

## Zastosowanie robota URP-60 do badań nad optymalizacją ergonomiczną układów sterujących maszyn

*Dla uzyskania danych obejmujących całość zachowań i reakcji człowieka-operatora maszyny niezbędne jest uwzględnienie czynników psychomotorycznych. W tym celu konieczne jest przeprowadzanie symulacji na materiale ludzkim, z użyciem symulatorów. Nowoczesny symulator musi zapewniać zapamiętanie warunków konkretnego badania, z możliwością analizy parametrów geometrycznych rozmieszczenia elementów badanych oraz umożliwiać odtworzenie warunków z badań wykonanych wcześniej celem przeprowadzenia dodatkowych prób. Symulator musi być urządzeniem programowanym, z możliwością wprowadzanie do eksperymentu zewnętrznych zmiennych niezależnych. Referat prezentuje koncepcję budowy takiego symulatora układów sterowania maszyn klasy tele- i serwooperatorów, w którym zadanie pozycjonowania pulpitu z badanym zespołem będzie realizował robot przemysłowy.*

### APPLICATION of URP-60 ROBOT to the RESEARCH into ERGONOMIC OPTIMISATION of OPERATE SYSTEMS FOR MACHINES

*To collect data those describe the whole of men's behaviour and reaction it is necessary to include psychomotor parameters. In order to meet these requirements there is needed to include a human being into experiments as well as simulators. The modern simulator should ensure a possibility of test terms storing, test repetition and external independent variables introducing. The paper presents a concept of such the newest simulator for test of the operate system for tele- and servomanipulators. The main device is an industrial robot that realises a task of test panel positioning.*

#### 1. WPROWADZENIE

Analizując praktyczne aspekty sterowania urządzeń typu telemanipulatory mamy do czynienia z trzema grupami zagadnień: efektywnością, jakością oraz wygodą i bezpieczeństwem pracy. Na ocenę we wszystkich tych grupach istotny wpływ ma jakość urządzenia sterującego. Jest nim najczęściej dźwignia, joystick lub zespół klawiszy. Konstrukcje tych urządzeń są często badane w symulacyjnych programach komputerowych. Jednak najbardziej wartościowe wyniki dają końcowe sprawdzenia przeprowadzane w symulatorze doświadczalnym. Tradycyjnie symulatory tego typu budowano jako zespoły mechaniczne połączonego stanowiska operatora i pulpitu sterowniczego z badanym elementem sterującym. Do kolejnego cyklu prób, jeżeli wymagał on innego umiejscowienia pulpitu, stanowisko było przebudowywane. Takie rozwiązanie było kłopotliwe i wymagało czasu na przebrojenie stanowiska. Nie dawało też

możliwości powtórzenia badań we wcześniejszych warunkach. Rozwiązaniem tego problemu może być zastosowanie robota jako urządzenia pozycjonującego pulpit. Celem prac zainicjowanych przez CIOP i PIAP w ramach wspólnego projektu badawczego jest zbudowanie takiego wzorcowego stanowiska badań układów sterujących maszyn, wyposażonego w robota przemysłowego.

