

**Damian Kolny**<sup>1</sup>

**Dorota Więcek**<sup>2</sup>

**Paweł Ziobro**<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej,  
WBMiI, specjalność: Inżynieria Zarządzania Produkcją,  
dm.kolny@poczta.fm

<sup>2</sup>Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej,  
WBMiI, 43-309 Bielsko-Biała, ul. Willowa 2, 33 827 92 34,  
dwiecek@ath.bielsko.pl

<sup>3</sup>ZPT Industry I Automation I Research & Development I Innovations,  
pawel.ziobro@zp-team.pl

## **Zastosowanie zaawansowanego systemu kontroli pracy narzędzi celem doskonalenia funkcjonowania procesu obróbki skrawaniem**

**Słowa kluczowe:** bieżąca kontrola procesu, zużycie narzędzia i system monitorowania uszkodzeń, optymalizacja procesu

### **1. Wprowadzenie**

Znaczna większość firm branży motoryzacyjnej nie wyobraża sobie dzisiaj produkcji tradycyjnymi metodami. Rosnące koszty pracy, konieczność obniżania jednostkowych kosztów produkcji oraz ciągle rosnące wymagania jakościowe stawiane przez klientów motywują przedsiębiorstwa tej branży i innych sektorów przemysłu produkcyjnego do automatyzacji własnych procesów wytwarzania. Niezależnie od wielkości zakładu produkcyjnego, w każdym jednakowo wzrasta potrzeba skracania czasu cyklu produkcyjnego oraz stosunkowo elastycznej reakcji na potrzeby zindywidualizowanej produkcji. Osiągane jest to m.in. dzięki automatyzacji, która pozwala producentom części samochodowych sprostać wymogom bardzo częstych zmian w produkcji i lepiej reagować na potrzeby rynku. W tym celu inwestują oni w nowoczesne rozwiązania technologiczne znacznie więcej środków, niż przeznaczają na nie producenci z innych branż. Stosowanie owych rozwiązań przekłada się pozytywnie na końcowym efekcie wytwarzanych produktów motoryzacyjnych, które dzięki temu spełniają najwyższe światowe standardy i wymagania jakościowe. [1]

W branży motoryzacyjnej wiele już zostało osiągnięte, a mimo to producenci samochodów będą nadal dążyć do zwiększania wydajności własnych procesów, aby utrzymać poziom rentowności i osiągać przewagę konkurencyjną. Pośród licznych procesów produkcyjnych, jakie branża motoryzacyjna wykorzystuje w celu wytwarzania samochodów, wyróżnić jako główne można byłoby m.in. wytłaczanie, spawanie, lakierowanie, montaż, czy obróbkę skrawaniem, która jest jedną z najstarszych i do dzisiaj stosowanych metod wytwarzania przedmiotów. Pośród licznych technik mechanicznego wytwarzania, obróbka skrawaniem jest najczęściej wykorzystywana (60-70%) oraz pochłania ponad połowę zużytej energii w procesach produkcyjnych [8]. Wiele wskazuje na to, że jeszcze długo będzie metodą dominującą – przewiduje się w najbliższych latach dalszy rozwój skrawania z wysoką precyzją oraz wysokimi prędkościami, szczególnie w wytwarzaniu części form i matryc w przemyśle motoryzacyjnym i lotniczym. Aspekty ekonomiczne związane z redukcją kosztów produkcji oraz ciągle rosnące wymagania klientów prowadzą do tworzenia coraz to bardziej skomplikowanych kształtów produktów przez projektantów oraz konstruktorów. Często z tego powodu zmniejsza się masa elementów, a w następstwie pojawiają się trudności podczas wytwarzania (dotyczy to również narzędzi). Problematyka narzędziowa ma w tym przypadku jeszcze logistyczne ujęcie w postaci gospodarki narzędziowej. W swoich pracach naukowych wielu autorów z dziedziny ekonomii obróbki, zakłada koszty narzędziowe na poziomie 2-8% ogólnych kosztów wytwarzania [8]. Z tego powodu sporo analiz pomija wpływ kosztu narzędziowego na ogólny koszt wytwarzania, co w rezultacie skutkuje błędnym szacowaniem kosztów produkcji. Analiza rynku narzędzi skrawających i badania praktyczne procesów wytwarzania pokazują, że faktyczny koszt należy stwierdzić, że są one relatywnie wysokie, a za tym racjonalna gospodarka narzędziowa jest jednym z rozwiązań dla obniżania kosztów produkcji. Przez pojęcie racjonalna, należy tutaj rozumieć kształtowanie działań i podejmowanie decyzji w jej obrębie na podstawie empirycznej wiedzy związanej z elementami mającymi wpływ na procesy i narzędzia.

## **2. Stan obecny**

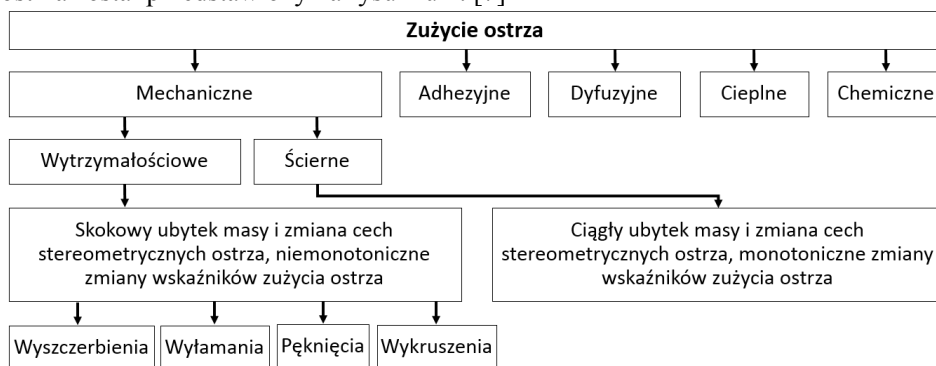
Postępujące zmiany jakościowe zmuszają dzisiejsze zakłady produkcyjne do kompleksowej kontroli każdego etapu produkcyjnego. Chociaż wiele ośrodków naukowych jest zaangażowanych w budowę układów monitorowania procesu skrawania, a sama tematyka została w wielu publikacjach szeroko opisana [2, 3,4,5,7,8], to należy uznać, że problematyka monitorowania, czy prognozowania stanu narzędzia i procesu skrawania nie została wystarczająco rozwiązana i jest nadal aktualna. Czynniki takie jak złożoność procesów produkcyjnych, automatyzacja i robotyzacja procesów wytwórczych, popularne stosowanie elastycznych systemów produkcji, wzrastające wymagania dotyczące dokładności

elementów dodatkowo powodują konieczność wdrażania i stosowania technologii umożliwiających skuteczne monitorowanie procesu obróbki. [6]

