

**Prof. dr hab. inż. Zbigniew Gronostajski**

E-mail: zbigniew.gronostajski@pwr.edu.pl

**dr inż. Marek Hawryluk**

E-mail: marek.hawryluk@pwr.edu.pl

**dr inż. Marcin Kaszuba**

E-mail: marcin.kaszuba@pwr.edu.pl

Politechnika Wrocławska,  
Katedra Obróbki Plastycznej i Metrologii,  
ul. Łukasiewicza 5, 50-371 Wrocław, Polska

**Mgr inż. Przemysław Sadowski**

Measurement and Medical Technologies Transfer

ul. Piękna 64C/2, 50-506 Wrocław, Poland

E-mail: m2tt@m2tt.com

## SYSTEMY NADZORU I ANALIZY PRZEMYSŁOWYCH PROCESÓW KUCIA

### *Streszczenie:*

*W pracy przedstawiono koncepcję wielofunkcyjnego, zrobotyzowanego stanowiska kuźniczego wraz z systemem nadzoru procesu i zarządzania produkcją, z możliwością jego aplikacji przede wszystkim dla kuźni (z nie najnowszym parkiem maszynowym) wyposażonych w starsze urządzenia i agregaty kuźnicze. Koncepcja takiego stanowiska, wykorzystująca częściowo wdrożone już autorskie rozwiązania konstrukcyjno-technologiczne, jest wynikiem szerokiej analizy aktualnych potrzeb zakładów kuźniczych oraz poparta została zdobytą wiedzą i doświadczeniem autorów zajmujących się budową systemów pomiarowych i innych urządzeń dla przemysłu kuźniczego. Budowane przez autorów systemy pozwalają na pomiar i archiwizację oraz pełny monitoring najważniejszych parametrów technologicznych procesu, m.in.: przebiegów sił kucia w funkcji czasu/przemieszczenia, skorelowanych z pomiarem temperatury wstępniaków i matryc oraz ilości wyprodukowanych odkuwek. Opracowane systemy, dzięki ich włączeniu w nadrzędny system zarządzania produkcją (pełniący funkcję nadzoru nad całym procesem), pozwalają również na analizę zachodzących zmian podczas procesu, w tym postępującego zużycia narzędzi kuźniczych oraz analizę rejestrowanych parametrów w długim okresie czasu, zarządzania parkiem maszynowym i zasobami sprzętowymi (pracą maszyn, ich awariami, naprawami, itp.), zasobami ludzkimi oraz dostosowaniem organizacji produkcji do rosnących wymagań rynkowych.*

*Przedstawiona przez autorów koncepcja kompleksowego podejścia do zagadnienia robotyzacji linii kuźniczej jest odpowiedzią na nieustanny rozwój technologii kucia, spowodowany konkurencyjnością rynku, wymuszający na kuźniach zautomatyzowanie swojej produkcji, w celu wytwarzania odkuwek o lepszej jakości przy jednoczesnym obniżeniu jej kosztów*

**Słowa kluczowe:** systemy nadzoru i kontroli, przemysłowy proces kucia, systemy pomiarowo-kontrolne

### **Wstęp**

Przemysłowe procesy kucia matrycowego (w zależności od wielkości produkcji i masy odkuwki) realizowane są na maszynach o dużych siłach kształtujących, najczęściej na prasach i młotach, ewentualnie kuźniarkach. Z przeprowadzonych analiz dotyczących poziomu rozwiązań technologicznych procesów kucia matrycowego, w zdecydowanej większości procesów, produkcja odkuwek matrycowych odbywa się w tradycyjny niezautomatyzowany sposób, na wydzielonych stanowiskach pras kuźniczych, gdzie wszystkie czynności robocze, obejmujące: pobranie wsadu z nagrzewnicy i umieszczenie w wykroju matrycy, przenoszenie kształtowanej odkuwki na kolejne wykroje oraz odbiór odkuwki, wykonywane są ręcznie. Konsekwencją poziomu stosowanych tradycyjnych technologii kucia matrycowego są problemy wynikające z niskiej powtarzalności wykonywanych czynności oraz znacznego wpływu czynnika ludzkiego zarówno na sam proces wytwarzania jak i na warunki pracy maszyn, co znacząco oddziałuje na działalność przedsiębiorstw oraz tempo rozwoju tej branży [12,13,14,15,16,17,21].

Obecnie kuźnie do wytwarzania danego wyrobu wykorzystują, niejednokrotnie stare maszyny, bez systemów monitorowania parametrów pracy, które ze względu na wiek łatwo ulegają awariom, a zużycie współpracujących ze sobą ruchomych elementów oraz luzy powodują, że ciężko ustabilizować parametry procesu. Maszyny takie po przebrojeniu i przystosowaniu ich do aktualnej produkcji są znacznie częściej spotykane niż nowo zakupione, bowiem zakłady kuźnicze niestety ze względów finansowych rzadko decydują się na zakup nowego urządzenia, dedykowanego pod ściśle określoną produkcję. Stosowane powszechnie maszyny i urządzenia kuźnicze wyposażone są najczęściej w proste systemy pomiarowo-kontrolne umożliwiające jedynie kontrolę: maksymalnej siły kucia, prędkości pracy maszyny, ilości odkuwek oraz początkowej temperatury wstępniaków [6,9,18,22,23].

Zmiany, jakie obserwuje się na światowych rynkach branży kuźniczej wpływają bezpośrednio na rozwój tej technologii, który obejmuje również urządzenia stosowane w kuźniach [33]. Nieustający postęp technologiczny wymusza na branży dostarczanie produktów o coraz lepszej jakości przy jednoczesnym obniżeniu kosztów [20]. Obejmują one przede wszystkim dopasowanie produkcji do wymagań związanych ze zmianami materiałowymi i technologicznymi wyrobów oraz do zwiększenia elastyczności produkcji przy zachowaniu jej konkurencyjności. Częste zmiany wytwarzanego asortymentu oraz prowadzenie produkcji korzystając ze stałych zasobów maszynowych wymaga zastosowania rozbudowanych systemów pomiarowo-kontrolnych, które pozwolą na szybką diagnostykę procesu technologicznego, w celu jego dostosowania i optymalizacji oraz, dzięki stałej analizie, zapewnią bezpieczeństwo maszyn, niską awaryjność i finalnie opłacalność produkcji. Użytkowanie istniejącego parku maszynowego, którego praca jest monitorowana przez odpowiednie systemy daje większą uniwersalność maszyn, pozwala na szybkie rozpoczęcie produkcji oraz znacząco obniża koszty wdrożenia nowego produktu [15,25,29].

W związku z tym w celu poprawy wydajności procesu kucia oraz jakości odkuwek niezbędna jest lepsza kontrola parametrów wpływających na cały ciąg technologiczny, w stosunku do obecnie budowanych i instalowanych systemów pomiarowo-kontrolnych (które w niewielkim stopniu ingerującą w zarządzanie produkcją), a także zautomatyzowanie i zrobotyzowanie danej linii produkcyjnej.

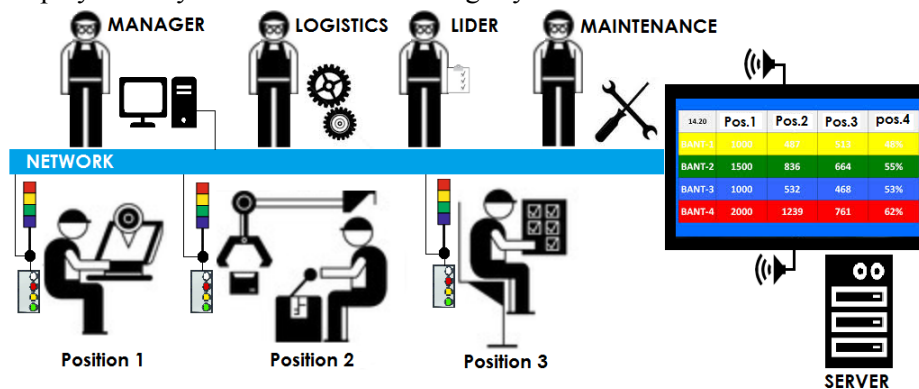
## **1. Systemy pomiarowo-kontrolne nadzorujące procesy**

System pomiarowy można zdefiniować jako zbiór jednostek funkcjonalnych tworzących całość organizacyjną objętą wspólnym sterowaniem przeznaczonym do realizacji określonego celu metrologicznego. Sterowanie systemem jest realizowane najczęściej przez nadrzędną jednostkę funkcjonalną nazywaną kontrolerem, działającą wg zaprogramowanego algorytmu. Cechą charakterystyczną większości systemów pomiarowych jest algorytmizacja procesów pomiarowych oraz integracja sprzętu i oprogramowania. W zależności od ogólnego zastosowania systemy pomiarowe można podzielić na: systemy badawcze, pomiarowo-kontrolne oraz pomiarowo-diagnostyczne. W aplikacjach przemysłowych szczególne zastosowanie znalazły systemy pomiarowo-kontrolne. W systemach tych stosowane są duże liczby czujników zainstalowanych na całym kontrolowanym obiekcie, dzięki temu są one bardzo uniwersalne i pozwalają na pomiar, kontrolę i analizę niemalże wszystkich wielkości. Systemy takie dają możliwość ciągłego monitorowania parametrów procesu technologicznego oraz pracy maszyn biorących w nim udział, podczas realizacji przemysłowych procesów wytwarzania (pomiar, archiwizację oraz zaawansowaną analizę skorelowanych ze sobą wielkości).