## 2. STAN BADAŃ W DZIEDZINIE ERGONOMICZNEJ OPTIMALIZACJI UKŁADÓW STERUJĄCYCH

Dane do projektowania wytwarzane w procesach badawczych i oferowane przez ergonomię podawane są najczęściej w formie dyrektyw słownych (np. „elementy sterownicze powinny znajdować się w zasięgu funkcjonalnym”), lub liczb (skalarów), określających progi lub zakresy wymagań (np. szerokość wjazdu nie może być mniejsza, niż 600mm, siła na rękojęści dźwigni sterowniczej nie może być większa niż 150N, temperatura powietrza powinna zawierać się pomiędzy 18 a 22°C). Równocześnie wiadomo, że w warunkach rzeczywistych oddziałuje na człowieka co najmniej kilka do kilkunastu czynników zmiennych, które wpływają, niekiedy w bardzo istotnej skali - na wartość owych liczb, m.in. ze względu na zjawisko synergii lub antagonizmu. W danych typu skalarowego, będących wyrazem stosowania uproszczonego modelu zjawisk ergonomicznych - zmienność ta jest na ogół pomijana. W przypadkach bardziej zaawansowanej techniki, gdy w konstruowaniu obiektu zbyt daleko idące uproszczenia nie mogą być dopuszczone - niezbędne są dane ergonomiczne o postaci zbiorów, tworzących wielowymiarową przestrzeń (macierz) danych, opisaną funkcją wielu zmiennych (np. siła na rękojęści dźwigni sterowniczej - zależna od położenia punktu przyłożenia, kierunku w przestrzeni, czasu działania, częstotliwości użycia, dokładności, itd.). Tego rodzaju dane są nieodzowne w projektowaniu maszyn i urządzeń klasy tele- i serwooperatorów, produkowanych bądź jako urządzenia autonomiczne. (np. manipulatory laboratoryjne, telemanipulatory lustrujących lub roboczych pojazdów podwodnych), bądź jako układy sterujące funkcjami maszyn roboczych (np. koparek, pojazdów gąsienicowych). Mimo znaczących postępów pełna automatyzacja wszelkich procesów pracy nie jest możliwa. Z tego powodu, dzięki rozwojowi serwomechanizmów, urządzenia klasy tele- i serwooperatorów, wspomagające lub/i kopiujące czynności człowieka znajdują coraz szerszy obszar zastosowań.

Zbadanie jednoczesnego wpływu wielu zmiennych na działanie („behavior”) człowieka wymaga zastosowania metod symulacyjnych, realizowanych techniką symulacji komputerowej, lub z zastosowaniem symulatorów. Symulacja komputerowa z powodzeniem stosowana jest w biomechanice m.in. do rozwiązywania problemów przestrzeni pracy, w tym także z uwzględnieniem obciążeń dynamicznych i statycznych. Dla uzyskania danych obejmujących całość zachowań i reakcji człowieka-operatora, niezbędnych w projektowaniu procesów sterowania maszyn i urządzeń, nieodzowne jest uwzględnienie także czynników psychomotorycznych. Aby czynniki te mogły się w sposób naturalny manifestować w eksperymencie, konieczne jest przeprowadzanie symulacji na materiale ludzkim, z użyciem symulatorów.

Symulatory dzielą się na szkoleniowe i doświadczalne z dalszym podziałem każdej z grup wg gałęzi techniki w jakiej znajdują zastosowanie. Symulatory doświadczalne budowane są w przemysłowych ośrodkach badawczo-rozwojowych (gdzie służą „rozwojowi produktu”) i laboratoriach placówek naukowych (gdzie celem jest „poznanie”). Badania z zastosowaniem symulatorów są typowe dla rozwiązywania problemów ergonomicznych i prowadzone są dość powszechnie w krajach o rozwiniętej technice. Badania nad parametrami ergonomicznymi obiektów klasy tele- i serwooperatorów prowadzone są także w Polsce. W ostatnich latach

przeprowadzono badania nad optymalizacją przełożenia układu sterującego oraz łącznym oddziaływaniem czterech parametrów zmiennych: przełożenia układu sterującego, inercji układu sterującego, rodzaj elementu sterowniczego i jego wielkości w aspekcie ich optymalizacji. W badaniach stosowano kryterium „behawioralne” jakim jest *jakość regulacji*.

W stosunku do krajów o rozwiniętej technice - skala badań prowadzonych w Polsce jest skromna (dwa ośrodki). W samej tylko Holandii pracują nad tymi zagadnieniami co najmniej dwa poważne instytuty: Instytut Badań Percepcji - IPO w Eindhoven (50% kapitału PHILIPS'a) i Instytut Percepcji TNO w Soesterbergu. W Instytucie w Eindhoven zrealizowano w 1995 r. 19 prac badawczych i opublikowano na ich temat blisko 100 artykułów (Raport IPO, 1995). Zagadnieniom percepcji, dialogu: człowiek - obiekt techniczny i sterowania, tj. ergonomii „kognitywnej” - poświęcone są liczne imprezy międzynarodowe. W Polsce problemy te, objęte tradycyjną nazwą „psychologii inżynierskiej” nie są ostatnio podejmowane, co grozi powstaniem luki poznawczej, metodologicznej i kadrowej. Aby choć częściowo zapobiec tym niekorzystnym zjawiskom w 1998 roku zainicjowano w CIOP prace nad nowym projektem dotyczącym badań nad optymalizacją ergonomiczną układów sterujących maszyn

