



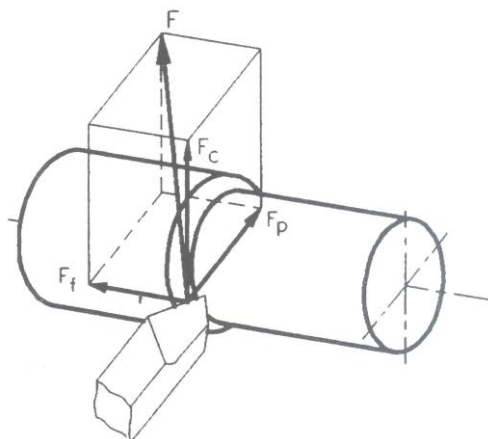
## 2. POMIAR SIŁ SKRAWANIA NA TOKARCE CNC

### 2.1 Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z wpływem wybranych warunków obróbki na wielkość sił skrawania oraz ze sposobem pomiaru tych sił.

### 2.2 Wprowadzenie

Miarą oporu skrawania jest wypadkowa siła skrawania  $F$  (rys. 1). Z uwagi na skutki technologiczne oddziaływania oporów skrawania wygodniej jest rozpatrywać składowe siły  $F$  wzdłuż osi prostokątnego układu związanego z układem ustawienia tj.  $(F_c, F_f, F_p)$ , Rys. 1.



Składowa obwodowa:

$$F_c = C_{F_c} a^{e_{F_c}} f^{u_{F_c}} K_{F_c}$$

Składowa posuwowa:

$$F_f = C_{F_f} a^{e_{F_f}} f^{u_{F_f}} K_{F_f}$$

Składowa odporowa:

$$F_p = C_{F_p} a^{e_{F_p}} f^{u_{F_p}} K_{F_p}$$

Rys. 2.1 Rozkład sił przy toczeniu walcowym

gdzie:

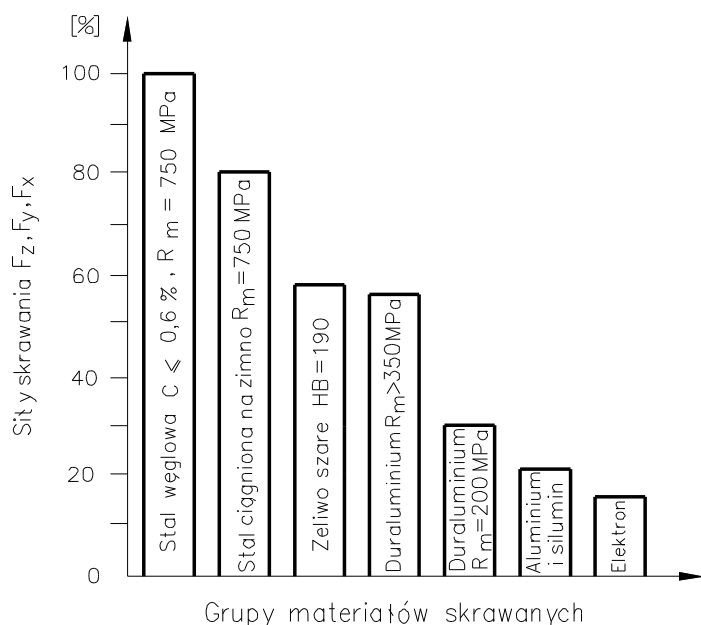
- $C_{F_c}, C_{F_f}, C_{F_p}$  - stałe zależne od warunków obróbki wyznaczone doświadczalnie,  
 $e, u$  - wykładniki potęgowe,  
 $K_{F_c}, K_{F_f}, K_{F_p}$  - współczynniki uwzględniające wpływ:
- właściwości materiału obrabianego,
  - parametrów skrawania nie ujętych we wzorze,
  - geometrii ostrza z uwzględnieniem zużycia,
  - cieczy chłodząco-smarującej, etc.

Teoretyczne wyznaczenie oporów skrawania nastrocza wiele trudności. Dlatego stosowane są powszechnie zależności empirycznie - statystyczne, w których stałe  $C$ , współczynniki  $K$  oraz wykładniki potęgowe wyznaczone są doświadczalnie. Powszechnie stosowane są następujące zależności do obliczania sił skrawania:



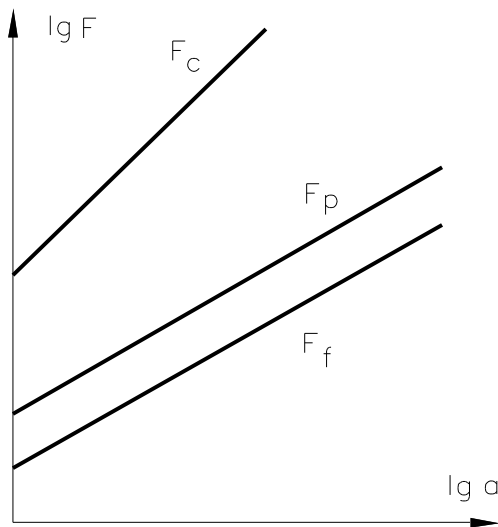
Przy pełnej zgodności warunków obróbki z doświadczeniem, w którym wyznaczono stałe C wszystkie współczynniki  $K=1$ .

Materiał obrabiany wywiera znaczący i bardzo złożony wpływ na wielkość sił skrawania. Wielkość tych sił zależy od składu chemicznego, struktury, mechanicznych i fizycznych właściwości materiału. Skrawalność danego materiału uwarunkowana jest zastosowanymi procesami hutniczymi, przeróbką plastyczną i warunkami obróbki cieplno-chemicznej. Na rys. 2 przedstawiono orientacyjnie wpływ rodzaju i właściwości materiału obrabianego na opór skrawania przy toczeniu. Dla materiałów wiązkich na wielkość sił ma wpływ wytrzymałość materiału na rozciąganie, a przy skrawaniu materiałów kruchych decyduje ich twardość.

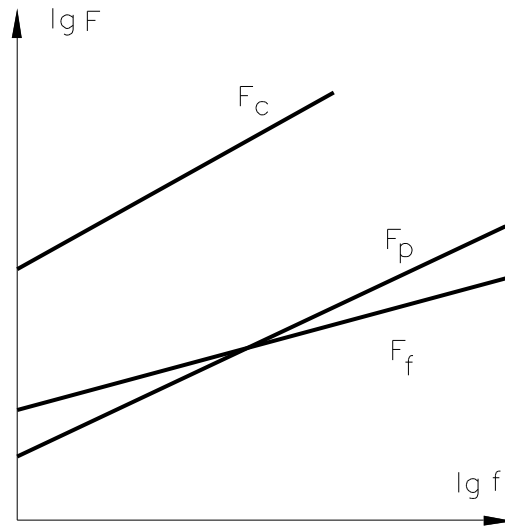


Rys. 2.2 Względny stosunek wartości oporów skrawania przy toczeniu różnych grup materiałów nożami ze stali szybko tnącej

Na rysunkach 2.3, 2.4 i 2.5 przedstawiono wpływ parametrów skrawania na przebieg sił przy toczeniu. Przy zachowaniu stałego przekroju poprzecznego warstwy skrawanej  $A_D = a_p \cdot f$ , największy wpływ na wartość sił skrawania wywiera głębokość skrawania (rys. 3), a następnie posuw rys. 4.

