

## RESEARCHES OF HYDROKINETIC TORQUE CONVERTER ZM130 IN FIXED STATES

Zbigniew Pawelski

Lodz University of Technology  
Vehicle Research Institute  
ul. Żeromskiego 116, 90-924 Łódź, Poland  
tel.: +48 42 6312392, fax: +48 42 6312398  
e-mail: pawelski@p.lodz.pl

### Abstract

Researches were led in Vehicle Research Institute on state with electric power transmission with frequency converter and with recuperation energy to main, which was built in 2005 year thank the objective grant from the State Committee for Scientific Research. The state was intended to researches of power transmission systems and its components, with constant and variable ratio. On the state there is possible to lead researches which let to describe static and dynamic properties necessary to work out appropriate control systems in microprocessor technique.

The research stand can work with one of three accessible modes of work. Each of it has different quantities to characterize points of work:

- motor rpm, generator rpm,
- motor torque, generator rpm,
- motor rpm, generator torque.

The operator starts work with choose of suitable visualization program CITECT, which simultaneously controls work of electrical converter and makes tables available to operator for determine of research cycle. Stand can be start in freely adjust point of work with adjust rpm and torque or cycle, which parameters can be put into table of research cycle realization in visualization program.

The researches were led with step rotation speed change of turbine's shaft (for full range of kinematical ratio) and fixed rotation speed of pump's shaft (series for 1500, 1600 and 1700 rpm).

**Keywords:** hydrokinetic torque converter, researches, stable conditions

## BADANIA PRZEKŁADNI HYDROKINETYCZNEJ ZM130 W STANACH USTALONYCH

### Streszczenie

Badania przeprowadzono w Instytucie Pojazdów na stanowisku z elektrycznym układem napędowym z przemiennikami częstotliwości, ze zwrotem energii do sieci, które zbudowano w 2005r dzięki dotacji celowej Komitetu Badań Naukowych. Przewidziano je do badań układów napędowych pojazdów oraz podzespołów, zarówno o stałym jak i zmiennym przełożeniu. Na stanowisku mogą być prowadzone badania zarówno dla określenia własności statycznych jak i dynamicznych, niezbędnych do opracowania odpowiednich układów sterowania w technice mikroprocesorowej.

Stanowisko może pracować w jednym z trzech wybieranych trybów pracy. W każdym z nich są inne wielkości określające punkt pracy. Są to:

- obroty silnika, obroty prądnicy,
- moment silnika, obroty prądnicy,
- obroty silnika, moment prądnicy.

Wybór pracy operator dokonuje przez uruchomienie odpowiedniego programu wizualizacyjnego CITECT, który jednocześnie steruje pracą falowników i udostępnia operatorowi tabele dla zadawania cyklu badań.

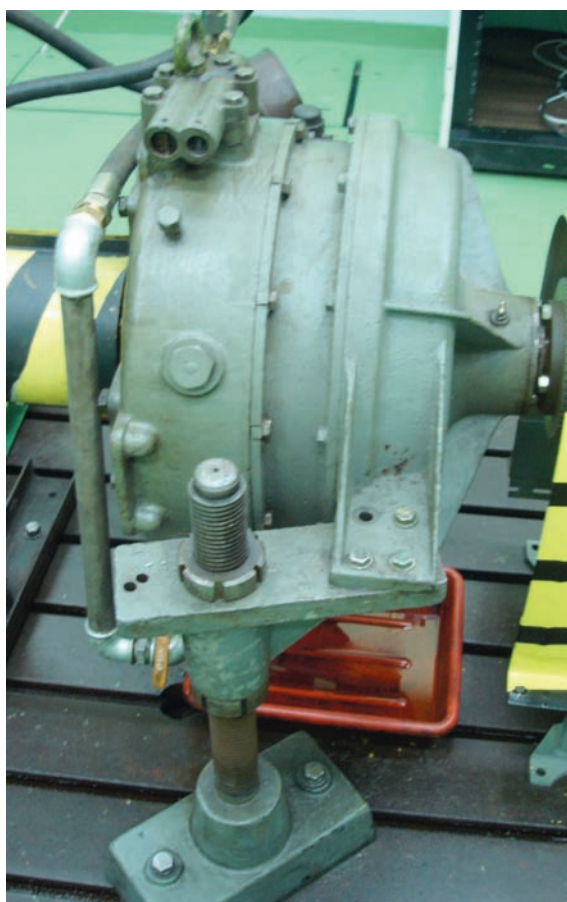
Stanowisko można uruchomić w dowolnie ustawionym punkcie pracy o zadanych obrotach i momencie lub w cyklu, którego parametry wpisuje się do tabeli realizacji cyklu badań w programie wizualizacyjnym.