Nowoczesne narzędzia skrawające wymagają jednakże kompleksowej i bardzo dokładnej kontroli z trzech powodów. Pierwszym są postępujące zmiany konstrukcyjne w samej budowie narzędzi, m.in. technologia bezpośredniego doprowadzenia chłodziwa (mgły olejowej) do obszaru skrawanego opartej na systemie MQL (Minimal Quality Lubrication), co w pewnym stopniu prowadzi do „osłabienia” struktury narzędzia. Drugi powód jest następstwem pierwszego – nowe rozwiązania konstrukcyjne wpływają na wzrost ceny narzędzi (nowe projekty, technologie, materiały itp.). Ostatnim aspektem jest faza prób i testów narzędzi, w celu badania jakości ich wykonania przed wypuszczeniem na rynek. Najlepszym sprawdzianem jest praktyka produkcyjna (na docelowym wyrobie oraz warunkach na maszynie) zwłaszcza w sektorze motoryzacyjnym, gdzie obróbka skrawaniem jest techniką dominującą.

### 3. Wytrzymałość narzędzi

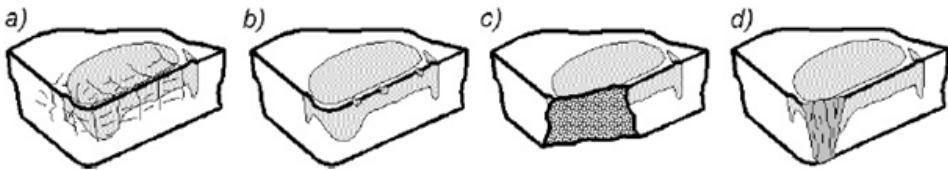
W obróbce skrawaniem narzędzie, a raczej jego ostrze pełni kluczową rolę. Podczas obróbki poddawane jest ono obciążeniom mechanicznym, jak i cieplnym, przez co pogarszana jest jego zdolność do pracy, poprzez zmianę jego właściwości i powstawanie ubytków w materiale narzędzia. Ta utrata właściwości skrawających narzędzia, która postępuje w trakcie obróbki nazywana jest zużyciem ostrza. Proces ten ma miejsce przez cały przebieg jego pracy, począwszy już od pierwszych sekund po zetknięciu z materiałem. Postępujące zużycie narzędzia powoduje pogorszenie wyników pracy narzędzia, do momentu, gdy staną się one niedostateczne. Takie zużycie może spowodować całkowite zniszczenie narzędzia, a nawet uszkodzenie materiału przedmiotu obrabianego. Ogólny podział zużycia ostrza został przedstawiony na rysunku 1. [7]



Rys. 1. Rodzaje i podział zużycia ostrza [7]

Zużycie narzędzia może także przybierać formę wytrzymałościową. Jest to tak zwane katastroficzne stępienie ostrza i może to prowadzić do konieczności np. przerwania produkcji, ze względu na to, że jest to niebezpieczne zjawisko, które przy ograniczonym nadzorze, może doprowadzić do zniszczenia narzędzia w stopniu całkowitym, zniszczenia przedmiotu obrabianego, a nawet do uszkodzenia obrabiarki. Katastroficzne stępienie ostrza może przybierać następujące formy (rys. 2) [4]:

- pęknięcie ostrza,
- wykruszenia krawędzi ostrza,
- wyłamanie ostrza,
- ścięcie wierzchołka ostrza.



**Rys. 2.** Formy zużycia wytrzymałościowego ostrza - pęknięcia (a), wykruszenia (b), wyłamanie (c) i ścięcie wierzchołka (d) [4]

Pęknięcia ostrza występują najczęściej w trakcie obróbki przerywanej, w warunkach gdy ostrze poddawane jest wielokrotnym uderzeniom cieplnym i mechanicznym. Zmęczenie cieplne powoduje zaistnienie pęknięć prostopadłych do krawędzi, natomiast mechaniczne równoległych do niej. W trakcie dalszej obróbki pęknięcia powiększają się, łączą, doprowadzając niejednokrotnie do wyłamania ostrza. Przyczyną wykruszeń krawędzi ostrza jest miejscowe przekroczenie doraźnej jego wytrzymałości. W wyniku tego procesu geometria ostrza, a właściwie fragmentu, w którym nastąpiło wykruszenie, jest gwałtownie zmieniana w sposób bardzo niekorzystny. W związku z tym, w miejscu wykruszenia występuje wzrost obciążeń, a zatem większą podatność na kolejne wykruszenia, co w miarę postępowania może doprowadzić do wczesnego zużycia całkowitego, a nawet złamania.

W przypadku wyłamań przyczyny mogą być zbliżone do wykruszeń, jednakże wyłamania są znacząco większe, co oznacza, że w momencie wyłamania narzędzie natychmiast traci własności skrawne. Wyłamania, ale także wykruszenia, najczęściej występują w momencie nadmiernej eksploatacji narzędzia, natomiast gdy pojawiają się w początkowej fazie pracy, może się to wiązać z źle dobranymi parametrami i warunkami skrawania lub niedostateczną jakością samego narzędzia.

W przypadku, kiedy narzędzie skrawające nie ulegnie doraźnym defektom wymienionym dotychczas, jego czas pracy ograniczony jest poprzez osiągnięcie przezeń stępienia ostrza. Stępieniem nazywa się utratę przez narzędzie właściwości

skrawnych, które są konieczne do realizacji określonej operacji obróbki. Odwrotnością do procesu stępienia jest ostrzenie, w celu przywrócenia narzędziu zdolności skrawnych. Obie te kwestie dotyczące stanu ostrza wprowadziły pojęcie okresu trwałości ostrza. Trwałością ostrza nazywa się czas jego pracy, pomiędzy dwoma kolejnymi stępieniami, przy nie zmienionych warunkach skrawania i jest oznaczany literą T (najczęściej podawany przez producentów w minutach). Proces ostrzenia jednakże nie może być wykonywany w nieskończoność. W pewnym momencie dochodzi do osiągnięcia stanu, w którym przywrócenie ostrza właściwości skrawnych będzie niemożliwe. Sumując okresy trwałości narzędzia, licząc od początku do końca jego eksploatacji, otrzymamy wielkość, którą nazywa się żywotnością narzędzia.