Systemy pomiarowo-kontrolne znane jako ICS (Industrial Control Systems) o rozbudowanej funkcjonalności, w obrębie których można znaleźć systemy SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition Systems), DCS (Distributed Control Systems) oraz mniej zaawansowane technologicznie realizowane przy użyciu kontrolerów PLC pozwalają na szybki przepływ informacji dotyczących procesu produkcyjnego, jej przetwarzanie oraz prezentację. Umożliwiają one monitorowanie przebiegu procesu, zapewnienie odpowiednich parametrów procesu, pracy maszyn, analizowanie historii produkcji, wpływu poszczególnych czynników na proces, świadomy rozwój technologii poparty wynikami pomiarów oraz obniżenie kosztów produkcji. Ich zasadniczym przeznaczeniem w przypadku procesów kucia jest wnikliwa analiza sił, rozkładu odkształceń, temperatury narzędzi i wstępniaków, stanu łożyskowania maszyn, smarowania elementów ruchomych, drgań elementów wirujących magazynujących energię, zdarzenia emisji akustycznej dokumentujących proces deformacji, pęknięcia czy przejść fazowych poprawiających eksploatację pras i trwałość narzędzi [2,4,5,8,9,24]. Przy czym zdecydowana większość takich systemów stosowanych w procesach przeróbki plastycznej stanowi aplikacje w przemysłowych procesach kształtowania blach, co jest częściowo spowodowane ekstremalnymi warunkami, jakie panują w przemysłowych procesach kucia matrycowego na gorąco. Przykładowo w pracy [29] przedstawiono system monitorowania i sterowania procesem tłoczenia poprzez sprzężenie zwrotne pozwalające na redukcję wad, zmniejszenie ilości poprawek i lepszą jakość końcowych produktów w postaci wytłoczek kołnierzowych. Natomiast jeżeli chodzi o systemy dedykowane stricte dla procesów kucia matrycowego, to ich zastosowanie znaleźć można w pozycjach [6,9,18,19,23,30]. Z kolei w pozycji [30] opracowano system kontroli w czasie rzeczywistym podawania przedkuwek do kolejnych matryc przez manipulator, który pozwala na dokonanie bardzo szybkich zmian we wprowadzonym algorytmie. W pracy [9] przeanalizowano i wskazano (głównie na podstawie obliczeń numerycznych) najistotniejsze punkty dla różnych typów pras, w których występują

największe koncentracje naprężeń oraz gdzie należy spodziewać się zniszczenia. Systemy pomiarowo-kontrolne mogą być też wykorzystywane do sterowania, pomiaru i analizy wybranych parametrów na półprzemysłowych stanowiskach do badania zużycia ściernego narzędzi kuźniczych przy wysokich naciskach [19].

Oczywiście takie systemy po zweryfikowaniu ich pracy w warunkach przemysłowych i odpowiedniej modyfikacji aplikacyjnej mogą stanowić już nie tylko specjalistyczne narzędzia pomiarowo-kontrolne służące m.in.: do zaawansowanej analizy trwałości narzędzi, lecz mogą stanowić swoiste systemy nadzoru pracy narzędzi kuźniczych oraz analizy przemysłowych procesów kucia w ujęciu monitorowania parametrów samego procesu, wydajności pracy parku maszynowego, monitorowania wydajności pracy zakładu, przestojów maszyn ich awarii oraz planowania obsługi maszyn czy zarządzania kosztami utrzymania maszyn. Ponadto dedykowane aplikacje informatyczne dla konkretnego zakładu przemysłowego, a w szczególności kuźni pozwalają na monitorowanie on-line każdej maszyny i agregatu kuźniczego, dając całe spektrum informacji o bieżącej produkcji, aktualnych zamówieniach i obciążeniach, a także o brakach, przestojach, czy przewidzianych przeglądach maszyn lub wykonanych naprawach. Rosnące wymagania rynku dotyczące wydajności i jakości produkcji, także w kuźniach wymuszają wprowadzanie nowych rozwiązań, optymalizujących cały proces produkcyjny. Istotną częścią tych rozwiązań są popularne systemy Andon (termin z języka japońskiego oznaczający "sygnały świetlne"), będące częścią wspomnianych wcześniej większych systemów SCADA, DCS. Na rys. 1 przedstawiono przykładowy schemat działania takiego systemu.



Rys. 1. Schemat wykorzystania systemu Andon pozwalającego na optymalizację całego procesu produkcyjnego

Systemy takie, będące częścią koncepcji "lean production" ("odchudzonej produkcji"), pozwalają na zwiększenie kontroli nad procesem produkcji, podniesienie jakości, zdyscyplinowanie pracowników oraz rejestrację i analizę zdarzeń. Obecnie stosowane klasyczne systemy Andon przypominają tablicę z umieszczonymi na niej numerami stref pracy operatorów lub nazwami maszyn. W przypadku wystąpienia problemu pracownik wciskając odpowiedni przycisk powoduje zapalenie się lampki, która sygnalizuje, że na jego stanowisku pracy pojawiła się sytuacja niestandardowa i potrzebuje pomocy w jej rozwiązaniu. Bardziej zaawansowane systemy bazujące na pierwotnej koncepcji Andon poza informacjami o sytuacjach niestandardowych wykorzystują również sygnały z systemów pomiarowo-kontrolnych. Dzięki temu znacznie wcześniej sygnalizowany jest niestandardowy przebieg procesu wynikający np. z parametrów technologicznych procesu, pracy maszyny, jakości wyrobu, itp.

## 2. Koncepcja wielofunkcyjnego, zrobotyzowanego stanowiska kuźniczego z systemem nadzoru procesu

Rozwój branży kuźniczej wpływa bezpośrednio na rozwój stosowanych urządzeń oraz wykorzystywanych technologii. Nieustający postęp technologiczny wymusza na producentach zwiększenie elastyczności produkcji przy wzroście jej konkurencyjności i jednoczesnym podniesieniu jakości wyrobów. Poprawę konkurencyjności można osiągnąć poprzez automatyzację produkcji. Popularnym sposobem automatyzacji procesów kucia jest stosowanie pras transferowych. Automatyzacja tego typu oferowana jest głównie przez producentów pras takich jak Schuler, Komatsu, AIDA, MEER, ThyssenKrup. Obecnie, dla produkcji wielkoseryjnej średnich i dużych odkuwek dostępne są trzy systemy takie jak linie pras, prasy transferowe z 3-osiowymi urządzeniami transferowymi, prasy transferowe z krzyżowym systemem transferowym. Technologia ta jest jednak w znacznym stopniu ograniczona do danego typu prasy i asortymentu kutek elementów. Rozwiązanie to

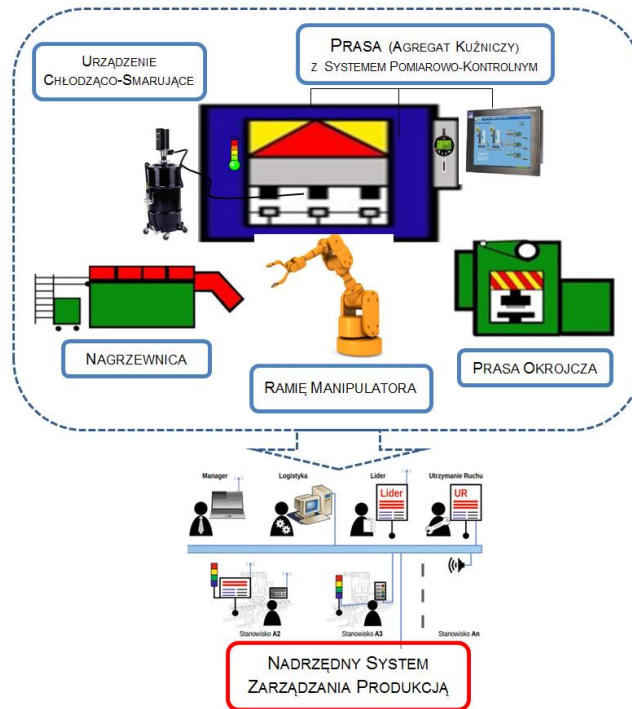
dedykowane jest do automatyzacji procesów wielkoseryjnych i ogranicza w znacznym stopniu możliwość zmiany asortymentu kucia. Większość firm oferujących swoje rozwiązania w zakresie automatyzacji procesów kucia ogranicza swoją ofertę jedynie do linii technologicznych ze stosunkowo nowymi maszynami i urządzeniami, które są zazwyczaj wyposażane w zestawy czujników, sterowników oraz układów pozwalających na wzajemną komunikację oraz komunikację z nadrzędnymi systemami. Firmy zajmujące się automatyzacją procesów kucia i nie tylko, w większości opierają swoje aplikacje na wdrożeniu istniejących robotów i manipulatorów takich światowych potentatów jak: FANUC, KUKA, ABB, Kawasaki, Comau [1,3,10,11,26,28,31,32]. Są to głównie gotowe zaawansowane jednostki o wielu stopniach swobody i budowie umożliwiającej uniwersalne zastosowania, przede wszystkim na liniach montażowych elementów blach, sporadycznie robotów pracujących w trudnych (wysokie temperatury, drgania, zapylenie) warunkach kuźniczych. Jest również kilka małych firm specjalizujących się w budowie robotów do obsługi pras – na przykład firma Copren [11] oferuje ROBOCOP o trzech osiach. Również firma Oriimec [31] oferuje prosty trójosiowy robot G-50 ze sterowaniem typu PTP (point-to-point) przeznaczony do obsługi pras o niewielkim tonażu. Robot ten może być montowany na szynach i może przemieszczać się od prasy do prasy. W zakładach Whirpool w USA na trzech liniach pras od października 2004 do czerwca 2005 roku zastosowano 21 pięcioosiowych robotów SP80X firmy Motoman [28]. Na prasach wytłaczane są elementy drzwi, ramy i obudowy z arkuszy blach o różnych wymiarach. Zrobotyzowanie tych linii pras umożliwiło zwiększenie przepustowości o 50 % oraz osiągnięcie wyższej jakości wytłoczek. W Europie najbardziej zrobotyzowana jest fabryka Jaguar Cars w Wielkiej Brytanii [27] – jest tam ponad 400 robotów wykorzystywanych na różnych etapach procesu produkcyjnego, m.in.: na wydziale pras, gdzie są tłoczone aluminiowe elementy luksusowego samochodu Jaguar XJ.

