

Post-print of: Garnik I. (2000). Metody ergonomicznego projektowania przestrzeni stanowisk pracy. W: O. Downarowicz (red.). *Wybrane metody ergonomii i nauki o eksploatacji* (s. 71-80). Gdańsk: Politechnika Gdańska, Wydział Zarządzania i Ekonomii.

Politechnika Gdańska
Wydział Zarządzania i Ekonomii,
Zakład Ergonomii i Eksploatacji Systemów Technicznych

METODY ERGONOMICZNEGO PROJEKTOWANIA PRZESTRZENI STANOWISK PRACY

Igor Garnik

Niniejszy artykuł zawiera przegląd aktualnie stosowanych metod projektowania stanowisk pracy uwzględniających bezpośredni udział człowieka. Opisano tu zalety i wady poszczególnych metod, a także nakreślono przewidywane kierunki ich rozwoju.

Wstęp

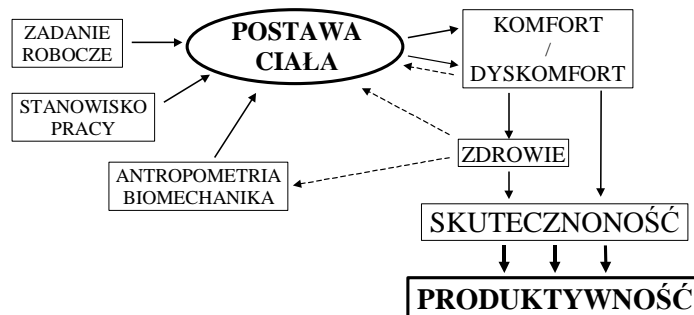
Mimo wzrastającego postępu technologicznego w dziedzinie automatyzacji procesów produkcyjnych, ciągle na wielu rodzajach stanowisk praca wykonywana jest ręcznie. Zautomatyzowanie określonego stanowiska często jest zbyt kosztowne albo niewykonalne – przynajmniej na obecnym poziomie technologii. Istnieją również takie stanowiska, na których bezpośredni udział człowieka wynika z konieczności podejmowania złożonych decyzji (np. wszelkiego typu sterownie). Dlatego też obserwuje się stale rozwój metod i narzędzi służących do projektowania ergonomicznych stanowisk pracy. Metody te opisano poniżej wskazując jednocześnie ich zalety i wady.

Uwarunkowania projektowania przestrzennego stanowisk pracy

Opracowując koncepcję stanowiska pracy, łatwo można określić jego parametry ze względu na spełniane funkcje. W przypadku stanowiska, na którym praca wykonywana jest ręcznie, jego układ przestrzenny musi dodatkowo uwzględniać warunki antropometryczne i biomechaniczne operatora.

Zagospodarowanie przestrzeni pracy ma zasadniczy wpływ na zdrowie i samopoczucie pracownika. Niedopasowanie przestrzennego środowiska pracy do operatora obniża jego wydajność i efektywność, jest również często przyczyną powstawania chorób zawodowych.

Wpływ uwarunkowań występujących na stanowisku pracy na zdrowie pracownika i jego skuteczność ilustruje rysunek 1.



Rys. 1. Wpływ warunków występujących na stanowisku pracy na zdrowie pracownika i skuteczność jego pracy [5]

Powiązania oznaczone na rysunku linią przerywaną obrazują niekorzystny wpływ czynników związanych ze stanowiskiem na postawę ciała. Długotrwałe występowanie tych czynników może być bezpośrednią przyczyną wystąpienia u operatora choroby zawodowej, powodującej w konsekwencji czasowe lub trwale wyłączenie go z życia zawodowego.

Kluczem do rozwiązania tego problemu wydaje się być zapewnienie komfortu pracy [13]. W celu jego zapewnienia, należy tak zaprojektować stanowisko pracy aby:

- ilość niezbędnych czynności była minimalna;
- wykonywane czynności nie kolidowały ze sobą;
- wyposażenie stanowiska było dopasowane do własności antropometrycznych i biomechanicznych operatora;
- rozmieszczenie poszczególnych elementów (narzędzi i przedmiotów pracy) stanowiska uwzględniało zasięgi kończyn i zasięg wzroku operatora.