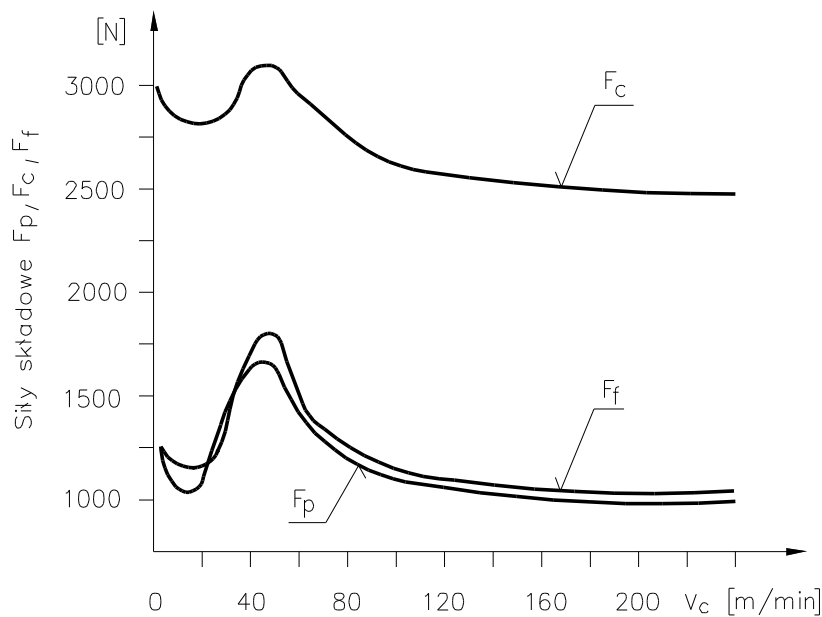


Rys. 2.3 Wpływ głębokości skrawania na przebieg składowych sił przy toczeniu



Rys. 2.4 Wpływ posuwu na przebieg składowych sił przy toczeniu

Posuw jak i głębokość skrawania wpływają bezpośrednio na przekrój poprzeczny warstwy skrawanej, jednakże ich wpływ na siły skrawania nie jest jednakowy. Wzrost głębokości skrawania powoduje wzrost długości czynnej krawędzi skrawającej, proporcjonalny wzrost tarcia wewnętrznego i zewnętrznego i w efekcie proporcjonalny wzrost sił skrawania. Wzrost posuwu powoduje, co prawda wzrost objętości, w której zachodzi deformacja plastyczna, ale intensywność tej deformacji nie jest jednakowa i maleje od krawędzi skrawającej w kierunku zewnętrznej granicy odkształceń plastycznych materiału, patrz rys. 1.1, ćwiczenie 1 „Badanie powstawania wióra”.



Rys. 2.5 Wpływ prędkości skrawania  $v_c$  na składowe siły skrawania przy toczeniu



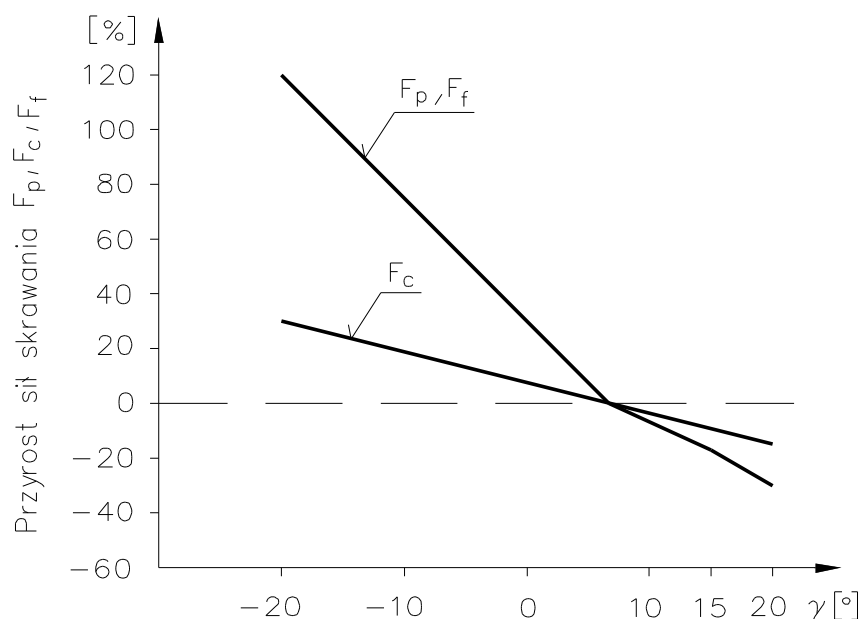
Na rys. 2.5 przedstawiono wpływ prędkości skrawania na przebieg sił przy toczeniu. Wpływ prędkości skrawania wiąże się z wpływem prędkości odkształcenia na zachowanie się materiału obrabianego i zjawiska powstawania narostu. W zakresie prędkości związanych z powstawaniem narostu, zmieniającego geometrię ostrza a co za tym idzie warunki spęcznienia wióra i tarcia, można zaobserwować minima i maksima wszystkich trzech sił składowych  $F_c$ ,  $F_f$ ,  $F_p$ . Wahania wartości sił w tym obszarze dochodzą do 30%.

Z chwilą zaniku narostu (zmniejszenie rzeczywistego kąta narostu) następuje wzrost sił skrawania spowodowany zwiększeniem się współczynnika tarcia zewnętrznego. Po przekroczeniu pewnej prędkości skrawania (określonej dla danego materiału) opór skrawania maleje z powodu zmniejszenia się współczynnika tarcia pod wpływem wzrastającej temperatury. Powyżej prędkości krytycznej opór skrawania ustala się, siły nie ulegają zmianie.

Na rys. 2.6÷2.9 przedstawiono wpływ zmian geometrii ostrza na przebieg sił skrawania przy toczeniu.

Wpływ kąta natarcia  $\gamma$  na opory skrawania (rys. 2.6) przejawia się przede wszystkim zmianami:

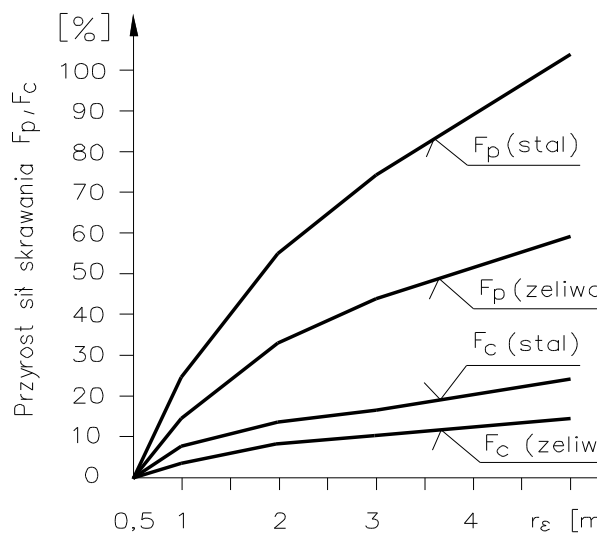
- odkształceń plastycznych,
- rozkładu nacisków na powierzchni natarcia i przyłożenia,
- stanu napięcia w warstwie skrawanej,
- temperatury,
- oporów tarcia.



