

Diagnostyka układów antropotechnicznych

7-1.2. Diagnostyka ergonomiczna

7-1.2.1. Diagnostyka ergonomiczna jako diagnostyka układu antropotechnicznego

Literatura dotycząca diagnostyki medycznej oraz diagnostyki technicznej jest bardzo liczna. W ostatnim okresie termin *diagnostyka* zaczyna być używany w innym, nowym znaczeniu, określanym jako *diagnostyka ergonomiczna* (fol. nr 4). Obiektami badań, którymi zajmuje się diagnostyka ergonomiczna są układy antropotechniczne i układy socjotechniczne [2,3].



Diagnostyka ergonomiczna

fol. nr 4

Najprostszym układem antropotechnicznym jest układ składający się ze środka technicznego i sterującego nim człowieka, nazywanego operatorem. Środkiem technicznym występującym w takich układzie może być maszyna, aparat, narzędzie, instalacja, pomieszczenie. Opisując działanie takiego układu, złożonego na przykład z maszyny i jej operatora, można wskazać następującą iteracyjnie powtarzaną sekwencję działań:

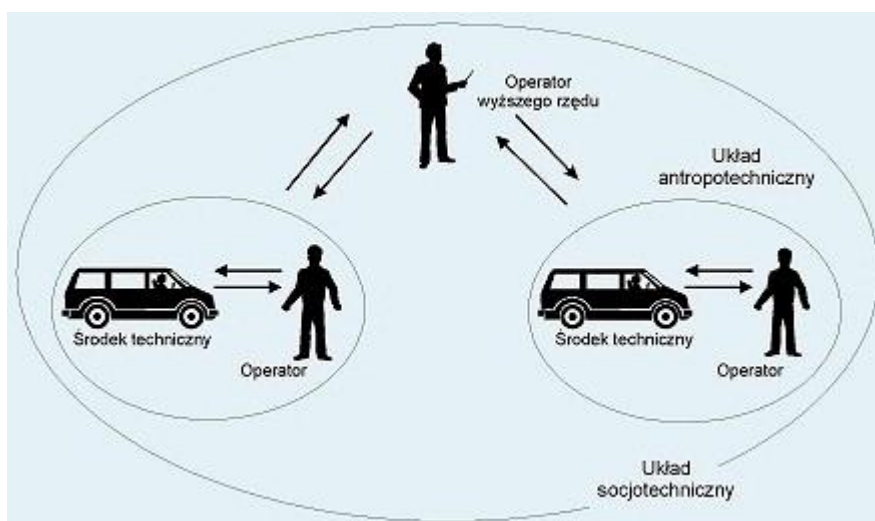
- operator obserwuje maszynę np. za pośrednictwem wskaźników umieszczonych na pulpicie sterującym
- po odebraniu informacji o aktualnych warunkach działania maszyny operator interpretuje je i podejmuje decyzje o swoim dalszym działaniu, korzystając z własnych zdolności do rozumowania, rozpoznawania analogicznych sytuacji w przeszłości, umiejętności prognozowania rozwoju zjawisk
- po podjęciu decyzji operator wykonuje odpowiednie działania, korzystając z dostępnych przycisków, pedałów, przełączników, dźwigni itp.
- wynikiem działań podjętych przez operatora są zmiany w działaniu maszyny, pociągające za sobą np. zmiany wskazań urządzeń umieszczonych na pulpicie sterującym
- itd.

Układ antropotechniczny nie występuje jako układ izolowany. Oddziaływania otoczenia, takie jak temperatura, hałas, drgania, wilgotność, oświetlenie itp. mogą wpływać na zmianę reakcji operatora. Z faktu tego oraz z pokazanej listy powtarzanych iteracyjnie działań wynika, że o działaniu całego układu decydują wszystkie jego elementy, podobnie jak o wytrzymałości łańcucha decydują wszystkie jego ogniwa. Oznacza to, że występuje potrzeba obserwowania i oceniania poprawności realizowania wszystkich opisanych działań.

