

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10)

PL 245069 B1

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **418502**

(22) Data zgłoszenia: **2016.08.30**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2018.03.12 BUP 06/2018**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2024.05.06 WUP 19/2024**

(51) MKP:

F24F 1/02 (2011.01)

F25D 17/06 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

**CENTRALNY INSTYTUT OCHRONY PRACY –
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY,
Warszawa, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:

**TOMASZ JANKOWSKI, Warszawa, PL
MAGDALENA MŁYNARCZYK, Strzelno, PL
ANNA BOGDAN, Józefosław, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Joanna Bocheńska, Warszawa, PL

(54) Tytuł:

Urządzenie do lokalnego chłodzenia/grzania człowieka

PL 245069 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie do lokalnego chłodzenia/grzania człowieka mogące znaleźć zastosowanie w pomieszczeniach, w których pracownik nie ma możliwości indywidualnego sterowania systemem ogólnej wentylacji i klimatyzacji.

Nadrzędnym zadaniem systemów wentylacji i klimatyzacji jest zapewnienie użytkownikom pomieszczeń poczucia komfortu, czyli zadowolenia z warunków panujących w pomieszczeniu. Stan ten uzależniony jest zarówno od warunków termicznych środowiska w otoczeniu człowieka, jak i od jakości powietrza (ilości świeżego powietrza oraz stężenia zanieczyszczeń), poziomu hałasu (generowanego przez urządzenia wentylacji i klimatyzacji) oraz szeroko pojmowanej behawioralnej jakości środowiska, które wpływają zarówno na proces wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem, jak również na wrażenia zmysłowe i psychologiczne człowieka.

W procesie wentylacji powietrze zewnętrzne dostarczane jest do pomieszczeń najczęściej przez system wentylacji mieszającej lub wyporowej. Wentylacja mieszająca, rozcieńczając zanieczyszczenia powstające w pomieszczeniu a zarazem zapewniając jednolite środowisko termicznie nie stwarza warunków, które byłyby akceptowane przez wszystkich użytkowników pomieszczenia. Systemem wentylacji wyporowej, w którym powietrze o temperaturze $2 \div 4\text{K}$ niższej od temperatury powietrza w pomieszczeniu, dostarczane jest przez nawiewniki umiejscowione blisko poziomu podłogi, może powodować u użytkowników odczucie lokalnego dyskomfortu cieplnego, spowodowane przeciągiem czy też pionowym gradientem temperatury.

Pomocne w kwestii uzyskania pełnej satysfakcji wszystkich użytkowników pomieszczeń z warunków środowiska może okazać się zastosowanie wentylacji indywidualnej [1]. Najistotniejszą zaletą wentylacji indywidualnej w porównaniu do wentylacji mieszającej jest utrzymywanie odpowiedniej jakości powietrza dostarczanego bezpośrednio do strefy otoczenia człowieka. Prowadzone badania dot. porównania systemu wentylacji mieszającej i indywidualnej, dowiodły, iż układ wentylacji indywidualnej jest korzystniejszy, m.in. ze względu na satysfakcję użytkowników [2–4].

Rodzaje urządzeń wentylacji indywidualnej

Wentylacja indywidualna (PV) jest terminem ogólnym a na bezpośrednie odczucia użytkownika wpływa konstrukcja urządzenia do PV. Główną zasadą PV jest fakt dostarczania świeżego powietrza w bezpośrednie otoczenie strefy oddychania człowieka. Stąd najważniejszym elementem PV jest odpowiednio zaprojektowany nawiewnik. Dodatkowo nawiewnik ten może być podłączony do urządzenia, które powoduje zmianę parametrów cieplnych nawiewanego powietrza, tak aby zapewnić użytkownikowi również komfort cieplny. Dotychczas w literaturze obserwuje się podział urządzeń ze względu na zastosowanie: urządzenia wyłącznie chłodzące, wyłącznie grzewcze lub grzewczo-chłodzące. Poniżej przedstawiono najważniejsze rodzaje urządzeń, jakie opracowano pod hasłem „wentylacji indywidualnej”. Należy zauważyć, iż dotychczas urządzenia takie dedykowane były głównie do pomieszczeń biurowych.

Pierwszym urządzeniem do lokalnej wentylacji i klimatyzacji człowieka był Personal Environmental Module (PEM) [5], który składał się z 2 obrotowych nawiewników, elastycznych przewodów łączących nawiewniki z niezależnie zasilanym urządzeniem mieszającym umieszczonym pod stołem, który umożliwiał recyrkulację powietrza nawiewanego oraz zmianę strumienia powietrza przepływającego do nawiewników. Świeże powietrze dostarczane było z sieci przewodów umieszczonych pod podłogą. PEM wyposażone było z również w panel regulacyjny umożliwiający zmianę prędkości nawiewanego powietrza oraz stopnia recyrkulacji (do mieszania powietrza z pomieszczenia). Dodatkowe ogrzewanie środowiska dookoła użytkownika realizowane było za pomocą promiennika ciepła zlokalizowanego na wysokości kolan. PEM wyposażony był również w czujnik obecności wyłączający urządzenie po kilku minutach nieobecności użytkownika. PEM umożliwiał nawiew powietrza w zakresie $6\text{--}70\text{ L/S}$. Temperatura powietrza nawiewanego nie była regulowana i ustawiona na poziomie 18°C natomiast ogrzewanie użytkownika realizowane było za pomocą panelu radiacyjnego zamieszczonego pod biurkiem.

Uproszczonym w stosunku do PEM rozwiązaniem było urządzenie ClimaDesk [6], z tym, że nawiew powietrza realizowany był z dwóch nawiewników laminarnych umieszczonych pod biurkiem, wysuniętych na odległość $0,6\text{ m}$ poza krawędź blatu. W zależności od rozwiązania nawiew realizowany był pionowo lub poziomo. W urządzeniu Climadesk nie było możliwości regulacji parametrów nawiewnego powietrza.

W badaniach Melikova [7] porównano rozwiązania charakterystyczne dla Climadesk (VDG i HDG) i PEM oraz opracowano nowy ruchomy panel nawiewny (MP), a także panel połączony z monitorem

(CMP). W badaniach tych określono również zdolność chłodzącą organizm człowieka przy zastosowaniu poszczególnych rozwiązań. Największe chłodzenie zaobserwowano dla VDG, a następnie CMP i MP. Jednocześnie zaobserwowano konflikt, jaki powstaje przy chęci jednoczesnego zapewnienia wysokiej jakości powietrza w strefie oddychania (co wymaga większych ilości nawiewanego powietrza) a dyskomfortu cieplnego oraz odczucia przeciągu, powstającego w tych warunkach. Patrząc pod tym kątem określono, że VDG i MP spełniają oba kryteria w stopniu satysfakcjonującym. Badania te wykazały natomiast, że optymalnym rozwiązaniem jest stosowanie nawiewnika wysuniętego na ramieniu i lokalizowanego nad komputerem, nawiewającego powietrze na twarz ochotnika, czyli w tym przypadku MP. W przypadku MP nie było możliwości regulacji prędkości i temperatury powietrza nawiewanego.

Niu i in. [8] zaproponował rozwiązanie do zastosowania w kinach, teatrach, salach wykładowych, kabinach samolotów i innych obiektach, w których występuje duże skupisko osób. PV w tym rozwiązaniu bazowało na fotelu z wmontowanym przewodem dostarczającym powietrze bezpośrednio do strefy oddychania człowieka za pomocą elastycznego i ruchomego przewodu, na końcu którego zainstalowano niewielką dyszę. Zaprojektowano strumień powietrza nawiewanego na poziomie 0,1–3,0 L/s. W zależności od rodzaju zastosowanej geometrii nawiewnika uzyskano ograniczenie nawet do 80% poziomu zanieczyszczeń w powietrzu wdychanym. Jednocześnie nawet bardzo bliskie usytuowanie nawiewnika nie umożliwiło użytkownikowi oddychania wyłącznie czystym powietrzem. W rozwiązaniu tym również nie wprowadzono możliwości ogrzewania lub chłodzenia nawiewanego powietrza.

Rozwiązaniem PV aktualnie dostępnym komercyjnie jest system oferowany przez Exhausto [9], bazujący na dostarczaniu wyłącznie świeżego powietrza bez możliwości regulacji jego temperatury. System ten bazuje na nawiewniku umieszczonym nad ekranem monitora użytkownika, w którym możliwa jest zmiana kierunku nawiewu. Nie ma możliwości ogrzewania lub chłodzenia nawiewanego powietrza, które jest dostarczane do każdego użytkownika o takich samych parametrach.

Jak widać z przedstawionych rozwiązań dotychczas głównie skupiano się na zapewnieniu odpowiedniej jakości powietrza nawiewanego, traktując drugorzędnie kwestie odczuć cieplnych użytkownika. Jednocześnie problemem we wszystkich przedstawionych przypadkach była zbyt duża prędkość powietrza trafiająca w otoczenie użytkownika powodująca dyskomfort związany z odczuwaniem przeciągu. Jednocześnie strumień powietrza świeżego był dość wąski i obejmował niewielką przestrzeń w otoczeniu człowieka.

Rozpatrując natomiast zastosowanie PV do miejscowego ogrzewania/chłodzenia użytkownika można zaobserwować (na podstawie przeglądu literatury fachowej [5–7, 10–11, 12–38]), że urządzeniami, które umożliwiają indywidualną regulację zarówno ilości powietrza i kierunku nawiewanego powietrza jest wyłącznie urządzenie PEM. Ponadto większość urządzeń nie umożliwia regulacji temperatury lub/i prędkości nawiewanego powietrza.

Podsumowując powyższy przegląd rozwiązań można zauważyć następujące zależności:

- większość urządzeń wentylacji indywidualnej bazuje wyłącznie na dostarczaniu powietrza świeżego w strefę oddychania człowieka, nie umożliwiając regulacji kierunku, temperatury i prędkości nawiewanego powietrza,
- dostarczając duże ilości powietrza świeżego przez niewielkich rozmiarów nawiewniki otrzymuje się wysokie prędkości nawiewanego powietrza (od 0,5 m/s). Dla takich wartości obserwowane jest odczuwanie przez użytkowników przeciągu i niezadowolenia z nadmiernego ruchu powietrza,
- w pomieszczeniach wymagających zachowania wysokiej klasy czystości powietrza, jak np. sale operacyjne w szpitalach, pomieszczenia do produkcji elektroniki, farmaceutyków, itp. urządzenia wentylacji indywidualnej powinny umożliwiać pobieranie powietrza z wnętrza pomieszczenia, jego dalsze oczyszczanie w wielostopniowym układzie filtracyjnym oraz właściwe rozprowadzenie przygotowanego powietrza w pomieszczeniu – istotne tu są parametry jakości powietrza, rozdziału powietrza i czystości powietrza,
- dostępne na rynku urządzenia PV są przeznaczone dla pojedynczego pracownika/człowieka, jednak są przypadki/miejsca, gdzie nie możliwym jest ustawienie takiego urządzenia dla każdego z pracowników (brak miejsca, specyfika przeznaczenia pomieszczenia, pozostałe wyposażenie, swoboda ruchów człowieka), wtedy wymagane jest skonstruowanie urządzenia wpływającego jednocześnie na grupę ludzi, jednak z zastrzeżeniem, że każdy człowiek będzie miał możliwość indywidualnego sterowania i wykorzystania urządzenia.

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie do lokalnego chłodzenia/grzania człowieka.

