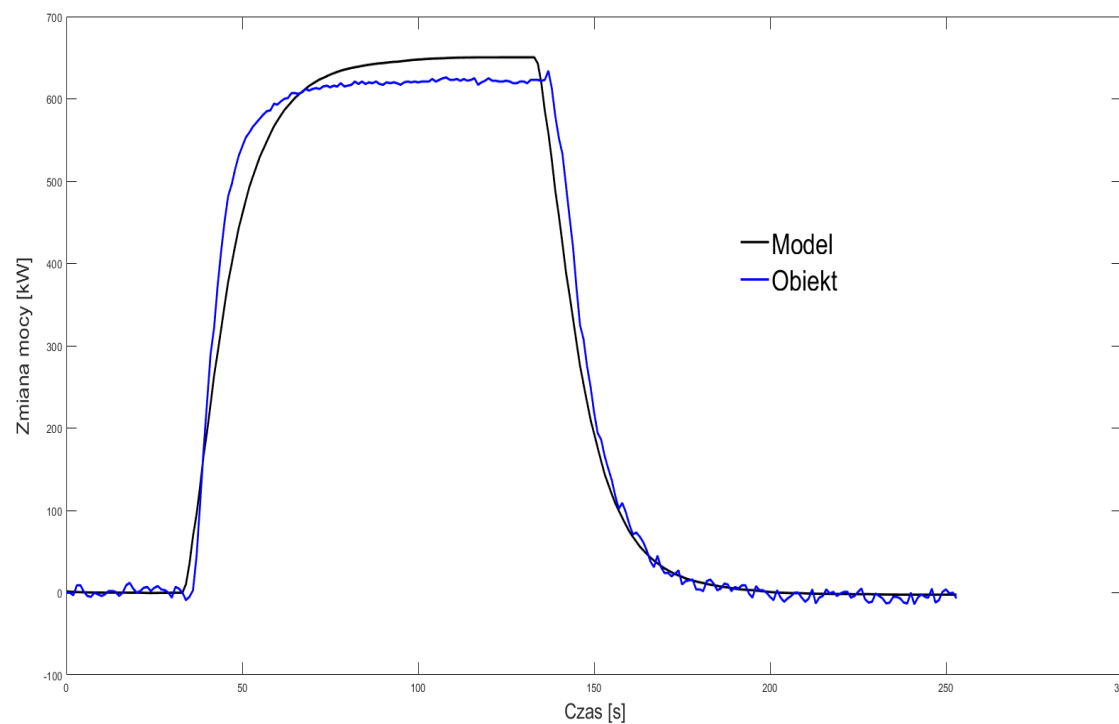
$T_{\uparrow} = 22+18\text{ s}$
 $T_{\downarrow} = 20+25\text{ s}$