Badania przekładni ZM130 przeprowadzono przy skokowej zmianie prędkości kątowej wału turbiny (w pełnym zakresie zmian przełożenia kinematycznego, z przyrostami zarówno dodatnimi jak i ujemnymi) i stałej prędkości kątowej wału pompy (serie dla 1500, 1600 i 1700 obr/min). Zaplanowano skoki o wartościach: 50, 100, 150 oraz 200 [obr/min]. W pracy zamieszczono przykładowe wyniki z badań.

**Słowa kluczowe:** przekładnia hydrokinetyczna, badania, stany ustalone

## 1. Obiekt badań

Obiektem badań jest przekładnia hydrokinetyczna ZM 130, stosowana w ładowarkach budowlanych i kopalnianych, będąca na wyposażeniu Instytutu Pojazdów, Fot. 1.



Fot. 1. Przekładnia hydrokinetyczna ZM 130  
Pic. 1. Hydrokinetic torque converter ZM 130

Przekładnia ta jest przekładnią trójwornikową, jednozakresową, o stałej charakterystyce, zapewniając pracę w zakresie przełożenia kinematycznego  $0 \leq i_k \leq 0.9$ . W obudowie przekładni znajduje się 5 kół zębatych do napędu pomp hydrostatycznych, które podczas badań nie były obciążone.

Badania przekładni hydrokinetycznej ZM 130 miały na celu wyznaczenie charakterystyki bezwymiarowej dla różnych prędkości kątowych wału pompy, oraz uzyskanie zależności opisujących pracę w niestabilnych warunkach ruchu, spowodowanych skokową zmianą prędkości kątowej wału turbiny.

## 2. Opis stanowiska

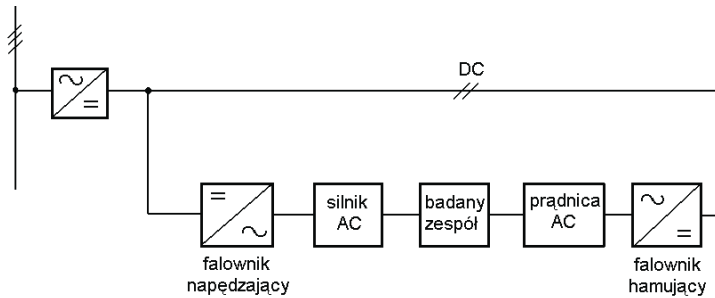
Na wyposażenie stanowiska badawczego składają się, Fot. 2:

1. dwa silniki: napędzający i hamujący, typu SXCe 315 S2s firmy EMIT, o mocy znamionowej 160 [kW] i momencie znamionowym 515 [Nm], przystosowane do zasilania z przemiennika częstotliwości,
2. dwa przemienniki,
3. częstotliwości ACS800 firmy ABB, które w sekcji zasilającej mają mostek prostowniczy oraz filtr wejściowy dla ograniczenia zakłóceń harmoniczných w zewnętrznej sieci elektrycznej,
4. sterownik PLC AC31 firmy ABB, wyposażony w: kartę Ethernet, moduł Profibus, 24 wejścia cyfrowe, 16 wyjść cyfrowych, 8 wejść analogowych, 8 wyjść analogowych, z możliwością rozbudowy,
5. program wizualizacji CITECT dla 100 zmiennych, przystosowany dla potrzeb stanowiska przez firmę Automatyka i Elektronika Przemysłowa z Łodzi.



*Fot. 2. Widok stanowiska do badań podzespołów napędowych  
Pic. 2. The few of power transmission system researches place*

W układzie zastosowano dwie maszyny elektryczne, które cechuje praca odwracalna, tzn. mogą pracować zarówno jako silnik jak i jako prądnica. Ponadto układ napędowy charakteryzuje się wspólną szyną napięcia DC. Jest to niezmiernie istotna cecha, która pozwala na przekazywanie energii elektrycznej z maszyny elektrycznej pracującej jako prądnica do maszyny pracującej jako silnik, Rys. 1. Tym sposobem z zewnętrznej sieci elektrycznej do układu doprowadzana jest energia tylko na pokrycie strat, wielokrotnie mniejsza niż krążąca w roboczym układzie napędowym. Przykładowo, podczas badań na tym stanowisku przekładni hydrokinetycznej ZM 130 z mocą obciążeniową 150 [kW], pobór mocy z sieci wynosił ok. 18 [kW].