### 3. CEL BUDOWY SYMULATORA

Głównym zadaniem projektu w jego fazie początkowej jest budowa stanowiska badawczego. Jego zasadniczą częścią będzie symulator. Celem opracowania nowego symulatora jest opanowanie i wdrożenie - łącznie z przygotowaniem odpowiedniego oprzyrządowania - *nowego obszaru metodycznego* w badaniach ergonomicznych, charakterystycznego tym, że do badania układów: człowiek-obiekt techniczny (służących ocenie, optymalizacji i pozyskiwaniu danych do projektowania) zastosowany zostanie znany z teorii regulacji automatycznej miernik: *jakość regulacji*, integrujący w sobie kryteria biomechaniczne i psychomotoryczne.

Opanowanie nowego obszaru metodycznego pozwoli na rozwinięcie badań w dziale ergonomii objętym nazwą: „*sygnały i sterowanie*”. Kierunki badań, które będą mogły być podjęte w wyniku realizacji niniejszego zadania są następujące:

- określanie i formułowanie nowych danych do projektowania układów sterujących, szczególnie dla maszyn i urządzeń klasy tele- i serwooperatorów (kilkanaście parametrów konstrukcyjnych)
- badania nad odbiorem i przetwarzaniem informacji i sygnałów w dynamicznych procesach ekspozycji
- badania nad synergią sygnałów sterujących
- badania stresu związanego z procesem sterowania ciągłego
- nowe metody diagnostyczne w odniesieniu do koordynacji wzrokowo (słuchowo) - ruchowej
- diagnostyka i optymalizacja ergonomiczna układów sterujących maszyn.

Dla realizacji powyższych badań nowy symulator musi spełniać pewne szczególne wymagania. Musi przede wszystkim zapewniać zapamiętanie warunków konkretnego badania, z możliwością analizy parametrów geometrycznych rozmieszczenia elementów badanych. Symulator musi także zapewniać możliwość odtworzenia warunków z badań wykonanych wcześniej celem wykonania dodatkowych prób. Symulator musi zapewniać prace wielozadaniową, określaną przez elastyczny program nadzorczy, z możliwościami

adaptacyjnymi, aby umożliwić wprowadzanie do eksperymentu kilkunastu zmiennych niezależnych, w dowolnych konfiguracjach.

#### 4. KONCEPCJA BUDOWY ZROBOTYZOWANEGO SYMULATORA ED3.

Po wstępnej analizie zdecydowano wykorzystać w budowanym symulatorze robota przemysłowego, którego podstawowym zadaniem będzie pozycjonowanie pulpitu z badanym zespołem. Stanowisko badawcze składać się będzie więc z następujących elementów:

- Robot przemysłowy URP-60 (lub podobny o udźwigu minimum 45 kg – ważne jest, aby możliwa była rozbudowa sprzętowo-programowa układu sterowania o nowe, specyficzne dla badań funkcje i mechanizmy) – użyty do pozycjonowania elementu sterowniczego. Wyposażony będzie w autonomiczny układ sterowania z interfejsem przystosowanym do współpracy z komputerem w „środowisku” Windows.
- Osoba badana, umieszczona w pozycji siedzącej na fotelu operatorskim stosowanym w maszynach samojezdnych, zapewniającym regulację wysokości i odległości czołowej punktu bazowego siedziska,
- Monitor służący do „śledzenia” kursora,
- Element sterowniczy służący do „pościgu” za kursorem, który to element jest dźwignią ręczną o zmiennej długości,
- Komputer nadrzędny służący do programowania eksperymentu, jego sterowania w czasie rzeczywistym oraz rejestracji i przetwarzania wyników.

Ogólny widok symulatora przedstawia rys. 1, a na rys.2 pokazano schemat blokowy całego stanowiska badawczego.