Ocenę zużycia przeprowadza się przy pomocy wskaźników bezpośrednich oraz pośrednich. Bezpośrednie to geometryczne miary dotyczące samego zużycia ostrza, zaś pośrednie wskaźniki to takie, w których ocenę zużycia przeprowadza się na podstawie wielkości fizycznych, powstających w wyniku zużycia ostrza. Do tych wielkości zalicza się siły skrawania, hałas i drgania, chropowatość powierzchni obrobionej, emisję akustyczną, temperaturę i wiele innych odpowiednich wielkości dla wybranych warunków skrawania.

#### **4. Monitorowanie zużycia narzędzi**

Aktualnie producenci na rynku systemów monitorowania stanu ostrza narzędzi skrawających, oferują systemy bardzo zróżnicowane i o różnej skuteczności. Zastosowane w nich techniki monitorowania generalnie dzielą się na 2 grupy: metody bezpośrednie oraz metody pośrednie.

Metody bezpośrednie są wykorzystywane sporadycznie, ze względu na trudność ich stosowania. Wynika to z następujących przyczyn [8]:

- niedostępność obszaru skrawania podczas obróbki,
- słaba skuteczność,
- czasochłonność,
- słaba dokładność pomiarów.

Do tych metod zaliczyć można m.in. techniki optyczne, elektrooporowe, indukcyjne, radiometryczne, czy pneumatyczne. Znacznie większe zastosowanie w przemyśle mają te drugie, czyli metody pośrednie. Są one oparte na monitorowaniu zmiennych narzędzia i procesu skrawania na podstawie sygnału, gdzie dzięki specjalnej analizie może zostać określony (przewidywany) stopień zużycia narzędzia. Podkreślić należy, że metody pośrednie generują miarę sygnału wtedy, gdy narzędzie pracuje, co umożliwia prowadzenie bieżącej kontroli. Opierają się one więc na pomiarach skutków, a nie samego zużycia. Charakteryzują się prostszą technicznie estymacją cech zużycia, w stosunku do metod bezpośrednich,

jednakże otrzymywane wyniki zazwyczaj obarczone są niepewnością. Metoda pośrednia ocenia stopień zużycia ostrza za pomocą pomiarów wielkości fizycznych, wśród których dominują pomiary sił skrawania i wielkości pochodnych (moment, moc silnika), pomiary emisji akustycznej oraz drgań. Metody pośrednie od bezpośrednich odróżnia jeszcze konieczność ich dwustopniowego działania: w pierwszym dokonują pomiaru określonej wielkości fizycznej, a następnie opracowują odpowiednie zależności, które umożliwiają wnioskowanie na podstawie dokonanego pomiaru o stanie narzędzia. Odpowiednio do każdego procesu skrawania dobiera się i instaluje właściwe czujniki, w zależności od interesującej użytkownika wielkości fizycznej celem monitorowania. Dzięki sygnałom pobranym za pomocą czujników i własnych układów przetwarzania generują zmierzone sygnały i informują o nich użytkownika. Ten z kolei na ich podstawie może podjąć odpowiednie działania, jeśli wyniki które uzyska, będą dla niego niepokojące.

## 5. Przykład systemu kontroli narzędzi

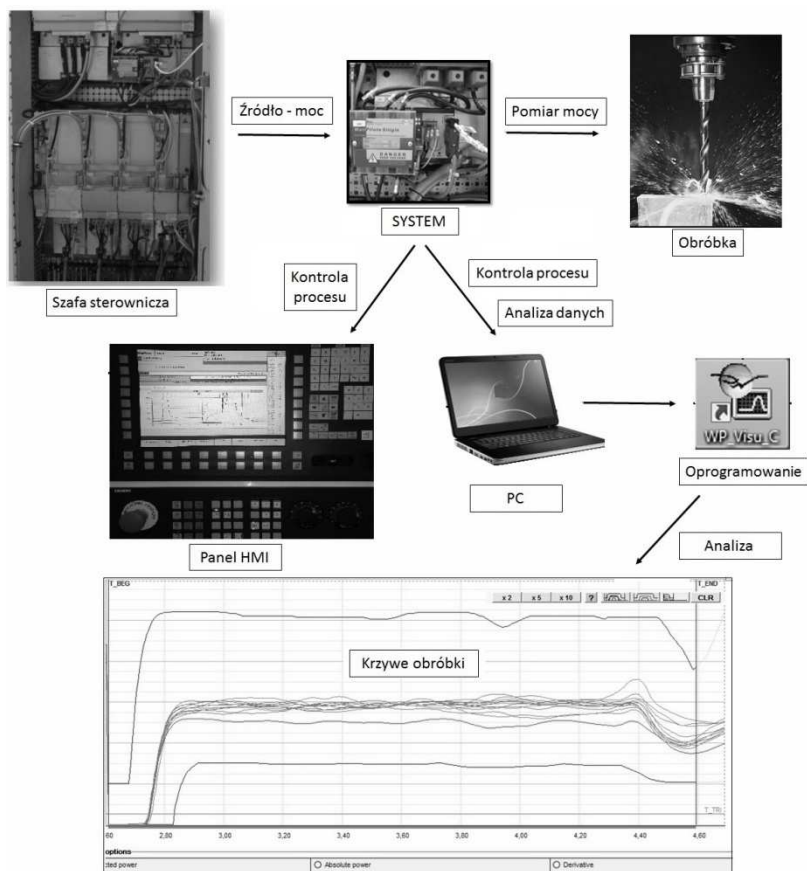
Celem dotychczas zaprezentowanych treści było wymienienie czynników wpływających na obróbkę skrawaniem i ukazanie ich wpływu oraz istotności, gdyż mimo długoletnich badań prowadzonych w tym zakresie, nie sposób doszukać się wielu praktycznych rozwiązań oraz wykonanych wdrożeń, z wielu przyczyn, głównie finansowych. W dalszej części tego artykułu podjęta zostanie właśnie tematyka przykładowego wdrożenia zaawansowanego systemu monitorowania zużycia narzędzi oraz jego praktyczne wykorzystanie.

