

EWA NOWAK

POMIARY STREF PRACY KOŃCZYN GÓRNYCH I DOLNYCH DLA CELÓW ERGONOMII

WSTĘP

Od czasów Queteleta (1796 - 1874), który jako pierwszy użył słowa „antropometria” [Godyccki 1956], jej rola i zadania zmieniały się wzbogacając stopniowo metody i techniki pomiarowe. W dobie dzisiejszej, proste klasyczne metody metryczne i opisowe są nadal uzupełniane o nowe zespoły cech, które, poza zadaniem poznawczym, mają służyć praktyce — ergonomii.

Antropometria, jako jedna z metod przydatnych ergonomii, dostarcza danych dotyczących wymiarów ciała ludzkiego i tym samym umożliwia adaptację maszyn, urządzeń i stanowisk pracy do możliwości anatomicznych człowieka. Zadanie to może być spełniane w dwojaki sposób: przez zbieranie danych o populacji polskiej według metod klasycznych oraz przez wzbogacanie istniejącej informacji o nowe dane oparte na nowych metodach i technikach pomiarowych. Metody te wynikają z potrzeb projektantów i konstruktorów. Stąd antropometria ergonomiczna różni się od klasycznej, zarówno zestawem cech mierzonych, jak i układów odniesienia pomiarów, a także stosuje odmienne metody i techniki pomiarowe, opracowane odrębnie dla każdej badanej cechy lub zespołu cech.

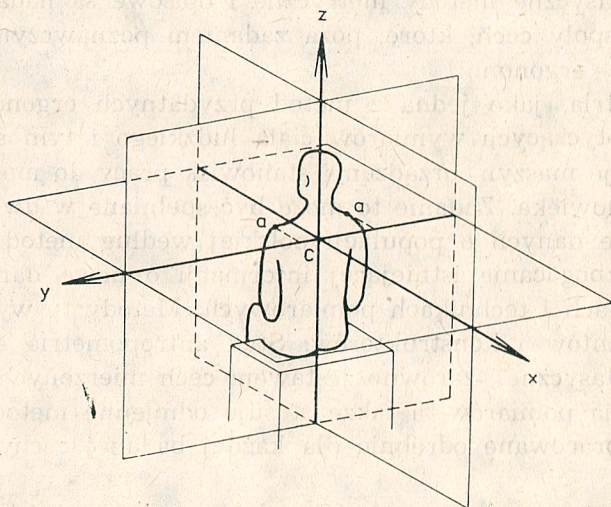
W niniejszej pracy przedstawiono dwa opracowania dotyczące specyficznych pomiarów z zakresu antropometrii ergonomicznej, w wyniku których otrzymano dane do projektowania ręcznych i nożnych elementów sterujących maszyn.

STREFA PRACY KOŃCZYN GÓRNYCH

Wyznaczenie przestrzeni pracy kończyn górnych warunkuje dokonanie prawidłowych rozwiązań projektowych i konstrukcyjnych maszyn i urządzeń oraz stanowisk pracy obsługiwanych lub sterowanych ręcznie. Jako punkt wyjścia w niniejszym opracowaniu przyjęto, aby uzyskane wyniki badań mogły służyć specjalistom wielu dziedzin technicznych przy

projektowaniu i organizowaniu różnorodnych stanowisk pracy, maszyn i urządzeń. Narzuca to konieczność wyznaczenia odmiennego od innych autorów zajmujących się tym zagadnieniem [Bullock 1974, Damon 1966, Rebiffe 1969] układu odniesienia. Nacisk położono na wyznaczenie takiego systemu pomiarowego, który jest związany bezpośrednio z układem kostnym kończyny górnej. Konsekwentnie zatem ustalono „zaczepienie” jednej z płaszczyzn wyznaczających początek układu o symetryczne punkty *acromion* [Nowak 1969, 1976, 1977, 1978]. Tak więc, traktując strefę zasięgu jako krzywokreślną powierzchnię przestrzenną, która może być opisana za pomocą układu kartezjańskiego trzech osi wzajemnie prostopadłych, wyznaczono układ pomiarowy tej strefy, poprzez przecięcie się następujących płaszczyzn (rys. 1):

