

## LABORATORIUM WIRTUALNE W DYDAKTYCE I BADANIACH NAUKOWYCH

**Bogdan GALWAS, Elżbieta PIWOWARSKA, Marcin GODZIEMBA-MALISZEWSKI**

Ośrodek Kształcenia na Odległość „OKNO” Politechniki Warszawskiej

e-mail: bgalwas@okno.pw.edu.pl, epiwowar@okno.pw.edu.pl, m.maliszewski@okno.pw.edu.pl

**Streszczenie:** W dzisiejszych czasach rozwój technologii komputerowej otwiera coraz to nowe perspektywy przed twórcami współczesnych systemów pomiarowo-sterujących oraz platform umożliwiających zdalny dostęp do nich. W dziedzinie badań naukowych, laboratorium wirtualne należy traktować przede wszystkim jako element ułatwiający gromadzenie i przetwarzanie wyników pomiarów oraz platformę do pracy grupowej. W dydaktyce, wirtualne laboratorium jest elementem wspomagającym proces kształcenia, dostępnym w sposób ciągły zarówno w sensie miejsca, jak i czasu, oferującym funkcje platformy LCMS oraz możliwość dostępu do rzeczywistego sprzętu pomiarowo-sterującego. W referacie omówiono problemy, cele i zasady prowadzenia eksperymentu z wykorzystaniem platformy wirtualnego laboratorium. Zaprezentowana zostanie architektura platformy.

**Słowa kluczowe:** wirtualne laboratorium, zdalny dostęp do urządzeń naukowo-badawczych, wirtualny przyrząd pomiarowy, wirtualne laboratorium naukowo-badawcze.

### 1. WSTĘP

Rozwój techniki komputerowej otwiera coraz to nowe perspektywy przed twórcami współczesnych systemów pomiarowo-sterujących. Coraz większego znaczenia nabierają nowoczesne technologie internetowe i komunikacyjne umożliwiające użytkownikom zdalny dostęp do oprogramowania urządzeń naukowo-badawczych oraz funkcji pomiarowych i sterowania z dowolnego miejsca i w dowolnym czasie. Otwiera to zupełnie nowe możliwości wykorzystania ICT (ang. Information and Communication Technologies), w badaniach naukowych oraz procesach dydaktycznych i kształceniu na odległość. Wykorzystanie platform edukacyjnych (typu LCMS – ang. Learning Content Management System) wzbogaconych dodatkowo o funkcje zdalnego dostępu do urządzeń naukowo-badawczych, pozwala pojedynczym użytkownikom bądź grupie, przeprowadzać i analizować wspólnie eksperyment pomimo rozproszenia terytorialnego obiektów badań, aparatury naukowo-badawczej, wyników pomiarów, jak i ich samych [1]. Oprogramowaniem wspomagającym tradycyjny proces kształcenia czy kształcenia na odległość oferującym zarówno funkcje platformy LMS czy LCMS oraz zdalnego dostępu do urządzeń naukowo-badawczych, jak i symulacji jest platforma wirtualnego laboratorium (PWL).

W dziedzinie badań naukowych laboratorium wirtualne należy traktować przede wszystkim jako element ułatwiający gromadzenie i przetwarzanie wyników pomiarów oraz platformę do pracy grupowej. Nie oczekuje się od niej

możliwości prowadzenia zdalnych eksperymentów a jedynie możliwości zdalnego dostępu do specjalistycznego oprogramowania urządzeń naukowo-badawczych celem chociażby przeglądania i analizy danych lub możliwości zdalnego monitorowania przebiegu długotrwałych procesów badawczych.

W dydaktyce, platforma wirtualnego laboratorium [1][2] jest nie tylko elementem niezwykle atrakcyjnym z punktu widzenia studenta czy elementem wspomagającym proces kształcenia, ale przede wszystkim jest narzędziem pozwalającym na integrację rozproszonych zasobów sprzętowych. Pozwala to na zebranie rozproszonych zasobów sprzętowych znajdujących się w wielu jednostkach organizacyjnych czy wręcz uczelniach w jedną wirtualną strukturę umożliwiającą ich wykorzystanie w trakcie prowadzonych zajęć zdalnych czy w ramach stacjonarnego laboratorium. Coraz popularniejsze są procesy dydaktyczne [2] realizowane przy użyciu nowoczesnych technik internetowych i multimedialnych, w tym wykorzystujących techniki wzbogaconej rzeczywistości, w których użytkownik uzyskuje dostęp do wiedzy, zasobów informatycznych i aplikacyjnych za pomocą specjalistycznego interfejsu użytkownika dostępnego często z poziomu przeglądarki internetowej czy urządzenia mobilnego. Od użytkownika wirtualnego laboratorium wymagane jest jedynie posiadanie komputera lub urządzenia mobilnego z dostępem do sieci Internet. Za pomocą przeglądarki internetowej użytkownik uzyskuje dostęp do kursów i treści edukacyjnych, może komunikować się z innymi uczestnikami, a przede wszystkim może uzyskiwać zdalny dostęp do zasobów sprzętowych laboratorium, w tym do urządzeń naukowo-badawczych. Warto podkreślić fakt że ani nowoczesne techniki symulacyjne, ani zdalny dostęp do laboratoriów czy e-kształcenie nie wyeliminują konieczności prowadzenia rzeczywistych eksperymentów, obsługi rzeczywistych przyrządów pomiarowych oraz borykania się z problemami natury sprzętowej.

Wirtualne laboratorium (WL) [1] można zdefiniować jako heterogeniczne, rozproszone środowisko umożliwiające osobie lub grupie osób zarządzanie, integrację oraz zdalny dostęp do zasobów laboratorium w sposób ciągły zarówno w sensie miejsca, jak i czasu. Jako zasób wirtualnego laboratorium należy rozumieć zarówno proces dydaktyczny, treści dydaktyczne, jak i systemy i obiekty pomiarowe czy urządzenia naukowo-badawcze.