Przykładem układu antropotechnicznego może być pojazd mechaniczny prowadzony przez kierowcę. Kierowca oddziałuje na pojazd sterując nim. Pojazd oddziałuje na kierowcę, pobudzając siedzisko jego fotela do drgań, które mogą pogarszać stan psychiczny kierowcy, powodując przez to ograniczenie

jakości jego działań, związanych z kierowaniem pojazdem. Skutkiem zewnętrznym omawianych oddziaływań może być odmienne od oczekiwanego zachowanie kierowanego pojazdu (układu antropotechnicznego).

Układy socjotechniczne są złożonymi układami, w których wyróżnić można zasoby w postaci osób, środków technicznych oraz prostych układów antropotechnicznych współdziałających ze sobą oraz czasami z operatorem wyższego rzędu (decydentem). Główną cechą układów socjotechnicznych, odróżniającą je od układów antropotechnicznych, jest uwzględnianie oddziaływań pomiędzy osobami występującymi w tych układach. Oddziaływania występujące pomiędzy elementami takiego układu mogą być modelowane w różny sposób - począwszy od hierarchicznego podporządkowania (fol. nr 5) aż do relacji sieciowych. Oddziaływania te obejmują zarówno ludzi, jak i obiekty techniczne oraz decydują często o własnościach i właściwościach układu rozpatrywanego jako całość.



fol. nr 5 Układy antrope i socjotechniczne

Układ antropotechniczny może być obiektem badań zarówno dla diagnostyki medycznej (badania diagnostyczne dotyczące operatora), diagnostyki technicznej (badania diagnostyczne dotyczące obiektu technicznego) jak i diagnostyki ergonomicznej (badania diagnostyczne dotyczące oddziaływań zachodzących pomiędzy obiektem i operatorem). Cechą szczególną diagnostyki ergonomicznej jest to, że pozwala ona na uzyskiwanie ciekawych wyników, których nie można otrzymać na podstawie oddzielnego badania osób i maszyn występujących w omawianych układach.

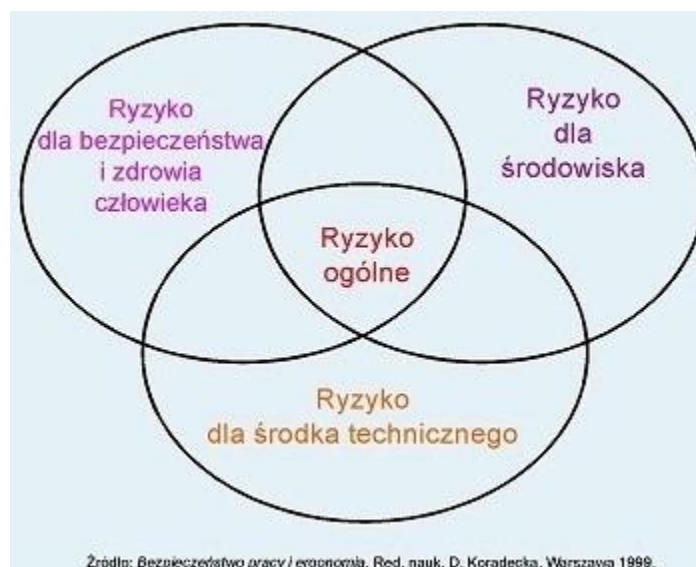
Przykładami układów socjotechnicznych mogą być złożone obiekty, takie jak duże samoloty pasażerskie, zakłady przemysłu chemicznego, elektrownie jądrowe. W układach takich duże znaczenie odgrywają wszystkie czynniki związane z oddziaływaniami między osobami. Kształtuje to wymagania dotyczące doboru załogi, jej szkolenia oraz uzgadniania właściwych procedur postępowania.

Celem diagnostyki ergonomicznej jest, podobnie jak w przypadku diagnostyki technicznej, rozpoznanie klasy aktualnego stanu ergonomicznego (niebezpieczny, szkodliwy, uciążliwy, normalny) oraz wskazanie czynników będących przyczyną występowania klasy innej niż *stan normalny*.

Odrębną klasą oddziaływań, które powinny być poddane szczegółowym badaniom, są oddziaływania ludzi na obiekty techniczne. Wyraźnymi przykładami uzasadniającymi potrzeby takich działań są

znane ogólnie wypadki, jakie zaistniały w ostatnich latach, w wyniku chuligańskich wybryków na różnych obiektach sportowych.