Dokładność zastosowanego systemu wywodzi się z faktu zbierania i przetwarzania własnych danych. Urządzenie posiada unikalny opatentowany system pomiarowy oraz własny algorytm obliczeniowy. Część pomiarowa jest połączona szeregowo z silnikiem wrzeciona, podczas gdy część przetwarzająca komunikuje się ze sterowaniem numerycznym (NC) i z programowalnym sterownikiem (PLC). Przy pomocy dedykowanego oprogramowania wizualizuje krzywe obróbki, stopień zużycia narzędzia, krzywe alarmów, a także umożliwia zmianę parametrów kontrolnych. Schemat działania systemu wraz z oprogramowaniem prezentuje rys. 3.

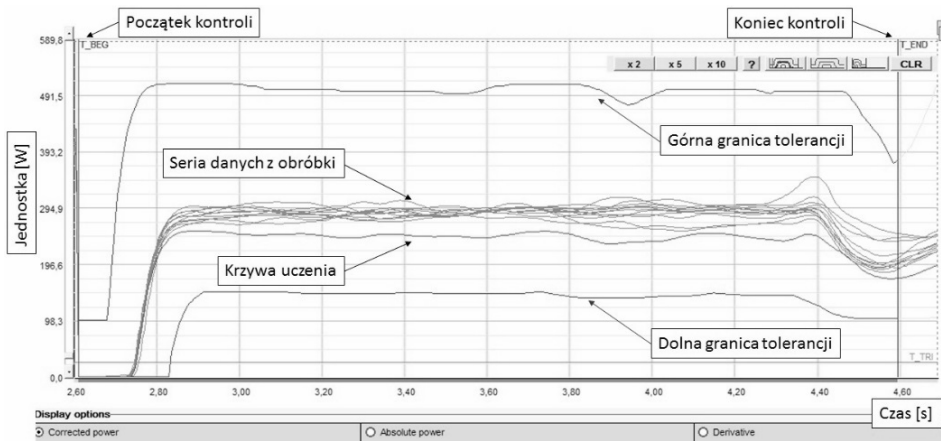
Dodatkowo istnieje możliwość prowadzenia długofalowej analizy danych, pod warunkiem podłączenia do systemu zewnętrznego komputera, który będzie przechowywał dane z obróbki. W celu monitorowania konkretnego procesu przy użyciu systemu konieczne jest zdefiniowanie kilku wymienionych poniżej funkcji bazowych (rys. 4):

- początku i końca kontroli na poziomie programu obróbczego,
- krzywej uczenia; wprowadzenie do systemu wzorca procesu optymalnego,
- początku i końca kontroli w dedykowanej aplikacji,

- górnego zakresu tolerancji; ustalony procentowo dopuszczalny górny poziom obróbki względem krzywej uczenia (optymalnego przebiegu),
- dolnego zakresu tolerancji; ustalony procentowo dopuszczalny dolny poziom obróbki względem krzywej uczenia (optymalnego przebiegu).



Rys. 3. Schemat działania systemu (materiały własne)



**Rys. 4.** Wizualizacja procesu obróbki wygenerowana za pomocą systemu ((materiały własne)

W praktyce zdefiniowanie krzywej uczenia dokonuje się za pomocą wykonania procesu obróbki na nowym narzędziu. Zakresy tolerancji dobrane w ramach empirycznych doświadczeń nadają ścisłe ramy, w strefie których uważa się, że proces przebiega poprawnie. W przypadku przekroczenia zadanych parametrów przez jakąkolwiek obróbkę, system będzie w stanie bezpośrednio zareagować zatrzymując proces, zapobiegając przed produkcją wyrobów wadliwych oraz przed narażeniem maszyn produkcyjnych na awarie. Zebrane dane na komputerze, za pomocą dedykowanej aplikacji mogą być wizualizowane w postaci krzywych. Takie wykorzystanie możliwości systemu pozwala na uzyskanie obrazu przebiegu procesu, przeprowadzanie symulacji zmian parametrów (parametrów procesu w postaci posuwu, obrotów, czy też ustawień samego systemu; granic tolerancji, początku lub końca kontroli itp.) oraz obserwowanie rezultatów, które w następstwie można zastosować bezpośrednio na maszynie, minimalizując w ten sposób ryzyko – braki lub postoje. System rejestruje i obrazuje parametr mocy podczas pracy narzędzia w postaci 3 funkcji: moc absolutna, moc skorygowana, moc pochodna. Moc absolutna jest wielkością, która jest mierzona od początku do końca pracy wrzeciona, w obrębie którego znajduje się również pewien fragment odpowiadający pracy narzędzia w danym cyklu. W praktyce funkcja ta jest wykorzystywana do poznania struktury danego procesu i określenia początku oraz końca kontroli dla samego narzędzia. Moc skorygowana jest wielkością, która odwzorowuje pracę samego narzędzia, nie uwzględnia ona pracy wrzeciona. Przeznaczona jest głównie do wykrywania wylań, braku narzędzia lub detalu. Z kolei moc pochodna jest wielkością, która rejestruje szybkie zmiany przebiegu i odpowiada za wykrywanie zdarzeń typu wykruszenie narzędzia. Wyznaczana jest ze wzoru [9]:



$$P' = \frac{\Delta P}{\Delta t} \quad (1)$$

gdzie:  $P'$  – pochodna mocy,

$\Delta P$  – zmiana wartości mocy pomiędzy kolejnymi odczytami,

$\Delta t$  – upływ czasu pomiędzy kolejnymi odczytami.

Funkcja ta służy do jeszcze bardziej zaawansowanej analizy pracy narzędzi. Jest w stanie zaalarmować użytkownika nawet o mikroskopijnym ubytku narzędzia w trakcie procesu obróbki.