Urządzenie do lokalnego chłodzenia/grzania człowieka składające się z trzech zespołów:

- i) z agregatu chłodniczo-grzewczego wyposażonego w czujnik wilgotności względnej powietrza i czujnik temperatury powietrza umieszczonych przed wlotem do nawiewnika, adsorbera z silikażelem umieszczonego na przewodzie doprowadzającym powietrze do nawiewnika, tłumika akustycznego umieszczonego na przewodzie doprowadzającym powietrze do nawiewnika, układu wstępnej filtracji powietrza składającego się z wstępnego filtra powietrza na wlocie i wstępnego filtra powietrza na wylocie z agregatu, pozwalający na chłodzenie/grzanie powietrza w systemach wentylacji i klimatyzacji pomieszczeń oraz w urządzeniach indywidualnej wentylacji;
- ii) panelu sterowniczego do regulacji mocy chłodniczej, temperatury powietrza i strumienia objętości powietrza;
- iii) nawiewnika,

który charakteryzuje się tym, że składa się z modułowego kolektora, do którego zamocowane są zestawy elastycznych rurowych ramion, przy czym elastyczne rurowe ramiona mocowane są do modułowego kolektora za pomocą łączników oraz do kolejnych elastycznych ramion w zestawie szeregowo za pomocą łączników i każdy zestaw zakończony jest przepustnicą a na przewodzie zamontowany jest filtr HEPA.

Nawiewnik posiada konstrukcję modułową z indywidualną regulacją kierunku, temperatury i prędkości nawiewanego powietrza.

Przedmiot wynalazku został zilustrowany na rysunku, na którym Fig. 1 przedstawia schemat pojedynczego badania z udziałem ochotników, Fig. 2 Wrażenia cieplne ochotników w temperaturze otoczenia t_a 22°C, Fig. 3 Wrażenia cieplne ochotników w temperaturze otoczenia t_a 25°C, Fig. 4 Wrażenia cieplne ochotników w temperaturze otoczenia dla wariantu 22/20/0,5, Fig. 5 Wrażenia cieplne ochotników w temperaturze otoczenia dla wariantu 22/18/0,5, Fig. 6 Wrażenia cieplne ochotników w temperaturze otoczenia dla wariantu 22/20/0,3, Fig. 7 Wrażenia cieplne ochotników w temperaturze otoczenia dla wariantu 22/18/0,3, Fig. 8 Wrażenia cieplne ochotników w temperaturze otoczenia dla wariantu 25/20/0,5, Fig. 9 Wrażenia cieplne ochotników w temperaturze otoczenia dla wariantu 25/18/0,5, Fig. 10 Wrażenia cieplne ochotników w temperaturze otoczenia dla wariantu 25/20/0,3, Fig. 11 Wrażenia cieplne ochotników w temperaturze otoczenia dla wariantu 25/18/0,3, Fig. 12 odpowiedzi ochotników dot. zmiany nawiewu na inną część ciała w temperaturze otoczenia 22°C, Fig. 13 Odpowiedzi ochotników dot. zmiany nawiewu na inną część ciała w temperaturze otoczenia 25°C, Fig. 14 Odpowiedzi ochotników dot. możliwości przyjęcia dogodnej pozycji ciała przy stole operacyjnym, Fig. 15 Odpowiedzi ochotników na pytanie czy urządzenie przeszkadza w wykonywaniu zadanych czynności, Fig. 16 Schemat pojedynczego badania w szpitalu, Fig. 17 Ogólne wrażenia cieplne Pracownia 1, Fig. 18 Ogólne wrażenia cieplne Pracownia 2, Fig. 19 Ogólne wrażenia cieplne – Pracownia 3, Fig. 20 Widok urządzenia z boku, Fig. 21 Widok urządzenia z góry.

Urządzenie do lokalnego chłodzenia/grzania człowieka składa się z trzech zespołów:

- i) z agregatu chłodniczo-grzewczego 1 wyposażonego w czujnik wilgotności względnej powietrza 2 i czujnik temperatury powietrza 3 umieszczonych przed wlotem do nawiewnika 4, adsorbera z silikażelem 5 umieszczonego na przewodzie 6 doprowadzającym powietrze do nawiewnika 4, tłumika akustycznego 7 umieszczonego na przewodzie 6 doprowadzającym powietrze do nawiewnika 4, układu wstępnej filtracji powietrza składającego się z wstępnego filtra powietrza 8a na wlocie i wstępnego filtra powietrza 8b na wylocie z agregatu;
- ii) panelu sterowniczego 9 do regulacji mocy chłodniczej, temperatury powietrza i strumienia objętości powietrza;
- iii) nawiewnika 4,

charakteryzuje się tym, że nawiewnik 4 składa się z modułowego kolektora 4e, do którego zamocowane są zestawy elastycznych rurowych ramion 4a, przy czym elastyczne rurowe ramiona 4a mocowane są do modułowego kolektora 4e za pomocą łączników 4b oraz do kolejnych elastycznych ramion 4a w zestawie szeregowo za pomocą łączników 4b i każdy zestaw zakończony jest przepustnicą 4c a na przewodzie 6 zamontowany jest filtr HEPA 10.

Agregat chłodniczo-grzewczy 1 wraz z panelem sterowania 9:

- wyposażono w bezprzewodowe sterowanie wszystkimi podstawowymi funkcjami urządzenia jak moc chłodnicza, temperatura powietrza wylotowego i strumienia objętości powietrza,
- umożliwia regulację mocy chłodniczej w zakresie do 4kW,
- ma możliwość płynnej regulacji temperatury wylotowej od 15–25°C,

- umożliwia płynną regulację strumienia objętości powietrza w minimalnym zakresie 0–200 Nm³/h,
- został wyposażony w funkcje zbierania kondensatu do osobnego wymiennego zbiornika nie uwidocznionego na rysunku,
- zawiera układ wielostopniowej filtracji powietrza (współdziałanie filtrów wstępnych z filtrem wysokoskutecznym) służący do dezynfekcji powietrza zarówno chłodnego jak i ciepłego,
- zawiera sprężarkę napędzaną silnikiem w 100% chłodzonymi parami czynnika chłodniczego,
- zawiera przewód ciepłego powietrza o minimalnej długości 3 m umożliwiający odprowadzenie nadmiaru ciepła,
- został wyposażony w układ umożliwiający stosowanie go w opcji grzania,
- posiada funkcję stabilizacji wilgotności chłodnego powietrza i jednocześnie utrzymuje wilgotność powietrza wyjściowego na poziomie nieprzekraczającym 50% wilgotności względnej powietrza,
- nie generuje hałasu > 52dB.

Konstrukcja modułowa nawiewnika 4:

- umożliwia instalowanie elastycznych ramion 4a w poziomie lub w pionie,
- umożliwia dopasowanie nawiewu do konstrukcji np. stołu operacyjnego, procesu technologicznego, itp.,
- można regulować długość nawiewnika 4 poprzez dokładanie lub odejmowanie modułów (aktualnie do dyspozycji są 3 moduły),
- każdy moduł, może zostać szczelnie podłączony w osi konstrukcji pod dowolnym kątem (360°),
- geometria nawiewnika 4 umożliwia osiąganie prędkości liniowej powietrza na wylocie w zakresie do 2 m/s,
- każdy z 3 modułów nawiewnika 4 wyposażony jest w rozłączne elastyczne ramię nawiewowe 4a o regulowanej długości,
- ramię 4a zakończone jest przepustnicą 4c z regulacją kierunku nawiewu powietrza,
- ramię 4a wykonane z materiałów wytrzymałych na procedurę sterylizacji termicznej,
- nawiewnik 4 został umieszczony na mobilnej ramie 11 o regulowanej wysokości, szerokości i długości podpory,
- zainstalowane zostały kółka z hamulcami, zapewniającymi stabilność (w pozycji „lock”) oraz mobilność zestawu (w pozycji „unlock”).

Wyniki badań weryfikacyjnych

Przykładowe zastosowanie jako urządzenie do lokalnego chłodzenia/grzania dla personelu medycznego na salach operacyjnych (pod stół operacyjny).

Badania weryfikacyjne podzielono na 3 etapy:

1. Badania efektywności chłodzenia modelu urządzenia – badania z wykorzystaniem manekina termicznego
2. Badania odczuć subiektywnych ochotników symulujących pracę chirurgów przy stole operacyjnym – badania laboratoryjne
3. Badania odczuć subiektywnych chirurgów oraz personelu medycznego na salach operacyjnych – badania rzeczywiste

Badania z wykorzystaniem manekina zostały potraktowane jako badania wstępne, na podstawie których ustalano parametry modelu urządzenia do badań w udziale ochotników w warunkach laboratoryjnych i rzeczywistych. Poniżej zamieszczono wyniki badań z udziałem ochotników.

Ad.2

W badaniach wzięło udział 8 ochotników. Na podstawie wyników badań z wykorzystaniem manekina termicznego Newton, wytypowano 8 wariantów do badań z udziałem ochotników.

Wytypowano temperatury otoczenia t_a 25°C i 22°C. W przypadku temperatury nawiewanego powietrza, największe różnice w temperaturze ekwiwalentnej (badania z wykorzystaniem manekina termicznego) odnotowano dla t_n 18°C a następnie 20°C. W przypadku prędkości przepływu powietrza, największe różnice odnotowano dla największej prędkości czyli 1,0 m/s mierzonej w okolicach nawiewnika, dające przepływ powietrza w okolicy twarzy na poziomie 0,4–0,5 m/s. Wartość ta jest jednak dość

duża i może powodować odczuwanie dyskomfortu przez użytkownika (np. z powodu wysuszenia spojówek). Zakłada się, iż prędkość przepływu w granicach 0,3 m/s nie powoduje odczuwania dyskomfortu, dlatego także i dla wartości przepływu 0,2–0,3 m/s (mierzonej w okolicy twarzy) wykonano badania.

W ramach badań laboratoryjnych z udziałem ochotników wykonano 8 wariantów badań. Szczegółowe informacje zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1 Szczegółowy opis wariantów badań z udziałem ochotników

wariant	t_a , °C	t_n , °C	Średnia wartość V_n [m/s] mierzona na wysokości twarzy
I	22	20	0,2÷0,3
II			0,4÷0,5
III		18	0,2÷0,3
IV			0,4÷0,5
V	25	20	0,2÷0,3
VI			0,4÷0,5
VII		18	0,2÷0,3
VIII			0,4÷0,5

W trakcie badań ochotnicy wypełniali ankietę dot. odczuć subiektywnych podzieloną na takie sfery jak: ocena środowiska cieplnego, ocena środowiska akustycznego, ocena jakości powietrza oraz ocena produktywności. Dodatkowo ochotnicy odpowiadali na pytania dot. ergonomicznej oceny urządzenia. Analizowano częstości występowania danej odpowiedzi (wyrażone w procentach) w poszczególnych pytaniach.

Pomiędzy ankietami, ochotnicy proszeni byli o wykonywanie drobnych prac manualnych oraz w celu zaangażowania także umysłowego ochotnicy rozwiązywali także sudoku. Wykonywane prace miały za zadanie zasymulować pracę manualną chirurgów i ich wykonywanie nie było przedmiotem późniejszych analiz.

Schemat prowadzenia badania wyglądał następująco. Pierwsza godzina badania prowadzona była przy wyłączonym urządzeniu (jako wartość odniesienia), następnie przez 1 godzinę badano jeden wariant badania i przez kolejną godzinę kolejny wariant (Fig. 1).

W pojedyńczym badaniu brało udział 4 ochotników, którzy przy stole operacyjnym wykonywali lekkie prace manualne oraz sudoku. Ochotnicy ubrani byli w zestaw odzieży chirurgicznej składający się z: bielizny operacyjnej (bluza i spodnie), fartucha chirurgicznego COMFORT PLUS, skarpet oraz butów sportowych. Na każdego z ochotników skierowany był jeden nawiewnik.

Wyniki ankiet

Analizę uzyskanych odpowiedzi z ankiet podzielono na 5 części: ocenę środowiska cieplnego, ocenę środowiska akustycznego, ocenę jakości powietrza, ocenę produktywności oraz ocenę ergonomii urządzenia. Analizowano częstości występowania danej odpowiedzi (wyrażone w procentach) w poszczególnych pytaniach.