Zastosowanie tego typu urządzeń wymaga dużego nakładu finansowego, zarówno z powodu ceny samego robota, zaawansowanego systemu sterowania oraz późniejszej obsługi i serwisu. Ponadto proponowane przez te firmy rozwiązania, mimo, iż stanowią uniwersalne rozwiązania techniczne, to obejmują swoim zakresem jedynie określoną część procesu technologicznego. Firmy integratorskie skupiają się głównie na samym ramieniu manipulatora wraz z zespołem chwytakowym, transportującym materiał od nagrzewnicy, poprzez poszczególne operacje kucia, aż do okrawania i kończąc na odłożeniu detalu do kolejnej operacji. Rzadko zdarza się, że instalacja takiego rozwiązania obejmuje inne istotne aspekty, które decydują o całym procesie kucia, uwzględniając chociażby trwałość oprzyrządowania kuźniczego, związaną z warunkami tribologicznymi. Przykładowo firma ABB podaje, że w 2001 roku zainstalowała w Wielkiej Brytanii 18 robotów produkujących 80 różnych elementów. Ta zrobotyzowana linia to cały kompleks, obejmujący automatyczną wymianę narzędzi, kontrolę bezpieczeństwa, diagnostykę, wizualizację przebiegu procesu produkcyjnego, przegląd wybranych operacji, zebranie informacji o dziennej produkcji, sporządzanie raportów i analiz, diagnostykę urządzeń i systemu, śledzenie historii procesu itp. Przy czym jest to nadal jedynie wybrany fragment całej technologii, skupiający się przede wszystkim na obszarze działania samego robota, bądź ramienia manipulatora, a koszt całej inwestycji przekroczył 12 mln euro (koszt jednego robota to około 350 tys. euro).

W wyniku prowadzonych dotychczasowych badań dotyczących m.in.: opracowania i budowy systemów pomiarowo-kontrolnych do analizy i kontroli przemysłowych procesów kucia matrycowego [18] autorzy artykułu opracowali koncepcję innowacyjnego zintegrowanego, wielofunkcyjnego stanowiska do kucia matrycowego. Stanowisko to poza możliwością zastosowania na nowoczesnych liniach technologicznych dedykowane jest przede wszystkim dla kuźni wyposażonych w starsze maszyny i urządzenia. Jednym z głównych założeń stanowiska jest modernizacja obecnie stosowanych maszyn w istniejącej linii technologicznej w celu przystosowania do automatyzacji. Modernizacja pod kątem przystosowania do automatyzacji stanowi niewątpliwie innowacyjność i jest szczególnie atrakcyjna dla firm, których sytuacja finansowa nie pozwala na duże inwestycje w postaci zakupu nowych agregatów kuźniczych, co jest niewątpliwą przewagą proponowanej koncepcji w stosunku do wolnorynkowych bardzo drogich rozwiązań. Opracowana koncepcja zakłada, że stanowisko zsynchronizowane będzie z pracą agregatu kuźniczego, wyposażonego w dedykowany system pomiarowo-kontrolny. Dodatkowo całe stanowisko połączone będzie z nadrzędnym systemem zarządzania produkcją.

W proponowanym przez autorów innowacyjnym rozwiązaniu stanowiącym kompleksowe podejście do zagadnienia automatyzacji i robotyzacji linii kuźniczej kluczowymi (składowymi) elementami będą (rys.2):

- ramię manipulatora z zespołem chwytaków, przenoszące materiał wsadowy z nagrzewnicy do wykroju matryc,
- urządzenie chłodząco-smarujące zapewniające stałą dawkę środka smarnego i realizujące złożony proces „utrzymania” wysokiej trwałości narzędzi kuźniczych,
- system pomiarowo-kontrolny zainstalowany na agregacie kuźniczym, zsynchronizowany z jednoczesną i bezkolizyjną pracą ramienia i urządzenia chłodząco-smarującego,
- nadrzędny system zarządzania produkcją, który będzie pełnił funkcję nadzoru nad całym procesem.



Rys.2. Schemat zintegrowanego, zautomatyzowanego stanowiska do kucia matrycowego

W opinii autorów, zaproponowane rozwiązanie, w pełni obejmuje cały proces, uwzględniając wszystkie czynniki na niego wpływające. Każda z części stanowiska wymaga zaprojektowania w taki sposób, który zagwarantuje jego autonomiczną właściwą funkcjonalność oraz umożliwi współpracę z resztą systemu. Zamysłem autorów jest jednak wzajemne połączenie poszczególnych elementów i wykorzystanie efektu synergii, który przyniesie znacznie więcej wymiernych korzyści, zarówno pod względem naukowym, jak i finansowym. Poniżej przedstawiono innowacyjność kluczowych elementów stanowiska w odniesieniu do obecnie stosowanych rozwiązań.

## 2.1. Ramię manipulatora z zespołem chwytaków

Kluczowym elementem opracowanego stanowiska będzie prosty manipulator o jak najmniejszej liczbie stopni swobody pozwalający na wykonywanie zadań związanych z realizacją procesu kucia wykonywanych obecnie przez człowieka. Wykorzystanie prostego manipulatora, a przez to taniego w budowie i późniejszej obsłudze możliwe jest dzięki kompleksowemu podejściu autorów do automatyzacji. Jednym z podstawowych warunków umożliwiających zastosowanie prostego manipulatora jest eliminacja możliwości zakleszczenia się odkuwki w wykroju oraz zapewnienie dokładnie powtarzalnej pozycji wstępniaka i odkuwki. Rynek robotów przemysłowych podzielony jest na sektor gotowych jednostek o wielu stopniach swobody o budowie umożliwiającej uniwersalne zastosowania oraz rynek manipulatorów pozwalających na realizację podobnych zadań przy ograniczeniu ilości stopni swobody i uniwersalności zastosowań. Manipulator służący do odbierania materiału z nagrzewnicy i przenoszenia go do prasy musi sprostać wymaganiom środowiskowym panującym na hali produkcyjnej. Dlatego producenci zaawansowanych i skomplikowanych robotów oferują różne rozwiązania tego problemu, począwszy od pokrowców, przedmuchu sprężonym



powietrzem czy pokrycia farbami w celu zabezpieczenia przed kurzem i wilgocią. Poza niską ceną przewagą proponowanego przez autorów prostego manipulatora będzie to, że dzięki swojej prostocie będzie on pozbawiony elementów szczególnie wrażliwych na bliskość źródeł ciepła w związku z czym nie będzie potrzeby stosowania tego typu zabezpieczeń. Główna oś obrotu zamocowana do fundamentu zapewni wymaganą sztywność manipulatora, co pozwoli na dynamikę ruchu przy obciążeniach do 5 kg. Główne elementy wykonawcze, siłowniki pneumatyczne, posłużą do napędu ramienia oraz zapewnienia pracy uchwytu. Zastosowane zostaną siłowniki z uszczelnieniami wysoko temperaturowymi oraz przewody odporne na podwyższoną temperaturę i możliwe odpryski co zwiększy odporność układu na warunki środowiskowe. Bardzo ważne w procesie kucia z zastosowaniem proponowanego manipulatora jest zapewnienie właściwego pozycjonowania obrabianego materiału na każdym etapie procesu (spęczanie, kucie wstępne i wykańczające), umożliwiające podejmowanie i transport elementów (odkuwek). Stąd istotnym elementem manipulatora jest układ chwytowy, który musi zostać dostosowany do kształtów produktów wytwarzanych w danym zakładzie. Będzie to chwytak podłączany do uniwersalnego ramienia manipulatora. Chwytak wykonany z inconelu w formie układu "C" z ruchomymi ramionami zagwarantuje właściwą zdolność chwytania, co zostało potwierdzone licznymi próbami i testami laboratoryjnymi. Stosowane obecnie roboty przemysłowe realizują takie zadania właściwie, jednak ich cena znacznie przewyższa możliwości finansowe przedsiębiorstw.