Uwzględniając powyższe zalecenia proces tworzenia bądź też usprawnienia stanowiska pracy powinien składać się z następujących etapów [13],[15]:

- i) opracowanie metody pracy;
- ii) ustalenie pozycji pracownika z uwzględnieniem jego cech antropometrycznych;
- iii) zaplanowanie właściwego wyposażenia;
- iv) właściwa organizacja pracy, określająca również
 - układ przestrzenny stanowiska,
 - przedziały czasowe dla poszczególnych czynności;
- v) sprawdzenie poprawności projektu i wprowadzenie ewentualnych poprawek do punktów: i)-iv).

Techniki ergonomiczne stosowane w projektowaniu przestrzeni pracy

Proces projektowania otoczenia człowieka nie może następować w oderwaniu od czynnika ludzkiego. Dlatego też opracowano szereg technik wspomagających prace projektowe uwzględniających ten czynnik.

Ogólnie techniki ergonomiczne możemy podzielić następująco [5]:

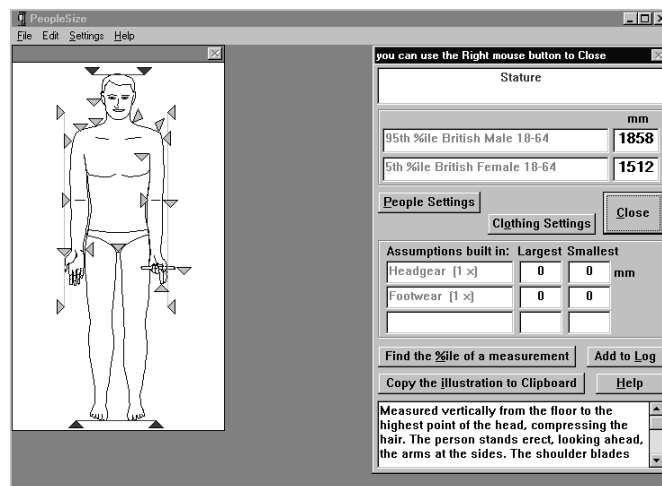
- techniki oparte o bazy danych antropometrycznych, wykorzystujące graniczne wymiary ciała użytkowników do określenia niezbędnej przestrzeni roboczej;
- makietowanie.
- programy komputerowe typu CAD, wykorzystujące cyfrowe modele człowieka;
- programy komputerowe tworzące projekty w przestrzeni wirtualnej.

Bazy danych antropometrycznych i techniki pochodne

Bazy danych antropometrycznych są to najstarsze a jednocześnie najprostsze techniki stosowane przy projektowaniu przestrzeni pracy. Należą do nich:

- tabele wymiarów ciała,
- atlasy antropometryczne (np. Batogowska i Słowikowski [1]),
- komputerowe bazy danych i atlasy antropometryczne (np. *PeopleSize*, [12]).

Bazy te tworzą w oparciu o kompleksowe pomiary antropometryczne przeprowadzone na populacjach różnych krajów. Zawierają one najczęściej centyle rzędu 5, 50 i 95 odnoszące się do danej populacji. Pokazany na rysunku 2 program *PeopleSize* umożliwia również obliczenie centyli pośrednich.

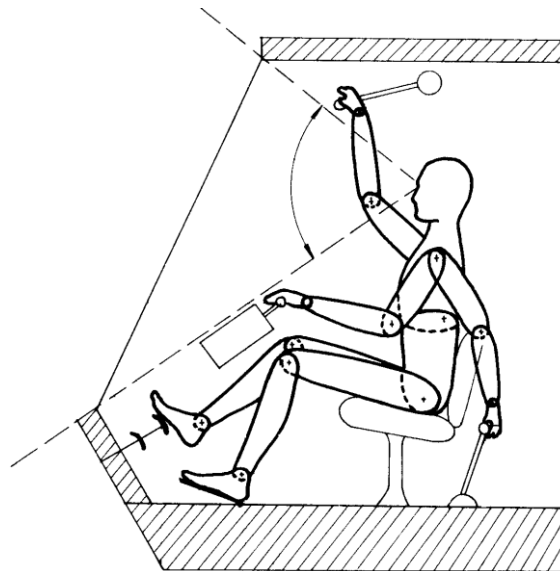


Rys.2. Przykład komputerowego atlasu antropometrycznego (PeopleSize, Friendly Systems Ltd., 1996, [12])