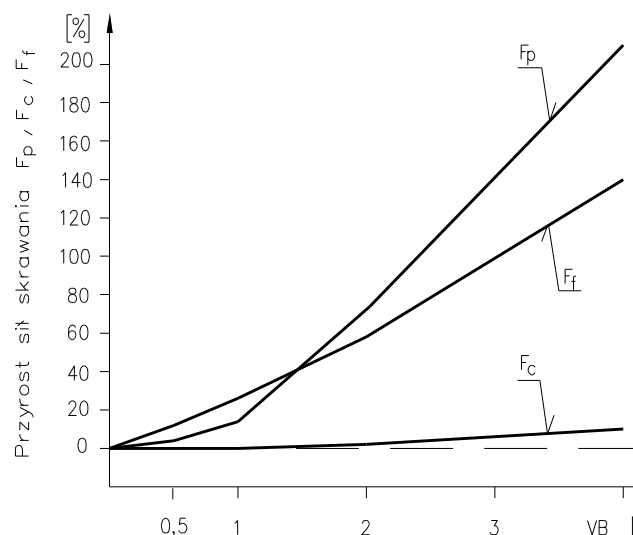
Rys. 2.6 Wpływ kąta natarcia  $\gamma$  na przyrost składowych sił skrawania



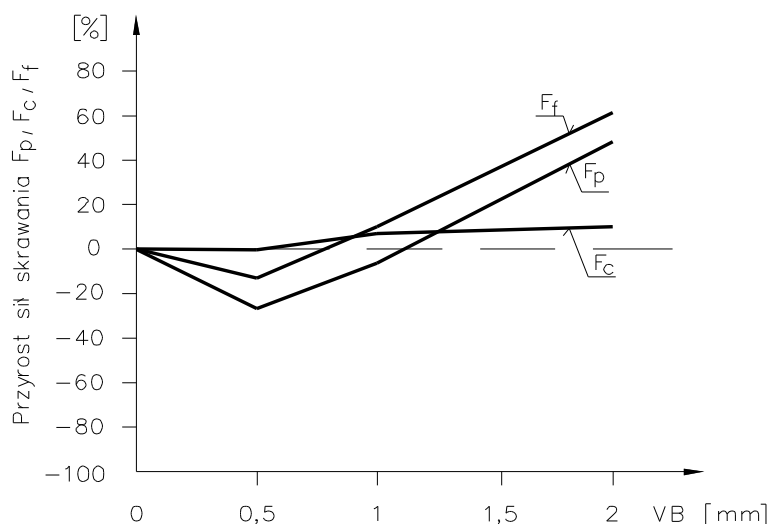
Wpływ zmiany promienia zaokrąglenia naroża na siły skrawania pokazano na rys. 2.7. Przy wzroście promienia zaokrąglenia naroża wzrasta długość głównej czynnej krawędzi skrawającej  $S_a$ , co pociąga za sobą wzrost odkształceń w warstwie skrawanej oraz oporów tarcia i nacisków jakie występują przy zmianie krzywizny wierzchołkowej części krawędzi ostrza. Zwiększenie promienia zaokrąglenia naroża od wartości 0,5 do 5 mm wywołuje przyrost siły  $F_p$  o ponad 100%.



Rys. 2.7 Wpływ zmiany promienia naroża  $r_\epsilon$  na składowe siły skrawania



Rys. 2.8 Wpływ zużycia powierzchni przyłożenia na przyrost sił skrawania przy toczeniu żeliwa nożami ze stali szybko tnącej

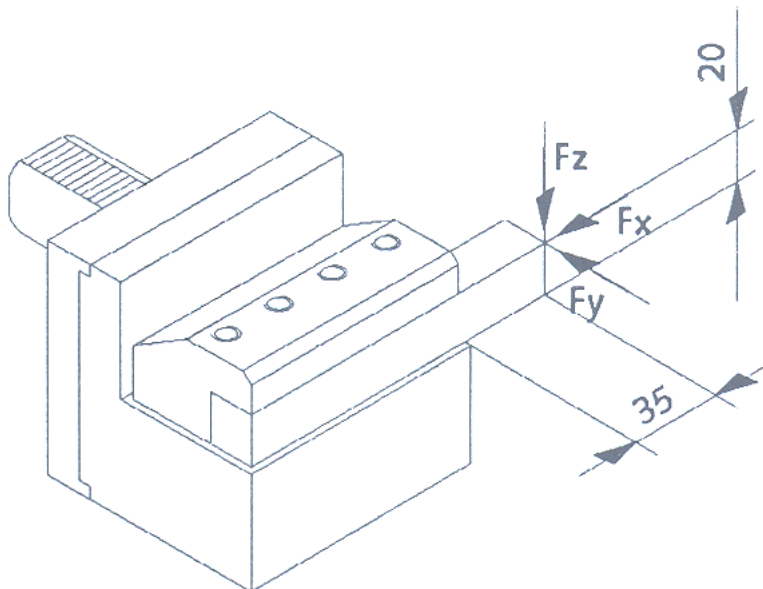


Rys. 2.9 Wpływ zużycia powierzchni przyłożenia na przyrost sił skrawania przy toczeniu stali i staliwa nożami ze stali szybko tnącej



Na rysunkach 2.8 i 2.9 pokazano wpływ zużycia ostrza na przyrost sił skrawania w zależności od materiału obrabianego. Przyczyną różnic wpływu zużycia ostrza na wielkość sił przy toczeniu w zależności od obrabianego materiału jest inny przebieg zużycia narzędzia. Przy toczeniu żeliwa zużycie powierzchni przyłożenia odbywa się bez równo-czesnego zużycia powierzchni natarcia. Natomiast przy toczeniu stali i staliwa następuje jednocześnie zużywanie się powierzchni natarcia i przyłożenia. W początkowym okresie zużycia powierzchni natarcia tworzy się nowy większy kąt natarcia  $\gamma$  co powoduje zmniejszenie oporów skrawania a zwłaszcza składowych  $F_c$  i  $F_f$ .

### 2.2.1 Opis stanowiska do pomiaru sił skrawania



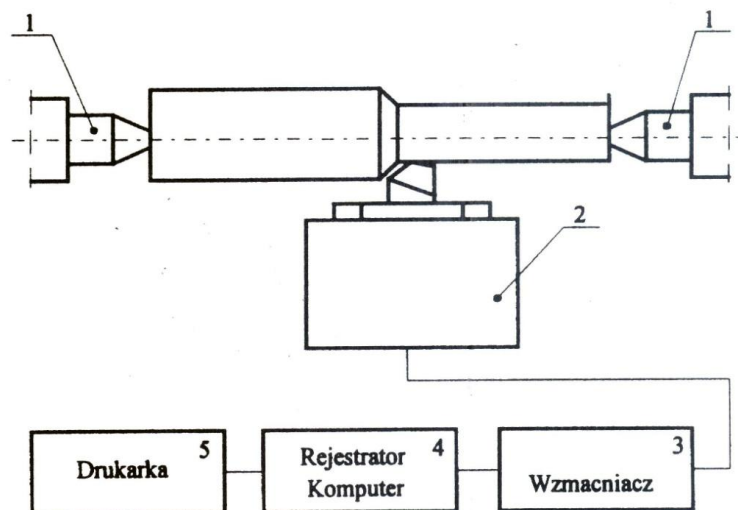
Rys.2.10 Rozkład składowych sił skrawania oraz wymiar wysunięcia oprawki noża na tle siłomierza typ 9121

Zgodnie z rys 2.1 składowa  $F_z$  odpowiada składowej obwodowej  $F_c$ . Składowa  $F_x$  odpowiada składowej odporowej  $F_p$  natomiast składowa  $F_y$  odpowiada składowej posuwowej  $F_f$ .