#### 5. ROLA I ZADANIA ROBOTA URP-60 W SYMULATORZE ED3.

Jak już wspomniano podstawowym zadaniem robota w symulatorze jest pozycjonowanie pulpitu testowego z badanym elementem sterowniczym. Przy planowaniu eksperymentów w stanowisku badawczym będą wykorzystane informacje o geometrii robota, jego chwytaka i pulpitu testowego. Dzięki znajomości modelu kinematyki robota możliwe będzie zadanie ustawienia pulpitu w z góry założonym miejscu przestrzeni dostępnej dla operatora. Będzie do tego wykorzystany Komputerowy System Wspomagania Programowania robotów URP (KSWP\_URP – przykładowe okno edytora programu robotowego przedstawione jest na rys. 3). Program przygotowany wstępnie na komputerze nadrzędnym będzie przesyłany do układu sterowania robota. Następnie prowadzący badania sprawdzi działanie programu i wprowadzi niezbędne korekty. Dopiero wtedy na fotelu operatorskim zasiądzie osoba badana.

W trakcie pojedynczej próby robot, na sygnał prowadzącego badania przemieści pulpit w pole pracy operatora. Następnie komputer nadrzędny rozpocznie generowanie losowych ruchów kursora na ekranie śledzącym. Zadaniem operatora będzie nadążać za uciekającym kursorem przy wykorzystaniu badanego urządzenia sterowniczego. Przez cały czas trwania próby komputer nadrzędny zapamiętuje aktualne parametry eksperymentu. Po wykonaniu założonego cyklu komputer daje znać do prowadzącego, a ten daje rozkaz robotowi do wycofania pulpitu. Zebrane dane pomiarowe będą dalej obrabiane w pakiecie oprogramowania na komputerze nadrzędnym.

Podstawowym problemem z punktu widzenia robota jest zapewnienie bezpieczeństwa człowiekowi biorącemu udział w eksperymencie. W tym celu zostaną wprowadzone specjalne

rozwiązania, m.in. sprzętowo zostanie ograniczony zakres ruchu i prędkości maksymalne robota. Zostanie też wprowadzone specjalne oczujnikowanie strefy operatora, włączone w obwód STIOP AWARYJNY robota. Przewiduje się także opracowanie specjalnej instrukcji stanowiskowej do pracy na symulatorze.

## 6. PODSUMOWANIE - PRZEWIDYWANE ZASTOSOWANIE W PRAKTYCE.

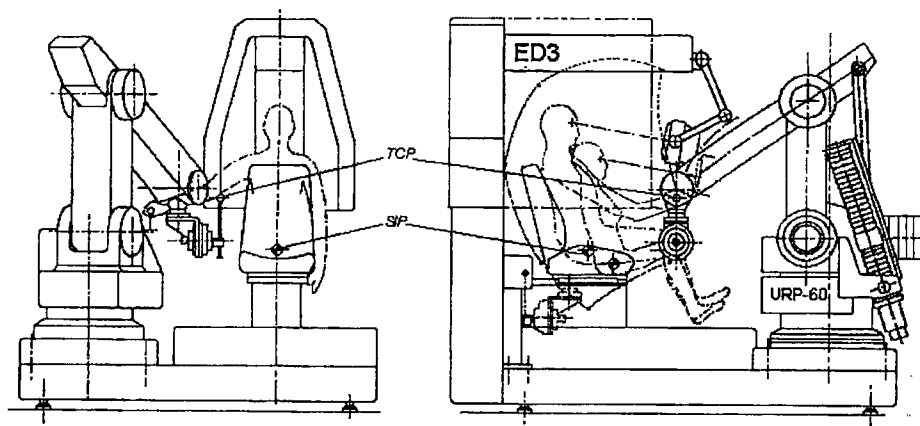
Przedstawiony symulator znacznie rozszerzy możliwości badań układów sterowania maszyn roboczych. Umożliwi także wprowadzenie nowych kryteriów do oceny jakości otrzymanych wyników. Generalnie obszary przyszłych zastosowań symulatora tego typu można podzielić na następujące grupy:

- *prace badawcze* nad relacjami między człowiekiem-operatorem a obiektem technicznym,
- *uzyskiwanie danych do projektowania* układów sterujących maszyn i urządzeń (przeznaczone do Polskiego Banku Danych Ergonomicznych),
- *projektowanie* układów sterujących lub ich wyodrębnionych łańcuchów funkcjonalnych z zastosowaniem metod doświadczalnych wg normy europejskiej EN614-1 p. 5.2.4,
- *diagnostyka* i ocena ergonomiczna istniejących układów sterujących,
- *dydaktyka* na szczeblu akademickim - przez udostępnianie symulatora uczelniom (technicznym, medycznym, uniwersyteckim) do wykonywania prac doktorskich i habilitacyjnych a także do ćwiczeń studenckich na wyższych latach studiów.