Rys. 1. System napędów ze wspólną szyną napięcia DC  
 Fig. 1. The drives system with DC voltage common rail

Zastosowany układ napędowy firmy ABB charakteryzuje:

1. Bardzo szybka odpowiedź napędu; czas narastania momentu na wale silnika w zakresie 10÷90% momentu znamionowego to nie więcej niż 5 [ms].
2. Dokładność statyczna regulacji prędkości bez sprzężenia zwrotnego od wału silnika nie gorsza niż 10% znamionowego poślizgu silnika.
3. Dokładność dynamiczna regulacji prędkości bez sprzężenia zwrotnego od wału silnika nie mniejsza niż 0.4 [%/s].
4. Znamionowy moment napędowy silnika uzyskiwany w pełnym zakresie regulacji od zerowej prędkości obrotowej oraz możliwość zadawania i dokładnej regulacji momentu napędowego bez konieczności stosowania sprzężenia zwrotnego od wału silnika.
5. Nieliniowość regulacji momentu na wale silnika nie gorsza niż +/-4% momentu znamionowego silnika dla układu pracującego w otwartej pętli regulacji (bez sprzężenia zwrotnego od wału silnika).
6. Nieliniowość regulacji momentu na wale silnika nie gorsza niż +/-1% momentu znamionowego silnika dla układu pracującego w zamkniętej pętli regulacji (ze sprzężeniem zwrotnym od wału silnika).

Stanowisko może pracować w jednym z trzech wybieranych trybów pracy. W każdym z nich są inne wielkości określające punkt pracy. Są to:

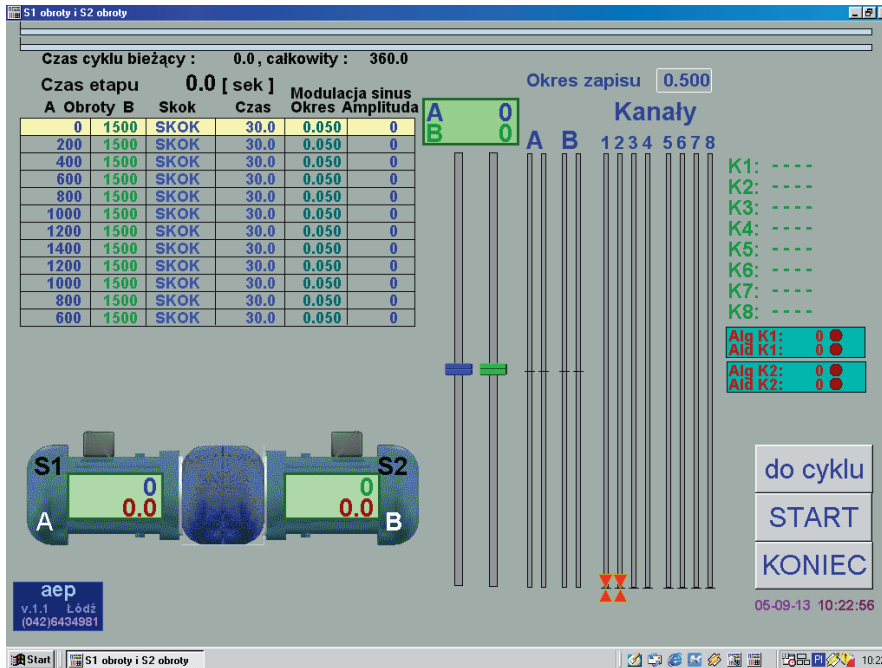
- obroty silnika, obroty prądnicy,
- moment silnika, obroty prądnicy,
- obroty silnika, moment prądnicy.

Wybór pracy operator dokonuje przez uruchomienie odpowiedniego programu wizualizacyjnego CITECT, który jednocześnie steruje pracą falowników i udostępnia operatorowi tabele dla zadawania cyklu badań. Stanowisko można uruchomić w dowolnie ustawionym punkcie pracy o zadanych obrotach i momencie lub w cyklu, którego parametry wpisuje się do tabeli realizacji cyklu badań w programie wizualizacyjnym, Fot. 3.

Cykl może składać się z 12 etapów, w których zadaje się:

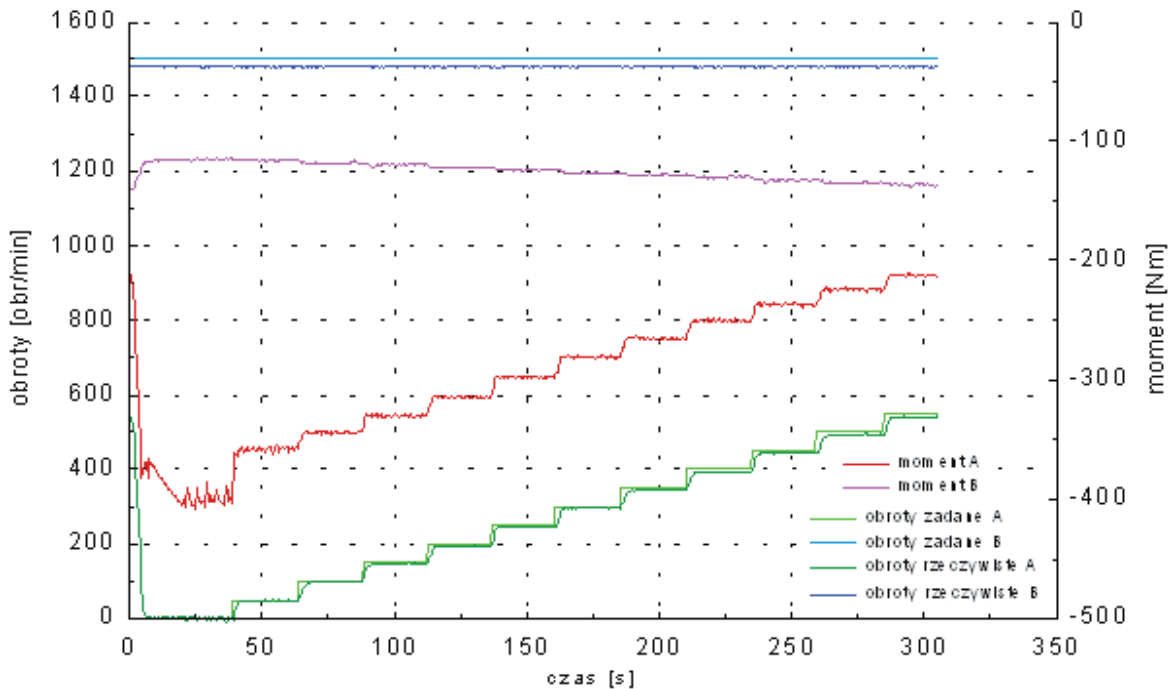
- obroty (od -3000 do 3000 [obr/min]),
- moment (od -515 do 515 [Nm]),
- sposób zadawania wartości skokowo, narastająco lub malejąco,
- czas trwania etapu od 0.1 do 6500 [s].,
- okres modulacji momentu od 0.001 do 30 [s].,
- amplitudę modulacji do pełnego zakresu ustawień. Operator przez zadanie amplitudy modulacji różnej od zera może uruchomić modulację wartości zadawanego momentu przebiegiem sinus o okresie od 50 [ms] do 30 [s]. Wartość chwilowa modulacji jest dodawana do wartości podstawowej stałej [skokowo], lub zmiennej [narastająco] i ograniczana do zakresu wartości od -515 [Nm] do +515 [Nm].

W trakcie realizacji cyklu w komputerze z wizualizacją, do pliku jest zapisywany co określony czas w przedziale od 0.5 do 99 [s] rekord danych aktualnych.



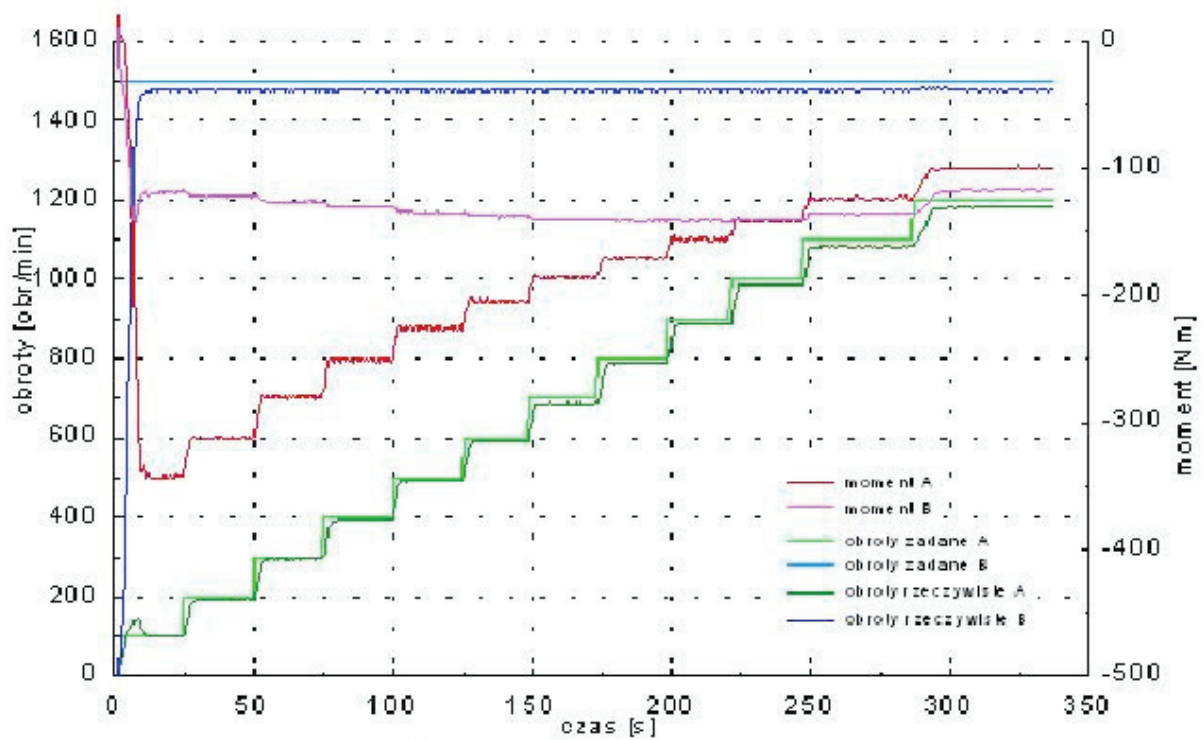
Fot. 3. Widok ekranu monitora do programowania i obsługi zadań  
 Pic. 3. The few of monitor screen for tasks operation and programming