Rys. 2.11 Widok ogólny stanowiska badawczego do pomiaru składowych siły skrawania podczas toczenia.

W celu dokonania pomiarów składowych sił skrawania podczas toczenia należy sprawdzić poprawność podłączenia całego toru pomiarowego zgodnie ze schematem blokowym stanowiska przedstawionym na rys.2.12



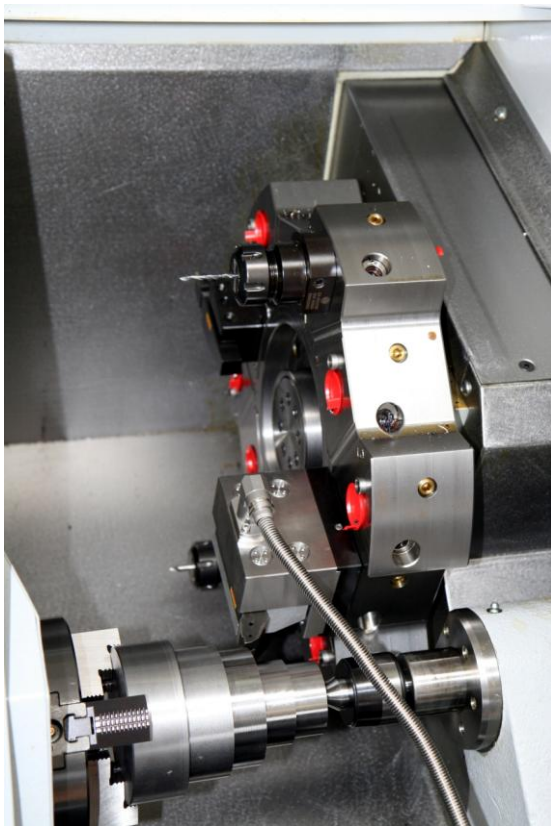
Rys.2.12 Schemat blokowy stanowiska do pomiaru i rejestracji trzech składowych sił skrawania podczas toczenia.



**Politechnika Łódzka**  
**Instytut Obrabiarek i TBM (I-8)**  
**Zakład Obróbki Skrawaniem i Narzędzi**

Siły skrawania są rejestrowane na stanowisku badawczym, którego głównym składnikiem jest tokarka sterowana numerycznie SL 10 firmy HAAS (1). Tor pomiarowy składa się z siłomierza Kistler typ 9121–(2) wzmacniacza Kistler typ 5070A (3) oraz rejestratora w postaci karty przetwornika AC dla szyny PCI typ 2855A4 zamontowanej w komputerze klasy PC (4) oraz drukarki (5).

Widok przestrzeni roboczej tokarki HAAS przedstawionej na schemacie blokowym w pozycji 1 oraz trój-składowy siłomierz (pozycja 2) zostały zaprezentowane na rys. 2.13.



Rys. 2.13 Widok przestrzeni roboczej tokarki SL10 firmy HAAS wraz z siłomierzem Kistler typ 9121

W celu poprawnego zarejestrowania poziomów sił należy sprawdzić czy wzmacniacz ma poprawnie wprowadzone parametry tj. sensivity (czułość), measuring range (zakres pomiarowy) dla wszystkich kanałów pomiarowych zgodnie z kartą kalibracji dostarczoną przez firmę Kistler zaprezentowaną na rys. 2.14.



## Messergebnisse Results of Measurement

Kalibrierter Bereich Calibrated Range kN	Empfindlichkeit Sensitivity pC / N	Linearität Linearity $\leq \pm$ %FSO	Übersprechen Cross talk %		%
$F_x$ 0 ... 3	-7,929	0,01	$F_x \rightarrow F_y$ 0,7	$F_x \rightarrow F_z$	0,7
$F_x$ 0 ... 0,3	-7,926	0,08	$F_x \rightarrow F_y$ 0,7	$F_x \rightarrow F_z$	1,0
$F_y$ 0 ... 3	-7,860	0,03	$F_y \rightarrow F_x$ 0,4	$F_y \rightarrow F_z$	0,7
$F_y$ 0 ... 0,3	-7,869	0,14	$F_y \rightarrow F_x$ 0,1	$F_y \rightarrow F_z$	1,1
$F_z$ 0 ... 6	-3,849	0,17	$F_z \rightarrow F_x$ -0,9	$F_z \rightarrow F_y$	0,7
$F_z$ 0 ... 0,6	-3,828	0,07	$F_z \rightarrow F_x$ -0,7	$F_z \rightarrow F_y$	0,7

Rys. 2.14 Karta kalibracyjna siłomierza typ 9121

**Uwaga:** Zakres pomiarowy kanału siły  $F_z$  powinien mieć wartość 3000N. W celu poprawy jakości zbieranych przebiegów sił zaleca się włączyć filtr dolnoprzepustowy (low-pass filter) na wartość 100 Hz dla każdego z kanałów. Widok ogólny wzmacniacz Kistler typ 5070A10100 przedstawiono na rys.2.15.



Rys. 2.15 Widok wzmacniacza Kistler typ 5070A10100

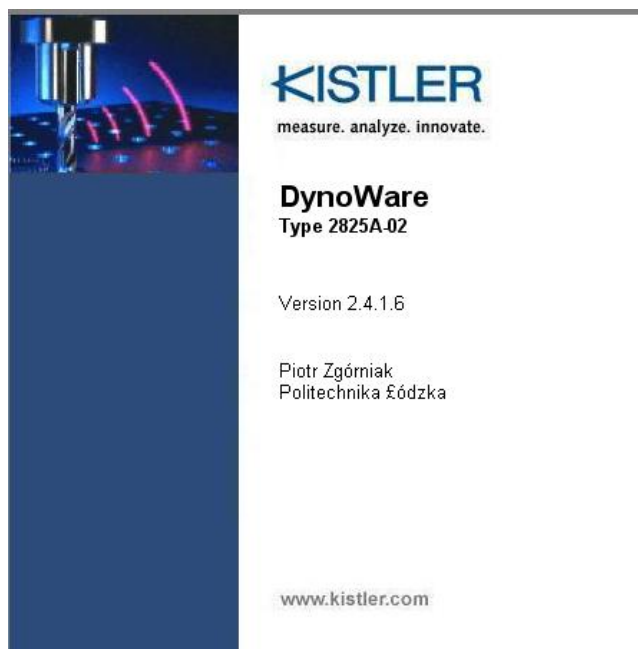
Do analizy przebiegów sił podczas procesu toczenia zastosowano specjalistyczne oprogramowanie DynoWare firmy Kistler. Aby uruchomić oprogramowanie niezbędne jest umieszczenie w porcie USB komputera PC klucza sprzętowego.

W celu uporządkowania danych zbieranych podczas rejestracji sił skrawania należy stworzyć katalog na Pulpicie odpowiadający dacie wykonywania ćwiczeń np. 15\_03\_2011. Następnie tworzyć podkatalogi z nazwą grupy ćwiczeniowej np. grupa\_A.