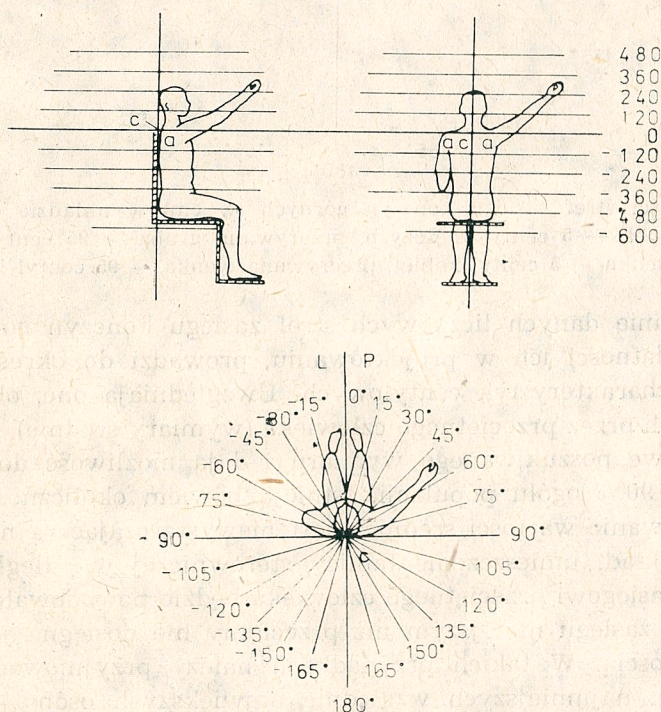
- płaszczyzny poziomej, przechodzącej na wysokości punktów *acromion* ($x-y$);
- płaszczyzny czołowej, stycznej do pionowej płaszczyzny oparcia siedziska ($y-z$);
- płaszczyzny środkowo-strzałkowej ($x-z$).



Rys. 1. Wyznaczenie układu pomiarowego zasięgu kończyn górnych we współrzędnych biegunowych

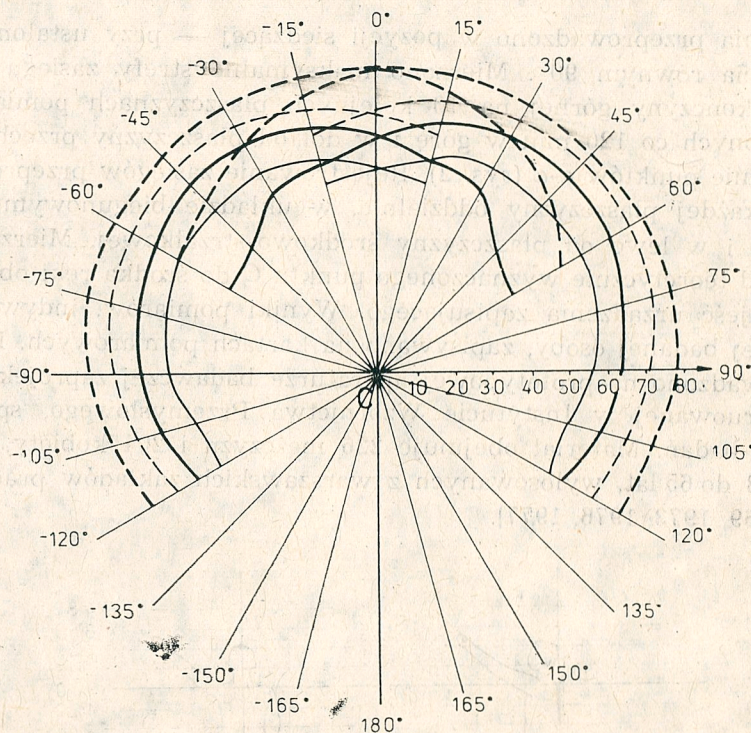
Przecięcie się tych trzech wzajemnie prostopadłych płaszczyzn wyznacza początek współrzędnych biegunowych układu pomiarowego (punkt C). Przyjęty układ pomiarowy, związany z pasem barkowym, ma tę zaletę, że otrzymane wyniki pomiarów przeprowadzonych w pozycji siedzącej mogą być przenoszone na stanowisko pracy wymagające także innej niż siedząca pozycji. Bez względu na położenie ciała, np. przy wychyleniu do przodu lub do tyłu (co jest związane z konstrukcją fotela lub z typem pracy), zawsze punkt C będzie stanowił podstawę „wymiarowania” stref zasięgu dla każdej dowolnej płaszczyzny roboczej.