Wadą baz danych jest to, że zawierają one pojedyncze wymiary odniesione do prostokątnego układu współrzędnych. Ponadto, jak wykazują badania [14], dane te wymagają częstego aktualizowania. Jednak niewątpliwą zaletą baz danych antropometrycznych jest łatwość ich użycia. Dlatego są one bardzo pomocne w opracowywaniu prostych stanowisk pracy oraz wstępnych koncepcji stanowisk bardziej złożonych.

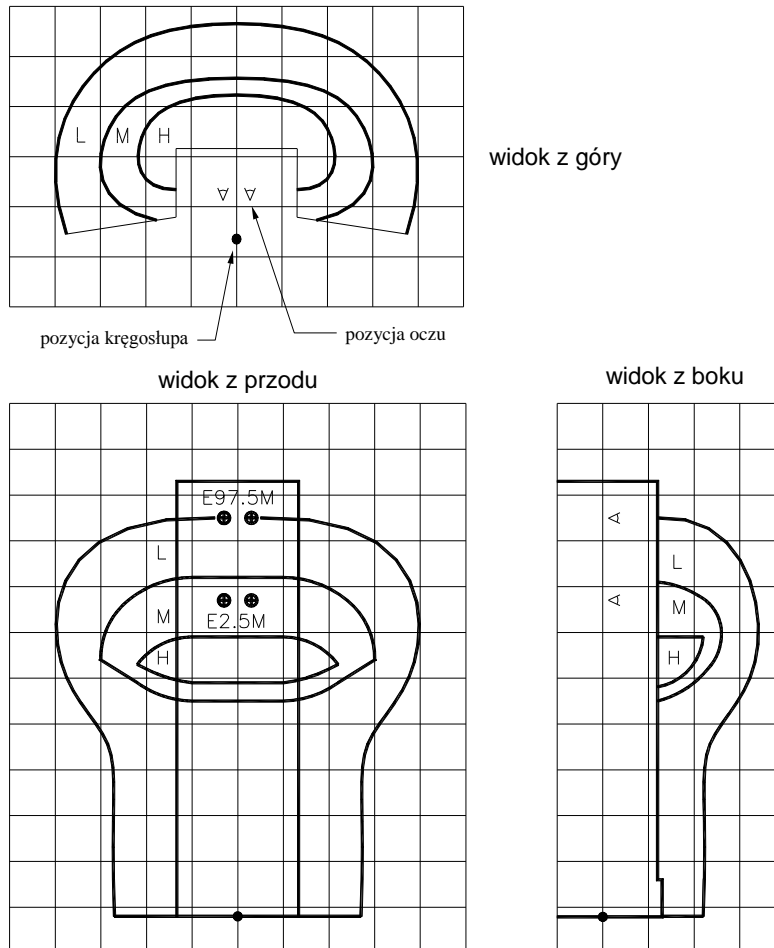
W oparciu o bazy danych opracowano podane poniżej techniki.

- Fantomy płaskie (np. Batogowska i Słowikowski [2]) – służące do określenia niezbędnej przestrzeni pracy poprzez porównanie z projektem płaskich wieloelementowych ruchomych sylwetek operatora, wykonanych w skali rysunku projektowego dla trzech podstawowych centyli: 5, 50 i 95.



Rys.3. Przykład zastosowania fantomu płaskiego do opracowania koncepcji wnętrza kabiny operatora [2].

