

Odczucia komfortu cieplnego w pomieszczeniach jako praktyczny test skuteczności oszczędzania energii

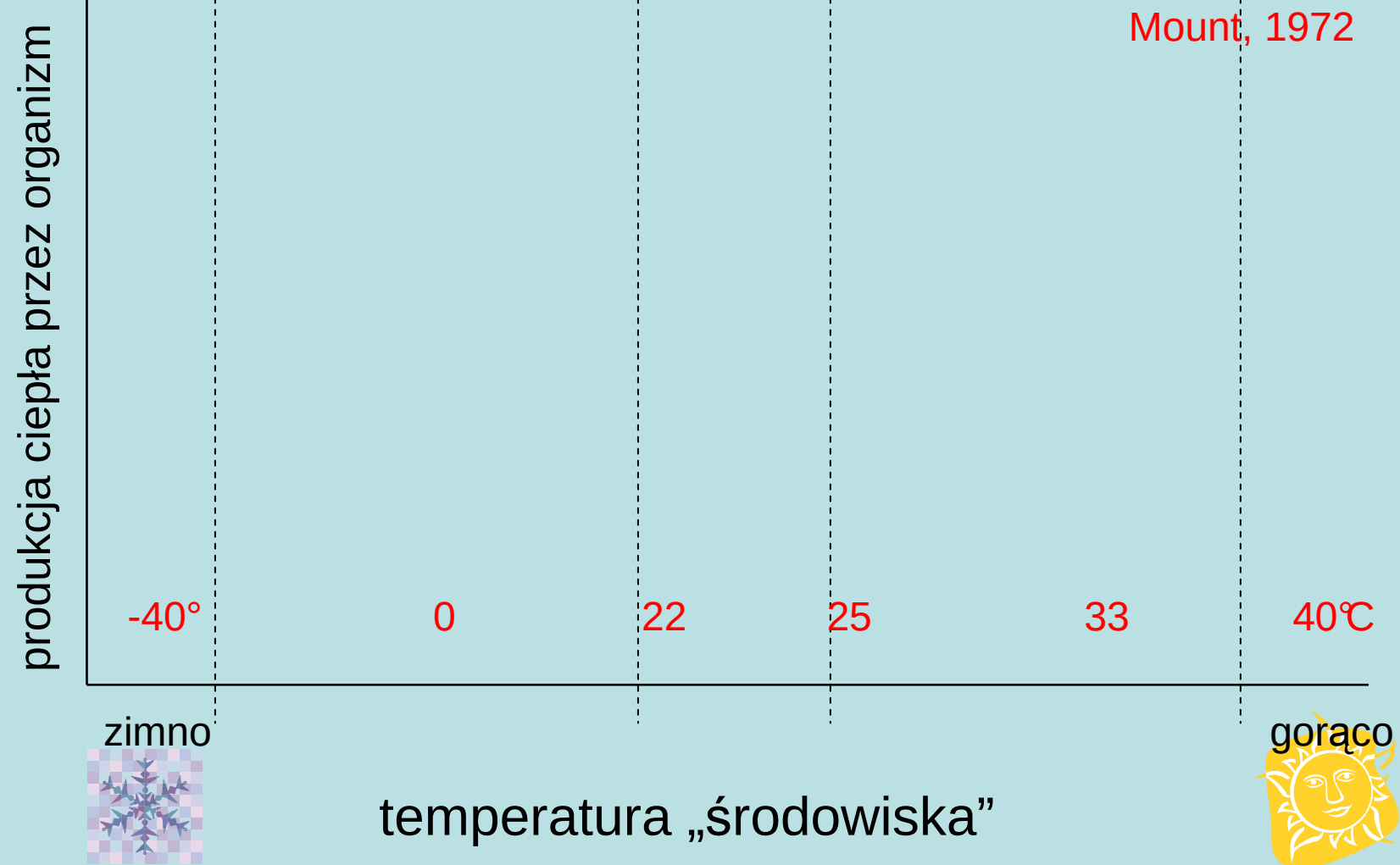
Krzysztof Cena

5 listopada 2008

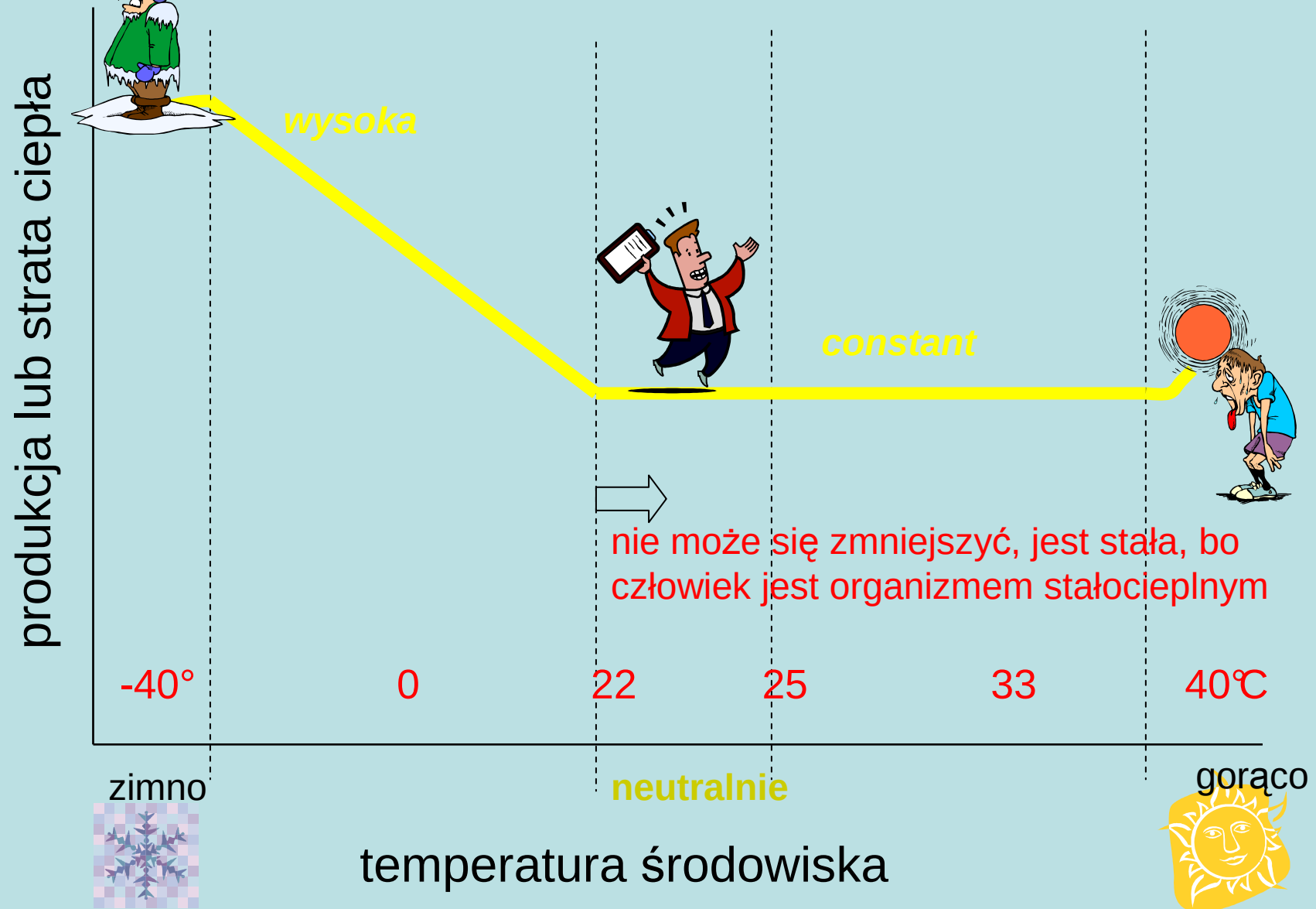
Plan:

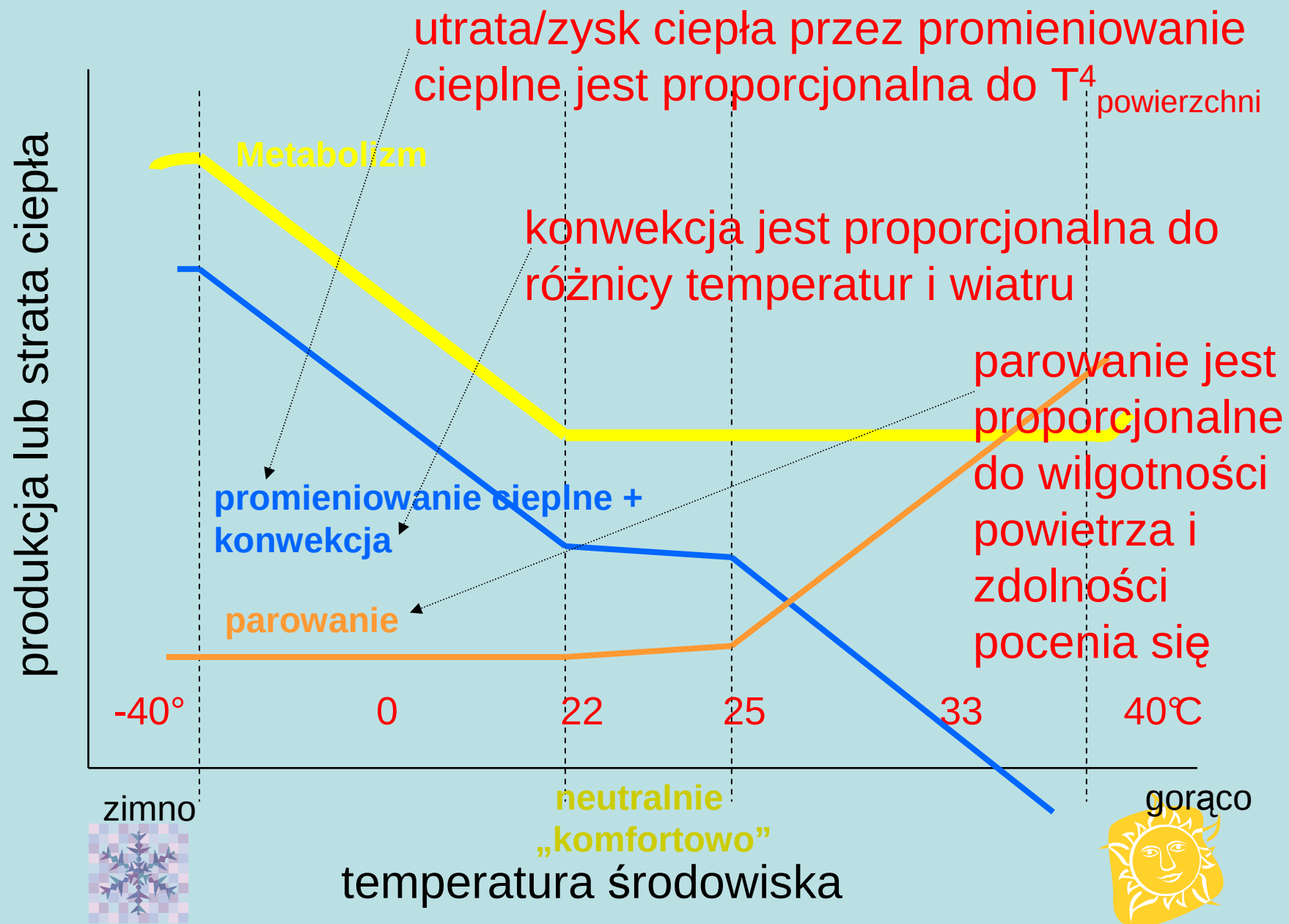
1. „Diagram termoneutralny” – o warunkach komfortu cieplnego ludzi
2. Komfort cieplny w budynkach biurowych – badania australijskie i wnioski
3. Komfort cieplny w namiotach (przenośnych „budynkach”) - wnioski z warunków ekstremalnych dla warunków normalnych