## 2. CELE I ZASADY METODYCZNE PROWADZENIA EKSPERYMENTU W ZDALNYM LABORATORIUM

Zajęcia laboratoryjne prowadzone w tradycyjnym modelu kształcenia [2] są poprzedzone przygotowaniem studenta do prowadzenia badań i doświadczeń poprzez dostarczenie odpowiedniej wiedzy dziedzinowej w trakcie wykładu czy wprowadzenia do laboratorium. Są one bardzo ważnym elementem procesu nauczania, zdobywania wiedzy i doświadczenia przez studenta. Platforma wirtualnego laboratorium realizuje cykl kształcenia w oparciu o model mieszany pozwalający połączyć teoretyczne przygotowanie studenta za pośrednictwem platformy LCMS z możliwością uzyskania praktycznych umiejętności w rzeczywistym laboratorium z wykorzystaniem zdalnego dostępu do urządzeń naukowo-badawczych lub w trakcie fizycznej obecności w laboratorium. Wirtualne laboratorium działa na poziomie wiedzy dziedzinowej [2]. Ma za zadanie rozwinąć w studencie umiejętności sformułowania problemu oraz umiejętność znalezienia rozwiązania w ramach danej dziedziny wiedzy, z którą został zapoznany we wcześniejszych etapach cyklu nauczania. Wiedza ta może zostać dostarczona poprzez odpowiednie wykłady dostępne w ramach platformy bądź jako materiały dostępne bezpośrednio w ramach danego ćwiczenia. Wirtualne laboratorium powinno umożliwiać też wykształcenie umiejętności analizy na podstawie nabytej wiedzy teoretycznej. Wirtualne laboratorium może być używane też w stacjonarnych procesach dydaktycznych, gdzie do przygotowania studenta do pracy w laboratorium rzeczywistym często wystarczy użycie symulacji układów i zjawisk fizycznych oraz dostarczenie niezbędnej wiedzy dziedzinowej z zakresu prowadzonych badań. Pozwoli to na skrócenie czasu fizycznej obecności studenta w laboratorium. Student, przed przystąpieniem do wykonania ćwiczenia w rzeczywistym laboratorium, nabyte niezbędne umiejętności z zakresu obsługi urządzeń naukowo-badawczych, jak i konfiguracji układów pomiarowych zastosowanych w danym ćwiczeniu. Symulacje układów i zjawisk powinny być przygotowane w ten sposób, aby odzwierciedlały zachowanie rzeczywistych przyrządów lub układów i przekazywały istotę prezentowanego zjawiska. Symulacje takie mogą opierać się o model matematyczny bądź wykorzystywać wcześniej zebrane wyniki pomiarów. Chodzi o to, aby przede wszystkim zapewnić studentowi możliwość zrozumienia istoty zachodzących zjawisk [2][3], zapoznania się z układami i technikami pomiarowymi użytymi później w rzeczywistym laboratorium. Należy przy tym zapewnić studentowi pewien stopień swobody w konfiguracji układu symulacyjnego czy pomiarowego, a nawet pozwolić na wprowadzenie błędnych danych czy na zbudowanie błędnego układu, blokując jedynie sytuacje mogące doprowadzić do uszkodzenia sprzętu pomiarowego lub obiektu. Po przeanalizowaniu danych pomiarowych student będzie mógł wyciągnąć należyte wnioski i zweryfikować schemat swojego systemu pomiarowego. Pozwoli to na lepsze poznanie i zrozumienie badanych zjawisk. Ma to szczególne znaczenie wszędzie tam, gdzie złożone zjawiska nie dają się w prosty sposób opisać matematycznie [2][3]. Zdalny dostęp do laboratorium rzeczywistego oraz do symulacji układów i przyrządów pomiarowych ma też duże znaczenie [4] dla studentów ostatnich lat studiów, realizujących projekty przejściowe, prace inżynierskie czy magisterskie. Wirtualne laboratorium oferujące zdalny

dostęp do urządzeń naukowo-badawczych pozwala na przetestowanie tworzonych rozwiązań na potrzeby pracy bez konieczności fizycznej obecności w laboratorium i bez nadmiernego angażowania pracowników i zasobów uczelni, a do tego z dowolnego miejsca i w dogodnym czasie. Nie oznacza to wcale, że tradycyjny model kształcenia czy proces dydaktyczny ulega transformacji w proces e-kształcenia a jedynie coraz częściej wykorzystuje media elektroniczne i technologie informatyczne w procesie uczenia się. Warto podkreślić różnicę pomiędzy uczeniem się (słuchacz sam zdobywa wiedzę) a nauczaniem (przekazywanie wiedzy przez wykładowcę). Połączenie procesu nauczania z elementem poznawczym i procesem samo uczenia się [2][4] znacznie podnosi efektywność przyswajania wiedzy. Oddzielnym problemem występującym na platformie wirtualnego laboratorium jest temat i cel zajęć. Powinien on mieć odzwierciedlenie w wiedzy teoretycznej i proceduralnej, a proporcje pomiędzy nimi powinny być określone przez specjalistów z dziedziny pedagogiki i metodyki nauczania. W projektowaniu materiałów do ćwiczeń powinien zostać uwzględniony fakt, że materiały i wirtualne przyrządy pomiarowe będą udostępniane przez platformę wirtualnego laboratorium i powinny umożliwiać poznanie właściwości danego zjawiska fizycznego. Materiał powinien być podzielony tak, aby jeden moduł wymagał poświęcenia od 10 do 20 minut uwagi studenta [3][4]. Przy odpowiednim skonstruowaniu cyklu szkoleniowego, treści edukacyjnej i ukierunkowaniu studenta, efekty tradycyjnego procesu dydaktycznego wzbogaconego o elementy e-kształcenia znacznie podwyższają stopień przyswajania wiedzy przy skróceniu czasu udziału w fizycznych zajęciach. Proces dydaktyczny z wykorzystaniem platformy wirtualnego laboratorium jest to ściśle określony zespół czynności i procesów szkoleniowych przypadających na pewien odcinek czasu, tworzących zamkniętą całość, opierający się o gromadzenie i przepływ informacji zarówno w kierunku nauczyciel – słuchacz, jak i odwrotnie (informacja zwrotna - często bagatelizowana). Na podstawie informacji zwrotnej pochodzącej od studenta istnieje możliwość dostosowania materiału do potrzeb i poziomu wiedzy studentów, a zarazem udoskonalenia samego kursu. Ze względu na fakt, że w kursach mogą uczestniczyć osoby o różnym przygotowaniu, platforma powinna udostępniać szereg materiałów pozwalających na uzupełnienie wiedzy z danej dziedziny.

Głównym celem dydaktycznym [4][5] platformy wirtualnego laboratorium jest więc realizacja procesu dydaktycznego, w którym student uzyskuje zaplanowany przyrost wiedzy oraz nabywa określonych umiejętności praktycznych w zakresie rozwiązywania problemów z danej dziedziny. W zależności od dziedziny wiedzy, w której jest realizowany proces dydaktyczny, wirtualne laboratorium musi wspierać odpowiednie modele i scenariusze realizacji celów edukacyjnych. Inne problemy, narzędzia i modele istnieją np. dla laboratorium z podstaw informatyki, a inne dla problematyki związanej z teorią obwodów elektrycznych. Całość procesu dydaktycznego wymaga więc zastosowania rozwiązań technologicznych, które go zalgorytmizują i usprawnią. Oprogramowaniem wspomagającym prowadzenie tego procesu, jest platforma wirtualnego laboratorium oferująca poza funkcjami udostępniającymi typowe treści statyczne i zasoby plikowe, także funkcje systemu zarządzania, rozszerzone o możliwość dostępu do rzeczywistego sprzętu naukowo-badawczego.