Człon dynamiczny

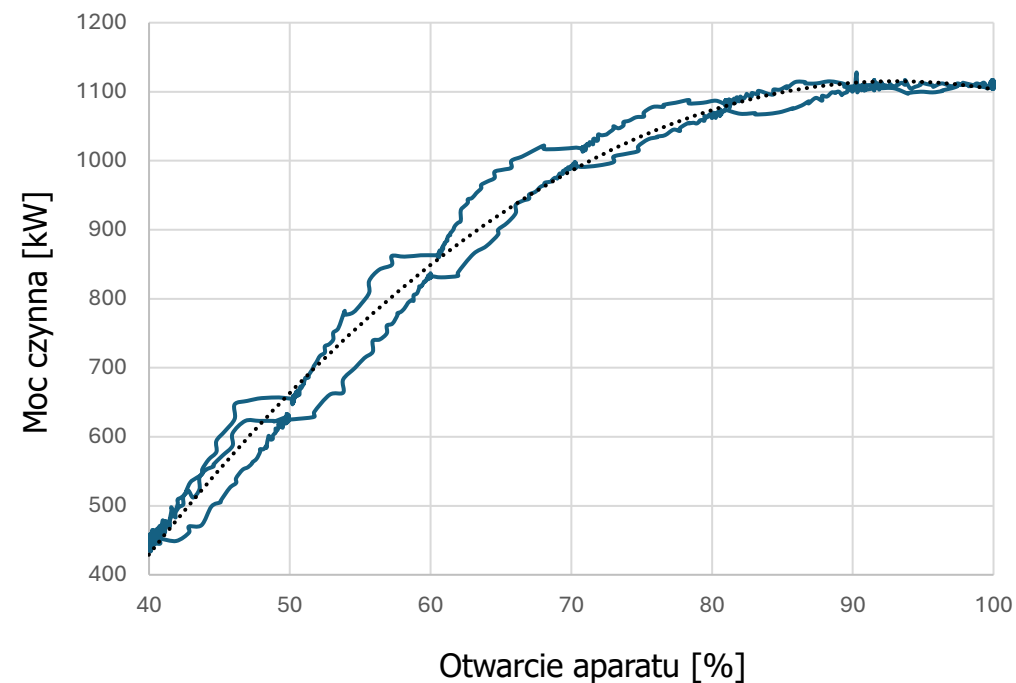
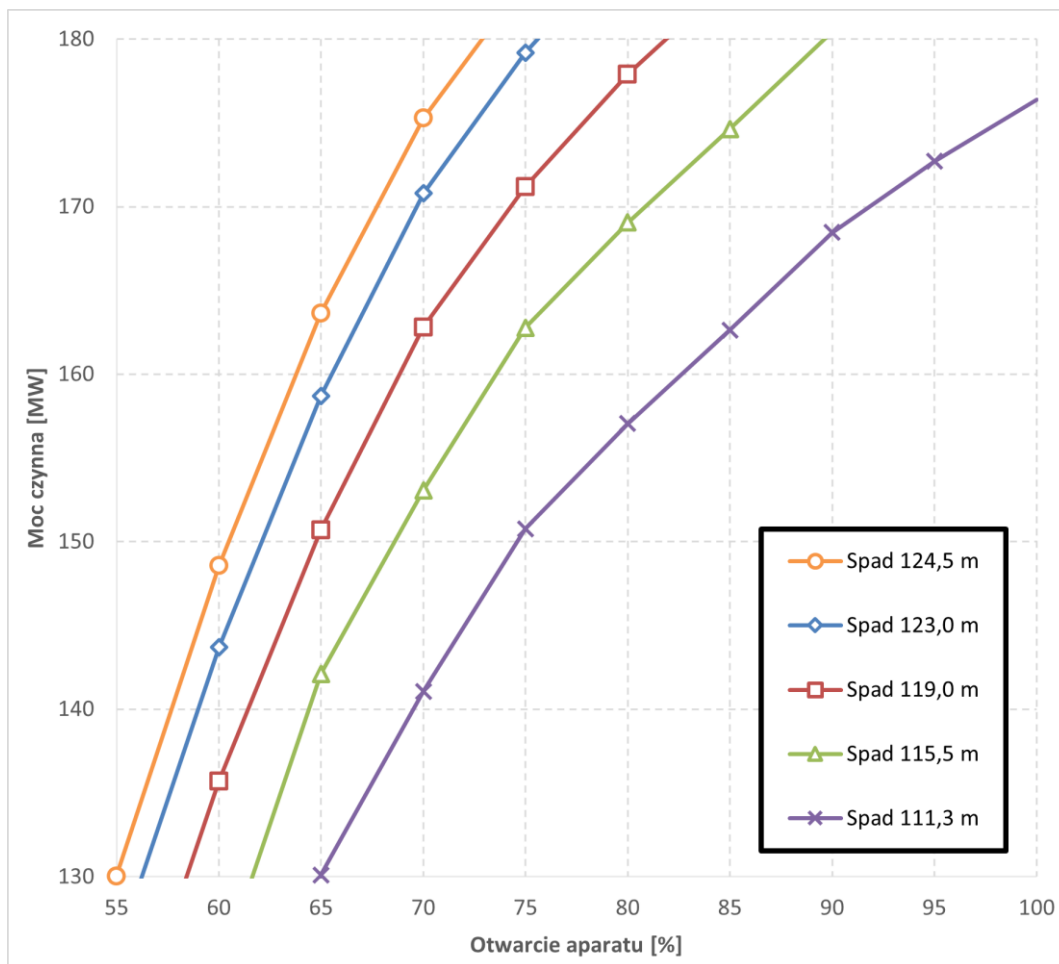


