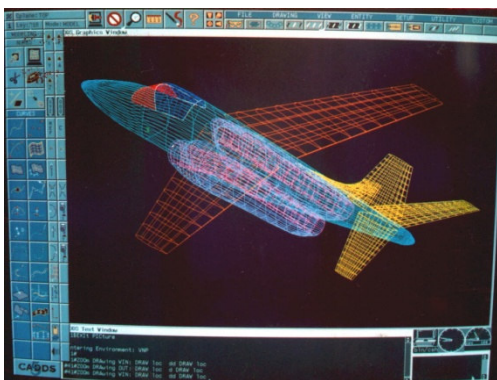




## POLSKIE ZAKŁADY LOTNICZE

**Włodzimierz Adamski**

**Wykorzystanie techniki High Speed Machining przy produkcji części samolotu DREAMLINER Boeing 787**

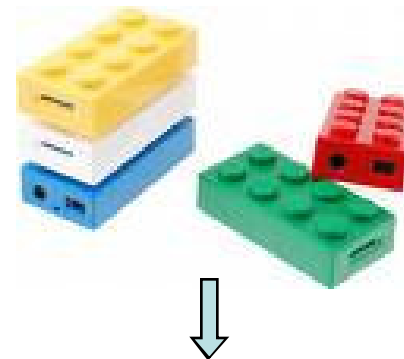


*VII Forum „ProCax” Podlesice  
13-16 Listopada **2008***

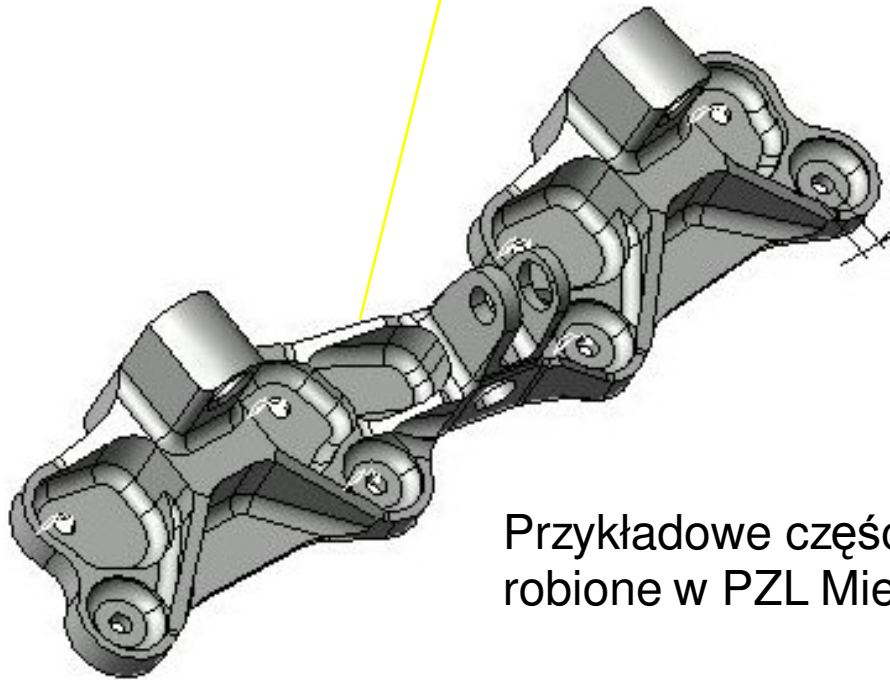
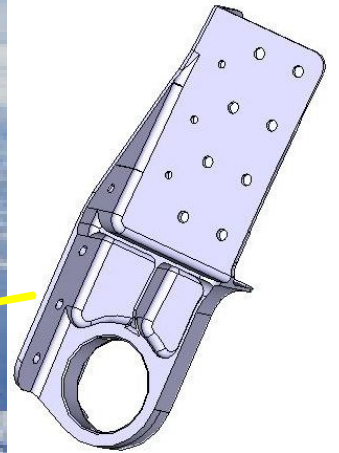
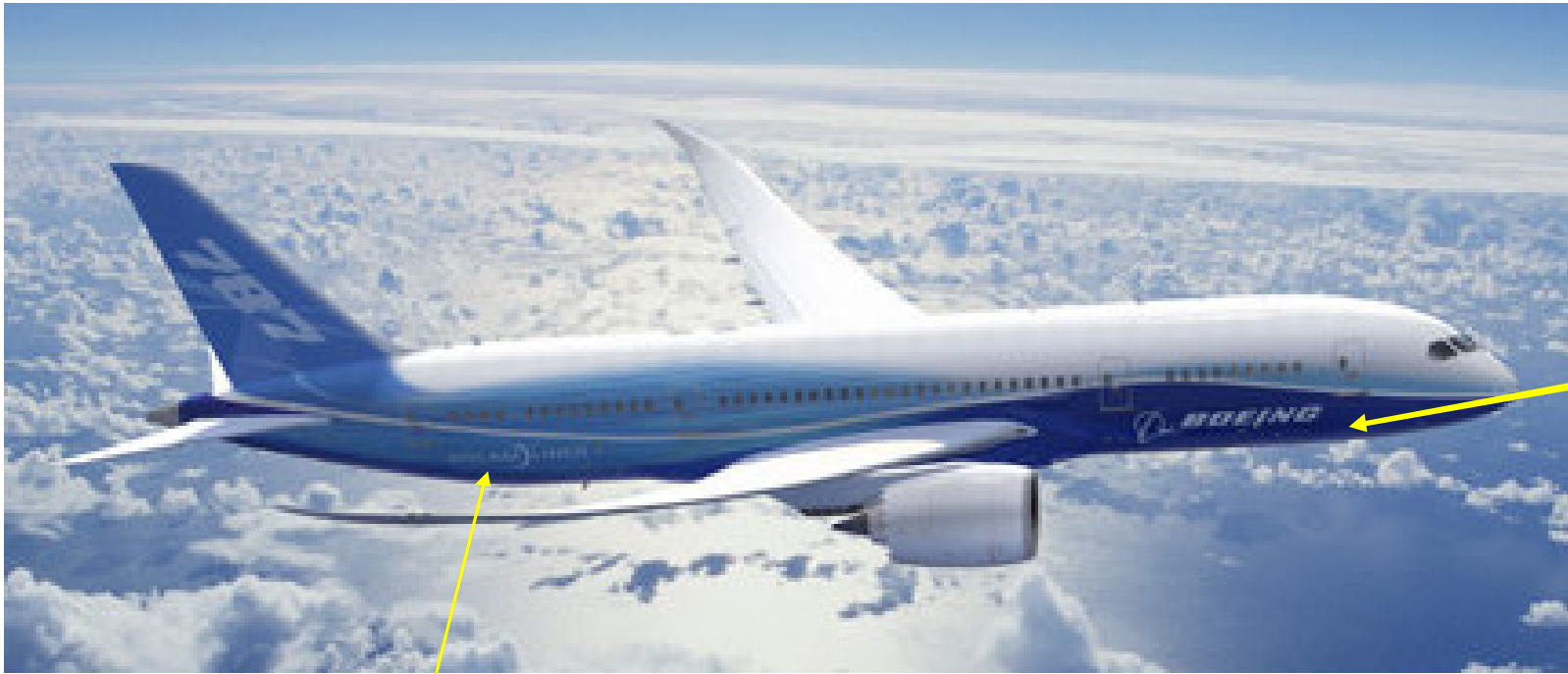


# Agenda

- Wstęp
- Narzędzia skrawające a ekonomika produkcji
- **HSM** stosowany w Sikorsky i Boeing
- Przykłady z przemysłu lotniczego
- Dlaczego warto stosować **HSM**
- Dlaczego High Speed Machining?
- Chatter drgania własne
- Optymalne prędkości wrzeciona
- Krzywe „workowe”
- Pomiar w PZL Mielec
- Efekty ze stosowania HSM w PZL Mielec
- Jak dobrać narzędzia aby uzyskać jak największą wydajność
- Wykorzystanie software’u na CNC dla zwiększenia wydajności
- Efekty ze stosowania HSM w SIKORSKY AC
- Dodatkowe inne metody optymalizacji
  - Przykłady PZL Mielec i SAAB
- Metoda: Imadło → Ramka → Przyrząd
- Mapowanie Procesu
- Obieg i wykorzystanie modeli CAD/CAM
- Sieć DNC przy obróbce **HSM**
- Wirtualna obróbka - unikanie kolizji



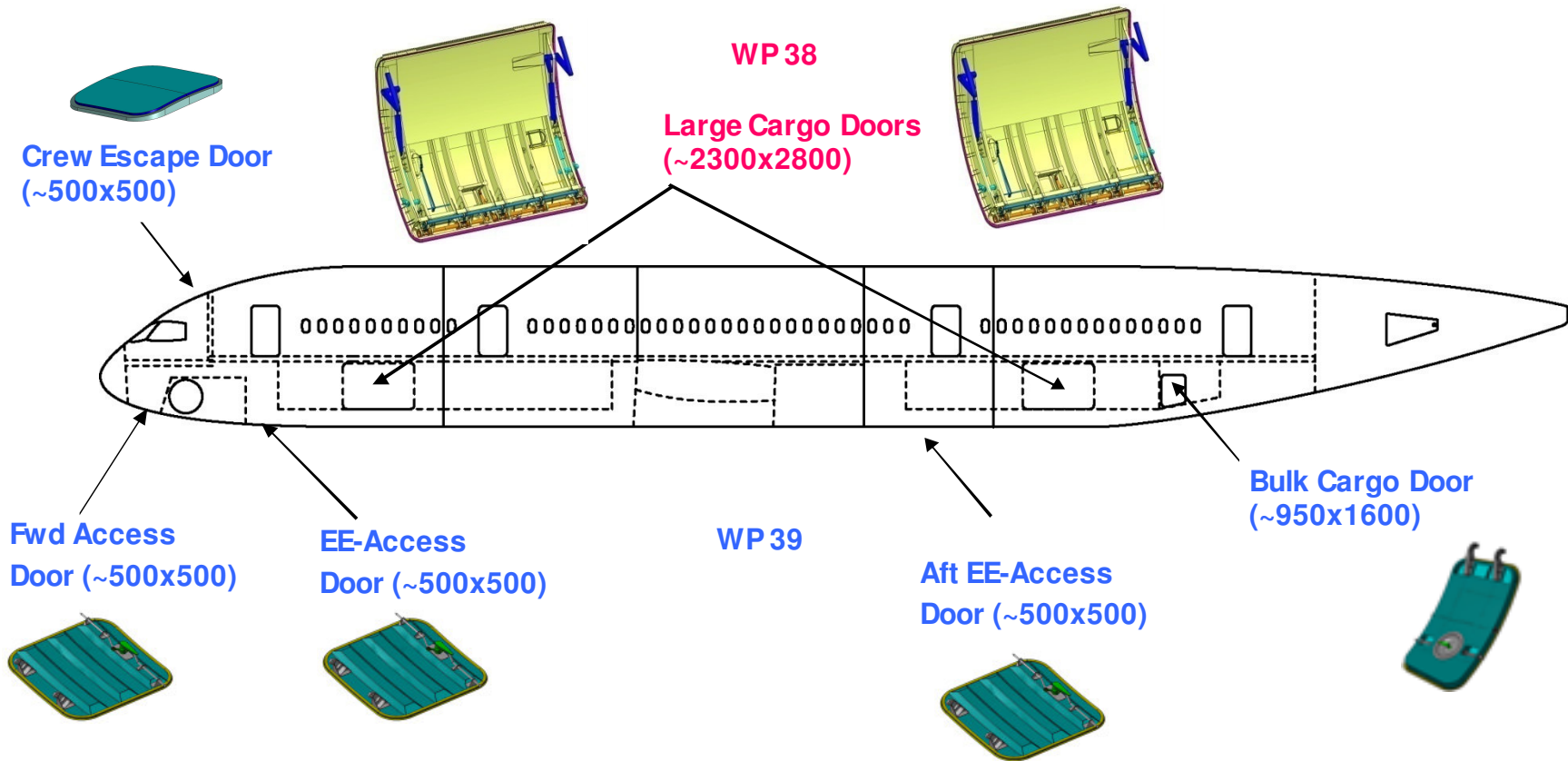




Przykładowe części  
robione w PZL Mielec



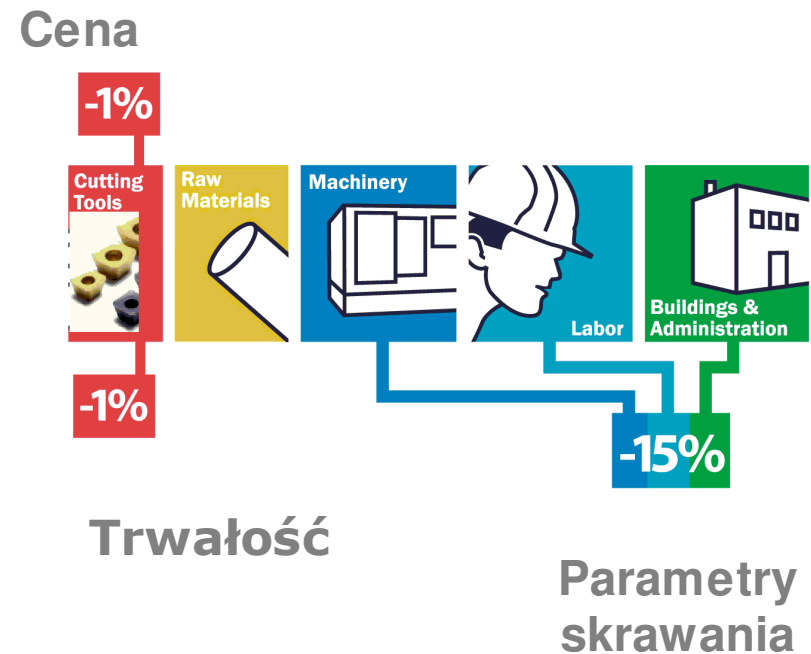
# Boeing 787 Dreamliner





# Jak narzędzia skrawające mogą w znaczny sposób wpłynąć na ekonomikę produkcji ?

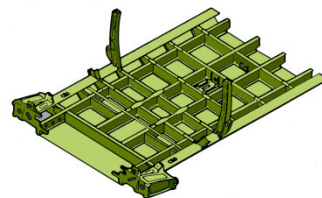
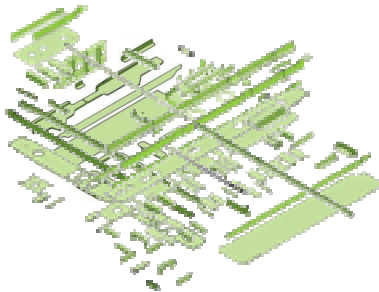
- **30% obniżki ceny narzędzia** redukuje koszt elementu o **1%**
- **50% wzrost trwałości ostrza** redukuje koszt elementu o **1%**
- **20% wzrost parametrów skrawania** redukuje koszt elementu o **15%**



# High Speed Machining w Sikorsky AC

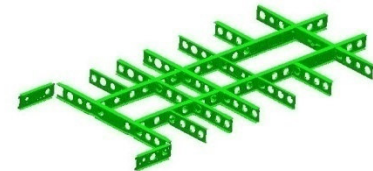
- Nazewnictwo stosowane przy opisanu technik wytwarzania integralnych konstrukcji aluminiowych
  - Zastąpienie w Zespołach części blaszanych częściami integralnymi z OSN

Tradycyjne części z blach = 100 części



Konstrukcja spodu kadłuba UH60M

High Speed Machining 36 części



*Photo courtesy Sikorsky.*

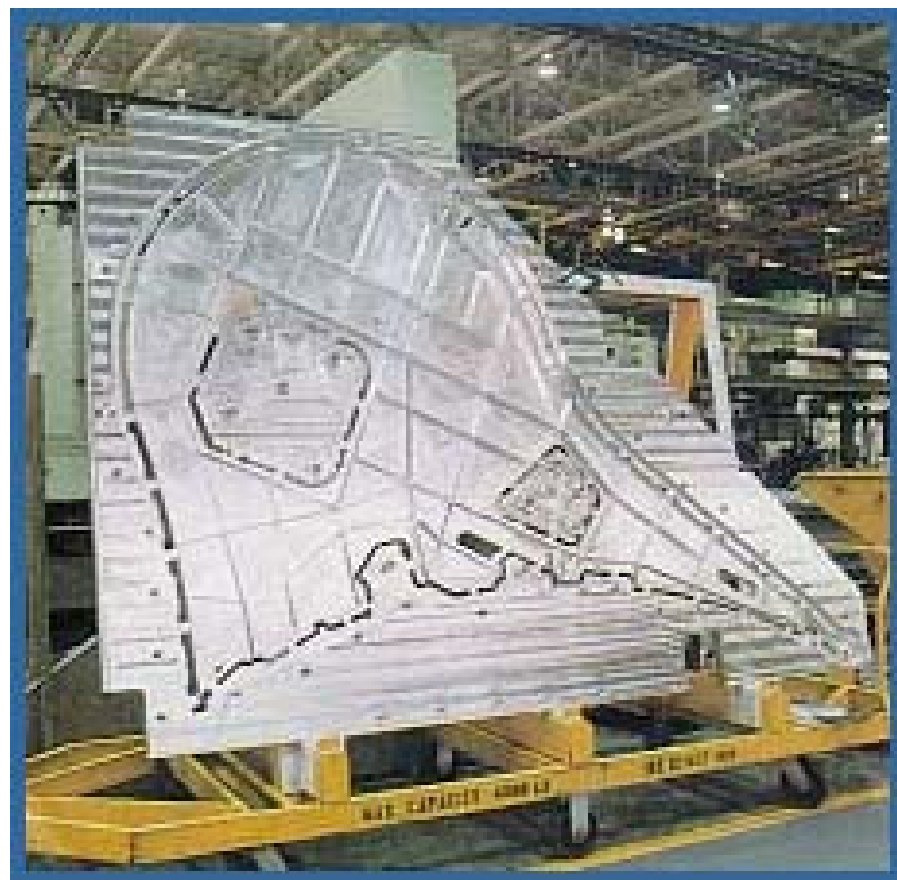
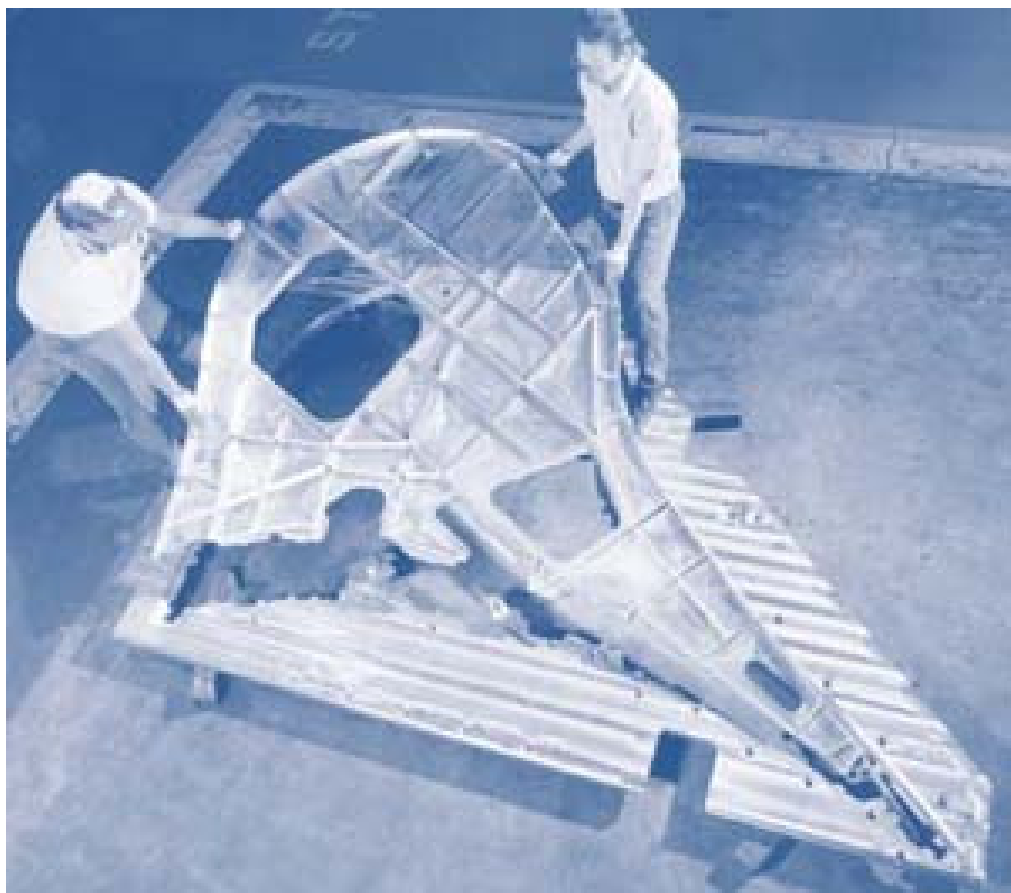
**HSM** uczynił, że możliwe stało się wykonanie hamulca aerodynamicznego myśliwca **F-15** jako **jednej** części zamiast zespołu składającego się z **~ 500 części**. Czas wykonania takiego zespołu hamulca aerodynamicznego wynosił **~ 3 miesiące**. Po zastosowaniu **HSM**, *lead time* był mierzony w **dniach**.



*Photo courtesy Boeing.*



Kłapa podwozia głównego samolotu transportowego **C-17** wcześniej była zrobiona jako zespół z części wykonanych z profili i blach. Dzięki technologii **HSM** można było wykonać jako **jedną część** na obrabiarce sterowanej numerycznie. Całkowity czas obróbki wyniósł ~ **12 godzin**.



*Photo courtesy Boeing*

Obróbka skrawaniem wręgi z jednego elementu **redukuje** znacznie jej ciężar. Poprzednie rozwiązanie tej wręgi polegało na jej **zmontowaniu** z **20** części. Jej integralna wersja pozwoliła **zmniejszyć ciężar** o **80%** niż istniejąca wersja jako zespół montażowy. Ta wręga jest częścią struktury zespołu bagażowego kadłuba samolotu.



# High Speed Cutting Structural Components in Aluminum

## Wappon pylon - F-

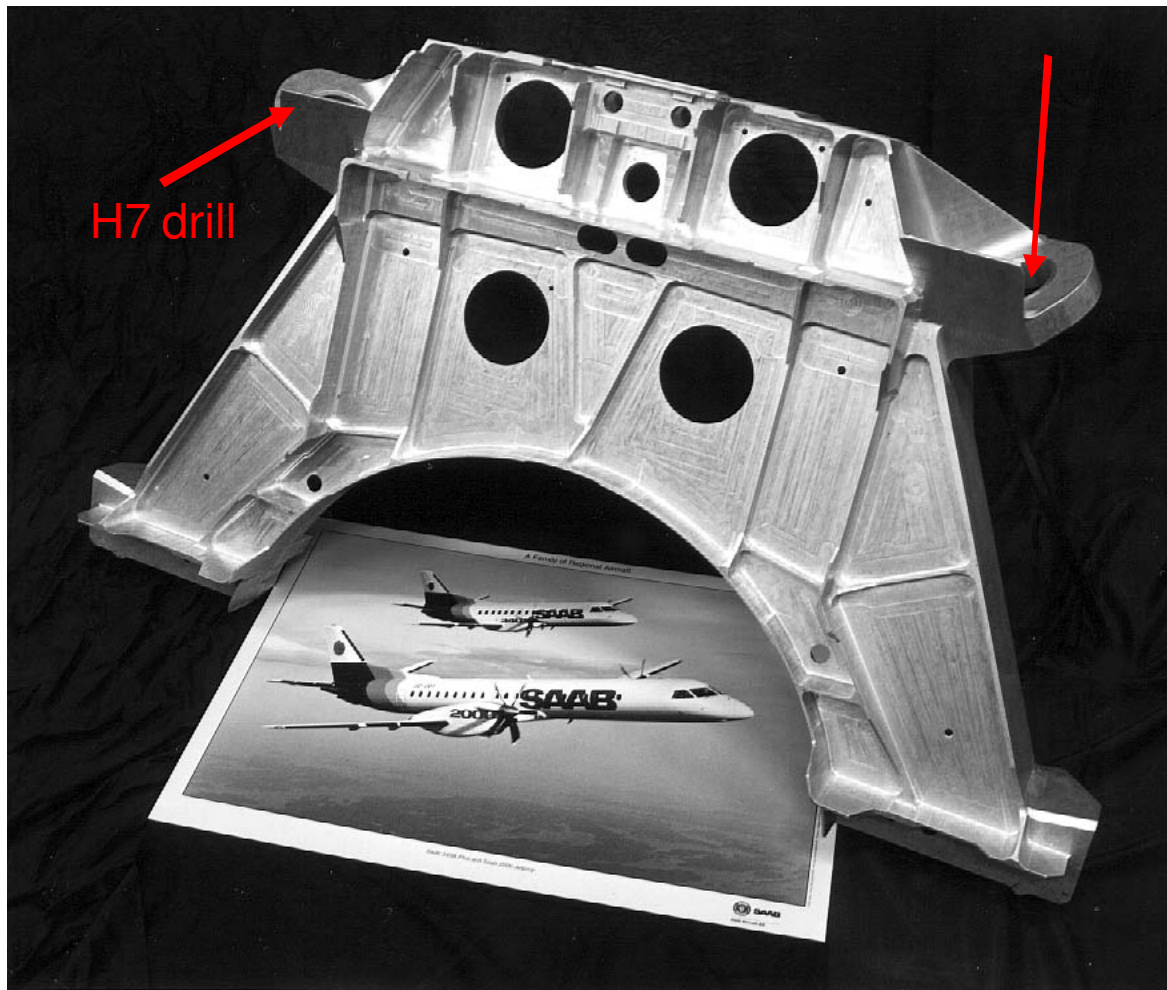


- ✦ Previous  
Milling time:  
17 h on 7 machines
- ✦ **Actual**  
Milling time:  
**3.45 h on 1 STC-1000**
- ✦ **4.9 times faster**
- ✦ Material: Alu
- ✦ Tool = Endmill  
D = 50 mm  
L = 248 mm
- ✦ U/min max: = 11'844