Podsumowując, platforma wirtualnego laboratorium musi spełniać trzy podstawowe zadania a mianowicie, umożliwić prowadzenie procesu dydaktycznego, zarządzać treścią edukacyjną oraz umożliwić integrację i zdalny dostęp do rozproszonych zasobów pomiarowo-sterujących. W proponowanym przez autorów modelu wirtualnego laboratorium cykl kształcenia jest realizowany w trybie mieszanym. Pozwala on połączyć teoretyczne przygotowanie studenta za pośrednictwem platformy edukacyjnej z możliwością uzyskania praktycznych umiejętności w rzeczywistym laboratorium z wykorzystaniem zdalnego dostępu do ćwiczeń laboratoryjnych.

### 3. PLATFORMA WIRTUALNEGO LABORATORIUM

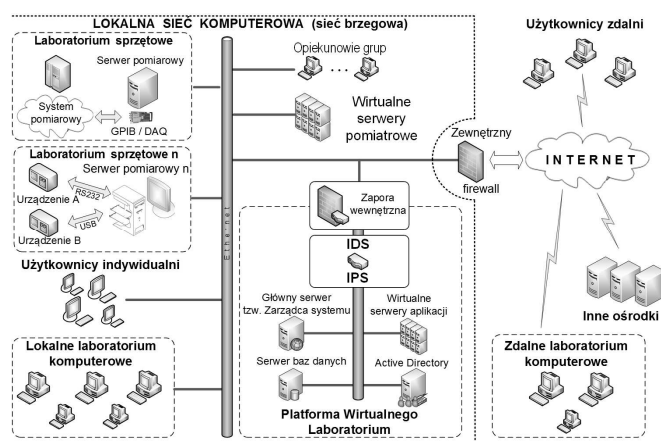
Proces kształcenia realizowany z wykorzystaniem platformy wirtualnego laboratorium jest wspomagany specjalistycznym oprogramowaniem, sprzętem komputerowym, aparaturą naukowo-badawczą oraz odpowiednimi mediami telekomunikacyjnymi i technologiami łączącymi strukturę wirtualnego laboratorium, pozwalającymi na uwolnienie studenta od ograniczeń związanych z miejscem oraz czasem nauczania i prowadzenia eksperymentu. Od użytkownika wirtualnego laboratorium jest wymagane posiadanie komputera oraz dostępu do sieci Internet. Za pomocą przeglądarki internetowej użytkownik wirtualnego laboratorium uzyskuje dostęp do kursów i treści edukacyjnych, może komunikować się z innymi uczestnikami, a przede wszystkim uzyskuje zdalny dostęp do urządzeń naukowo-badawczych.

Do głównych zadań [5][6] stawianych platformie wirtualnego laboratorium należą:

- pełnienie funkcji strategicznych w zakresie prowadzonych laboratoriów i kursów
  - przechowywanie i zarządzanie bieżącą konfiguracją laboratorium,
  - zarządzanie prawami użytkowników oparte na grupach,
  - możliwość definiowania dowolnych grup powiązanych z uprawnieniami specjalnymi, np. obsługa techniczna, dziekanat, manager itp.,
  - możliwość grupowania osób i zarządzania nimi w oparciu o grupę,
  - udostępnianie i zarządzanie komunikacją pomiędzy uczestnikami zarówno w trybie synchronicznym, jak i asynchronicznym,
  - zarządzanie treściami edukacyjnymi
- zarządzanie i przydzielanie użytkownikom dostępu do konkretnych urządzeń naukowo-badawczych,
- udostępnianie trybu symulacyjnego,
- umożliwienie użytkownikowi pracy w trybie offline (dostarczanie kursów, szkoleń, podręczników, dokumentów w formie elektronicznej, plików),
- archiwizujące i synchronizujące dane z serwerem lustrzanym,
- dostarczanie treści edukacyjnych, elementów weryfikujących wiedzę i postępy uczestników, dostarczanie programów zajęć, instrukcji oraz dokumentacji na temat przeprowadzanych eksperymentów i symulacji (funkcje typowe dla systemów LCMS),
- rejestrowanie przebiegu procesu nauczania i satysfakcji uczestników,

- umożliwienie automatycznego generowania treści podręcznika elektronicznego na podstawie repozytorium materiałów dydaktycznych,
- obsługa standardu SCORM (ang. Sharable Content Object Reference Model) do eksportu i importu treści edukacyjnych.

Strukturę opracowanego modelu wirtualnego laboratorium podzielić można na dwa funkcjonalne bloki: główny serwer tzw. zarządca systemu oraz serwer pomiarowy. Serwerów pomiarowych w systemie wirtualnego laboratorium może być dowolna liczba. Najważniejszym elementem prezentowanego systemu jest platforma wirtualnego laboratorium posadowiona na głównym serwerze (zarządcy systemu), a jej podstawowymi zadaniami jest umożliwienie komunikacji między zdalnym laboratorium a jego użytkownikami, zarządzanie konfiguracją struktury wirtualnego laboratorium, zapewnienie dostępu do zasobów (systemów i urządzeń pomiarowych) oraz zarządzanie cyklem kształcenia i udostępnianymi zasobami. Architektura budowanego systemu z podziałem na bloki funkcjonalne została przedstawiona na rysunku 1.