$$G(s) = \frac{T_1 s + 1}{(T_2 s + 1)(T_3 s + 1)} \quad T_1 < 0$$

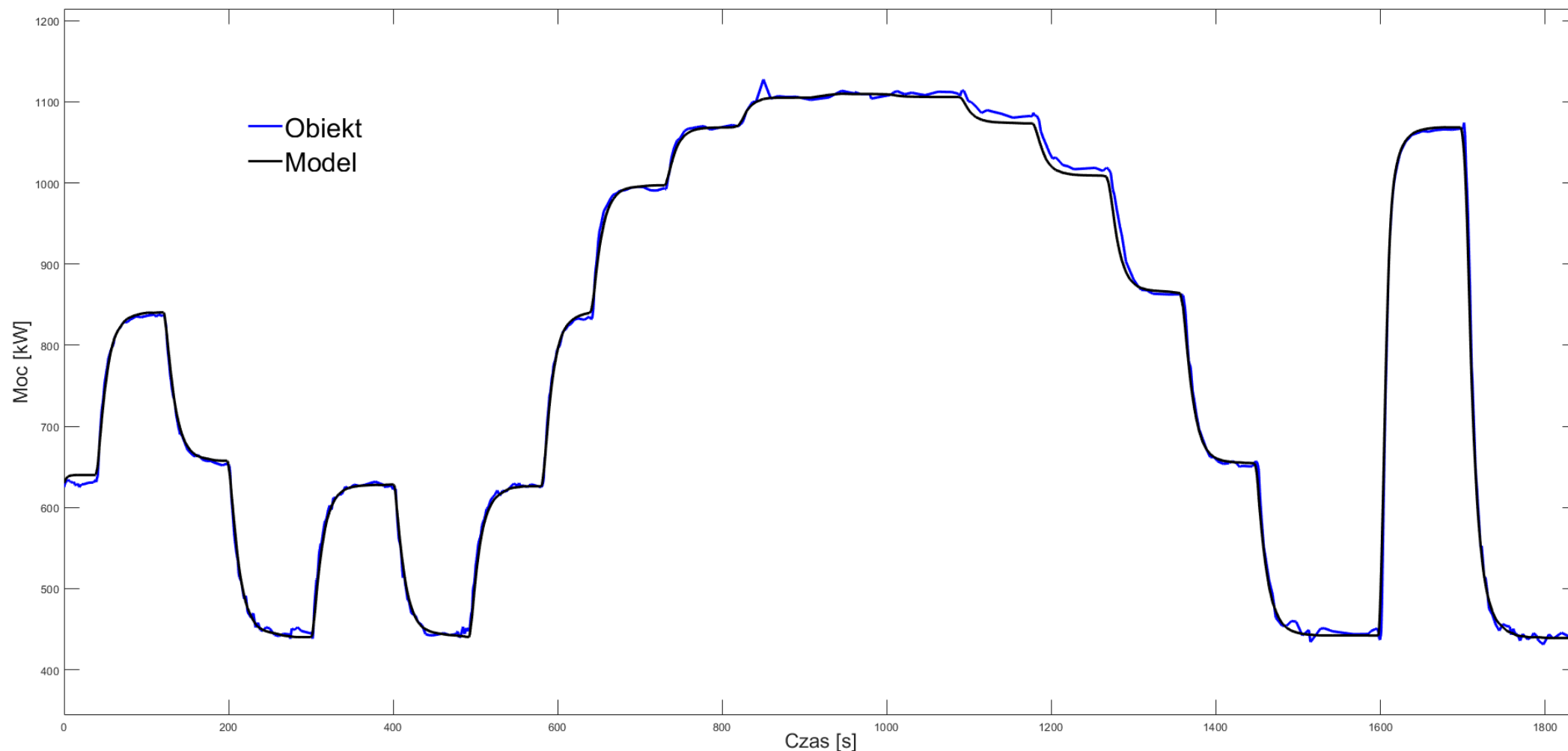
$$G(s) = \frac{1}{T_3 s + 1}$$



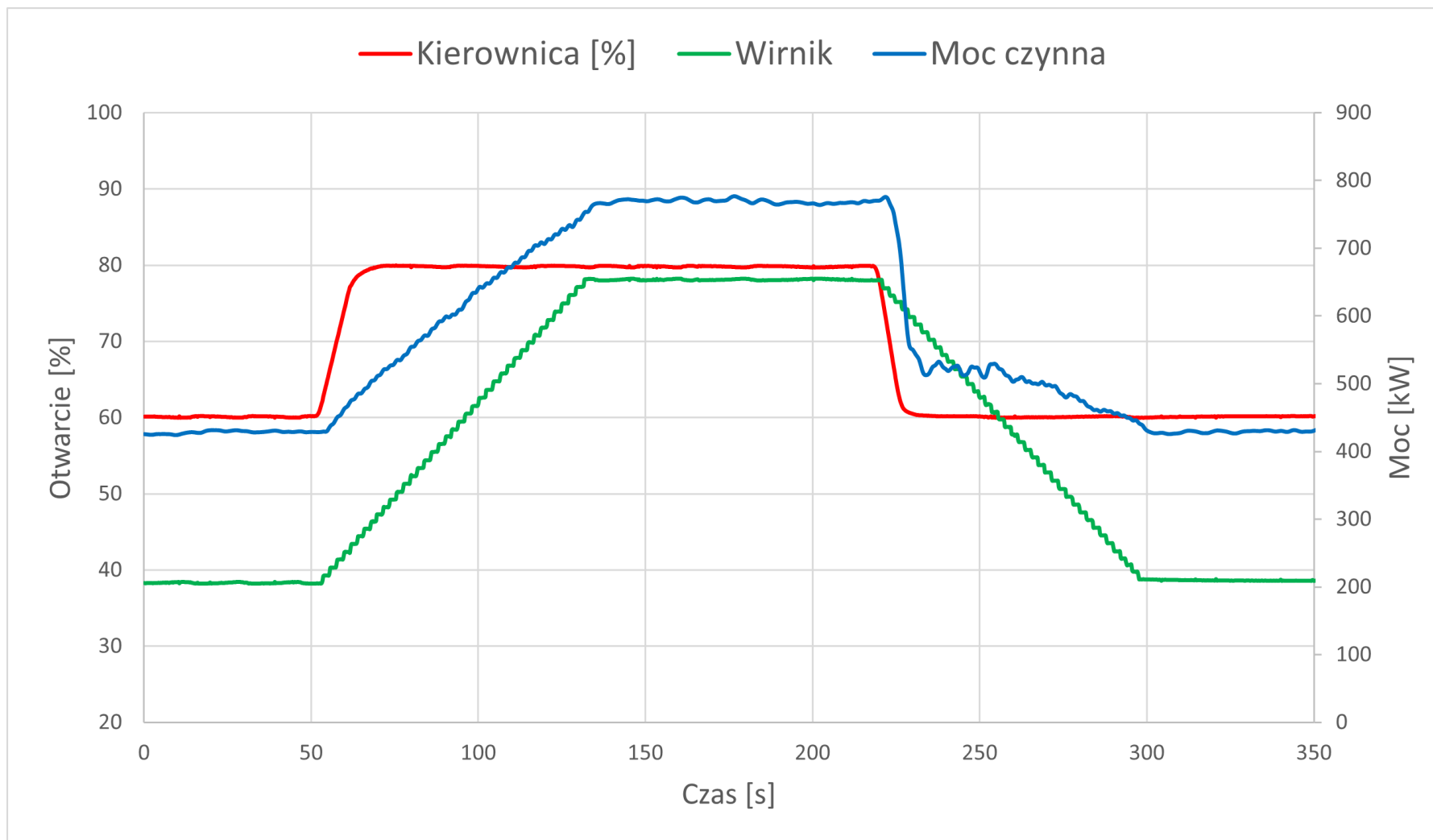
Człon nieliniowy