# High Speed Cutting Structural Components in Aluminum

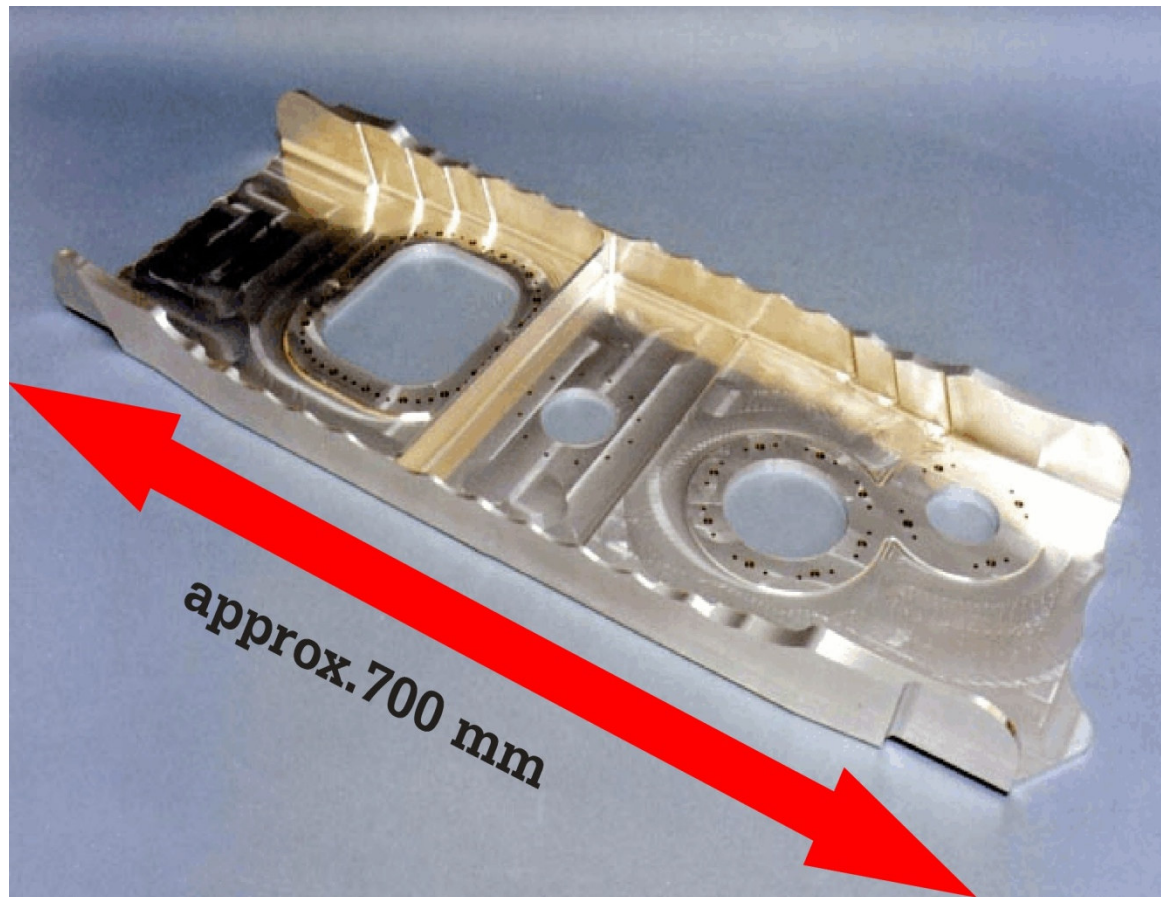
Front „Bulkhead“ of SAAB 2000 passanger aircraft



- Aluminium, Al 7075  
1'200 x 835 x 320  
mm
- 700 measurement  
points in 1.5 hours
- Machining time  
reduction from  
**800 to 38 h on one  
ZT-800/130**
- **21 times faster**

# High Speed Cutting Structural Components in Aluminum

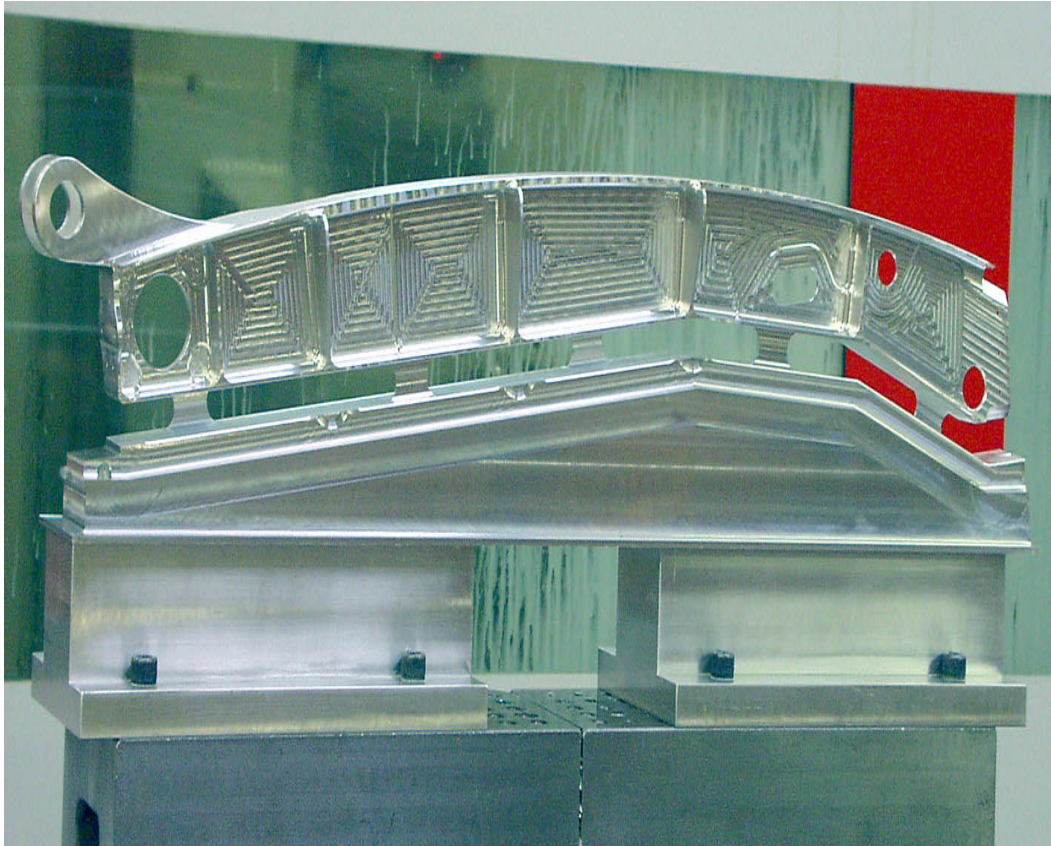
Fitting for A 400 M



- ✦ Extremely thin walls
- ✦ Walls are slightly inclined
- ✦ More than 90% chip removal
- ✦ Vibration free machining
- ✦ Up to 7000 qcm chip volume
- ✦ No resonance allowed
- ✦ Integrated measuring cycles

# High Speed Cutting Structural Components in Aluminum

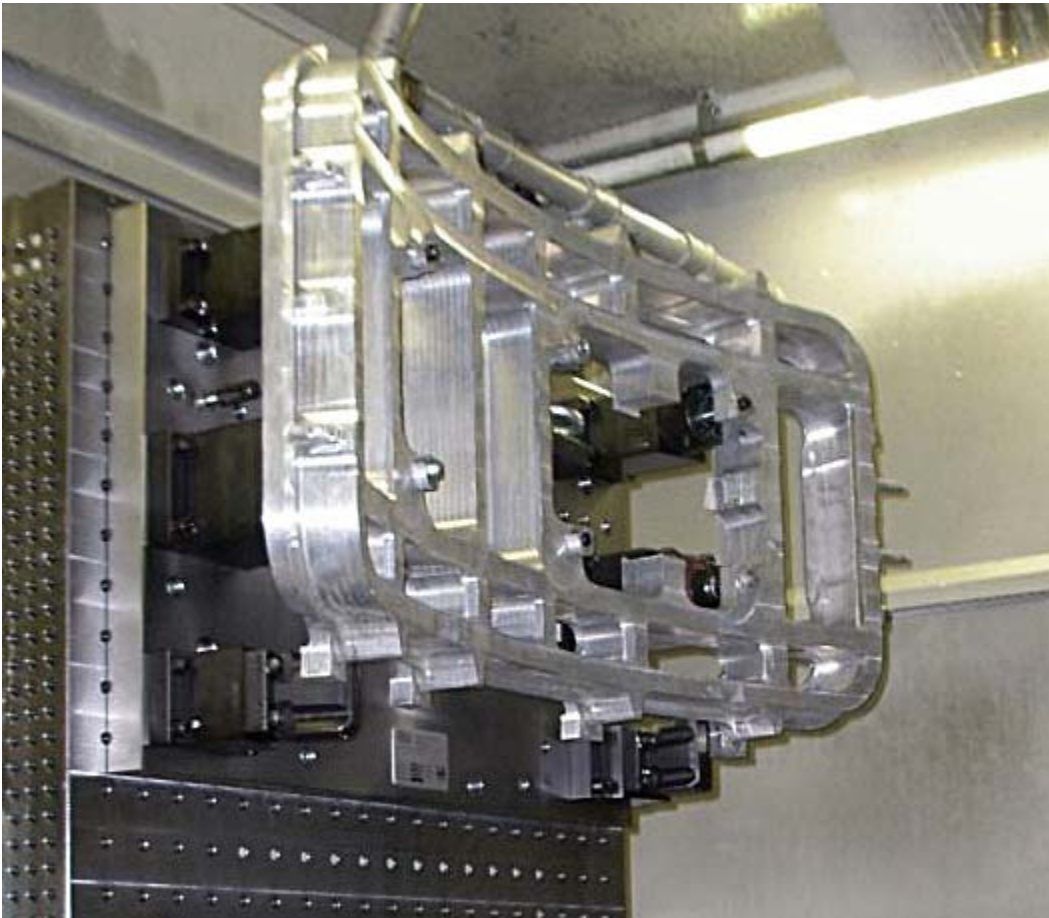
„All in one“ fixturing



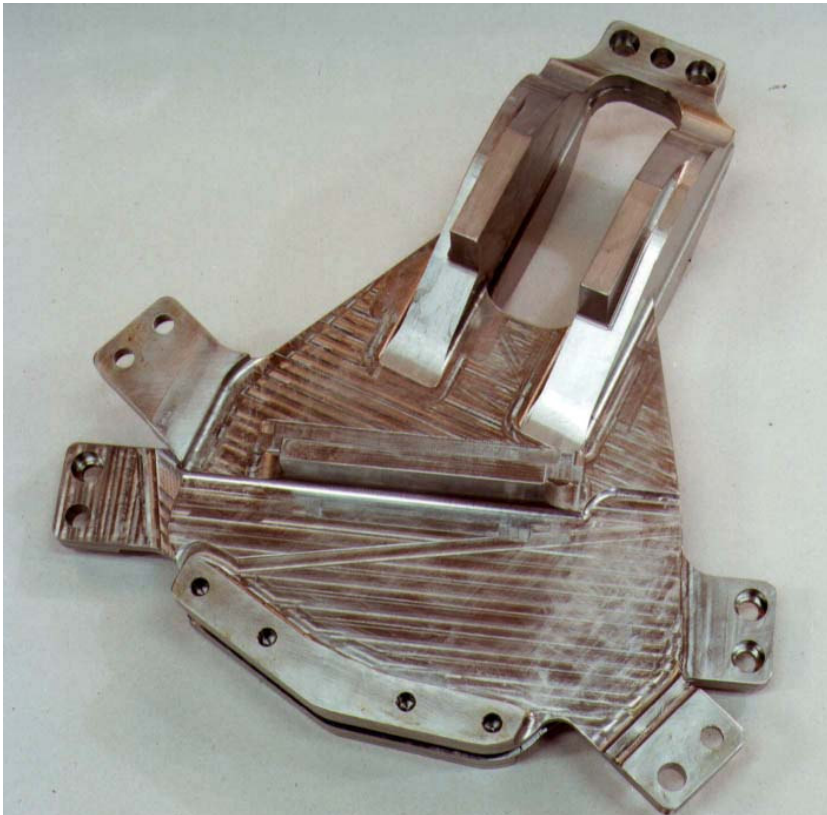
- Dimensions 795 x 181 x 99 mm
- Thickness: 1 - 6 mm
- Weigth: 46 kg
- Weigth: 1.43 kg
- Cycle Time: app. 120 min.



# High Speed Cutting Structural Components in Aluminum



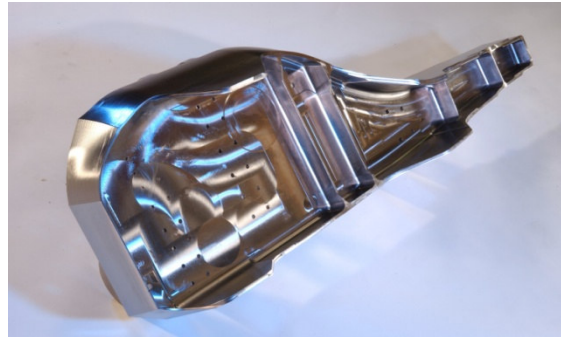
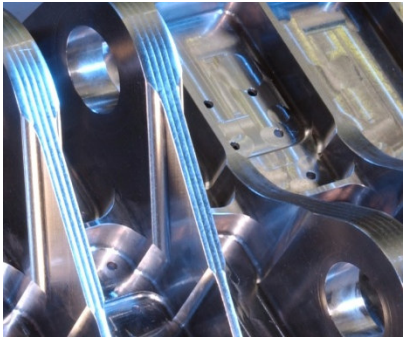
# Precise Machining Titanium Heavy cutting



- ✦ Slot machining with large side and face cutters
- ✦ Wing-to-fuselage bracket from titanium
- ✦ Previous machining time on several machines:  
**20** hours
- ✦ New machining time on Starrag manufacturing cell: **1** hour

# Titan machining, development of strategy

## Intelligent milling strategy



- Integral Part Beta Titanium
- Process time on competitor machine: 90 hours
- Process time on StarragHeckert machine: 38 hours
- Stiff machine
- High torque spindle
- Using of HPC (High Performance Cutting) milling technology
- Dimension 1150 x 400 x 280 mm

# Dlaczego warto stosować HSM?

- Efekty obróbki stopów Aluminium
  - Doskonałe własności cieplne
  - Większa  $\Delta T$  między materiałem i narzędziem
  - Praktyczne ograniczenie prędkości - **początek drgań samowzbudnych**
    - (A machining phenomenon that causes the cutter or the work piece to jump or jerk when being fed. Usually the result of a non-rigid setup or dull tool. Leaves chatter marks on the work piece as evidence. Makes a chattering noise)
    - *Zjawisko powodujące, że podczas obróbki narzędzie lub detal skacze lub szarpie kiedy rozpoczyna się posuw. Zwykle jest to wynikiem nieszywnego zamocowania lub przytępienia narzędzia. Pozostawia ślady drgań na detalu jako dowód.*



## Dlaczego High Speed Machining?

High Speed Machining umożliwia frezowanie takich złożonych konstrukcji ze stopu aluminium jakie nie były możliwe praktycznie przedtem.

Wytwórcy integralnych części mogą wykonywać **cieńkie ścianki** co pozwala **zmniejszać ich ciężar** oraz **zmniejszać czas** podczas montażu.

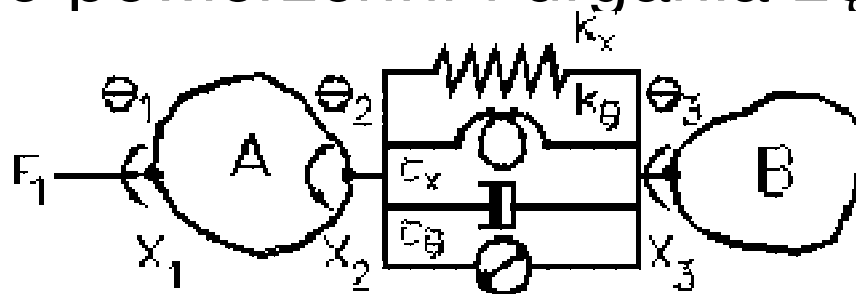
Wytwórcy części do układów paliwowych mogą zrezygnować z **odlewów** co przyspieszy i uelastyczni ich produkcję. **Proces = odlew + obróbka skrawaniem** zastąpić tylko jednym procesem obróbką skrawaniem z pełnego materiału



# Chatter



- Samowzbudne drgania (podobnie jak w gwizdku)
- Podstawowy mechanizm jest “Odtwarzanie falistości”
  - Dla procesu skrawania, kiedy częstotliwość chwilowa zęba odpowiada naturalnej częstotliwości, fale powierzchni i drgania zęba są w fazie



**Receptance Coupling Substructure Analysis (RCSA) method**

Figure 1. RCSA holder/spindle/tool model including connection parameters.

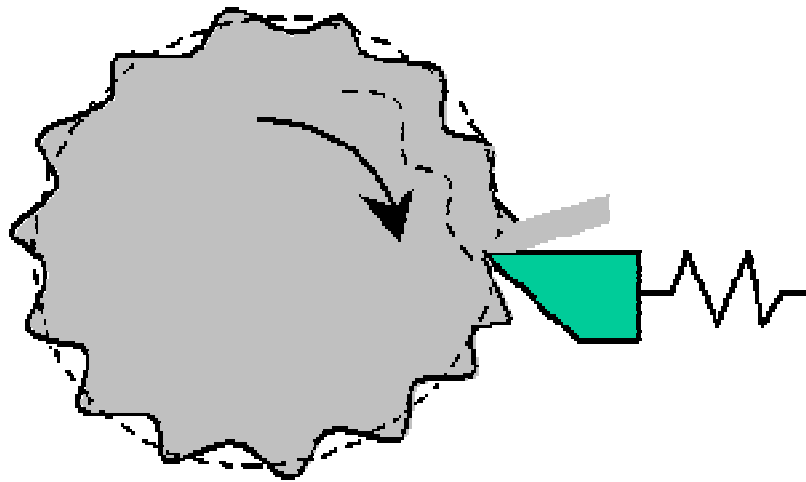


Figure 2: Turning example showing tool vibrations in phase with previously cut surface

$$\Omega = \frac{60 f_n}{j \cdot \pi n}$$

$$d_{crit} = \sqrt{\frac{4M - \pi \rho d^2 (L_T - L)}{\pi \rho L}}$$

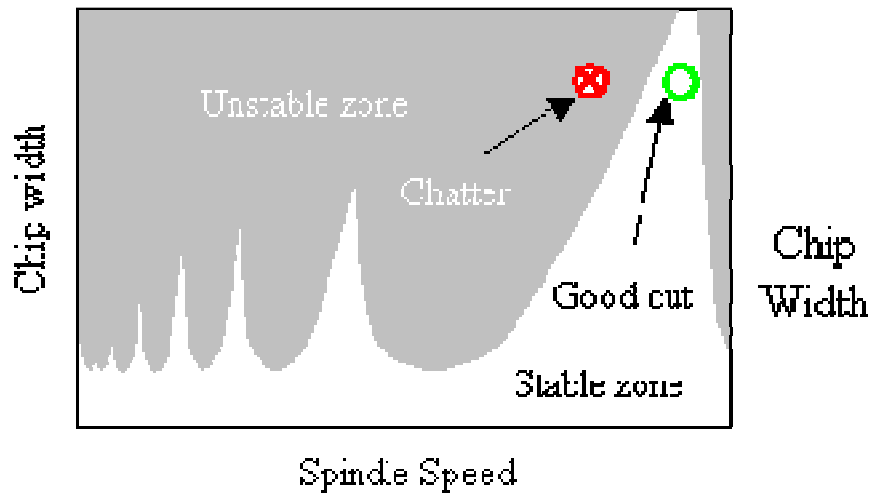


Figure 3: Example stability lobe diagram

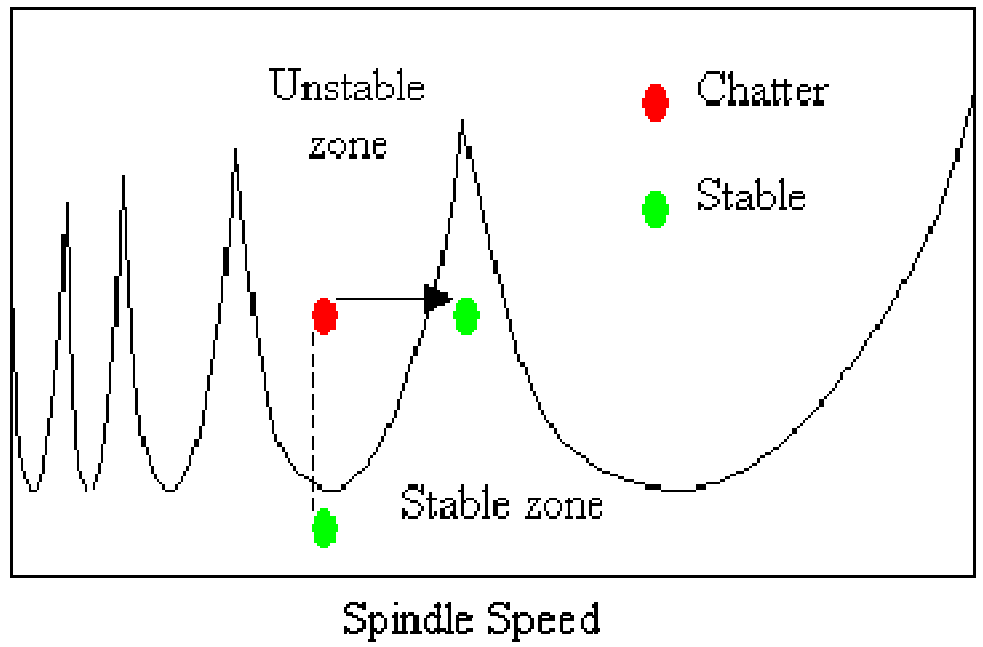


Figure 1: Example stability lobe diagram

# Analiza Modalna Wyznacza Optymalne prędkości Wrzeciona

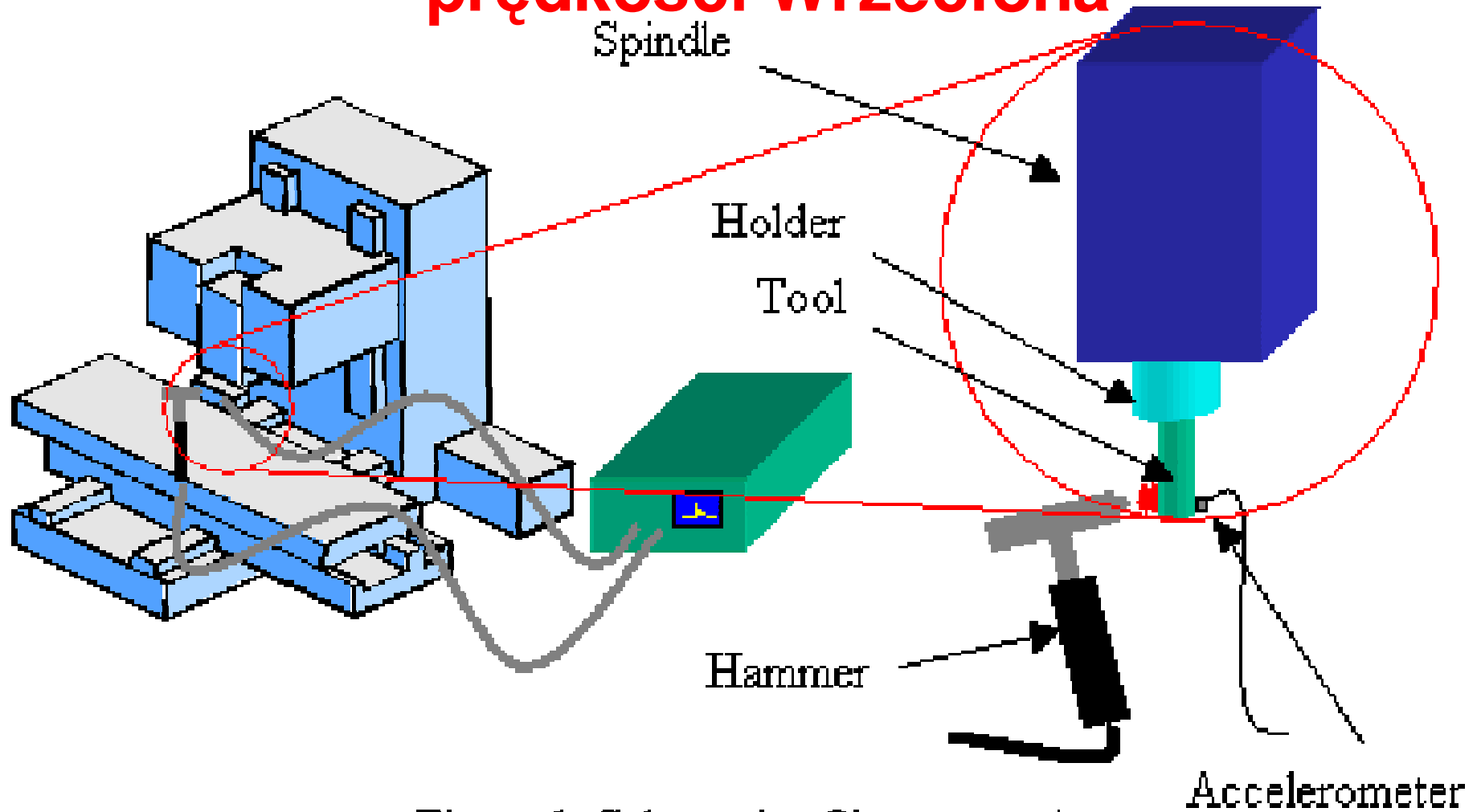


Figure 1: Schematic of impact testing



# Analiza Modalna Wyznacza Optymalne prędkości Wrzeciona

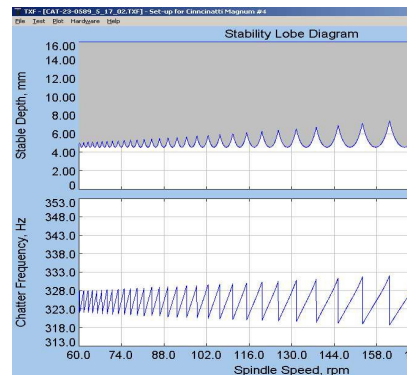
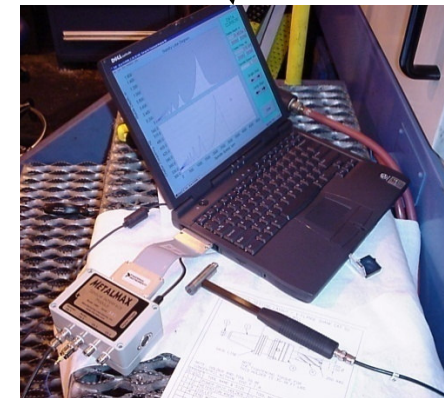
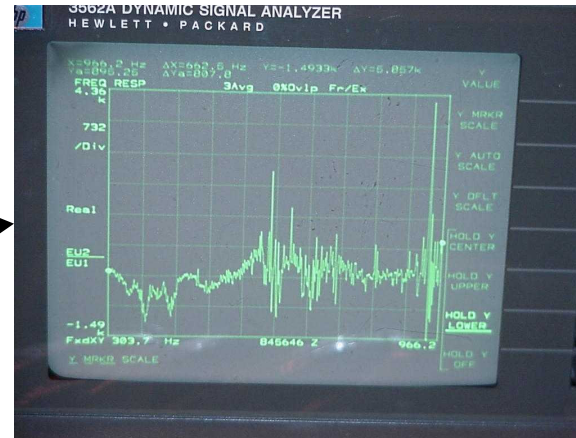
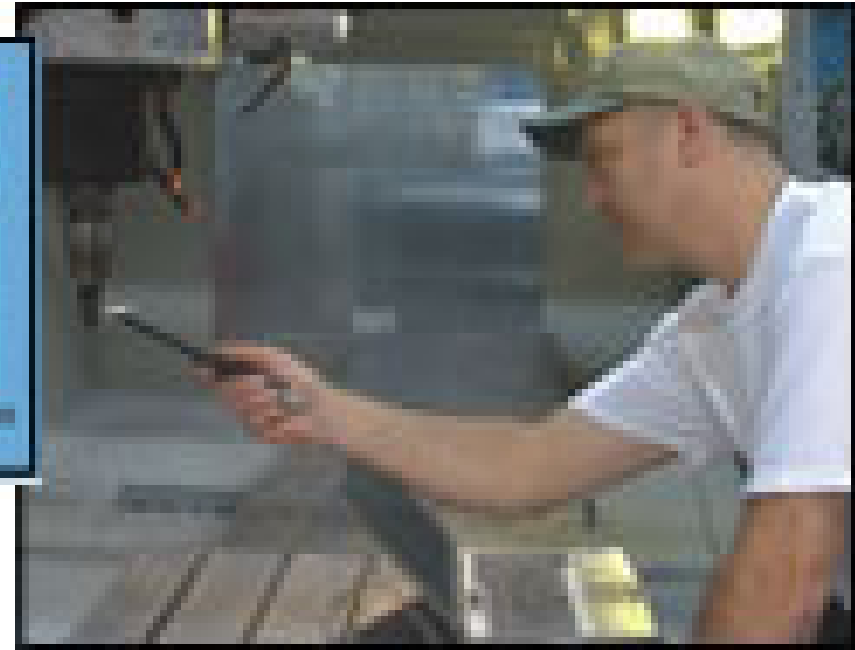
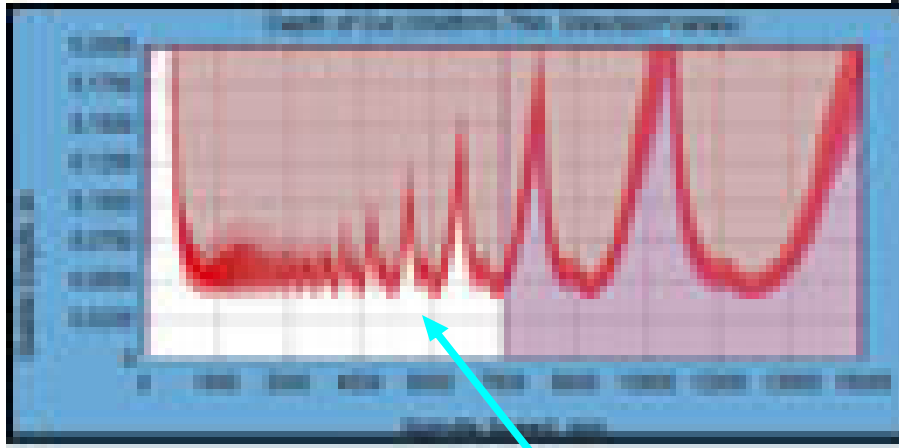


Photo courtesy Sikorsky.