Ocena środowiska cieplnego

Poniżej zamieszczono przykładowe pytanie z ankiety dot. oceny środowiska cieplnego wraz z odpowiedziami ochotników. Zestawiono na wykresach 3 okresy: 0 min – w momencie początkowym, 30 min – po 30 minowej ekspozycji na dane warunki oraz 60 min – po 60 minutach przebywania w danym środowisku cieplnym.

Wrażenia cieplne w skali -3 ÷ +3 (zimno÷gorąco) oceniane są w skali ASHRAE, opartej na wskaźniku PMV – subiektywnej oceny komfortu cieplnego. Zakłada się iż w rozszerzonym zakresie, ochotnicy odczuwają komfort cieplny w przedziale -1 ÷ 0 ÷ +1 (lekko chłodno÷obojętnie÷lekko ciepło).

Pytanie 1. Określ swoje wrażenia cieplne

Przy wyłączonym urządzeniu:

W temperaturze otoczenia 22°C, na początku badania 43% ochotników na pytanie o wrażenia cieplne zaznaczyło odczucie „obojętnie” i odpowiednio 57% – „lekko ciepło”, a więc w zakresie odczuwania komfortu cieplnego. Po 30 minutach oraz po 60 minutach proporcje te uległy zmianie. Po 1 godzinie przebywania ochotników, ubranych w zestaw odzieży chirurgicznej, w środowisku o temperaturze otoczenia 22°C, tylko 14% określało swoje odczucia jako „obojętnie”, 43% „lekko ciepło” a 43% odpowiedziało, że odczuwa „ciepło” (Fig. 2).

Na podstawie wykresu (Fig. 3) można stwierdzić, iż w czasie 1 h badania w temperaturze otoczenia 25°C, ocena odczuć cieplnych ochotników (ubranych w zestaw odzieży chirurgicznej) pogarszała się. Na początku 13% ochotników na pytanie o wrażenia cieplne zaznaczyło odpowiedź „ciepło”, po 30 min wartość ta zwiększyła się do 63%, a po 60 min „ciepło” i „gorąco” zaznaczyło po 25% ochotników. Można zatem stwierdzić, iż przebywanie w ta 25°C przez 1 h u 50% ochotników powoduje odczuwanie dyskomfortu cieplnego.

Dla włączonego urządzenia, dla wariantów I–IV (w temperaturze otoczenia t_a 22°C)

Poniżej zamieszczono odpowiedzi ochotników dla poszczególnych wariantów opisanych poprzez schemat: $t_a/t_n V_n$ – temperatura otoczenia/temperatura nawiewanego powietrza/prędkość przepływu powietrza mierzona na wysokości twarzy ochotników.

W temperaturze otoczenia t_a 22°C, zastosowanie nawiewanego powietrza z prędkością ok. 0,5 m/s na wysokości twarzy, o temperaturze t_n 20°C, powodowało iż po 30 min zmniejszył się procent ochotników odczuwających „ciepło” na rzecz odpowiedzi „lekko ciepło”. Natomiast po kolejnych 30 minutach, 50% ochotników zaznaczyło odpowiedź „lekko chłodno”, 38% „obojętnie” oraz 13% „lekko ciepło” a więc wszystkie odpowiedzi mieściły się w zakresie odczuwania komfortu cieplnego (Fig. 4).

Zmniejszenie temperatury nawiewanego powietrza do t_n 18°C, powodowało, iż po 30 min 25% ochotników stwierdziło, iż jest im „chłodno”, ~13% „lekko chłodno”, 50% „obojętnie” i 13% „lekko ciepło”. Po kolejnych 30 minutach ekspozycji, po 12,5% ochotników odpowiedziało „zimno” oraz „chłodno”, po 37,5% „lekko chłodno” i „obojętnie” (Fig. 5).

W temperaturze otoczenia t_a 22°C, nawiewane powietrze o temperaturze t_n 20°C, z mniejszą prędkością ~0,3 m/s na wysokości twarzy powodowało, iż po 60 min ekspozycji w zakresie odczuwania komfortu cieplnego znalazło się ok. 85% ochotników (Fig. 6).

W temperaturze otoczenia t_a 22°C, nawiewane powietrze o temperaturze t_n 18°C, z mniejszą prędkością ~0,3m/s na wysokości twarzy powodowało, iż po 60 min ekspozycji w zakresie odczuwania komfortu cieplnego znalazło się ok. 86% ochotników (Fig. 7).

Dla włączonego urządzenia, dla wariantów V–VIII (w temperaturze otoczenia t_a 25°C)

Po 30 minutach od włączenia urządzenia w temperaturze otoczenia 25°C, o temperaturze nawiewu 20°C i prędkości na wysokości twarzy 0,5 m/s odnotowano, iż zwiększył się procent odpowiedzi mówiących o odczuciu komfortu cieplnego (z 50% na ~63%). Po 1 h działania urządzenia w tych warunkach ~88% ochotników odczuwało komfort cieplny (Fig. 8).

Po 30 minutach od włączenia urządzenia w temperaturze otoczenia 25°C, o temperaturze nawiewu 18°C i prędkości na wysokości twarzy 0,5 m/s odnotowano, iż zwiększył się procent odpowiedzi mówiących o odczuciu komfortu cieplnego (z 88% na ~100%). Po 1 h działania urządzenia w tych warunkach ~88% ochotników odczuwało komfort cieplny (Fig. 9).

Po 60 minutach po włączeniu urządzenia, w temperaturze otoczenia t_a 25°C, nawiewane powietrze o temperaturze t_n 20°C, z mniejszą prędkością ~0,3m/s na wysokości twarzy powodowało, zwiększył się procent ochotników odczuwających komfort cieplny z ~29% do 100% (Fig. 10).

Dla wariantu 25/18/0,3 nie zaobserwowano po zastosowaniu urządzenia poprawy odczuć komfortu cieplnego (Fig. 11).

Pytanie 21. Czy wolałbyś aby nawiew skierowany był na inną część ciała?

Dla włączonego urządzenia, dla wariantów I–IV (w temperaturze otoczenia t_a 22°C)

W większości przypadków ochotnicy proponowali skierowanie nawiewu na inną część ciała (Fig. 12). Docelowo modułowość i elastyczność ramion urządzenia pozwala na wykonanie w/w czynności.

Dla włączonego urządzenia, dla wariantów V–VIII (w temperaturze otoczenia t_a 25°C)

Również podczas badań w temperaturze otoczenia 25°C, w większości przypadków ochotnicy proponowali skierowanie nawiewu na inną część ciała (Fig. 13). Docelowo modułowość i elastyczność ramion urządzenia pozwala na wykonanie w/w czynności.

Pytanie 22. Czy urządzenie pozwala na przyjęcie dogodnej pozycji ciała przy stole operacyjnym?

Zdecydowana większość ochotników stwierdziła, iż zastosowane urządzenie pozwala na przyjęcie dogodnej pozycji ciała przy stole operacyjnym (Fig. 14).

Pytanie 23. Czy urządzenie przeszkadza w wykonywaniu zadanych czynności?

Zdecydowana większość ochotników stwierdziła, iż urządzenie nie przeszkadza w wykonywaniu zadanych czynności (Fig. 15).

PODSUMOWANIE:

W ramach badań z udziałem ochotników, przeprowadzono 8 wariantów badań, dla różnych wartości temperatury otoczenia (t_a : 20°C, 25°C), temperatury nawiewu (t_n : 18°C, 20°C) oraz prędkości przepływu nawiewanego powietrza (mierzona na wysokości twarzy V_n : 0,3 m/s, 0,5 m/s). Ochotnicy podczas badań wykonywali lekkie prace manualne oraz zadania matematyczne. Przez cały czas ochotnicy ubrani byli w taki sam zestaw odzieży, jaki zastosowany został na manekinie termicznej.

Podsumowując, badania z udziałem ochotników potwierdziły działanie modelu urządzenia chłodzącego. Zastosowanie modelu urządzenia, wpływało pozytywnie na odczuwanie komfortu cieplnego w każdych z przeprowadzonych wariantów badania. Po 60 minutowej ekspozycji na środowiska 22/18/0,5 lub 20/18/0,3 ($t_a/t_n/V_n$), ochotnicy wykazywali odczucia cieplne w zakresie „zimno” bądź „chłodno” (czyli poza odczuwaniem komfortu cieplnego). Należy jednak pamiętać, iż te ustawienia urządzenia mogą sprawdzić się na salach podczas operacji, w czasie których na człowieka wpływają dodatkowe czynniki jak: stres, adrenalina, poczucie odpowiedzialności jak również środowisko zewnętrzne: specjalistyczny sprzęt, lampy.

W temperaturze otoczenia 22°C, zastosowane urządzenie pozytywnie wpływało na odczucia komfortu na m.in. takich częściach jak: twarz, klatka piersiowa czy biodra. Na tej ostatniej części ciała, z powodu punktowego/miejscowego przepływu powietrza często ochotnicy przesuwali odpowiedzi w kierunku odczuwania chłodu. W temperaturze otoczenia 25°C, zastosowane również pozytywnie wpływało na w/w części ciała powodując w większości odczuwanie komfortu cieplnego (zwłaszcza w okolicy bioder).

Zastosowane urządzenie pozytywnie wpływało na odbieranie przez ochotników otaczającego środowiska, w temperaturze otoczenia 25°C (poczucie środowiska jako „komfortowe”).

Ochotnicy również twierdzili, iż po włączeniu urządzenia, w pomieszczeniu robi się mniej duszno (dla wszystkich wariantów badania), znacznie przewiewnie (głównie dla prędkości nawiewanego powietrza 0,5 m/s). Pod kątem suchości powietrza oraz wysuszania oczu (spojówek) nie zaobserwowano zmian po zastosowaniu urządzenia. Zastosowanie urządzenia nie wpływało zatem negatywnie na w/w przypadki.

Oceny ochotników pod kątem jakości powietrza wykazały brak wpływu urządzenia na ten parametr. Zastosowanie urządzenia nie wpływało zatem negatywnie na w/w parametr.

Oceniając urządzenie pod kątem ergonomicznym, ochotnicy chcieliby, aby nawiew nie był miejscowy (a bardziej rozproszony). Mógłby być skierowany również na inne części ciała, głównie wymieniono: kark, twarz, plecy oraz klatkę piersiową, na co pozwala modułowość i elastyczność ramion urządzenia. Ochotnicy stwierdzili również, iż urządzenie nie powoduje problemów z przyjęciem dogodnej pozycji ciała przy stole operacyjnym i nie wpływa na wykonywanie czynności.

Ad. 3.

Na przeprowadzenie badań działania modelu urządzenia chłodzącego uzyskano zgodę na oddziałach takich jak:

- Pracownia 1: zajmująca się m.in. problemem nadciśnienia tętniczego
- Pracownia 2: zajmująca się problemami urologicznymi
- Pracownia 3: zajmująca się m.in. kardiologią

Badania prowadzono po zakończonych zabiegach. Uczestniczyli w nich pracownicy poszczególnych bloków operacyjnych. W ramach badań w warunkach rzeczywistych zastosowano metodykę wykorzystywaną podczas badań laboratoryjnych z ochotnikami. Pracownicy proszeni byli o wykonywanie drobnych prac manualnych. Czas i precyzja wykonywanych zadań nie były przedmiotem analizy, miały one jedynie zasymulować pracę przy stole operacyjnym. Pracownicy bloków operacyjnych wypełniali również ankiety dot. odczuć subiektywnych. Analizowano częstości występowania danej odpowiedzi

(wyrażone w procentach) w poszczególnych pytaniach dla testowanych wariantów. Z powodu dużej ilości operacji i umiarkowanej dostępności personelu, skrócono czas trwania poszczególnych etapów.