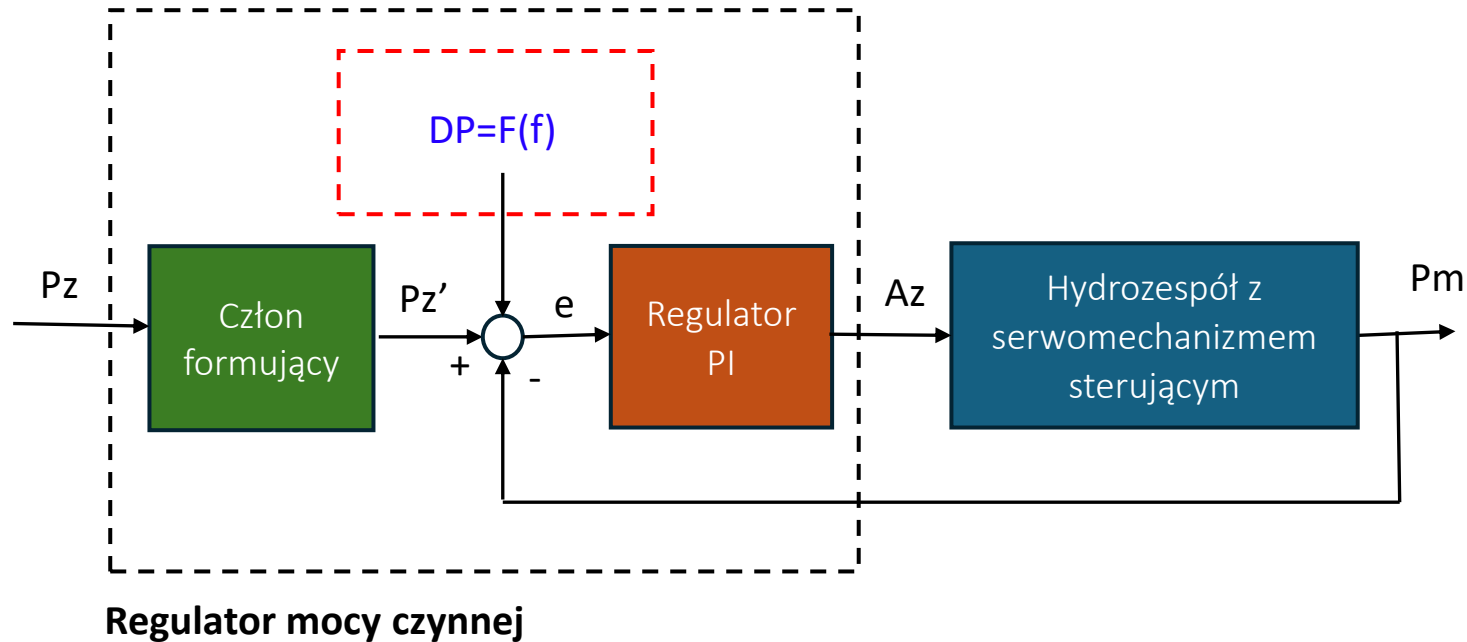
Weryfikacja modelu



Hydrozespół z turbiną Kaplaną



Struktura układu regulacji mocy czynnej



Pz – moc zadana

Pz' – moc zadana po ograniczeniu szybkości zmian