Podczas badań prędkość kątową wału turbiny zmieniano skokowo, z przyrostami zarówno dodatnimi jak i ujemnymi. Zaplanowano skoki o wartościach: 50, 100, 150 oraz 200 [obr/min]. Wykonano serię badań przy stałej prędkości kątowej wału pompy odpowiednio: 1500, 1600 oraz 1700 [obr/min]. Na rysunkach poniżej przedstawiono przykładowe wyniki z badań.

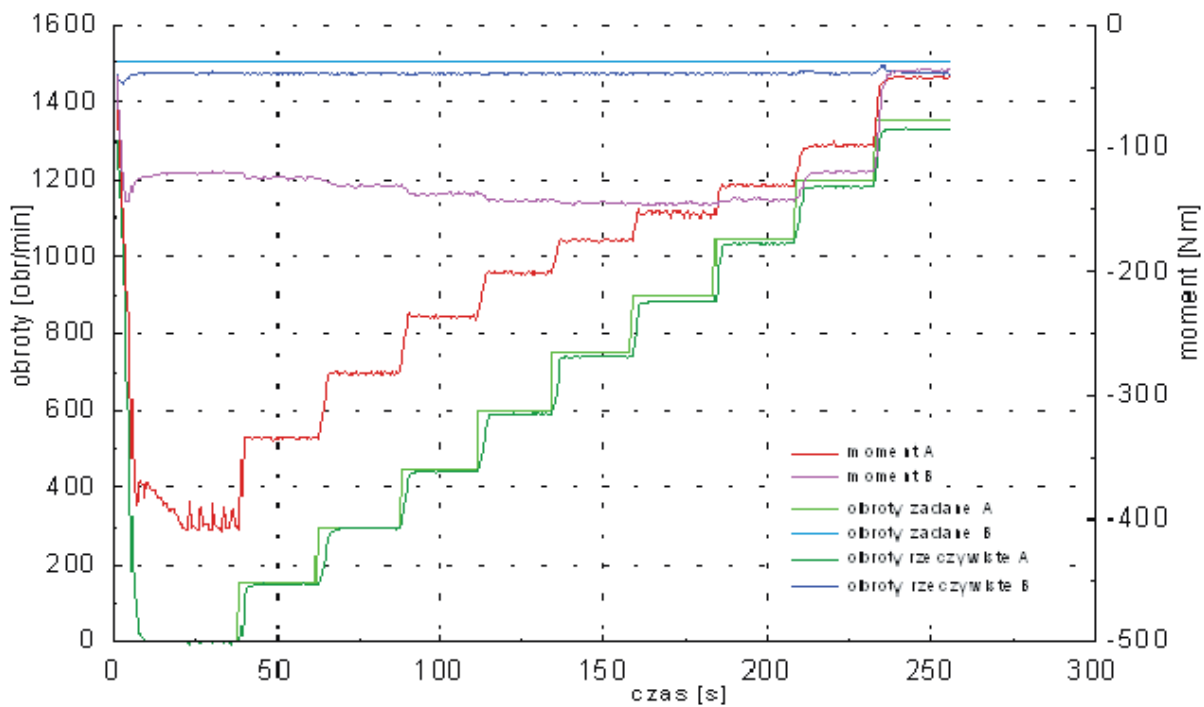


Rys. 2. Zapis wyników z badań podczas przyrostu prędkości kątowej wału turbiny o 50 [obr/min]  
 Fig. 2. Save of the researches results while increasing the angular speed of the turbine shaft by 50 RPM