## 2.2. Urządzenie chłodząco-smarujące

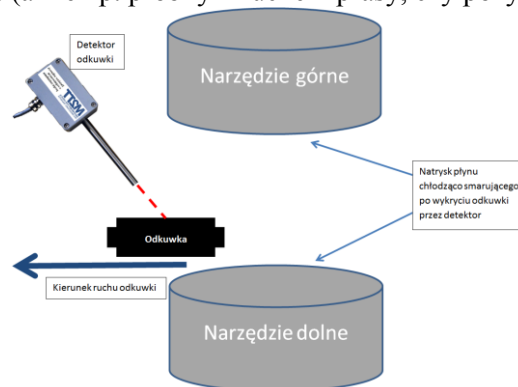
Planowane jest wykorzystanie już opracowanego i wykonanego autorskiego systemu chłodząco-smarującego. Obecnie jedno z urządzeń wchodzących w skład systemu pracuje już w polskiej kuźni, a kolejne są testowane w innych zakładach o profilu kuźniczym. Opracowane urządzenie do smarowania i chłodzenia zbudowane jako niskociśnieniowe, jest bezpieczniejsze w porównaniu z powszechnie stosowanymi urządzeniami tego typu ze zbiornikami ciśnieniowymi. Zapewnienie optymalnej temperatury pracy oraz smarowania narzędzi kuźniczych jest bardzo ważne z punktu widzenia optymalizacji ich trwałości oraz zapewnienia wysokiej jakości odkuwek. W celu ustabilizowania tych parametrów oraz ich kontroli zbudowane urządzenie zapewnia stałość dawki płynu smarująco-chłodzącego oraz czasu jego podawania (rys. 3).



Rys. 3. Urządzenie dozująco-smarujące pozwalające na regulację wydatku środka smarno-chłodzącego: a) widok panelu sterującego, b) widok pojemnika

Urządzenie takie, poza smarowaniem i chłodzeniem narzędzi realizuje jeszcze inne zadania związane z zapewnieniem optymalnych warunków pracy narzędzi, takie jak dodatkowe usuwanie nagromadzonej wody, która może powodować powstawanie „kieszoni” mogących powodować niewypełnienie wykroju oraz nierównomiernie schładzać powierzchnię narzędzi. Urządzenie to pozwala na dostosowanie w zależności od potrzeb dawki każdorazowo wyrzucanego płynu na narzędzia górne oraz dolne oraz czasu jego podaży. Podstawowe elementy funkcjonalne pozwalające na zapewnienie powtarzalności cykli smarowania to pompa perystaltyczna napędzana silnikiem krokowym, precyzyjnie regulująca dawkę płynu, zespół zaworów regulujących przepływ powietrza rozpylającego, wypychającego płyn, czyszczącego układ dystrybucji płynu oraz głowicy rozpylającej podawany środek ciekły na powierzchni matryc. Zmiana czasu podaży pozwala regulować zawartość wody w jednostce objętości wyrzucanej mieszaniny powietrzno-wodno-grafitowej. Dłuższe czasy podaży pozwalają na skuteczniejsze schłodzenie warstwy powierzchniowej narzędzi i pozostawiają ją suchą po zakończeniu cyklu. Odpowiednio dobrany czas wyrzutu środka smarującego sprzyja właściwemu rozpyleniu płynu, hamując procesy kumulacji grafitu w zagięciach matryc oraz

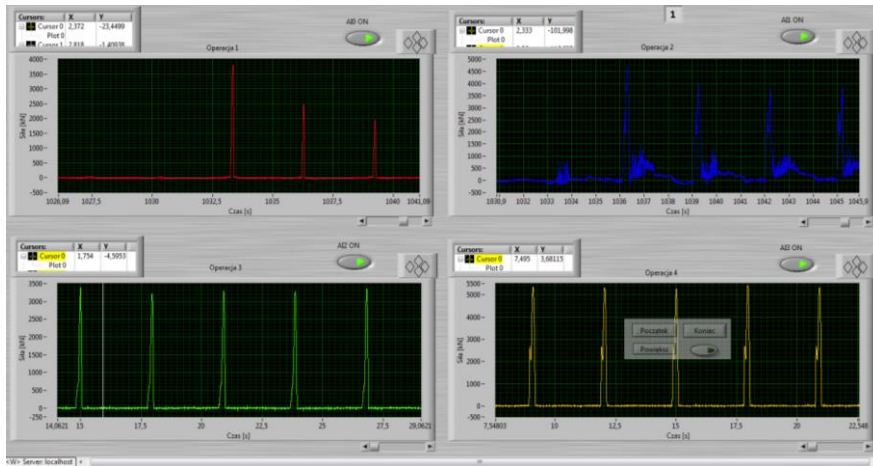
pozostawiania wody na ich powierzchni. Regulacja zawartości fazy ciekłej w mieszaninie smarująco-chłodzącej polega na zmianie czasu otwarcia zaworu rozpylającego oraz prędkości dopływu cieczy do głowicy rozpylającej. Urządzenie jest ponadto wyposażone w mieszadło antysedymentacyjne, które pozwala na utrzymanie jednorodności zawiesiny grafitu w wodzie, co zapewnia stałość ilości środka smarującego. Bardzo ważny jest właściwy moment natrysku środka. Obecnie w większości przypadków polega to na uruchomieniu natrysku po określonej operacji kucia, co rodzi ryzyko spryskania gorącej odkuwki zanim opuści ona wykrój matrycy. Taka sytuacja powoduje pozostanie części zgorzeliny w wykroju matrycy oraz niedostateczne schłodzenie (smarowanie) wykroju. Autorzy pracy opracowali specjalne detektory piroelektryczne o regulowanym progu zadziałania ustawione tak, aby droga wyjmowania odkuwki przecinała wiązkę detektora co gwarantuje, że problem ten zostanie wyeliminowany (rys. 4). System ten dodatkowo pozwoli na zliczanie ilości odkutych wyrobów. Obecnie większość kuźni, które nie posiadają systemów kontroli wykonuje tę czynność szacunkowo, określając ilość odkuwek wagowo lub też średnio liczoną ilość ze zmiany (8h). Często stosowane są liczniki ilości cykli prasy, co jest słuszne tylko w przypadku, gdy każdy cykl pracy kończy się wyprodukowaniem produktu (a nie np. próbnym ruchem prasy, czy pozycjonowaniem narzędzi).



Rys. 4. Schemat opracowanego systemu smarowania narzędzi, pozwalającego także na usuwanie zgorzeliny i ususzanie narzędzi

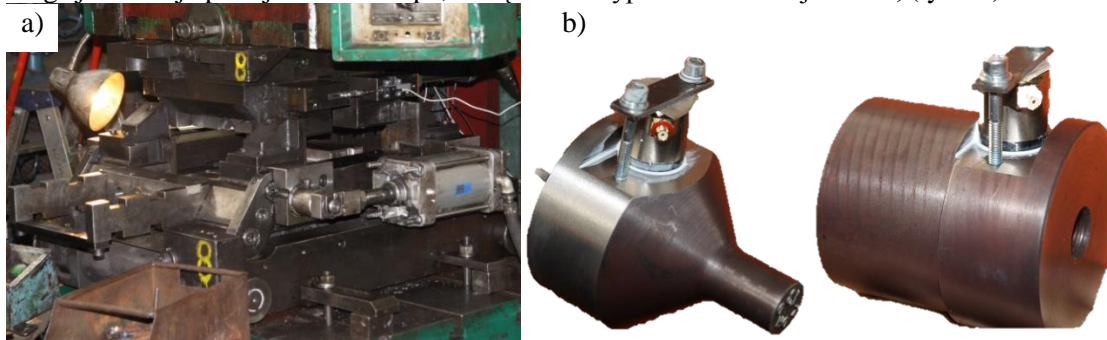
### 2.3. System pomiarowo-kontrolny

W ramach prowadzonych wieloletnich badań autorzy opracowali i zbudowali systemy pomiarowo-kontrolne do analizy i kontroli przemysłowych procesów kucia matrycowego, które zastosowano m.in.: w procesie kucia na prasie mimośrodowej w przyrządzie TR (INOP Poznań) zaczepów do przenoszenia płyt betonowych oraz w procesie kucia na ciepło obudowy przegubu homokinetycznego na prasie korbowej w matrycach zamkniętych (GKN Driveline Oleśnica) [18]. Opracowane systemy zbudowane są z komputera przemysłowego (kontrolera czasu rzeczywistego, wielokanałowej szybkiej karty pomiarowej, kości pamięci operacyjnej, dysków twardych o dużej pojemności, zestawu wzmacniaczy i przetworników) oraz odpowiednich czujników pomiarowych (siły, przemieszczenia, pirometrów, termopar, enkoderów, akcelerometrów, czujników piezoelektrycznych, innych). Na rys. 5 przedstawiony jest fragment zapisu siły z czterech operacji uzyskany z systemu zbudowanego do monitorowania i archiwizacji siły w procesie kucia obudowy przegubów homokinetycznych.