e – uchyb regulacji

Az – zadana wartość otwarcia aparatu kierowniczego

Pm – mierzona moc czynna

DP – korekta mocy

Realizacja i problemy do rozwiązania



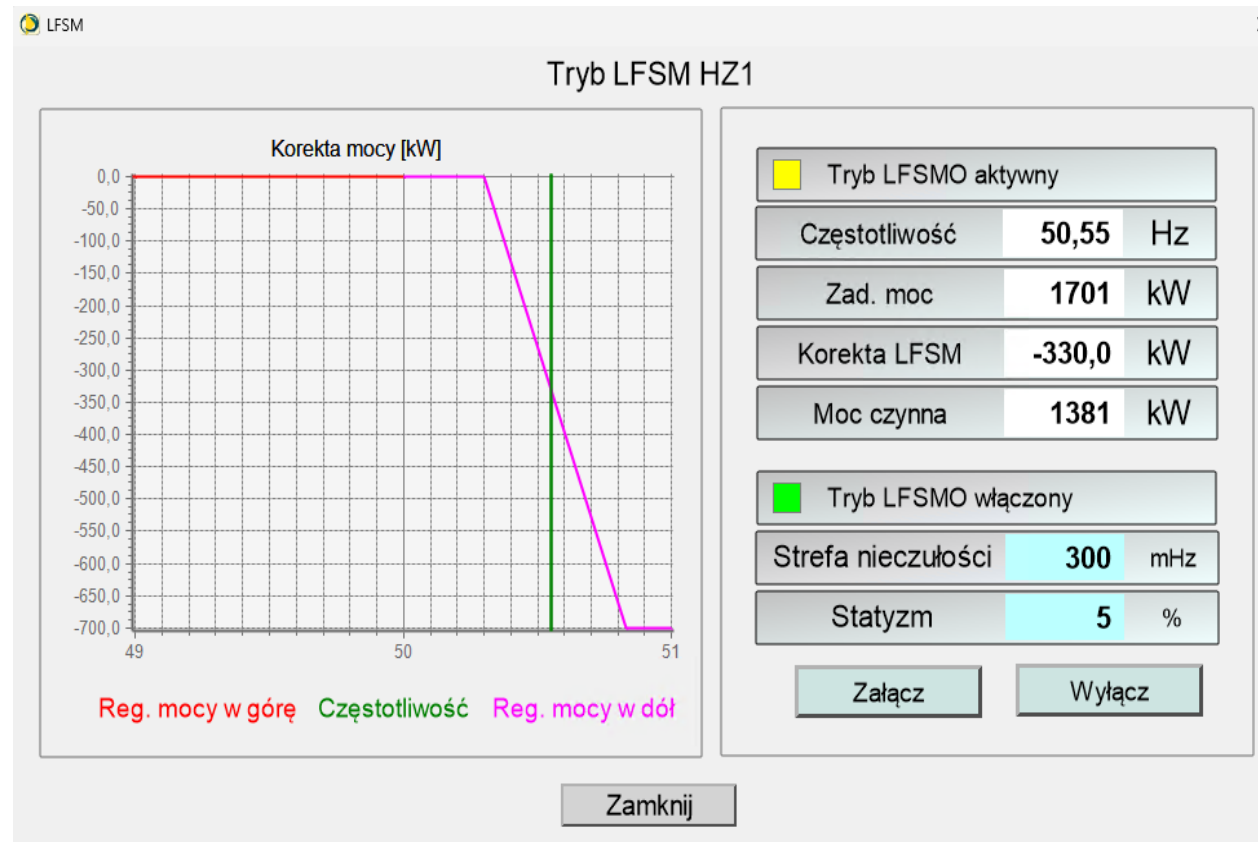