Badania przeprowadzono w pozycji siedzącej — przy ustalonym kącie oparcia równym 90° . Mierzono maksymalne strefy zasięgu prawej i lewej kończyny górnej na 10 kolejnych płaszczyznach pomiarowych wyznaczonych co 120 mm w górę i w dół od płaszczyzny przechodzącej na poziomie punktów *a-a* (rys. 2). Rejestrowanie zasięgów przeprowadzano dla każdej płaszczyzny oddzielnie, w układzie biegunowym co 15° w prawo i w lewo od płaszczyzny środkowo-strzałkowej. Mierzono odległość od teoretycznie wyznaczonego punktu *C* do środka ręki obejmującej rękojeść urządzenia zapisującego. Wyniki pomiarów, indywidualnie dla każdej badanej osoby, zapisywano na kartach pomiarowych. Pomiary przeprowadzono na prototypowej aparaturze badawczej zaprojektowanej i skonstruowanej w Instytucie Wzornictwa Przemysłowego, specjalnie dla tych badań. Materiał obejmuje 226 mężczyzn i 204 kobiety, w wieku od 18 do 65 lat, wylosowanych z warszawskich zakładów pracy [Nowak 1969, 1973, 1976, 1977].



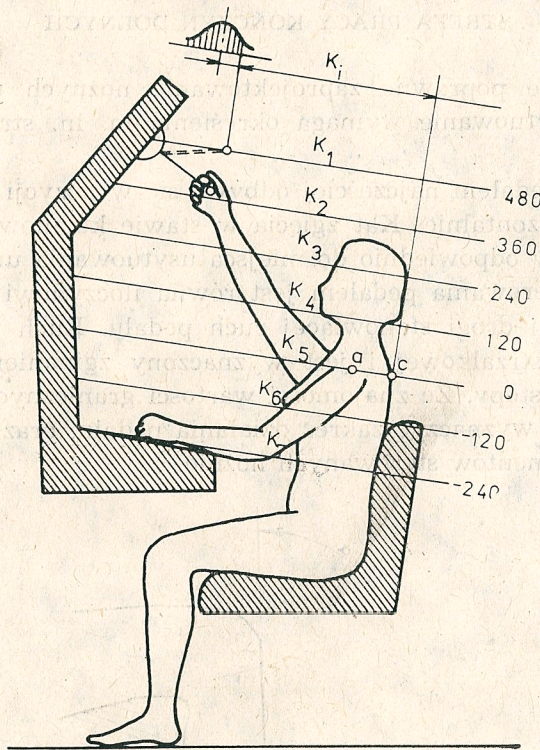
Rys. 2. Układ pomiarowy zasięgu kończyn górnych

W wyniku badań otrzymano strefę wykreśloną jako miejsca geometryczne punktów w przestrzeni, wyznaczonych przez położenia ręki. W obrębie powyższej strefy powinny znajdować się elementy sterownicze (maszyn i urządzeń), a także inne elementy wyposażenia stanowiska pracy obsługiwane ręcznie.