Najważniejsze parametry systemu kształtują się następująco [9]:

- maksymalna liczba kontrolowanych obróbek: 120,
- minimalny czas kontroli: 0,07 s, a maksymalny: 50 min,
- prędkość próbkowania: 40 kHz,
- jednoczesna kontrola mocy, pochodnej mocy oraz energii,
- dokładność pomiaru: 0,01%,
- liczba przechowywanych danych z obróbki oraz alarmów uzależniona od pojemności dysku zewnętrznego.

Głównym celem stosowania tego typu systemów jest wczesne wykrywanie uszkodzeń narzędzi, a w związku z tym zaoszczędzenie w zakresie kosztów gospodarki narzędziowej, ochrona wrzeciona przed kolizją z przedmiotem obrabianym oraz ochrona przed produkcją braków.

## 6. Praktyczne zastosowanie

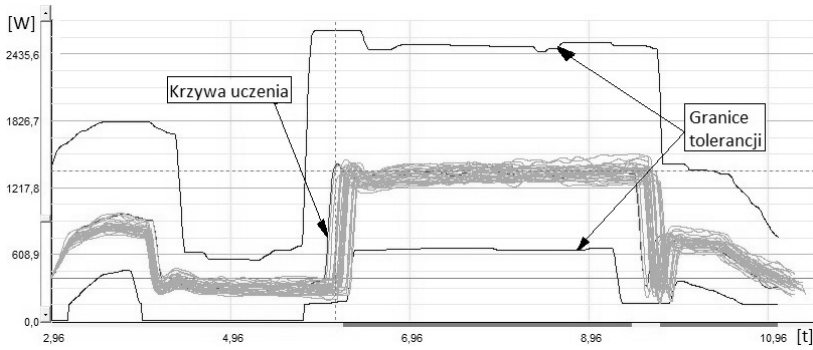
Istnieje szereg możliwych zastosowań dla omawianego systemu, a ich praktyczne wdrożenia zależą w ścisłej mierze od potrzeb i pomysłowości użytkowników. Część z nich zostanie przedstawiona w dalszej części.

### 6.1. Monitorowanie pracy narzędzi

Przed podjęciem jakichkolwiek decyzji i działań dotyczących zmian w strukturze procesów obróbczych, w pierwszej kolejności należy proces ten obserwować. Zainstalowany system w obrabiarce umożliwia 2 tryby monitorowania: bieżącą kontrolę (tylko w pełni zintegrowany system może zatrzymać proces w przypadku przekroczenia zadanych parametrów) oraz bezinwazyjną obserwację, celem analizy procesu.

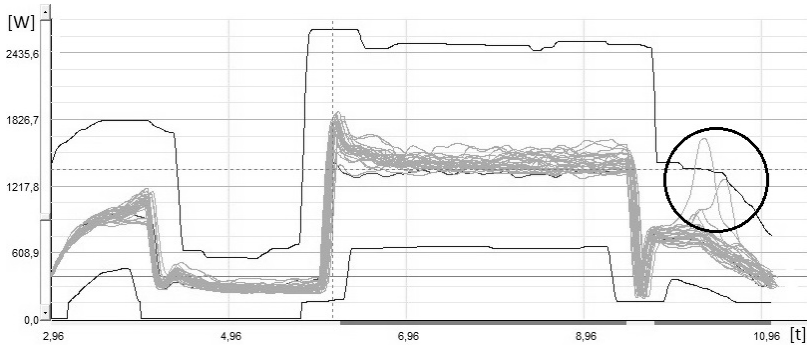
Ukazany dalej fragment badania został przeprowadzony na podstawie eksperymentalnego procesu wiercenia z zainstalowanym system monitorowania. Zadaniem tego systemu było zbieranie danych celem obserwacji pełnego przebiegu obróbki na przestrzeni całej żywotności narzędzia. Ogólna struktura procesu oraz

pierwsza seria zebranych danych zaprezentowana jest na rys. 5. W tym przypadku zakładana żywotność narzędzia wynosiła 600 szt.

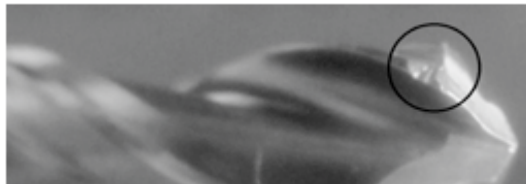


**Rys. 5.** Pierwsza seria danych, proces stabilny, bliski przebiegowi optymalnemu (materiały własne)

Po około 80 wykonanych obróbkach przez wiertło zaobserwowane zostały pierwsze wykruszenia (rys. 6, 7) – tzw. symptomy śmierci. W takim przypadku w normalnych warunkach proces ten powinien zostać przerwany.

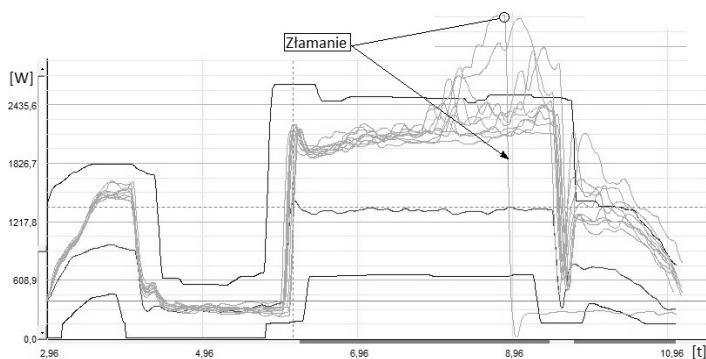


**Rys. 6.** Kolejna seria danych, danych – zaznaczone pierwsze wykruszenie narzędzia (materiały własne)



**Rys. 7.** Wykryte przez system wykruszenie (materiały własne)

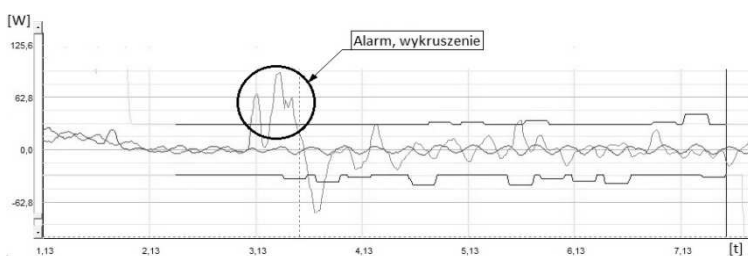
W dalszej części tego eksperymentu zaobserwowane zostało postępujące częściowe wykruszanie, narzędzia aż do około 484 obróbki – w tym momencie nastąpiło złamanie narzędzia (rys. 8.).



