

Ocena środowiska zimnego

– według PN-EN ISO 11079:2008

W artykule przedstawiono metodę oceny środowiska zimnego zgodnie z zasadami opisanymi w PN-EN ISO 11079:2008 *Ergonomia środowiska termicznego. Wyznaczanie i interpretacja stresu termicznego wynikającego z ekspozycji na środowisko zimne z uwzględnieniem wymaganej izolacyjności cieplnej odzieży (IREQ) oraz wpływu wychłodzenia miejscowego (oryg.)*. Procedurę obliczania przedstawiono na podstawie praktycznego przykładu.

Evaluation of a cold environment according to PN-EN ISO 11079:2008

This article presents a method of evaluating a cold environment according to the principles described in PN-EN ISO 11079:2008 "Ergonomics of the thermal environment. Determination and interpretation of cold stress when using required clothing insulation (IREQ), and the cooling effects [sic]." A practical example is used to present the calculation procedure.



Fot. Dominik Gwarek

Wstęp

Praca w środowisku zimnym najczęściej dotyczy zakładów przetwórstwa spożywczego, w których temperatura powietrza wynosi od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (komory zamrażające) do $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (pakownie zimne). Choć większość czynności jest w pełni zautomatyzowana, a pracownicy przebywają w pomieszczeniach, gdzie panuje wyższa temperatura powietrza, to jednak występują stanowiska, przy których praca człowieka w zimnym klimacie jest niezbędna.

Ocena obciążenia termicznego pracownika zatrudnionego w środowisku zimnym była prowadzona dotychczas na podstawie PN-N-08009:1987 [1], która w sierpniu 2008 r. została zastąpiona PN-EN ISO 11079:2008 [2]. Procedura oceny obciążenia termicznego pracownika zaproponowana w nowej normie znacznie różni się od podanej w poprzedniej. Zmiany te zostały zasygnalizowane w opublikowanym w „Bezpieczeństwie Pracy”

artykule *Praktyczne aspekty oceny narażenia pracowników zatrudnionych w warunkach mikroklimatu zimnego za pomocą wskaźników WCI i IREQ* [3]. Z uwagi na znaczne różnice w końcowym wydaniu normy w stosunku do jej projektu, w niniejszej publikacji skupiono się na omówieniu oceny środowiska zimnego według PN-EN ISO 11079:2008 [2].

Reakcje organizmu na środowisko zimne

Organizm człowieka, przez odpowiednie reakcje podczas pracy w środowisku zimnym, dąży z jednej strony do ograniczania oddawania ciepła do otoczenia, z drugiej zaś do zwiększania ilości produkowanego ciepła, a wszystko to w celu ochrony przed nadmiernym wychłodzeniem. Z tego powodu w środowisku zimnym dochodzi do zwężenia naczyń krwionośnych skóry, co powoduje zmniejszenie przepływu krwi przez skórę i tkankę podskórną, zwłaszcza w kończynach, a dzięki temu zwiększa

się oporność przewodzenia skóry. W wyniku ograniczenia przepływu w kończynach krew ulega przemieszczeniu do głębiej położonych naczyń krwionośnych, na skutek czego zwiększa się pojemność minutowa serca, a niekiedy dochodzi do wzrostu ciśnienia tętniczego krwi. Jednocześnie następuje pobudzenie mięśni szkieletowych, powodujące zwiększenie przemiany materii, będącej źródłem ciepła dla organizmu. Dochodzi do zwiększenia napięcia spoczynkowego mięśni i ich drżenia (wytwarza się dodatkowe ciepło). Ilość ciepła wytwarzanego w wyniku wymienionych mechanizmów zależy od temperatury otoczenia i czasu ekspozycji w środowisku zimnym.

Przekroczenie możliwości termoregulacyjnych organizmu w skrajnych warunkach termicznych środowiska lub upośledzenie działania mechanizmu regulacji temperatury ciała powoduje obniżenie temperatury wewnętrznej ciała, co w konsekwencji może prowadzić do



Fot. Jarosław Dąbkiewicz

hipotermii. Spadek temperatury wewnętrznej poniżej 35 °C powoduje zmniejszenie zdolności do wysiłku, redukcję siły skurczu mięśni oraz upośledzenie sprawności psychofizycznej (m.in. wydłużenie czasu reakcji).