- Mapy stref zasięgu i widzenia (np. Clark, Corlett [3]) opisujące obszar przestrzeni roboczej i obszar obserwacji wraz z przyległym otoczeniem. Obszary te podzielone są na strefy o różnych priorytetach zależnych od ważności wykonywanych w nich czynności. Np. pracom precyzyjnym przydziela się strefy o najwyższym priorytecie.



Rys.4. Przykład map zasięgu opracowanych w trzech rzutach, dla operatora pracującego w pozycji stojącej [3].

Obie opisane powyżej techniki są stosunkowo niekosztowne, lecz nie zawsze proste w użyciu. Na przykład komplet fantomów zaproponowanych w [2] składa się aż z 480 elementów, a część z sylwetek wykonana jest w naturalnej skali. Natomiast mapy stref zasięgu i widzenia wymagają opracowania ich dla każdej płaszczyzny pracy projektowanego stanowiska. Ponadto obie techniki są ze swej natury płaskie, a zatem nie pozwalają określić zasięgów kończyn i wzroku w przestrzeni trójwymiarowej.

3.2. Makietowanie

Zastosowanie technik opartych o bazy danych antropometrycznych nie daje pełnej gwarancji poprawności opracowania koncepcji stanowiska. Techniki te nie pozwalają na przykład wychwycić wszystkich sytuacji

kolizyjnych. Nie dają też informacji na temat obciążeń występujących na stanowisku. Stąd jako uzupełnienie powyższych technik stosuje się makietowanie.

Na naturalnej wielkości makiecie stanowiska roboczego symuluje się wykonywanie rzeczywistych czynności związanych z tym stanowiskiem. Makietę powinna być testowana przez przyszłego operatora stanowiska (tzw. użytkownika końcowego). Pozwala to na wykrycie nieprawidłowości w doborze wymiarów i zagospodarowaniu przestrzeni roboczej. Umożliwia również zebranie subiektywnych ocen użytkowników o projektowanym stanowisku. Jest to bardzo istotne źródło informacji, gdyż projektanci bardzo często nie zdają sobie sprawy ze specyfiki pracy na tym stanowisku.

Makieta daje się modyfikować, przez co wykryte błędy można łatwo usunąć. Stosowanie tej techniki na wszystkich etapach projektowania pozwala na systematyczne wykrywanie i usuwanie niedopasowań w każdym z elementów tworzonego stanowiska.

Niestety przygotowanie makiety jest czasochłonne, a ponadto zajmuje ona sporo miejsca. Dlatego stosowanie jej ma sens wówczas, gdy w czasie całego procesu projektowego mamy na stałe do dyspozycji pomieszczenie przeznaczone dla makiety, na co nie każdy projektant może sobie pozwolić.

Programy typu CAD

Znaczne zaawansowanie techniki komputerowej umożliwiło przeniesienie dotychczas stosowanych metod projektowych z papieru na platformę cyfrową. Programy wspomagające projektowanie, określane ogólnie mianem programów CAD (*ang.: Computer Aided Design*), oprócz rysowania umożliwiają przeliczanie rozmaitych parametrów projektowanego obiektu. W latach osiemdziesiątych pojawiło się wiele programów CAD, wykorzystujących znaną już ideę fantomów. Zastosowano w nich trójwymiarowe modele człowieka, zwane *manekinami* (czasem też w polskiej literaturze: *apolinami* – od nazwy pierwszego polskiego programu tego typu). Manekiny generowane są na podstawie baz danych antropometrycznych, dla określonych populacji. Wzajemne położenie i ruchy segmentów z których się składają posiadają podobne ograniczenia jak rzeczywisty układ kostny.