Zakres znaczenia pojęcia *diagnostyka ergonomiczna* może być rozszerzany. Układ antropotechniczny jest fragmentem szerszego układu *człowiek-środek techniczny-środowisko*. Ponadto diagnostyka ergonomiczna może być rozpatrywana, wspólnie z diagnostyką medyczną i diagnostyką techniczną, jako element składowy diagnostyki ryzyka (fol. nr 6). Ryzyko w układzie *człowiek-środek techniczny-środowisko* definiowane jest jako prawdopodobieństwo wystąpienia w takim układzie niekorzystnych skutków zagrożeń dla bezpieczeństwa i zdrowia człowieka, zagrożeń dla środka technicznego oraz zagrożeń dla środowiska.



fol. nr 6 Ryzyko

7-1.2.2. Diagnostyka ergonomiczna środka technicznego

Obiektami badań diagnostyki ergonomicznej są między innymi środki techniczne, wytwarzane na podstawie dokumentacji opracowanej przez konstruktorów. Konstruktorzy Ci stosują dostępną im wiedzę oraz własne umiejętności do takiego konstruowania nowych obiektów, aby spełniały one między innymi rygorystyczne wymagania, których szczegóły określono na podstawie żmudnych i czasochłonnych badań ergonomicznych. Poważnym problemem jest jednak bardzo szybki rozwój powodujący, że wynikiem działalności konstruktora mogą być obiekty coraz bardziej złożone, których oddziaływanie na ludzi i otoczenie nie jest rozpoznane szczegółowo i trudno je określać na podstawie wiedzy wynikającej z wcześniejszych doświadczeń. Przykładem problemów, jakie mogą wystąpić w takiej sytuacji, są zagadnienia, z którymi spotkali się konstruktorzy pierwszych załogowych statków kosmicznych z operatorami działającymi w stanie nieważkości, którego oddziaływanie na człowieka było wtedy całkowicie nieznane. Potrzeby gospodarcze doprowadziły do uznania, że postępowanie iteracyjne, polegające na dochodzeniu do właściwych rozwiązań metodą prób i błędów, jest postępowaniem poprawnym. W postępowaniu takim znaczną rolę odgrywa diagnostyka ergonomiczna, pozwalająca na identyfikację rzeczywistych zagrożeń w miejscach przebywania ludzi.

Diagnostyka ergonomiczna może być realizowana w kolejnych fazach istnienia środka technicznego. W tym aspekcie jest wyodrębniana (fol. nr 7):

- diagnostyka w fazie formułowania założeń i wymagań

- diagnostyka w fazie opracowania projektu
- diagnostyka w fazie wytwarzania
- diagnostyka w fazie eksploatacji
- diagnostyka w fazie utylizacji.



Diagnostyka ergonomiczna środka technicznego

fol. nr 7

7-1.2.2.1. Diagnostyka ergonomiczna w fazie formułowania założeń

Diagnostyka ergonomiczna realizowana w fazie formułowania założeń sprowadza się do weryfikacji kompletności list wymagań zestawianych najczęściej w postaci kryteriów, wskazujących specyficzne czynniki ergonomiczne, które należy brać pod uwagę w kolejnych fazach istnienia środka technicznego (a zwłaszcza w fazie projektowania).