**Rys. 8.** Przedwczesne złamanie narzędzia

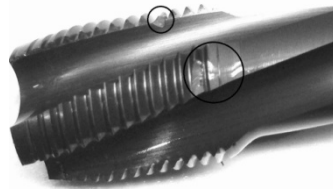
W końcowym efekcie narzędzie zostało zniszczone do tego stopnia, iż nie była możliwa jego regeneracja. Przeprowadzanie takich badań, jak zostało to przedstawione, służy do analizy samego procesu oraz przeprowadzania prób, czy założone granice tolerancji będą spełniały swoją rolę i w odpowiednim momencie będą zatrzymywały proces, chroniąc narzędzie, przedmiot obrabiany oraz maszynę przed uszkodzeniem.

Przedstawiony przykład obrazuje wykresy funkcji skorygowanej, przeznaczonej głównie do wykrywania złamań oraz braku narzędzia. Inna funkcja programu – pochodna - przedstawiona na rys.9, służy do jeszcze bardziej zaawansowanej analizy pracy narzędzi – wykrywania wykruszeń.



**Rys. 9.** Wykres funkcji „Derivative” z krzywą obrazującą wykruszenie narzędzia

System za pomocą tej funkcji jest w stanie zaalarmować użytkownika nawet o śladowym ubytku narzędzia w trakcie procesu obróbki (rys. 10).

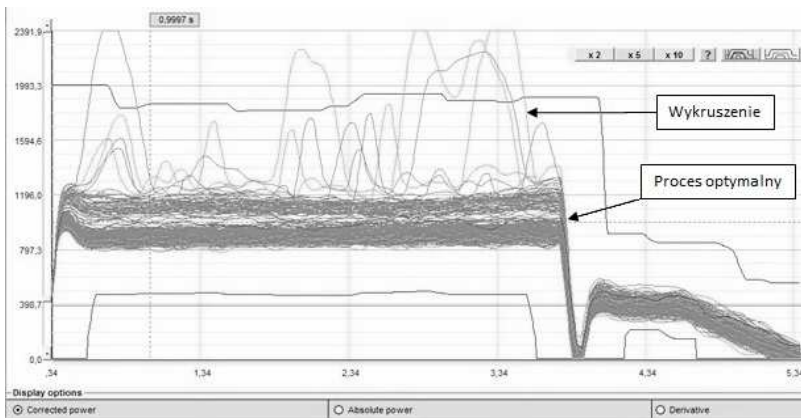


**Rys. 10.** Przykładowy wygląd wykruszonego gwintownika wykrytego w trakcie procesu obróbki (materiały własne)

Odpowiednie zdefiniowanie granic tolerancji pracy dla danego narzędzia w procesie sprowadza się do konieczności przeprowadzenia gruntownych studiów nad procesem i zastosowaniem zaawansowanych parametrów oraz funkcji dodatkowych.

## 6.2. Osiągnięcie żywotności narzędzia

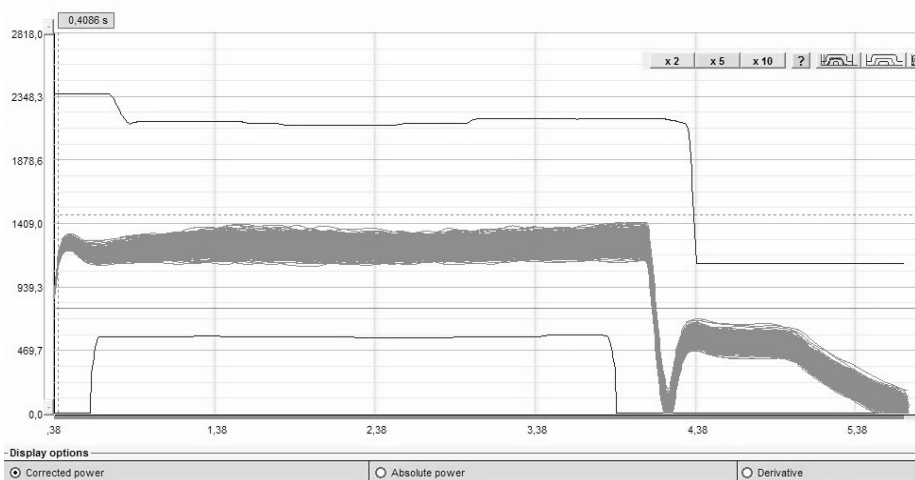
Kolejna analiza jest kontynuacją prac badawczych dotyczących zaprezentowanego wcześniej procesu wiercenia i dotyczy próby usystematyzowania osiąganego żywotności przez narzędzie (wiertło do głębokiego wiercenia). Długofalowa analiza danych skoncentrowana na tym jednym narzędziu w danym procesie produkcyjnym wykazała bardzo niestabilną pracę. W efekcie przy założonej (deklarowanej przez dostawcę) żywotności narzędzia na poziomie 600 szt., spora część nie wykonywała nawet połowy zadanej wielkości. Na rysunku poniżej (rys. 11) został przedstawiony przykład narzędzia, które po wykonanych ok. 300 sztukach, uległo wykruszeniu.



**Rys. 11.** Wizualizacja ok. 300 krzywych obróbki skrawaniem (głębokie wiercenie) – ze znamionami niestabilności procesu (materiały własne)

W oparciu o wspólnie prowadzony projekt, mający na celu osiągnięcie zakładanego poziomu żywotności narzędzia, podjęto działania związane z weryfikacją i modyfikacją geometrii narzędzia w oparciu o zebrane i zwizualizowane dane z przebiegu pracy narzędzi z okresu kilku miesięcy.