Obniżenie temperatury mięśni o 10 °C upośledza dokładność ruchu i utrudnia utrzymanie równowagi ciała. Człowiek stopniowo popada w stan apatii, zaburzeniu ulegają mechanizmy instynktu samozachowawczego [4]. Wraz z rozwojem hipotermii obserwuje się zmniejszenie pojemności minutowej i objętości wyrzutowej serca, dochodzi do zwiększenia naczyniowego oporu obwodowego. Przy temperaturze ciała 28 °C może wystąpić migotanie przedsionków i komór. Dalsze obniżenie temperatury wewnętrznej do 23-25 °C może powodować upośledzenie czynności układu krążenia i oddechowego, zaburzenia świadomości, uszkodzenie wątroby i nerek oraz zakłócenia gospodarki wodno-elektrolitowej [5]. Ochrona pracujących przed niekorzystnym działaniem środowiska zimnego na ich organizm powinna być zatem kwestią priorytetową w przedsiębiorstwach, gdzie utrzymanie środowiska zimnego jest podyktowane wymaganiami procesu technologicznego.

PN-N-08009:1987 i PN-EN ISO 11079:2008 – zmiany

Główną różnicą pomiędzy PN-N-08009:1987 [1] a PN-EN ISO 11079:2008 [2] jest założenie przyjęte w nowej normie, że nadrzędnym wskaźnikiem służącym do oceny obciążenia termicznego człowieka w środowisku zimnym jest wskaźnik IREQ (*required clothing insulation*). Dotychczas traktowany jedynie jako wskaźnik wymaganej izolacyjności odzieży ochronnej. IREQ nadal definiowany jest jako wynikowa izolacyjność cieplna wymagana w rzeczywistych warunkach środowiska w celu utrzymania ciała w stanie równowagi cieplnej na akceptowalnym poziomie temperatury ciała i skóry, jednakże w PN-EN ISO 11079:2008 [2] podano dodatkowo, że wskaźnik IREQ można zastosować do:

- oceny obciążenia termicznego wywołanego zimnem
- analizy wpływu poszczególnych parametrów środowiska na obciążenie termiczne człowieka (w celu wprowadzania modyfikacji dotyczących stanowisk pracy)
- określenia wymagań dotyczących izolacyjności odzieży

– planowania czasu pracy w warunkach środowiska zimnego.

Wartość wskaźnika IREQ określana jest z równania wyprowadzonego z bilansu wymiany ciepła pomiędzy ciałem człowieka a otoczeniem i przyjmuje postać:

$$IREQ = \frac{\bar{t}_{sk} - t_{cl}}{R + C} \text{ (clo)}$$

gdzie:

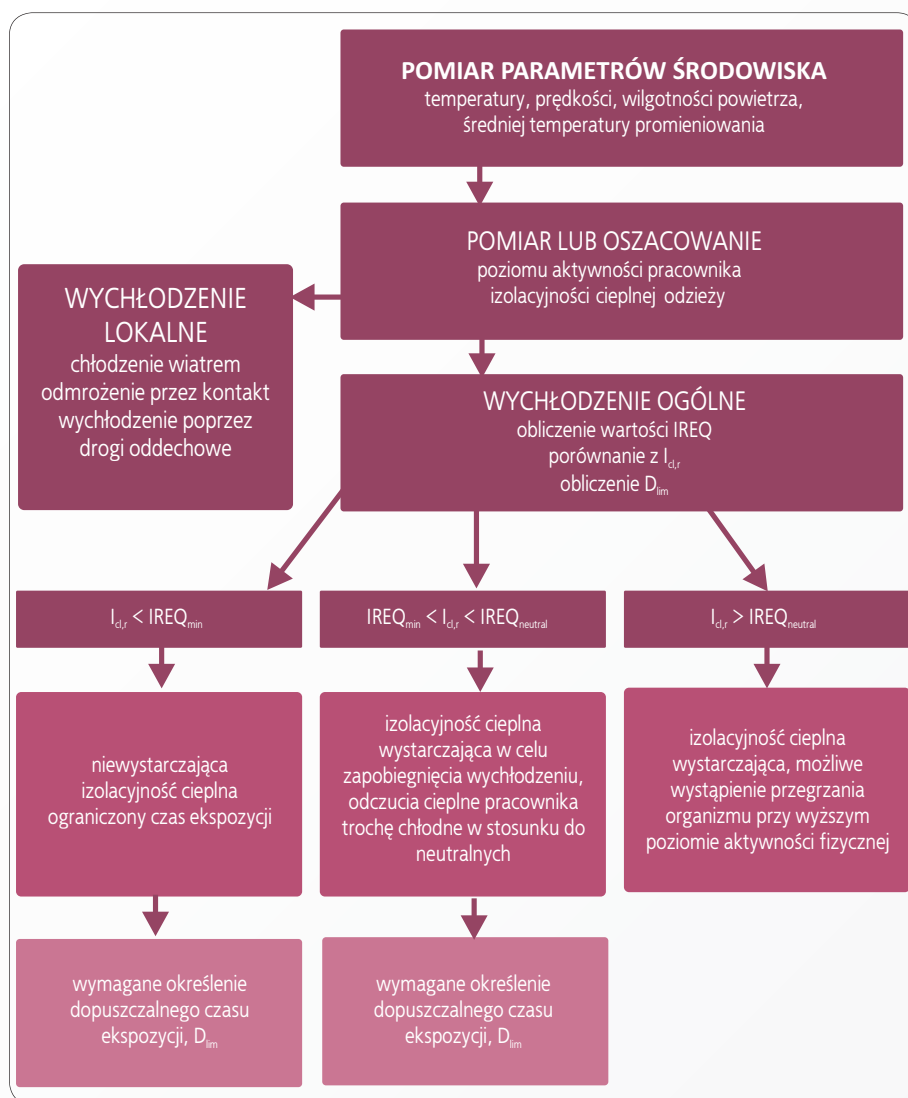
\bar{t}_{sk} – średnia temperatura skóry, °C

t_{cl} – temperatura zewnętrznej powierzchni odzieży, °C

R – ilość ciepła wymieniana poprzez promieniowanie, W/m²

C – ilość ciepła wymieniana poprzez konwekcję, W/m².

Na podstawie tej zależności można stwierdzić, że na wartości wskaźnika IREQ wpływ ma jedynie sucha wymiana ciepła (bez uwzględnionego wpływu efektu pocenia, odparowania potu, dyfuzji pary wodnej przez skórę itp.). Zależność tę można uznać za prawidłową przy założeniu uzyskania stanu równowagi cieplnej pomiędzy człowiekiem a otoczeniem. Równowaga cieplna może być utrzymywana na różnych poziomach obciążenia cieplnego organizmu, określanego w funkcji średniej



Rys. Metoda oceny środowiska zimnego [2]

Fig. A method of evaluating a cold environment [2]

temperatury skóry, pocenia i zmiany temperatury ciała. Z tego powodu wprowadzono w PN-EN ISO 11079:2008 dwie wartości wskaźnika IREQ:

- $IREQ_{min}$ – minimalna wartość wymaganej izolacji termicznej odzieży w celu utrzymania równowagi termicznej organizmu na stałym poziomie, przy założeniu niższej od prawidłowej, ale dopuszczalnej wartości średniej temperatury ciała. Przy zastosowaniu odzieży o izolacyjności równej $IREQ_{min}$ wystąpi niewielkie wychłodzenie organizmu, w szczególności obwodowych części ciała (dłonie, stopy) – z tego powodu przy długotrwałej pracy w środowisku zimnym należy wprowadzić ograniczenia czasu trwania ekspozycji, obliczane jako D_{lim} (dopuszczalny czas ekspozycji).

- $IREQ_{neutral}$ – izolacyjność termiczna odzieży wymagana w celu zapewnienia pracującemu warunków termoneutralnych, tj. równowagi cieplnej utrzymywanej na prawidłowym

poziomie średniej temperatury ciała. Przy zastosowaniu odzieży o wartości izolacyjności równej $IREQ_{neutral}$ nie występuje wychłodzenie ciała człowieka, jednakże zalecane jest również określenie dopuszczalnego czasu ekspozycji D_{lim} .

Zastosowanie wskaźnika IREQ zalecane jest do oceny obciążenia w chłodnym i zimnym środowisku, gdzie temperatura powietrza wynosi poniżej 10 °C, prędkość powietrza zawarta jest pomiędzy 0,4 – 18 m/s, a izolacyjność cieplna stosowanej odzieży przekracza 0,078 m²K/W (0,5 clo).