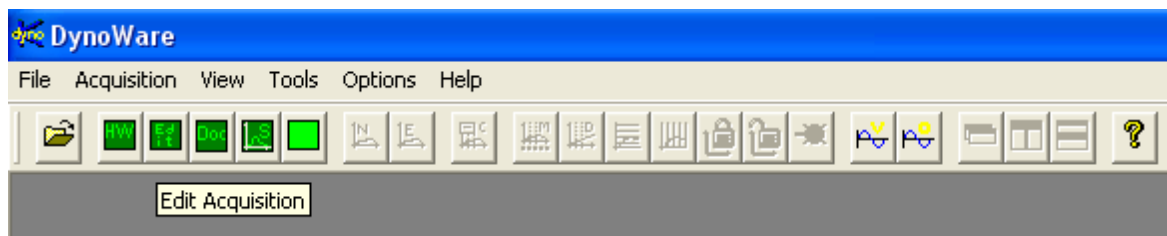


**Politechnika Łódzka**  
**Instytut Obrabiarek i TBM (I-8)**  
**Zakład Obróbki Skrawaniem i Narzędzi**

W celu uruchomienia programu DynoWare należy kliknąć w ikonę umieszczoną na Pulpicie przedstawioną na Rys. 2.16

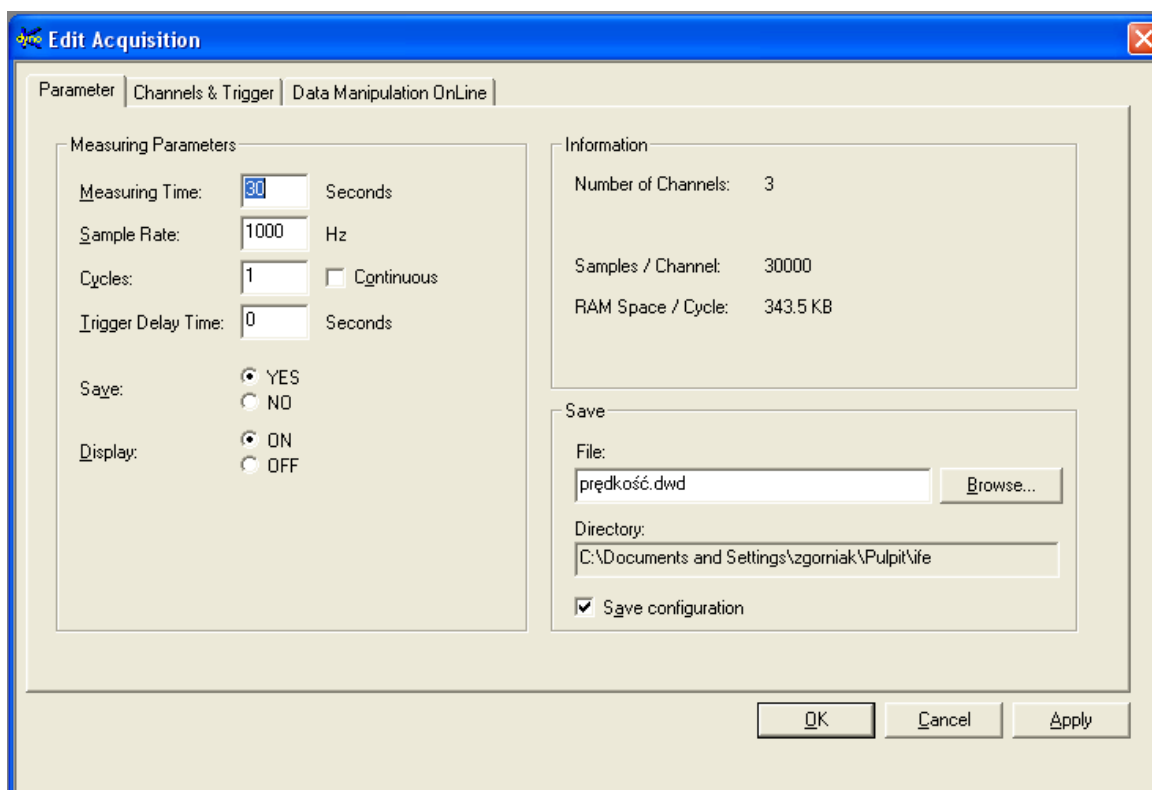


Rys. 2.16 Ikona uruchamiająca program do akwizycji danych pomiarowych oraz ekran startowy programu



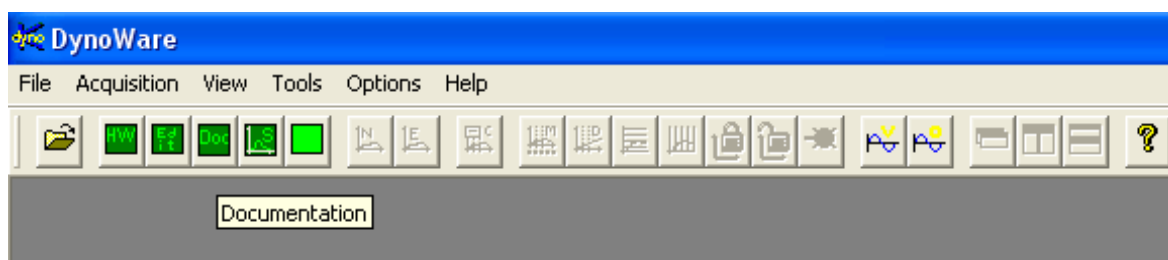
Rys. 2.17 Widok paska narzędzi interfejsu graficznego programu DynoWare

Przed przystąpieniem do zapisu danych pomiarowych na dysk komputera należy wprowadzić niezbędne informacje dotyczące miejsca zapisu pliku, czasu próby, częstotliwości próbkowania oraz wyboru do zapisu określonych kanałów pomiarowych. W tym celu klikamy na przycisk umieszczony w pasku narzędzi o nazwie *Edit*. W wyniku tej operacji otwiera nam się okno, w którym można wprowadzić odpowiednie nastawy w zależności od realizowanego zadania pomiarowego. Widok okna został przedstawiony na rys.2.18.