Diagram metaboliczny / termoneutralny



Metaboliczna produkcja ciepła





[Metaboliczna produkcja ciepła] = [Promieniowanie cieplne + Konwekcja] + [Parowanie]

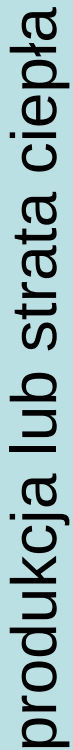
[Metabolism] = [Radiation + Convection] + [Evaporation]

$$M = R + C + E$$

$$M = \pm R \pm C + E$$

Czujemy się dobrze („komfortowo”), gdy bilans energetyczny jest zachowany

neutralnie = „komfortowo”



Promieniowanie ciepłe + Konwekcja

Parowanie (pocenie się)

-40°

0

22

25

33

40°C

zimno

neutrale

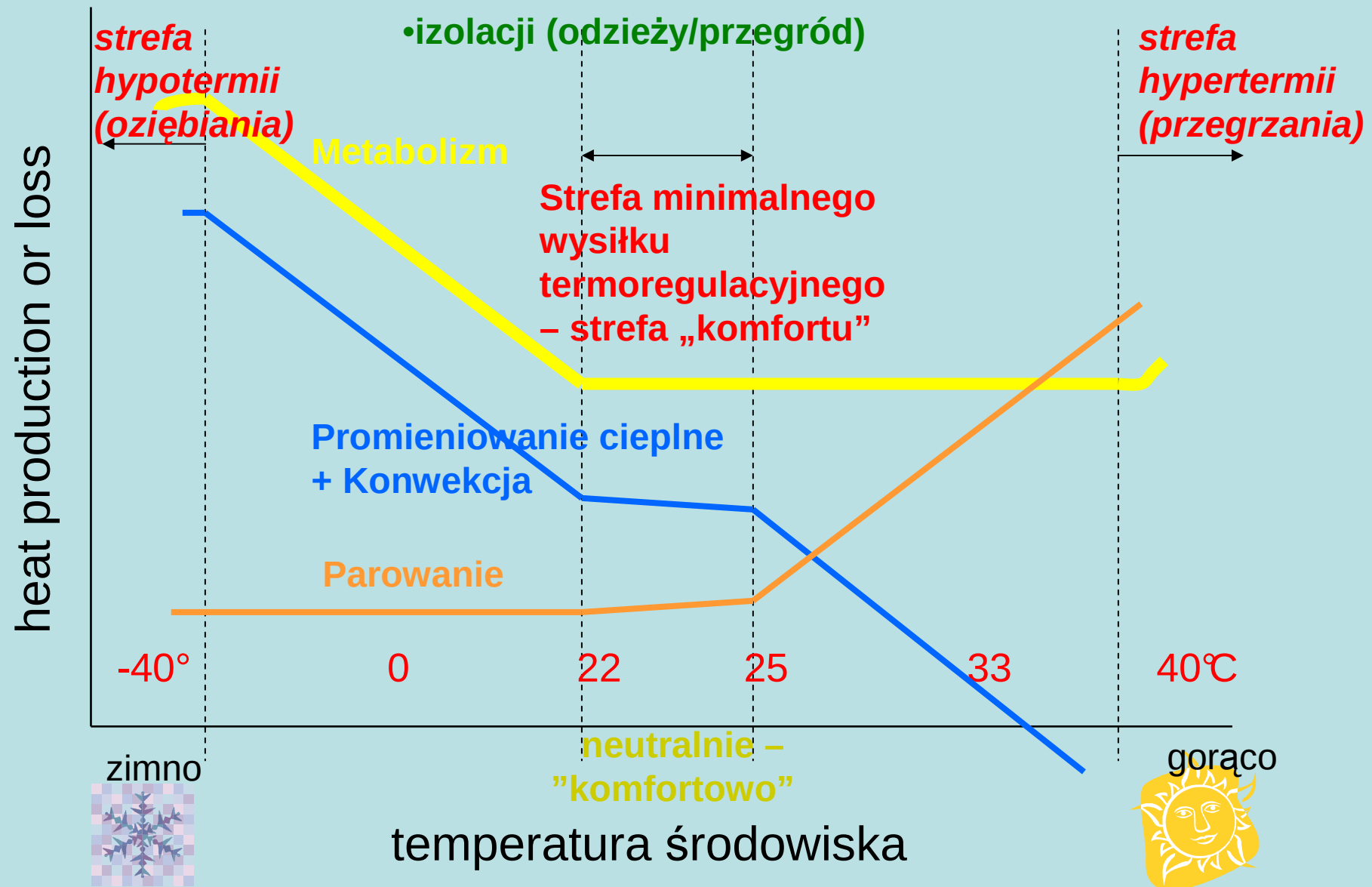
„komfortowo”