W normie wprowadzono również **pojęcie wynikowej i podstawowej izolacyjności cieplnej odzieży**. Na rzeczywistym stanowisku pracy człowiek zazwyczaj porusza się, zatem zastosowana przez niego odzież również zmienia położenie, dopasowuje się do danej pozycji ciała, a pod jej warstwy napływa powietrze. Wynikowa izolacyjność

cieplna odzieży ($I_{d,r}$) jest to więc wartość izolacyjności, w której uwzględniono efekt zmiany dopasowania i pompowania powietrza pod odzież. W warunkach laboratoryjnych wynikowa izolacyjność cieplna odzieży, na podstawie PN-EN ISO 11079:2008 i PN-EN 342:2006 *Odzież ochronna. Zestawy odzieży i wyroby odzieżowe chroniące przed zimnem*, jest mierzona na manekinie umieszczonej na specjalnym stanowisku umożliwiającym symulację jego chodu. W odróżnieniu od izolacyjności wynikowej, izolacyjność cieplna podstawowa (I_d) określa izolacyjność odzieży znajdującej się na nieruchomym manekinie w pozycji stojącej. W większości norm (m.in. w PN-EN ISO 9920:2008 *Ergonomia środowiska termicznego. Szacowanie izolacyjności cieplnej i oporu pary wodnej zestawów odzieży*) w tabelach podawane są wartości podstawowej izolacyjności cieplnej odzieży. Metodę przeliczenia izolacyjności podstawowej odzieży na wynikową zamieszczono w załączniku A do PN-EN ISO 11079:2008 [2].

Następną nowością w normie w PN-EN ISO 11079:2008 jest wspomniany wyżej **dopuszczalny czas ekspozycji na środowisko zimne** (D_{lim}). Jeżeli izolacyjność odzieży stosowanej na stanowisku pracy jest niższa od obliczonej wartości $IREQ_{neutral}$, to ekspozycja powinna być skrócona w celu ochrony przed nadmiernym wychłodzeniem organizmu. Wartość D_{lim} określana jest na podstawie zależności:

$$D_{lim} = \frac{Q_{lim}}{S} [h]$$

gdzie: Q_{lim} – wartość dopuszczalnych strat ciepła z organizmu człowieka, kJ/m² (standardowo należy przyjmować wartość 144 kJ/m²)

S – ilość ciepła akumulowanego w organizmie człowieka, W/m².

W przypadku zagrożenia wystąpienia dodatkowego lokalnego wychłodzenia ciała (dłonie, stopy, głowa) w zależności od miejsca wykonywanej pracy (w pomieszczeniach zamkniętych lub na otwartej przestrzeni) należy wprowadzić odpowiednie zmiany organizacyjne w środowisku pracy, np. zmniejszyć prędkość powietrza w pomieszczeniach przez zmianę zastosowanych elementów nawiewnych, lub też zapewnić dodatkowe środki ochrony indywidualnej i ograniczyć czas ekspozycji.

Kolejną zmianą wprowadzoną w PN-EN ISO 11079:2008 [2] jest zastąpienie wskaźnika siły chłodzącej wiatru WCI (*wind chill index*) przez bardziej intuicyjnie rozumianą temperaturą chłodzenia wiatru t_{wc} (*wind chill temperature*). Parametr ten stosowany jest do oceny chłodzenia lokalnego wywołanego działalnością wiatru i definiowany jest jako temperatura otoczenia, która przy prędkości wiatru równej 4,2 km/h wytwarza takie samo odczucie zimna u pracownika, jak rzeczywiste warunki

środowiska. Temperatura chłodzenia wiatru opisywana jest następującym równaniem:

$$t_{WC} = 13,12 + 0,6215t_a - 11,37v_{10}^{0,16} + 0,3965t_a v_{10}^{0,16} \text{ [}^\circ\text{C]}$$

gdzie:

t_a – temperatura powietrza, $^\circ\text{C}$

v_{10} – standardowa meteorologiczna wartość prędkości wiatru mierzona na wysokości 10 m ponad poziomem ziemi (wyrażona w m/s). Jeżeli prędkość wiatru jest mierzona tuż nad ziemią, do równania należy przyjąć tę wartość pomnożoną przez 1,5.