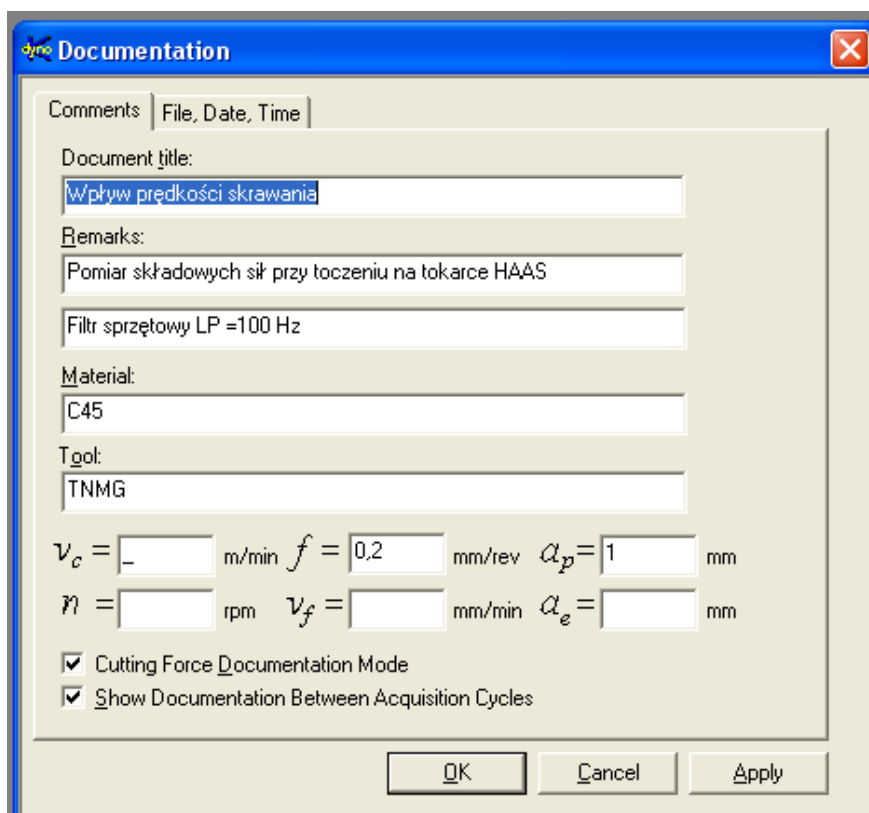
Rys.2.18 Okno Edit Acquisition (Edycja ustawień akwizycji danych)

Kolejnym krokiem jest wprowadzenie informacji o wykonywanym eksperymencie. W tym celu klikamy na przycisk *Doc*. W wyniku tej operacji otwiera nam się kolejne okno, w którym wpisujemy dane dotyczące warunków skrawania.



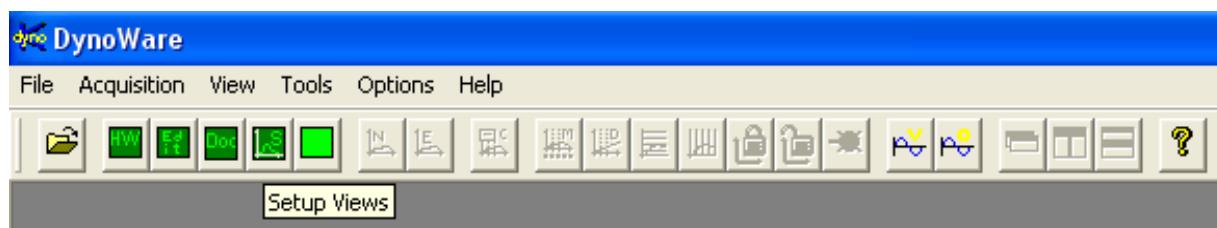
Rys. 2.19 Widok paska narzędzi interfejsu graficznego programu DynoWare podczas wyboru opcji *Documentation*.

Przykładowe dane zostały przedstawione na rys. 2.20.



Rys. 2.20 Widok okna *Documentation* z przykładowymi danymi

Przycisk z symbolem S służy do skonfigurowania interfejsu programu akwizycji danych. Umożliwia nam wyświetlanie wartości numerycznych uzyskanych na różnych kanałach pomiarowych oraz reprezentacji graficznych w postaci wykresów. Ponieważ nie ma konieczności konfiguracji widoków za każdym razem, procedura w tym przypadku została pominięta.

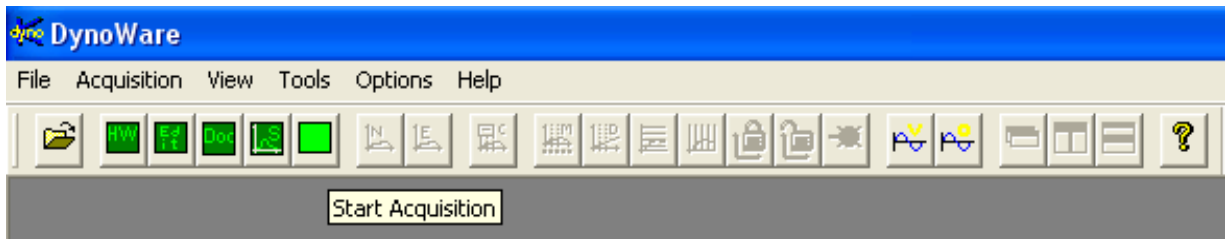


Rys. 2.21 Przycisk Setup Views (Ustawienie widoków) umieszczony na pasku narzędzi interfejsu graficznego programu DynoWare



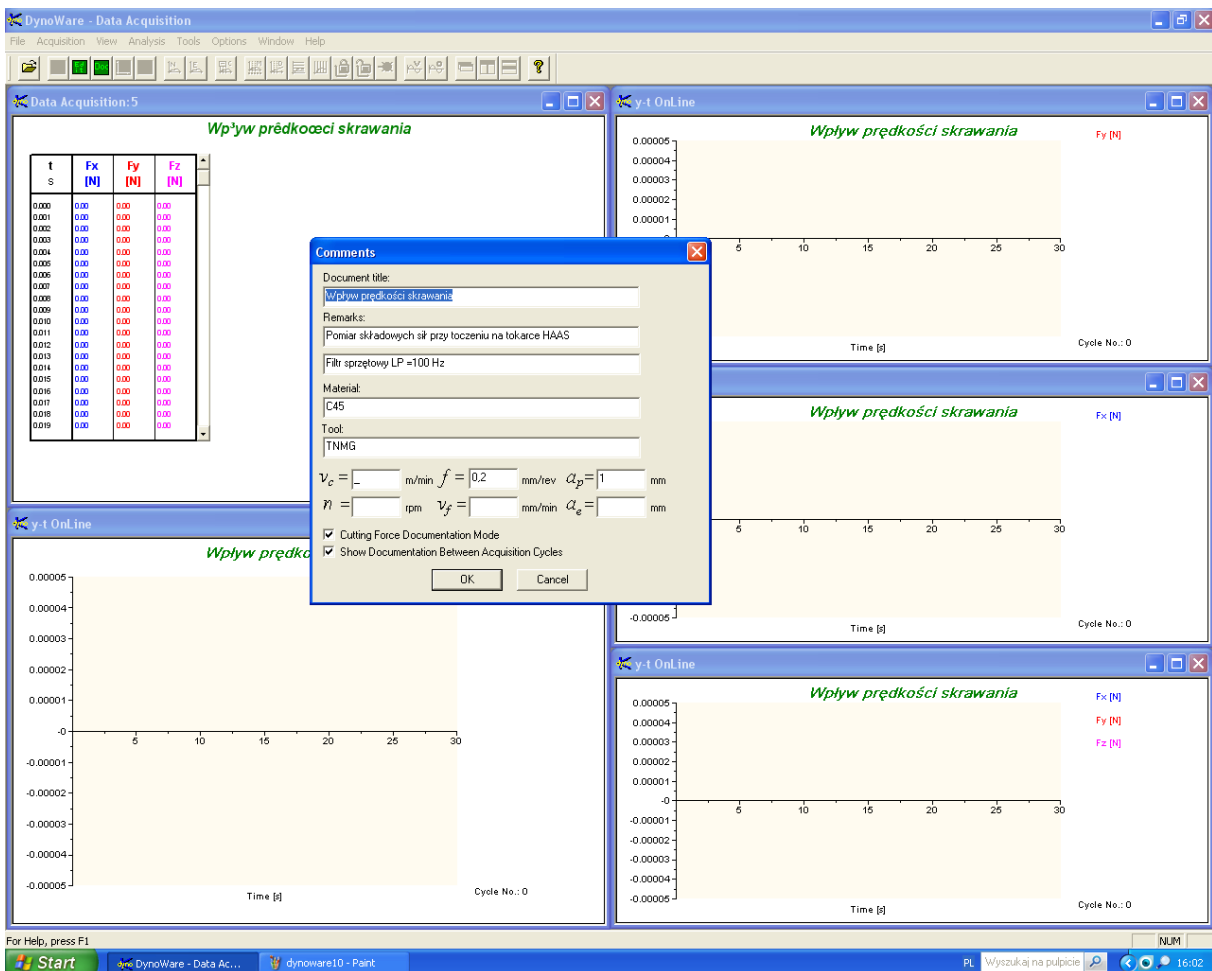
**Politechnika Łódzka**  
**Instytut Obrabiarek i TBM (I-8)**  
**Zakład Obróbki Skrawaniem i Narzędzi**