Rys. 3. Wartości stref zasięgu kończyn górnych (w cm) w układzie centylowym: linia ciągła gruba — 5 centyl mężczyzn, przerywana gruba — 95 centyl mężczyzn, ciągła cienka — 5 centyl kobiet, przerywana cienka — 95 centyl kobiet

Opracowanie danych liczbowych stref zasięgu kończyn górnych, pod kątem przydatności ich w projektowaniu, prowadzi do określenia stref za pomocą charakterystyk centylowych. Uwzględniają one, obok wartości osiąganych przez przeciętnego człowieka (wymiary średnie), także wartości krańcowe poszukiwanego wymiaru i dają możliwość dostosowania projektu do 90% ogółu populacji. Istnieją bowiem okoliczności, w których zastosowanie wartości średnich jest niewystarczające a nawet błędne. Na przykład, umieszczenie tablicy sterowniczej w odległości odpowiadającej zasięgowi przeciętnego człowieka będzie powodowało, że wszyscy ludzie o zasięgu mniejszym niż przeciętny nie dosięgną jej w ogóle lub z trudnością. W takich przypadkach należy przyjmować rozmiary krańcowe, tj. najmniejszych względnie największych osób — w zależności od tego, czy czynnikiem ograniczającym jest „krańcowość” minimalna czy maksymalna. Projektant zatem powinien dysponować danymi stref zasięgu opracowanymi dla dwu podstawowych wartości centylowych. Są to wartości progowe dolne (5 centyl) i progowe górne (95 centyl.). Rysunek 3 ilustruje przebieg stref zasięgu w tych dwu wartościach dla jednej z badanych płaszczyzn. Za wielkość progową dolną strefy zasięgu przyjęto taką wielkość, której nie osiąga 5% populacji, natomiast



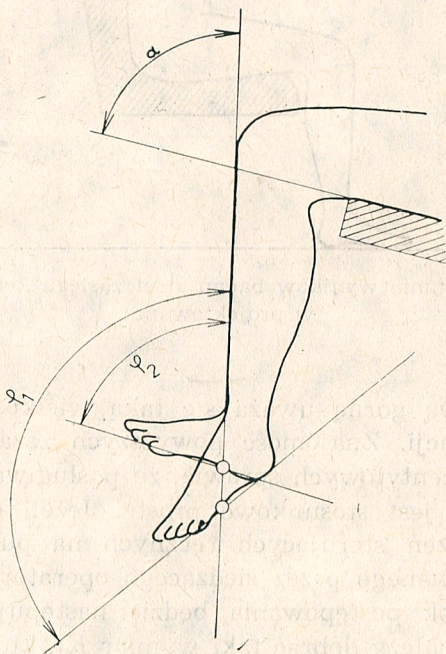
Rys. Wykorzystanie wyników badań stref zasięgu kończyn górnych w projektowaniu

za wielkość progową górną uważa się taką wielkość, której nie przekracza 95% populacji. Znajomość powyższych zasad stosowania odpowiednich wartości centylowych sprawia, że posługiwanie się zbiorem danych stref zasięgu jest stosunkowo proste. Jeżeli celem projektu jest usytuowanie urządzeń sterujących ręcznych na pulpicie sterowniczym stanowiska obsługiwanego przez siedzącego operatora — mężczyznę lub kobietę (rys. 4), tok postępowania będzie następujący. Posługując się zestawem danych, należy dobrać taki wymiar K_1 , który będzie zapewniał osiągnięcie tego wymiaru przez co najmniej 95% przyszłych użytkowników tj. mężczyzn i kobiet. Wymiarem tym będą wartości stref zasięgu dotyczące centyla 5 dla kobiet. Przy ustalaniu wysokości płaszczyzny usytuowania urządzeń sterujących, wymiary stref zasięgu będą zawarte w obrębie odpowiednich płaszczyzn pomiarowych. W tym szczególnym przypadku pole manipulacji kończyn górnych wyznaczają płaszczyzny: od 480 do 240 (por. rys. 2). A zatem podstawą usytuowania urządzeń sterujących ręcznych na pulpicie sterowniczym będą wartości 5 centyla dla kobiet w ustalonych powyżej płaszczyznach. Są to wymiary: $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6$ i k_7 .