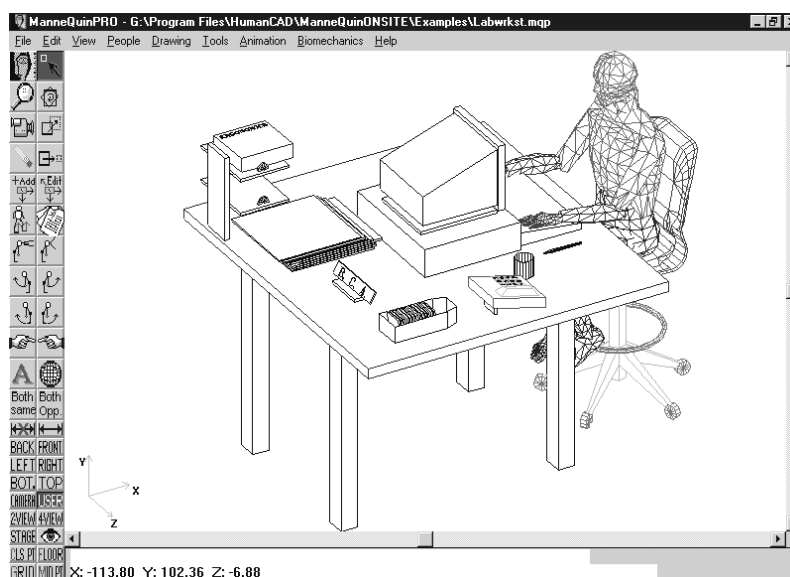
Początkowo manekiny były bardzo zbliżone do swego pierwowzoru – fantomów. Człony manekina reprezentowane były przez nieskomplikowane bryły, a ruchy przez nie wykonywane były bardzo uproszczone, np. kręgosłup manekina z programu APOLIN [6] mógł się zginać tylko w dwóch punktach. Podobnie w innych programach przeznaczonych dla komputerów klasy PC, jak SAMMIE, ADAPS, WERNER czy COMBIMAN [8].

Wzrost mocy obliczeniowej komputerów umożliwił zastosowanie bardziej dokładnych modeli człowieka, znacznie lepiej odwzorowujących oryginał. Pojawiła się również bardzo przydatna funkcja podglądu za pomocą „oczu” manekina. Dzięki temu projektant może oglądać „fotograficzny” obraz przyszłego stanowiska.

Niektóre programy (jak choćby *ManneQuin* [9] czy *Apolinex* [7]) posiadają funkcję oceny obciążeń układu kostnego operatora. Dzięki temu już we wstępnej fazie projektowej można wyeliminować rozwiązania np. powodujące przeciążenia stawów.

Podobnie jak fantomy na płaszczyźnie, tak manekiny pozwalają określić zasięgi kończyn i wzroku w przestrzeni trójwymiarowej.

Automatyzacja procesu projektowania z użyciem programów CAD niewątpliwie przyspieszyła ten proces, a jednocześnie umożliwiła znacznie lepsze zagospodarowanie przestrzeni na projektowanym stanowisku roboczym niż to miało miejsce przy zastosowaniu metod tradycyjnych. Kolejną ważną zaletą jest wymiennosc danych z innymi programami CAD, nie wyposażonymi w manekiny. Umożliwia to wstępną weryfikację poprawności wykonania projektu stworzonego za pomocą programu stosowanego w innej dziedzinie (np. w konstrukcji maszyn czy architekturze).



Rys.5. Przykład programu typu CAD do projektowania przestrzeni pracy (*ManneQuin Pro*, 1997 [10])

Podobnie jak w przypadku zastosowania metod tradycyjnych (tj. projektowanie na papierze plus bazy danych, atlasy antropometryczne, fantomy płaskie) projekt wykonany za pomocą programu CAD wymaga

eksperymentalnego zweryfikowania zaproponowanego rozwiązania poprzez testowanie jego makiety lub prototypu.

Programy projektowe wykorzystujące rzeczywistość wirtualną (VR)