Start akwizycji danych dokonujemy poprzez kliknięcie w przycisk z symbolem zielonego kwadratu którego widok przedstawiono na rys.2.22.



Rys. 2.22 Widok przycisku Start Acquisition służącego do rozpoczęcia zapisu danych pomiarowych na dysk

Po tej operacji pojawia nam się skonfigurowany układ widoków oraz okno, w którym po sprawdzeniu poprawności wprowadzonych informacji klikamy przycisk OK.



Rys.2.23 Widok interfejsu programu przygotowanego do akwizycji danych.

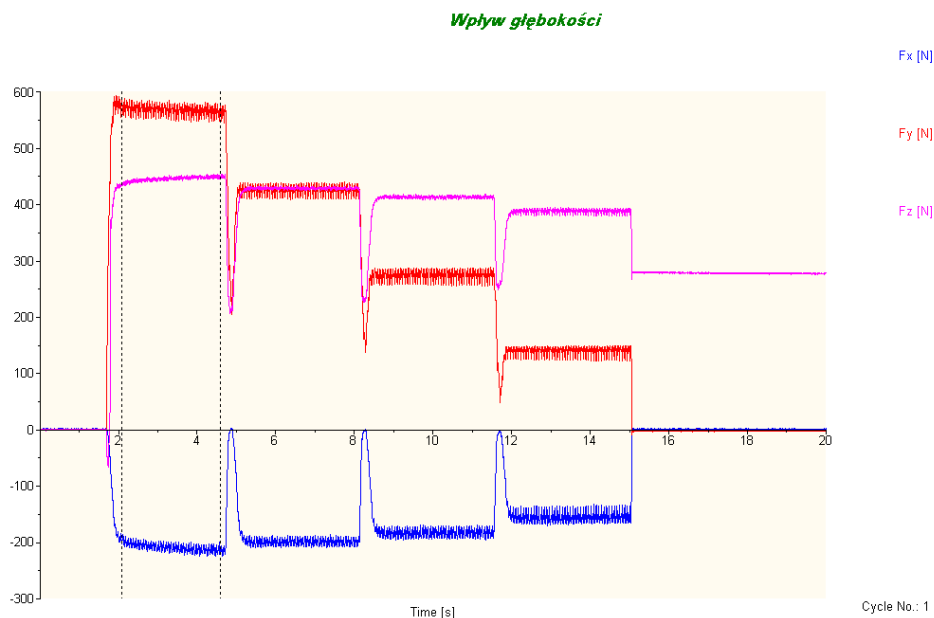


W wyniku tej operacji pojawia nam się kolejne okno, którego widok przedstawiono na rys. 2.24. Po kliknięciu przycisku GO następuje start rejestracji danych pomiarowych.



Rys. 2.24 Okno startu akwizycji danych

Przykładowy wykres przedstawiający zależność składowych siły skrawania od głębokości przedstawiono na rys. 2.25.



Rys.2.25 Zależność składowych sił skrawania od głębokości skrawania

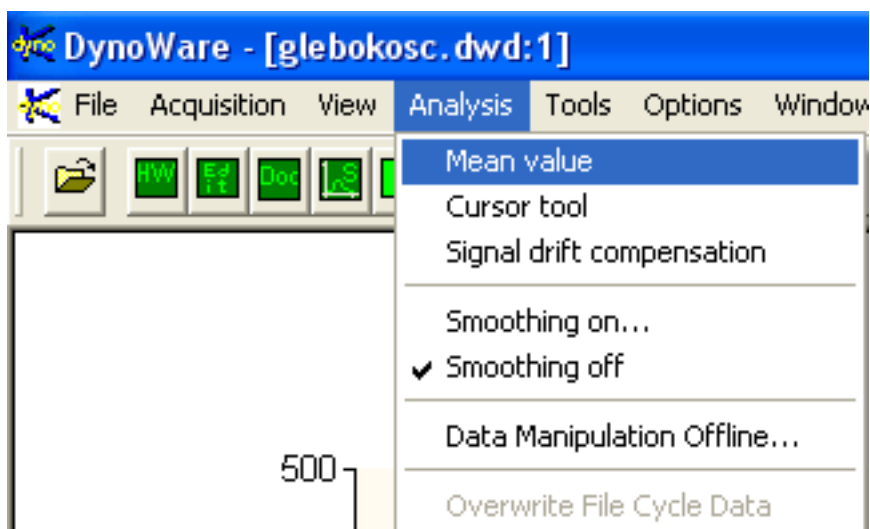


W celu określenia wartości średniej należy w odpowiedni sposób umiejscowić znaczniki reprezentowane na rysunku przez dwie linie kreskowe dla poszczególnych stopni odpowiadających różnym głębokościom skrawania.

Ze względów technicznych program sterujący ruchami noża tokarskiego na obrabiarce CNC został tak napisany, że skrawanie rozpoczyna się od największego poziomu głębokości skrawania  $a_{p4}=2$  mm następnie głębokość jest zmniejszana o wartość 0,5 mm aż do wartości  $a_{p1}=0,5$  mm.