W zależności od zakresu wartości t_{WC} pracownik może: odczuwać niekomfortowe zimno (-10 do -24 $^\circ\text{C}$), czuć, że jest mu bardzo zimno i istnieje ryzyko zamarzania skóry (-25 do -34 $^\circ\text{C}$), odczuwać przenikliwe zimno, a eksponowana skóra może zamarzać w 10 min (-35 do -59 $^\circ\text{C}$), odczuwać ekstremalnie zimno, a eksponowana skóra może zamarzać w 2 min (poniżej -60 $^\circ\text{C}$).

W przypadku możliwości wystąpienia zagrożenia nadmiernym wychłodzeniem przez dotyk do zimnej powierzchni, w PN-EN ISO 11079:2008 odwołano się do wymagań PN-EN ISO 13732-3:2006 *Ergonomia środowiska termicznego. Metody oceny reakcji człowieka na dotknięcie powierzchni. Część 3: Powierzchnie zimne (oryg.)*. Zastosowanie odzieży o odpowiedniej izolacyjności równej $IREQ_{neutral}$ nie zapewni również ochrony przed odmrożeniem opuszków palców, z tego powodu w PN-EN ISO 11079:2008 odwołano się również do PN-EN 511:2006 *Rękawice chroniące przed zimnem (oryg.)*.

Procedura oceny obciążenia termicznego

W PN-EN ISO 11079:2008 wprowadzono procedurę oceny obciążenia termicznego osób pracujących w środowisku zimnym (rys.).

Procedurę oceny obciążenia termicznego można podzielić na 7 etapów.

1. Pomiar temperatury, prędkości oraz wilgotności powietrza, a także temperatury promieniowania w strefie przebywania pracowników, który powinien być przeprowadzany w okresie, kiedy obciążenie termiczne jest najwyższe.

2. Pomiar lub oszacowanie wartości tempa metabolizmu (ilości ciepła produkowanego przez organizm) w każdym z analizowanych cykli pracy, z jakim pracownik wykonuje daną czynność, na podstawie tablic przedstawiających wartości metabolizmu w odniesieniu do różnych rodzajów wykonywanej pracy, zgodnie z PN-EN ISO 8996:2005 *Ergonomia środowiska termicznego. Określanie tempa metabolizmu (oryg.)* lub na podstawie skró-

conej tablicy zamieszczonej w załączniku C do PN-EN ISO 11079:2008.

3. Pomiar lub oszacowanie wartości obciążenia pracą na podstawie zapisów PN-EN ISO 8996:2005.

4. Pomiar lub oszacowanie podstawowej izolacyjności cieplnej odzieży ochronnej zgodnie z PN-EN ISO 15831:2006 *Odzież. Właściwości fizjologiczne. Pomiar izolacyjności cieplnej z zastosowaniem manekina termicznego* lub PN-EN ISO 9920:2008 *Ergonomia środowiska termicznego. Szacowanie izolacyjności cieplnej i oporu pary wodnej zestawów odzieży*.

5. Obliczenie wartości wskaźników $IREQ_{min}$ i $IREQ_{neutral}$ na podstawie równań i wykresów zamieszczonych w PN-EN ISO 11079:2008 lub też korzystając z programu opracowanego przez prof. Holmera (twórcę wskaźnika IREQ) zamieszczonego na stronie: http://www.wold.eat.lth.se/Forskning/Termisk/Termisk_HP/Klimatfiler/IREQ2002alfa.htm

6. W przypadku pracy ze zróżnicowaną aktywnością (np. naprzemiennie: praca/odpoczynek) należy określić wartość wskaźnika IREQ średnią ważoną w czasie (min 1 h). Pojedynczy okres pracy/odpoczynku powinien trwać co najmniej 15 min. Przedstawiony w normie program umożliwia dodatkowo obliczenie temperatury chłodzenia wiatru (t_{WC}).

7. Porównanie obliczonych wartości wskaźników IREQ z wartością wynikowej izolacji odzieży zastosowanej w danym środowisku pracy; w przypadku, gdy wartość ta jest niższa od $IREQ_{min}$ oraz zawiera się w przedziale $IREQ_{min} \div IREQ_{neutral}$ należy zmienić rodzaj zastosowanej odzieży lub/i dodatkowo określić dopuszczalny czas ekspozycji D_{lim} .