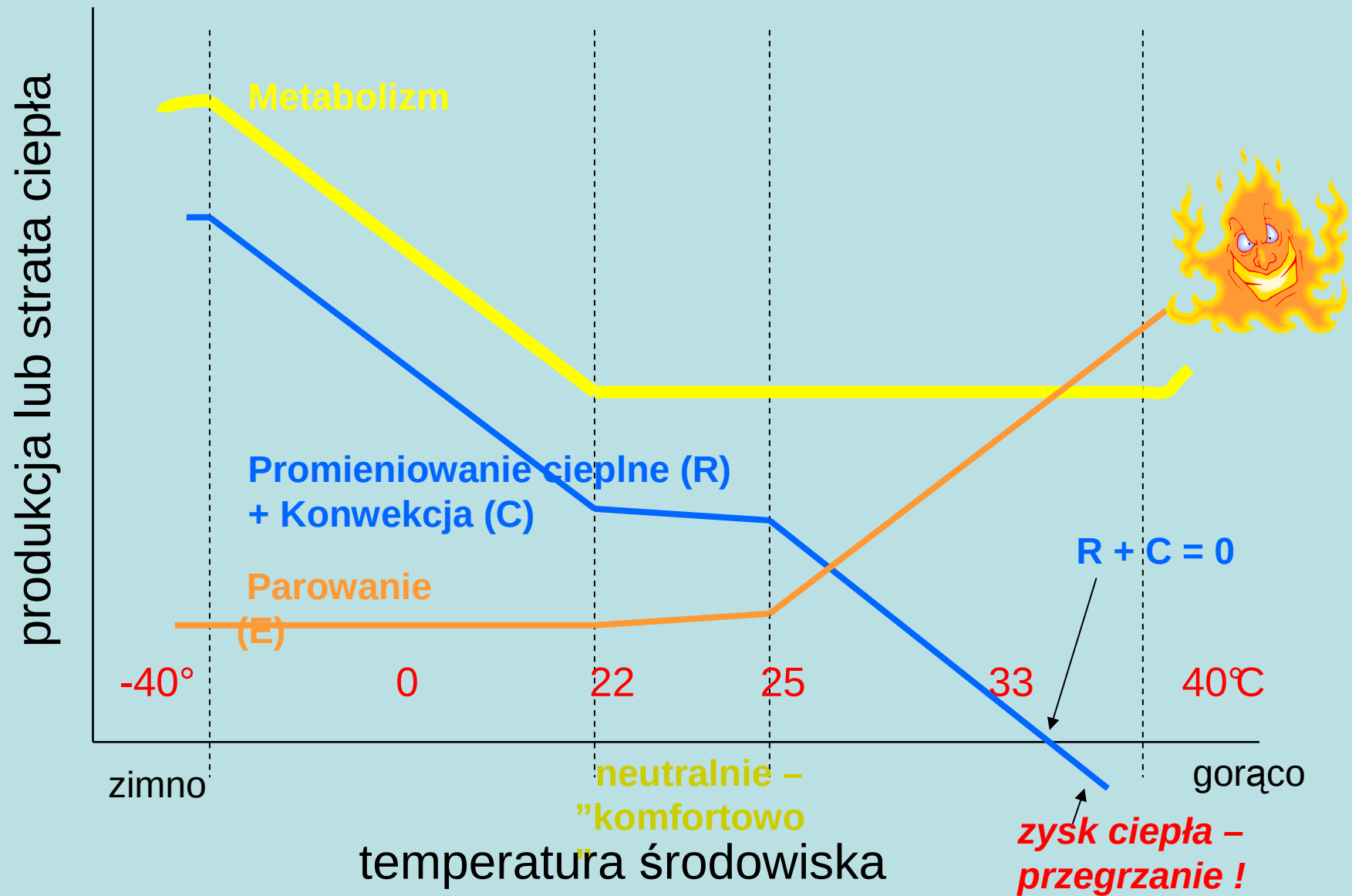
temperatura środowiska

goraco

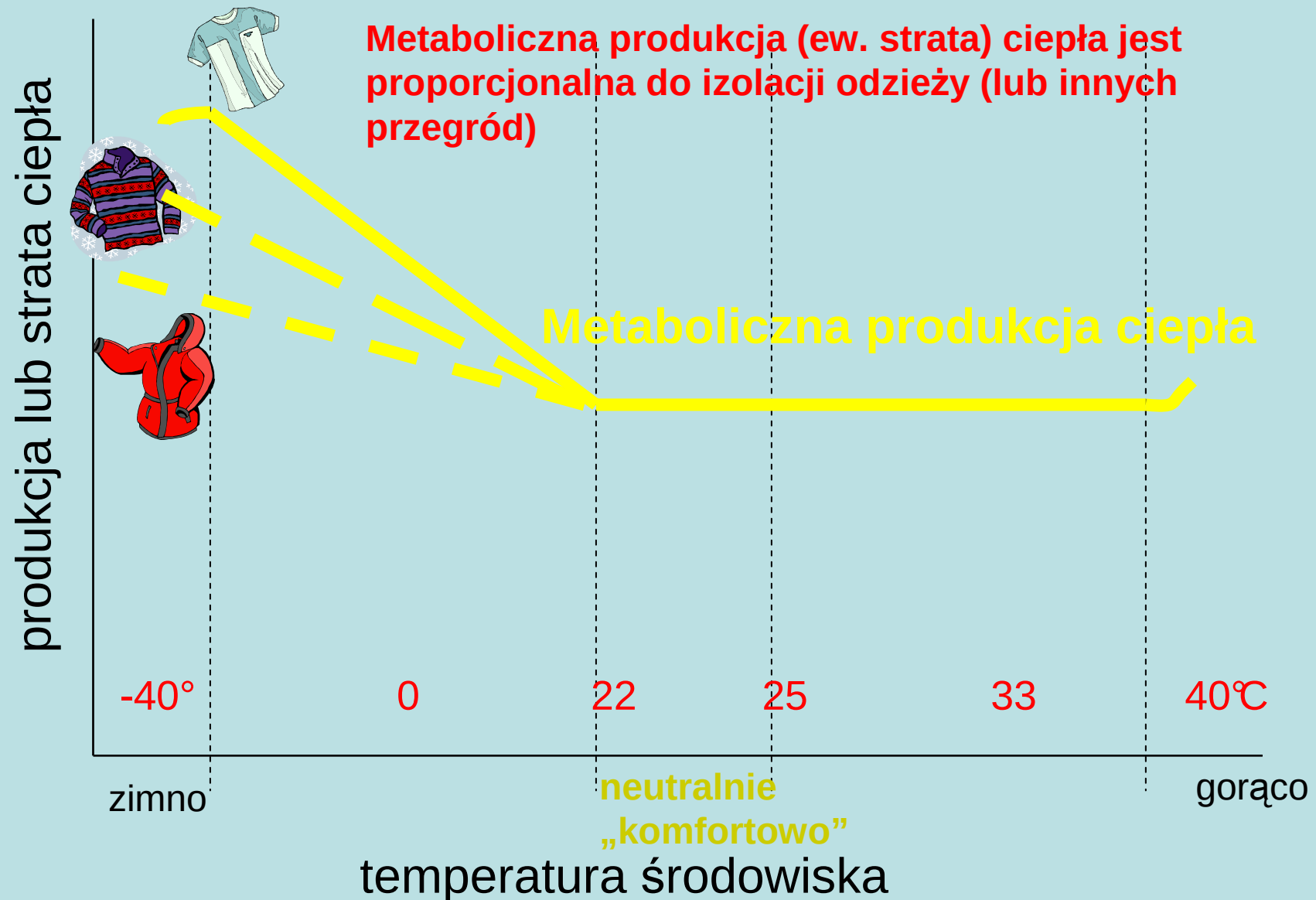
Zakresy stref zależą od:

- metabolicznej produkcji ciepła
- izolacji (odzieży/przegród)





Izolacja zewnętrzna (n.p. odzieży)



produkcja lub strata ciepła

-40°

0

22

25

33

40°C

zimno

neutralnie
„komfortowo”

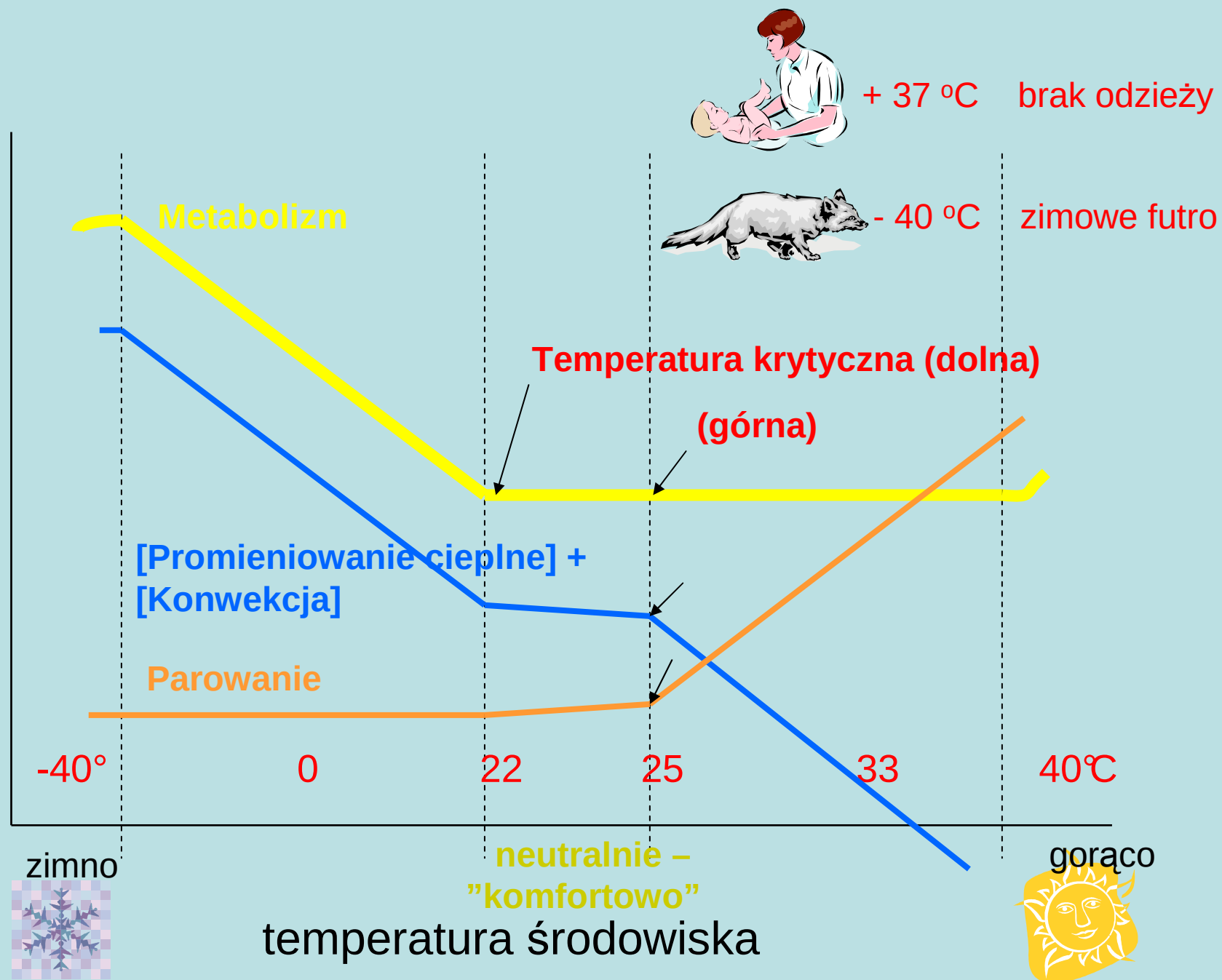
temperatura środowiska

Zwierzęta nie mogą regulować
własnej izolacji (n.p. futra).
Ogranicza to ich możliwości
przeżycia.



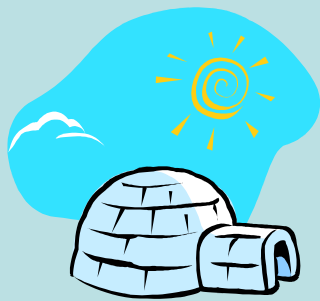
Metaboliczna produkcja ciepła

produkcja lub strata ciepła

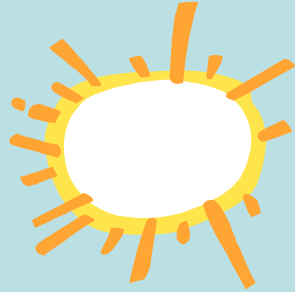




Odzież odgrywa rolę przenośnej izolacji (przegrody cieplnej)



Schrony i budynki stanowią izolację zewnętrzną



Zdolność pocenia się (utrata ciepła przez parowanie) i regulowania izolacji cieplnej (odzież i budynki) umożliwiają ludziom życie w różnych środowiskach i strefach klimatycznych

Komfort cieplny w budynkach biurowych (na przykładzie Kalgoorlie w Zachodniej Australii)