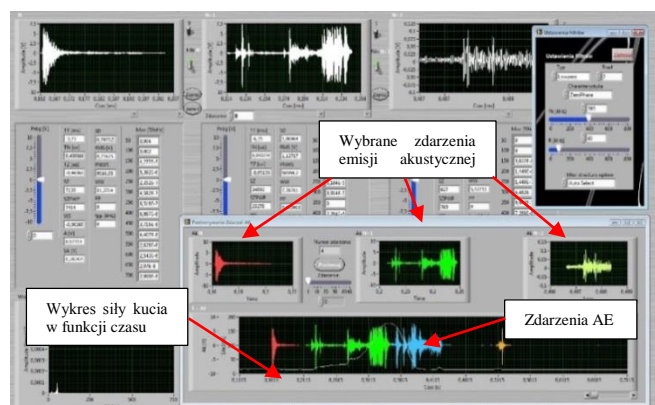
Rys. 5. Panel z wyświetlaczami sił dla czterech operacji kucia obudowy przegubu homokinetycznego

Prowadzono także badania z wykorzystaniem opracowanego systemu pomiarowego do analizy sygnału emisji akustycznej AE. Badano proces kucia zaczepu do przenoszenia płyt betonowych, realizowany na prasie mimośrodowej w przyrządzie TR w INOP-ie w Poznaniu (rys. 6a). System został wykorzystany do pionierskich badań sygnału emisji akustycznej pozwalających na określenie zużycia narzędzi stosowanych w drugiej i trzeciej operacji kucia zaczepu, narzędzia te wyposażono w czujniki AE, (rys. 6b).



Rys. 6. a) Widok przyrządu TR b) stemple do 2 i 3 operacji z czujnikiem AE

Do czujnika zamocowanego do powierzchni stempla docierają fale sprężyste mające swoje źródło w innych częściach maszyny oraz obrabianym materiale. Następnie zdarzenia emisji akustycznej naniesione zostały na wykres siły odpowiadający analizowanej operacji kucia (rys.7).

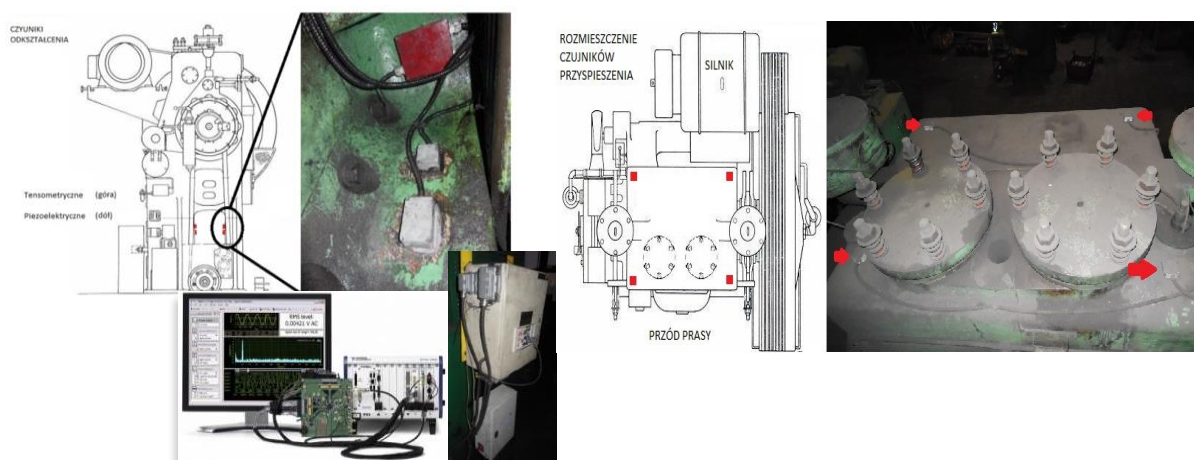


Rys. 7. Widok głównego panelu do analizy i wyboru zdarzeń emisji akustycznej [18]

Po zidentyfikowaniu większości zdarzeń emisji akustycznej możliwe będzie przeszukiwanie sygnału i rozpoznawanie nowo pojawiających się zdarzeń, a następnie zmiana czujnika szerokopasmowego na rezonansowy. Zawężenie częstotliwości sygnału pozwoli na zwiększenie czułości pomiaru, a tym samym na znalezienie zdarzeń odpowiedzialnych za mikropęknięcia materiału stempla lub jego zużywanie się.

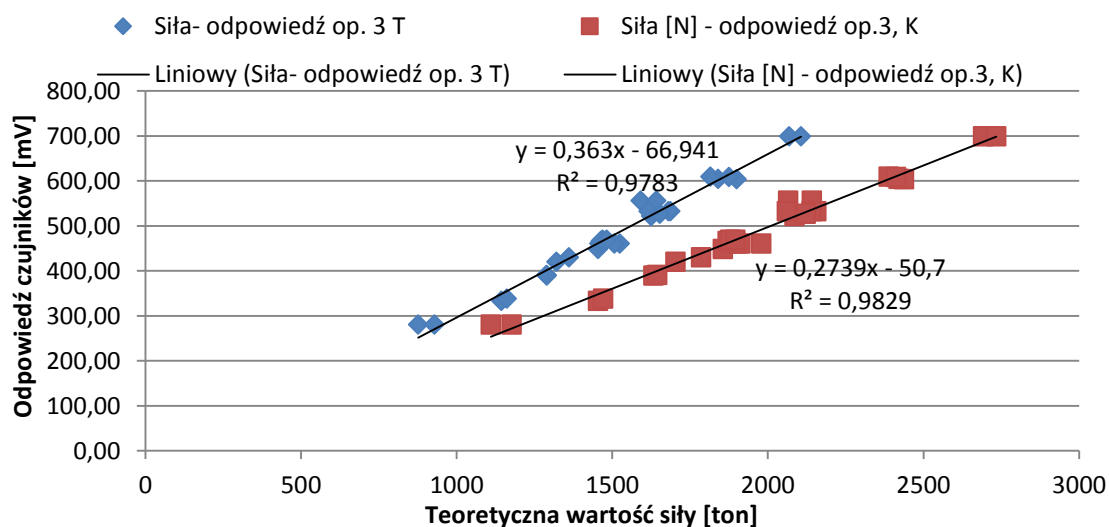


Koncepcja systemu pomiarowego w ramach wielofunkcyjnego, zrobotyzowanego stanowiska kuźniczego zakłada, poza wcześniej wymienionymi elementami składowymi zbudowanych przez autorów systemów, instalację przetwornika prędkości obrotowej na wale koła zamachowego, wale korbowym prasy, co pozwoli na wykonanie analizy energetycznej maszyny i skorelowanie wyników z wynikami pomiarów sił. Dzięki takiemu systemowi możliwe są pomiary wielkości fizycznych takich jak siły kucia, temperatury narzędzi, położenia elementów ruchomych, inne. Bardzo ważne jest odpowiednie rozmieszczenie czujników pomiarowych, określenie ich dynamiki, odporności na uszkodzenia oraz co bardzo istotne, możliwość kalibracji gwarantująca dokładność w całym zakresie mierzonych wartości (rys. 8). Bardzo ważną część systemu stanowi układ do pomiaru temperatury narzędzi. Temperatura ta jest istotna z punktu widzenia samego procesu produkcyjnego, jak również z punktu widzenia trwałości narzędzi. Dzięki wspólnemu serwerowi danych informacja ta może zostać wykorzystana do sterowania intensywnością chłodzenia i ilością środka smarującego, które są realizowane przez urządzenie do chłodzenia i smarowania narzędzi.



Rys. 8. System pomiarowo-kontrolny wraz z przykładem rozmieszczenia czujników

Proces kalibracji, który był przedmiotem kilkuletnich badań jest w pełni poznany i gwarantujący osiągnięcie poprawnych wyników pomiarowych. Często spotykane metody kalibracji zakładają kalibracje z użyciem siłowników hydraulicznych rozciągających korpus prasy czy odkuwanie walców z metalu o odpowiednim wymiarze. Metody te, choć słuszne nie dają dobrych rezultatów i wymagają wykonania czynności dodatkowych. Pomiary sił wykonywane będą pośrednio za pomocą tensometrycznych czujników odkształcenia, tensometrów naklejanych na kolumny prasy oraz czujników opartych na zjawisku piezoelektrycznym i układach całkujących ładunek (rys.9).



Rys. 9. Wynik kalibracji systemu pomiarowego dla czujników tensometrycznych i piezoelektrycznych

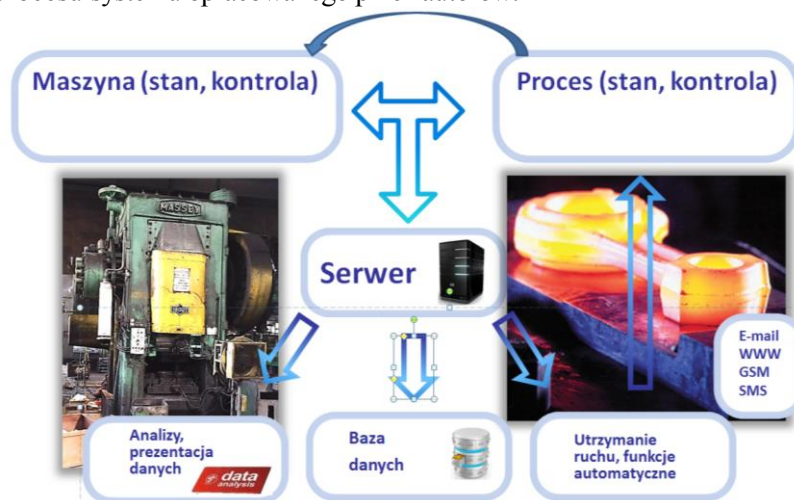
Wszystkie sygnały po kondycjonowaniu w miejscu pomiaru gwarantującym odporność na zakłócenia powodowane obecnością napędów, nagrzewnicy indukcyjnej oraz zakłóceniom sprzęganych po sieci zasilania, zostaną przesłane do serwera pomiarowego, który prześle je do serwera głównego wyznaczając jednocześnie parametry dla systemu kontroli maszyny i procesu produkcyjnego, stanowiącego nadrzędny (informatyczny) system zarządzania produkcją.