Wyniki badań

Z racji, iż badania prowadzono na różnych oddziałach, przy różnej specyfice wykonywanych zabiegów i operacji, wyniki z badań w warunkach rzeczywistych omówiono oddzielnie dla każdej z sal operacyjnych. W czasie prac manualnych pracownicy wykonywali zadania oparte na próbach pracy opisane w metodyce dot. badań w udziałem ochotników (Fig. 16). Analizowano częstości występowania danej odpowiedzi (wyrażone w procentach) w poszczególnych pytaniach. W czasie badań rejestrowane były również parametry mikroklimatu panujące na sali operacyjnej.

Pracownia 1

Podczas prowadzenia badań w sali operacyjnej zmierzono wartości parametrów mikroklimatu: temperatura otoczenia $22,04 \pm 0,04^{\circ}\text{C}$, wilgotność względna $32,88 \pm 0,29\%$, prędkość przepływu powietrza $0,04 \pm 0,04$ m/s. Wszystkie operacje wykonywane na tej sali wykonywane są przy użyciu fartuchów ołowianych z użyciem lamp rentgenowskich.

W badaniach prowadzonych na sali operacyjnej wzięło udział 3 pracowników: chirurg oraz dwie pielęgniarki instrumentariuszki. Pracownicy ubrani byli w odzież chirurgiczną oraz fartuchy ołowiane.

Poniżej zamieszczono poszczególne pytania z ankiety dot. oceny środowiska cieplnego wraz z odpowiedziami pracowników bloku. Zestawiono na wykresach: *początek badania* – w momencie startowym, *30 min* bez urządzenia – po 30 minowej ekspozycji na zastane warunki, *30 min t_n/V_n* – po 30 min ekspozycji na nawiew o temperaturze t_n i prędkości V_n na wysokości twarzy, *45 min t_n/V_n* – po 45 min ekspozycji na nawiew o temperaturze t_n i prędkości V_n na wysokości twarzy.

Wrażenia cieplne w skali $-3 \div +3$ (zimno÷gorąco) oceniane są w skali ASHRAE, opartej na wskaźniku PMV – subiektywnej oceny komfortu cieplnego. Zakłada się iż w rozszerzonym zakresie, ochotnicy odczuwają komfort cieplny w przedziale $-1 \div 0 \div +1$ (lekko chłodno÷obojętnie÷lekko ciepło).

Pytanie 1. Określ swoje wrażenia cieplne

Po 30 minutach w zastanym środowisku odnotowano 67% odpowiedzi „lekko ciepło” i 33% „obojętnie”. Po włączeniu urządzenia poprawiły się odczucia cieplne pracowników do 67% „obojętnie”. Po kolejnych 15 minutach 33% na „lekko chłodno”. Po kolejnych 45 minutach przy większej prędkości przepływu powietrza 100% „lekko chłodno” (Fig. 17).

Pracownia 2

Podczas prowadzenia badań w sali operacyjnej zmierzono wartości parametrów mikroklimatu: temperatura otoczenia $20,51 \pm 0,14^{\circ}\text{C}$, wilgotność względna $39,14 \pm 0,57\%$, prędkość przepływu powietrza $0,02 \pm 0,02$ m/s. Sala operacyjna znajdowała się na ostatnim piętrze. Wg pracowników największym źródłem hałasu jest ssak, który odsysa krew podczas operacji i jest usytuowany zaraz przy stole operacyjnym. Pracownicy ubrani byli w odzież chirurgiczną oraz fartuchy chirurgiczne.

W badaniach prowadzonych na sali operacyjnej wzięło udział 3 pracowników: chirurg oraz dwie pielęgniarki instrumentariuszki.

Poniżej zamieszczono poszczególne pytania z ankiety dot. oceny środowiska cieplnego wraz z odpowiedziami pracowników bloku. Zestawiono na wykresach: *początek badania* – w momencie startowym, *30 min* bez urządzenia – po 30 minowej ekspozycji na zastane warunki, *30 min t_n/V_n* – po 30 min ekspozycji na nawiew o temperaturze t_n i prędkości V_n na wysokości twarzy, *45 min t_n/V_n* – po 45 min ekspozycji na nawiew o temperaturze t_n i prędkości V_n na wysokości twarzy.

Wrażenia cieplne w skali $-3 \div +3$ (zimno ÷ gorąco) oceniane są w skali ASHRAE, opartej na wskaźniku PMV – subiektywnej oceny komfortu cieplnego. Zakłada się iż w rozszerzonym zakresie, ochotnicy odczuwają komfort cieplny w przedziale $-1 \div 0 \div +1$ (lekko chłodno ÷ obojętnie ÷ lekko ciepło).

Pytanie 1. Określ swoje wrażenia cieplne

Po 30 minutach w zastanym środowisku odnotowano 67% odpowiedzi „lekko ciepło” i 33% „ciepło”. Po włączeniu urządzenia poprawiły się odczucia cieplne pracowników po 33% udzielono odpowiedzi: „ciepło”, „obojętnie” oraz „lekko chłodno”. Po kolejnych 15 min po 33% udzielono odpowiedzi „lekko chłodno” i „chłodno”. Po kolejnych 30 min przy większej prędkości przepływu powietrza udzielono odpowiedzi po 33% „ciepło”, lekko ciepło i „chłodno” (Fig. 18).

Pracownia 3

Podczas prowadzenia badań w sali operacyjnej zmierzono wartości parametrów mikroklimatu: temperatura otoczenia $23,03 \pm 0,14^{\circ}\text{C}$, wilgotność względna $30,44 \pm 0,46\%$, prędkość przepływu powietrza $0,05 \pm 0,03 \text{ m/s}$.

Z racji specyfiki prowadzonych operacji, na sali operacyjnej znajdowały się m.in. lampy rentgenowskie, które (wg personelu) stanowią główne źródło ciepła oraz hałasu. Jednak z powodów bezpieczeństwa nie uruchamiano lamp w trakcie badań. Sala operacyjna wyposażona była w system wentylacji, który odpowiadał za częstą wymianę zjonizowanego powietrza. Wg pracowników wymiana powietrza następuje 7-krotnie w czasie 1 h pracy z lampami rentgenowskimi.

Podczas badań pracownicy ubrani byli w odzież i fartuchy chirurgiczne. Z racji, iż w tej pracowni wykonuje się także operacje bez użycie ołowianego fartucha, taki też wariant badania został przeprowadzony.

W badaniach prowadzonych na sali operacyjnej wzięło udział 3 pracowników: ratownik medyczny asystujący przy operacjach, pielęgniarka instrumentariuszka oraz technik obsługujący urządzenia.

Poniżej zamieszczono poszczególne pytania z ankiety dot. oceny środowiska cieplnego wraz z odpowiedziami pracowników bloku. Zestawiono na wykresach: *początek badania* – w momencie startowym, *30 min* bez urządzenia – po 30 minowej ekspozycji na zastane warunki, *45 min t_n/V_n* – po 45 min ekspozycji na nawiew o temperaturze t_n i prędkości V_n na wysokości twarzy.

Wrażenia cieplne w skali $-3 \div +3$ (zimno $\div$ gorąco) oceniane są w skali ASHRAE, opartej na wskaźniku PMV – subiektywnej oceny komfortu cieplnego. Zakłada się iż w rozszerzonym zakresie, ochotnicy odczuwają komfort cieplny w przedziale $-1 \div 0 \div +1$ (lekko chłodno $\div$ obojętnie $\div$ lekko ciepło).

Pytanie 1. Określ swoje wrażenia cieplne

Po 30 minutach w zastanym środowisku odnotowano po 33% odpowiedzi „obojętnie”, „lekko ciepło” i „ciepło”. Po włączeniu urządzenia poprawiły się odczucia cieplne pracowników do 67% „lekko ciepło” i 33% „obojętnie”. Po kolejnych 45 min przy większej prędkości przepływu powietrza 67% „lekko ciepło” i 33% „ciepło” (Fig. 19).

PODSUMOWANIE

Pracownia 1:

Pod kątem środowiska cieplnego: zastosowane urządzenie wpływało pozytywnie na ogólną ocenę odczuć cieplnych pracowników, jak również na poszczególne partie ciała takie jak: prawa strona twarzy, klatka piersiowa, lewa strona twarzy, szyja, ręka oraz lewa noga. Urządzenie wpływało pozytywnie również na poczucie komfortu cieplnego. Zastosowanie urządzenia powodowało, iż pracownicy odczuwali środowisko w sali operacyjnej jako mniej duszne i bardziej przewiewne niż w przypadku wyłączonego urządzenia. Nie wpływało ono na suchość powietrza i oczu. Działanie urządzenia powodowało że pracownicy czuli się lepiej w środowisku pracy.

Pod kątem oceny jakości powietrza: włączenie urządzenia nie pogorszało oceny subiektywnej jakości powietrza w sali operacyjnej. Zastosowanie urządzenia nie wpływało zatem negatywnie na w/w parametr.

Pod kątem oceny produktywności: zastosowane urządzenie nie powodowało zmian w odczuciach dot. produktywności. Jedynie po zastosowaniu urządzenia odnotowano wzrost odpowiedzi na skali odczuć „wypoczęty – zmęczony” w kierunku „wypoczęty”.

Pracownia 2:

Pod kątem środowiska cieplnego: zastosowane urządzenie wpływało pozytywnie na ogólną ocenę odczuć cieplnych pracowników, zaobserwowano pozytywny wpływ działania również w rozbiciu na wszystkie partie ciała oprócz szyi. Urządzenie nie wpływało również na poczucie komfortu cieplnego. Zastosowanie urządzenia powodowało, iż pracownicy odczuwali środowisko w sali operacyjnej jako mniej duszne niż w przypadku wyłączonego urządzenia. Nie wpływało ono na suchość powietrza czy oczu. Działanie urządzenia powodowało że pracownicy czuli się bardziej rozbudzeni, oceniając środowisko cieplne jako akceptowalne.

Pod kątem oceny jakości powietrza: włączenie urządzenia nie pogorszało oceny subiektywnej jakości powietrza. Zastosowanie urządzenia nie wpływało zatem negatywnie na w/w parametr.

Pod kątem oceny produktywności: po zastosowaniu urządzenia zaobserwowano zwiększenie ilości odpowiedzi w kierunku odczuć: „skuteczny w działaniu” oraz „uważny”.

Pracownia 3:

Pod kątem środowiska cieplnego: zastosowane urządzenie wpływało pozytywnie na ogólną ocenę odczuć cieplnych pracowników, nie zaobserwowano jednak wpływu działania urządzenia w rozbiciu na poszczególne partie ciała. Urządzenie nie wpływało również na poczucie komfortu cieplnego. Zastosowanie urządzenia powodowało, iż pracownicy odczuwali środowisko w sali operacyjnej jako mniej duszne i bardziej przewiewne niż w przypadku wyłączonego urządzenia. Nie wpływało ono na suchość powietrza jednak powodowało lekkie podrażnienie spojówek. Działanie urządzenia powodowało że pracownicy czuli się „bardziej rozbudzeni”, czuli się lepiej w środowisku pracy, a środowisko ciepłe było oceniane jako akceptowalne.

Pod kątem oceny jakości powietrza: włączenie urządzenia wpływało na polepszenie odbierania subiektywnego jakości powietrza. Odnotowano więcej odpowiedzi „bez zapachu”.

Pod kątem oceny produktywności: zastosowane urządzenie powodowało iż pracownicy czuli się bardziej pozytywnie. Zaobserwowano również zwiększenie ilości odpowiedzi w kierunku odczuć: „odprężony”, „szczęśliwy”, „wypoczęty” oraz „zdolny do koncentracji”.

Należy również zauważyć, iż każda sala operacyjna (zastosowane w niej urządzenia i stoły operacyjne) różnią się od siebie. Również każdy z pracowników bloku operacyjnego posiadał własne preferencje dotyczące komfortowej temperatury otoczenia. Bardzo duży wpływ zmienności osobniczej obserwowano m.in. w przypadku pracowników bloku operacyjnego w Pracowni 2. Każdy z uczestników badania odbierał środowisko ciepłe inaczej. Jednakże dzięki modułowej konstrukcji i elastycznym ramionach urządzenie umożliwiało dostosowanie kierunku i prędkości przepływu powietrza do indywidualnych preferencji użytkownika.