STREFA PRACY KOŃCZYN DOLNYCH

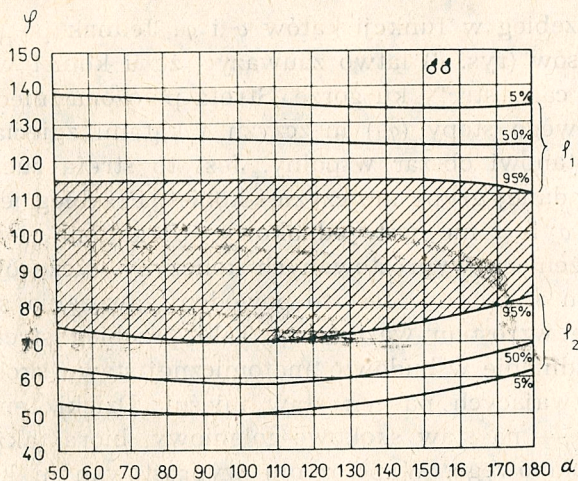
Ergonomicznie poprawne zaprojektowanie nożnych urządzeń sterujących i ich usytuowanie wymaga określenia m. in. strefy pracy kończyn dolnych.

Sterowanie pedałem najczęściej odbywa się w pozycji siedzącej, ustalającej udo horyzontalnie. Kąt zgięcia w stawie kolanowym jest zmienny i dostosowany odpowiednio do miejsca usytuowania urządzenia sterującego. Praca sterowania pedałem jest równa iloczynowi siły przenoszonej przez stopę i drogi stanowiącej ruch pedału. Ruch ten odbywa się w płaszczyźnie strzałkowej i jest wyznaczony zginaniem grzbietowym i podeszwowym stopy. Ze znajomości wartości granicznych tych ruchów, projektant może wyznaczyć zakres działania pedału, oraz określić obszar usytuowania elementów sterowanych nożnie.

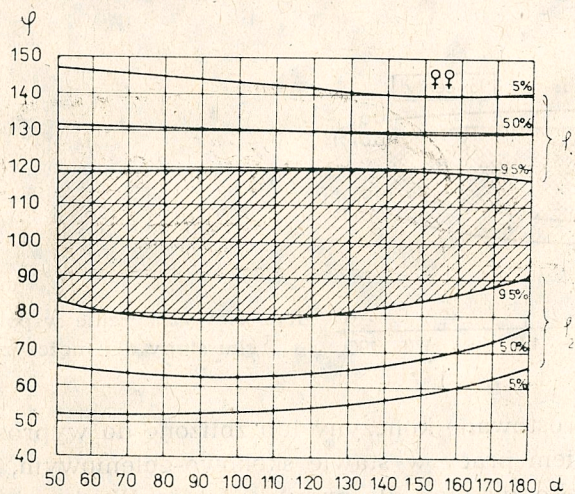


Rys. 5. Układ pomiarowy zakresu ruchów kończyny dolnej

Celem przeprowadzonych badań było określenie zakresu ruchu stopy w stawie skokowo-goleniowym, wyznaczonego kątami zginania podeszwowego (φ_1) i grzbietowego (φ_2) stopy, przy różnym usytuowaniu podudzia względem uda (α) (rys. 5). Badania przeprowadzono na grupie osób dorosłych w wieku od 18 do 65 lat, zatrudnionych w kilku zakładach pracy w Warszawie [Nowak 1972, 1973]. Grupa osób poddanych badaniom została wybrana losowo i wynosiła 270 mężczyzn i 257 kobiet. Pomiar