Dzięki zastosowaniu wydajnych maszyn obliczeniowych, systemów Real Time, wiele parametrów i analiz wykonanych zostanie w miejscu realizacji pomiarów. Zapewni to niezależną pracę każdego z podukładów, pewną funkcjonalność i niezależni podukłady od awarii innych części składowych stanowiska.

## 2.4. Nadrzędny system zarządzania produkcją

Planowane jest także opracowanie systemu informatycznego pełniącego funkcję nadzoru nad całym procesem. Systemy monitorowania są powszechnie dostępne i wdrażane przez wiele firm jako ANDON lub analogiczne rozwiązania. Trudno natomiast znaleźć, aż tak daleko idącą współpracę systemu pomiarowego zainstalowanego na agregacie z systemem monitorującym awarie oraz ingerującym w planowanie produkcji. Brak jest bowiem specjalistycznych rozwiązań dostosowanych do potrzeb konkretnych procesów produkcyjnych wdrażanych przez firmy o dużym zrozumieniu problemu. Integracja wszystkich etapów produkcji i nadzoru maszyn produkcyjnych w jednym nadrzędnym systemie opracowanym dodatkowo przez konsorcjum wyspecjalizowane w technologiach kucia i pomiarów. Opracowany nadrzędny system pozwoli również na analizę rejestrowanych parametrów w długim okresie czasu, co pozwoli na rozwój w zakresie stosowanej technologii, zarządzania zasobami sprzętowymi (pracą maszyn, ich awariami, naprawami, itp.), zasobami ludzkimi oraz dostosowanie organizacji produkcji do rosnących wymagań rynkowych. Pozwoli także zbudować pełne i wszechstronne narzędzie służące nadzorowi nad procesem i rozwojowi technologii kucia.

Na rys. 10. przedstawiono praktyczną realizację systemu nadzoru pracy narzędzi oraz analizy przemysłowego procesu systemu opracowanego przez autorów.



Rys. 10. Schemat praktycznej realizacji systemu nadzoru pracy narzędzi oraz analizy przemysłowego procesu kucia. Aplikacja pracująca na dedykowanym serwerze danych monitoruje w czasie rzeczywistym warunki samego procesu produkcyjnego (prawa strona) oraz pracy maszyn biorących udział w produkcji

System taki zbudowany jest z kilku modułów, wzajemnie komunikujących się. Zdarzenie pojawiające się w procesie kucia niesie informację, powodując określoną reakcję i działanie w całym systemie. Całość połączona jest ze specjalnym systemem informatycznym, który pełni funkcję nadzoru nad całym procesem. Innowacyjnością rozwiązania jest integracja systemu pomiarowo-kontrolnego z systemem monitorowania awarii, wydajności produkcji, maszyn, co pozwoli zapobiegać awariom oraz pomoże w planowaniu przerw technologicznych i niezbędnych napraw. System pozwoli również na automatyczne przyporządkowanie chwilowych parametrów pracy danemu zdarzeniu w postaci awarii czy wady produkcyjnej i poprawę technologii.

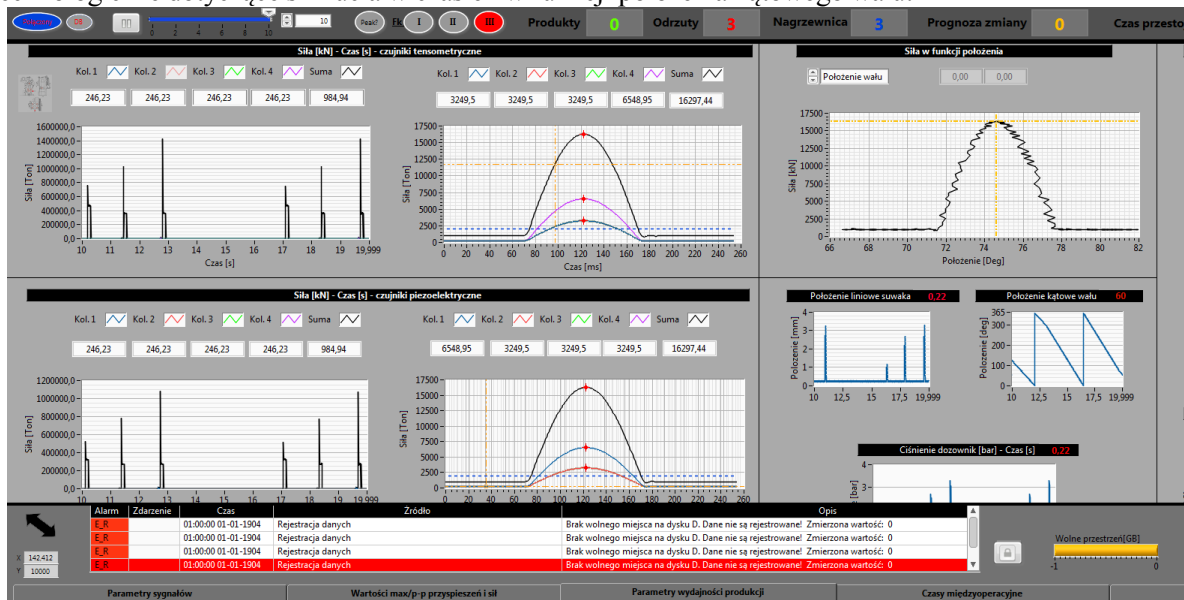
Jednym z modułów opracowywanego przez autorów rozwiązania jest moduł integrujący produkcję i utrzymanie ruchu, który pozwala na rejestrację i bieżącą analizę bardzo dużej liczby parametrów produkcyjnych. Na rys. 11 przedstawiono przykładowy „zrzut ekranu” działania tego modułu, na którym widać

aktualne plany produkcyjne, z kodami (referencjami) odkuwek, wykorzystywanego oprzyrządowania, jego trwałości oraz innymi parametrami.

Data na dzień	Numer planu	S	Zlecenie	Kod	Nazwa	Material	ZK	O	Waga	TJ	Tpz	Do kucia	Do cicia	Nz	Uwagi	Oprzrz	Tn	Tonaż
2015-09-27	135	3P	1/3P	kod 3P1	3p1 naz	mat 3p1	zk 3p1	o 3p1	1.000	2.000	3.000	1000	2000	2000	uzwagi 3p1	oprzrz 3p1	4.000	0
2015-09-27	136	3P	2/3P	kod 3P2	3p2 naz	mat 3p2	zk 3p2	o 3p2	12.000	22.000	32.000	2000	2000	2000	uzwagi 3p2	oprzrz 3p2	42.000	0
2015-09-27	137	3P	3/3P	kod 3P3	3p3 naz	mat 3p3	zk 3p3	o 3p3	13.000	23.000	33.000	3000	2000	2000	uzwagi 3p3	oprzrz 3p3	423.000	0
2015-09-27	138	7P	1/7P	kod 7P3	7p3 naz	mat 7p3	zk 7p3	o 7p3	73.000	23.000	33.000	3000	2000	2000	uzwagi 7p3	oprzrz 7p3	423.000	0
2015-09-27	139	7P	2/7P	kod 7P2	7p2 naz	mat 7p2	zk 7p2	o 7p2	72.000	22.000	32.000	3000	2000	2000	uzwagi 7p2	oprzrz 7p2	42.000	0
2015-09-27	140	7P	1/7P	kod 7P1	7p1 naz	mat 7p1	zk 7p1	o 7p1	71.000	22.000	32.000	1000	2000	2000	uzwagi 7p1	oprzrz 7p1	41.000	0
2015-09-27	141	10P	1/10P	kod 10P1	10p1 naz	mat 10p1	zk 10p1	o 10p1	101.000	22.000	32.000	10000	2000	2000	uzwagi 10p1	oprzrz 10p1	41.000	0
2015-09-27	143	8L	1/8L	kod 8L1	8L nazw	mat 8L1	zk 8L1	o 8L1	101.000	22.000	32.000	10000	0	0	uzwagi 8L	oprzrz 8L	41.000	0
2015-09-27	144	8L	1/8L	kod 8L1	8L nazw	mat 8L1	zk 8L1	o 8L1	101.000	22.000	32.000	35000	4000	0	uzwagi 8L	oprzrz 8L	41.000	0
2015-09-27	145	8L	1/8L	kod 8L1	8L nazw	mat 8L1	zk 8L1	o 8L1	101.000	22.000	32.000	35000	8000	0	uzwagi 8L	oprzrz 8L	41.000	0
2015-09-27	146	8P	1/8P	kod 8P1	8P nazw	mat 8P1	zk 8P1	o 8P1	8.000	8.000	8.000	8000	20000	0	uzwagi 8P	oprzrz 8P	8.000	0
2015-09-27	147	10P	1/10P	kod 10P1	10p1 naz	mat 10p1	zk 10p1	o 10p1	101.000	22.000	32.000	20000	2000	0	uzwagi 10p1	oprzrz 10p1	41.000	0
2015-09-28	142	10P	1/10P	kod 10P1	10p1 naz	mat 10p1	zk 10p1	o 10p1	101.000	22.000	32.000	20000	2000	0	uzwagi 10p1 na jutro	oprzrz 10p1	41.000	0
2015-10-03	148	3P	z12/15	kod 3P1	3p1 nazw	mat 12/15	zk 12/15	gfd	1.000	1.000	1.000	1	1	0	uzwagi 12/15	oprzrz 12/15	1.000	0
2015-10-07	154	3P	gfd	gfd	gfd	gfd	gfd	gfd	1421.00	21.000	21.000	21	21	21	uzwagi 12/15	oprzrz 12/15	453.000	0
2015-10-15	155	3Z	safdsa	fds	Wohajst	N12f12	fds	fds	0.000	12.000	12.000	1000	200	12	uzwagi 12/15	oprzrz 12/15	0.000	0
2015-10-15	156	7P	vck	vck	vck	vck	vck	vck	10.000	0.000	0.000	5000	100	0	uzwagi 12/15	oprzrz 12/15	0.000	0