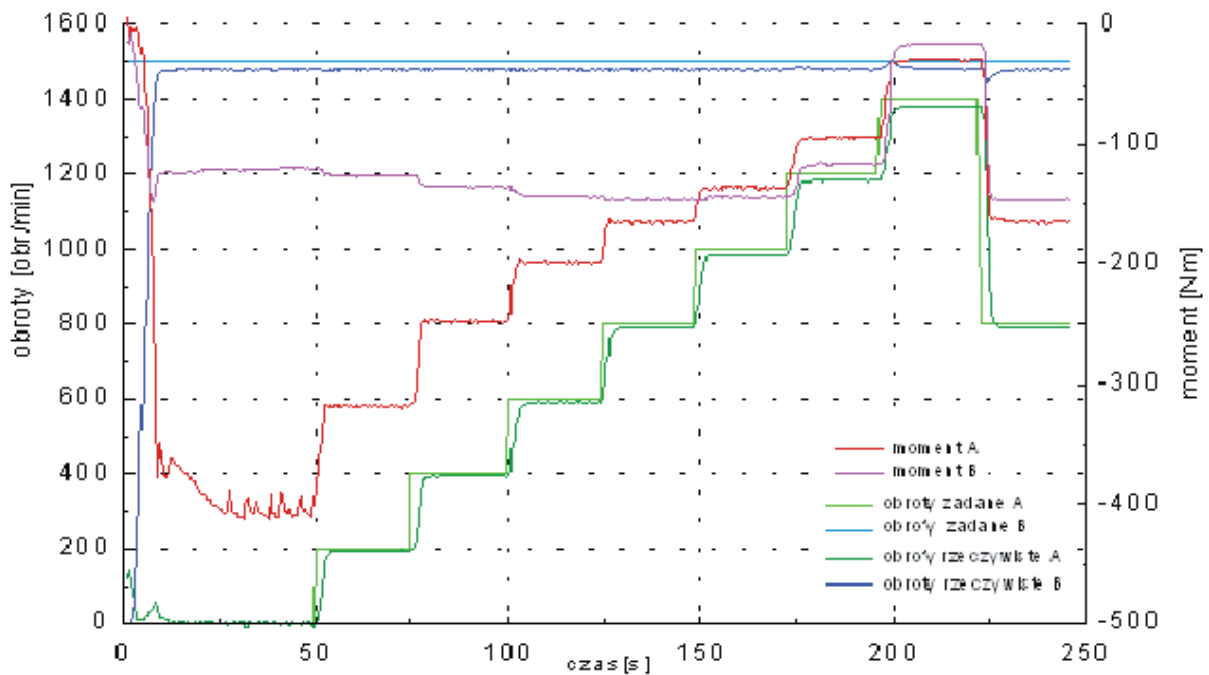




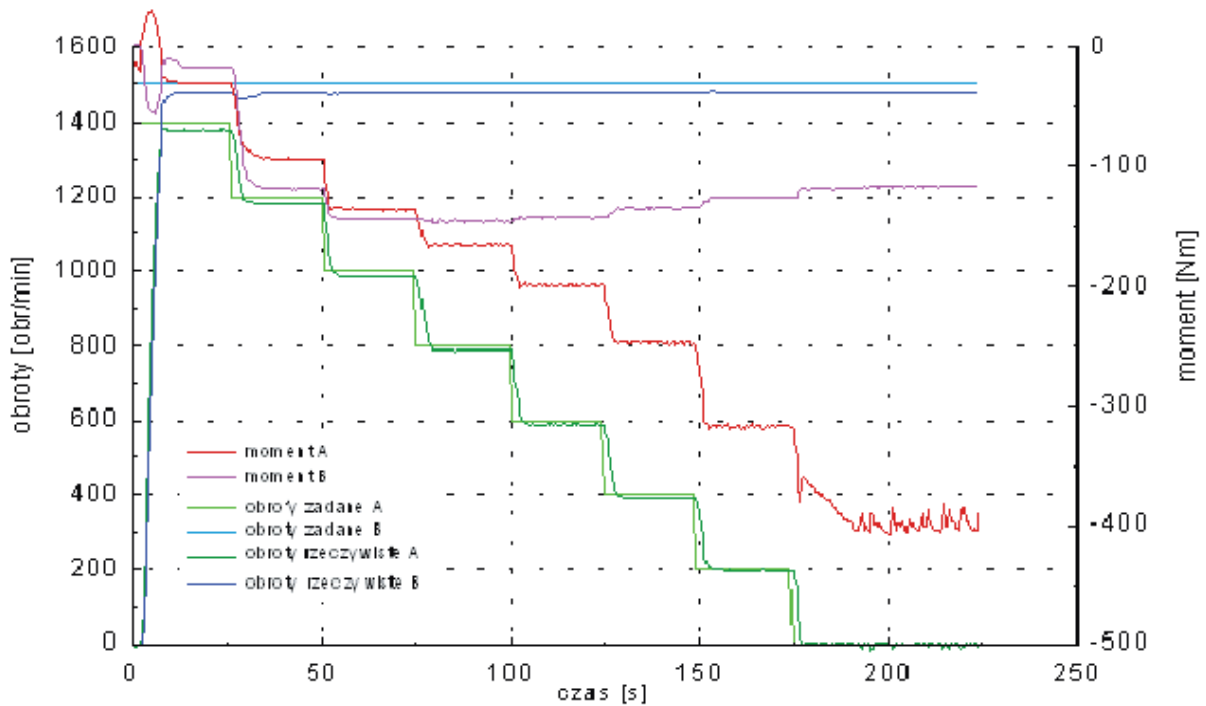
Rys. 3. Zapis wyników z badań podczas przyrostu prędkości kątowej wału turbiny o 100 [obr/min]  
 Fig. 3. Save of the researches results while increasing angular speed of the turbine shaft by 100 RPM