Rys. 6. Wartości kątowe zginania podeszwowego φ_2 i grzbietowego φ_1 stopy w zależności od kąta położenia podudzia względem uda α mężczyzn w układzie centylowym

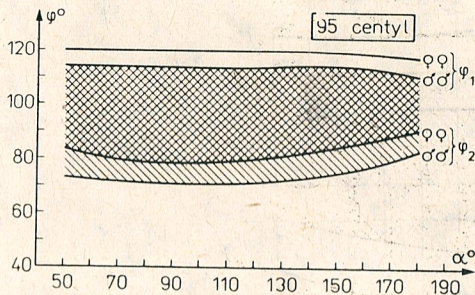


Rys. 7. Wartości kątowe zginania podeszwowego φ_2 i grzbietowego φ_1 stopy w zależności od kąta położenia podudzia względem uda α kobiet w układzie centylowym

przeprowadzono za pomocą skonstruowanego w tym celu kątomierza. Wyniki badań opracowane w układzie centylowym przedstawiono graficznie, oddzielnie dla mężczyzn (rys. 6) i kobiet (rys. 7). Dane zawarte między wartościami 95 centyla dla kątów φ_1 i φ_2 stanowią poszukiwany obszar zakresu ruchu stopy, przy różnym usytuowaniu kończyny dolnej, dla 90% badanych mężczyzn lub kobiet.

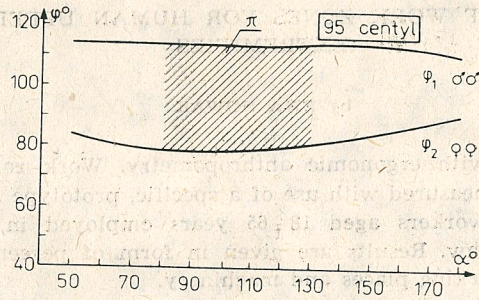
W zasadzie oba obszary prezentowane oddzielnie dla obu płci mają

podobny kształt i przebieg w funkcji kątów α i φ . Jednak po nałożeniu na siebie obu wykresów (rys. 8) łatwo zauważyć, że u kobiet występuje znaczne przesunięcie całej strefy ku górze. Strefa położona między kątami zgięcia podeszwowego stopy (φ_1) mężczyzn i kątami zgięcia grzbietowego (φ_2) kobiet stanowi obszar wspólny. Jest to strefa ruchu stopy osiągnięta przez 90° badanej grupy mężczyzn i kobiet. Przebieg jej dla poszczególnych kątów α i φ nie jest jednakowy. Ulega ona wyraźnemu zmniejszeniu w położeniach wyprostowanych kończyny, szczególnie przy zginaniu grzbietowym stopy (φ_2). Jest to powodem zawężenia się strefy ruchu stopy (wraz ze wzrostem wartości α). Taki przebieg strefy ruchu znajduje swoje uzasadnienie w budowie anatomicznej stawu skokowo-goleniowego i oddziaływających na ten staw mięśni. Dzięki temu, obok działania — głównie — na staw skokowo-goleniowy, biorą także udział w ruchach stawu kolanowego. W położeniu wyprostowanym kończyny, przyczepy tych mięśni oddalają się znacznie od siebie, mięśnie są blisko wartości granicznej możliwości ich rozciągania. Jest to powodem ograniczenia ruchu w stawie skokowo-goleniowym, które prowadzi do zmniejszenia zakresu ruchu stopy.