Podsumowując, zastosowanie modelu urządzenia do lokalnego chłodzenia/grzania człowieka spotkało się z pozytywną oceną pracowników bloku operacyjnego. Na podstawie uzyskanych wyników z badań zarówno laboratoryjnych jak i rzeczywistych można stwierdzić, iż zastosowanie urządzenia wpływało na poprawę odczuć subiektywnych dot. środowiska cieplnego podczas prowadzonych badań.

Zastrzeżenie patentowe

1. Urządzenie do lokalnego chłodzenia/grzania człowieka składające się z trzech zespołów:
 - i) z agregatu chłodniczo-grzewczego (1) wyposażonego w czujnik wilgotności względnej powietrza (2) i czujnik temperatury powietrza (3) umieszczonych przed wlotem do nawiewnika (4), adsorbera z silikażelem (5) umieszczonego na przewodzie (6) doprowadzającym powietrze do nawiewnika (4), tłumika akustycznego (7) umieszczonego na przewodzie (6) doprowadzającym powietrze do nawiewnika (4), układu wstępnej filtracji powietrza składającego się z wstępnego filtra powietrza (8a) na wlocie i wstępnego filtra powietrza (8b) na wylocie z agregatu;
 - ii) panelu sterowniczego (9) do regulacji mocy chłodniczej, temperatury powietrza i strumienia objętości powietrza;
 - iii) nawiewnika (4),
znamiennie tym, że nawiewnik (4) składa się z modułowego kolektora (4e), do którego zamocowane są zestawy elastycznych rurowych ramion (4a), przy czym elastyczne rurowe ramiona (4a) mocowane są do modułowego kolektora (4e) za pomocą łączników (4b) oraz do kolejnych elastycznych ramion (4a) w zestawie szeregowo za pomocą łączników (4b) i każdy zestaw zakończony jest przepustnicą (4c) a na przewodzie (6) zamontowany jest filtr HEPA (10).