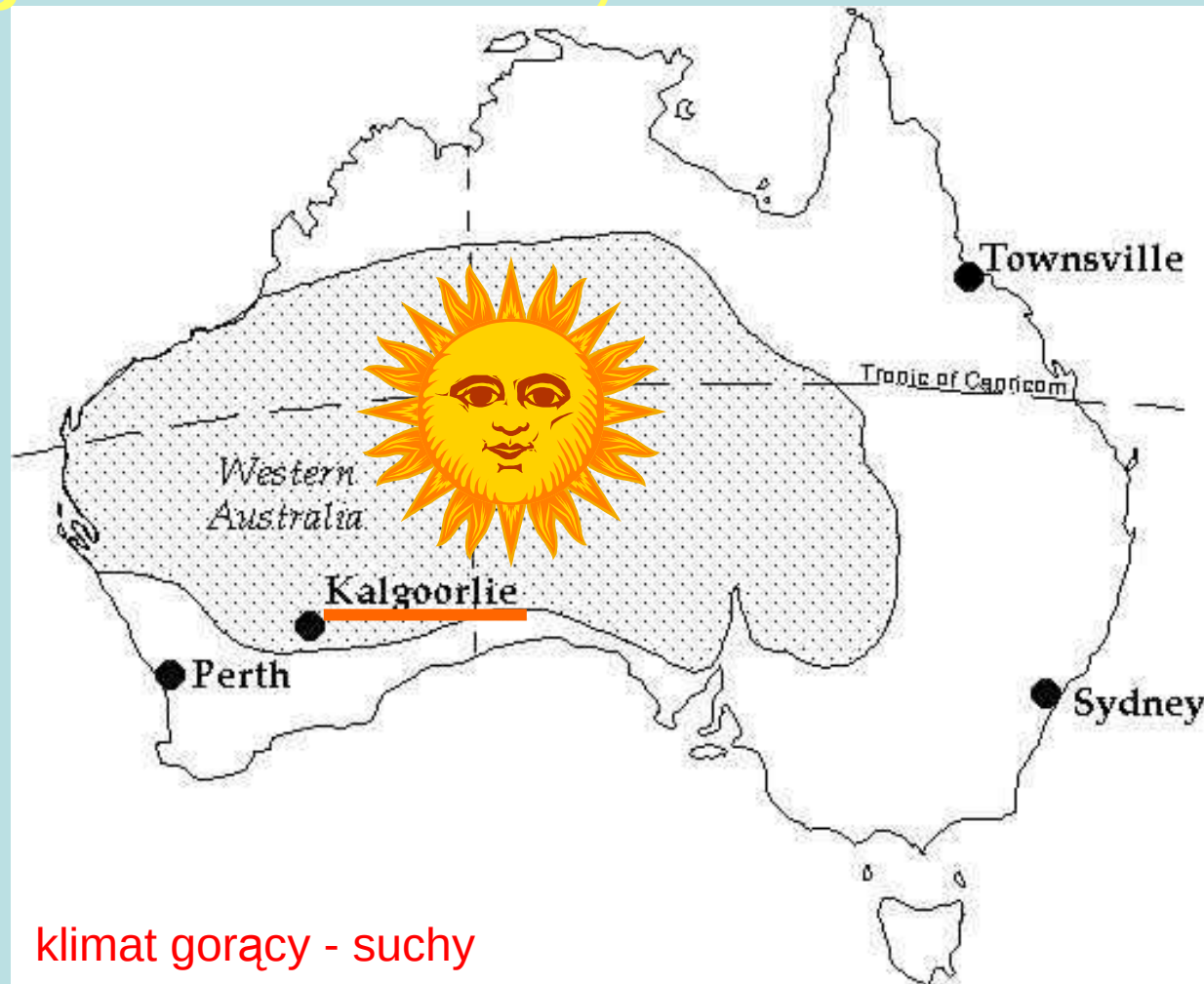
Krzysztof Cena, Murdoch University, Perth

Richard de Dear, Macquarie University,
Sydney



Project funded by the American Society of Heating, Refrigerating and
Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) research grant RP-921

Kalgoorlie-Boulder, Zachodnia Australia



klimat gorący - suchy

Inne badania :
Townsville,
San Francisco,
Montreal

Lato (9 rano - średnie): RH - 39 %, T_a - 30.7 °C
opady 258 mm/rok, >300 dni bezdeszczowych



zbadano w lecie i w
zimie 22 klimatyzowane
budynki biurowe.



Lato (n = 589)

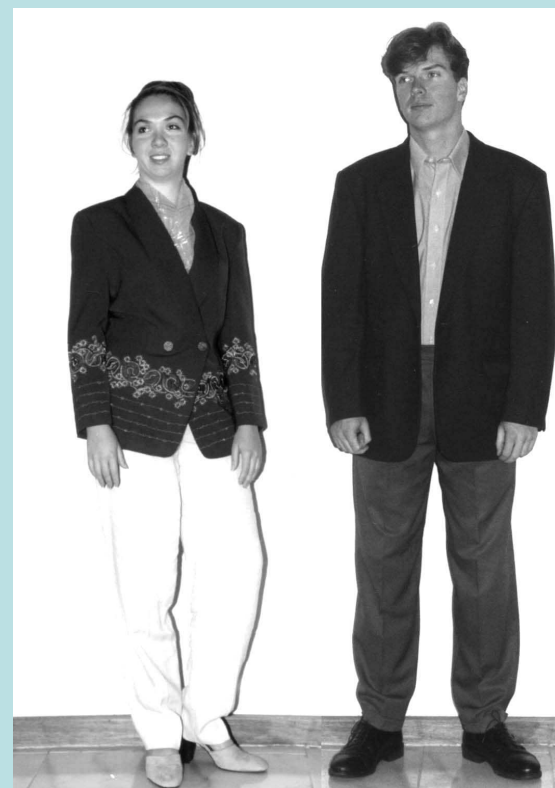
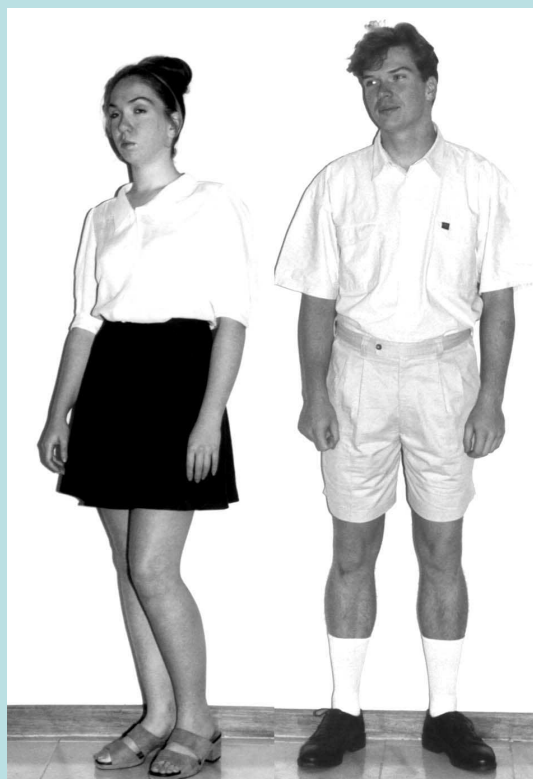
Zima (n = 640)