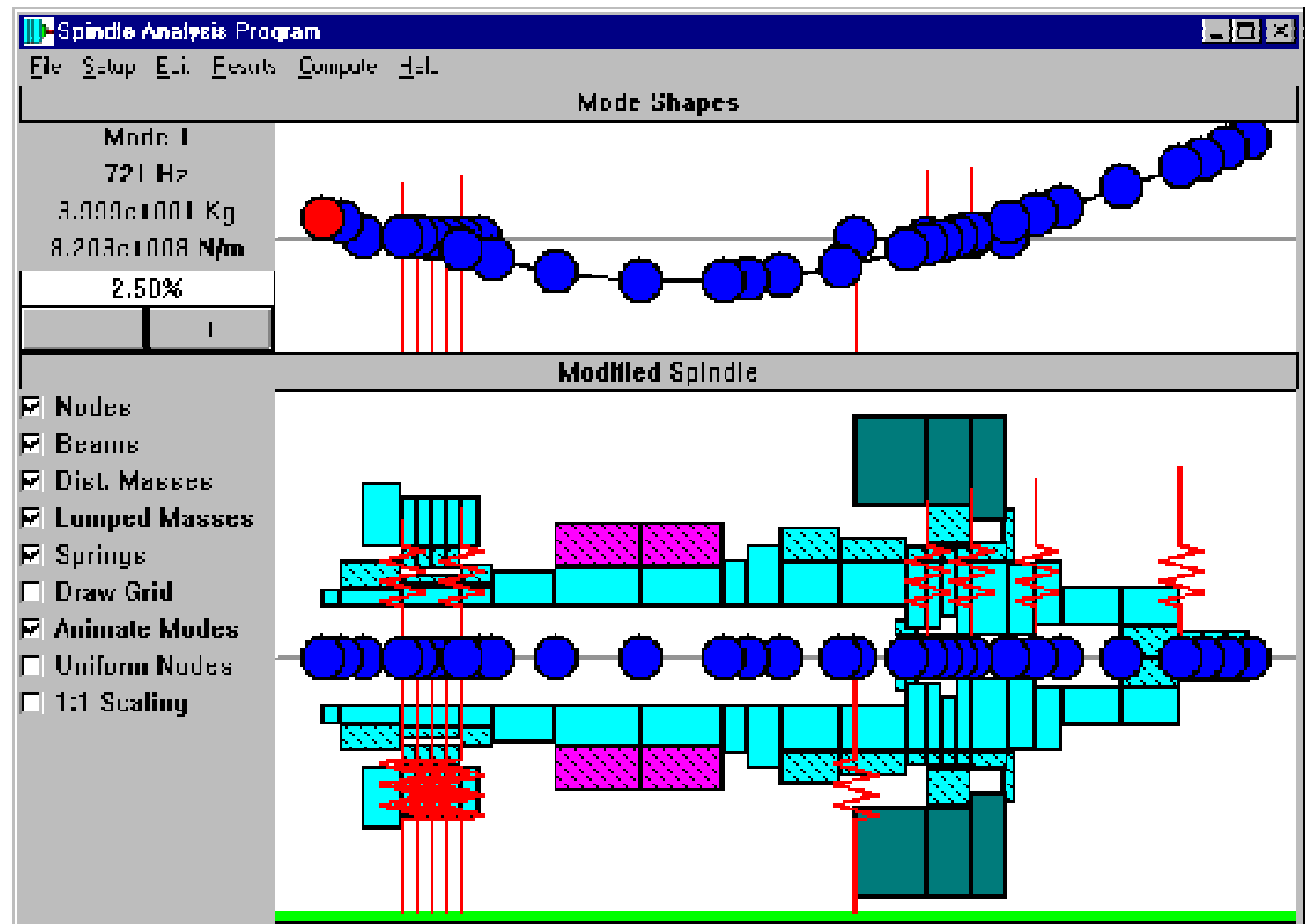
Znajdywanie **optymalnych** parametrów skrawania dla różnych **kombinacji obrabiarka - narzędzie**. Stabilny układ jest wolny od chatter'u (drgań) w zależności od połączenia obrotów wrzeciona z głębokością skrawania, co widać na wykresie *workowym*.

## DRGANIA WŁASNE WRZECIONA CNC

Wrzeciona obrabiarek HSM poddawane są dużym obciążeniom wynikającym głównie z wysokich prędkości obrotowych oraz pracą w obszarach drgań samowzbudnych. Wpływa to negatywnie na elementy konstrukcyjne obrabiarki i pogarsza uzyskane parametry jakościowe obrobionych powierzchni. Monitorowanie stanu wrzeciona obrabiarki od momentu dostawy pozwala na określenie charakterystyki maszyny (oceny maszyny) i zmiany tej charakterystyki w czasie. Okresowe prowadzenie badania (np. raz na kwartał) pozwala określić stan wrzeciona oraz zmianę jego sztywności dynamicznej podczas eksploatacji.

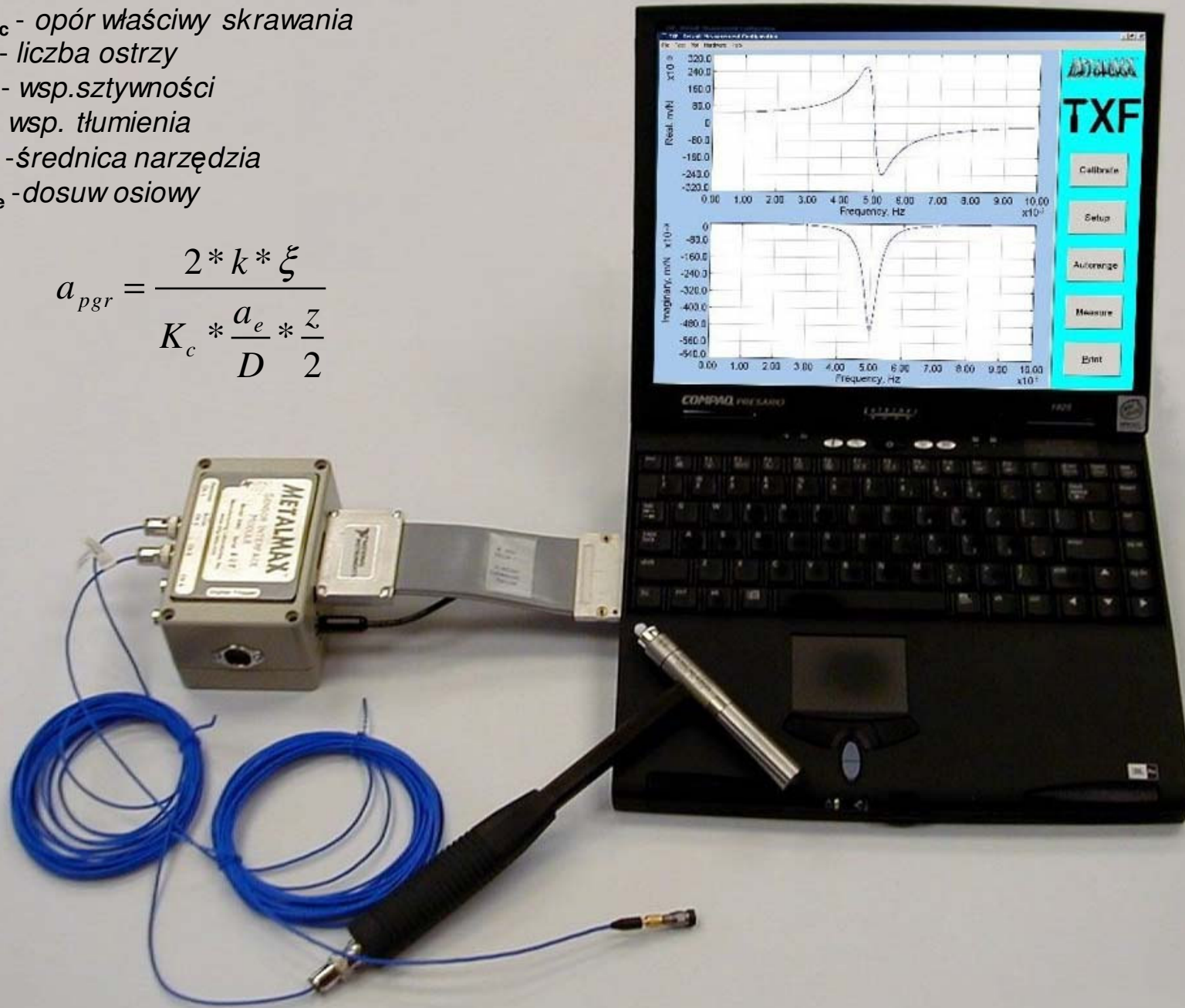
**WYSOKA SZTYWNOŚĆ  
DYNAMICZNA MASZINY NIE  
GWARANTUJE STABILNEJ  
PRACY (BEZ DRGAŃ  
SAMOWZBUDNYCH) Z  
DOWOLNYMI PARAMETRAMI  
OBRÓBK**

**ZAKUP WYSOKIEJ  
KLASY OBRABIARKI NIE  
ZAPEWNI WYSOKIEJ  
DOKŁADNOŚCI BEZ DOBORU  
OPTYMALNYCH  
PARAMETRÓW OBRÓBK DLA  
DANEJ MASZINY**



$K_c$  - opór właściwy skrawania  
 $z$  - liczba ostrzy  
 $k$  - wsp. sztywności  
 $\zeta$  - wsp. tłumienia  
 $D$  - średnica narzędzia  
 $a_e$  - dosuw osiowy

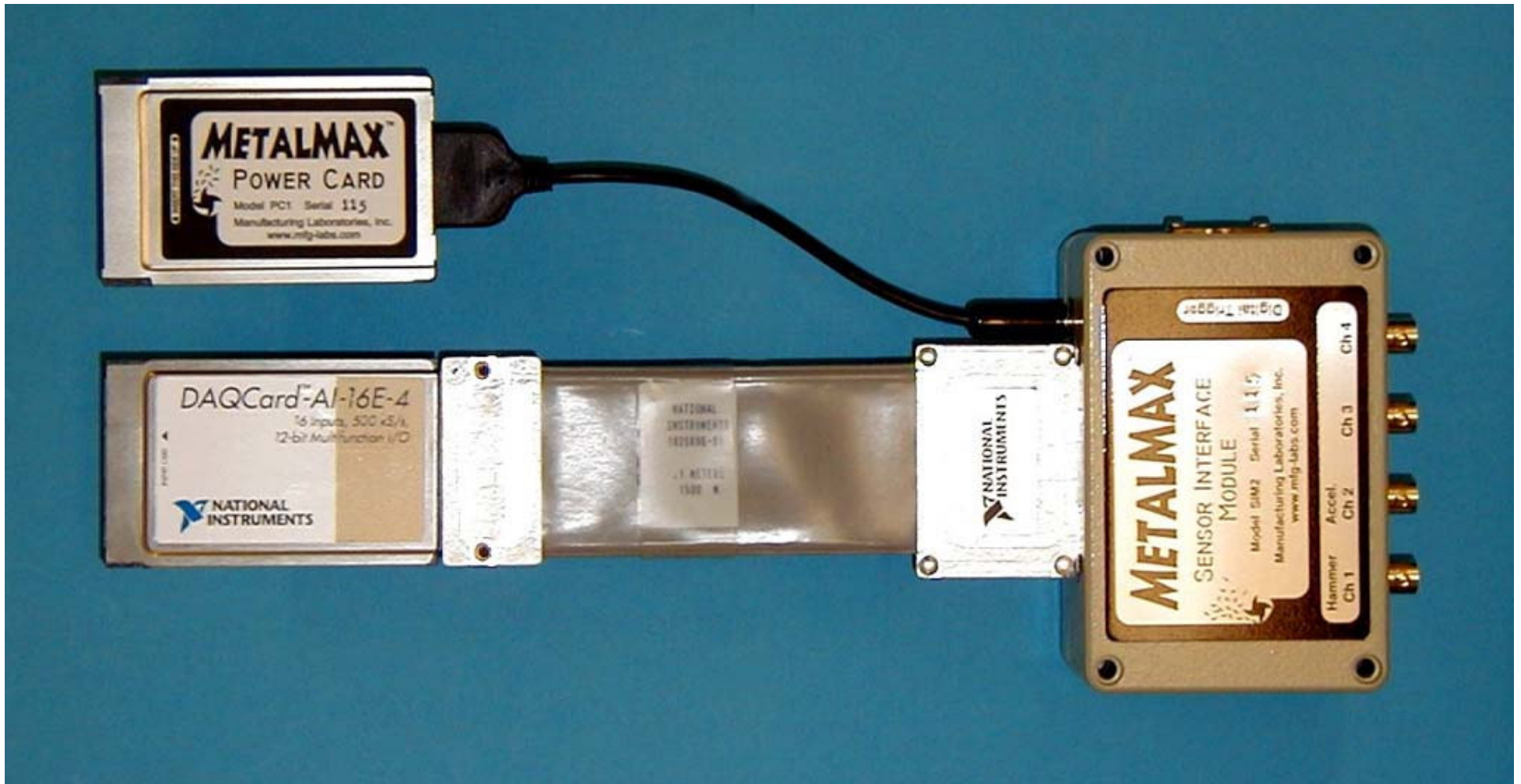
$$a_{pgr} = \frac{2 * k * \zeta}{K_c * \frac{a_e}{D} * \frac{z}{2}}$$

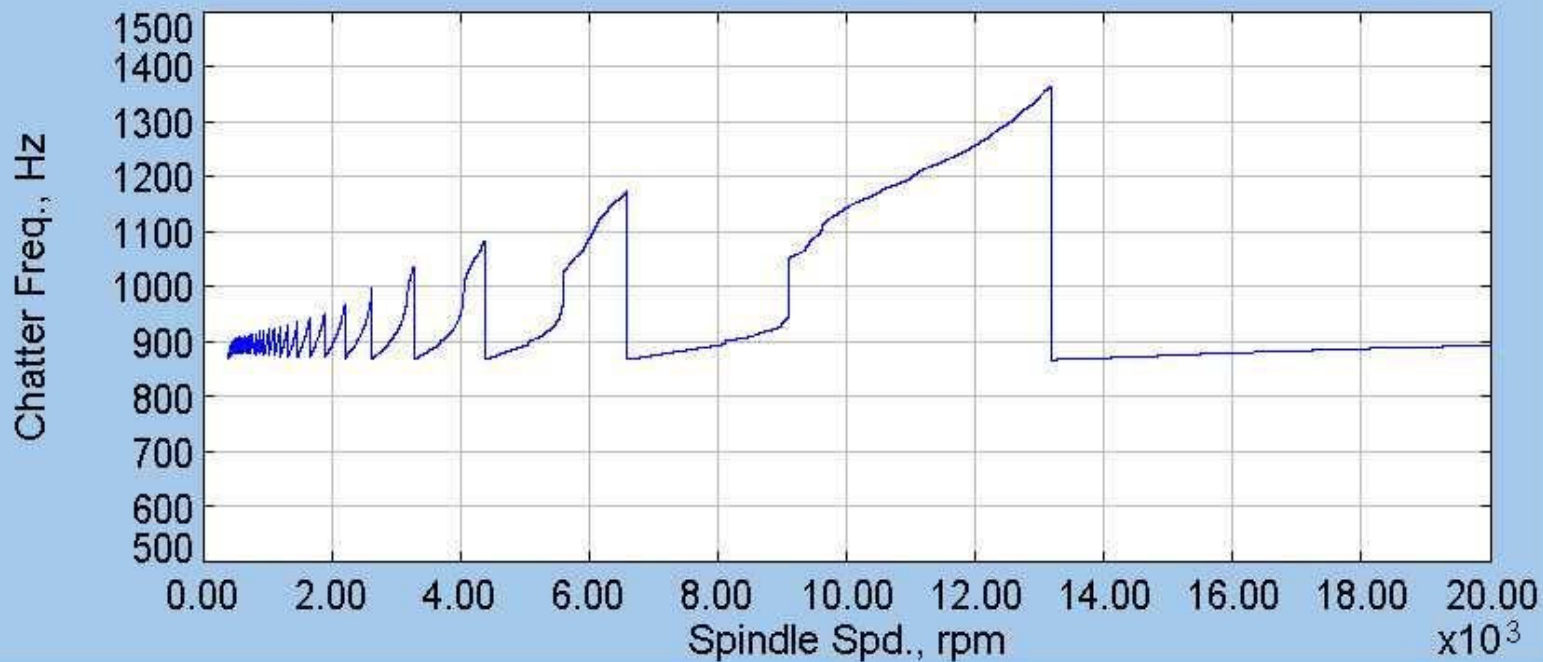
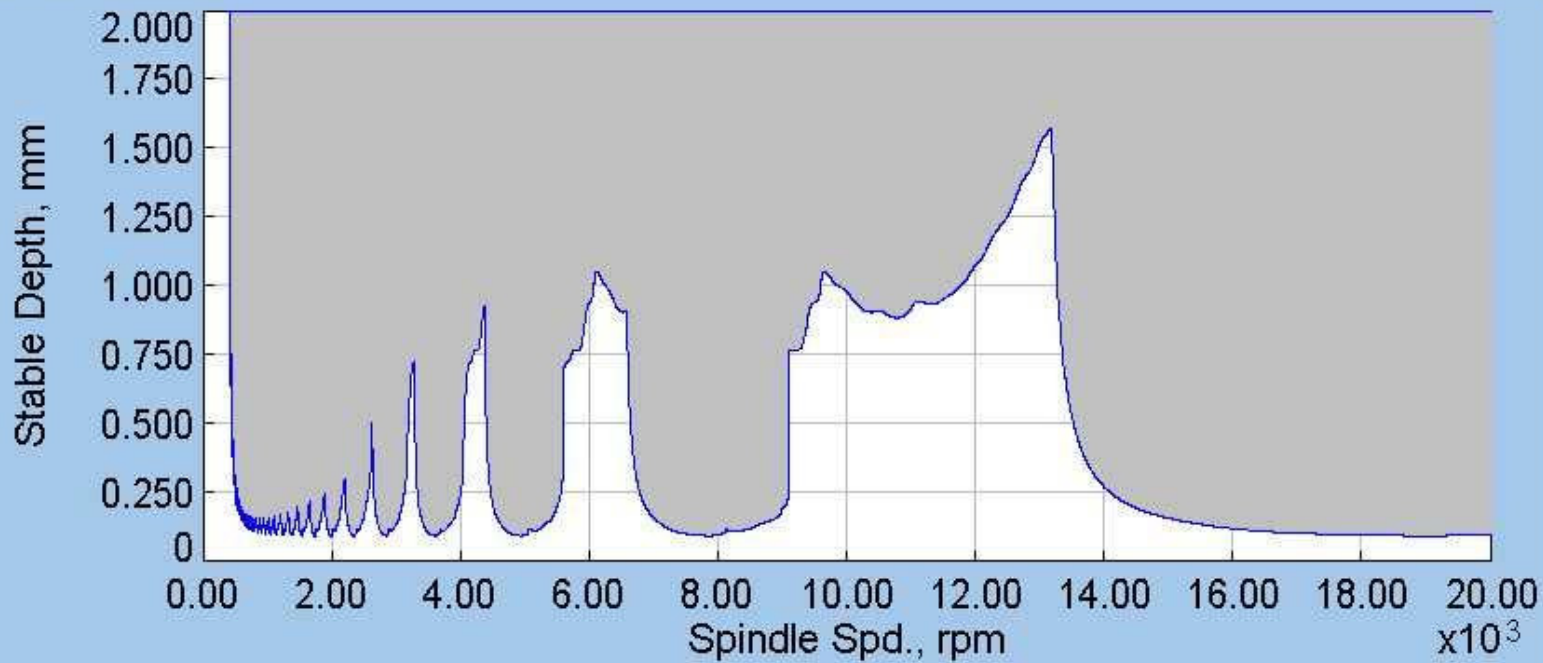




## Wydajność obróbki

$$Q_v = a_p \cdot a_e \cdot v_f = a_p \cdot a_e \cdot f_z \cdot z \cdot n [\text{cm}^3/\text{min}]$$





# TXF

Calibrate

Setup

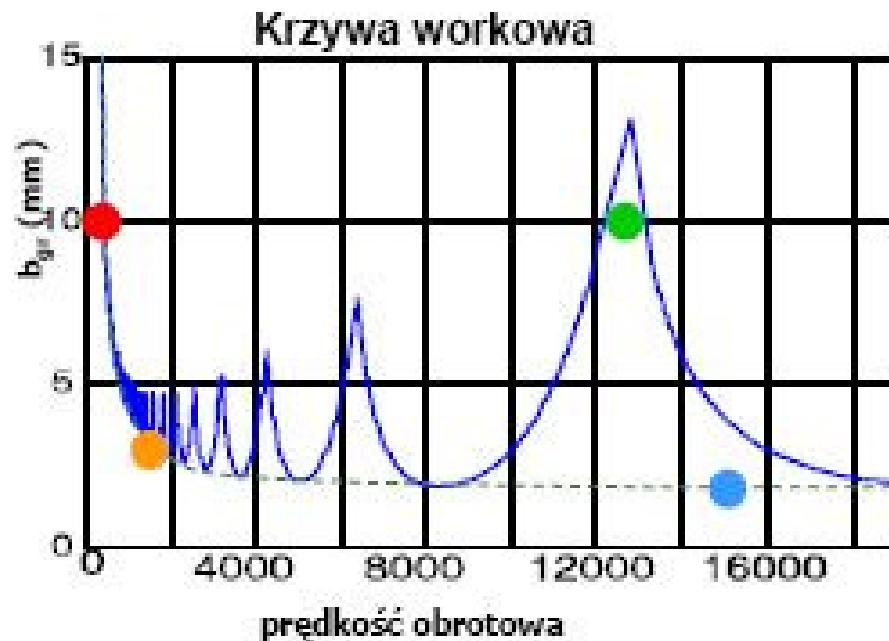
Autorange

Measure

Print

# Wykorzystanie krzywej workowej – podsumowanie

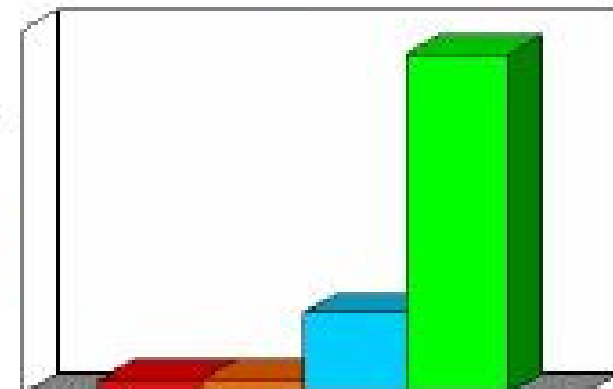
Frez:  $\phi 25$  mm, 6 ostrzy, szerokość frezowania = 25mm, posuw na ząb  $f_z = 0.2$ mm



- redukcja prędkości obrotowej lub głębokości to obniżenie wydajności
- stabilne warunki skrawania można znaleźć dla b. dużych objętościowych wydajności skrawania
 
$$Q = v_c f a_p \text{ (cm}^3\text{/min)}$$
- prędkość skrawania może być ograniczona przez trwałość ostrza

prędkość obrotowa.: [obr/min]	500	1500	15000	12700
głębokość skr.: [mm]	10	3.5	2	11
Q [cm <sup>3</sup> /min]	150	158	900	3810

wydajność  
objętościowa Q



Prędkość obrotowa (obr/min)	Posuw (mm/min)	Posuw na ząb (mm/ząb)	Głębokość skrawania (mm)	Szerokość warstwy skrawanej (mm)						
				0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
6000	840	0.072	4	Green	Orange				Red	
6500	910	0.072	4	Green	Orange					Red
7000	980	0.072	4	Green						
7500	1050	0.072	4	Green			Orange			
8000	1120	0.072	4	Green		Orange				
8500	1190	0.072	4	Green		Orange				
9000	1260	0.072	4	Green				Orange		
9500	1330	0.072	4	Green						
10000	1440	0.072	4	Green			Orange		Red	
10500	1470	0.072	4	Green		Orange			Red	
11000	1540	0.072	4	Green		Orange	Red			
11500	1610	0.072	4	Green	Orange	Red				

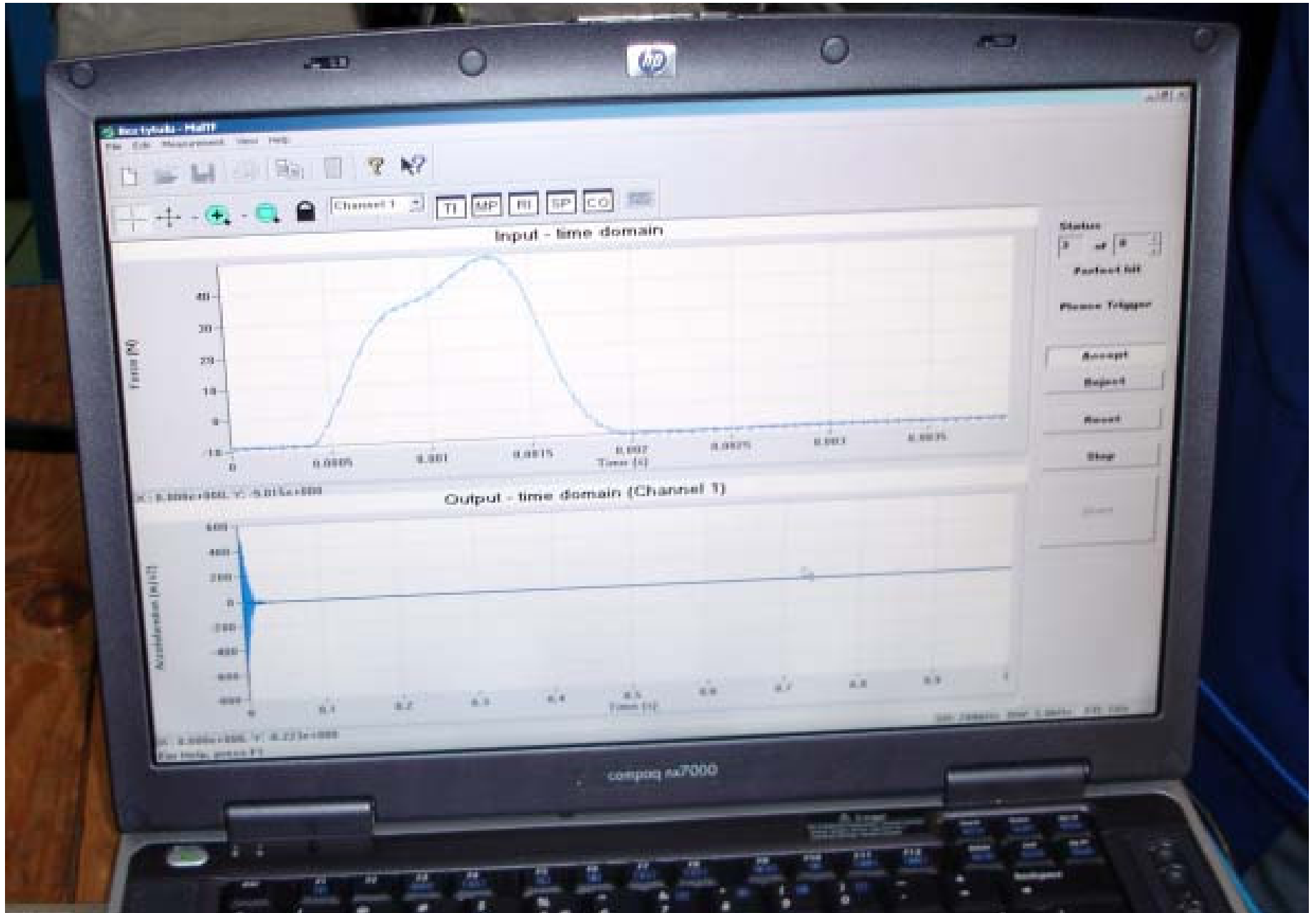
Wyniki testu dla jednej kombinacji narzędzia, oprawki i wrzeciona. Przeprowadzenie testu zajęło pół godziny. Kolor zielony oznacza stabilną obróbkę.