7-1.2.2.2. Diagnostyka ergonomiczna w fazie projektowania

Diagnostyka ergonomiczna realizowana w fazie projektowania występuje głównie w postaci działań weryfikacyjnych polegających na sprawdzeniu, czy są przestrzegane techniczne wymagania bezpieczeństwa i specyficzne wymagania bezpieczeństwa przyjęte w założeniach projektowych oraz ogólne zasady ergonomii, uwzględniające w szczególności kryteria dotyczące antropometrii i biomechaniki. Pełne przeprowadzenie takich sprawdzeń może wymagać złożonych badań symulacyjnych dotyczących głównie procesów współdziałania operatorów ze środkami technicznymi w warunkach rozruchu, normalnej eksploatacji i zatrzymywania, jak również w warunkach ich transportu, instalowania, regulacji, konserwacji, czyszczenia, napraw, demontażu i utylizacji. Każdy z wymienionych warunków jest związany z innymi oddziaływaniami zachodzącymi pomiędzy środkiem technicznym i osobami znajdującymi się w jego otoczeniu i powinien być analizowany oddzielnie. Jednym z celów takich badań symulacyjnych powinna być weryfikacja poprawności wyznaczenia (przez projektanta) stref zagrożonych wewnątrz i w otoczeniu rozpatrywanego środka technicznego (fol. nr 8), gdzie przebywająca w nich osoba narażona jest na zagrożenia bezpieczeństwa (strefa niebezpieczna), uszczerbek lub stopniowe pogorszenie stanu zdrowia (strefa szkodliwa), lub oddziaływanie czynników uciążliwych (strefa uciążliwa), mogących utrudniać pracę, nie powodując jednak trwałego pogorszenia stanu zdrowia.



fol. nr 8 *Strefy zagrożenia*

Podczas badań, których celem jest wyznaczenie granic stref zagrożonych można uwzględniać różne predyspozycje i przygotowanie osób zagrożonych, które mogą znaleźć się całkowicie lub częściowo w takich strefach. W praktyce sprowadza się to najczęściej do wyróżnienia szczególnej grupy osób określanych jako *operatorzy*, których zadaniem jest posługiwanie się rozpatrywanym środkiem technicznym.

Dla środków technicznych stwarzających szczególne zagrożenia bezpieczeństwa i zdrowia osób weryfikuje się dodatkowo poprawność przyjętych rozwiązań, pozwalających na ograniczanie dostępu i użytkowania wyłącznie do grupy osób do tego upoważnionych lub uprawnionych.

Bardzo ważnym elementem badań weryfikacyjnych dotyczących fazy projektowania, jest szczegółowe sprawdzanie kompletności dokumentacji techniczno-ruchowej (DTR) lub przygotowanej w innej postaci instrukcji obsługi środka technicznego. Dokumentacja ta powinna między innymi jednoznacznie zapoznawać użytkownika z zagrożeniami resztkowymi związanymi z użytkowaniem środka technicznego, których nie udało się wyeliminować przez zastosowanie osłon oraz urządzeń zabezpieczających i ochronnych. Dotyczy to zarówno zagrożeń podczas użytkowania w warunkach występujących normalnie jak i w mogących występować sytuacjach przejściowych.

Często niedocenianym fragmentem procesu projektowo-konstrukcyjnego powinno być zaplanowanie zakresu szkolenia załogi, którego celem ma być przekazanie odpowiednich informacji i umiejętności, wymaganych do stosowania i utrzymania eksploatowanego obiektu. Ustalić należy szczegółowe cele kształcenia. Przygotowania wymagają programy szkoleń i odpowiednie materiały pomocnicze. Jakość kształcenia może być przedmiotem badań diagnostycznych.

7-1.2.2.3. Diagnostyka ergonomiczna w fazie wytwarzania i eksploatacji

Celem diagnostyki ergonomicznej realizowanej w fazie wytwarzania i eksploatacji jest orzekanie o występujących zagrożeniach, w wyniku rozumowania prowadzonego na podstawie wyników badań wykonanych głównie na stanowiskach pracy i w miejscach przebywania ludzi. Podczas takich badań dokonywana jest ocena stopnia zagrożenia związanego z występowaniem różnych czynników. Techniki wykonywania badań oraz przyjmowane aktualnie wartości krytyczne i dopuszczalne opisano w rozdziałach omawiających kolejne zagrożenia.