Rys. 11. Panel aplikacji z najważniejszymi parametrami planów produkcyjnych

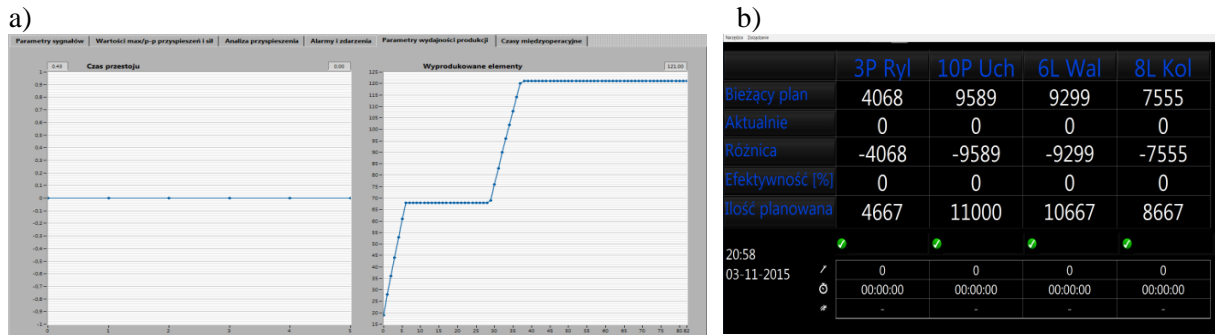
Planista definiując produkcję dla danej maszyny (lub maszyn) przypisuje odpowiedni zestaw narzędzi, zasoby ludzkie, wprowadza dane dotyczące samej produkcji. Z kolei rys. 12 przedstawia wybrane parametry technologiczne dotyczące sił kucia w czasie i w funkcji położenia kąowego wału.



Rys. 12. Panel aplikacji z najważniejszymi parametrami technologicznymi wybranego procesu kucia

System analizuje w trybie ciągłym wartości sił, temperatury narzędzi, odkuwki, wstępniaków. Zlicza elementy w każdym etapie produkcyjnym, rozpoznaje numer operacji w procesie kucia wielooperacyjnego. Jednocześnie zapisuje wyniki analiz do bazy danych w celu ich późniejszego wykorzystania do analizy technologii, identyfikowania przyczyny awarii lub ich zapobiegania.

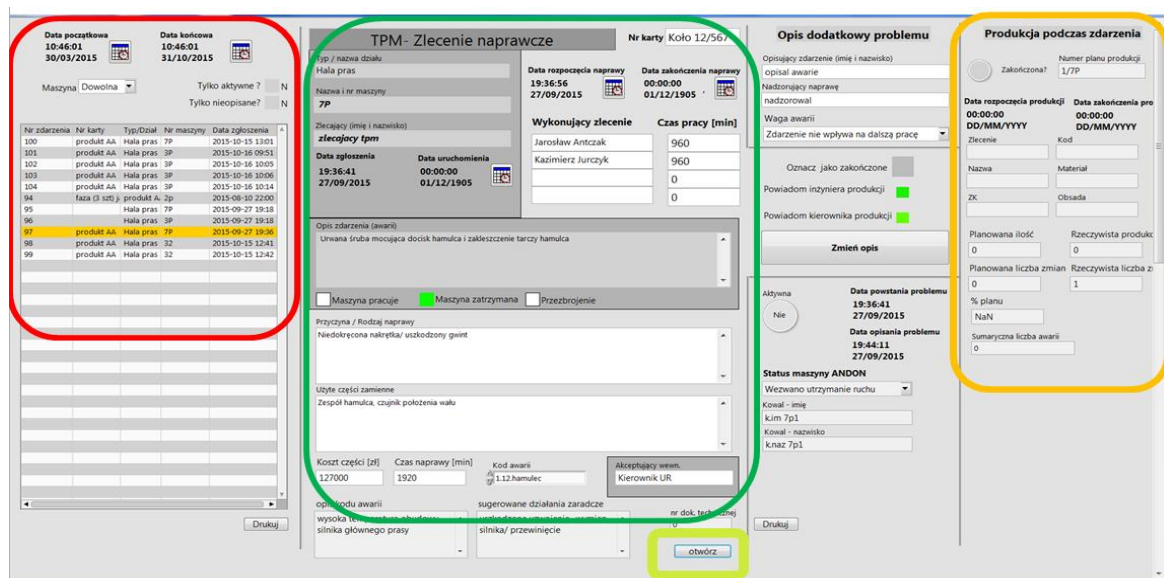
Możliwa jest również kompleksowa analiza bieżącej produkcji, pod kątem jej wydajności, czasu przestoju, ilości wyprodukowanych odkuwek, braków, itp (rys. 13a). Często takie informacje znajdują się na kilku monitorach w centralnym miejscu w kuźniach (rys. 13b).



Rys. 13. a) Panel aplikacji z najważniejszymi parametrami technologicznymi wybranego procesu kucia, b) monitor-tablica informacyjna

Na rys. 14 przedstawiono „zrzut ekranu” z aplikacji systemu monitorowania awarii, na którym można zobaczyć m.in.: czas wystąpienia takiego zdarzenia awaryjnego, miejsce, parametry produkcji podczas zdarzenia.

System monitorowania awarii pozwala na natychmiastowe podjęcie niezbędnego działania (na podstawie specjalnego algorytmu postępowania), np. zlecenia naprawczego, przeglądania dokumentacji usunięcia danej awarii na podstawie zdarzeń poprzednich lub przygotowanej wcześniej dokumentacji co znacząco przyspiesza rozwiązywanie problemu i wznowienie produkcji.



Rys. 14 „Zrzut ekranu” z aplikacji systemu monitorowania awarii

Osiągnięcie najwyższych światowych standardów w dziedzinie jakości produkcji oraz konkurencyjności wymaga doskonalenia form i metod zarządzania produkcją. Niewątpliwie w dzisiejszych czasach związane jest to z wykorzystaniem technologii informatycznych, w skład których wchodzi: zaawansowane systemy pomiarowe, urządzenia elektroniczne, technologie łączności i inne urządzenia peryferyjne przeznaczone do gromadzenia, opracowywania, analizy i przekazu informacji. Wszystko to jako całość sprzyja udoskonalaniu zarządzania produkcją oraz jej strukturalnymi elementami.

Wdrożenie do procesu produkcji zintegrowanego, wielofunkcyjnego stanowiska do kucia matrycowego przyczyni się także do stabilności aktualnej produkcji, podniesie wydajność i produktywność agregatów kuźniczych a także znacząco zwiększy możliwości produkcyjne całego przedsiębiorstwa. Przewiduje się także zaimplementowanie takiego zintegrowanego, wielofunkcyjnego stanowiska do kucia matrycowego do innych agregatów kuźniczych, nie tylko pras, ale również młotów. Zaplanowany bardzo wysoki poziom funkcjonalności stanowiska uwzględni m.in. możliwości jego rekonfiguracji i elastycznej adaptacji w celu dostosowania do zmieniającego się zarówno parku maszynowego danego przedsiębiorstwa, jak i dowolnego planu produkcyjnego. Opracowane przez autorów



stanowisko stanowiłoby rozwiązanie unikatowe, bowiem spotykane w zakładach kuźniczych, zarówno w Polsce, jak i na świecie, podobne rozwiązania są zazwyczaj dedykowane do jednej maszyny lub procesu, a ich modernizowanie jest niemożliwe lub nieopłacalne. Spowoduje bowiem, że realizowany obecnie przemysłowy proces kucia będzie znacznie lepiej kontrolowany, a dana kuźnia osiągnie korzyść m.in. w postaci robotyzacji i automatyzacji procesu produkcyjnego.

Ponadto, dzięki swojej innowacyjności, istotnie wpłynie na zaspokojenie rosnących potrzeb klientów, a tym samym podwyższenie rangi zakładu na tle konkurencji i w oczach odbiorców, bowiem charakteryzować się będzie następującymi elementami:

- a) rozszerzoną kontrolą i zwiększoną stabilnością produkcji.
- b) zwiększeniem wydajności produkcji, dzięki zastosowanemu manipulatorowi transportującemu odkuwki.
- c) robotyzacją i opracowaniem uniwersalnych technologii kucia i okrawania na wybranym gnieździe produkcyjnym z uwzględnieniem typoszeregu grup odkuwek.
- d) znaczącym podniesieniem trwałości stosowanych narzędzi kuźniczych, dzięki zintegrowanemu urządzeniu smarująco-chłodzącemu (stała i ukierunkowana dawka smaru).
- e) monitorowaniem procesu na wszystkich jego etapach.
- f) możliwością szybkiej analizy wpływu zmian zastosowanych w dowolnym miejscu stosowania technologii na cały proces i maszynę (weryfikacja, czy np. zmiana kształtu matrycy nie powoduje przeciążenia prasy) co przyspieszy rozwój technologii i obniży koszty wdrożenia.