Rysunki

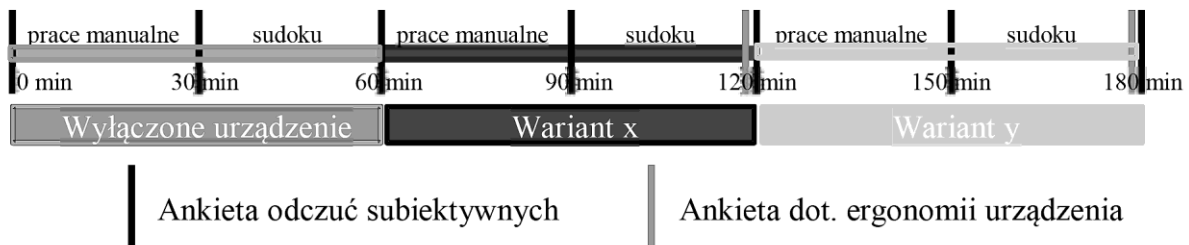


Fig. 1

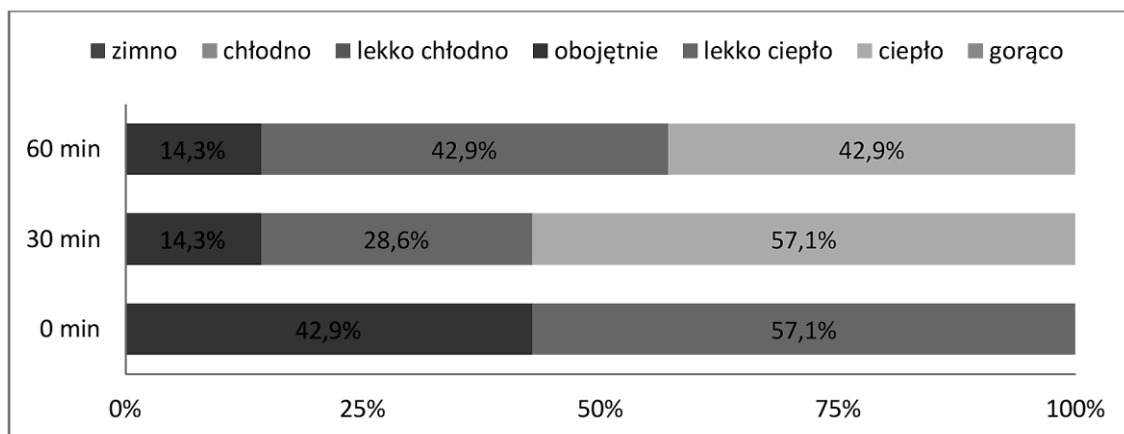


Fig. 2

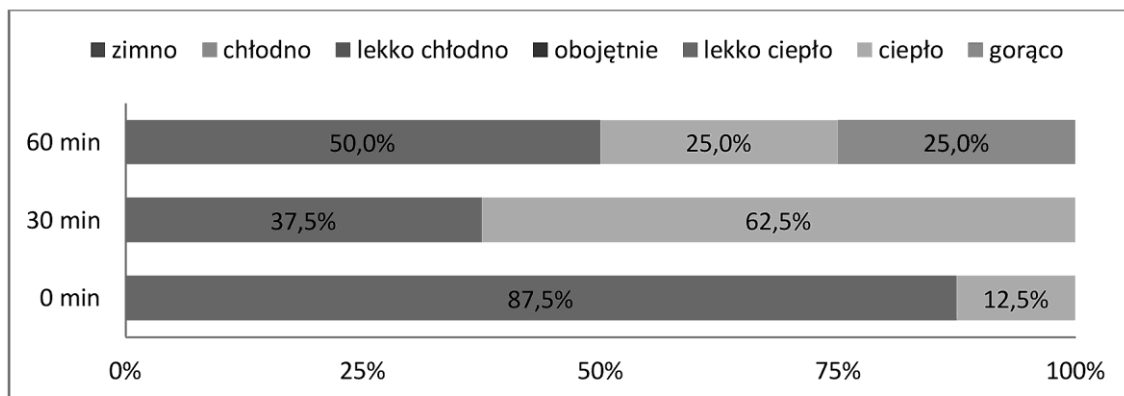


Fig. 3

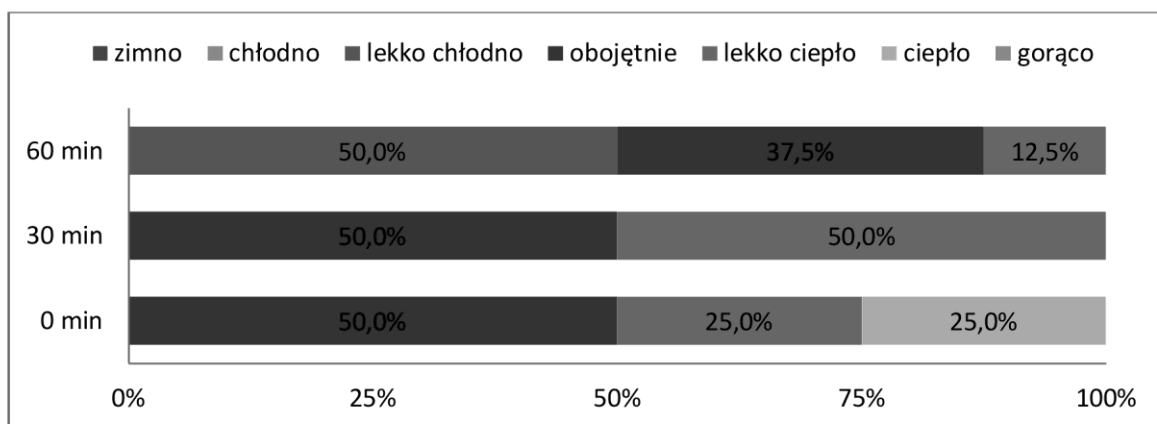


Fig. 4

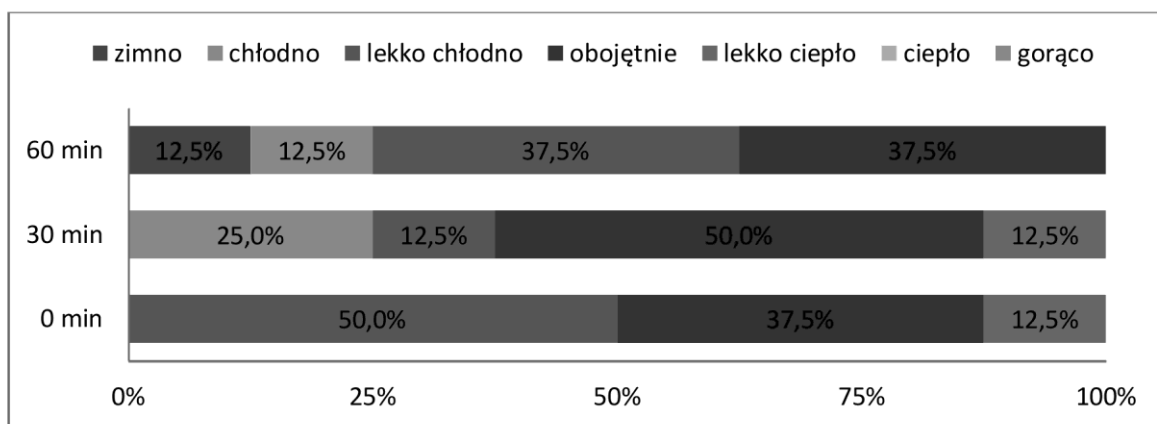


Fig. 5

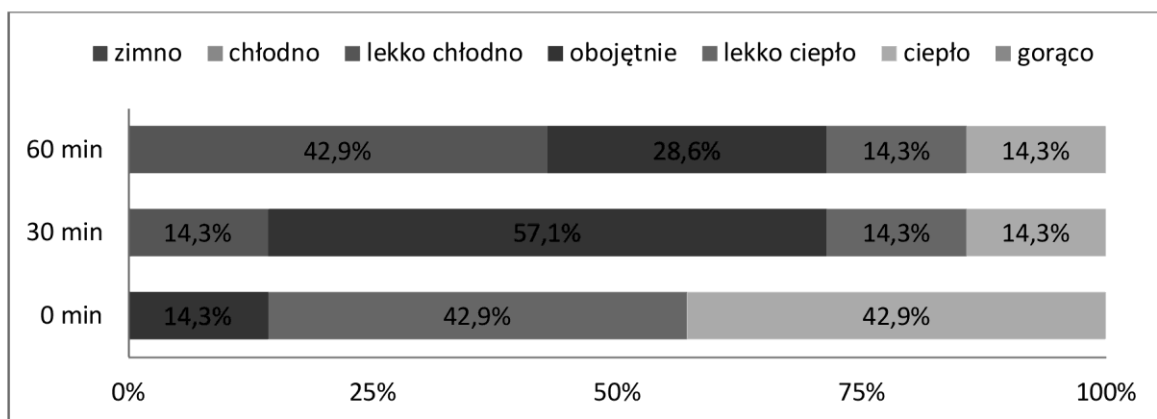


Fig. 6

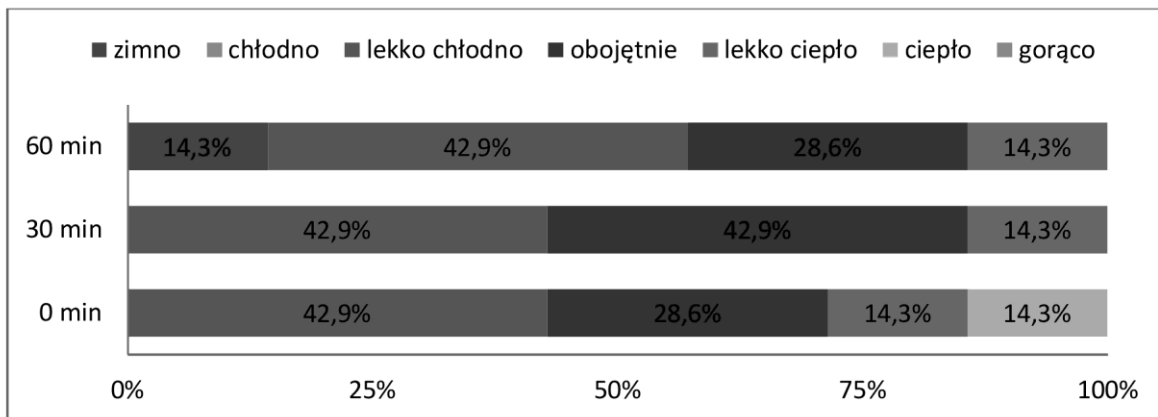


Fig. 7