Rys. 8. Wyznaczenie wspólnej strefy ruchu stopy dla mężczyzn i kobiet

Położenie wyprostowane kończyny lub zbliżone do wyprostowania, z jednoczesnym połączeniem pracy w stawie skokowo-goleniowym, jest położeniem wybitnie niekorzystnym dla pracy pedalem. Występujące duże statyczne napięcia mięśni łydki nie tylko obniżają komfort pracy, ale mogą stanowić zagrożenie dla jej precyzji. Odmienna sytuacja występuje w pozycjach zginania stawu kolanowego. Zgięcie tego stawu prowadzi do większej swobody ruchu. Położenie podudzia względem uda pod kątem prostym sprowadza napięcie statyczne omawianych mięśni do zera. Dlatego też w położeniu $\alpha=90^\circ$ uzyskano największe zakresy ruchu stopy. Dalsze pogłębienie zginania stawu kolanowego powoduje napięcie mięśni antagonistycznych i wpływa niekorzystnie na ruchy w stawie skokowo-goleniowym, powodując jednocześnie zmniejszenie zakresu ruchu stopy. W związku z powyższym obszary dla $\alpha \geq 130^\circ$ oraz $\alpha \leq 80^\circ$ wyeliminowano traktując je jako niekorzystne dla pracy pedalem. Pole zawarte



Ryc. 9. Optymalna strefa ruchu II dla pracy pedałem

między odrzuconymi wartościami α , charakteryzujące się jednocześnie najszerszym zakresem ruchu stopy, uznano za optymalną strefę ruchu (π) dla pracy pedałem (rys. 9). W strefie tej powinny być usytuowane wszystkie elementy urządzeń służące do sterowania nożnego.

PISMIENNICTWO

- Bullock M. I., 1974, *The Determination of Functional Arm Reach Boundaries for Operation of Manual Controls*. Ergonomics, 3, 375 - 388.
- Damon A., H. W. Staudt, R. A. Mc Farland, 1966, *The Human Body in Equipment Design*. Harvard University Press, Cambridge.
- Faverge J. M., J. Leplat, B. Guignet, 1963, *Przystosowanie maszyny do człowieka*. Warszawa.
- Godycki M., 1956, *Zarys antropometrii*. PWN, Warszawa.
- Mc Cormick E. J., 1964, *Antropotechnika. Przystosowanie konstrukcji maszyn i urządzeń do człowieka*. PWT, Warszawa.
- Nowak E., 1969, *Przestrzeń pracy rąk a projektowanie*. Mechanik, 10, 565 - 567.
- Nowak E., 1972, *Angular Measurements of Foot Motion for Application to the Design of Foot-Pedals*. Ergonomics, 15, 407 - 415.
- Nowak E., 1975, *Pomiary zakresu ruchów stopy*. Ochrona Pracy, 12 - 13.
- Nowak E., 1976, *Określenie przestrzeni pracy kończyn górnych dla potrzeb projektowania stanowisk roboczych*. Prace i Materiały IWP, zeszyt 30.
- Nowak E., 1977, *Strefy zasięgu kończyn górnych wyznaczone w aspekcie ergonomicznym*. MPA, 94, 143 - 158.
- Nowak E., 1978, *Determination of the Spatial Reach Area of the Arms for Workplace Design Purposes*, Ergonomics, 7, 493 - 507.
- Peliwo S., 1967, *Projektowanie stanowiska pracy kierowcy samochodu — parametry przestrzenne*. Wiadomości IWP, 2, 1 - 9.
- Rebiffe R., 1969, *Determination des Zones Optimales pour l'Emplacement des Commandes Manuelles dans l'Espace de Travail*. Ergonomics, 6, 913 - 924.

Zakład Badań Ergonomicznych
Instytut Wzornictwa Przemysłowego
ul. Świętojerska 5/7, 00-236 Warszawa

MEASUREMENT OF WORK ZONES FOR HUMAN UPPER AND LOWER EXTREMITIES

by EWA NOWAK

The paper deals with ergonomic anthropometry. Work zones for upper and lower extremities are measured with use of a specific, prototype apparatus. Subjects examined here were workers aged 18-65 years employed in various industrial plants located in Warsaw. Results are given in form of percentile characteristics useful for designing working places and machinery.