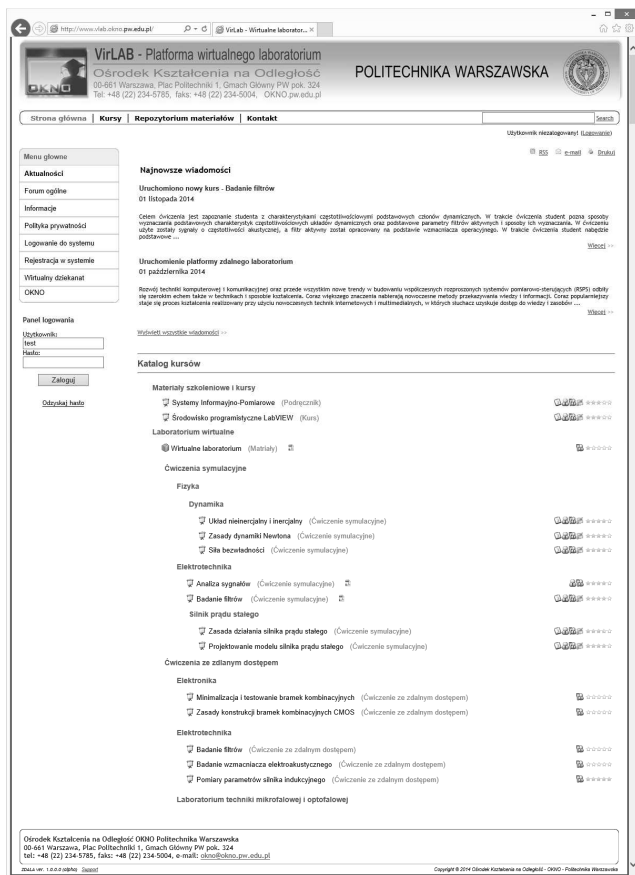


Rys. 1. Architektura wirtualnego laboratorium

Aplikacja zarządzająca (platforma dostępową) wirtualnego laboratorium została wykonana w technologii ASP.NET (ang. Microsoft's Active Server Page based framework for running .NET code on web servers) z wykorzystaniem rozszerzenia AJAX (ang. Asynchronous JavaScript and XML) i jest posadowiona na serwerze Microsoft IIS (Internet Information Services). Do zdalnego udostępniania wirtualnych przyrządów pomiarowych w przeglądarce wykorzystano aplet napisany w technologii SilverLight lub java w połączeniu z usługami umożliwiającymi przechwycenie okna aplikacji oraz jego sterowania z wykorzystaniem wirtualnej klawiatury i myszy. Opracowana platforma ma budowę modułową i jest sterowana przepływem danych. Jako serwer baz danych został wykorzystany Microsoft SQL Server. Silnik platformy zdalnego laboratorium został zaprojektowany tak, aby umożliwiał zbudowanie dowolnego interfejsu w oparciu o zainstalowane w systemie moduły. Modułowa budowa systemu oraz XMLowy mechanizm opisu konfiguracji modułów pozwala na dołączanie dowolnych modułów zaprojektowanych i oprogramowanych w przyszłości. Głównym założeniem przy projektowaniu i implementowaniu platformy było zachowanie modułowości oraz jak najszerzej uniwersalności i skalowalności [5][9]. Platforma dostępową spełnia funkcje

systemu LCMS uzupełnionego o moduły realizujące zdalny dostęp do urządzeń naukowo-badawczych. Zaproponowany model systemu wirtualnego laboratorium wymaga jednego serwera zarządzającego synchronizującego wszystkie działania i kierującego użytkownikami systemu do odpowiednich serwerów pomiarowych. Ze względu na zachowanie odpowiedniej odporności na uszkodzenia wskazane jest, aby serwer zarządzający posiadał serwer lustrzany mogący w każdej chwili przejąć zadania w przypadku wystąpienia awarii. Jak już zasygnalizowano wcześniej, oprogramowanie posiada budowę modułową a każdy z modułów może zostać przeniesiony na oddzielny serwer w zależności od potrzeb i wymaganej wydajności systemu.

Przykładowa fasada platformy wirtualnego laboratorium została zaprezentowana na rysunku nr 2 - „Fasada platformy wirtualnego laboratorium”.



Rys. 2. Fasada platformy wirtualnego laboratorium

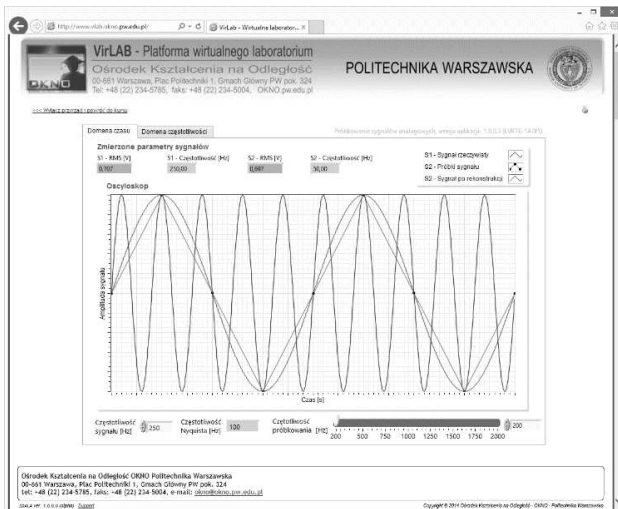
Poza platformą dostępową na serwerze zarządcy jest uruchomionych kilka dodatkowych modułów – usług sieciowych umożliwiających komunikację pomiędzy użytkownikiem a serwerem pomiarowym. Jest to rozwiązanie uniwersalne ze względu na możliwość integracji z innymi systemami. Używanie usług sieciowych ma też swoje wady [6][7] polegające na braku determinizmu a tym samym braku możliwości komunikacji w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem sieci Internet. Można jednak założyć pewne ramy czasowe, w których pakiet powinien zostać dostarczony z punktu A do punktu B, co pozwala na budowanie interfejsów graficznych aplikacji działających w „łagodnym czasie rzeczywistym” [8][9]. Określenie łagodny czas rzeczywisty w przypadku współdziałania urządzeń z aplikacjami wyposażonymi w graficzne interfejsy użytkownika jest w literaturze

rozumiane, jako złudzenie dające użytkownikowi odczucie polegające na płynnej interakcji użytkownika ze zdalnym przyrządem czy obiektem. Wykorzystanie usług sieciowych pozwala komponentom programowym współdziałać ze sobą poprzez sieć Internet, niezależnie od swojej lokalizacji szczegółów implementacyjnych. Projekt wirtualnego laboratorium zakłada korzystanie z jak najmniejszej liczby zewnętrznych adresów IP oraz portów. W modelowym rozwiązaniu używany jest jedynie jeden adres IP, pod którym jest widziana platforma dostępowa oraz przeznaczony jest jeden port 80 zarówno do komunikacji modułów, jak i przesyłania obrazu z kamer nadzoru nad stanowiskami laboratoryjnymi. Ograniczenie liczby portów wynika z faktu, że w większości akademickich sieci komputerowych stanowiska laboratoryjne nie zawierają publicznych adresów IP, co powoduje konieczność wykorzystywania oprogramowania realizującego pomost pomiędzy odwołaniami klienta z zewnętrznej sieci komputerowej. Realizuje to odpowiedni moduł Proxy uruchomiony na głównym serwerze zawierającym publiczny adres IP. Oczywiście może być to postrzegane jako wada czy wąskie gardło systemu. Projektując strukturę wirtualnego laboratorium oraz poszczególne moduły i dobierając technologię starano się uzyskać jak największą uniwersalność i zapewnienie możliwości skalowania poziomu. Struktura umożliwia stosowanie większej liczby portów i adresów IP, dzięki czemu usługi można rozpraszać bez utraty spójności całej platformy.