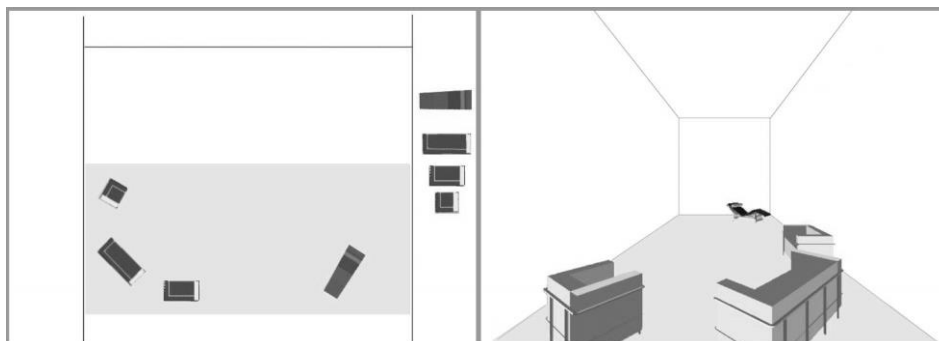
Tak jak programy CAD z wbudowanymi manekinami zastąpiły projektowanie z użyciem fantomów, tak makietowanie próbuje się zastąpić testowaniem wirtualnego modelu stanowiska. Zalety wirtualnej makiety są bezsprzeczne. Łatwo ją „zmontować”, wykorzystując projekt utworzony uprzednio w programie CAD. Łatwo w niej wprowadzić wszelkie zmiany. Nie potrzebuje przestrzeni i nie jest uzależniona od miejsca, w którym się ją postawi. I co najważniejsze – dzięki dokładnemu odwzorowaniu rzeczywistości osoba testująca ma wrażenie oglądania prawdziwego stanowiska. Pod tym względem programy VR prawie niczym nie różnią się od programów CAD. Różnica polega na tym, że za pomocą programu VR możemy przemieszczać się w czasie rzeczywistym w przestrzeni wirtualnej, podczas gdy programy CAD dają nam obraz nieruchomy.

Ponieważ programy VR starają się symulować rzeczywistość, również sposób komunikowania się z programem powinien być jak najbardziej zbliżony do naturalnego. Dlatego stosuje się tu szereg interfejsów przenoszących ruchy rąk i nóg (np. poprzez rękawiczki wyposażone w zespół czujników oraz ruchome chodniki) do systemu komputerowego. Jednocześnie użytkownik odbiera bodźce wzrokowe i słuchowe za pomocą specjalnego kasku.

Jako przykład może posłużyć program Store Designer Pro [10] – służący do projektowania wnętrza supermarketów. Program ten umożliwia *poruszanie się* po zaprojektowanej przestrzeni nie pozwalając jednocześnie na przenikanie obserwatora przez wyposażenie. Dzięki temu można np. wychwycić wszelkie przeszkody występujące na ciągach komunikacyjnych dużych sklepów.

Podobne rozwiązanie zastosowano w programie VR Anthropos [11], przeznaczonym do testowania stanowisk pracy oraz wnętrza pojazdów. Program ten jednak wymaga systemu komputerowego o dużo wyższej mocy obliczeniowej. Aktualnie program wykorzystuje komputery Silicon Graphics.

Innym ciekawym rozwiązaniem jest tzw. naturalny interfejs użytkownika (*Natural User Interface – NUI*) zastosowany w systemie BUILD-IT [4], opracowanym w Instytucie Higieny i Fizjologii Pracy (IHA) Politechniki w Zurychu. System służy do aranżacji wnętrza obiektów z wykorzystaniem gotowych modeli stanowisk. Zastosowano w nim dwa niezależne rzutniki multimedialne, skierowane: jeden na płaszczyznę stołu, przy którym pracuje projektant, drugi – na pionowy ekran stojący obok. Na stole wyświetlany jest rzut z góry projektowanego pomieszczenia oraz menu zawierające elementy do rozmieszczenia (rys. 6, po lewej). Z kolei na pionowym ekranie – widok perspektywiczny tego pomieszczenia (rys. 6, po prawej).



Rys.6. Przykład wykorzystania programu BUILD-IT do projektowania wyposażenia wnętrza [4].

Komunikacja z programem odbywa się poprzez ustawianie i poruszanie po stole specjalnych klocków pokrytych folią odblaskową. Ruchy i pozycja klocka śledzone są przez kamerę skierowaną na płaszczyznę stołu. Zgodnie z ruchami klocka na stole, program przemieszcza elementy projektowanego wnętrza w przestrzeni wirtualnej.