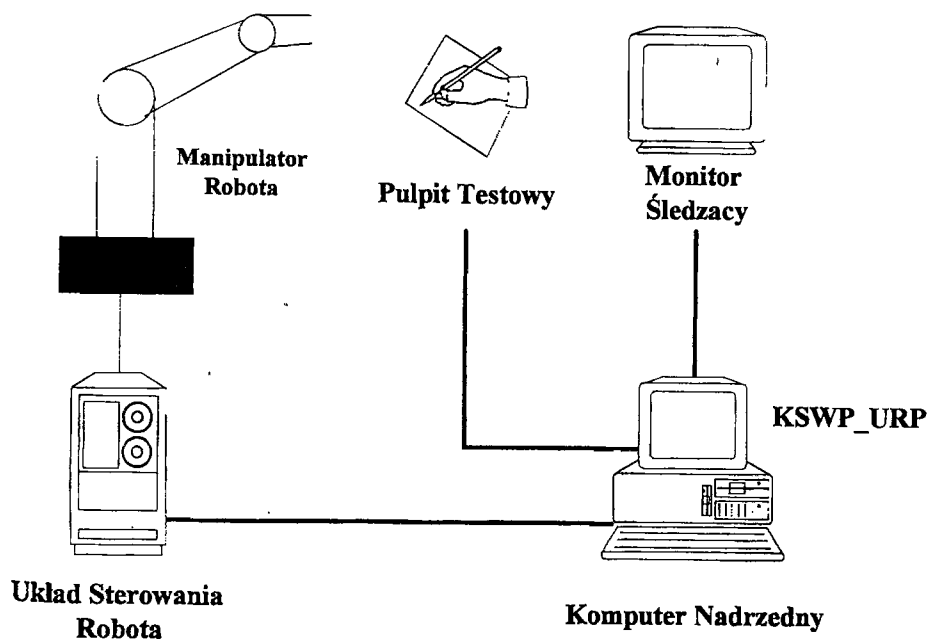
## LITERATURA

- [1] Cazamian P.: *Traite d'ergonomie*; Octares, Marseille, 1987
- [2] Grobelny J.: *Wpływ konfiguracji i wielkości elementów paneli graficznych na czas ich obsługi w dialogu człowiek - komputer*; ERGONOMIA, 1996, t.19, nr 1
- [3] Institute voor Perceptie Onderzoek: *IPO Annual Progress Report 1995*; IPO, Eindhoven, 1995
- [4] Jabłoński P., Pachuta M., Pilat Z.: *Algorytmy sterowania napędami przy różnych sposobach sterowania robotów przemysłowych*; V Krajowa Konferencja Robotyki, Szklarska Poręba, 1996.
- [5] Jacórzynska M., Lichodziejewski C., Pilat Z.: *Optimisation Methods in Inverse Kinematics Solution for Redundant Manipulators*; International Symposium on Industrial Robots ISIR'96, Mediolan, Italy, 1996.
- [6] Keyson D.V.: *Dynamic control gain and tactile feedback in the capture of cursor movements*; (w:) IPO Annual Progress Report 1994, IPO, Eindhoven, 1994
- [7] Leski J.: *Symulacja i symulatory*; Wyd. MON, Warszawa, 1971
- [8] Norma europejska EN 614-1. Maszyny. Bezpieczeństwo. Ergonomiczne zasady projektowania - cz.1: Terminologia i zasady ogólne
- [9] Nowacki Z., Zawadzki J.: *Wpływ wybranych parametrów dźwigni sterowniczych na dokładność sterowania ręcznego*; ERGONOMIA, 1989, t.12, nr 1