Należy w tym miejscu zwrócić uwagę na różne rodzaje stosowanych w praktyce kryteriów oceniania wyników badań. Na przykład dla zagrożeń związanych z oddziaływaniem hałasu przyjęto wartości graniczne określające zalecane dopuszczalne równoważne poziomy dźwięku A na stanowiskach pracy. Sprawdzenie, czy wymagania te są spełnione, polega na porównaniu wyników pomiarów, prowadzonych zgodnie ze znormalizowanymi procedurami, z wartościami granicznymi. Inaczej przedstawiane są kryteria dotyczące na przykład ryzyka poślizgnięcia lub upadku, które formułowane są jedynie jakościowo. Kryteria te ograniczają się do ogólnych stwierdzeń, że odpowiednie części obiektu należy zaprojektować i wykonać tak, aby zapobiec poślizgnięciu lub upadkowi. W badaniach weryfikacyjnych możliwa jest jedynie niesformalizowana i subiektywna, jakościowa ocena spełnienia tego kryterium.

Część kryteriów dotyczących eksploatacji środka technicznego może być badana głównie, a czasami wyłącznie w fazie projektowania. Przykładami takich kryteriów są wymagania stawiane wybranym maszynom samobieżnym, dotyczące obowiązku wyposażania ich w możliwości mocowania elementów chroniących kierowcę i operatorów przed spadającymi przedmiotami (FOPS) oraz przy przewróceniu maszyny (ROPS).

Rozpatrując zadania diagnostyki technicznej występujące w procesie eksploatacji środka technicznego należy zauważyć, że pozytywny ich wynik uzyskany na początku procesu eksploatacji nie upoważnia do rezygnacji z systematycznego przeprowadzania okresowych badań w czasie dalszej eksploatacji, między innymi ze względu na mogące wystąpić zmiany stanu technicznego obiektu. Analogicznie, prowadzenie okresowych badań dla potrzeb diagnostyki ergonomicznej, w czasie eksploatacji środka technicznego, pozwala na identyfikowanie trendu zmian czynników powodujących zagrożenia i umożliwia prognozowanie zmian stanu ergonomicznego. Trendy te mogą być skutkiem procesów zużywania się rozpatrywanych obiektów oraz skutkiem systematycznych zmian warunków otoczenia, w tym uruchamiania nowych urządzeń w sąsiedztwie rozpatrywanego stanowiska pracy.

7-1.2.2.4. Diagnostyka ergonomiczna w fazie użycia

Diagnostyka ergonomiczna dotycząca fazy użycia środka technicznego nie jest jeszcze dostatecznie rozwinięta. Ogranicza się ona w praktyce do realizowanych w fazie opracowywania projektu, weryfikacji dokumentów opisujących działania, które pozwolą w przyszłości na użycie środka technicznego.

7-1.2.2.5. Badania certyfikacyjne

Aktualny stan prawny oraz szczegóły dotyczące organizacji i zasad działania w Polsce systemu oceny zgodności środków technicznych z podstawowymi wymaganiami bezpieczeństwa i ochrony zdrowia, omówiono w innym rozdziale. Środki techniczne podlegające obowiązkowej certyfikacji powinny być oznaczane znakiem bezpieczeństwa (fol. nr 9) wskazującym, że spełniają one odpowiednie wymagania bezpieczeństwa i ochrony zdrowia.



fol. nr 9 Znak bezpieczeństwa

Jednostki certyfikujące działają na podstawie akredytacji udzielonej przez Polskie Centrum Badań i Certyfikacji. Jednostki te mogą wydawać certyfikaty zgodności na podstawie wyników pełnych badań środka technicznego, przeprowadzonych przez laboratoria badawcze akredytowane we właściwym zakresie. Jednoznaczne procedury przeprowadzania certyfikacji powodują, że realizowane dla ich potrzeb badania mają charakter badań sprawdzających. Nie zachodzi potrzeba rozpatrywania tych badań jako badań diagnostycznych.

7-1.2.3. Diagnostyka ergonomiczna procesu pracy

Podczas oceniania procesu pracy należy uwzględniać takie czynniki, jak: monotopia i monotonia pracy, wpływ cech środków technicznych oraz środowiska na efekt pracy. Informacje na temat procesów zachodzących w trakcie wykonywanych zadań można uzyskać w wyniku badań pozwalających na wyznaczanie takich wielkości, jak (fol. nr 10):

- czas wykonywania czynności w jednym cyklu pracy
- ilość informacji napływających do operatora
- liczba poprawnie odebranych sygnałów
- liczba błędów
- czas trwania okresu nauki i wdrażania
- czas trwania właściwej pracy
- poziom hałasu
- jakość oświetlenia.