W projekcie wirtualnego laboratorium struktura systemu odzwierciedlona jest pod postacią drzewa, gdzie wszystkie urządzenia i serwery pomiarowe dostępne są za pośrednictwem odnośnika w drzewie. Moduł Proxy umożliwia dołączenie do drzewa struktury wirtualnego laboratorium dowolnego urządzenia czy podsystemu. Moduł został tak zaprojektowany, aby można było nim sterować, także poprzez usługę sieciową. Pozwala to na zainstalowanie modułu Proxy w innej zewnętrznej czy lokalnej sieci, którą chcemy podłączyć do zasobów wirtualnego laboratorium. Zasoby zostaną dołączone do struktury drzewa w określonym miejscu istniejącej struktury. Pozwala to na zbudowanie przejrzystej struktury organizacyjnej sieci wirtualnego laboratorium oraz łatwy dostęp do wybranych elementów w jego strukturze. Drzewo jest aktualizowane na bieżąco utrzymując aktualną konfigurację zdalnego laboratorium.

Elementem odróżniającym platformę wirtualnego laboratorium [7][9] od innych platform LMS i LCMS jest możliwość udostępniania funkcji zdalnego dostępu do urządzeń naukowo-badawczych. Funkcjonalność ta została zrealizowana pod postacią autorskiej usługi przechwytyjącej ekran aplikacji uruchomionej na serwerze pomiarowym wraz z przekierowaniem sterowania (obsługi klawiatury i myszy) umożliwiającej publikację wirtualnego przyrządu pomiarowego (WPP) bezpośrednio na stronie WWW. Zastosowano tutaj technologię MJPEG do przesyłania strumienia przychwyconego ekranu. W ustawieniach aplikacji zarządzającej ustawia się parametry transmisji takie jak częstość przechwytywania ekranów aplikacji wirtualnego przyrządu pomiarowego w zakresie od 1 do 50 klatek na sekundę, rozdzielczość obrazu oraz stopień kompresji. Osoba osadzająca w kursie aplet wirtualnego przyrządu pomiarowego w zależności od wydajności serwera aplikacji lub serwera pomiarowego może określić te parametry. Aplet WPP komunikuje się

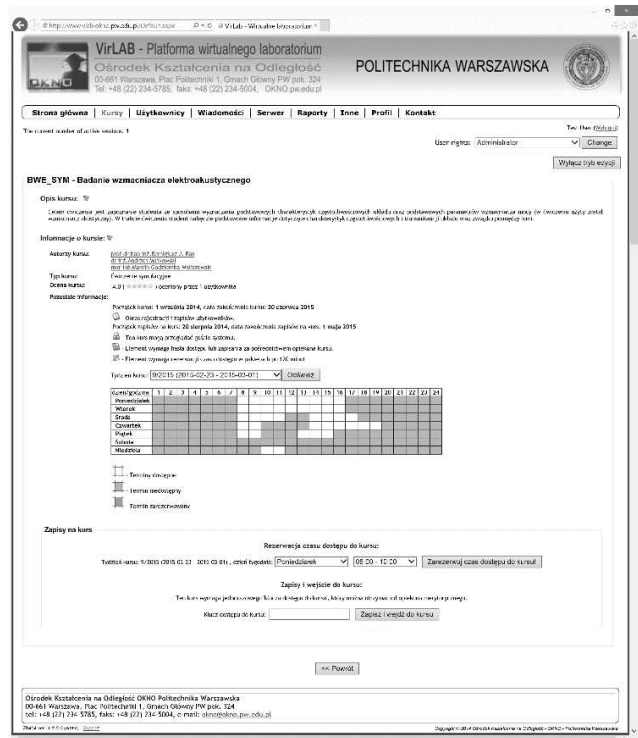
z usługą przechwytywania na zasadzie pytanie-odpowiedź. W zależności od dostępnej przepustowości łącza prędkość odświeżania obrazu apletu WPP jest zmieniana dynamicznie. Jednocześnie niezależnie jest przesyłana z apletu informacja o położeniu wskaźnika myszy i naciskanych klawiszach, co pozwala na zdalne sterowanie aplikacją WPP.



Rys. 3. Przykład osadzenia apletu wirtualnego przyrządu pomiarowego na platformie wirtualnego laboratorium

Link do eksperymentu, umiejscowiony w drzewie struktury zdalnego laboratorium, może być statyczny prowadząc zawsze do tego samego zasobu lub jest tworzony dynamicznie na czas trwania eksperymentu. W trakcie tworzenia łącza do eksperymentu uwzględniane są informacje pozwalające na wstępną identyfikację klienta i są połączone ze stanem sesji w ramach danej instancji. Dynamicznie utworzony link do eksperymentu obowiązuje jedynie w ramach przyznanego użytkownikowi okna czasowego. Platforma umożliwia rezerwację czasu dostępu do WPP w ramach kursu.

Projektant kursu ma możliwość określenia liczby dostępnych WPP oraz czasu trwania ćwiczenia. Grafik dostępności opiera się o układ tygodniowy. Elementem wyróżniającym autorski system zdalnego dostępu do urządzeń w wirtualnym laboratorium jest wykorzystanie systemu wirtualnych pulpitów uruchomionych na jednej instancji systemu operacyjnego. Maksymalna liczba wirtualnych pulpitów dostępna w ramach opracowanych modułów dla systemów Windows 8.1 lub 7 w wersji Professional wynosi 256. W ramach wirtualnego pulpitu można uruchomić dowolną liczbę wirtualnych przyrządów pomiarowych. Aplikacja przechwytyująca okna WPP została zaprojektowana i wykonana tak, aby można było przechwytywać zminimalizowane i nakładające się na siebie okna różnych aplikacji. Każda z aplikacji posiada wirtualną mysz i klawiaturę pozwalającą na zdalne sterowanie. Liczba uruchomionych WPP w dużej mierze zależy od wydajności maszyny serwera pomiarowego oraz od złożoności aplikacji. Dzięki tej technice można w ramach jednego serwera pomiarowego uruchomić kilka aplikacji WPP oraz je udostępniać. Mogą to też być symulacje. Moduły odpowiedzialne za uruchamianie i przechwytywanie okna aplikacji zostały napisane jako usługi sieciowe w języku C# na platformę .NET. Zastosowanie usług sieciowych oraz XML pozwala na uniezależnienie modułów od szczegółów implementacyjnych i ułatwia integrację z innymi systemami dostępnymi w ramach jednostki organizacyjnej.