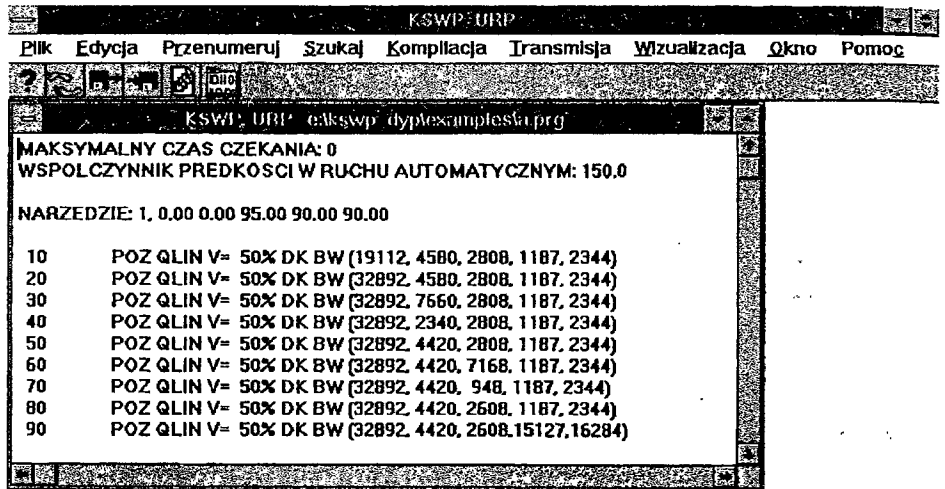
- [10] Ortengreen R.: *Simulation as a tool for ergonomic evaluation of work task in production planning*; w *Designing for Everyone*, Taylor & Francis, Paris, 1991
- [11] Peruchon E. i in: *Ergonomic identification of prehension strategic profiles in telemanipulation*; w *Designing for Everyone*, Taylor & Francis, Paris, 1991
- [12] Pilat Z.: *Stan robotyki i robotyzacji w Polsce*; Przegląd Mechaniczny nr 12, 1996
- [13] Pytlak K., Krzywonos L.: *Variable and criterion space in the optimum design methodology*; w *Methodological Foundations of Computer Aided and Computer Automated Design*. Wyd. Politechniki Wrocławskiej, seria: Konferencje, Wrocław, 1994
- [14] Roman D., Kędzior K., Rzymkowski C.: *Optymalizacja przestrzeni pracy w oparciu o model komputerowy*; ERGONOMIA, 1996, t.19, nr2
- [15] Sawwa R., Petz M., Pilat Z. *O rozwoju robotyki i robotyzacji*; V Krajowa Konferencja Robotyki, Szklarska Poręba, 1996.
- [16] Słowikowski J., Wierzbowski R.: *Stanowisko badawcze do nauczania ergonomii ERGODIDAC 2*; (w:) *Metodologiczne i ergonomiczne problemy układów człowiek-maszyna*. Wyd. Politechniki Wrocławskiej, seria: Konferencje, Wrocław, 1986
- [17] Słowikowski J.: *Badania diagnostyczne jakości ergonomicznej układów sterujących maszyn*; Materiały I Kongresu Diagnostyki Technicznej, Gdańsk, 1996, tom III, s.231+236
- [18] Słowikowski J.: *Ergonomia w projektowaniu i rozwoju maszyn roboczych*; *Problemy Maszyn Roboczych*, 1996, z.8, vol.8, s.87+102
- [19] Słowikowski J.: *Metoda optymalizacji ergonomicznej układów sterujących maszyn wg kryterium jakości regulacji*; *Prace i materiały Instytutu Wzornictwa Przemysłowego*, zeszyt 150, Warszawa, 1994
- [20] Słowikowski J.: *Optymalizacja ergonomiczna układów sterowniczych teleoperatorów przeładunkowych*; *Materiały II Konferencji: Okrętownictwo i oceanotechnika*, wyd. Politechniki Szczecińskiej, Szczecin/Międzyzdroje, czerwiec, 1995



Rys. 1 Symulator ED-3 – widok ogólny stanowiska badawczego.



Rys. 2. Stanowisko testowe – ogólny schemat blokowy



Rys. 3. Komputerowy system wspomagania programowania robotów URP – przykład okna edycji programu robota.