271

315

314

326



0.49

0.43

0.54

clo*

0.66

0.72

0.69

77

77

77

W m⁻² **

76

77

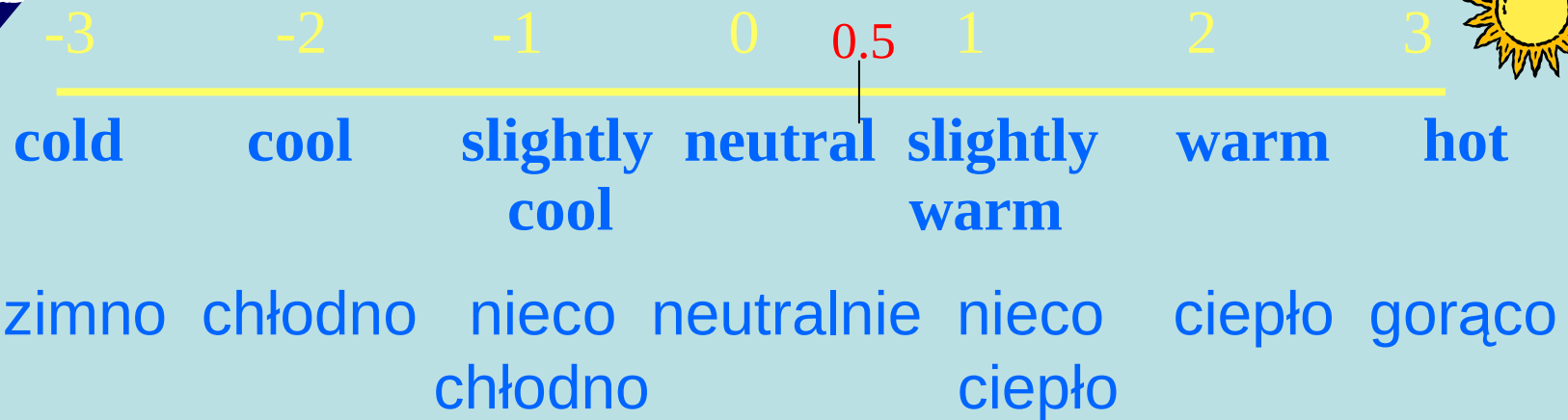
76

* izolacyjność odzieży; ** metabolizm / produkcja ciepła



0.15 clo – dodano do izolacyjności
odzieży dla siedzących pracowników
biurowych

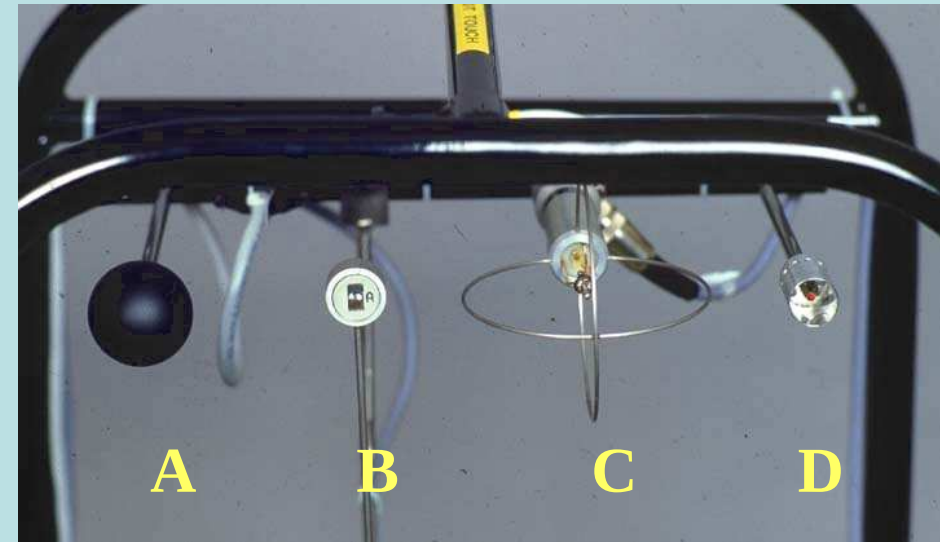
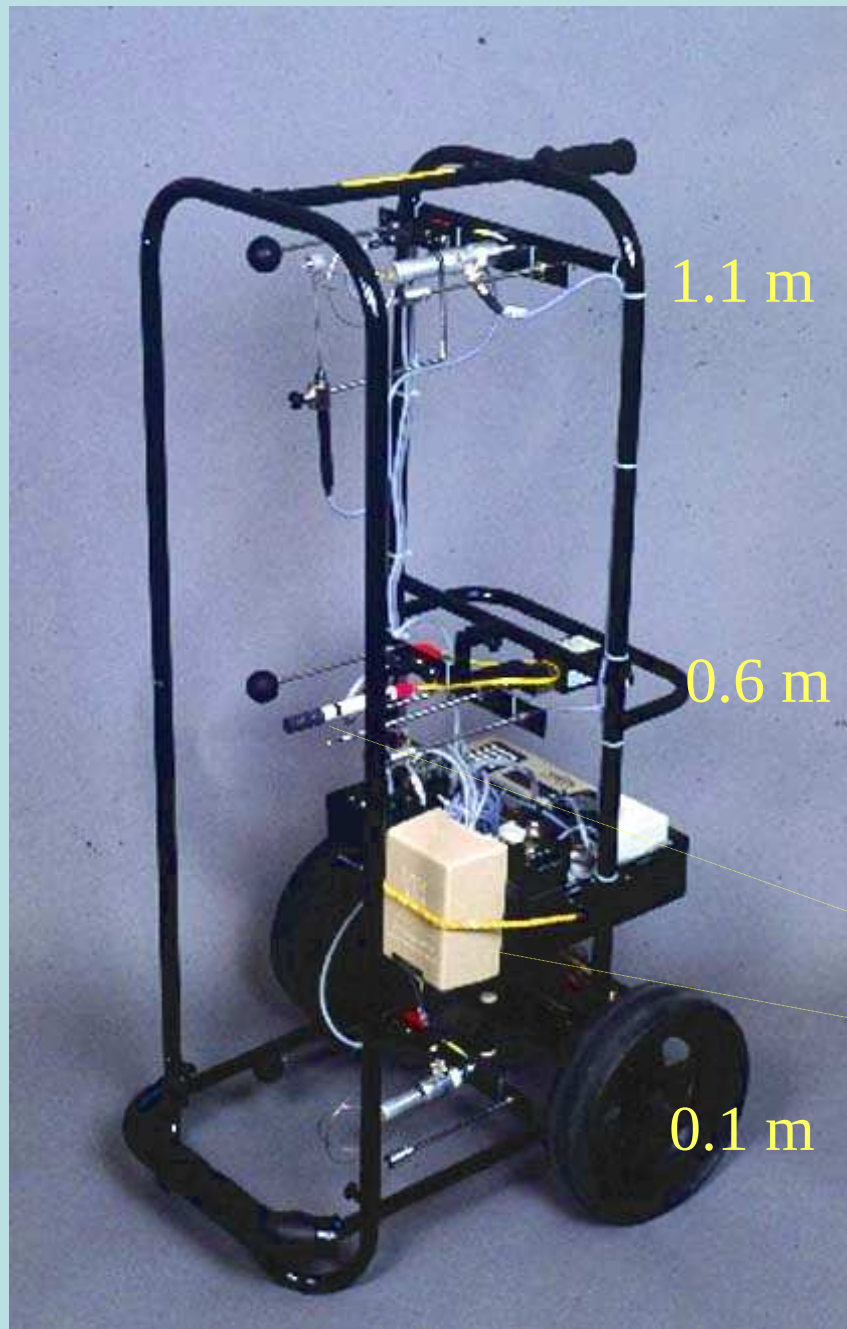
Skala odczuć cieplnych



Skala preferencji cieplnych

“Czy życzysz sobie zmiany w warunkach termicznych ?”

-1 (chcę chłodniej), **0** (nie chcę zmiany), **1** (chcę cieplej)



- A – temperatura powietrza t. kulisty
- B – asymetria promieniowania
- C – ruch powietrza
- D – temperatura powietrza t. suchy
 wilgotność powietrza
 temperatura rosy
 turbulencja powietrza hot wire

Pomiary wymagane przez
standard ISO / ASHRAE



pomiary / obliczone wskaźniki

Zima Lato

temperatura powietrza, °C

22.0 23.4

temp. promieniowania, °C

22.3 24.0

wilgotność względna, %

46 41

ruch powietrza, m/s

0.13 0.2

odczucie cieplne*

0.02  -0.01

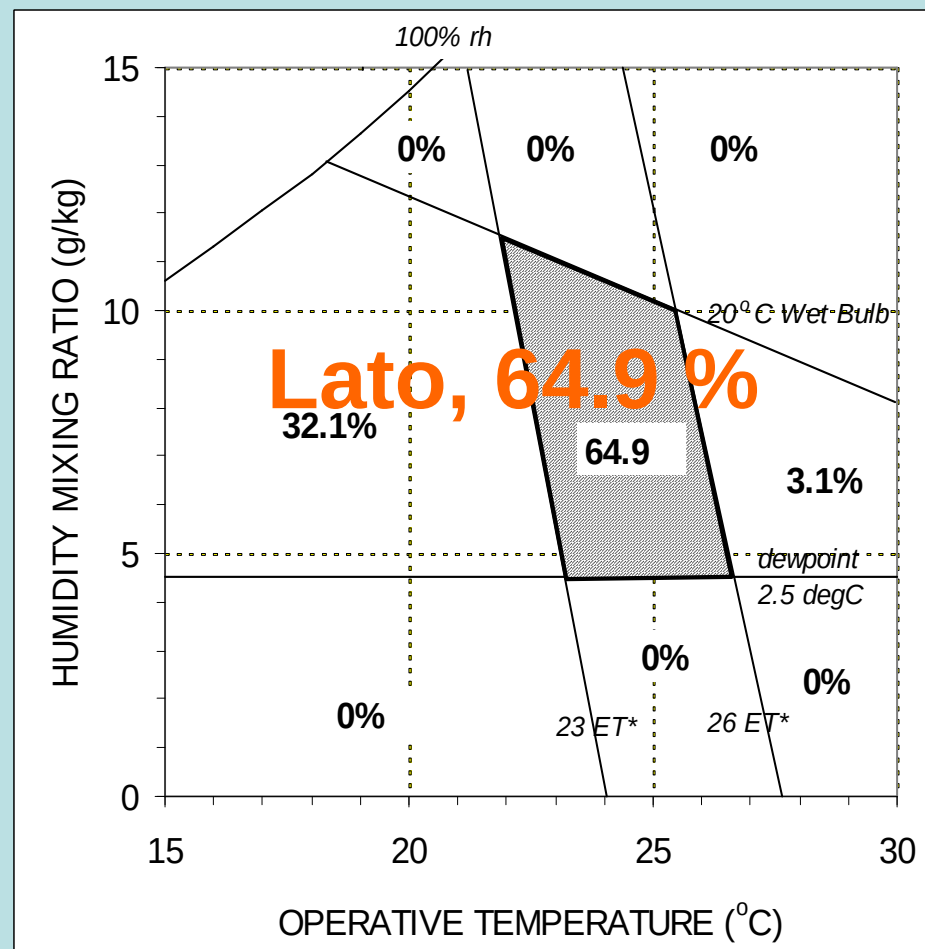
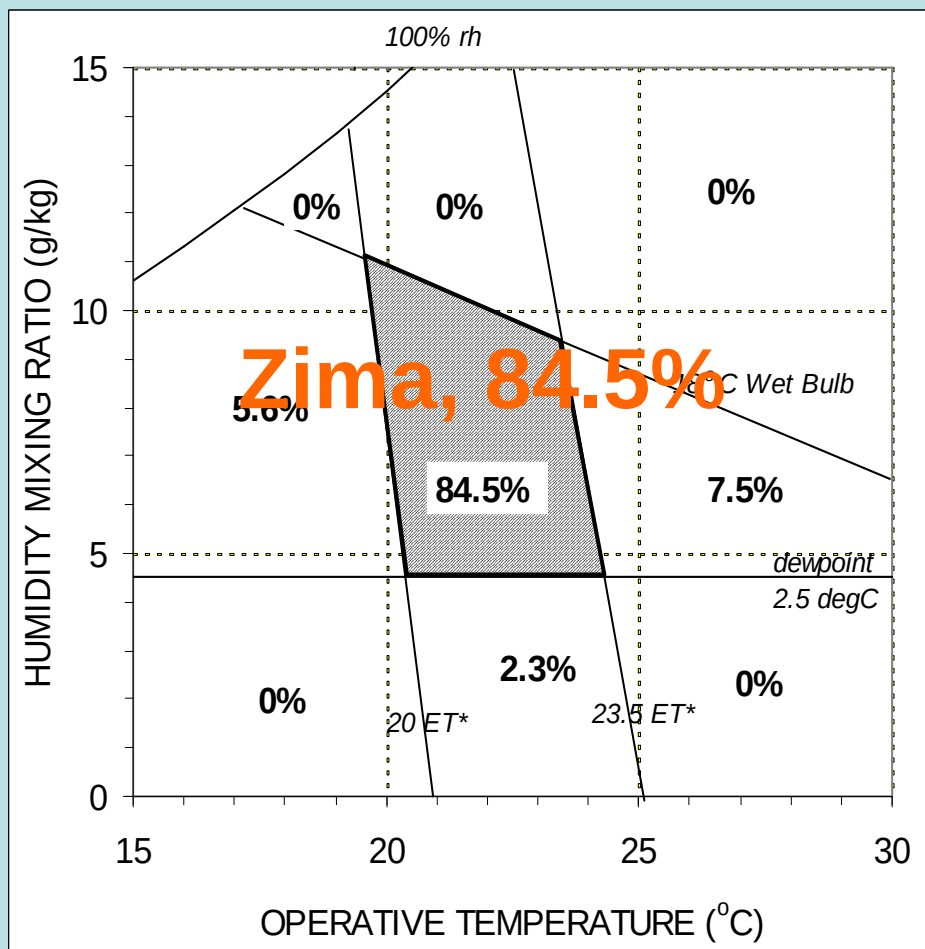
Przewidywana Ocena Komfortu*