### **3. Podsumowanie i wnioski**

Opracowane i zbudowane przez autorów systemy pomiarowo-kontrolne pozwalają na ciągły monitoring (pomiar, archiwizację i analizę) najistotniejszych parametrów przemysłowych procesów kucia, takich jak: siły kucia w funkcji czasu/przemieszczenia oraz temperatury narzędzi. Przeprowadzona weryfikacja pracy takich systemów w warunkach przemysłowych oraz ich odpowiednia rozbudowa programowo-sprzętowa potwierdziła, że mogą stanowić specjalizowane systemy nadzoru pracy narzędzi kuźniczych oraz analizy przemysłowych procesów kucia w do monitorowania parametrów całego procesu wytwarzania. Dodatkowo poprzez opracowanie dla konkretnego zakładu przemysłowego/kuźni dedykowanych aplikacji informatycznych, pozwalają na monitorowanie on-line każdej maszyny, urządzenia, czy agregatu kuźniczego (przewidywanych przeglądach lub wykonanych naprawach), wydajności pracy poszczególnych komórek zakładu lub etapów procesu technologicznego dając duży zasób informacji dotyczącej aktualnego obciążenia i stanu parku maszynowego, bieżącej produkcji, aktualnych zamówieniach, a także o brakach i przestojach, czyli umożliwiają zarządzanie produkcją. Ważną zaletą wykorzystania tego typu systemów jest możliwość weryfikacji prowadzonego równoległe modelowania numerycznego procesów, ze szczególnym uwzględnieniem trwałości narzędzi

Dalszy nieustanny rozwój technologii kucia powoduje, że kuźnie chcąc sprostać coraz większym wymaganiom rynkowym zmuszone są do zautomatyzowania swojej produkcji. W konsekwencji prowadzi to do wprowadzania nowych rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych. Odpowiedzią na taki stan rzeczy jest przedstawiona przez autorów koncepcja innowacyjnego rozwiązania stanowiącego kompleksowe podejście do zagadnienia automatyzacji i robotyzacji linii kuźniczej. Koncepcja ta zakłada zbudowanie zintegrowanego, wielofunkcyjnego stanowiska do kucia matrycowego, którego kluczowymi elementami będą:

- ramię manipulatora z zespołem chwytaków, przenoszące materiał wsadowy z nagrzewnicy do wykroju matryc,
- autorskie (już zbudowane) urządzenie chłodząco-smarujące zapewniające stałą dawkę środka smarnego i realizujące złożony proces „utrzymania” wysokiej trwałości narzędzi kuźniczych,
- system pomiarowo-kontrolny opracowany przez autorów i zainstalowany na agregacie kuźniczym, zsynchronizowany z jednoczesną i bezkolizyjną pracą ramienia i urządzenia chłodząco-smarującego,
- nadrzędny system zarządzania produkcją (częściowo zbudowany), który będzie pełnić funkcję nadzoru nad całym procesem.

Zamysłem autorów jest jednak wzajemne połączenie poszczególnych elementów i wykorzystanie efektu synergii, który przyniesie znacznie więcej wymiernych korzyści, zarówno pod względem naukowym, jak i ekonomicznym. Ich zastosowanie przyczyni się jeszcze lepszej i pełniejszej kontroli procesów kucia, Wdrożenie do procesu produkcji zintegrowanego, wielofunkcyjnego stanowiska do kucia



matrycowego przyczyni się także do stabilności aktualnej produkcji, poprawy warunków eksploatacji i produktywności agregatów kuźniczych, a także znacząco zwiększy możliwości produkcyjne całego przedsiębiorstwa. W obecnej chwili korzyści wynikające z synergii poszczególnych elementów w opracowywanym zintegrowanym, zautomatyzowanym stanowisku są trudne do określenia, dopiero aplikacja takiego stanowiska pozwoli na ich oszacowanie.

## Literatura

1. ABB, [www.abb.com/robotics](http://www.abb.com/robotics).
2. Amada Oceania Pty Ltd., [www.amada.com.au](http://www.amada.com.au).
3. Bilsing Automation. [www.bilsing-automation.com](http://www.bilsing-automation.com).
4. Cechura M, Hlavac J, Kubec J, Functions and features monitoring of forming machines, research report V-10-091, VSCVTT, 2010.
5. Cechura M, Housa J, Energy analysis of forming machines and further proposals for decreasing of energy consumption, research report V-11-037, VSCVTT, 2011.
6. Cechura M, Chval Z, Convectional versus multiple operating press, Brno 2013; 67-70.
7. Grosse C.U., Ohtsu M., eds. Acoustic emission testing - basics for research - applications in civil engineering. Springer. (2008).
8. Chval Z, Effect of heat load to the forming machines, MM Science Journal, 2013; 418-421
9. Chval Z, Cechura M, Monitoring extremely stressed points on stands of forging presses, Procedia Engineering 2015; (100): 841 – 846.
10. Comau. [www.comau.com](http://www.comau.com).
11. Copren. [www.copren.com](http://www.copren.com).
12. Gronostajski Z, Hawryluk M, Jakubik J., Kaszuba M., Misun G., Sadowski P.: Gronostajski Z. Kaszuba M., Hawryluk M, Solution examples of selected issues related to die forging, Archives of Metallurgy and Materials 2015; 60(4): 2767-2775.
13. Gronostajski Z. Kaszuba M., Hawryluk M. Zwierzchowski M. Niechajowicz A., Polak S.: Die profile optimization for forging constant velocity joint casings, Archives of Metallurgy and Materials 2011; 56(2): 551-558.
14. Gronostajski Z, Kaszuba M, Hawryluk M, Zwierzchowski M. A review of the degradation mechanisms of the hot forging tools. Archives of Civil and Mechanical Engineering 2014; 14(4): 528-539.
15. Gronostajski Z., Hawryluk M., Kaszuba M., Marciniak M., Niechajowicz A., Polak S., Zwierzchowski M., Adrian A., Mrzygłód B., Durak J.: The expert system supporting the assessment of the durability of forging tools, International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2016; 82:1973–1991.
16. Gronostajski Z., Hawryluk M. The main aspects of precision forging. Archives of Civil and Mechanical Engineering 2008; 8(2): 39-57.
17. Gronostajski Z., Hawryluk M., Kaszuba M., Zwierzchowski M.: Analysis of forging process of constant velocity joint body. Steel Research International 2008; 1: s. 547-554.
18. Gronostajski Z., Hawryluk M, Kaszuba M, Sadowski P. Measuring & control systems in industrial die forging processes, Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability 2011; 3: 62-69.
19. Hawryluk M., Marciniak M., Misun G.: Possibilities of investigating abrasive wear in conditions close to those prevailing in industrial forging processes, Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability 2014; 16(4): 600-607.
20. Hawryluk M., Jakubik J. Analysis of forging defects for selected industrial die forging processes, Engineering Failure Analysis 2016; 59: 396–409, <http://dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.11.008>
21. Hawryluk M., Zwierzchowski M.: Analiza strukturalna matryc stosowanych do kucia na ciepło w aspekcie ich trwałości, Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2009; 2(42): 31-41.
22. Hlavac J., M. Cechura, V. Kubec, Technologia, Boundary conditions setting questions for virtual simulation of mechanical presses, 2009; 61, ISBN 978-80-227-3135-5.
23. Islam El-galy, Bernd-Arno Behrens Online monitoring of hot die forging processes using acoustic emission (part i), J. Acoustic Emission 2008; 26: 208-218.
24. Karamyshev A.P.: The production of a machine designed for the cold radial cyclic forging of solid and tube billets, WIT Transactions on Ecology and the Environment, 2014; 169-177, ISSN: 17433541.
25. Katalog zrobotyzowanych stanowisk w przemyśle polskim. Wydawnictwo Przemysłu Maszynowego, Warszawa 1987.
26. KUKA Robot Group. [www.kuka.com](http://www.kuka.com).
27. Mortimer J.: Mix of robots used for Jaguar's aluminium-bodied XJ luxury car. Industrial Robot, 2003; 2: 145–151.
28. Motoman, [www.motoman.com](http://www.motoman.com)
29. Neugebauer R, Bräunlich H, Scheffler S, Process monitoring and closed loop controlled process. Archives of Civil and Mechanical Engineering 2009; 2(9): 105-126.
30. Nye T.J., Elbadan A.M, Bone G.M, Real-time process characterization of open die forging for adaptive control, Journal of Engineering Material Technology 2000; 123(4): 511-516.
31. Oriimec, [www.oriimec.com](http://www.oriimec.com)
32. World Robotics 2004. Statistic, Market Analysis, Forecasts, Case Studies and Profitability of Robot Investment. United Nations, New York, Geneva 2004.
33. Zhenyuan J, Bangguo W, Wei L, Yuwen S, An improved image acquiring method for machine vision measurement of hot formed parts, Journal of Materials Processing Technology 2010; 210: 267–271.