Jeżeli podczas wizji lokalnej i pomiarów zostanie zaobserwowana możliwość wystąpienia lokalnego chłodzenia ciała (np. w wyniku dużej prędkości powietrza, kontaktu z zimnymi powierzchniami, czy niskiej temperatury powietrza mogącej wpływać na wychłodzenie dróg oddechowych), należy podjąć działania zgodnie z metodami opisanymi we wcześniejszej części artykułu.

Przykład oceny obciążenia termicznego

Ocena oddziaływania środowiska zimnego na pracującego dotyczy stanowisk pracy w pakowni zamrożonych owoców, w której na podstawie pomiarów parametrów środowiska określono, iż temperatura powietrza równa jest -4 $^\circ\text{C}$, temperatura promieniowania -4 $^\circ\text{C}$, wilgotność powietrza wynosi 65%, natomiast prędkość powietrza 0,7 m/s (warunki środowiska są jednorodne w całym pomieszczeniu). Pracownicy wykonują tam pracę w pozycji stojącej, tempo metabolizmu określono na poziomie 140 W/m². Izolacyjność podstawowa zastosowanej na stanowiskach pracy odzieży wynosi 1,9 clo (przepuszczalność powietrza

odzieży ochronnej jest zazwyczaj zbliżona do 81 m²/s).

Korzystając ze wspomnianego programu prof. Holmera obliczono, iż wartość $IREQ_{min}$ dla danego stanowiska pracy wynosiła 1,4 clo, a wartość $IREQ_{neutral}$ 1,7 clo. Jednocześnie program obliczył, iż wartość podstawowej izolacyjności cieplnej odzieży na stanowisku pracy powinna wynosić od 1,5 clo (dla $IREQ_{min}$) do 1,9 clo (dla $IREQ_{neutral}$). W przypadku rozpatrywanego stanowiska pracy podstawowa izolacyjność zastosowanej odzieży (1,9 clo) jest wartością chroniącą pracownika przed wychłodzeniem organizmu i umożliwiającą pracę 8-godzinną, bez dodatkowych przerw (pod względem oddziaływania środowiska zimnego).

Podsumowanie

W artykule przedstawiono zmiany, jakie nastąpiły w ocenie środowiska zimnego po wycofaniu PN-N-08009:1987 i wprowadzeniu w 2008 r. PN-EN ISO 11079. Zastosowanie wskaźnika IREQ oraz wprowadzenie dwóch wartości tego wskaźnika (*minimum* i *neutral*) jest bardzo pomocne w praktycznym doborze odzieży ciepłochronnej pracowników przed zagrożeniami, jakie stwarza praca w środowisku zimnym, wiążącymi się z jednej strony z nadmiernym wychłodzeniem organizmu, a z drugiej – z nadmiernym przegrzaniem, które może powodować pocenie się w odzieży ochronnej a w konsekwencji m.in. zmianę jej właściwości izolacyjnych.

PIŚMIENNICTWO

- [1] PN-N-08009:1987 *Ergonomia. Środowiska zimne. Metoda oceny ujemnego obciążenia termicznego oparta na wskaźnikach WCI i IREQ*
- [2] PN-EN ISO 11079:2008 *Ergonomia środowiska termicznego. Wyznaczanie i interpretacja stresu termicznego wynikającego z ekspozycji na środowisko zimne z uwzględnieniem wymaganej izolacyjności cieplnej odzieży (IREQ) oraz wpływu wychłodzenia miejscowego (oryg.)*
- [3] I. Sudoł-Szopińska, A. Chojnacka *Praktyczne aspekty oceny narażenia pracowników zatrudnionych w warunkach mikroklimatu zimnego za pomocą wskaźników WCI i IREQ. „Bezpieczeństwo Pracy” 2(425)2007, s. 16-19*
- [4] B. Gwóźdź *Człowiek w środowisku wielkoprzemysłowym i elementy ergonomii. W: Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej. Red. W. Traczyk, A. Trzebski. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2007*
- [5] H. Kociuba-Uściłko *Termoregulacja. W: Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej. Red. W. Traczyk, A. Trzebski. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2007*