Diagnostyka procesu pracy

■

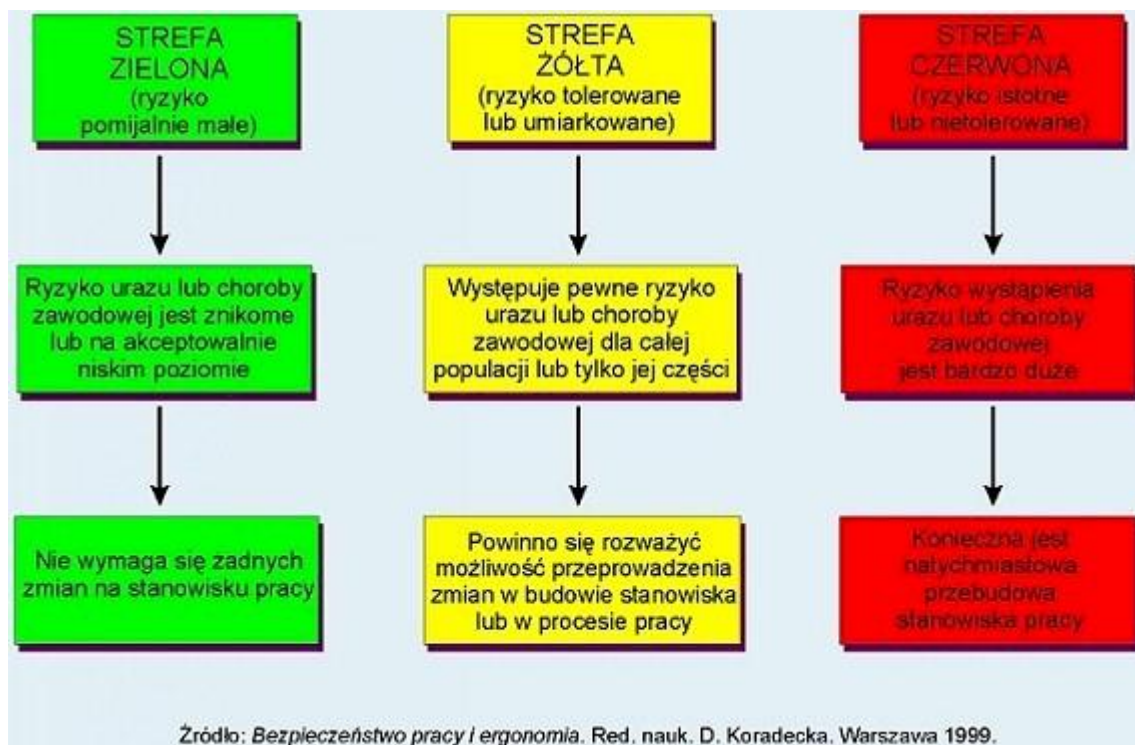
Wyniki pomiarów pokazywane są w postaci wykresu nazywanego krzywą pracy, na którym umieszcza się dodatkowe komentarze formułowane podczas badań przez osobę prowadzącą badania oraz przez operatora. Na wykresie tym można wskazać okresy uczenia się, nabierania wprawy, największej aktywności i sprawności, jak również efekty monotonii i monotypii oraz zmęczenia. Wykres pozwala na wykrywanie nieprawidłowości i ustalanie zaleceń dotyczących na przykład możliwości zwiększenia wydajność pracy poprzez odpowiednie zarządzanie przerwami (odpowiedni czas ich wprowadzania, ich długość i liczba).

Odrębnym zadaniem w analizie procesu pracy jest analiza i ocena ergonomiczna stanowiska pracy.