Rys. 4. Zapis wyników z badań podczas przyrostu prędkości kątowej wału turbiny o 150 [obr/min]  
 Fig. 4. Save of the researches results while increasing angular speed of the turbine shaft by 150 RPM



Rys. 5. Zapis wyników z badań podczas przyrostu prędkości kątowej wału turbiny o 200 [obr/min]  
 Fig. 5. Save of the researches results while increasing angular speed of the turbine shaft by 200 RPM



Rys. 6. Zapis wyników z badań podczas skoku ujemnego prędkości kątowej wału turbiny o 200 [obr/min]  
 Fig. 6. Save of the researches results while negative jump of angular speed of the turbine shaft by 200 RPM

Charakterystykę bezwymiarową przekładni ZM130, dla różnych prędkości kątowych wału pompy, przedstawia Rys. 7. Otrzymane z badań krzywe można opisać następującymi równaniami, przykładowo np.:

**II stopnia:**- dla prędkości kątovej wału pompy  $\omega_B=1500$  [obr/min]przełożenie dynamiczne  $i_d$ :

$$i_d = 3,74 i_k^2 - 5,95 i_k + 3,26, \quad (1)$$

sprawność  $\eta$ :

$$\eta = -1,89 i_k^2 + 2,28 i_k, \quad (2)$$

współczynnik momentu  $\lambda$ 

$$\lambda = -0,00153 i_k^2 + 0,00145 i_k + 0,00134, \quad (3)$$

- dla prędkości kątovej wału pompy  $\omega_B=1700$  [obr/min]przełożenie dynamiczne  $i_d$ :

$$i_d = 3,02 i_k^2 - 5,37 i_k + 3,20, \quad (4)$$

sprawność  $\eta$ :

$$\eta = -2,18 i_k^2 + 2,41 i_k, \quad (5)$$

**IV stopnia:**- dla prędkości kątovej wału pompy  $\omega_B=1500$  [obr/min]przełożenie dynamiczne  $i_d$ :

$$i_d = -1,37 i_k^4 - 1,15 i_k^3 + 6,68 i_k^2 - 7,06 i_k + 3,34, \quad (6)$$

sprawność  $\eta$ :

$$\eta = -4,17 i_k^4 + 9,08 i_k^3 - 7,85 i_k^2 + 2,43 i_k, \quad (7)$$

współczynnik momentu  $\lambda$ 

$$\lambda = -0,00629 i_k^4 + 0,00658 i_k^3 - 0,00239 i_k^2 + 0,000966 i_k + 0,00139, \quad (8)$$

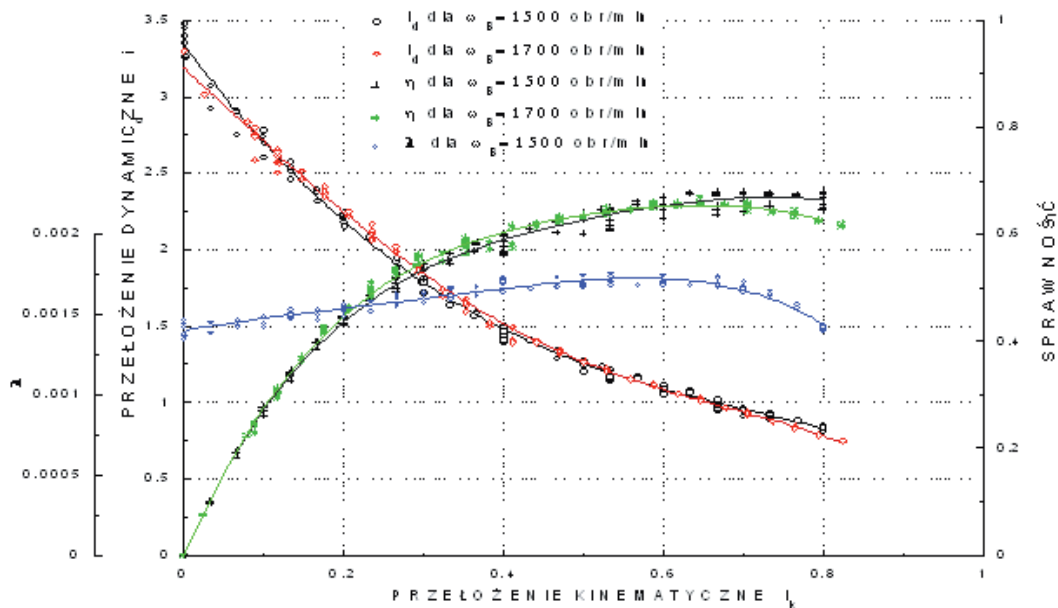
- dla prędkości kątovej wału pompy  $\omega_B=1700$  [obr/min]przełożenie dynamiczne  $i_d$ :