-0.1  -0.02

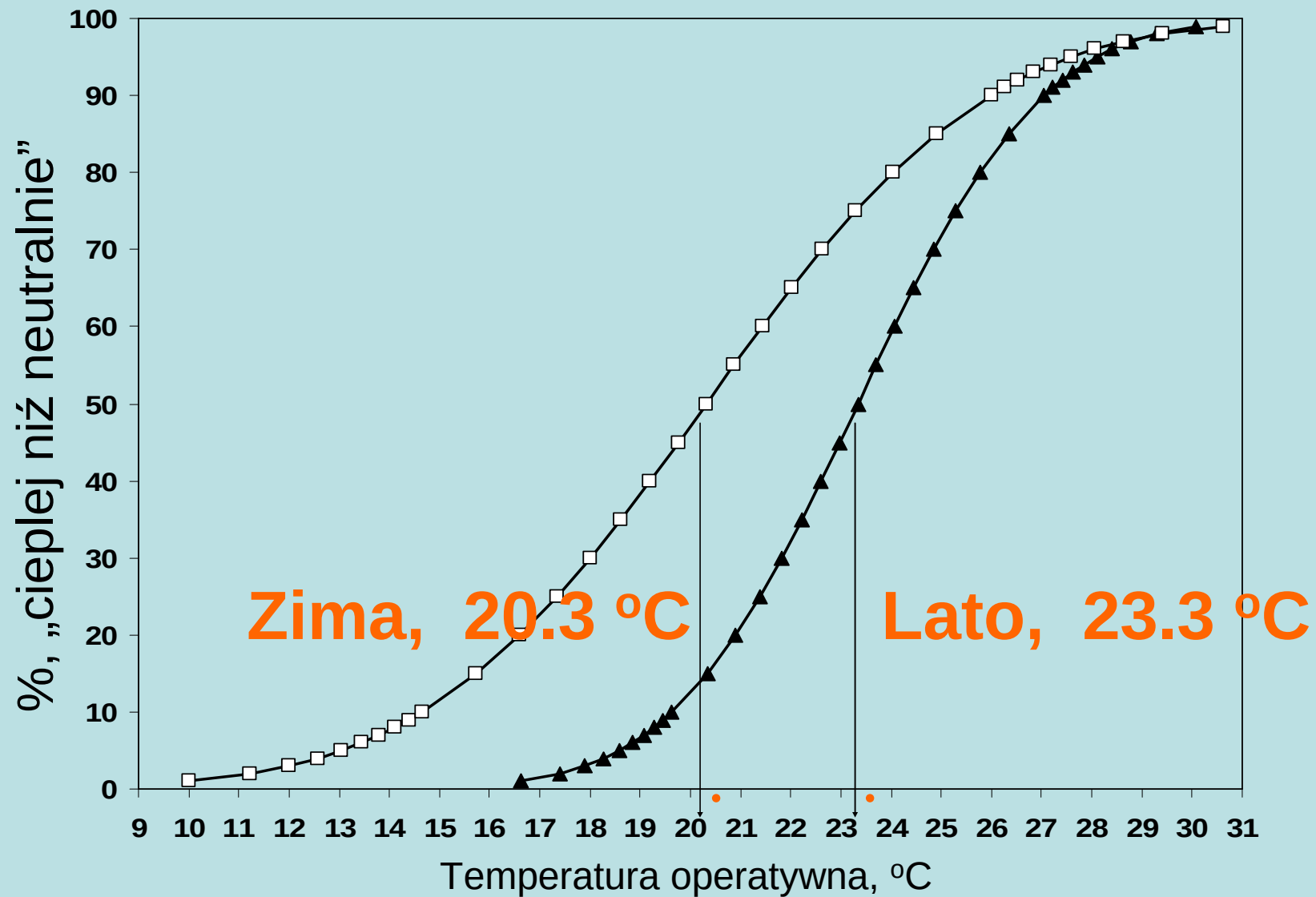
odczucie cieplne respondentów*

0.4  0.1

* na skali od -3 (zimno) do +3 (gorąco))

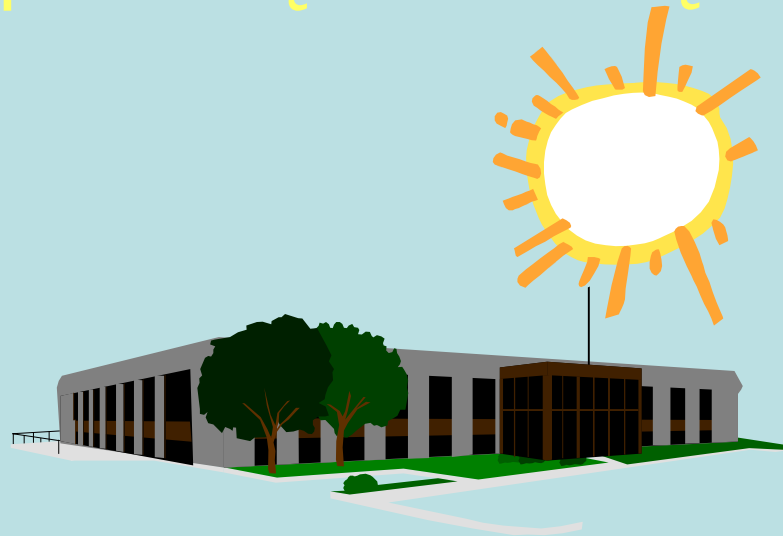


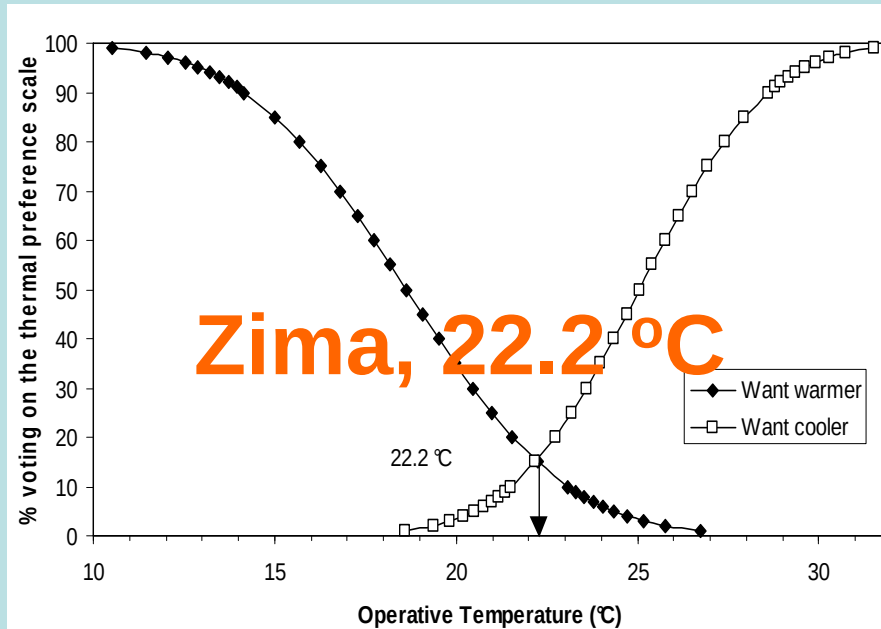
Zgodność pomiarów (na wykresie psychrometrycznym)
ze Standardem ANSI/ASHRAE 55a -1992 dla zimy i
lata



Temperatury neutralne („ani za ciepło ani za zimno”) obliczone dla zimy (20.3 °C) i lata (23.3 °C)

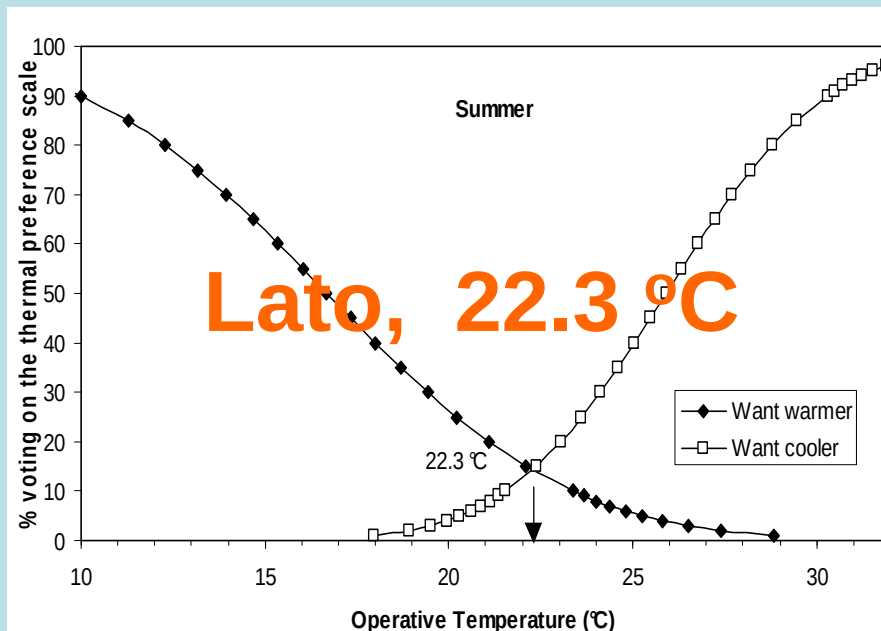
Różnica pomiędzy średnią temperaturą neutralną dla latem (23.3°C) a zimą (20.3°C) wynosiła 3°C . Był to efekt większej o 0.2 clo średniej izolacyjności odzieży w zimie. W lecie respondenci oczekiwali upałów i dlatego akceptowali wyższą niż w zimie temperaturę neutralną.





← Respondenci odpowiedzieli także na pytanie, „czy chcieliby czuć się cieplej lub chłodniej”.

Tak określona „preferowana temperatura” okazała się być niemal identyczna (22.2-22.3 °C) w obu sezonach.



Zadowolenie z pracy

Obliczono wskaźnik zadowolenia z pracy („job satisfaction”) na podstawie 15 pytań na skali 1 do 6. Średnia ocena wszystkich respondentów wynosiła 70.5 (na 90 możliwych).

Respondenci poniżej tej średniej również nie byli zadowoleni (w 50%) z warunków mikroklimatycznych (w porównaniu z respondentami zdecydowanie zadowolonymi z pracy).