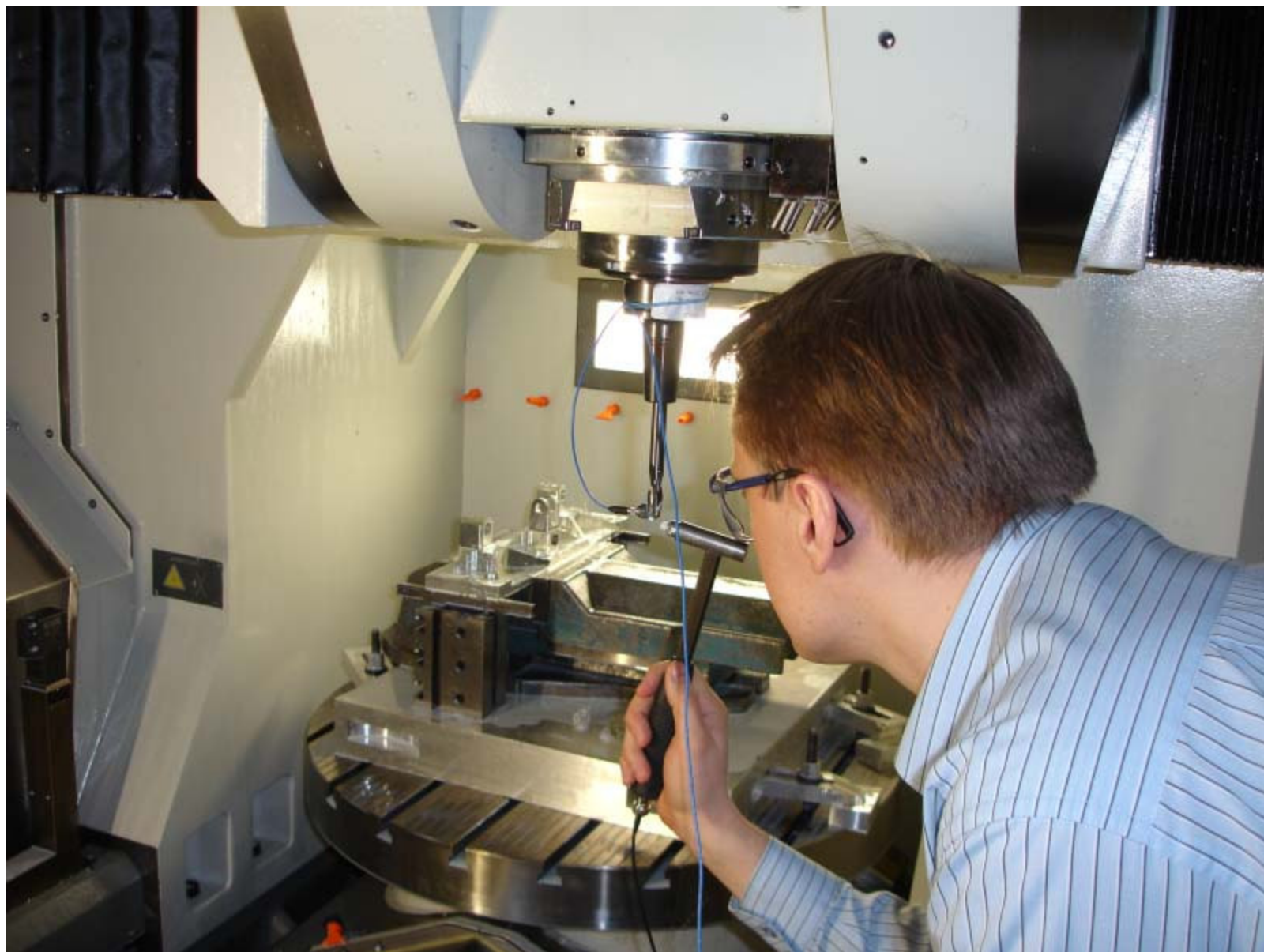
## Pomiar w PZL Mielec



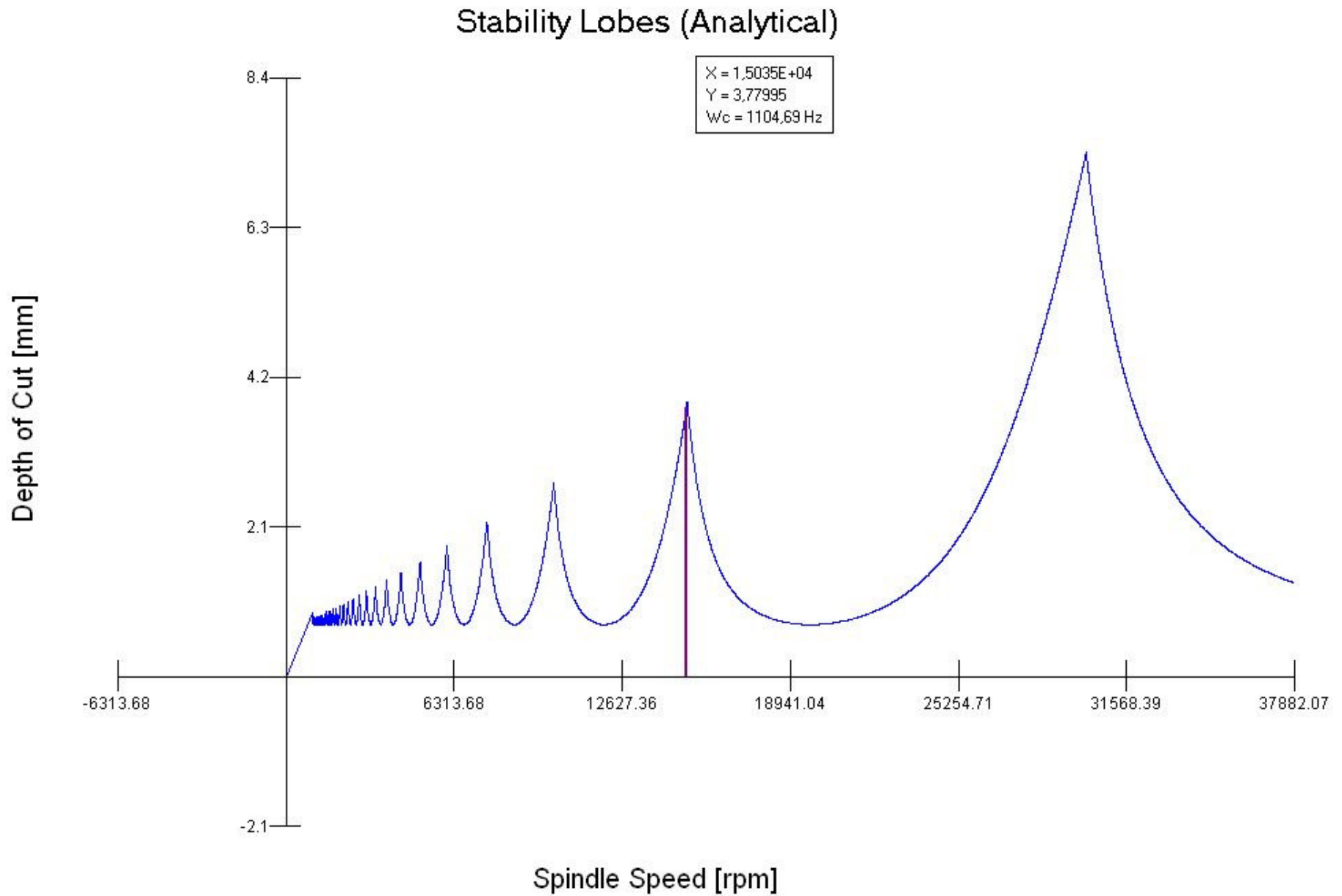
# Pomiar w PZL Mielec



## Pomiar w PZL Mielec



# Pomiar w PZL Mielec





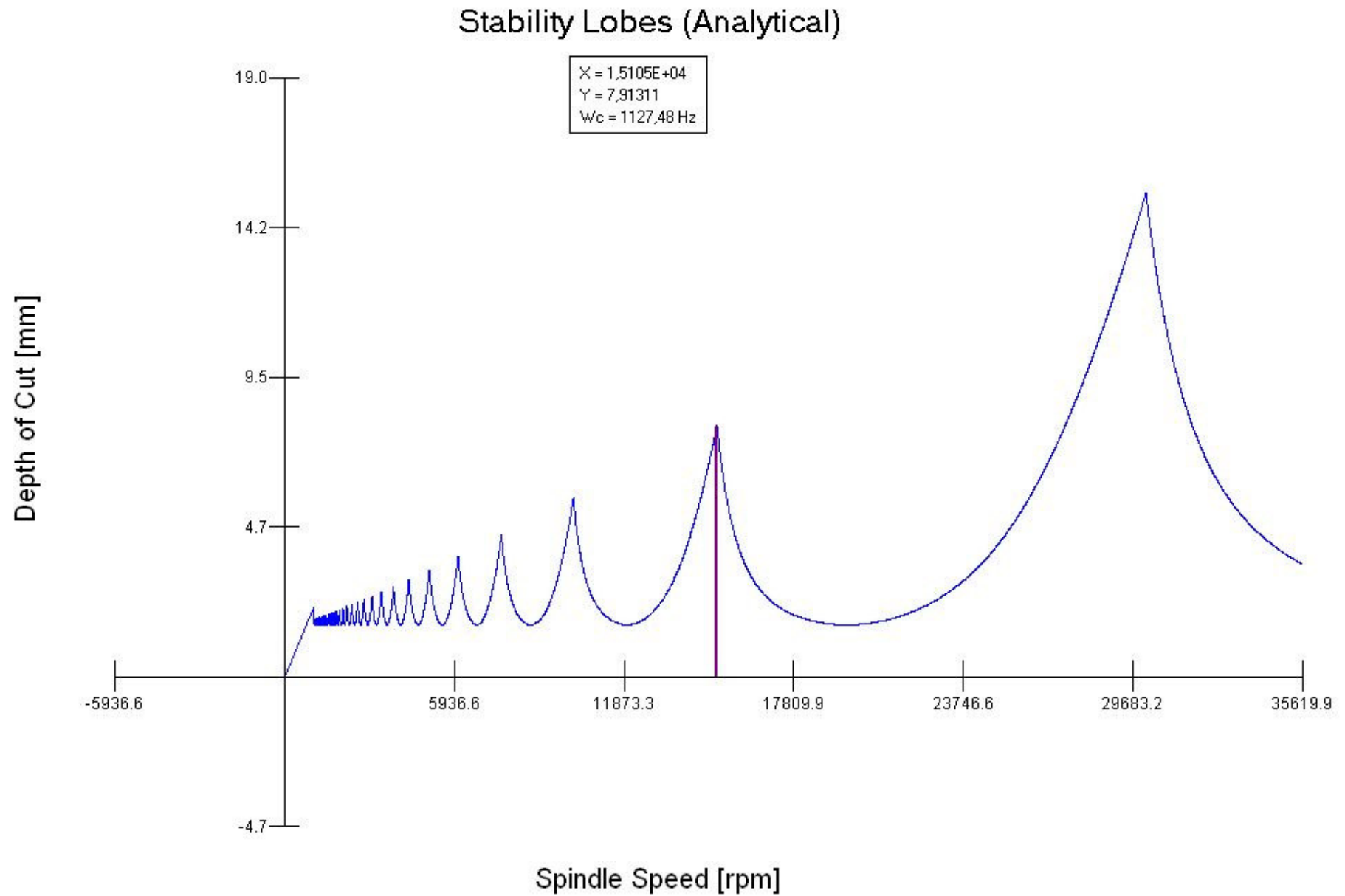
# Pomiar w PZL Mielec

## Summary of simulation conditions

File name:	PZL_przygotowany.csf
Time/date:	marzec 22, 2007 at 16:10
Cutting mode:	Milling
Simulation mode:	Single analytical stability lobes
<b>Cutting Conditions</b>	
Milling mode:	Clockwise
Feedrate [mm/flute]:	0,25
Spindle speed [RPM]:	N/A
Axial depth of cut (a) [mm]:	N/A
Number of revolutions:	N/A
Sampling frequency scale:	N/A
<b>Cutter</b>	
Type:	General endmill
Material:	Carbide
# Teeth:	2 (uniform pitch)
Structural flexibility:	X = 'C:\Documents and Settings\Marcin\Pulpit\PZL\Kierunek_posuwu_plastic_fi12.cmp', Y =
Use run-out deviations:	N/A
Radius(r) [mm]:	6
Length(L) [mm]:	32
First Bearing Position [mm]:	N/A
Helix(i) [°]:	30
Relief [°]:	10
Rake [°]:	12
Corner radius(R) [mm]:	3
Flut Height(h) [mm]:	40
Tip angle(a) [°]:	0
Taper angle(b) [°]:	0
Workpiece width(w) [mm]:	20
Y-offset (y) [mm]:	-13
<b>Workpiece</b>	
Material:	AL 7050-T7451
Cutting coefficient model:	Orth. To Oblique
Structural flexibility:	Rigid
<b>Results</b>	
NOTE: You may add results to this report by selecting Options -> Add to Report in the graph window.	
CUTPRO Machining Simulation Software, © 2004 MAL Inc.	



# Pomiar w PZL Mielec

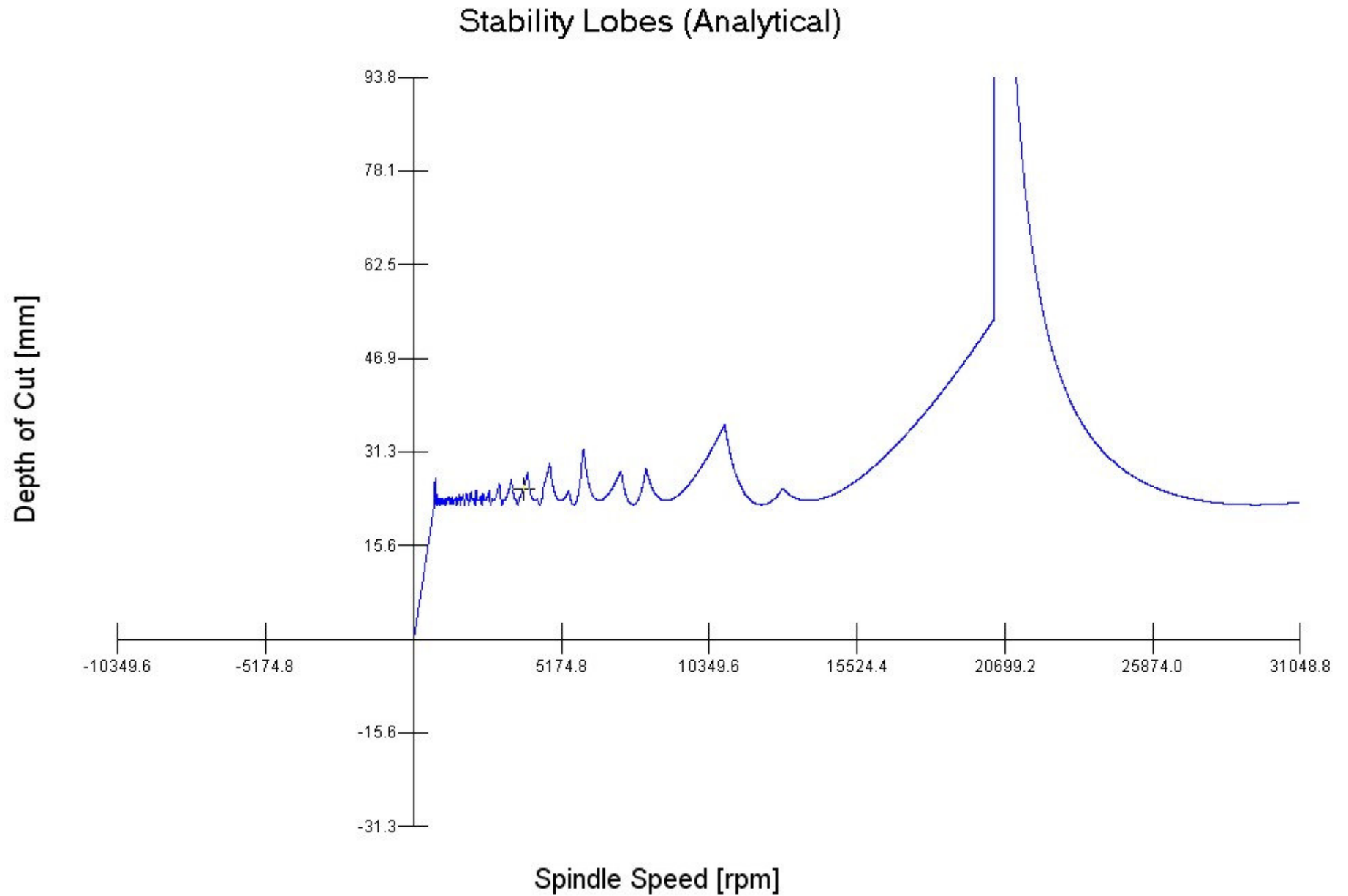


# Pomiar w PZL Mielec

## Summary of simulation conditions

File name:	PZL_przygotowany.csf
Time/date:	marzec 22, 2007 at 16:16
Cutting mode:	Milling
Simulation mode:	Single analytical stability lobes
<b>Cutting Conditions</b>	
Milling mode:	Clockwise
Feedrate [mm/flute]:	0,25
Spindle speed [RPM]:	N/A
Axial depth of cut (a) [mm]:	N/A
Number of revolutions:	N/A
Sampling frequency scale:	N/A
<b>Cutter</b>	
Type:	General endmill
Material:	Carbide
# Teeth:	2 (uniform pitch)
Structural flexibility:	X = 'C:\Documents and Settings\Marcin\Pulpit\PZL\Kierunek_posuwu_plastic_fi12.cmp', Y = 'C:\Documents and Settings\Marcin\Pulpit\PZL\Kierunek_normalny_plastic_fi12.cmpTestMaModZ
Use run-out deviations:	N/A
Radius(r) [mm]:	6
Length(L) [mm]:	32
First Bearing Position [mm]:	N/A
Helix(i) [°]:	30
Relief [°]:	10
Rake [°]:	12
Corner radius(R) [mm]:	3
Flut Height(h) [mm]:	40
Tip angle(a) [°]:	0
Taper angle(b) [°]:	0
Workpiece width(w) [mm]:	20
Y-offset (y) [mm]:	-14,5
<b>Workpiece</b>	
Material:	AL 7050-T7451
Cutting coefficient model:	Orth. To Oblique
Structural flexibility:	Rigid
<b>Results</b>	
	author: Mariusz Mucha
CUTPRO Machining Simulation Software, © 2004 MAL Inc.	

# Pomiar w PZL Mielec



Obróbka zgrubna części 423Z1200-1/ustawienie3/: czas trwania **1h 31'48"**



# OPERATIONS LIST

**Date:** Mon Apr 16 2007

**Time:** 14:22:15

**Output Filename:** 423Z1200-1 BA1096.INC

Tool Number	Operation	Plunge Rate	Feed Rate	Spindle Speed	Min X	Min Y	Min Z	Max X	Max Y	Max Z	Cycle Time
1	Step Reduction	1000.000	1600.00 MMPM	8000 RPM	- 148.9547	- 263.8165	- 76.0098	- 13.0452	- 93.0097	25.0000	1:14:27
6	Step Reduction	1000.000	1600.00 MMPM	8000 RPM	- 148.2106	- 251.8989	- 76.0098	- 13.7922	- 91.0097	25.0000	0:17:21
<b>Overall</b>					- 148.9547	- 263.8165	- 76.0098	- 13.0452	- 91.0097	25.0000	<b>1:31:48</b>

Operation Number	Tool Number	Comments
1	1	<b>Operations Comments:</b> T1 - Fi16 R3 - Frez
		<b>Tool Comments:</b> Fi16 R3 ap=4,0mm
2	6	<b>Operations Comments:</b> T6 - Fi12 R3,2 - Frez

Po zastosowaniu Frezów Fi20 (zbadany na obrabiarce CNC DMG75V Linear) i Fi16 – czas trwania tej samej obróbki zgrubnej: **12'01" = (7'41" + 5'20")**



# OPERATIONS LIST

**Date:** Mon Apr 16 2007

**Time:** 14:02:10

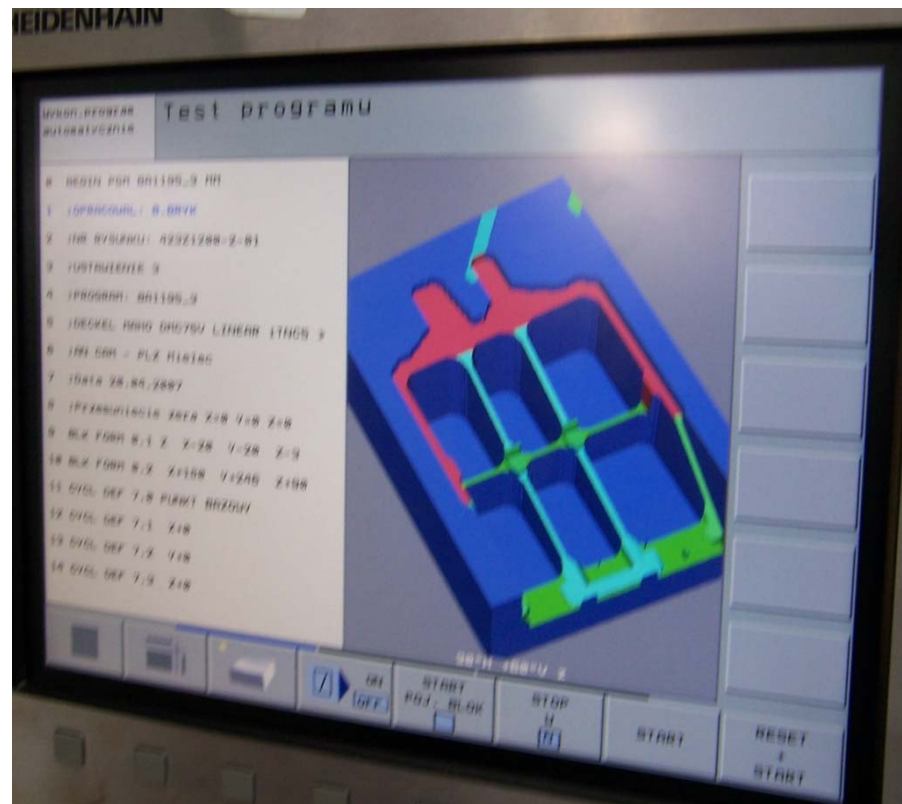
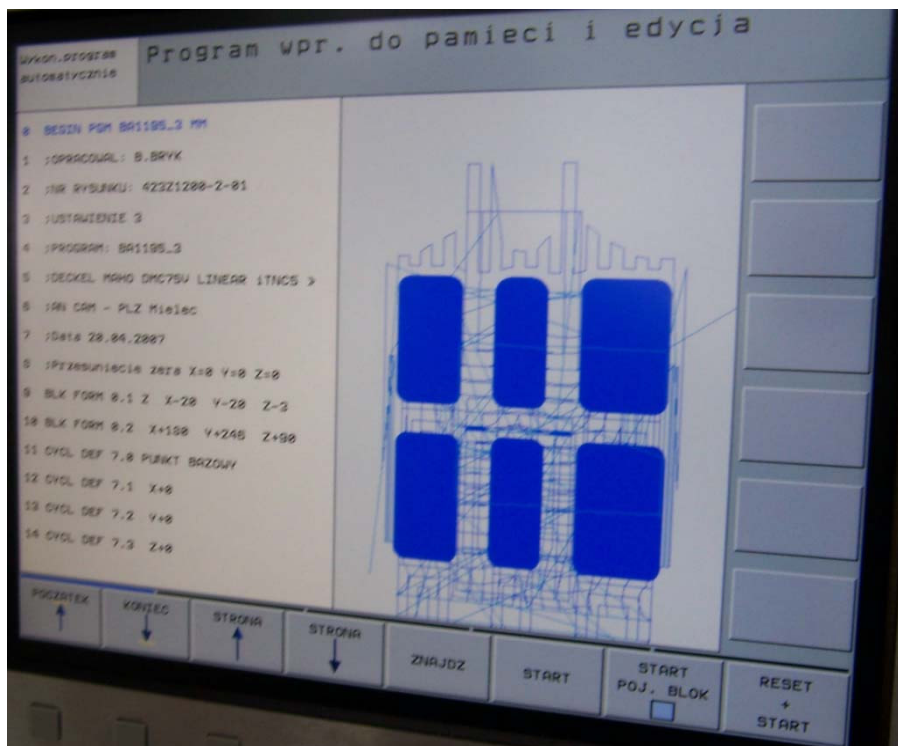
**Output Filename:** 423Z1200-1-01 BA1195.INC