Rys. 4. Przykład rezerwacji czasu dostępu do wirtualnego przyrządu pomiarowego

Algorytm uruchamiania przez użytkownika apletu WPP zaczyna się od wysłania żądania zdalnego dostępu. Po spełnieniu warunków przez użytkownika (rezerwacja czasu) zarządca systemu wysyła żądanie do modułu, który startuje aplikację WPP na wolnym wirtualnym pulpicie. W pierwszej kolejności zapełniane są puste (bez uruchomionych WPP) wirtualne pulpity. Po uruchomieniu aplikacji odsyła informację zwrotną do zarządcy wraz z wygenerowanym kluczem dostępu. Zarządca systemu uruchamia moduł (wraz usługą sieciową) przechwytyjący okno aplikacji i generuje link dostępowy do usługi przechwytyjącej i sterującej (wirtualna klawiatura i mysz) dla apletu WPP. Następuje uruchomienie apletu WPP osadzonego na stronie WWW. Moduł przechwytyjący pilnuje okna czasowego przyznanego użytkownikowi. W zależności od konfiguracji ćwiczenia informuje on użytkownika o kończącym się czasie sesji. Po upływie przyznanego okna czasowego aplikacja WPP jest automatycznie wyłączana i zwalniane są zasoby. Użytkownik może uruchomić tylko jedną instancję aplikacji WPP.

W ramach modułu przechwytyjącego zaimplementowano dodatkowe funkcjonalności umożliwiające rejestrację sesji ze zdalnym przyrządem pomiarowym, wraz z wirtualną klawiaturą i myszą (pozycja i czas) oraz strumieniem przechwytywanego obrazu. Dostępne są dwie opcje rejestracji. Pierwsza z nich to rejestracja pełnego strumienia z maksymalną liczbą klatek ustawioną w konfiguracji ćwiczenia wraz z zapisem z wirtualnej klawiatury i myszy. Drugą z nich jest zapis klatki w momencie wystąpienia zdarzenia związanego z wirtualną klawiaturą i myszą. Rozwiązanie to zapewnia możliwość odtworzenia eksperymentu przy jednoczesnej redukcji wielkości zapisywanego pliku sesji użytkownika. Moduł zapewnia możliwość ustawienia parametrów zapisywanego obrazu (rozdzielczość oraz stopień kompresji klatek). Zmiana parametrów rejestrowanego obrazu

w stosunku do parametrów przesyłanych do apletu WPP zwiększa obciążenie serwera pomiarowego.

Kolejnym elementem szczególnie przydatnym zarówno w edukacji, jak i badaniach naukowych jest możliwość udostępniania specjalistycznego oprogramowania [7][9] dostępnego na serwerach pomiarowych współpracujących z aparaturą naukowo-badawczą.



Rys. 5. Przykład udostępniania specjalistycznego oprogramowania w ramach platformy wirtualnego laboratorium

Funkcjonalność tą można uzyskać zarówno wykorzystując autorski moduł zdalnego udostępniania wraz z rezerwacją czasu dostępu lub za pośrednictwem serwerów aplikacji i tradycyjnych usług terminalowych (RDC z ang. **Remote Desktop Connection**) również umożliwiających osadzenie w ramach okna przeglądarki. Zastosowanie serwerów aplikacji i usług terminalowych, które umożliwiają konfigurację strumienia, jak i rozdzielczości wirtualnego ekranu zwiększają komfort pracy użytkownika.

Platforma wirtualnego laboratorium była opracowywana pierwotnie przez autora pod kątem zdalnej obsługi systemów pomiarowo-sterujących. Serwer pomiarowy może być wyposażony w oprogramowanie do graficznego projektowania aplikacji oraz w LabVIEW Web Serwer pozwalający na publikację interfejsu aplikacji napisanej w języku G bezpośrednio na stronie WWW [9][10]. Umożliwia to wgranie i uruchomienie aplikacji np. przez studenta realizującego zadany przez prowadzącego projekt. Może to być aplikacja skompilowana lub w postaci paczki kodów źródłowych. Zastosowanie tej technologii może być wykorzystane przy prowadzeniu zajęć w lokalnych bądź zdalnych laboratoriach komputerowych nieposiadających dostępu do sprzętu pomiarowego. Innymi słowy jest to grupa, znajdująca się w jednym z laboratoriów komputerowych uczelni, wykonująca zadania objęte programem nauczania, w obecności osoby prowadzącej zajęcia. Studenci programują zadane funkcje w środowisku LabVIEW wykorzystując np. symulator karty lub przyrządu pomiarowego dostępny w NI Max (NI Measurement & Automation). Następnie za pośrednictwem platformy wirtualnego laboratorium publikują wirtualny przyrząd pomiarowy, który jest dystrybuowany do odpowiedniego serwera pomiarowego (spełniającego warunek dostępności sprzętu) a następnie jest on uruchamiany. Student może zdalnie przeprowadzić pomiary zbudowanym WPP przy wykorzystaniu fizycznego sprzętu. Taka organizacja

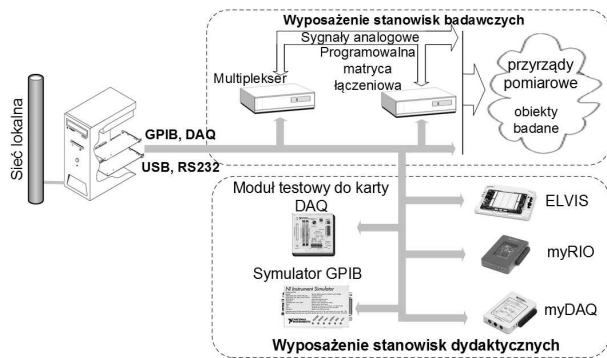
laboratorium pozwala na „zebranie” rozproszonych zasobów stanowisk dydaktycznych [5][9] wyposażonych w odpowiedni sprzęt pomiarowy i wykorzystanie ich w trakcie zajęć. Użytkownicy zgrupowani w lokalnym laboratorium mogą też znajdować się w bezpośrednim kontakcie ze sprzętem kontrolno-pomiarowym, a system zdalnego laboratorium mogą używać jako element uzupełniający tradycyjne zajęcia. Takie zastosowanie systemu pozwala na korzystanie z dobrodziejstw oferowanych przez zdalne laboratorium (automatyczne wykonywanie cyklu pomiarowego, archiwizacja wyników pomiarów, wizualizacja itp.), a tym samym nie zabiera możliwości fizycznego kontaktu z systemem pomiarowym.

Funkcjonalność ta ma też duże znaczenie w przypadku wykonywania przez studentów projektów czy prac dyplomowych. Zastosowanie takiego rozwiązania w połączeniu z autonomicznym sprzętem naukowo-badawczym pozwala na nie angażowanie obsługi laboratorium, ale w razie problemów, pytań czy potrzeby konsultacji online, system wirtualnego laboratorium „udzieli” dostępu do mentora grupy, opiekuna laboratorium lub innej predysponowanej do tych zadań osoby, za pomocą aplikacji komunikatora umożliwiającego przesyłanie dźwięku i obrazu. System umożliwia też komunikację typową dla platform asynchronicznych, w których odchodzi się od komunikacji w czasie rzeczywistym na rzecz komunikacji elektronicznej w trybie off-line, polegającej na prowadzeniu grup dyskusyjnych i wymianie poczty elektronicznej. Metody asynchroniczne w przypadku ćwiczeń online są zazwyczaj niewystarczające z powodu powstającego opóźnienia w komunikacji. W projekcie wirtualnego laboratorium nie zdecydowano się na użycie technologii oferowanej przez National Instruments w pakiecie LabVIEW do zdalnego udostępniania aplikacji jako podstawowej metody dostępu do aparatury naukowo-badawczej ze względu na praktycznie brak możliwości implementacji zabezpieczeń zdalnego dostępu.