7-1.2.4. Diagnostyka ergonomiczna stanowiska pracy

Celem badań diagnostycznych prowadzonych na stanowiskach pracy jest identyfikacja czynników szkodliwych, mogących stanowić przyczynę chorób zawodowych oraz czynników uciążliwych mogących prowadzić do różnych form zmęczenia. Techniki prowadzenia badań są znane w odniesieniu do większości zagrożeń, takich jak oddziaływania toksycznych substancji chemicznych, pyłów, czynników biologicznych (bakterie, grzyby itp.) oraz fizycznych (hałas, drgania, pola elektromagnetyczne, mikroklimat itp.). Ze względu na wysokie koszty niektórych testów decyzje o podjęciu takich badań w ograniczonym zakresie, wynikającym z minimalnych wymagań, są często skutkiem ograniczonych możliwości finansowych. W analizie stanowiska pracy dokładnej ocenie poddawane jest samo stanowisko robocze, głównie pod względem dopasowania jego wymiarów (w tym wymiarów siedziska) do wymiarów operatora, zasięgu widzenia (wartości kątowe) w odniesieniu do pozycji ciała operatora, natężenia oświetlenia. Duże trudności związane są z identyfikacją czynników uzależnionych od sposobu wykonywania pracy i dotyczących takich zagadnień, jak pozycja pracownika podczas wykonywania pracy (nie powodująca szybkiego zmęczenia), odpowiedni wydatek energetyczny wykonywanych czynności, statyczne i dynamiczne obciążenie mięśni i układu kostno-stawowego, ruchy monotypowe, obciążenia związane z percepcją informacji. Źródłem trudności jest wspomniane uzależnienie rozpatrywanych czynników od organizacji i przebiegu pracy.

Wyniki badań diagnostycznych odnoszących się do wszystkich czynników występujących na stanowisku pracy mogą być [\[1\]](#) przedstawiane w skali trójstopniowej, polegającej na wyznaczeniu trzech stref: *zielonej*, *żółtej* i *czerwonej* (fol. nr 11). Wyniki te mogą ulegać zmianom w czasie. Dla umożliwienia wnioskowania o aktualnych zagrożeniach niezbędne jest odpowiednie gromadzenie wyników wszystkich przeprowadzonych okresowych badań oraz obserwacji. Zgromadzone wyniki pozwalają na ich późniejsze porównywanie.

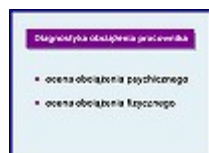


fol. nr 11 Trójestopniowa ocena stanowiska pracy

7-1.2.5. Diagnostyka obciążenia pracownika

Jednym z elementów oceny procesu pracy i stanowiska pracy jest ocena obciążenia pracownika podczas wykonywania pracy, dokonywana w dwóch kategoriach (fol. nr 12):

- ocena obciążenia psychicznego
- ocena obciążenia fizycznego.



Diagnostyka obciążenia pracownika

fol. nr 12

▪

Największym obciążeniem psychicznym człowieka jest stres, który jest reakcją organizmu na wymagania stawiane przez otoczenie. Stresorem (czynnikiem wywołującym stres) mogą być zarówno wymagania fizyczne jak i wymagania stawiane przez środowisko społeczne. Stres narasta w chwili zaistnienia rozbieżności pomiędzy stawianymi wymaganiami a możliwościami jednostki.

Diagnostyka obciążenia psychicznego polega na ocenianiu poziomu stresu. Ocenę taką można formułować na podstawie wyników następujących badań (wykonywanych w warunkach występowania stresu) (fol. nr 13):

- badanie zdolności zapamiętywania
- badanie koncentracji

- badanie odporności na zmęczenie fizyczne
- badanie zdolności psychomotorycznych
- badanie szybkości reakcji.



Diagnostyka obciążenia psychicznego

fol. nr 13

▪

Diagnostyka obciążenia fizycznego polega na ocenianiu ciężkości pracy fizycznej na rozpatrywanym stanowisku. Ocenę taką można formułować na podstawie wyników następujących badań (fol. nr 14):

- chronometraż czynności podczas zmiany roboczej
- pomiar wydatku energetycznego z podziałem na poszczególne czynności
- obserwowanie pozycji pracownika podczas pracy
- rejestrowanie zakresów ruchów roboczych
- ocenianie stopnia monotypowości ruchów
- badanie stopnia zaangażowania grup mięśni
- obserwowanie sposobów przenoszenia i dźwigania ciężarów
- określanie sił potrzebnych do wykonania poszczególnych czynności.

Źródło: nop.ciop.pl