Tool Number	Operation	Plunge Rate	Feed Rate	Spindle Speed	Min X	Min Y	Min Z	Max X	Max Y	Max Z	Cycle Time
11	3axis Z Rough	1000.000	4200.00 MMPM	14000 RPM	14.9871	-9.7475	27.0000	146.9198	150.8372	100.0000	0:7:41
<b>Overall</b>					14.9871	-9.7475	27.0000	146.9198	150.8372	100.0000	0:7:41

Operation Number	Tool Number	Comments
1	11	<b>Operations Comments:</b> T11 Z do -56mm Frez Fi20

Tool Number	Operation	Plunge Rate	Feed Rate	Spindle Speed	Min X	Min Y	Min Z	Max X	Max Y	Max Z	Cycle Time
12	3axis Z Rough	1000.000	3500.00 MMPM	14000 RPM	16.4028	14.0919	9.5000	145.5763	152.3497	100.0000	0:5:20
<b>Overall</b>					16.4028	14.0919	9.5000	145.5763	152.3497	100.0000	0:5:20



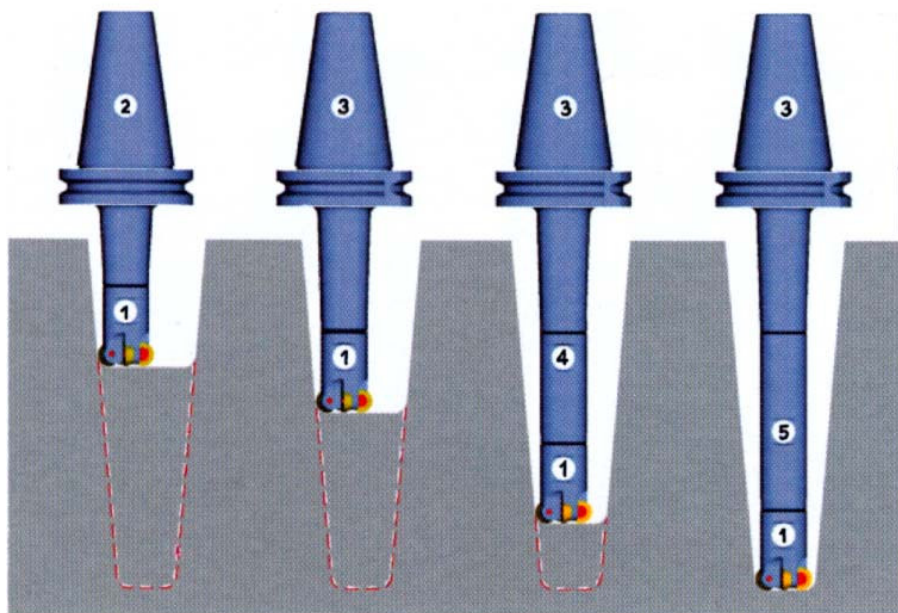


Oszczędność czasu obróbki na tej operacji spadła z **1h 31'48"** do **12'01"** czyli zmniejszyła się ponad **7.64** razy



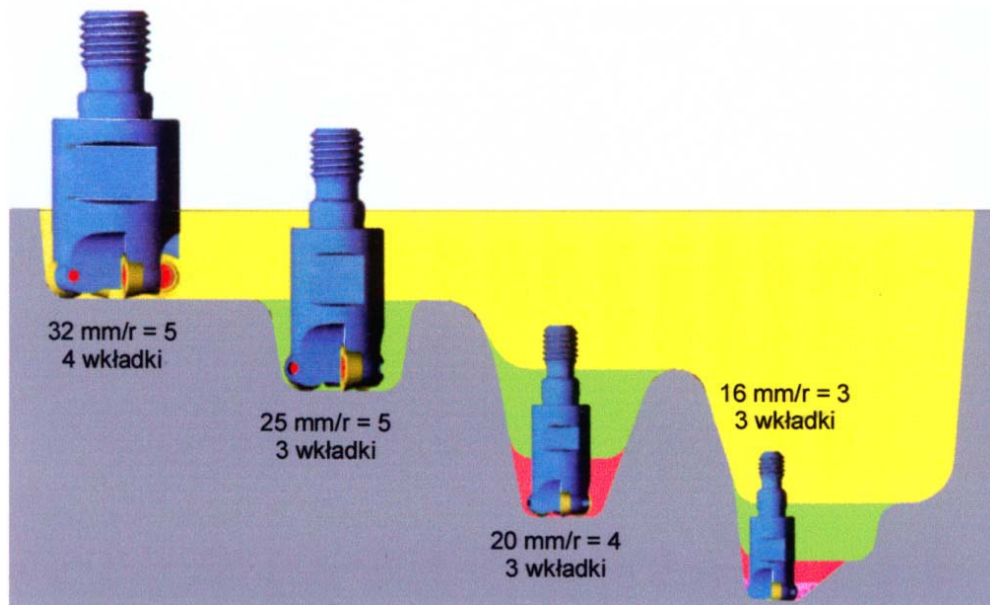


Do wytwarzania frezowaniem skomplikowanych kształtów form i matryc używa się nie tylko narzędzi monoblokowych tj. pełnowęglkowych, ale także narzędzi z wkładkami ostrzowymi. Do wykonywania głębokich kieszeni lub małych promieni wytwórcy narzędzi proponują stosować modułowe systemy narzędziowe, dzięki którym użytkownicy uzyskują możliwość doboru narzędzi i ich uchwytów do każdorazowych zadań obróbkowych.



Modułowy system z różnymi długościami narzędzi; 1 – frez wkręcany z okrągłymi wkładkami ostrzowymi, 2 – złącze SK40 krótkie, 3 – złącze SK40 długie, 4 – adapter pośredni krótki i 5 – adapter pośredni długi

Modułowy system z różnymi średnicami narzędzi i okrągłymi wkładkami ostrzowymi

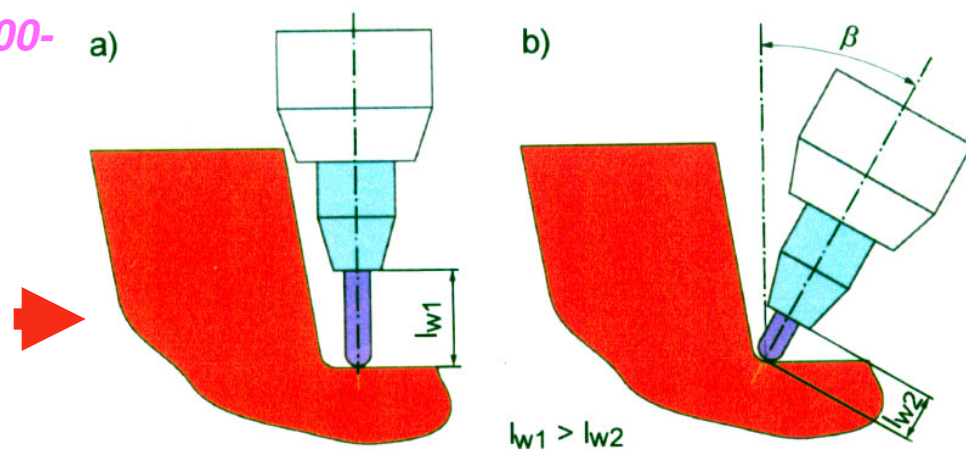


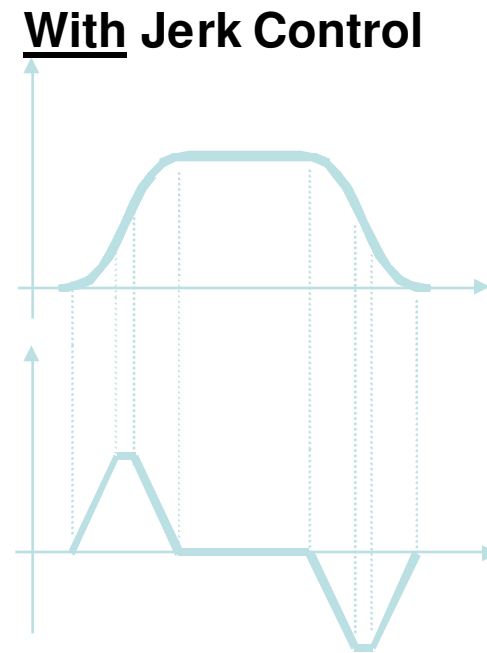
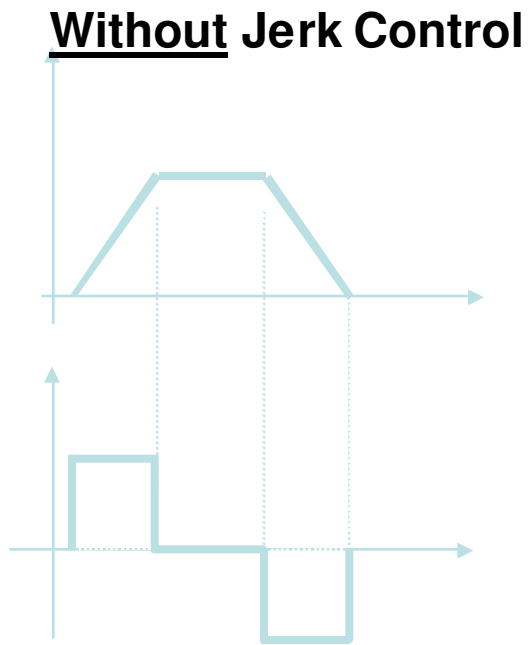


Zastosowanie nowoczesnych centrów obróbkowych i systemów programowania NC umożliwia wytwarzanie głębokich kieszeni i wnęk czy integralnych części za pomocą jednoczesnego **5-osiowego frezowania**. Ruch posuwowy freza jest jednocześnie wytwarzany przez 5 osi, dlatego też długość niepodparta  $l_w$  zastosowanego narzędzia frezarskiego może zostać wyraźnie zmniejszona w porównaniu z frezowaniem 3-osiowym. Pociąga to za sobą wzrost stabilności narzędzia i pewności przebiegu procesu.

5-osiowe frezowanie integralnego wirnika ze stopu Al na centrum obróbkowym Integrex 200-IVST firmy Mazak

Niepodparte długości  $l_w$  narzędzi frezarskich podczas: a) 3-osiowego frezowania ( $l_{w1}$ ), b) 5-osiowego frezowania ( $l_{w2}$ )





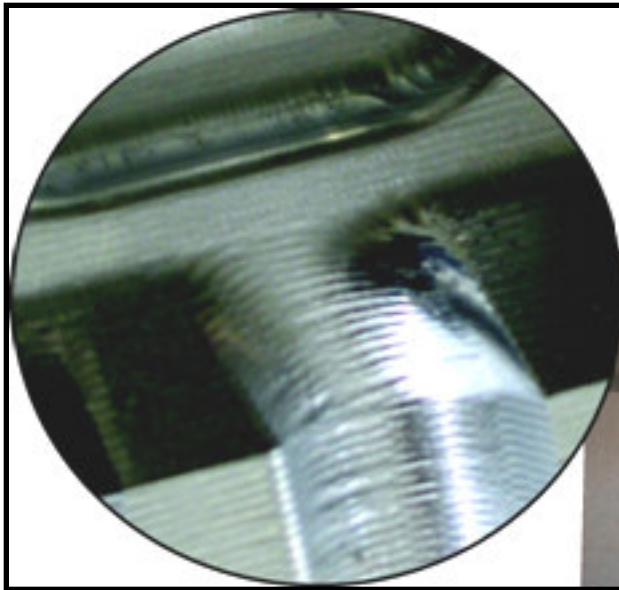
- **“Step” accelerations cause vibrations. The “Jerk Control” technique provides smooth axis accelerations**
- **Fast Step logics can increase finishing quality in step areas**

HSC Jerk Control/Fast Step options

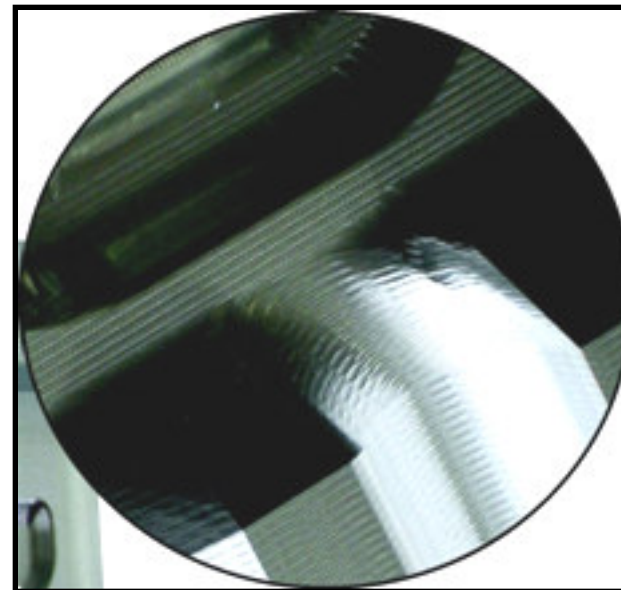


## The HSC “Active” algorithms

- **The Active Tuning and Jerk Control enable to optimize and to enhance the machine characteristics**
- **As a final result: Best surface quality with the shortest milling time**



**Without Active Tuning**



**With Active Tuning**

Pause

Replay

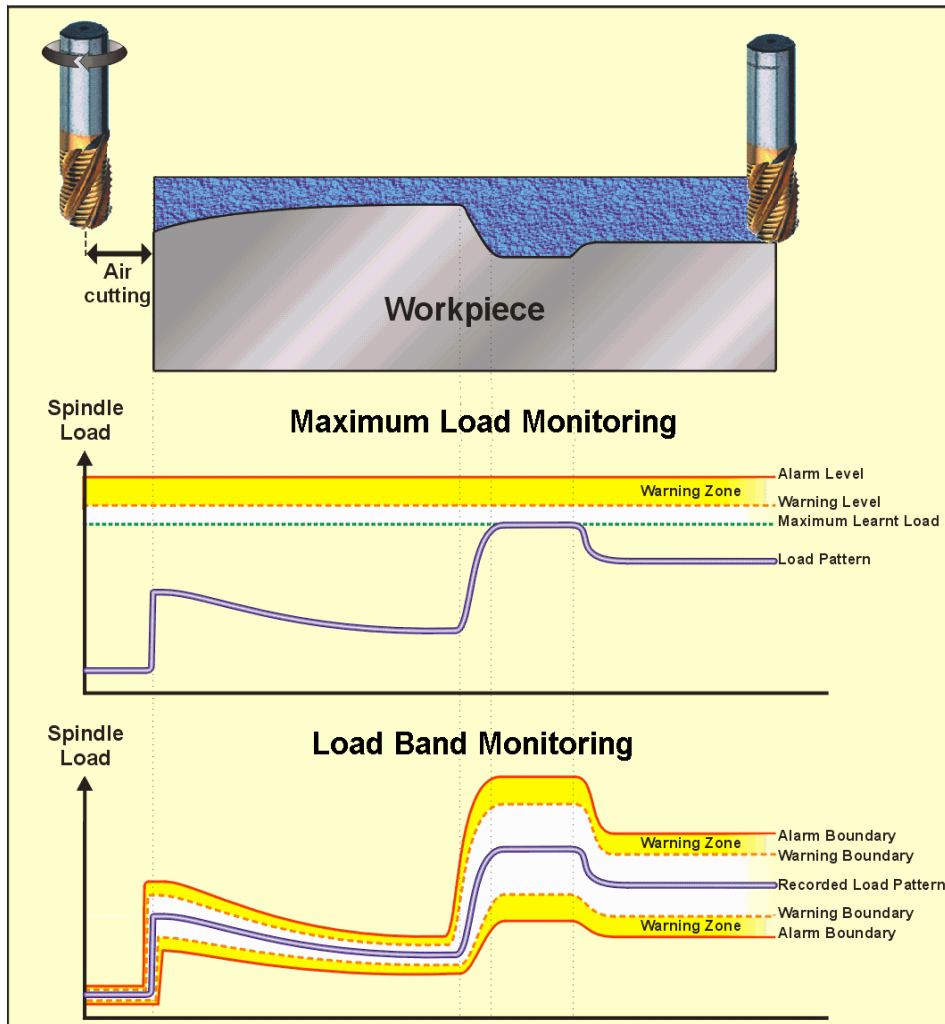
Close Window

With  
OMATIVE ACM

Without  
OMATIVE ACM



# Process Monitoring



Two monitoring modes each with Warning & Alarm levels:

## 1. Maximum Load

Compares the actual load against the Maximum Limit for a specific cutting operation.

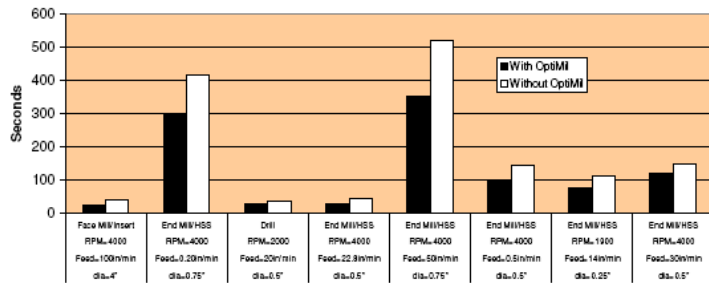
## 2. Load Band -

Compares the actual load against a Load Variation Pattern for a specific cutting operation.

## OptiMil Performance Report

Company: Boeing, Wichita, Kansas  
 Machine & CNC: OKK MHA650 with Fanuc 18M CNC  
 Material: Aluminum  
 Part Description: Stringer Splice

Cutting Time Comparisons



	23	299	27	28	354	95	74	121	Total	S
With OptiMil:	23	299	27	28	354	95	74	121	1021	S
Without OptiMil:	39	416	34	42	522	142	111	146	1452	S
Time Savings:	41.0%	28.1%	20.6%	33.3%	32.2%	33.1%	33.3%	17.1%	29.7%	

Overall Time Saving for Total Job = 29.7%

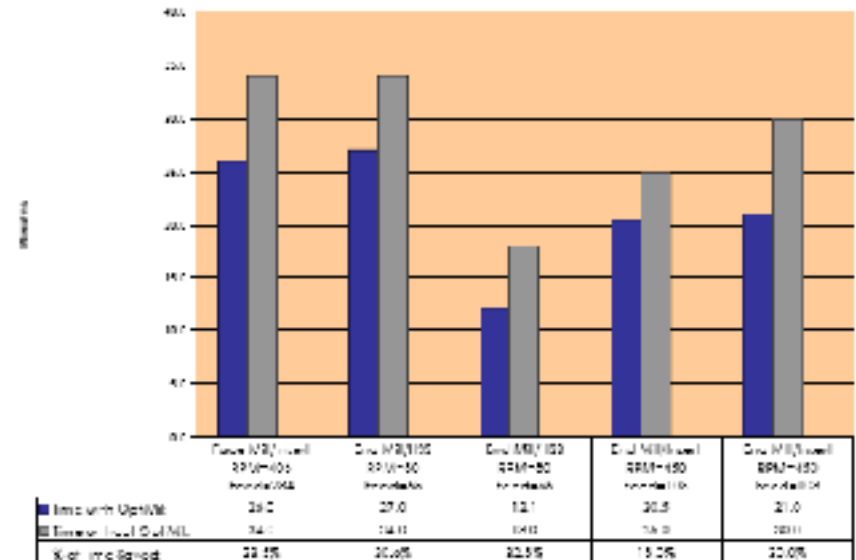
Efekt obniżki prędkości uzyskanej w firmie **Aerospatiale-EADS**, Toulouse, Francja przy obróbce części ze stali nierdzewnej

## OptiMil Performance Report

Company: Aerospatiale-LAUS, Toulouse, France  
 Machine: CMS-1 Spindle  
 CNC: SIM 750  
 Material: Alloy Steel 316L D16

Efekt obniżki prędkości o **29,7%** przy obróbce podłużnic ze stopu aluminium uzyskanej w firmie **Boeing**

Comparison of Cutting Time



Total Minutes with OptiMil = 180.0  
 Total Minutes without OptiMil = 248.0

OVERALL TIME SAVINGS

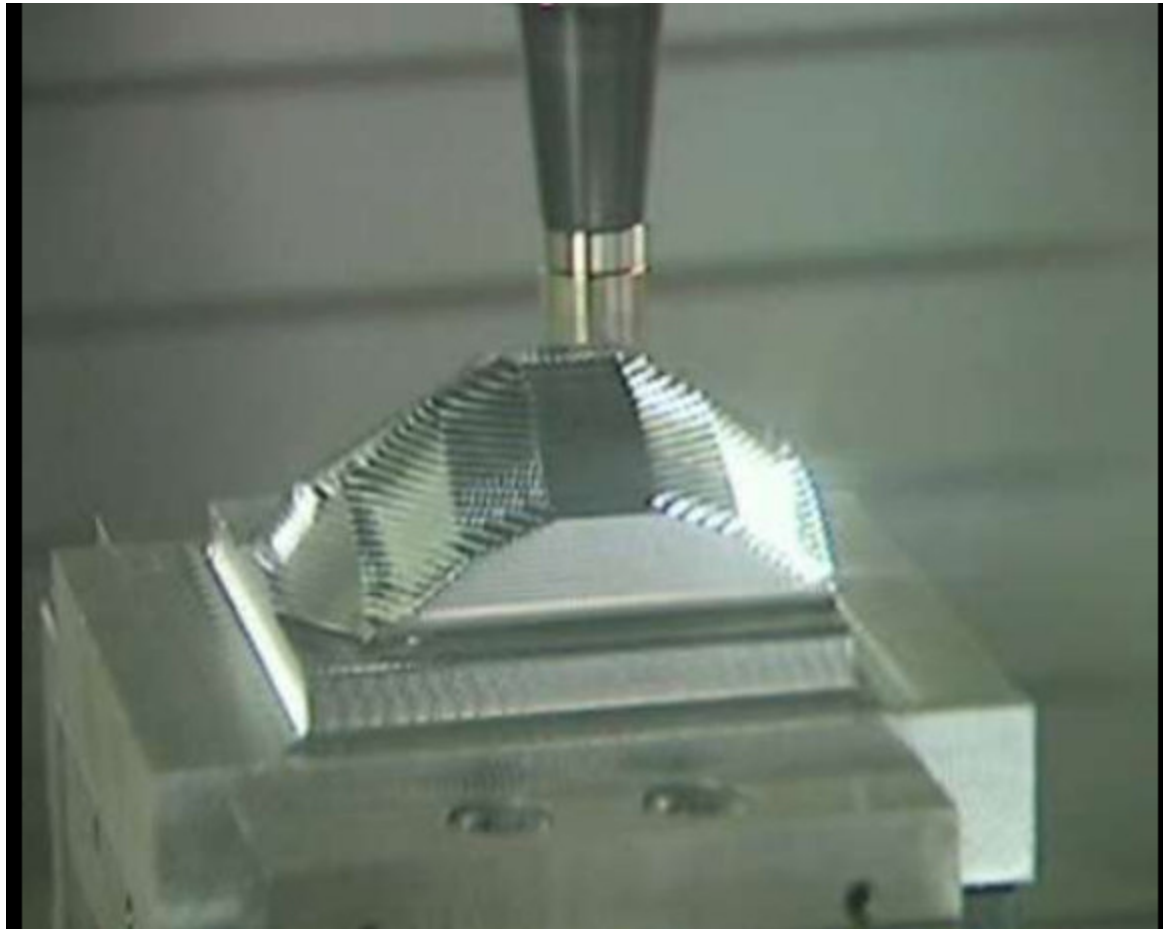
24.4%

# Protecting Expensive Parts





# CNC-integrated ACM



# Złamanie narzędzia

- Narzędzie ulega złamaniu w warunkach ekstremalnego przeciążenia z powodu:
  - Uderzenia narzędzia w materiał
  - Twarde wtrącenia materiałowe
  - Nadmierne zużycie narzędzia
  - Przerwanie chłodzenia
  - Nadmiernej głębokości skrawania

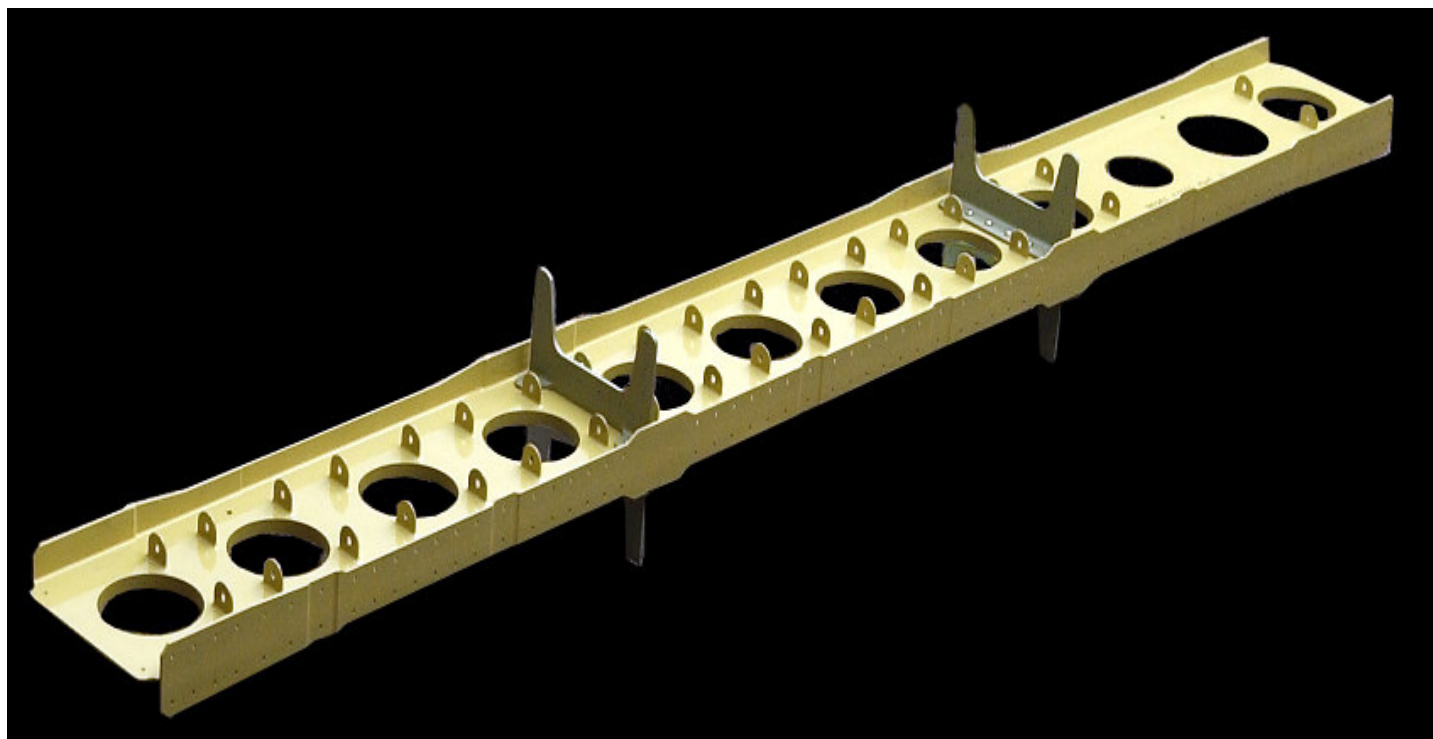


## Zabezpieczenie ACM's Narzędzia

System OMATIVE ACM zmniejsza automatycznie posuw do maksymalnego bezpiecznego poziomu potrzebnego aby chronić narzędzie przed złamaniem lub zatrzymuje maszynę i ogłasza alarm.