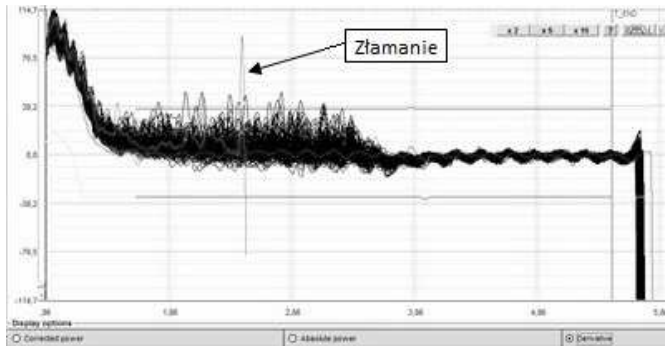
Kolejny wykres (rys. 12) tego samego procesu skrawania, wykonany na bazie danych z 1000 obróbek jednym narzędziem, jest efektem wypracowanej koncepcji nowej geometrii narzędzia, które wykazało w fazie dalszego użytkowania (testowania), iż zastosowane zmiany odpowiadają wymaganiom klienta oraz osiągają żywotność deklarowaną przez producenta.



Rys. 12. Wizualizacja 1000 krzywych obróbki – proces optymalny (materiały własne)

### 6.3. Wpływ regeneracji na pracę narzędzi

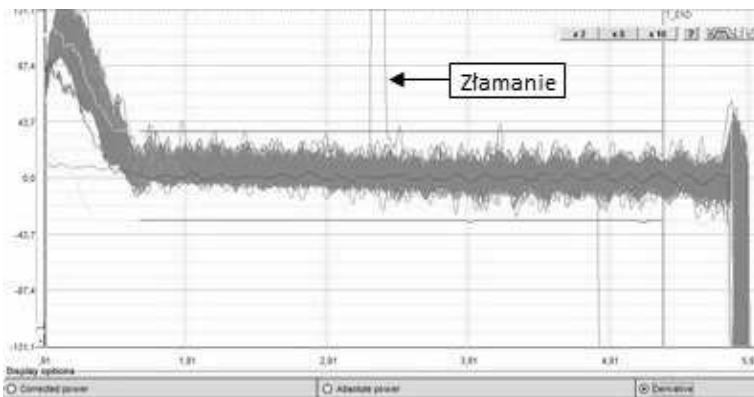
Następna analiza jest związana z aspektami ekonomicznymi, tj. poddawanie narzędzi regeneracji. Znacznie bardziej opłacalne (mniej kosztowne) jest zakończenie obróbki danym narzędziem odpowiednio wcześniej, aby nie doprowadzić do jego nadmiernego zużycia, wykruszenia czy złamania (rys. 13), w celu jego regeneracji i ponownego użycia w procesie.



**Rys. 13.** Gwintownik regenerowany – syndromy nieprawidłowego ostrzenia, zbyt duża liczba krzywych wychodzących poza założoną górną granicę tolerancji (materiały własne)

Koszt regeneracji narzędzia (czyli przywrócenia mu oryginalnej geometrii) często bywa kilkukrotnie niższy, niż koszt nowego narzędzia. Zdarza się jednak i tak, że narzędzia po regeneracji przestają nadawać się do dalszej pracy znacznie wcześniej, niż wstępnie zakładano (rys. 14). Prowadzenie badań w tym zakresie zobrazowało również skutki nieodpowiednio wykonanych regeneracji.

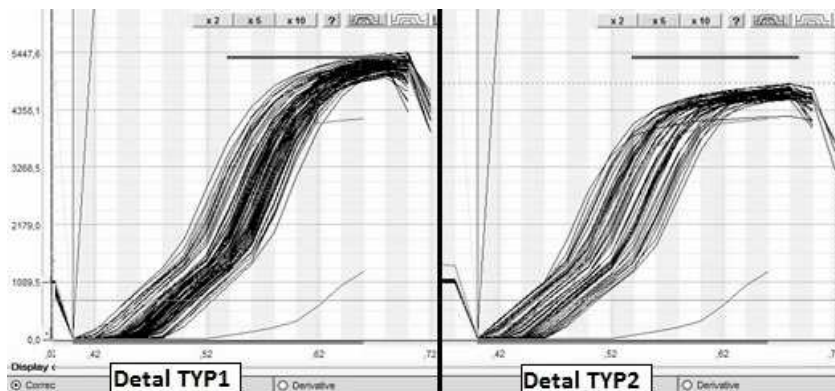
Na podstawie tego przypadku zawężono granice tolerancji, gdyż w efekcie i tak doszło do złamania narzędzia. Rozwiązanie tego typu problemu nie jest proste. Trudność polega na zakończeniu pracy nowego lub regenerowanego narzędzia odpowiednio wcześniej, aby jak najdłużej mogło być poddawane regeneracji oraz by ta miała sens.



**Rys. 14.** Gwintownik regenerowany – syndromy nieprawidłowego ostrzenia, mieszczące się w granicach tolerancji (materiały własne)

#### 6.4. Wpływ struktury materiału na jego obrabialność

W praktyce produkcyjnej często zdarza się, że ze względu na optymalizację charakterystyk wyrobu finalnego, zachodzi konieczność wprowadzenia zmian technologicznych oraz zmian składu materiału obrabianego. Na rysunku 15 przedstawiono obróbkę 2 komponentów wykonanych o różnych twardościach stopów. Na podstawie danych zebranych za pomocą systemu stwierdzone zostało, iż detal „typ2” wykonany ze stopu o większej twardości, wykazuje lepsze właściwości obróbcze, przy mniejszym obciążeniu układu maszyna-narzędzie.

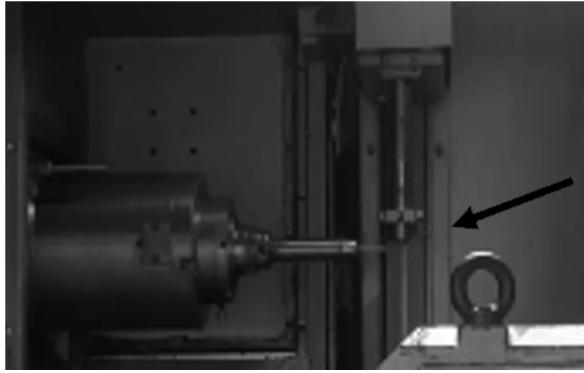


Rys. 15. Testy obrabialności detali wykonanych z materiałów o różnym składzie (materiały własne)

Pozwala to przypuszczać, że w dłuższej perspektywie czasu, wydłuży się żywotność narzędzia, aczkolwiek proces ten wymaga dalszej obserwacji i analizy.