Kobiety:

- były mniej zadowolone z warunków mikroklimatycznych w zimie
- wolały większy ruch powietrza w zimie i w lecie
- łączyły zadowolenie z pracy z warunkami mikroklimatycznymi w zimie
- 2.5 razy częściej otwierały/zamykały okna
- 2 razy częściej używały dodatkowych źródeł ciepła w zimie

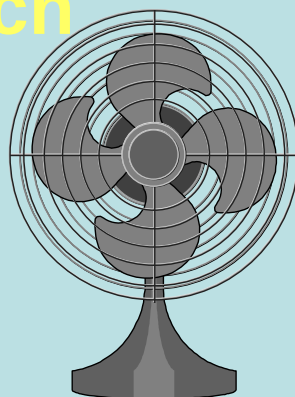
Najważniejszym atrybutem dla kobiet i mężczyzn był **dostęp do termostatów**



Wszystkie wyniki
statystycznie istotne ***

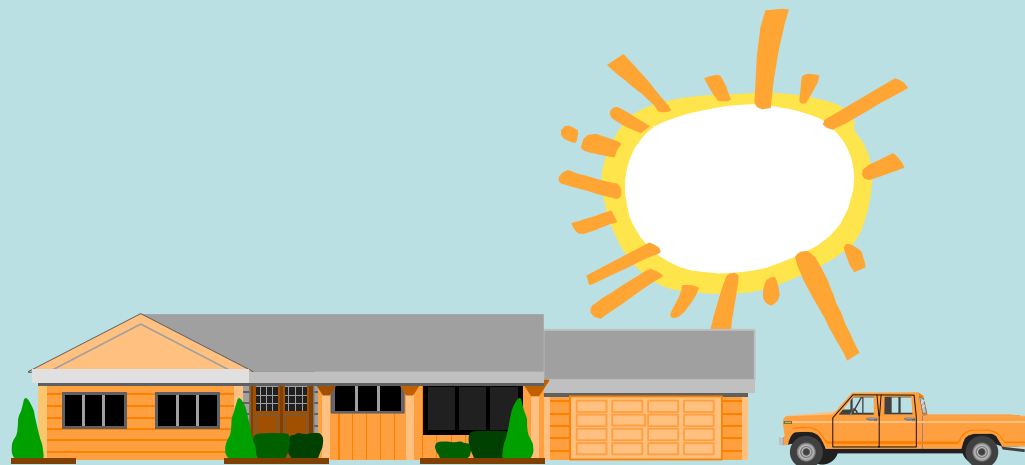
	<i>Sezon</i>	<i>Zima</i>	<i>Lato</i>
<i>Ilość respondentów</i>		640	589
<i>“Preferuję mniejszy ruch powietrza(%)</i>		6.1	6.3
<i>“Preferuję aktualny ruch powietrza” (%)</i>		40.8	47.2
<i>“Pref. zwiększony ruch powietrza” (%)</i>		53.0 ***	46.3

Połowa respondentów, a szczególnie kobiety, życzyła sobie „więcej przewiewu / ruchu powietrza” – co jest charakterystyczne dla budynków biurowych



Aklimatyzacja do warunków sztucznych ?

Większość respondentów nie doświadczała naturalnych warunków zewnętrznych, ponieważ mieszkała, pracowała i podróżowała w warunkach sztucznych (klimatyzowanych).



Komfort cieplny osób młodych i seniorów

Winnett *et al.** badał wpływ codziennych informacji udzielanych osobom w wieku 27 lat na obniżenie zużycia energii elektrycznej do ogrzewania domów (*condominia*) w USA. Stwierdził dwuletnią obniżkę energii o $\geq 25\%$ i zmniejszenie temperatury powietrza w pomieszczeniach o $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (nawet do $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ i odzieży tylko 0.8 clo). *ASHRAE Transactions, vol. 87(1), 1981 i vol.89(2), 1983



Badania dla ASHRAE w Kanadzie i USA na populacji zdrowych i samodzielnych seniorów (>75 lat) wykazały, że temperatura powietrza, którą regulowali termostatami w swoich domach w zimie była odwrotnie proporcjonalna do ich dochodu. Koszty ogrzewania „nie stanowiły problemu” dla osób o rocznych rentach od 15 do 60 tysięcy \$. Temperatury w pomieszczeniach obniżano nawet do $18\text{-}19\text{ }^{\circ}\text{C}$



Namioty – przenośne „budynki”
z najprostszą przegrodą cieplną





Jakie są warunki komfortu
cieplnego i izolacji ciepłej odzieży
w namiotach w warunkach
wysokogórskich ?

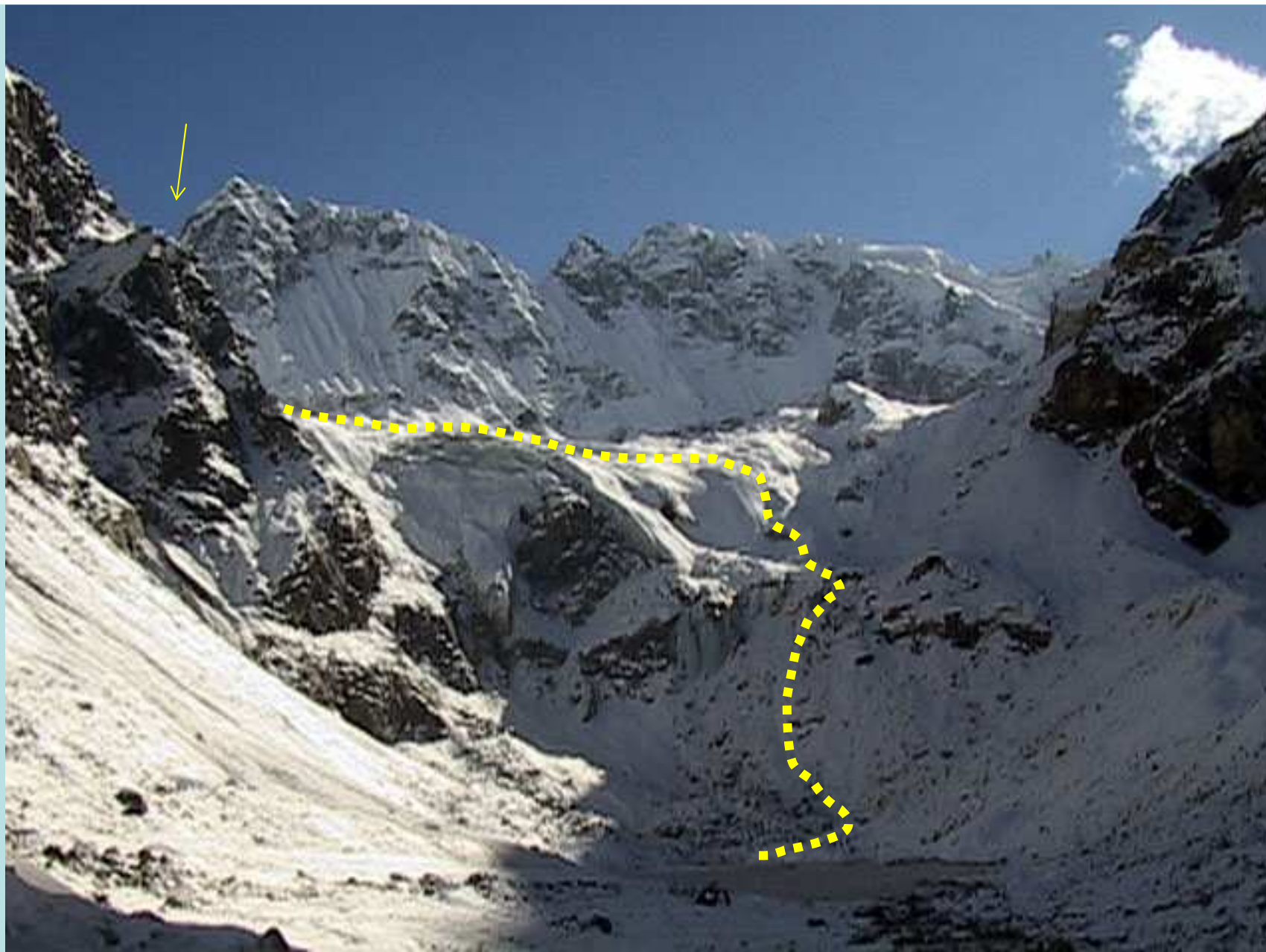
1 - Karakorum

2 - Kashmir





Dorje Lakpa i dolina Balephi
linia śniegu : 4600-4800 m



Przełęcz Tilmana (5400 m) od północy



Oceny indywidualne (każdego ranka, po obudzeniu):

1. Izolacyjność (odzież + śpiwór) w czasie nocy
2. Komfort cieplny w czasie nocy (na skali od -3 do +3)
3. Trudność trasy, test na chorobę wysokościową (AMS)

Pomiary:

Temperatura powietrza i wilgotność względna w namiotach (miniaturowe data logger'y, co 12 minut) na wysokości około 15 cm i pod sufitem

Założenia:

Metabolism na poziomie 0.7 met



Izolacja odzieży i wkładów do śpiworów I_c (w clo)
używana w czasie snu w namiocie

$$I_c = 0.0198 d_{\text{arm}} + 0.0149 d_{\text{calf}} + 0.191 n_{\text{arm}} + 0.242 n_{\text{calf}} + 0.556$$

ilość warstw 10 razy ważniejsza !