# Przykład belki dźwigarowej HSM



Obróbka frezem o  $\Phi$  13mm

Wymiary półfabrykatu = 101mm x 202mm x 1.6m



*Photo courtesy Sikorsky.*

# Efekty z stosowania HSM

Parametry obróbki	Wartości "Książkowe"	Wartości nadane
Posuw/Minute	1,000 ft/min (305m/min)	2,500 ft/min (760m/min)
Obr/min	7 640	18 500
Posuw na ząb	.001" (.025mm)	.005" (.13mm)
Inches/minute	15.3 (0.4m/m)	80 (2m/m)
Głębokość skrawania	.25 (6.5mm)	.15 (4mm)
Wydajność objętościowa	1.9 cubic inches/min (112cm <sup>3</sup> /min)	6 cubic inches/min (3 50.0cm <sup>3</sup> /min)
Czas obróbki	<b>18.0</b> godzin	<b>6</b> godzin



# Inne Efekty

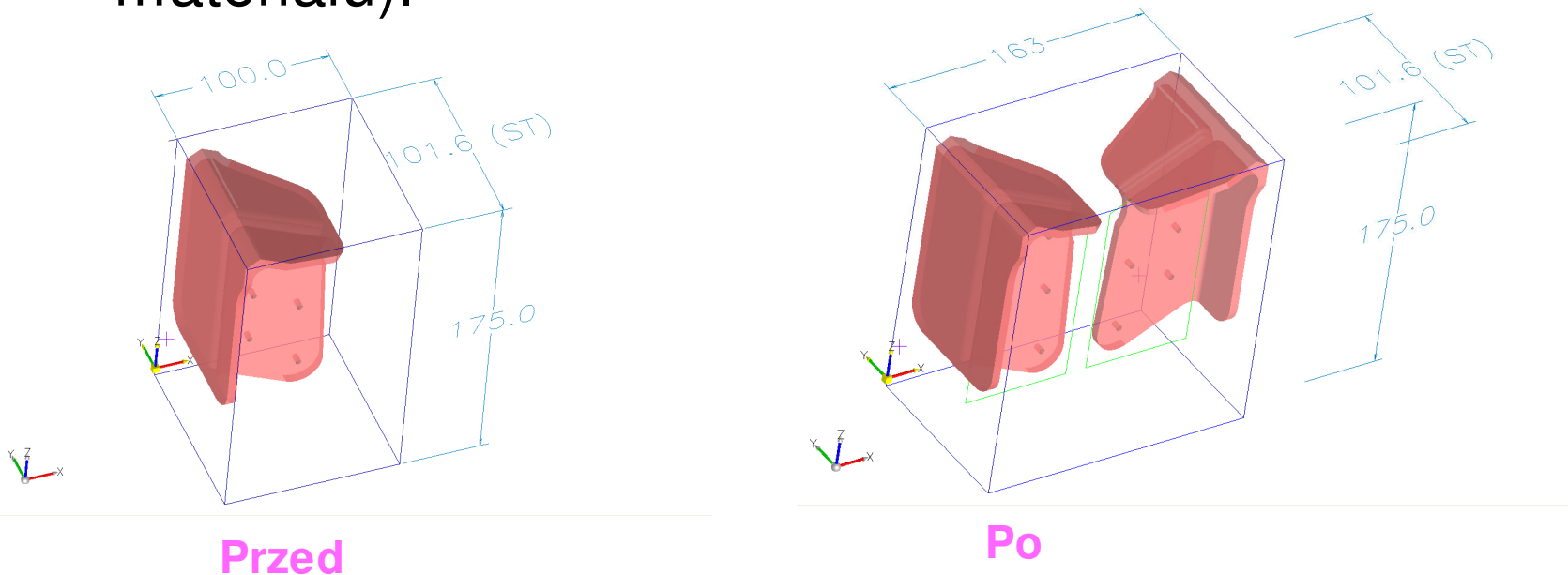
- Uproszczone Mocowanie
  - Zmniejszone siły skrawania
  - High speed = bez ekscytowania się
- Czyste krawędzie = mniejsze odkształcenia
- Gładze powierzchnie = zmniejszone wykańczanie
- Zmniejszone zapasy narzędzi

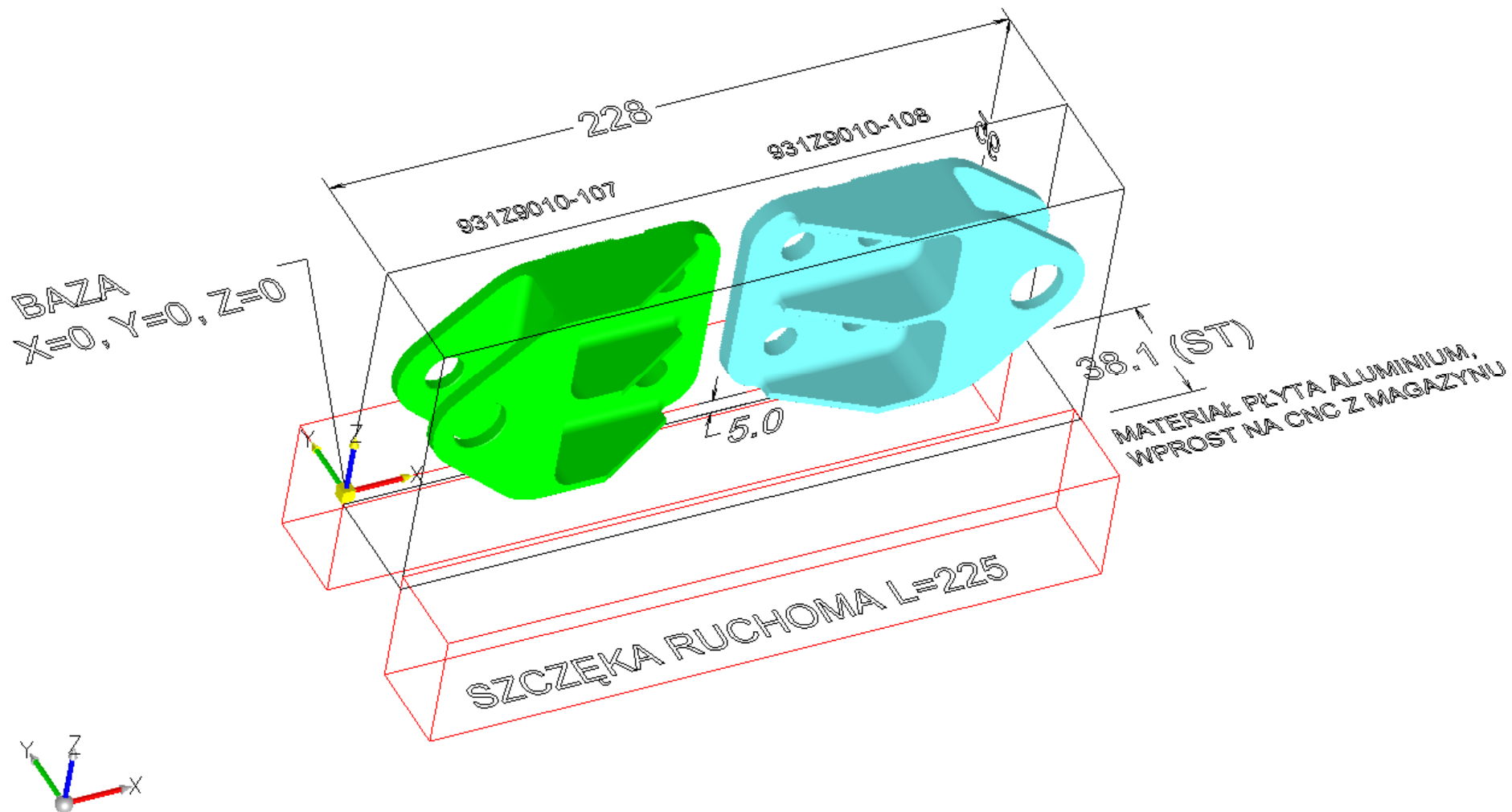
# Wdrażenie – Higher Speed to jest tylko początek

- Przyrządy, mocowanie, techniki planowania i programowania
- Modelowanie i symulacja
  - Drogi narzędzia
  - Optymalizacja posuwu
  - Zarządzanie odstępstwami
  - Przepływ w fabryce
- Sieć dostaw
  - Półfabrykat
  - Narzędzia i oprawki
  - Pre and postprocesory
  - Technika i badanie (politechniki)

# Dodatkowe metody optymalizacji

- Jeśli jest to możliwe zaleca się obróbkę dwóch lub więcej części z jednej przygotówki (symetryczne/zwierciadlane odbicie) przy tym samym  $t_{pz}$  – przygotówka dostarczana bezpośrednio z magazynu. **Korzyści** – oszczędność materiału, zmniejszenia czasu przygotowania przygotówki nawet do zera, część jest bardziej stabilna podczas obróbki (przykład: 423Z1123-1/-2 -18% oszczędności materiału).





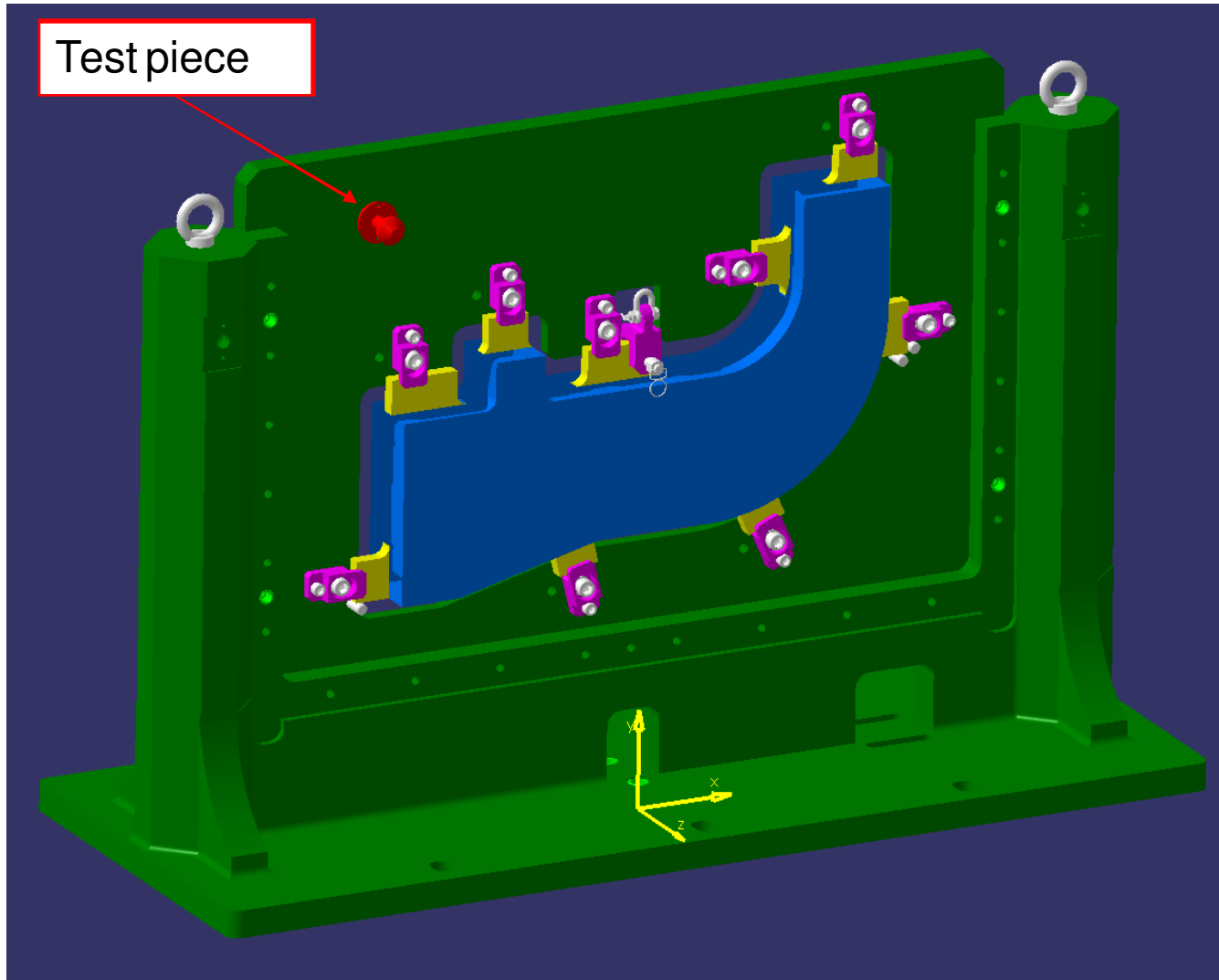
**Przykład części samolotu B-787 93129010 -107, 108**



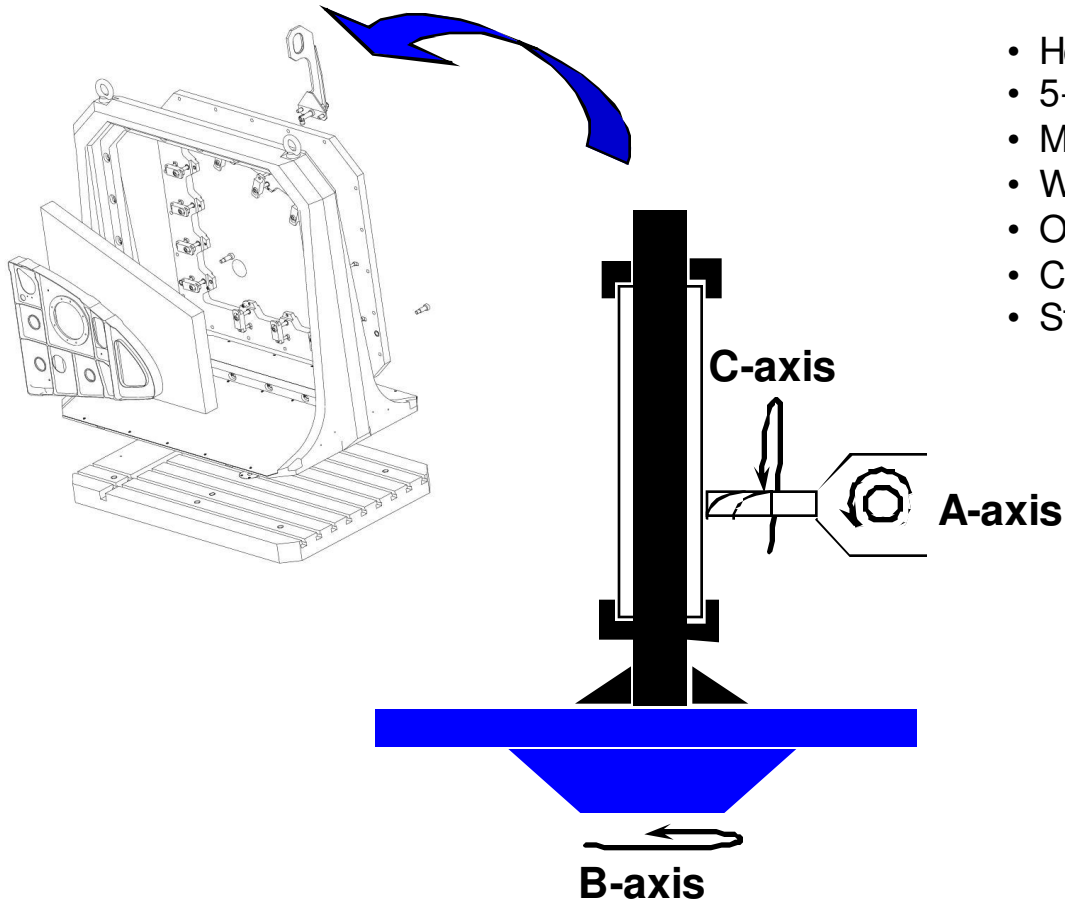
**Przykład wykonanej części samolotu B-787 93129010 -107, 108**



# Saab Methods



# Method – Fixture (mocowanie)



- Horizontal
- 5-axis HSM (High Speed Machining)
- Multi pallet system
- Window frame fixture
- One setup
- Complete machining (shorter lead time)
- Standard rigging (wyposażenie)

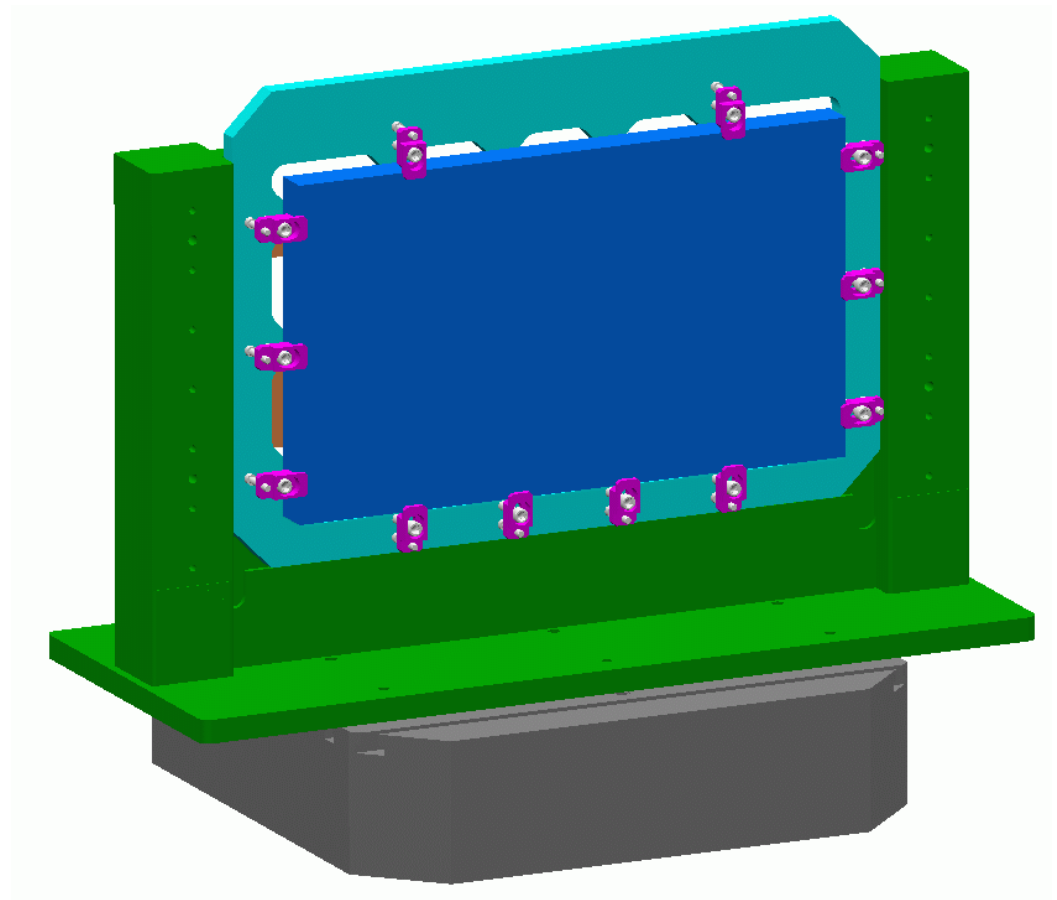
# Method – Fixture

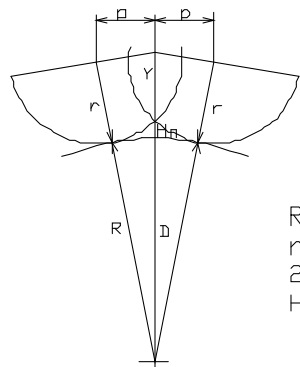
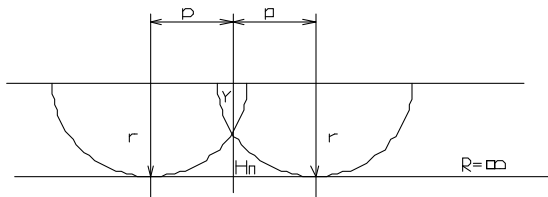
## Advantages:

- Low cost for fixtures
- Reduced time for set up
- Chip removal
- Good stress release with two side approach
- No geometrical mismatch (niedopasowanie)

## Disadvantages:

- Vibrations (stability problems)
- Deflection of the part
- Stock size





$R$  -promień krzywizny  
 $r$  -promień narzędzia  
 $2p$ -odległość środków narzędzia  
 $H_n$ -wysokość nierówności

$$D = \sqrt{(R+r)^2 - p^2}$$

$$Y = \sqrt{r^2 - p^2}$$

$$H_n = D - Y - R$$

$$H_n = \sqrt{(R+r)^2 - p^2} - \sqrt{r^2 - p^2} - R$$

W przypadku, gdy powierzchnia staje się płaska tzn.  $R \rightarrow \infty$

Rys. Określenie wielkości nierówności powierzchni

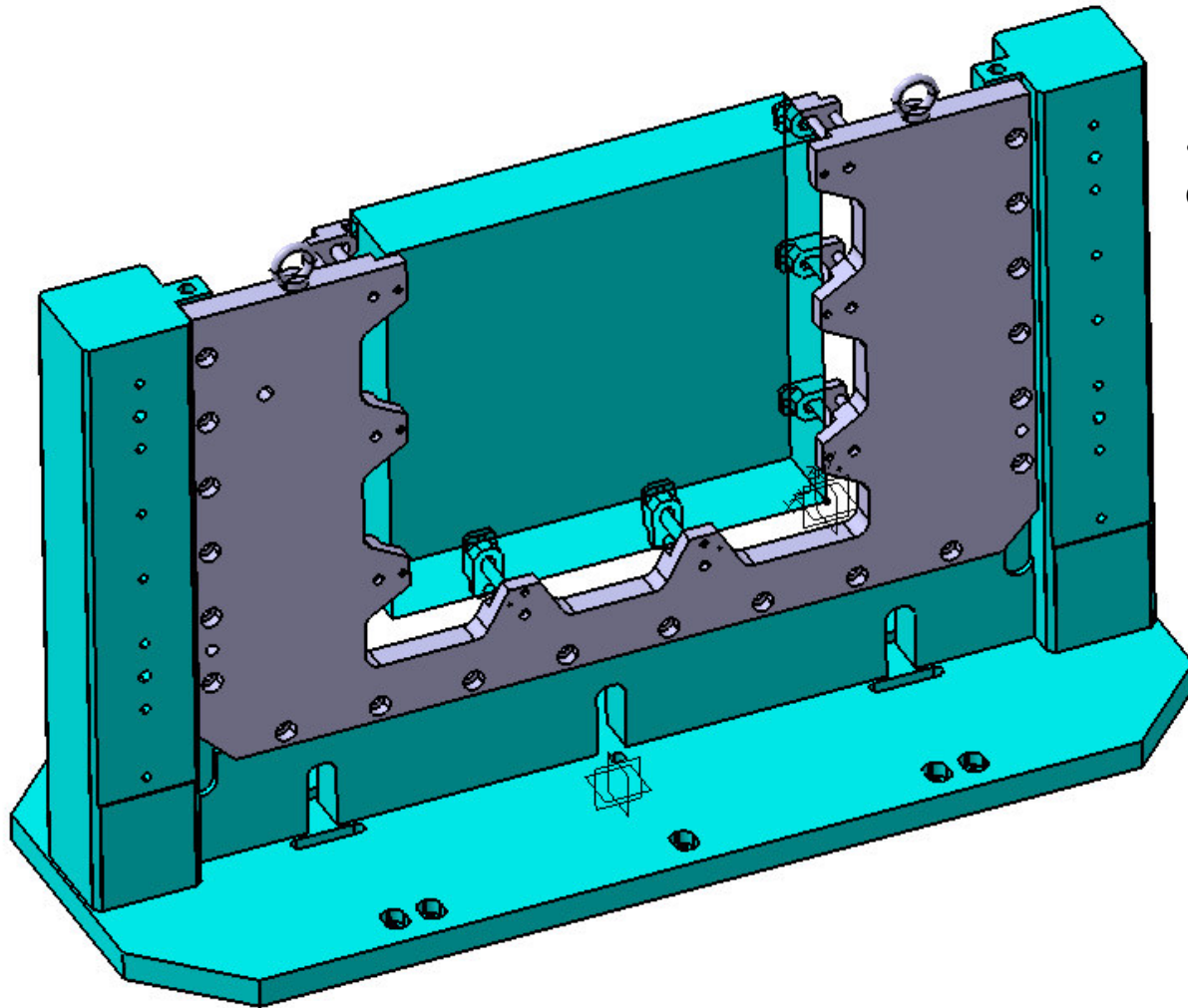
mamy

$$\begin{aligned}
 \lim_{R \rightarrow \infty} \sqrt{(R+r)^2 - p^2} - R - \sqrt{r^2 - p^2} &= \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{(R+r)^2 - p^2 - R^2}{\sqrt{(R-r)^2 - p^2} + R} - \sqrt{r^2 - p^2} = \\
 &= \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{R^2 + 2Rr - p^2 - R^2}{\sqrt{(R+r)^2 - p^2} + R} - \sqrt{r^2 - p^2} = \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{\frac{2Rr}{R} - \frac{p^2}{R}}{\sqrt{\left(\frac{R}{R} + \frac{r}{R}\right)^2 \frac{p^2}{R^2} + 1}} - \sqrt{r^2 - p^2} = \\
 &= \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{2r}{\sqrt{1+1}} - \sqrt{r^2 - p^2} = r - \sqrt{r^2 - p^2}
 \end{aligned}$$

Awięc

$$H_n = r - \sqrt{r^2 - p^2}$$

# Saab Methods



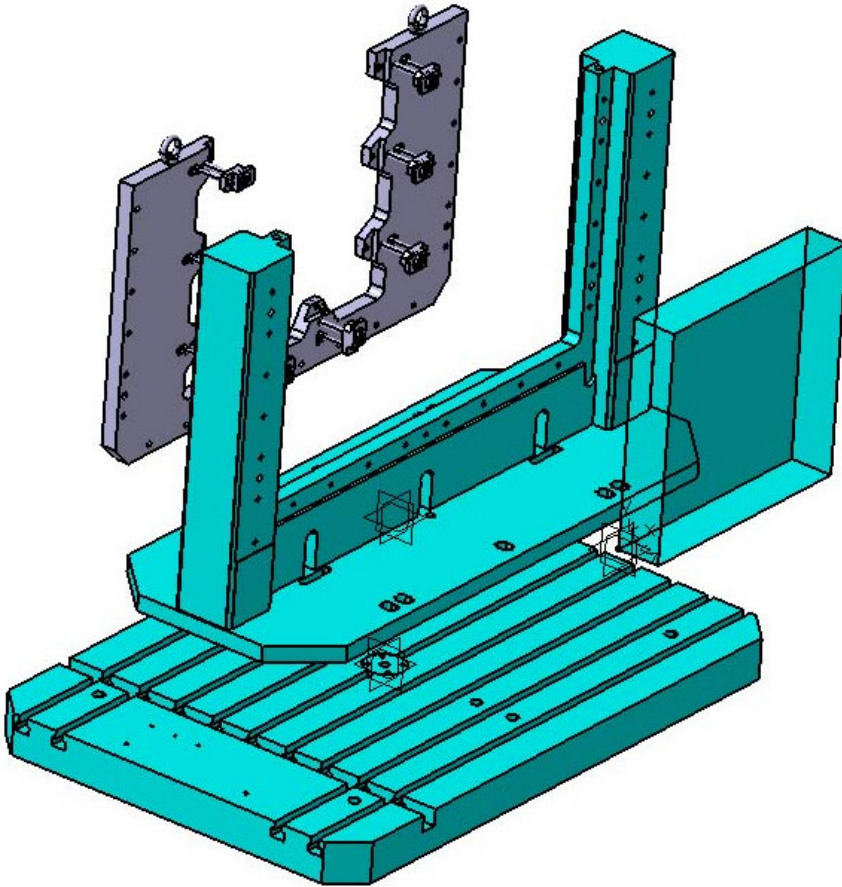
## Window frame fixtures

- One setup from billet to complete part is the aim.