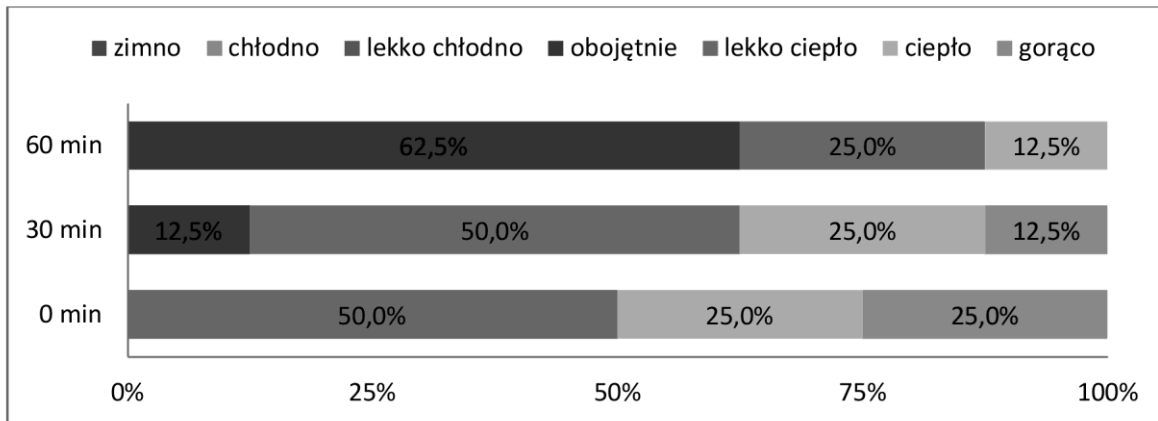


Fig. 8

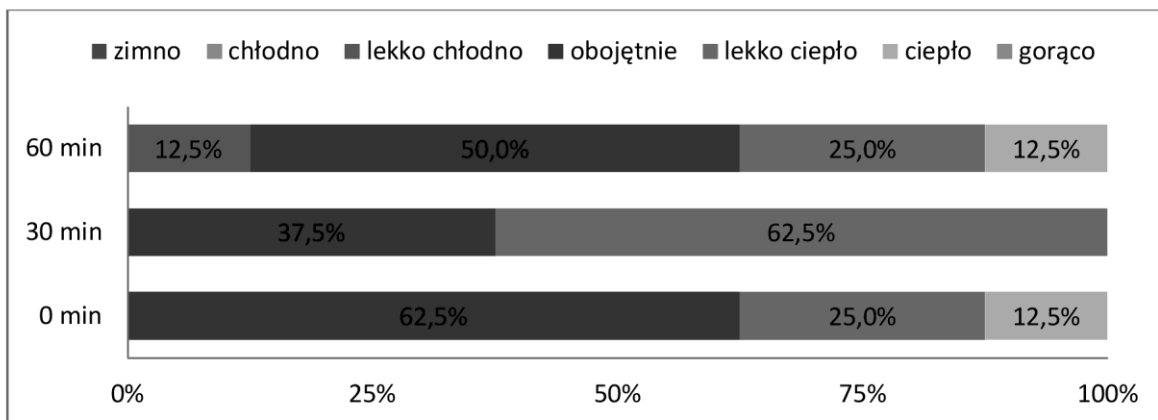


Fig. 9

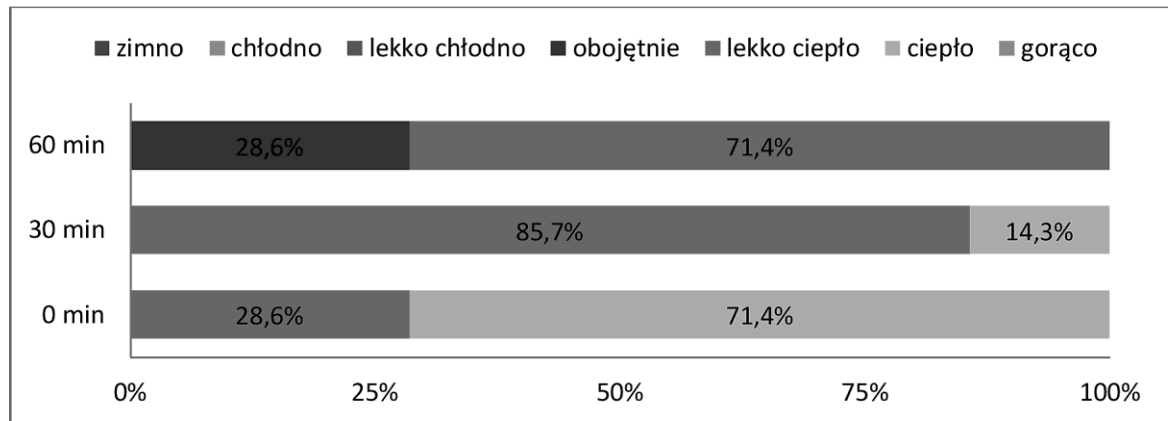


Fig. 10

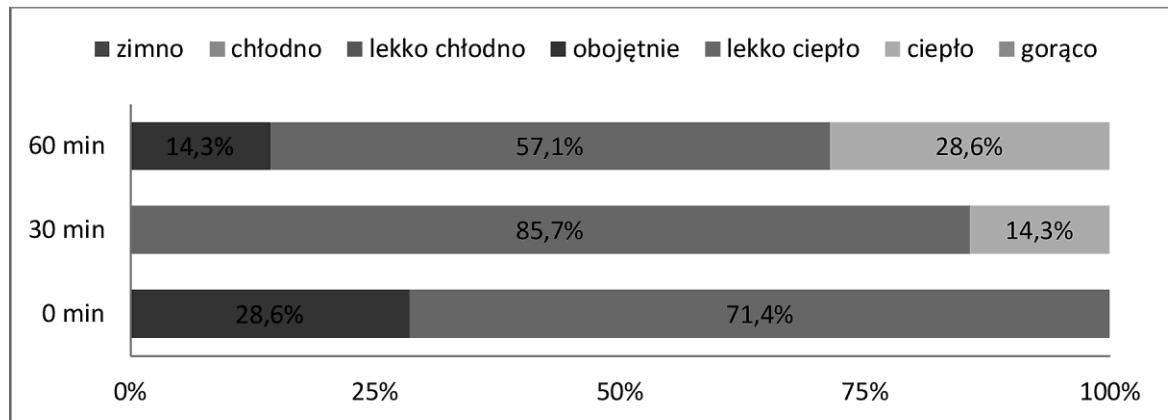


Fig. 11

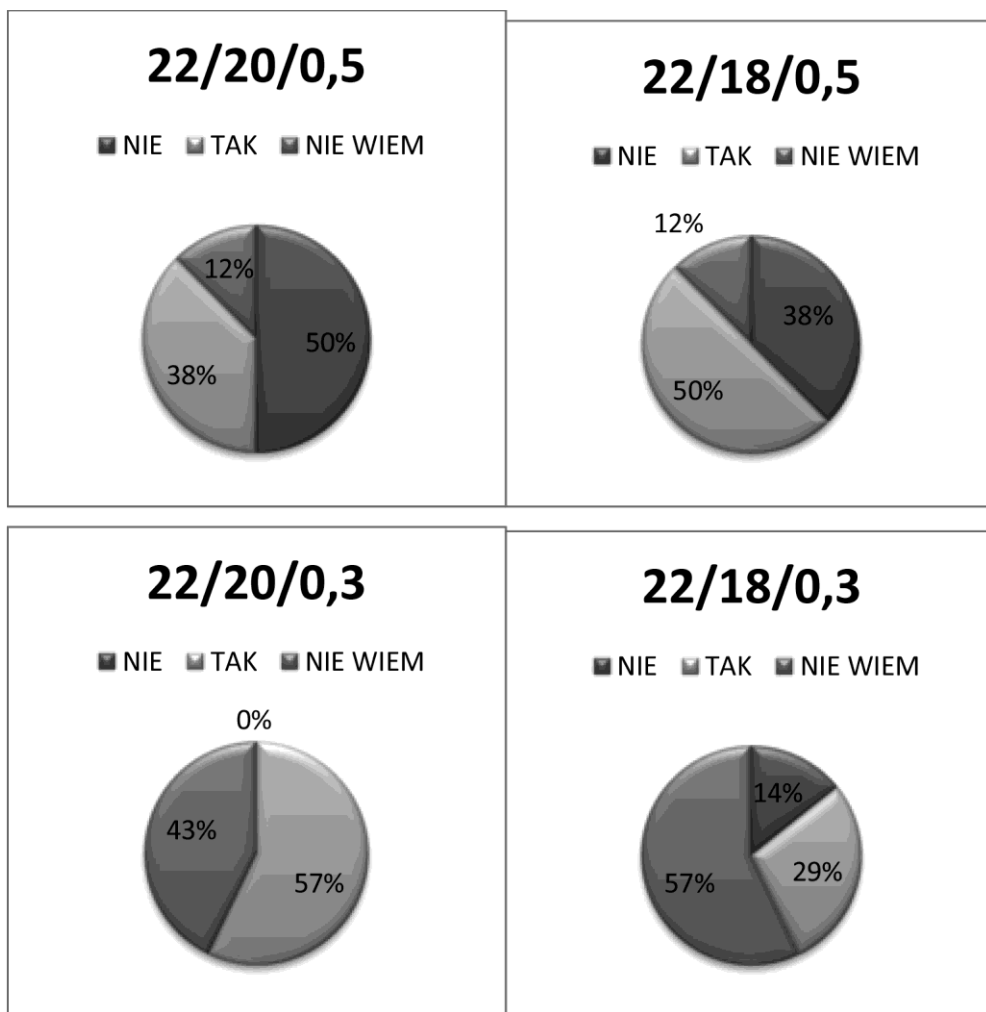


Fig. 12

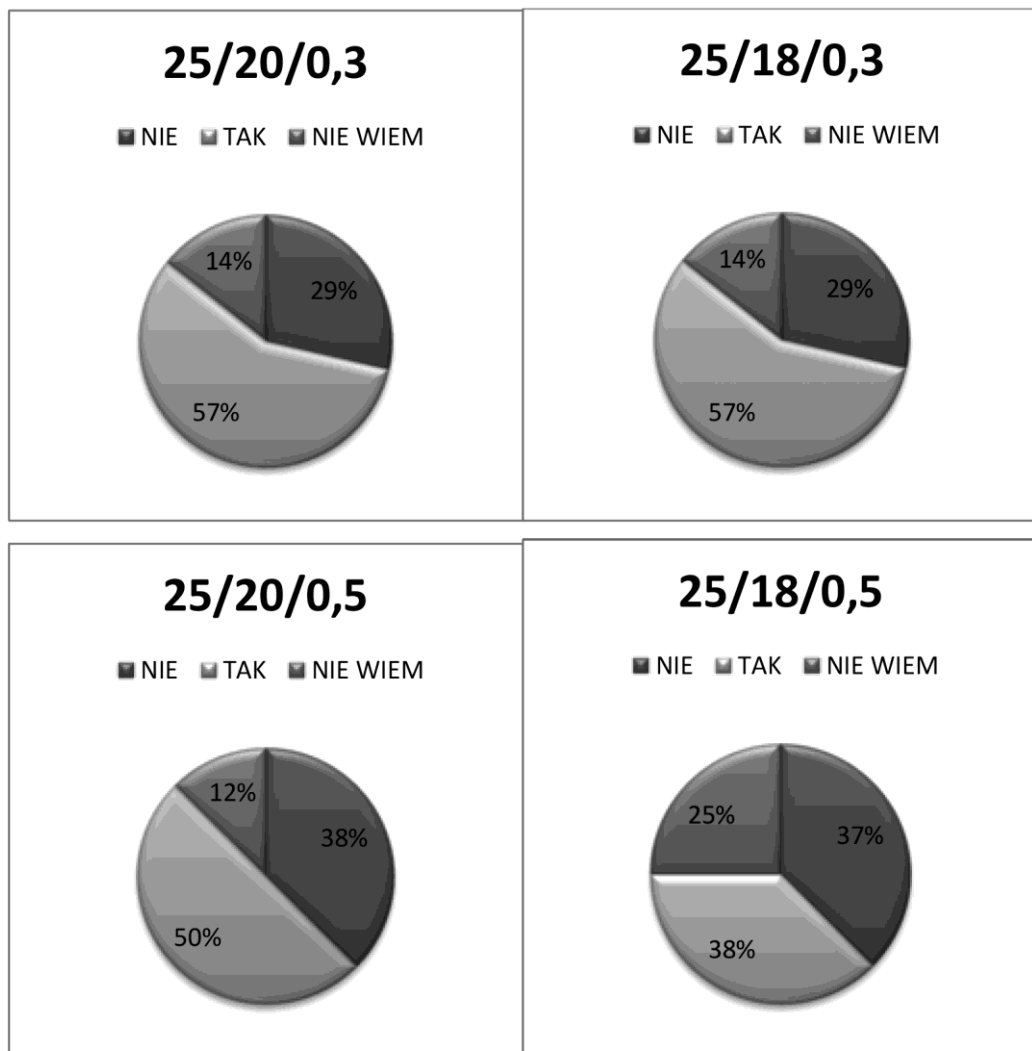


Fig. 13

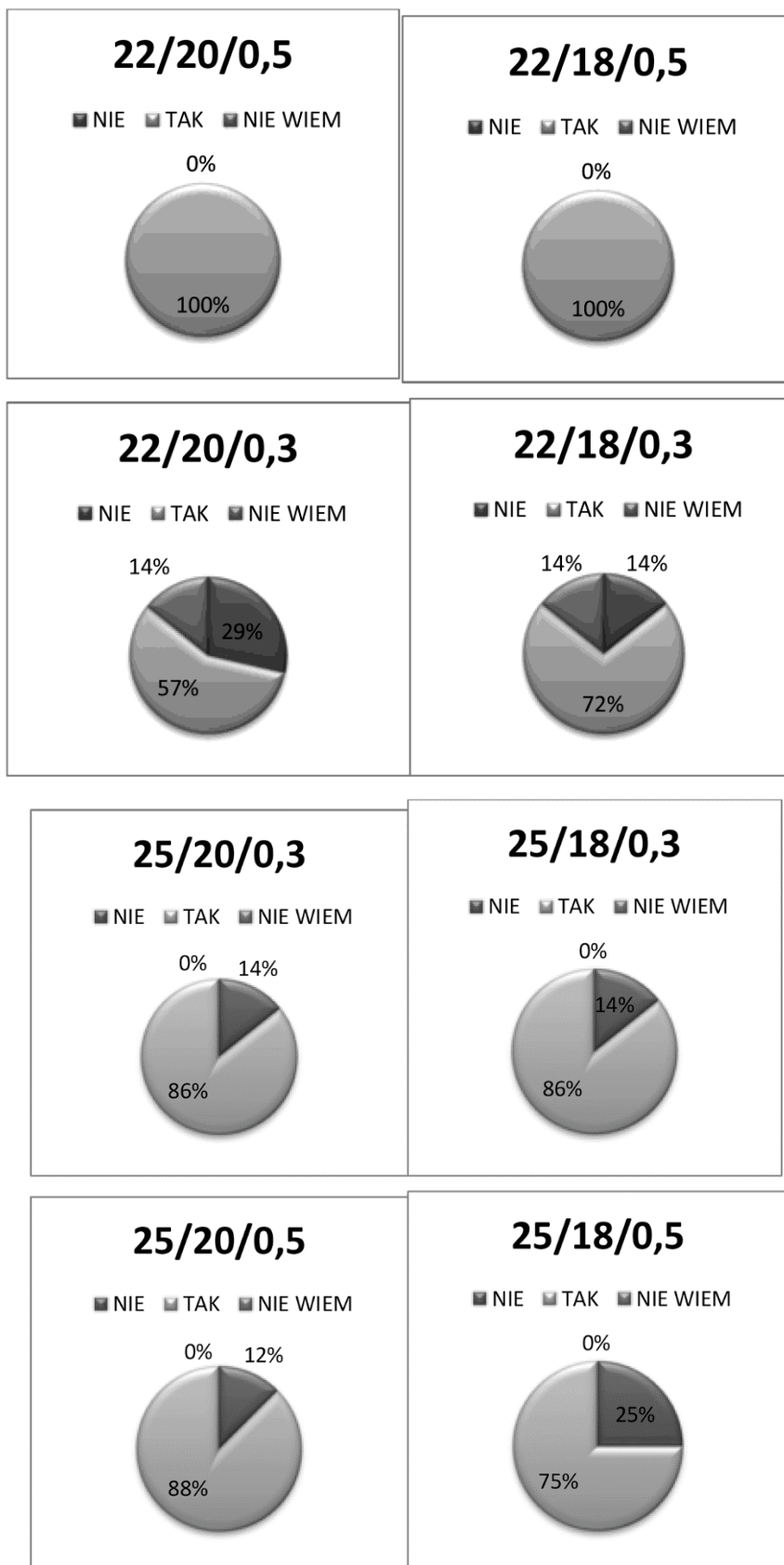


Fig. 14