Niezbędny jest regulator mocy

Możliwe inne tryby regulacji (poziomu wody, przepływu). Tryb LFSM jest nadrzędny!

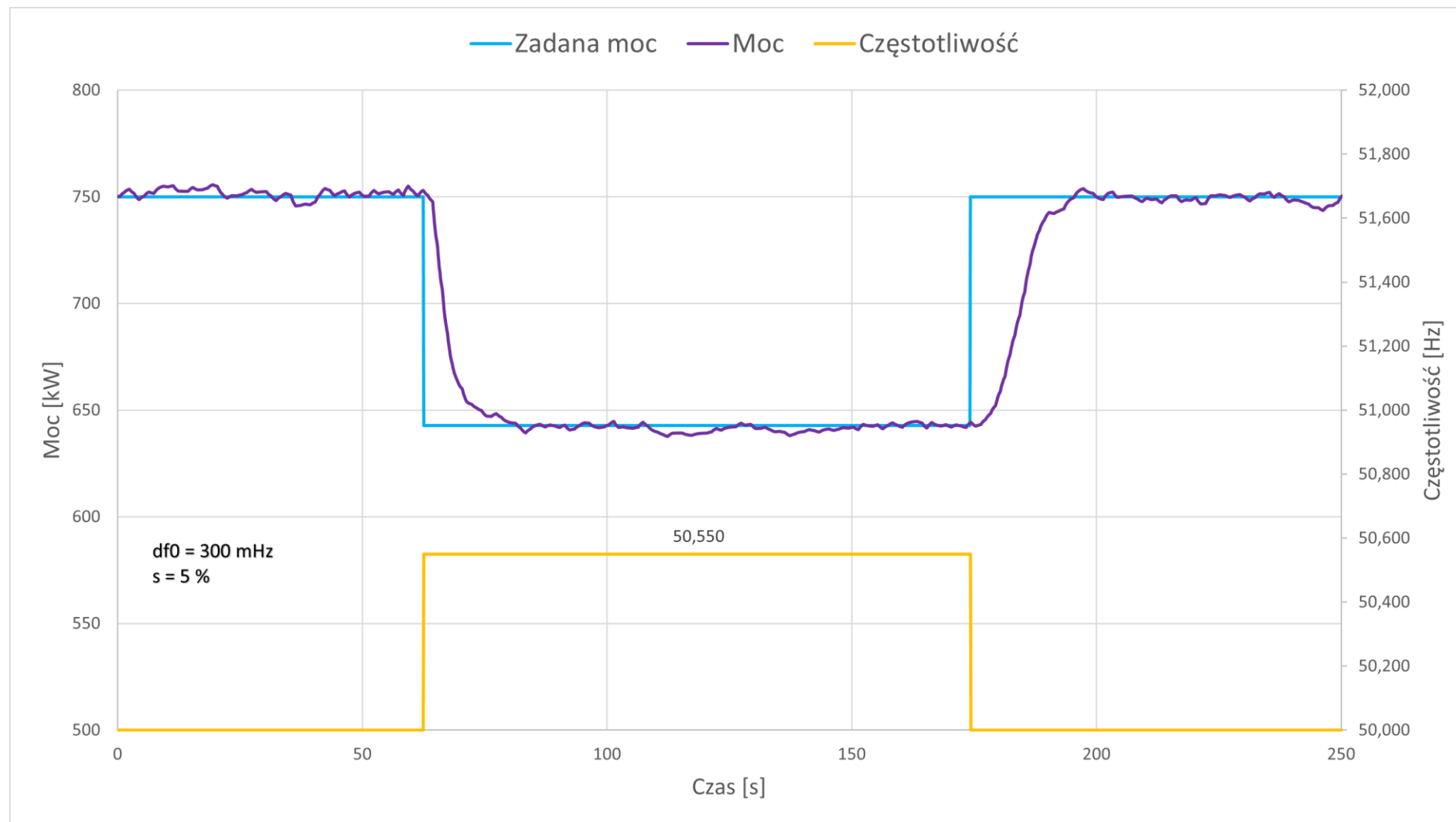
Wymagania dla przetwornika pomiaru częstotliwości