## The complete setup

Tolerance  $\pm 0,5$  from centre hole (Machine Zero) to the billet (przygotówka)

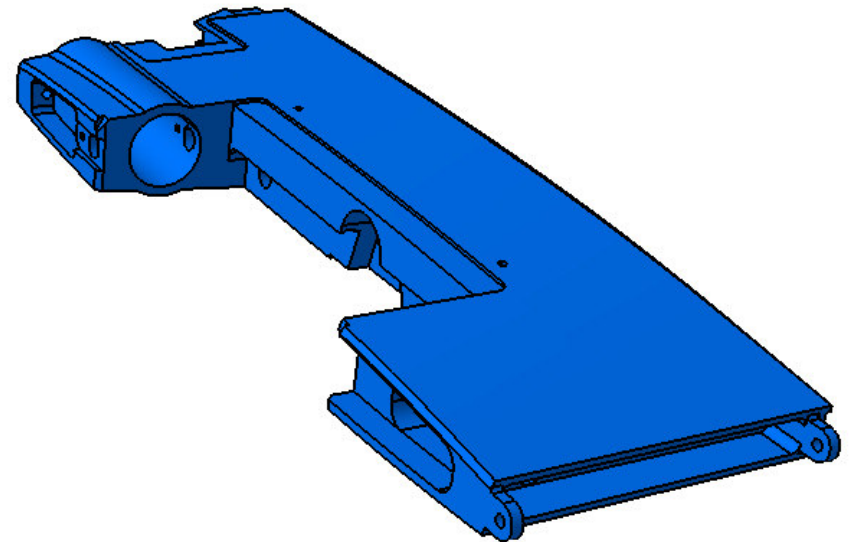
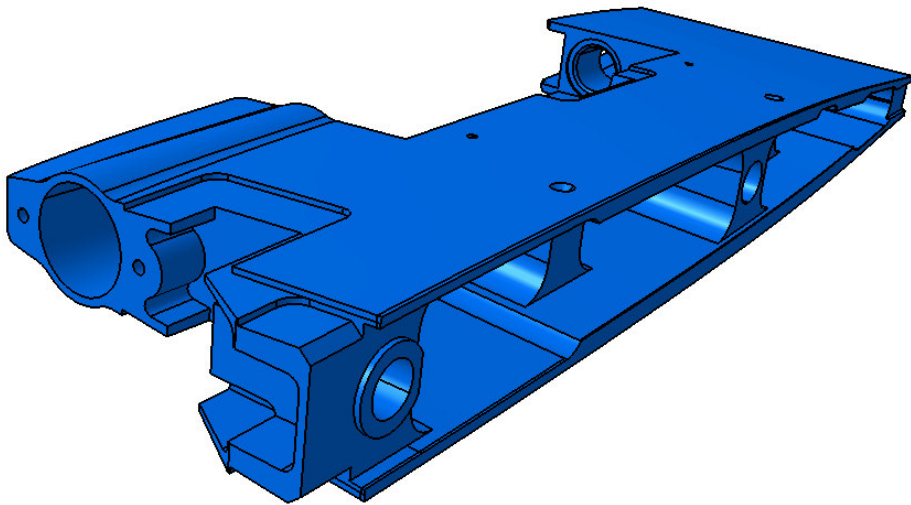


No indication (znak) needed after assembly.

**Just press the start button!**

## Complex parts

Aluminium part which needs a number of operations

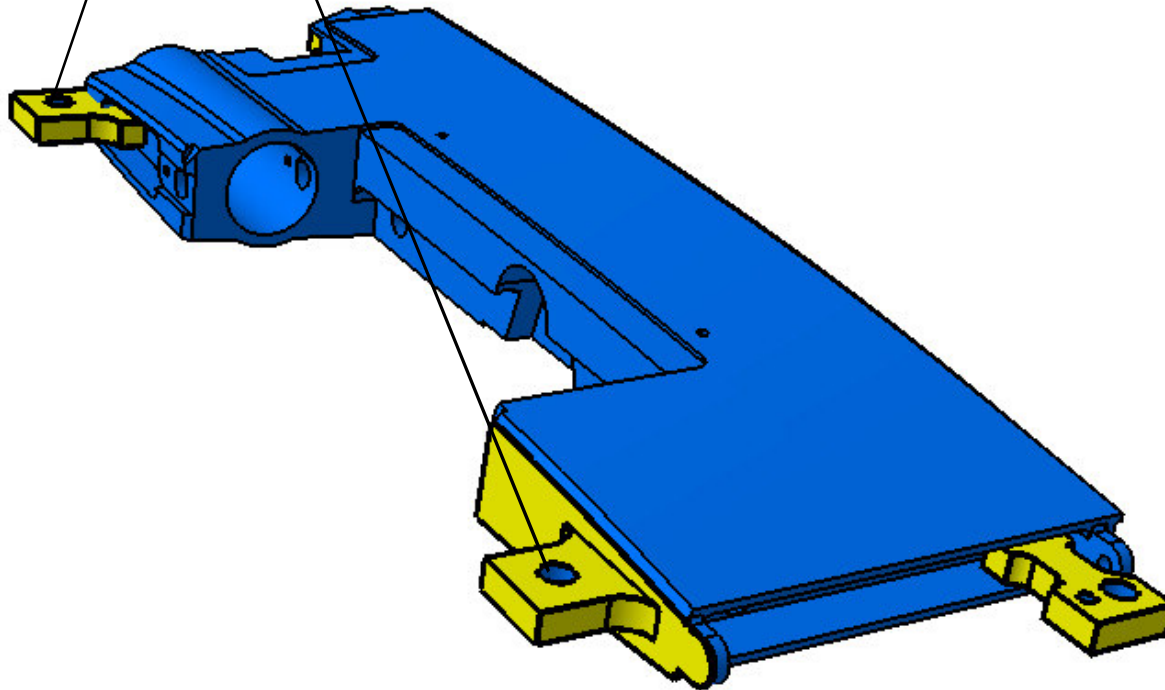


## Important

- Take care of the tolerances.
- Repeatability (no indicating after setup).

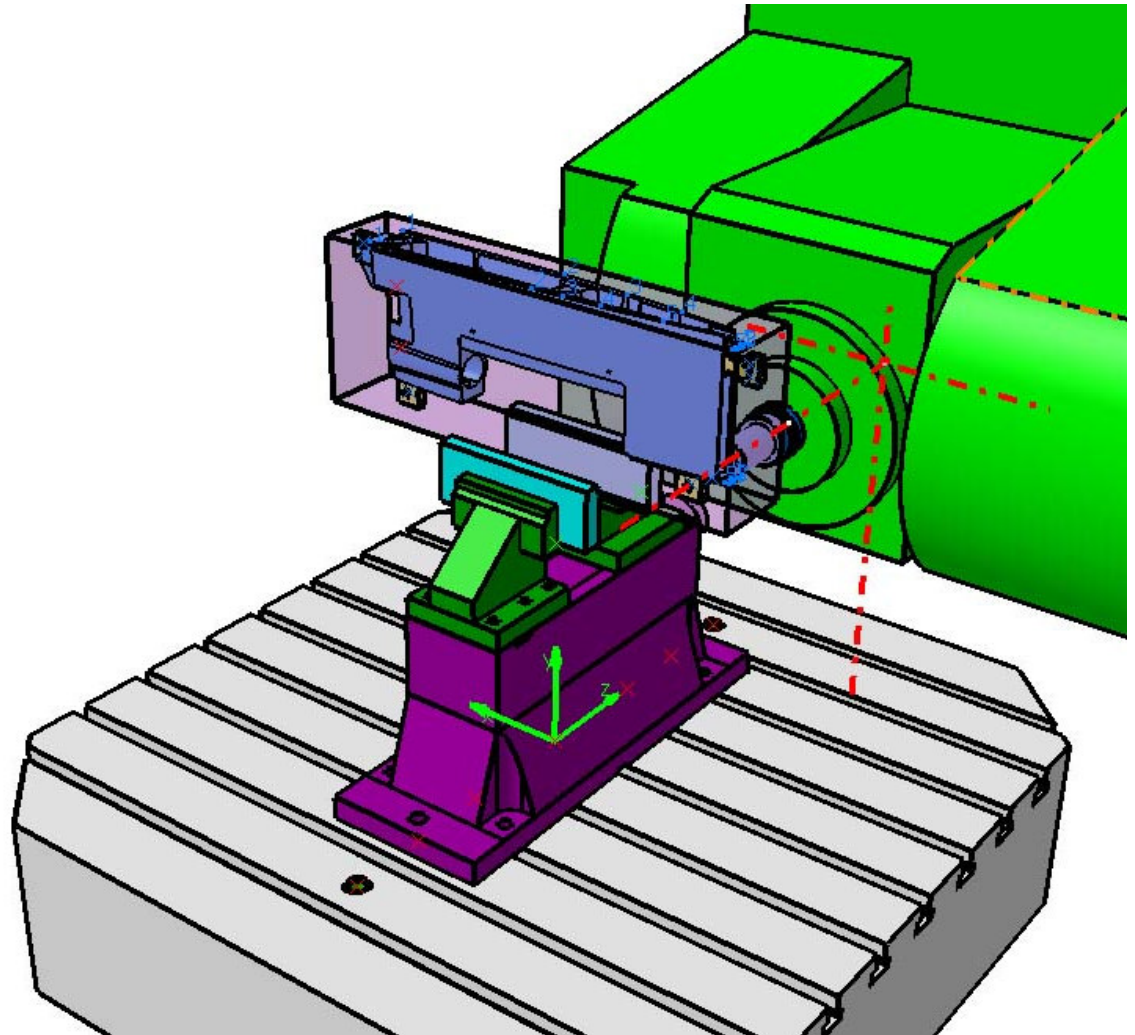
## Method

- Use handles with locating holes (pay attention of the accuracy)
- Keep the handles as long as possible.



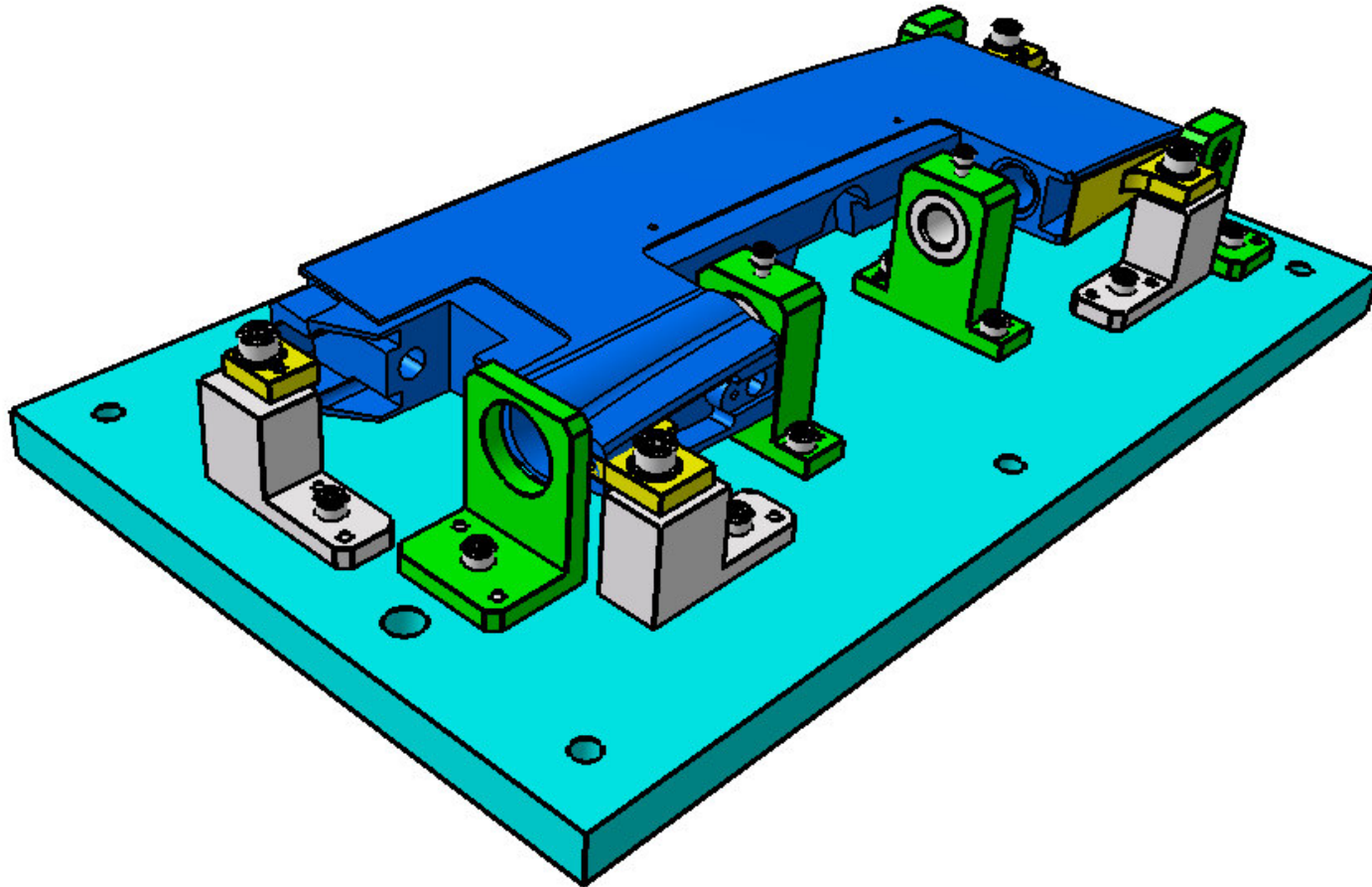
## First operation

- Billet in a vice, Standard jaws will be used.
- Accurate position of the billet not so important.
- As much as possible to be machined.
- Accuracy for the handles are very important.
- Rest material removed after Machining.



## Second operation

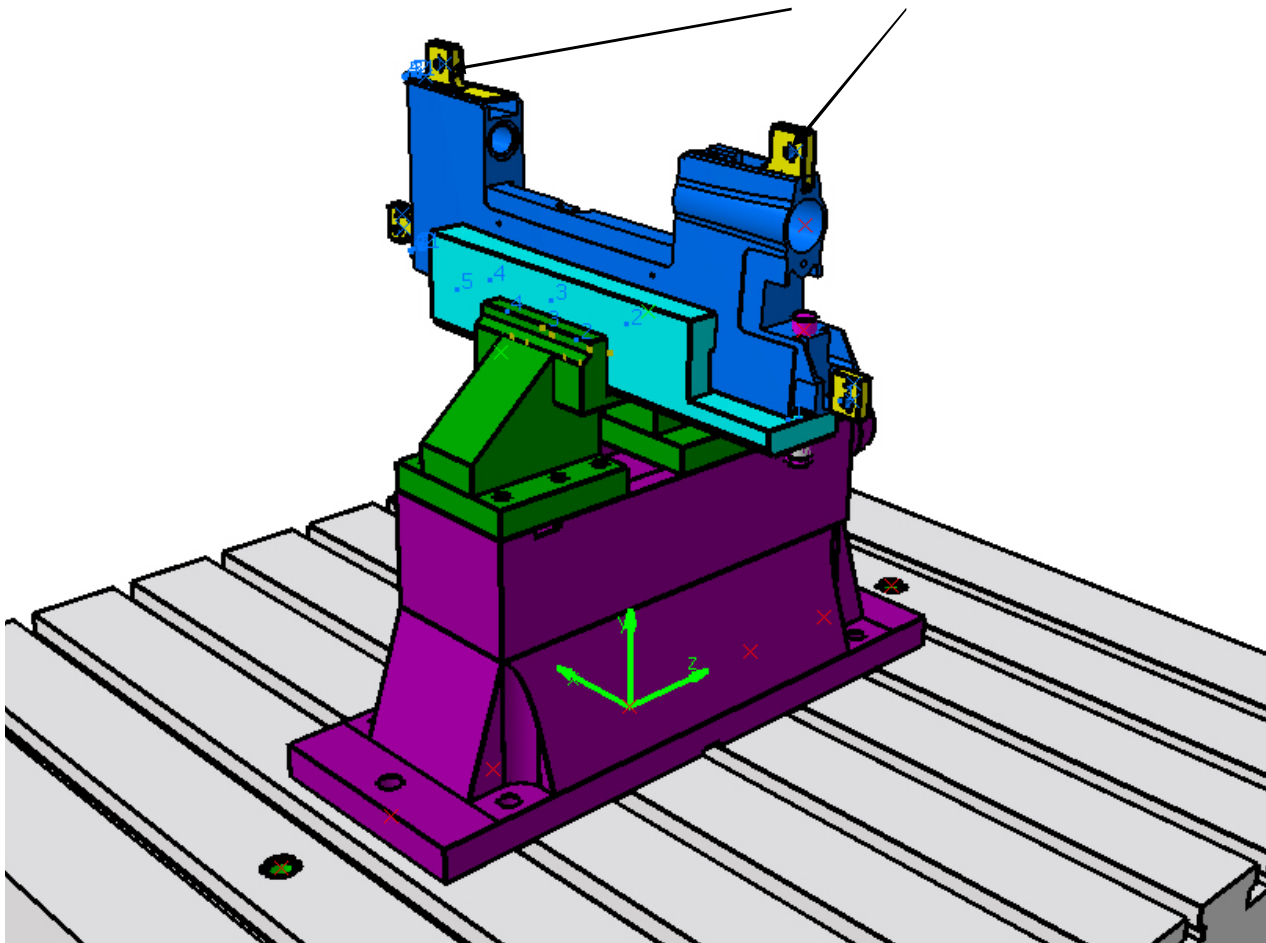
- **The accuracy of the handles is the key.**
- **Indication of the hole position in the fixture**





## Third operation

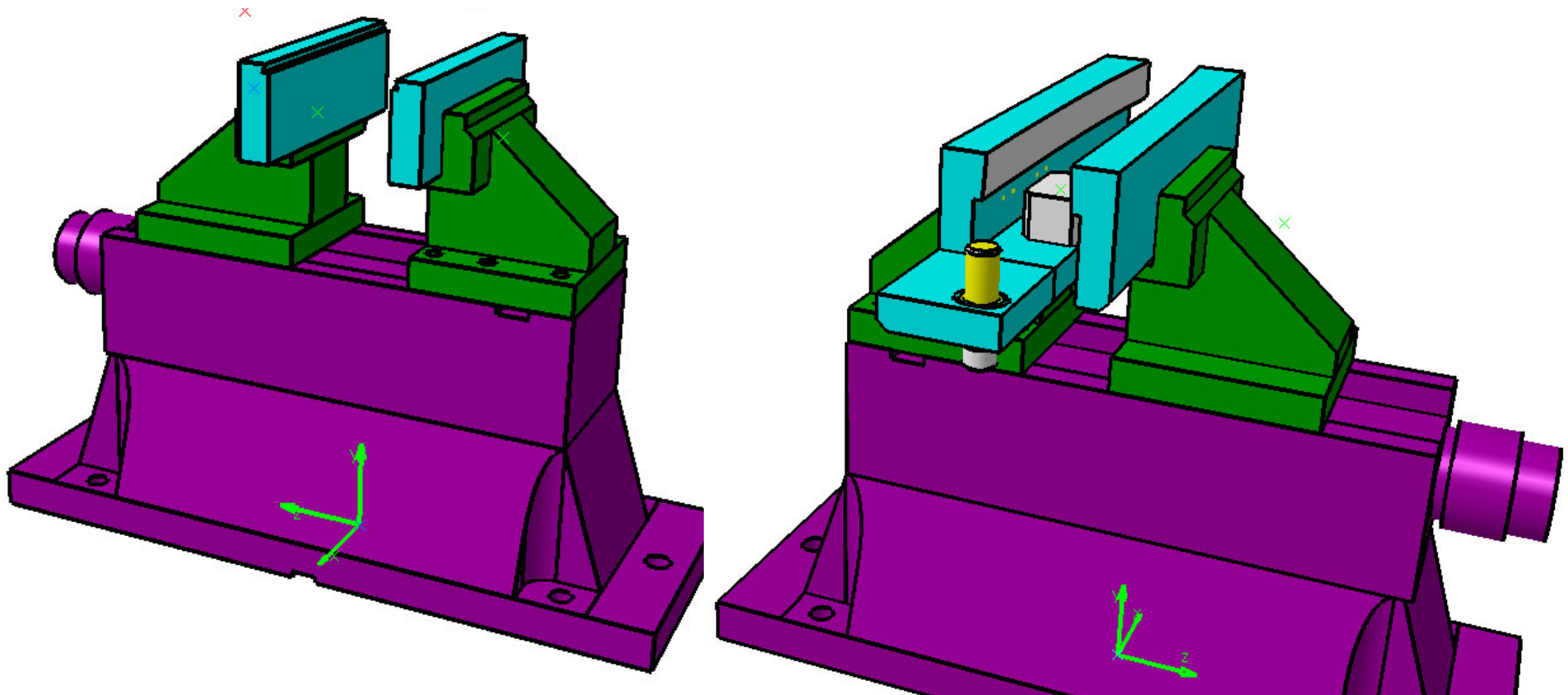
- Special designed jaws.
- Finishing of the part.
- Remove handles in the Machining operation.



## Standard jaws

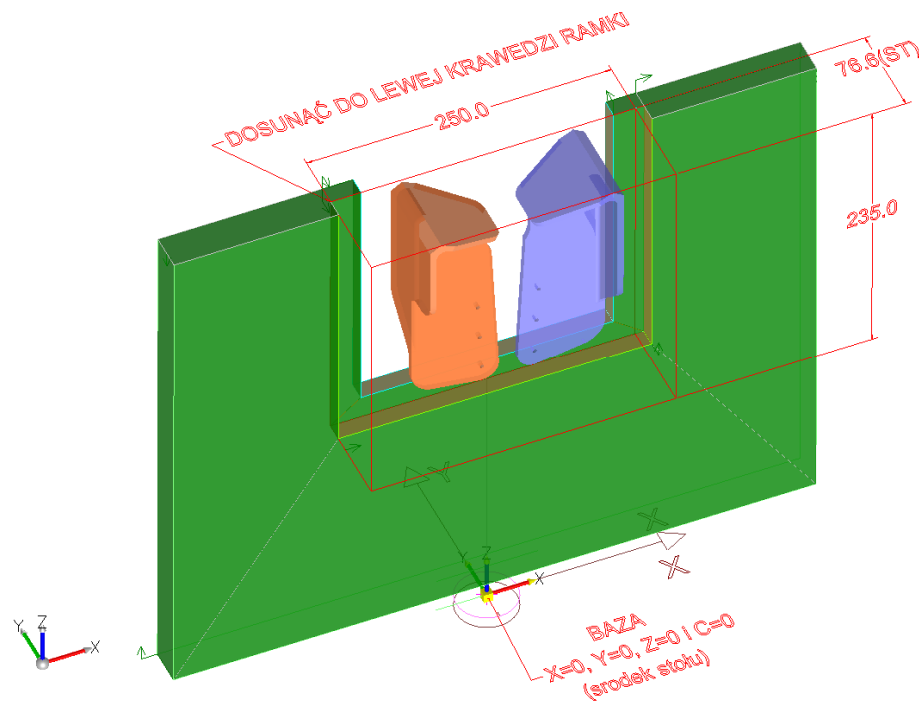
## Special designed Fixture.

- Tolerance  $\pm 0,05$  in "Y" from centre hole (Machine Zero).
- Tolerance  $\pm 0,1$  in "Z" from centre hole (Machine Zero).
- Tolerance  $\pm 0,05$  in "X" from centre hole (Machine Zero).
- The position of the first part in production was indicated.
- From then we rely on the repetability in each setup.