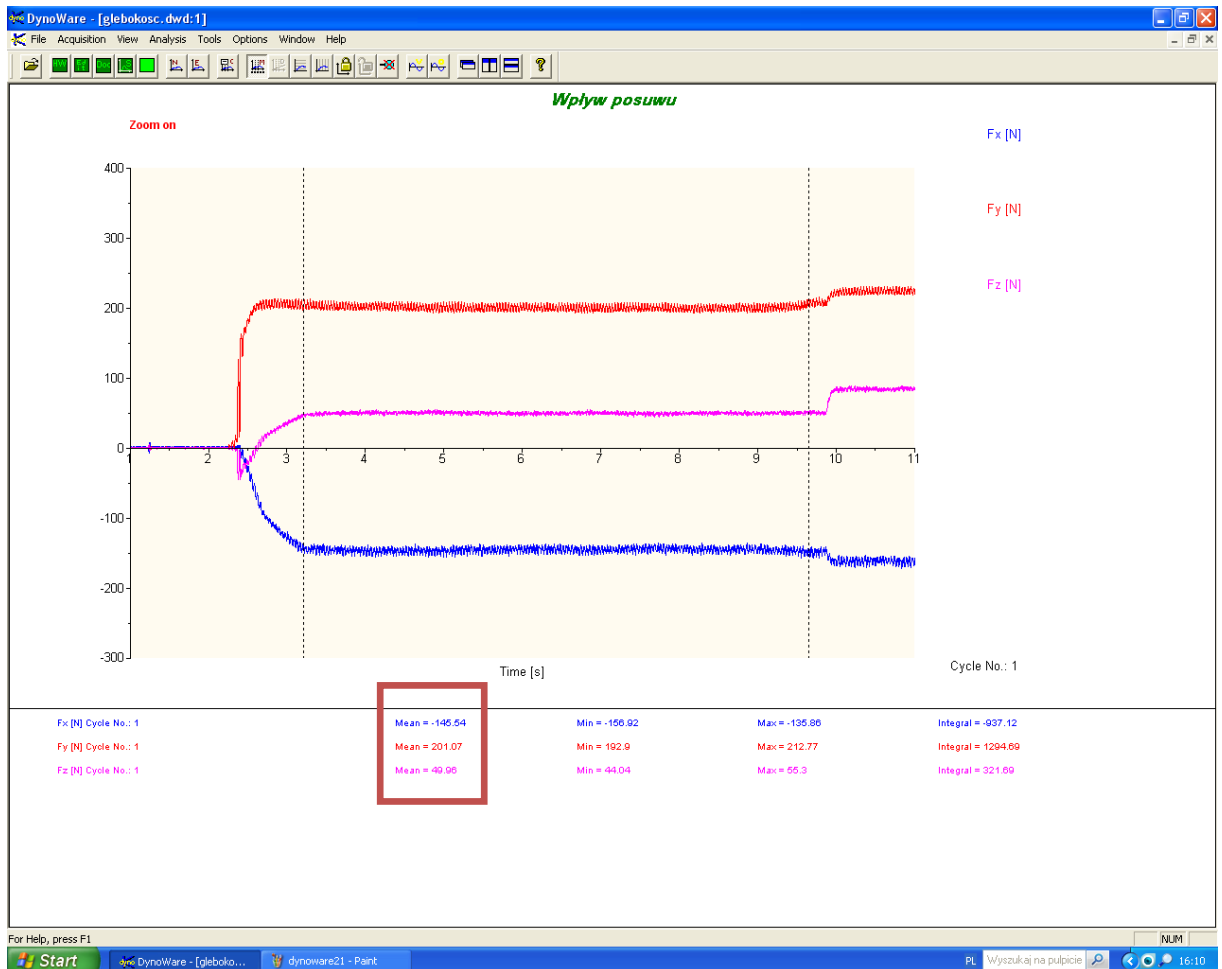
W przypadku składowej  $F_x$  na wykresach końcowych opracowywanych przez studentów należy przyjąć wartość bezwzględną. Znak minus mówi nam tylko, że siły działają przeciwnie do kierunku przyjętego w układzie współrzędnych siłomierza. Brak uwzględnienia tego faktu mógłby wprowadzać pewne nieścisłości i mógłby być przyczyną wyciągnięcia błędnych wniosków końcowych dotyczących wpływu parametrów skrawania na wartość składowych sił.

W celu dokonania odczytu wartości średnich poziomów sił dla poszczególnych składowych należy uruchomić menu Analysis >Mean value.



Rys. 2.26 Widok menu Analysis programu DynoWare

W jej wyniku pojawiają nam się znaczniki w postaci przerywanych linii, których położenie można zmieniać. Wartości sił średnich dla odpowiedniego zakresu danych między znacznikami odczytujemy w dolnej części wykresu. Przykładowe wyniki uzyskane przy badaniu wpływu posuwu na składowe siły skrawania zostały zaprezentowane na rys. 2.27.



Rys.2.27 Widok wykresu zależności składowych sił skrawania wraz z wartościami siły średniej dla poszczególnych składowych.

### 2.3 Przebieg ćwiczenia

W celu poprawnego wykonania sprawozdania studenci mają za zadanie wypełnić Tabele 1, 2 i 3. Na ich podstawie wykonać wykresy oraz sformułować wnioski zgodnie z zadaniem 4. Ponadto studenci powinni posiadać przenośne urządzenie do archiwizacji danych typu „Pendrive” w celu zapisania plików graficznych obrazujących uzyskane wyniki. Przykład pliku do zapisu i umieszczenia w sprawozdaniu na rys. 2.27.



## **LABORATORIUM OBRÓBKA UBYTKOWA**

Ćwiczenie: Pomiar sił skrawania podczas toczenia

Grupa:	
Dzień tygodnia:	
Godzina rozpoczęcia zajęć:	
Data:	
Prowadzący:	

Lista studentów uczestniczących w ćwiczeniu:

1		7	
2		8	
3		9	
4		10	
5		11	
6		12	



### Zadanie 1

Wyznaczyć średnie wartości składowych siły skrawania w przypadku zmiany wartości posuwu i wpisać je do Tabeli 1. Zalecane parametry skrawania zostały przedstawione w Tabeli 1. W przypadku przyjęcia innych parametrów stałych należy je wpisać poniżej wartości zalecanych.

Tabela 1

Parametry stałe	$V_{c2} = 300$ m/min	$a_{p3} = 1$ mm	
Składowe siły skrawania	$F_x$ [N]	$F_y$ [N]	$F_z$ [N]
$f_{n1} = 0,05$ mm/obr			
$f_{n2} = 0,1$ mm/obr			
$f_{n3} = 0,2$ mm/obr			
$f_{n4} = 0,3$ mm/obr			

### Zadanie 2

Wyznaczyć średnie wartości składowych siły skrawania w przypadku zmiany wartości prędkości skrawania i wpisać je do Tabeli 2. Zalecane parametry skrawania zostały przedstawione w Tabeli 2. W przypadku przyjęcia innych parametrów stałych należy je wpisać poniżej wartości zalecanych.

Tabela 2

Parametry stałe	$f_3 = 0,2$ mm/obr.	Głębokość $a_3 = 1$ mm	
	$F_x$ [N]	$F_y$ [N]	$F_z$ [N]
$V_1 = 100$ m/min.			
$V_2 = 200$ m/min.			
$V_3 = 300$ m/min.			
$V_4 = 400$ m/min.			



### Zadanie 3.

Wyznaczyć średnią wartość trzech składowych sił skrawania w przypadku zmiany głębokości skrawania i wpisać je do Tabeli 3. Zalecane parametry skrawania zostały przedstawione w Tabeli 3. W przypadku przyjęcia innych parametrów stałych należy je wpisać poniżej wartości zalecanych.

Tabela 3

Parametry stałe	$V_c = 200$ m/min.	$f_n = 0,2$ mm /obr.	
	$F_x$ [N]	$F_y$ [N]	$F_z$ [N]
$a_{p1} = 0,5$			
$a_{p2} = 1,0$			
$a_{p3} = 1,5$			
$a_{p4} = 2,0$			

### Zadanie 4.

Na podstawie uzyskanych wyników wykonać następujące wykresy:

- zależności składowych sił skrawania od posuwu w skali podwójnie logarytmicznej
- zależności składowych sił skrawania od prędkości skrawania
- sił skrawania od głębokości skrawania w skali podwójnie logarytmicznej

Porównać uzyskane wyniki z zależnościami teoretycznymi i sformułować wnioski końcowe.