Innym rozwiązaniem zwiększającym uniwersalność serwera pomiarowego jest zastosowanie sterowanej matrycy łączeniowej do automatycznego łączenia układów pomiarowych lub multiplexera umożliwiającego współużywanie jednego przyrządu pomiarowego przez wielu użytkowników [5][9]. Zastosowanie multiplexera pozwala na podział czasu dostępu do konkretnego urządzenia (często unikatowego) pomiędzy wielu użytkowników pracujących w danej chwili na platformie wirtualnego laboratorium. Konfiguracja urządzenia może być indywidualna dla każdego z nich i będzie wczytywana do przyrządu w czasie przydzielania dostępu do niego konkretnemu użytkownikowi.

Zmiany konfiguracji układu pomiarowego „zdalny” użytkownik dokonuje przy użyciu programowalnej matrycy łączeniowej lub multiplexera oraz odpowiedniego oprogramowania zarządzającego. Dzięki temu możliwa jest realizacja kilku czy nawet kilkunastu różnych układów pomiarowych przy wykorzystaniu sprzętu podłączonego do serwera pomiarowego. Oprogramowanie realizujące proces łączeniowy musi uwzględniać tabelę dozwolonych (lub niedozwolonych) połączeń, tak aby nie dopuścić do uszkodzenia przyrządów pomiarowych i obiektów badanych. Ćwiczenie opracowane z wykorzystaniem matrycy łączeniowej musi posiadać stosowny plik konfiguracyjny zawierający dopuszczalne lub zabronione połączenia.

Jak już wspomniano w poprzednim rozdziale na platformie wirtualnego laboratorium w zależności



Rys. 6. Architektura serwera pomiarowego

od posiadanej wiedzy należy dać studentowi pewną swobodę w konfiguracji układu pomiarowego, a nawet pozwolić na zbudowanie błędnego układu, blokując jedynie sytuacje mogące doprowadzić do uszkodzenia sprzętu pomiarowego. Swoboda w budowaniu układu pomiarowego pozwoli na lepsze poznanie i zrozumienie problemu. Możliwość zbudowania nadmiarowego czy wręcz nieprawidłowego układu pomiarowego oraz przeprowadzenia w nim pomiarów daje studentowi bardzo ważną możliwość „uczenia się na błędach”. Po przeanalizowaniu otrzymanych danych student będzie mógł wyciągnąć należyte wnioski i zweryfikować schemat zbudowanego systemu pomiarowego. Pozwoli to na lepsze poznanie i zrozumienie badanych zjawisk. Ma to szczególne znaczenie wszędzie tam, gdzie złożone zjawiska nie dają się w prosty sposób opisać matematycznie. Eksperymentalne badanie zjawisk fizycznych i obiektów drogą pomiarów oraz budowanie ich modeli ułatwia przyswajanie wiedzy na temat samych procedur i układów pomiarowych. Jednakże możliwość samodzielnego kształcenia i rozwiązywania problemów ma duży wpływ na stopień przyswajania wiedzy, a poziom swobody przydzielony użytkownikowi powinien być zwiększany wraz ze wzrostem jego doświadczenia i umiejętności.

Wśród szerokiego wachlarza aplikacji pomiarowo-sterujących można wyróżnić jeszcze jedną grupę aplikacji, które warto uwzględnić w projekcie wirtualnego laboratorium. Są to aplikacje typu klient-serwer dostarczone przez producentów aparatury naukowo-badawczej [7][9]. Aplikacje te są wyposażone w interfejsy sieciowe oraz protokół komunikacyjny opracowany przez producenta. Nierzadko są to protokoły zamknięte, a interfejsy sieciowe nie posiadają możliwości dowolnego wyboru portów komunikacyjnych lub wręcz wykorzystują dynamicznie przydzielane porty.

Powoduje to ograniczenie bezpośredniego użycia na platformie wirtualnego laboratorium ze względu na konieczność używania statycznych numerów portów przez aplikację klient-serwer. Jest to ograniczenie związane poniekąd z założeniami projektu i opracowanym systemem Proxy, który ze względu na minimalizację wykorzystania adresów IP i portów nie wspiera dynamicznie przydzielanych numerów portów. Rozwiązaniem tego problemu jest wykorzystanie WL do uruchomienia na serwerze pomiarowym zarówno aplikacji serwera, jak i klienta i udostępnienie okna aplikacji klienta i ewentualnie serwera z wykorzystaniem technologii RDC bądź autorskiego modułu przechwytyjącego. W przypadku przyrządów pomiarowych wyposażonych w WebServer [9] udostępniających wewnętrzną aplikację internetową do zarządzania przyrządem czy systemem pomiarowym lub

wyposażonych w usługę sieciową proces uzyskiwania zdalnego dostępu jest realizowany w analogiczny sposób do opisanego powyżej przypadku przyrządu z apilem z tą różnicą że zamiast apletu SilverLight jest osadzony aplet dostarczony przez producenta aparatury.

Ostatnią grupą aplikacji udostępnianych za pośrednictwem platformy wirtualnego laboratorium są symulacje zjawisk, urządzeń naukowo-badawczych, jak i układów pomiarowych. Wyniki symulacji mogą być generowane na podstawie modelu matematycznego bądź na podstawie bazy rzeczywistych wyników pomiarów. Możliwość symulowania prostych eksperymentów może być też używana w celu wygodnej prezentacji zagadnienia np. w czasie wykładu. Symulacja eksperymentów jest szczególnie przydatna dla początkującego użytkownika, pozwalając na zaobserwowanie podstawowych zjawisk zachodzących w badanym obiekcie oraz ułatwiając zapoznanie się z przyrządami, jak i obsługą platformy wirtualnego laboratorium, zanim przystąpi do wykonywania ćwiczeń w rzeczywistym laboratorium.

Na potrzeby platformy wirtualnego laboratorium opracowano bibliotekę funkcji dla środowiska LabVIEW oraz platformy .NET umożliwiającą przechwytywanie obrazu z kamer USB, publikację obrazu jako usługi systemu windows oraz aplet w SilverLight umożliwiający wyświetlanie przechwyconego obrazu w oknie przeglądarki [10]. Przykład wirtualnego przyrządu pomiarowego urządzenia podlegającego monitorowaniu przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Wirtualny przyrząd pomiarowy urządzenia podlegającego monitorowaniu z wykorzystaniem kamery USB

Bibliotekę funkcji do przetwarzania obrazu oparto na bibliotece OpenCV opartej na otwartym kodzie i zapoczątkowaną przez firmę Intel.