$$i_d = -6,79 i_k^4 + 9,99 i_k^3 - 1,46 i_k^2 - 4,76 i_k + 3,18, \quad (9)$$

sprawność  $\eta$ :

$$\eta = -3,83 i_k^4 + 8,40 i_k^3 - 7,61 i_k^2 + 3,45 i_k. \quad (10)$$

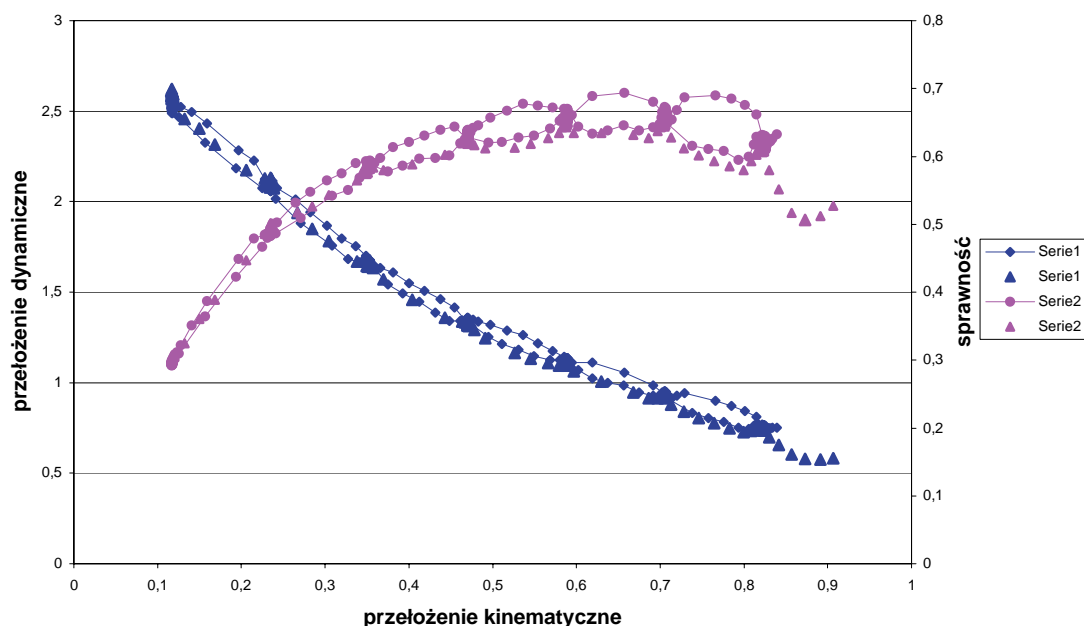
Krzywe aproksymujące 4 stopnia dokładniej odwzorowują charakterystyki badawcze, Rys. 7.



Rys. 7. Charakterystyki bezwymiarowe przekładni hydrokinetycznej przy prędkości kątovej wału pompy  $\omega_B = 1500$  oraz  $1700$  [obr/min]

Fig. 7. The non-dimensional characteristics of hydrokinetic torque converter by angular pump shaft speed  $\omega_B = 1500$  and  $1700$  RPM





Rys. 8. Przebieg przełożenia dynamicznego oraz sprawności podczas skokowej zmiany prędkości kątowej turbiny o 200 [obr/min]

Fig. 8. The courses of dynamic ratio and efficiency while jump change of angular turbine shaft speed by 200 RPM

Analizując przedstawione powyżej wyniki badań można stwierdzić:

1. wysoką powtarzalność potwierdzoną przykładowo na Rys. 8 – pomiary zaznaczone trójkątami pokrywają się z zaznaczonymi linią ciągłą.
2. stany ustalone są wartościami średnimi z zagęszczoną liczbą punktów.
3. stany przejściowe między, zagęszczonymi punktami, przy narastaniu skokowo prędkości kątowej turbiny przebiegają poniżej linii stanów ustalonych, a podczas skoków ujemnych powyżej tej linii. Im mniejsza wartość skoku tym mniejsza „histereza”.
4. Ze wzrostem przełożenia kinematycznego należy spodziewać się zmiany parametrów dynamicznych; świadczy o tym większe odchylenie od linii stanów ustalonych.

## Literatura

- [1] Młudzik, K., *Badania przekładni hydrokinetycznej ZM130 w stanach ustalonych i nieustalonych*. Praca dyplomowa wykonana pod kierunkiem Zbigniewa Pawelskiego.