1 clo = 0.155 m² K W⁻¹ (McCullough and Kim, 1996)

d_{arm} , d_{calf} - grubość (w mm) warstw (tkanin) na
przeramieniu i łydce

n_{arm} , n_{calf} – ilość warstw (tkanin) na przeramieniu i
łydce

Notka: czapki, szaliki i skarpetki nie są wliczane

Przykłady grubości warstw: jedwabny wkład do
śpiwora- 0.4 mm, '100 polar' wkład - 3.6 mm, długa
„termalna” bielizna dolna lub górna - 0.9 mm, '200
polar' kurtka- 5.3 mm, gruba kurtka puchowa- 45.8 mm



Wedge Peak i Kangchenjunga Base Camp

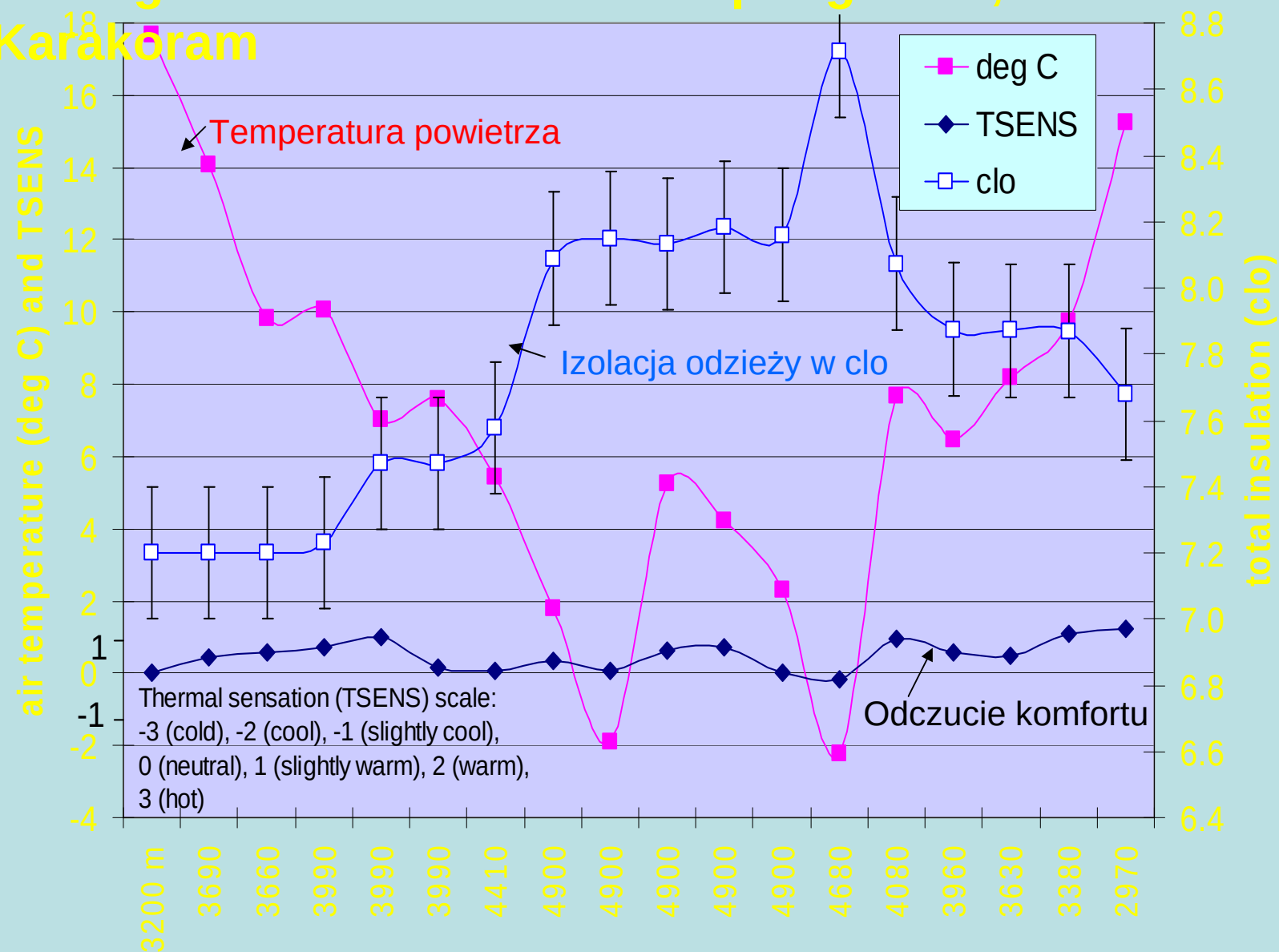
Izolacyjność śpiworów - zmierzono osobno na manekinie cieplnym, przez McCullough and Gonzaleza.

Używano tego samego typu śpiwora (waga śpiwora: 1920 g, waga 100% puchu kaczego: 720 g) - 5.7 clo



Izolacyjność całkowita w czasie snu – suma izolacyjności odzieży i śpiwora.

Biafo glacier / Snow Lake / Hispar glacier, Karakoram

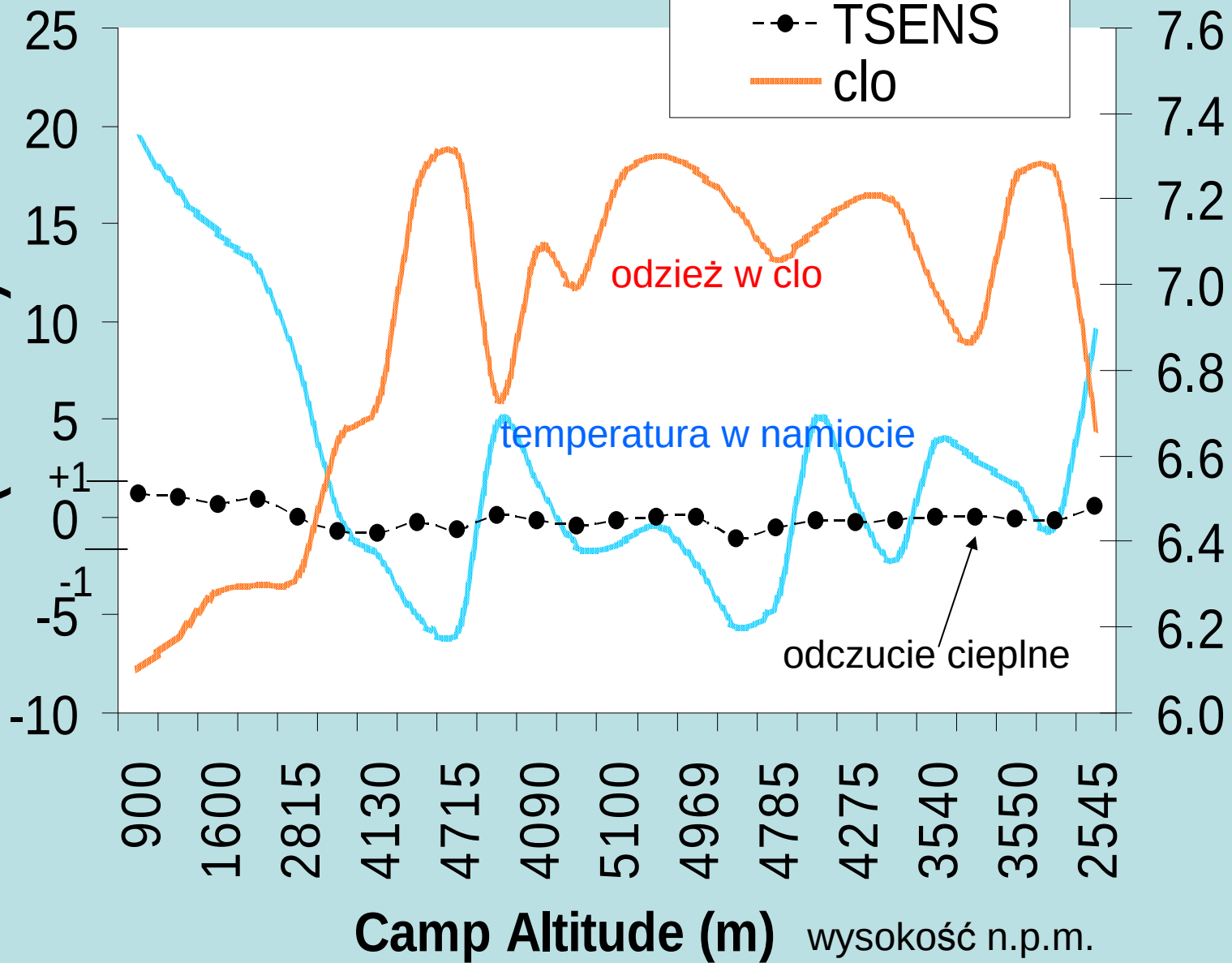




Lodowiec Kangchenjunga

Kangchenjunga Exploratory

Air Temperature (°C) and
Thermal Sensation
(TSENS)



Średnia izolacyjność odzieży i śpiwora

5.8 do 7.8 clo (± 0.7)

Średnie odczucie komfortu

0.6 do 0.8 (± 0.9)

(na skali od -3 do +3)



w warunkach ekstremalnych, w czasie snu, ludzie stosują bardzo wysoką izolację cieplną nawet do 8 clo, niezależnie od temperatury wewnątrz namiotów



Langshisa
Kharka
in Upper
Langtang

Wnioski:

1. Osoby w warunkach wysokogórskich (do 6000 m) spały w namiotach (o temperaturze powietrza wewnątrz od -9 do 20 °C), korzystały w czasie snu z odzieży do 2 clo i śpiworów o izolacyjności 6-7 clo – niemal niezależnie od wysokości i warunków zewnętrznych.
2. Osoby te preferowały w czasie snu warunki zdecydowanie cieplejsze („na wyrost”) niżby tego wymagały warunki termoneutralne.

Wnioski:

1. Człowiek zawsze stara się utrzymać własny bilans energetyczny w równowadze, ale nie lubi się pocić lub nosić za dużo odzieży.
2. Człowiek jest organizmem stałocieplnym i nie może wyłączyć metabolizmu. Izolacja odzieży zależy od mody i zwyczajów.
3. W niesprzyjających klimatach staramy się stworzyć warunki sztuczne najbliższe naszemu optimum. Koniecznie chcemy mieć możliwość regulowania tych warunków (n.p. otwieranie okien, dostęp do termostatu)
4. W niesprzyjających warunkach, które uznamy za obiektywne, jesteśmy jednak wyrozumiali i akceptujemy pewne odstępstwa od idealnych warunków
5. Warunki mikroklimatyczne w pomieszczeniach wpływają pośrednio na nasze zadowolenie z pracy, a także na naszą produktywność
6. W ekstremalnych warunkach umiemy przewidywać nasze potrzeby termoregulacyjne i wolimy się zabezpieczyć „na wyrost”. W ten sposób możemy żyć niemal wszędzie.

Dziękuję za uwagę

australijskie drzewo Bożonarodzeniowe kwitnące w grudniu