#### 6.5. Redukcja czasu cyklu i częstotliwości kontroli

Większość centrów obróbkowych wyposażonych jest w mechanizm, służący kontroli obecności lub braku narzędzia (również złamania) za pomocą czujnika zbliżeniowego lub poprzez przecięcie wiązki lasera – rozwiązanie to ma na celu informować operatora maszyny o „stanie” narzędzia po wykonanej pracy. Każde jednorazowe sprawdzanie (rys. 16) narzędzia za pomocą takiej kontroli absorbuje czas cyklu w zależności od konfiguracji obrabiarki – w analizowanym przypadku czas ten wynosił 2 s.



**Rys. 16.** Stykowa kontrola narzędzia (materiały własne)

Posiadając system monitorowania pracy narzędzi można całkowicie zrezygnować z takiego typu kontroli, gdyż to system będzie wykonywał ją w czasie rzeczywistym, dodatkowo informując użytkownika o faktycznym stanie narzędzia, nawet w przypadku niewielkich wykruszeń, jak zostało to przedstawione w podrozdziale 6.1. W efekcie czas cyklu obróbki jednego detalu na jednostce wykorzystującej 10 narzędzi skrawających, można zredukować nawet o 20 sekund.

W pełni wdrożony i odpowiednio sparametryzowany system, po wykonaniu szeregu badań i analiz w dłuższej perspektywie czasu może dać podstawy do podjęcia decyzji w zakresie redukcji częstotliwości statystycznych kontroli procesu. W branży motoryzacyjnej kontrole te bywają bardzo czasochłonne ze względu na konieczność prowadzenia szeregu czynności kontrolno-pomiarowych wynikających z rygorystycznych wymagań jakościowych. Tego typu aplikacja systemu kontroli procesu umożliwia użytkownikowi stopniową automatyzację kontroli procesu, jego jakości oraz szeroko rozumianą redukcję kosztów.

## 7. Podsumowanie

Poziom optymalizacji procesów obróbki skrawaniem z wykorzystaniem zaawansowanych systemów monitorowania zużycia narzędzi ściśle będzie zależał od doświadczenia pracowników obsługujących konkretny system. Stosowanie tego rodzaju systemów w praktyce może prowadzić do wzrostu wymagań stawianych producentom narzędzi na podstawie rosnącej świadomości technologów i inżynierów w zakresie zaawansowanych technik monitoringu wewnątrzprocesowego. Prowadzenie długofalowych analiz będzie wtedy punktem początkowym do stwierdzenia nieprawidłowości we własnym procesie ze względu na wady narzędziowe (przy wykluczonym udziale wad materiałowych) oraz sygnałem do konieczności rozpoczęcia prowadzenia wspólnych projektów badawczo-rozwojowych z dostawcami narzędzi.



Systematyczne, długofalowe analizy prowadzone dzięki monitorowaniu zużycia narzędzi, ułatwiają podejmowanie decyzji związanych z ich zakupem i parametryzacją. Opisane rozwiązania umożliwiają również prowadzenie badań nad jakością narzędzi oferowanych przez różnych producentów, dzięki czemu może zostać osiągnięty zrównoważony poziom zarządzania w zakresie kosztów własnej gospodarki narzędziowej. Zważywszy na ciągły rozwój w sektorze przemysłu motoryzacyjnego, wszelkie informacje i innowacyjne rozwiązania pozwalające zwiększyć efektywność prowadzonej działalności produkcyjnej, tworzą łańcuch wartości dodanej, znacząco zwiększający szeroko pojętą konkurencyjność przedsiębiorstwa na dynamicznie zmieniającym się rynku globalnym.

## Literatura

1. Abramczyk A. (2015). *Roboty w roli głównej*. Control Engineering, 5, 61-62.
2. Jemielniak K., & Kosmol J. (1995). *Tool and Process Monitoring – State of Art and Future Prospects*. Scientific Papers of the Inst. of Mech. Engng. and Automation of the Technical Univ. of Wrocław, 61, 90-112.
3. Jemielniak K. (1997). *Tendencje rozwojowe w diagnostyce stanu narzędzia i procesie skrawania*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
4. Jemielniak K. (2002). *Automatyczna diagnostyka stanu narzędzia i procesie skrawania*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
5. Kuryjański R. (2011). *Obróbka skrawaniem i obrabiarki*, Warszawa: Expol.
6. Ostrowski A.: *Rynek narzędzi skrawających do obróbki maszynowej*, <http://www.magazynprzemyslowy.pl/produkcja/Rynek-narzedzi-skrawajacych-do-obrobki-maszynowej,7301,1,25.10.2016>.
7. Storch B. (2001). *Podstawy obróbki skrawaniem*. Wydaw. Politechniki Koszalińskiej, Koszalin.
8. Wittbrodt P. (2014). *Nadzorowanie i prognozowanie stanu narzędzi skrawających w procesie skrawania*. XVII Konferencja Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji, 833-834, Zakopane.
9. Materiały firmy Digital Way, Digital Way SAS, 1 chemin des Chaux, F-42000 Saint-Etienne France, <http://www.digitalway.fr/>

## **Streszczenie**

W niniejszym artykule została zawarta wiedza teoretyczna i praktyczna z zakresu optymalizacji procesu produkcyjnego, poprzez zaimplementowanie w nim specjalistycznego systemu monitorowania pracy narzędzi na obrabiarkach. Zamieszczone treści są kompleksowym zestawieniem wyników przeprowadzonych badań z wykorzystaniem dedykowanego sprzętu i oprogramowania. Przedstawiona w tym tekście problematyka jest aktualnym odzwierciedleniem jednego z wielu wyzwań stojących przed przedsiębiorstwami branży motoryzacyjnej, w których ciągle poszukiwane są innowacyjne rozwiązania napotykanym problemom, a przedstawione wyniki badań są jednym z takich przykładów.

## **Summary**

This article includes theoretical and practical knowledge of improvement of the manufacturing process by implementing tool monitoring system on the machine tool. The paper describes an issue, which is the actual reflection of one from many challenges which automotive companies have to face. Innovative solutions are constantly sought for and the article presents results of research done in this area with the use of dedicated equipment and software.