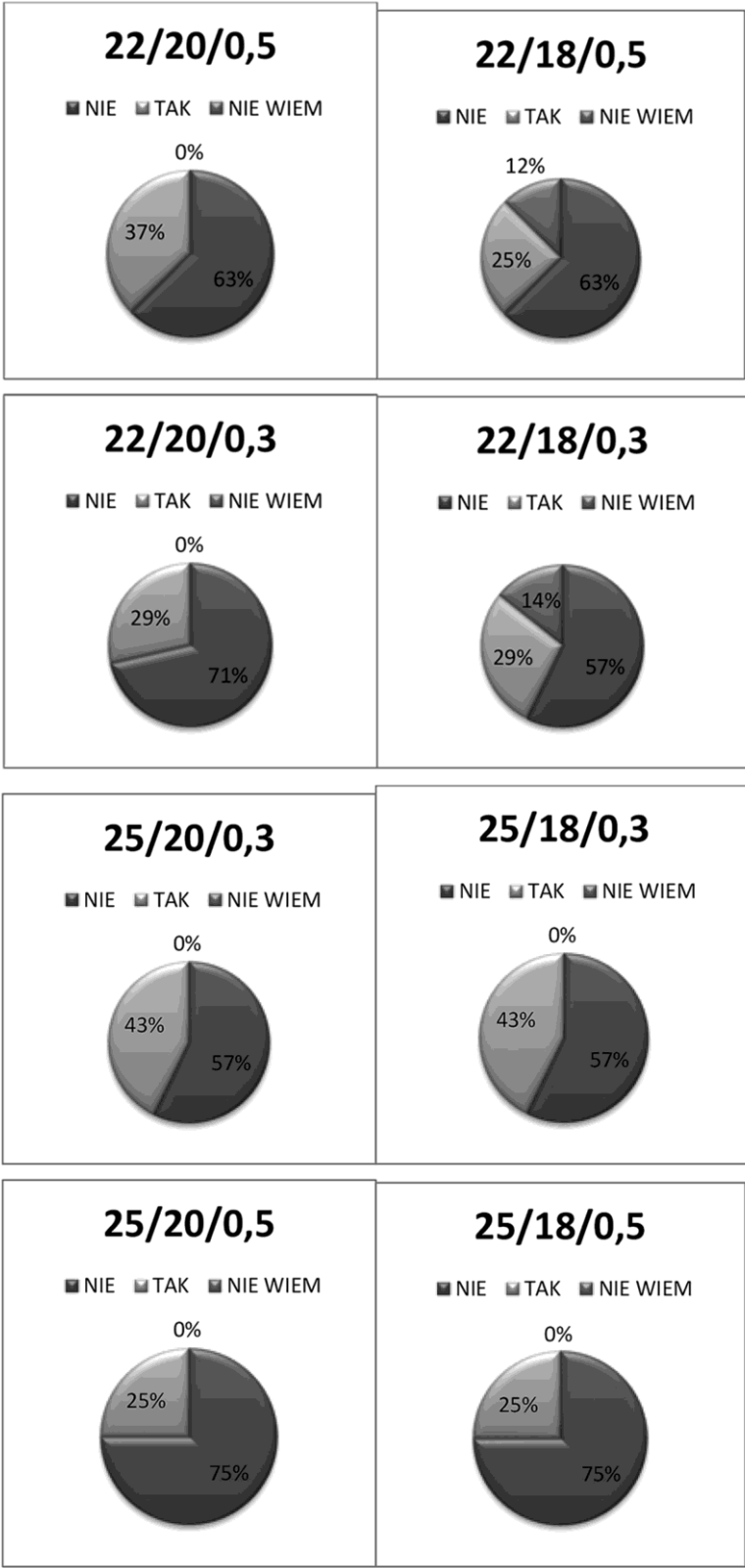


Fig. 15

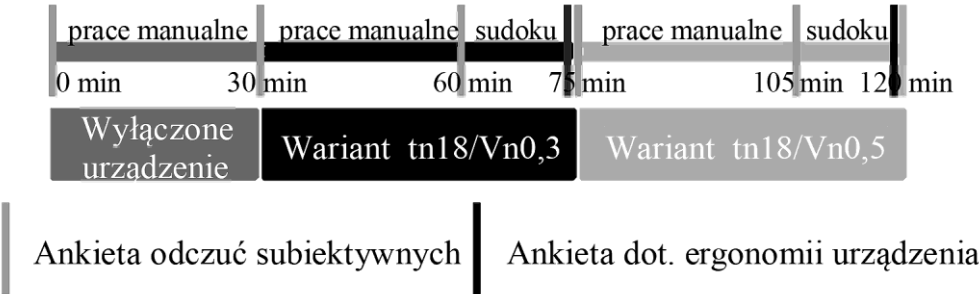


Fig. 16

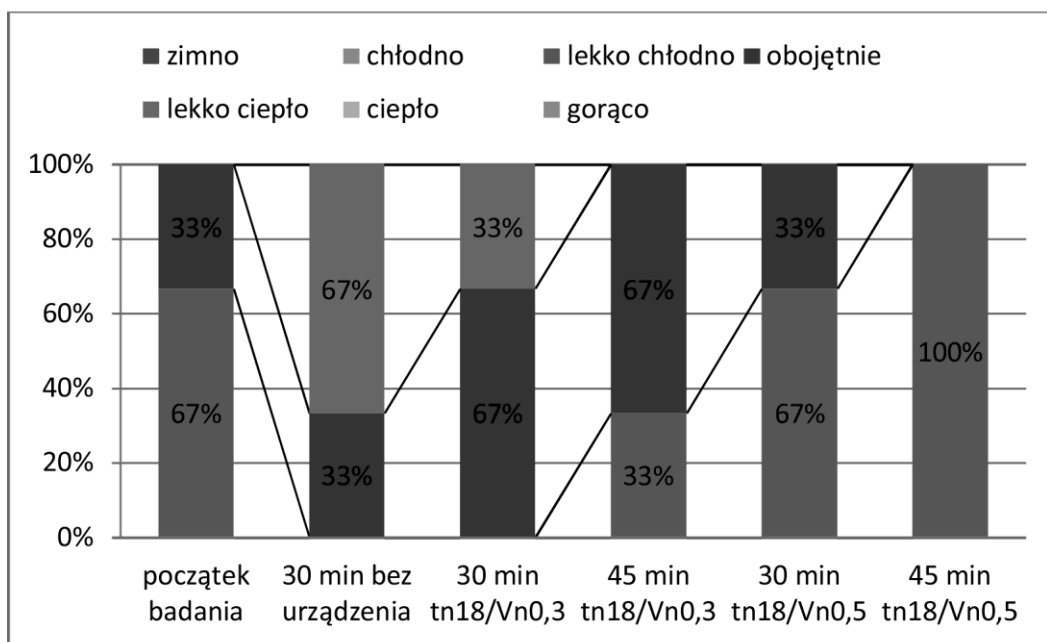


Fig. 17

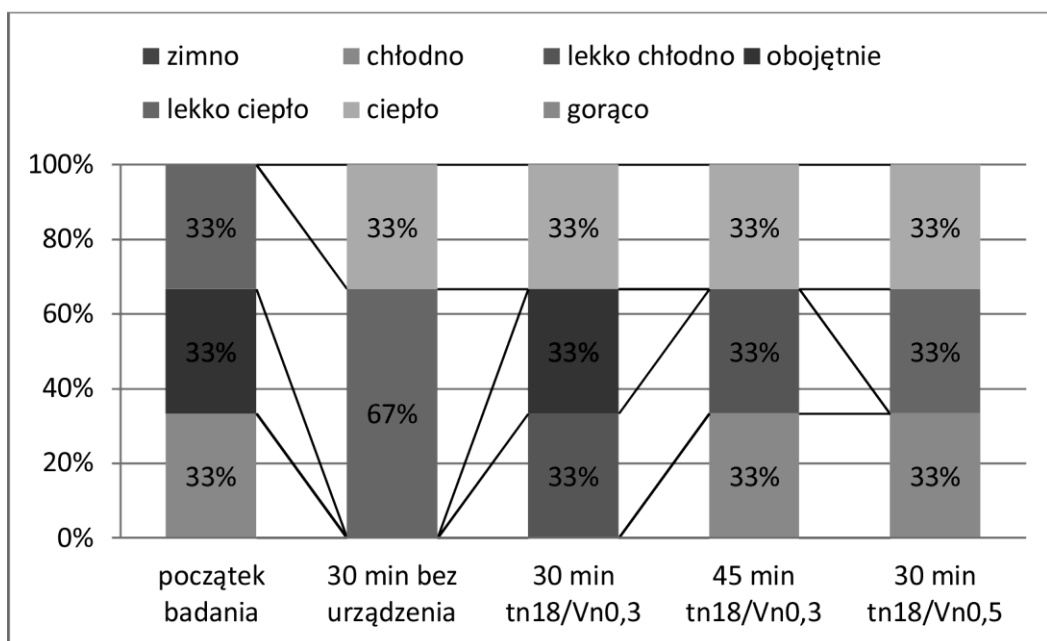
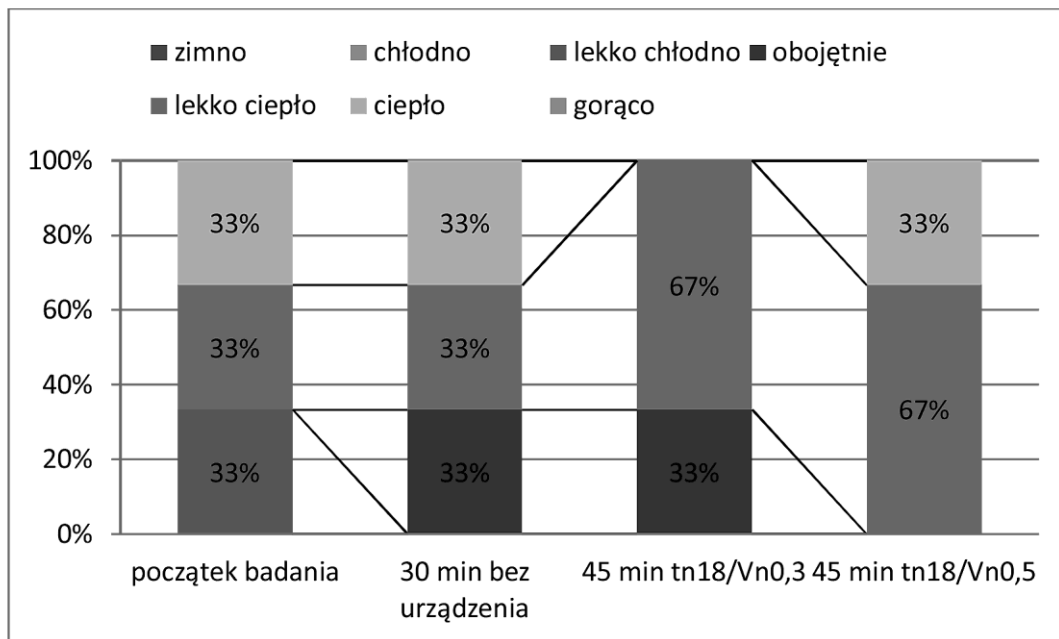


Fig. 18

**Fig. 19**

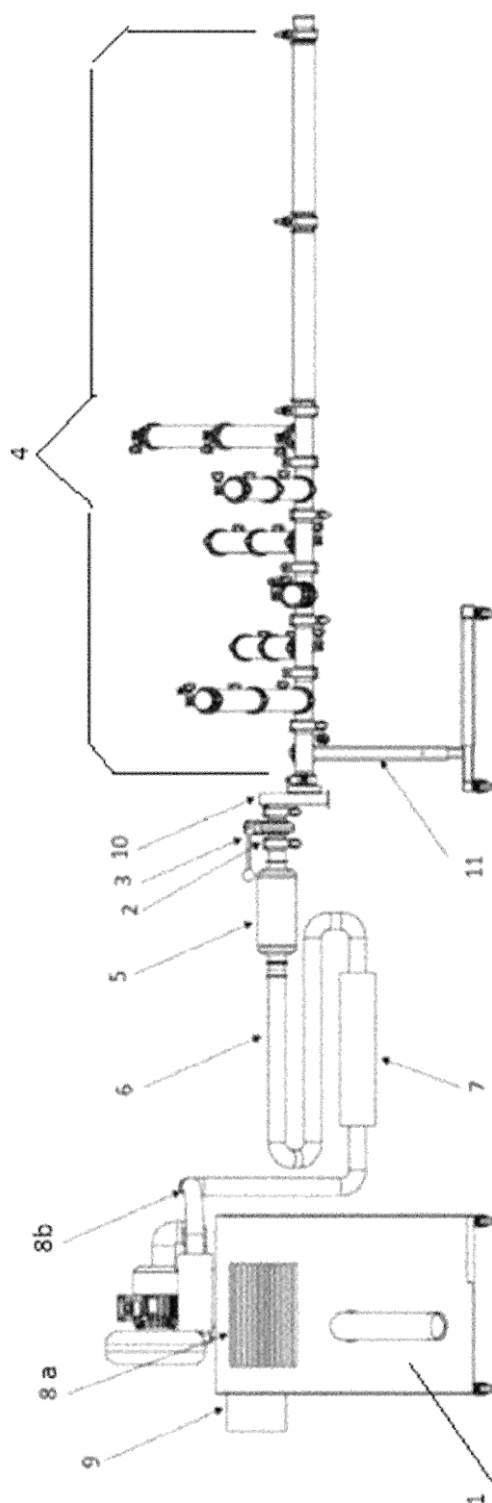


Fig. 20

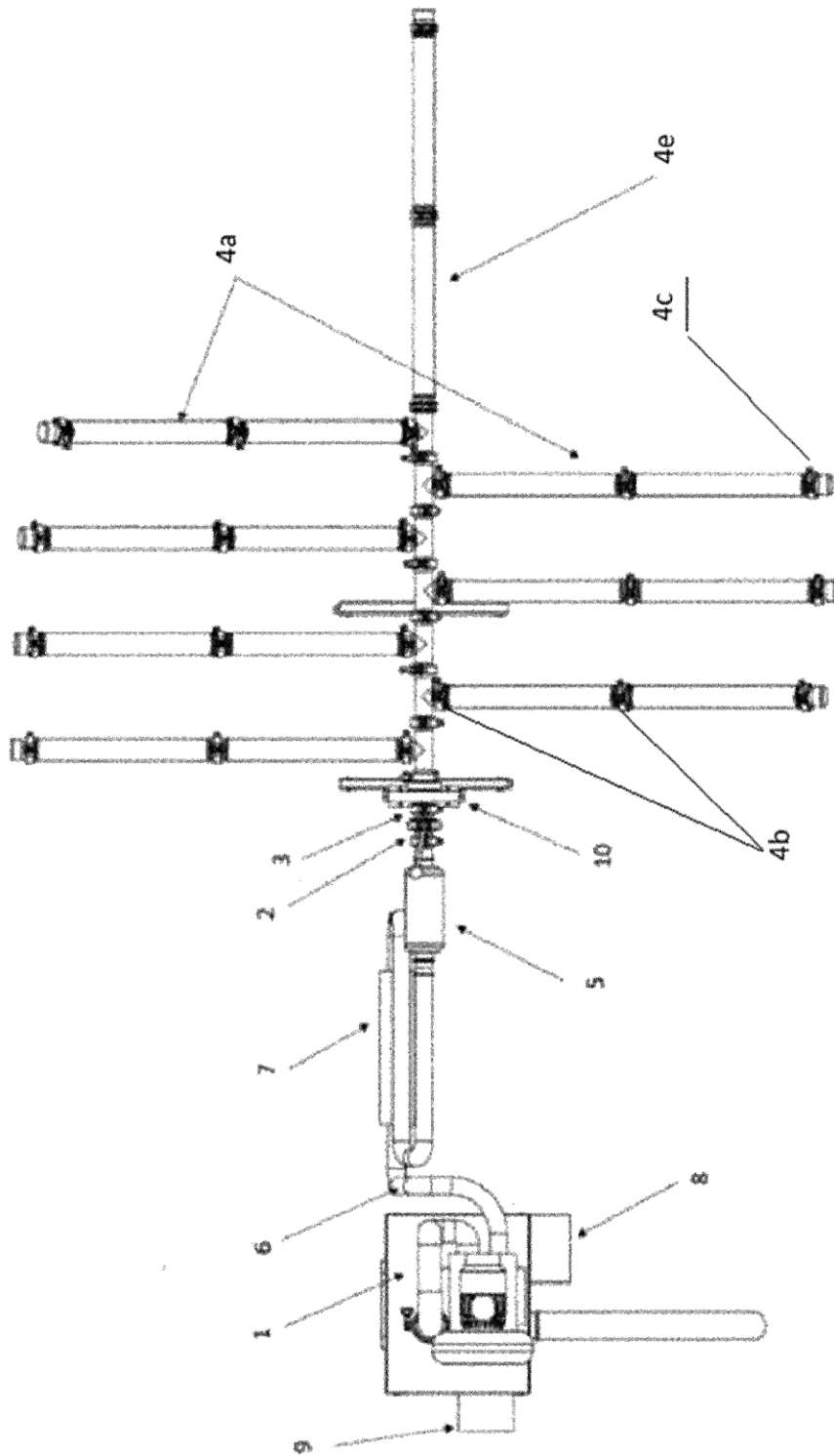


Fig. 21