Rozwiązanie takie pozwala na łatwe planowanie przestrzeni osobom nie obytym z oprogramowaniem projektowym (np. typu CAD). Dzieje się to jednak pod okiem operatora systemu. Zasadniczą wadą systemów VR jest ich wysoki koszt (zarówno oprogramowania jak i akcesoriów) w porównaniu z makietowaniem. Ponadto trudno jest zasymulować niektóre istotne czynniki występujące w obrębie rzeczywistego stanowiska (lub makiety), np. wrażenie dotyku w kontakcie z przedmiotami, czy też opór będący wynikiem nacisku na określony obiekt.

Podsumowanie

Opisane w artykule metody można stosować w procesie projektowania niezależnie jedne od drugich, traktując je jako wzajemnie się uzupełniające. Ponieważ tradycyjne techniki są obecnie wypierane przez systemy komputerowe, należy przypuszczać, że w niedalekiej przyszłości w biurach projektowych powszechne staną się narzędzia łączące oprogramowanie CAD z technologią VR. Obniżenie kosztów i wyeliminowanie wad tej ostatniej wiąże się z zaawansowaniem postępu w tej dziedzinie, ale jest to tylko kwestia czasu.

Literatura

- [1] Batogowska A., Słowikowski J., Atlas antropometryczny dorosłej ludności Polski do potrzeb projektowania, IWP, Warszawa, 1989.
- [2] Batogowska A., Słowikowski J., Fantomy płaskie dla potrzeb projektowania, IWP, Warszawa, 1973
- [3] Clark T. S., Corlett E. N., The Ergonomics Of Workspaces and Machines. A Design Manual, Taylor and Francis, London, 1984

- [4] Fjeld M., Bichsel M., Rauterberg M., BUILD-IT: An Intuitive Design Tool Based On Direct Object Manipulation. In I. Wachsmut & M. Frölich (eds.) *Gesture and Sign Language in Human-Computer Interaction (GW'97)*, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 1371, Springer-Verlag, Berlin, 1998, pp. 297-308..
- [5] Garnik I., Komputerowo wspomagane projektowanie ergonomicznych stanowisk pracy z wykorzystaniem technik video i oprogramowania CAD. WZiE PG, 1998
- [6] Grobelny J., Cysewski P., Karwowski W., Zurada J., APOLIN: A 3-Dimensional Ergonomic Design and Analysis System, in: *Computer Applications in Ergonomics, Occupational safety and Health - CAES'92*. Tampere, Finland, 1992.
- [7] Grobelny J., *Możliwości systemu AutoCAD w projektowaniu ergonomicznym. Zarządzanie Zasobami Ludzkimi – Zagadnienia wybrane*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1995.
- [8] Karwowski W., Genaidy A.M., Asfour S.S. (Ed.), *Computer–Aided Ergonomics*, Taylor and Francis, London-Washington D.C., 1990.
- [9] ManneQuin, oprogramowanie firmy HumanCAD, Division of BCA Services Inc. 1991-1997.
- [10] Mast C. van der, Berg M. van den, Prototyping of Supermarket Designs using Virtual Reality, in: Pemberton S. (Ed) *Proceedings CHI97 Looking to the Future (extended Abstracts)*, ACM Press New York, 1997, pp. 321-322.
- [11] Materiały promocyjne firmy IST GmbH, 1999
<http://www.anthropos-ist.com>
- [12] PeopleSize, oprogramowanie firmy Friendly Systems Ltd., 1996
- [13] Rachubka M., Kształtowanie ergonomicznych warunków pracy na stanowiskach montażowych. WZiE PG, 1994
- [14] Rosner J., *Podstawy ergonomii*, PWN, Warszawa, 1982.
- [15] Sikorski M., Rachubka M., Krause J., Projektowanie Technicznej struktury przestrzennej w zakresie ergonomii i organizacji stanowisk roboczych. WZiE PG, 1993

Title:

THE ERGONOMIC DESIGN METHODS OF WORKPLACES

Abstract:

This paper includes review of ergonomic design methods currently used. The advantages and disadvantages of the methods are presented. The author tries to outline the nearest future of designing of ergonomic workplaces.