Opracowana biblioteka umożliwia przechwytywanie obrazu z kamer USB z określoną rozdzielczością i liczbą klatek na sekundę. Zastosowano tutaj także technologię MJPEG do przesyłania strumienia wideo z kamery USB. W ustawieniach aplikacji zarządzającej ustawia się parametry transmisji takie jak częstość przechwytywania klatek w zakresie od 1 do 50 klatek na sekundę, rozdzielczość obrazu oraz stopień kompresji. Osoba osadzająca w kursie aplet wirtualnej kamery w zależności od wydajności serwera aplikacji lub serwera pomiarowego może wykonać przeskalowanie, zmianę stopnia kompresji oraz dodatkowe operacje na obrazie takie jak: nakładanie informacji tekstowej, rozjaśnianie, zwiększanie kontrastu. Opracowanie bibliotek było podyktowane koniecznością redukcji kosztów dystrybucji oprogramowania WPP wytworzonych

z wykorzystaniem oprogramowania LabVIEW oraz wykorzystujących funkcje związane z rejestracją i przesyłaniem obrazu pozyskanego z kamer nadzoru podłączonych za pośrednictwem portu USB lub kamer IP.



Rys. 8. Przykład działania apletu z podglądem z kamery USB

#### 4. WNIOSKI KOŃCOWE

Osadzenie wirtualnego przyrządu pomiarowego w rozproszonym systemie zlokalizowanym w sieci Internet daje niespotykaną do tej pory możliwość tworzenia zaawansowanych i elastycznych systemów, które mogą służyć zarówno prowadzeniu eksperymentów na odległość, jak i wspomagać proces kształcenia czy samokształcenia. Warto podkreślić, że w prowadzeniu badań czy eksperymentów ani nowoczesne techniki symulacyjne, ani zdalny dostęp do laboratoriów czy laboratorium wirtualne nie wyeliminują konieczności prowadzenia rzeczywistych eksperymentów, obsługi rzeczywistych przyrządów pomiarowych oraz borykania się z problemami natury sprzętowej. Eksperymenty praktyczne mają niezwykle duże, może nawet rosnące znaczenie, w procesie zdobywania wiedzy w zakresie nowoczesnych, złożonych technologii, prowadzonego metodą „prób i błędów”.

Wirtualne laboratorium można więc zdefiniować jako heterogeniczne, rozproszone środowisko umożliwiające osobie lub grupie osób zarządzanie, integrację oraz zdalny dostęp do zasobów laboratorium w sposób ciągły zarówno w sensie miejsca, jak i czasu. Jako zasób wirtualnego laboratorium należy rozumieć zarówno proces dydaktyczny, treści dydaktyczne, jak i systemy i obiekty pomiarowe. Głównym celem dydaktycznym platformy wirtualnego laboratorium jest realizacja procesu dydaktycznego w którym student uzyskuje zaplanowany przyrost wiedzy oraz nabywa określonych umiejętności praktycznych w zakresie rozwiązywania problemów z danej dziedziny wiedzy. Platforma wirtualnego laboratorium musi spełniać

trzy podstawowe zadania, a mianowicie umożliwić prowadzenie procesu dydaktycznego, zarządzać treścią edukacyjną oraz umożliwić integrację i zdalny dostęp do rozproszonych zasobów aparatury naukowo-badawczej.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

1. Hesselink L., Rizal D., Bjornson E.: CyberLab: Remote access to laboratories through the world-wide-web, International Conference on Advances in Infrastructure for Electronic Bussiness, Science, and Education on the Internet SSGRR'2000, L'Aquila, Italy 2000.
2. Kusztna E., Różewski P., Zaikin O.: Modele i metody zarządzania procesem Otwartego nauczania zdalnego. Warszawa - Szczecin 2008.
3. Penarrocha V., Battaler F., Escudero B., Nogueira V.: Virtual Laboratories in Electronic Engineering Education.: Valencia, Spain, International Conference on Network Universities and e-Learning, 2003.
4. Rak R., Galwas B., Godziemba-Maliszewski M.: Virtual Laboratory: the E-learning Tool Supporting Distance Learning, EDEN - Fourth EDEN Research Workshop. Castelldefels, Spain 2006, Research Into Online Distance Education And E-Learning Making the Difference, 27 October 2006.
5. Rak R., Godziemba-Maliszewski M., Majkowski A.: A proposal of Virtual Laboratory structure.: Sorrento, Italy 24-27 April 2006, Instrumentation and Measurement Technology Conference, IMTC, 2006.
6. Davoli F., Meyer N., Pugliese R., Zappatore S.: Remote Instrumentation and Virtual Laboratories, Service Architecture and Networking, Springer, 2010.
7. Orduña, P. ; Botero Uribe, S. ; Hock Isaza, N. ;Sancristobal, E.: Generic integration of remote laboratories in learning and content management systems through federation protocols, IEEE Frontiers in Education Conference, 23-26 Oct., Oklahoma City, USA, pp.1372 – 1378, 2013.
8. Chen X. Song G., Zhang Y.: Virtual and Remote Laboratory Development, A Review, Earth and Space pp. 3843-3852, 2010.
9. Godziemba-Maliszewski M., Majkowski A., Rak R.: Platforma zdalnego laboratorium jako nowoczesny element wspomagający proces kształcenia, PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, R. 87 NR 9a/2011.
10. Możdżyński K., Gąska M., Godziemba-Maliszewski M., Rak R.: Zdalne stanowisko laboratoryjne do badania parametrów silnika indukcyjnego, Kongres metrologii, Kielce-Sandomierz, 2013.
11. OpenCV – www.opencv.org .

### VIRTUAL LABORATORY IN TEACHING AND RESEARCH

Nearly avalanche expansion of the information and communication technology (ICT) strongly influenced many domains of our lives and opened up new prospects for the creators of modern measuring and control systems, platforms for remote access and didactic process. In order to build a remote laboratory an appropriate software and hardware must be used, in conjunction with the relevant telecommunication media. In the field of metrology the goal of using a remote laboratory in teaching process is that it releases a course participant from the constraints of place and time of the experiment. Remote laboratory offers the functions of managing the process of teaching and managing the educational content. It also enables the access to real-measuring equipment. Students can access virtual instruments via a computer network and carry out real experiments directly by using a standard Web browser. The object of this paper is to present a structure of remote laboratory.

**Keywords:** virtual laboratory, virtual instrument, distance learning, distributed control and measurement systems.