Wartości $P_{\max}$ i $P_{\min}$ zależne od spadu

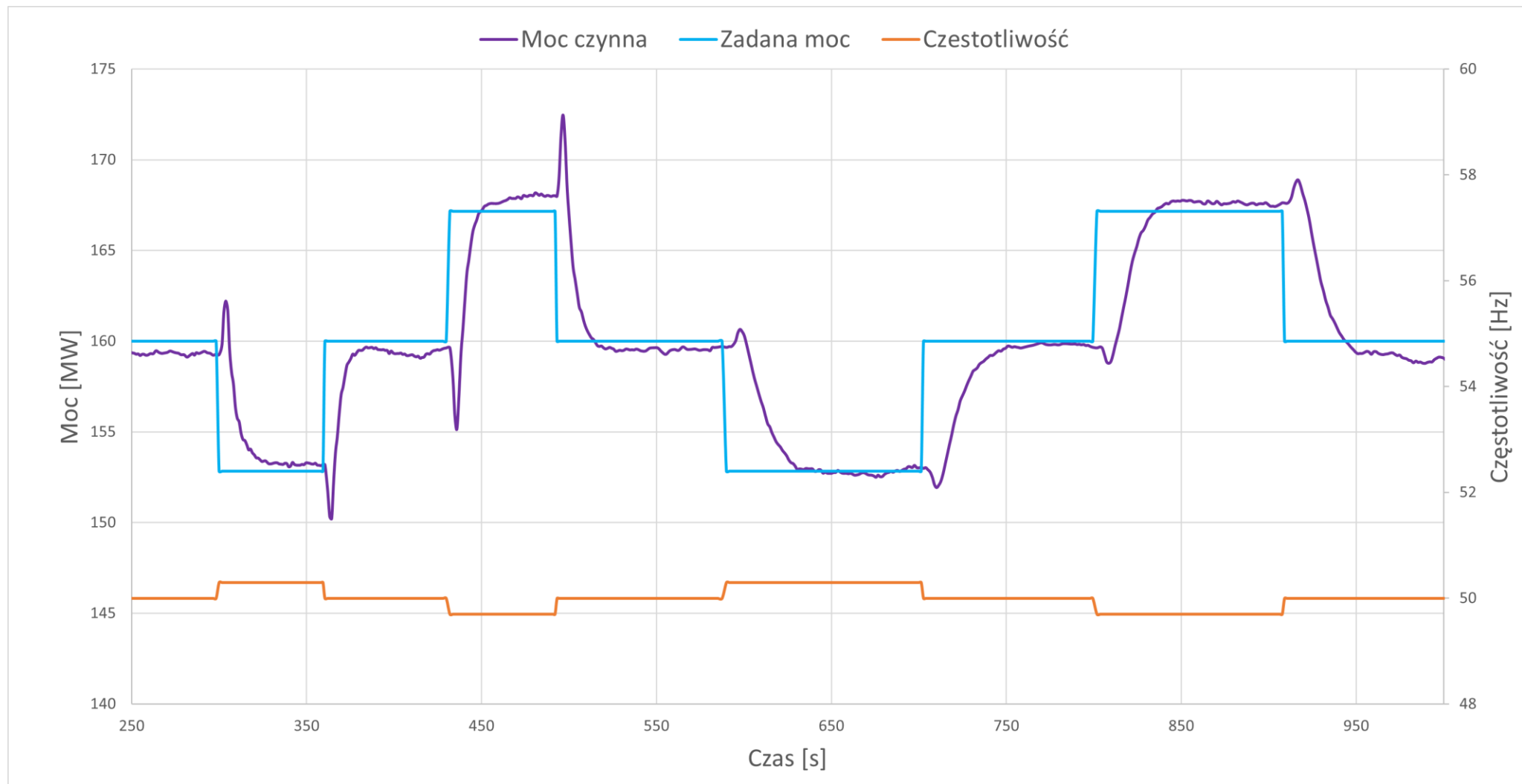
Możliwość konfiguracji i odpowiednia diagnostyka sygnałów