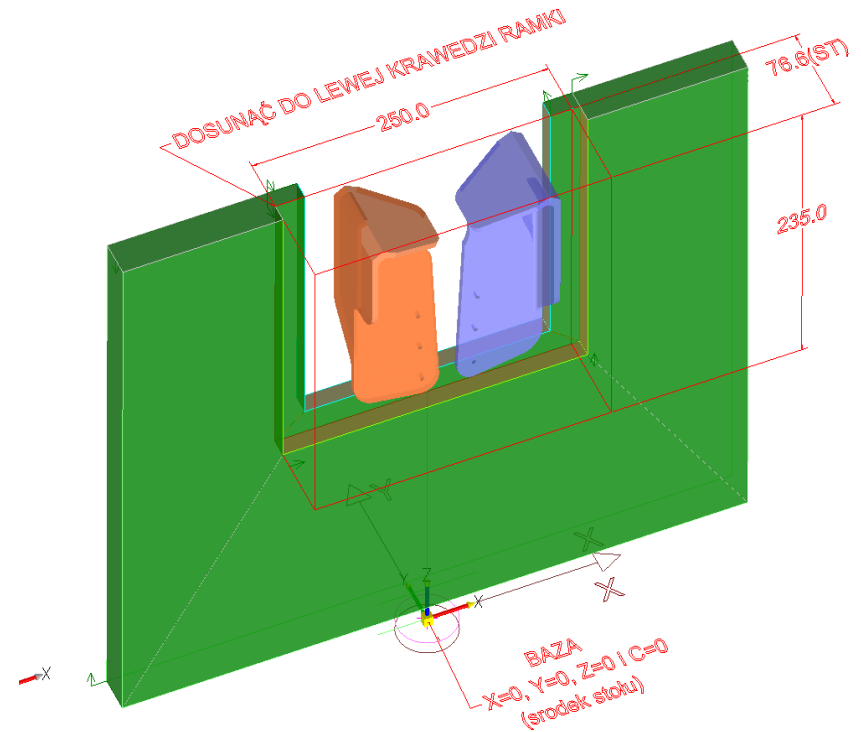
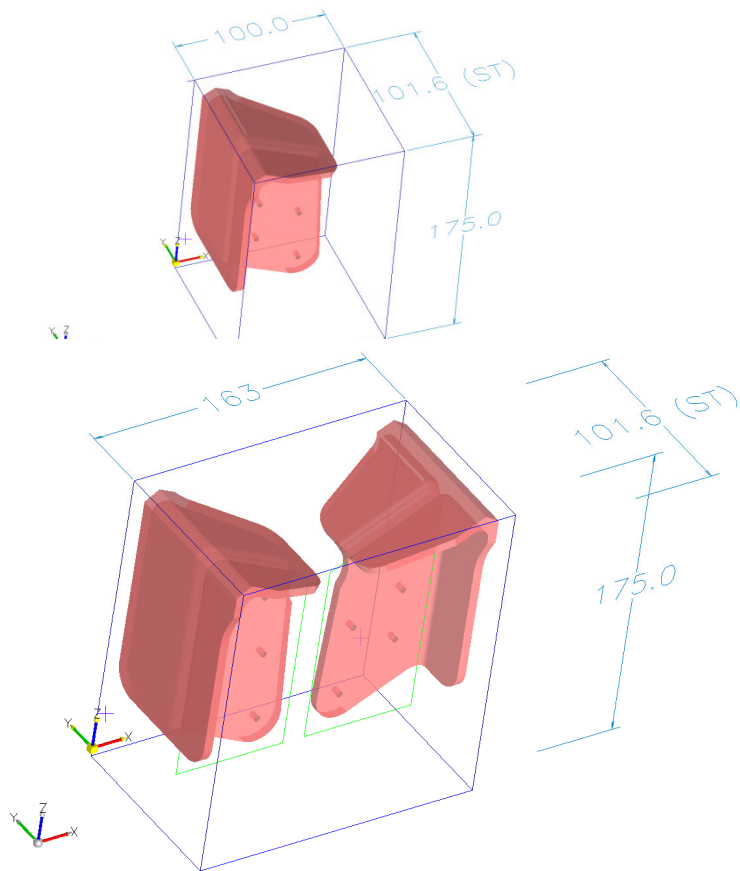
# CEL

- Wyzwanie / wdrożyć pomysł do produkcji w ramach lub „oknach” (nowe mocowanie w PZL).



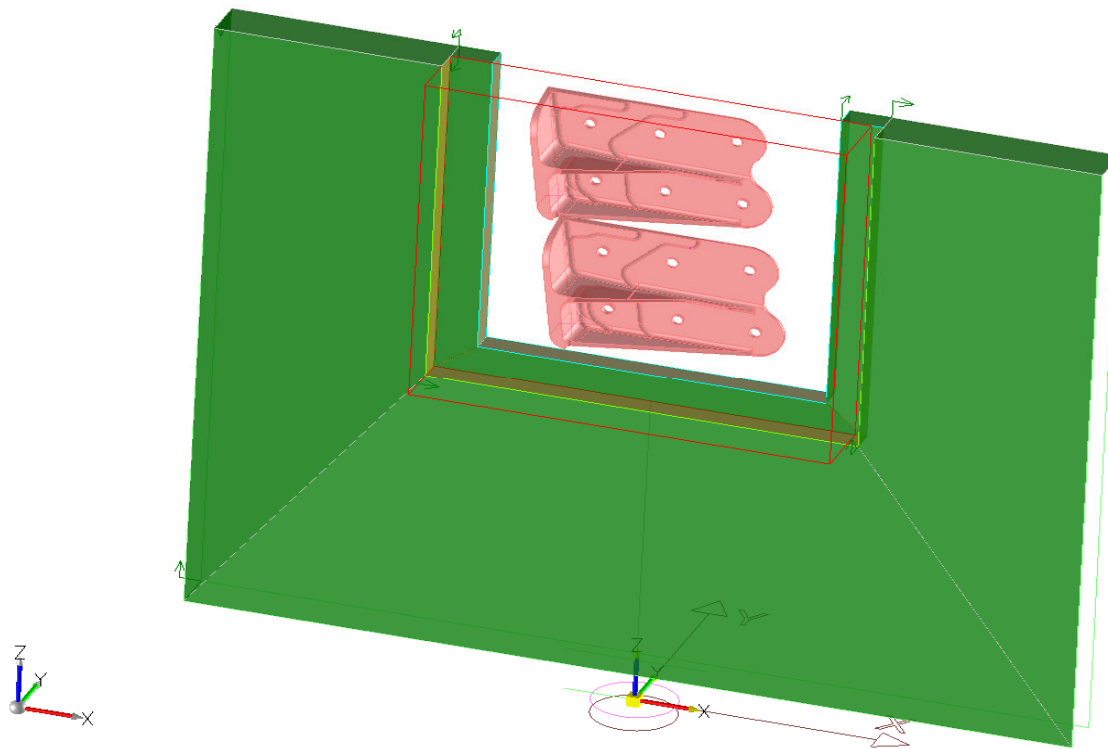
# Produkcja w ramce.

**423Z1125-1, Tpz w nowej ramce, 2części w przygotówce  
- wcześniej 1 część w imadle**



# Produkcja w ramce.

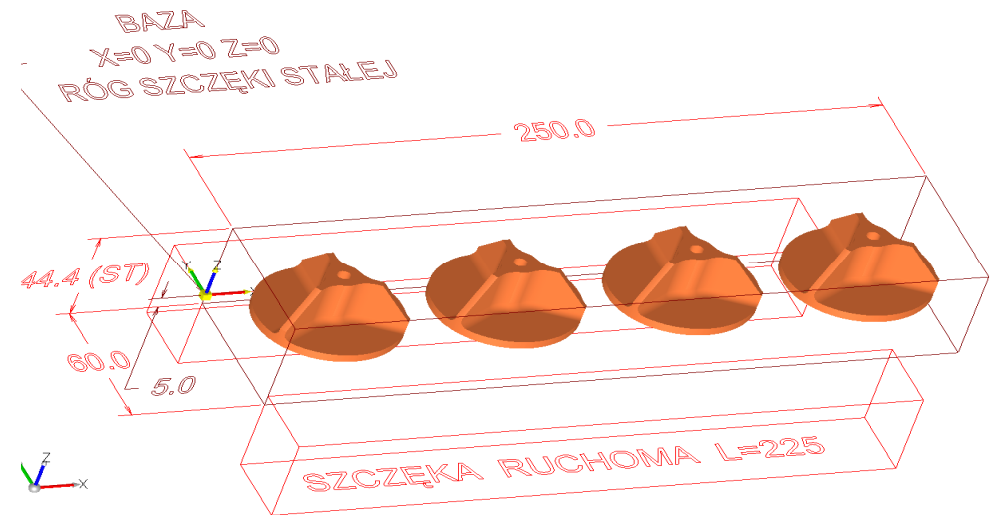
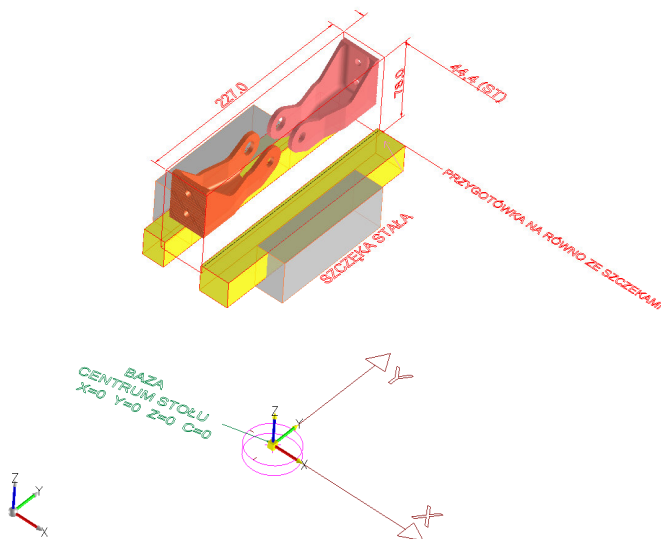
Rodzina części jak: 423Z1139-01, 423Z1140-1 do 423Z1147-1 and 423Z1148-1 produkcja w ramce, 2 części w 1 przygotówce, 1 ustawienie (wcześniej 2 or 3 ustawienia na CNC. 1część na 1 przygotówkę)





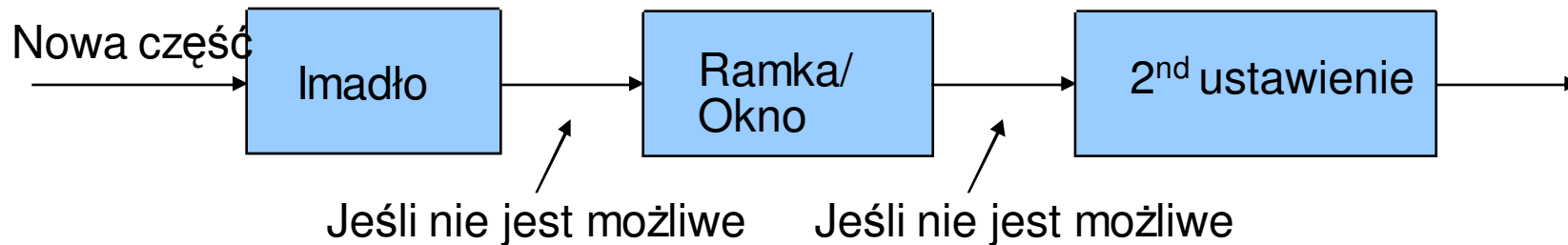
# Końcowe rezultaty

- Zmniejszenie  $T_{pz}$  (dwu paletowy system, zero point system, Zmniejszenie wymiarów przygotówki, zmniejszenie liczby ustawień)
- Filozofia mocowania (imadła, ramki/okna)
- Wzrost czasu obróbki (więcej niż jedna część na 1 przygotówkę) daje operatorowi możliwość przygotowania następnej pracy i skończenia poprzedniej.

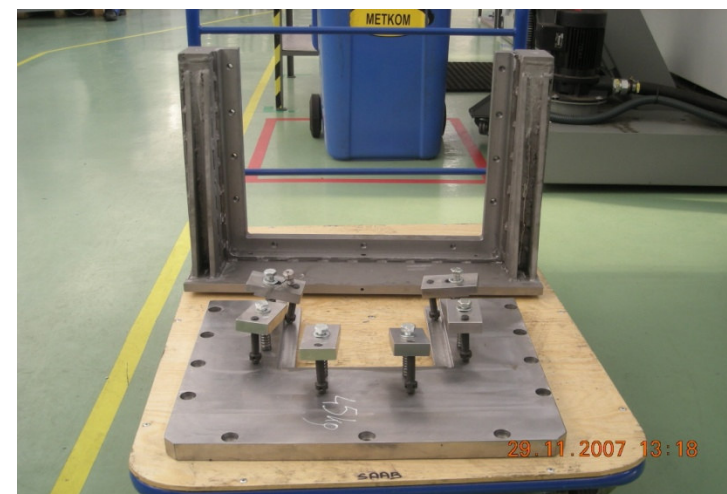
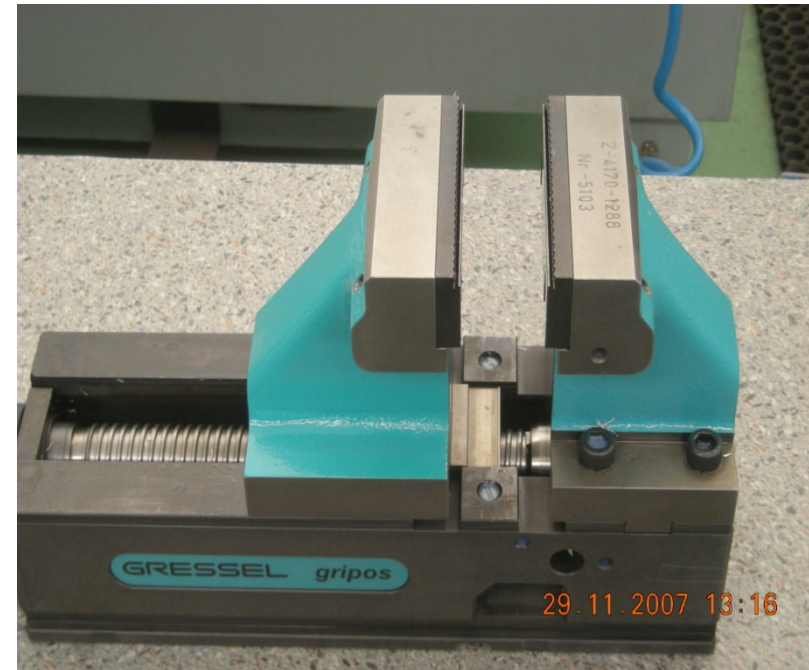


# Końcowe rezultaty

- Części są dzielone na rodziny wg odpowiednich metod jak rodzina dla imadeł, more than one set up family (niektóre z tych części tworzą rodzinę części dla ramek)
- Wdrożenie nowej metody produkcyjnej



# Końcowe rezultaty





# Helicopter I

ENGINEERING YOUR COMPETITIVE EDGE



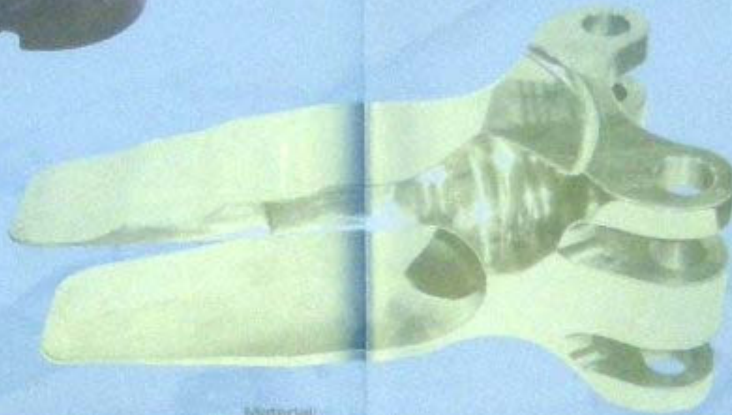
KBSM  
75° face mill



NGE  
helical end mill



**Sikorsky**  
A United Technologies Company



Material:  
3.7165 / Ti6Al4V



KSM face and copy mill

Solid carbide button head  
mounted in a heat shrink adaptor



Brass monoblock  
finishing mill  
Ø 80 mm with cutting edge length of  
250 mm with 2 off - 0



5 x D Indexable drill



Reaming tools  
with modular exchangeable  
reaming heads mounted in  
a hydraulic expansion chuck



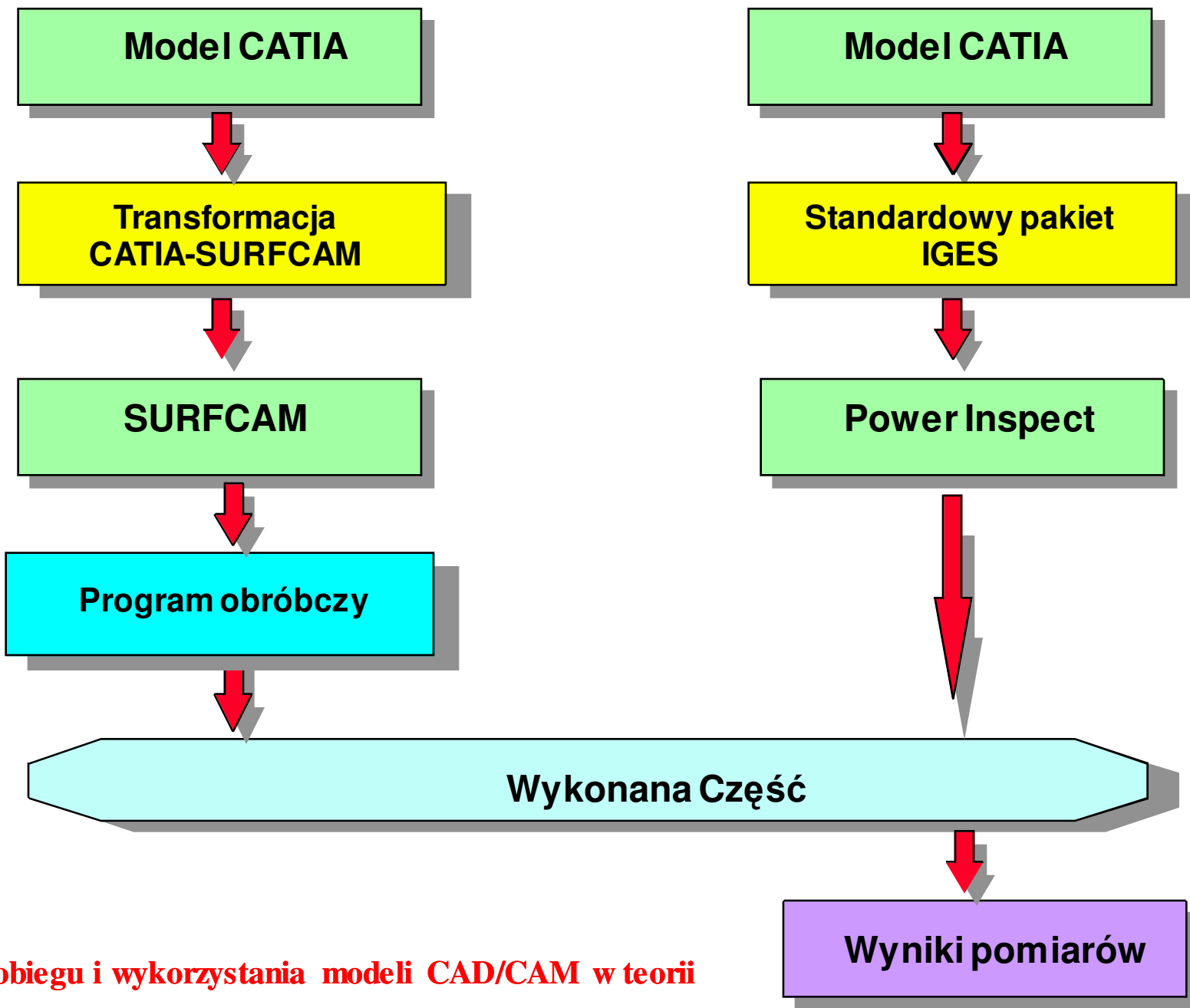
Side and face mill  
3 cutting edges



MultiStep  
Variable milling tool  
with M100 face and copy mills

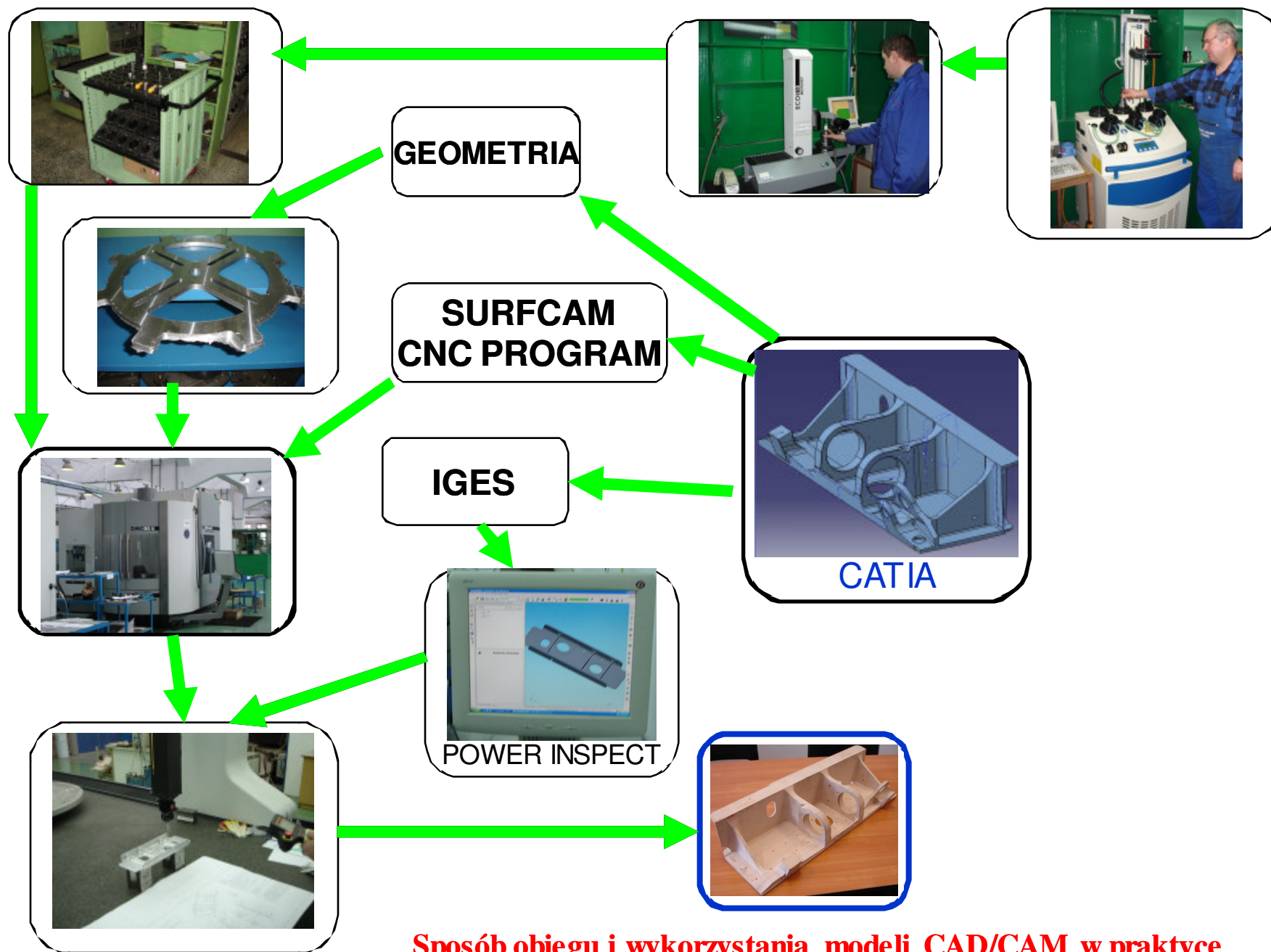
25.02.2008 09:20

Piloci

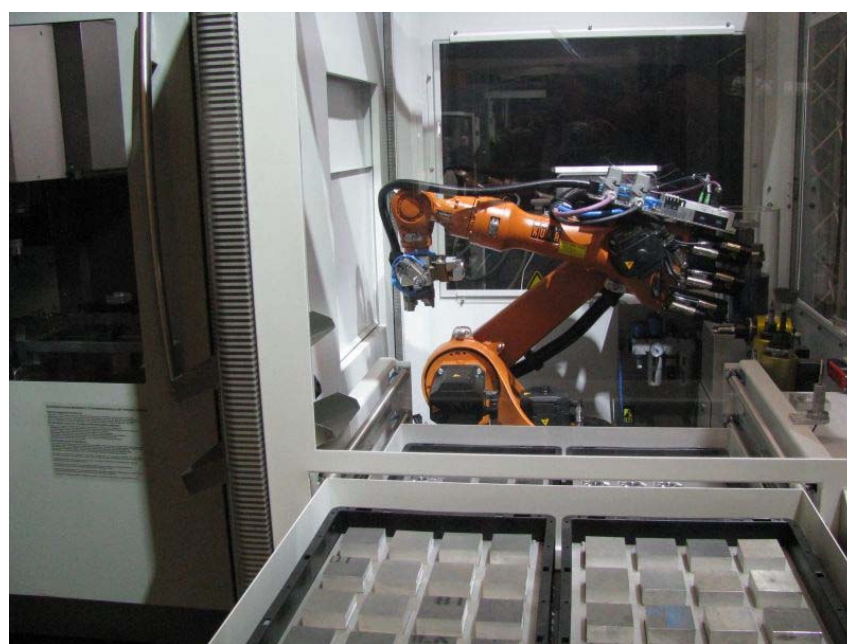


**Sposób obiegu i wykorzystania modeli CAD/CAM w teorii**





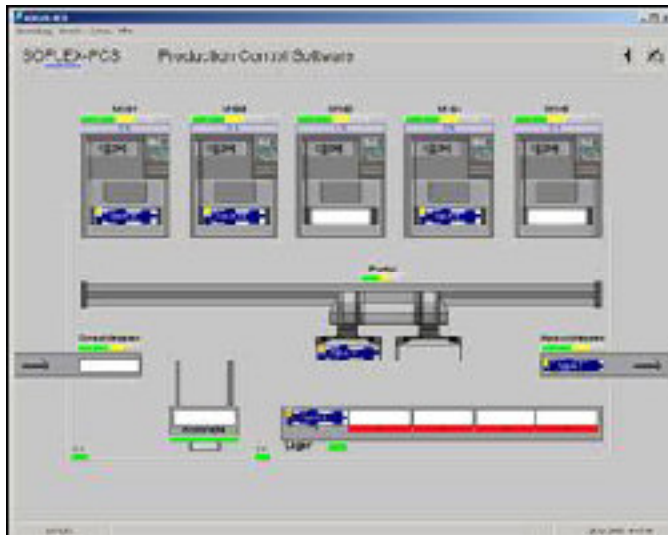
**Sposób obiegu i wykorzystania modeli CAD/CAM w praktyce**



**Obsługa Frezarki CNC przez robota. Paleta zawiera 32 detale**

# Podsumowanie

- Sikorsky AC i PZL Mielec stosują HSM aby wytwarzać integralne wręgi aluminiowe
- Chatter jest tylko elementem ograniczającym prędkość skrawania aluminium
- HSM zapewnia wielorakie korzyści ekonomiczne
- Prędkość jest tylko jednym z elementów udanego wdrożenia technologii HSM



*Projekt linii*



*Przykład realizacja projektu linii*





**POLSKIE ZAKŁADY LOTNICZE**

39-300 Mielec ul. Wojska Polskiego 3

tel.: 7887188

e-mail: [w\\_adamski@pzlmielec.com.pl](mailto:w_adamski@pzlmielec.com.pl)

**Dziękuję za uwagę**



**I MIEJSCE W ELIMINACJACH  
OGÓLNOPOLSKIEGO KONKURSU  
SIMP NA NAJLEPSZE OSIĄGNIĘCIE  
TECHNICZNE ROKU 2007**

**LAUREAT  
KONKURSU  
INNOWACJA ROKU  
2008**