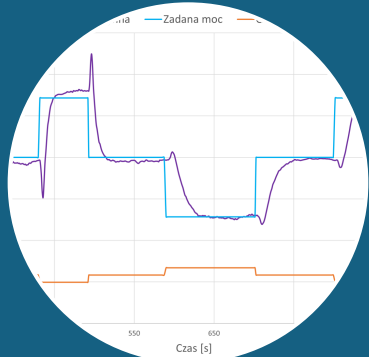
Przykładowy przebieg testu trybu LFISM-O



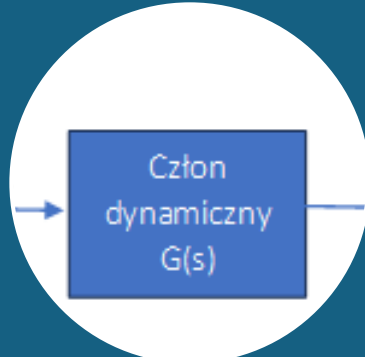
Testy obiektu nieminimalnofazowego



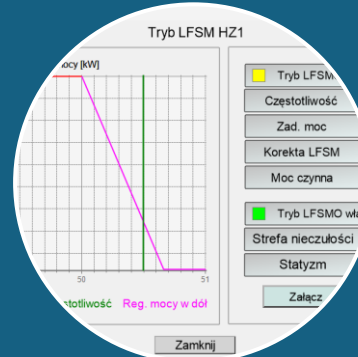
Podsumowanie



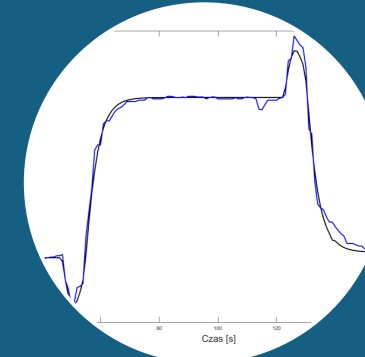
Hydrozespoły elektrowni wodnych przy projektowaniu układów regulacji zgodnych z NC RfG wymagają uwzględnienia ich specyficznych właściwości dynamicznych.



Właściwości toru sterowania mocą czynną można opisać uproszczonym modelem obejmującym: ogranicznik prędkości, człon dynamiczny II rzędu oraz człon nieliniowy, którego parametry można wyznaczyć empirycznie.



Praktyczna realizacja wymagań NC RfG wymaga uwzględnienia specyfiki pracy hydrozespołów, takich jak: możliwe różne tryby regulacji oraz ograniczenia mocy wynikające z warunków hydrologicznych.



W obiektach z długimi rurociągami odpowiedź układu może być niemonotoniczna, czego nie da się wyeliminować odpowiednim doбором nastaw regulatora.



Dziękuję za uwagę

- dr inż. Michał Porzeziński
- m.porzezinski@ien.gda.pl