

Tepelně vlhkostní mikroklima

Hodnocení



Co je to tepelná pohoda ?

Tepelná pohoda znamená, že je dosaženo takových tepelných poměrů, kdy člověku není ani chladno, ani příliš teplo - člověk se cítí příjemně (*Cihelka*)

Tepelnou pohodou (někdy též tepelnou neutralitou) se označuje stav, kdy prostředí odnímá člověku jeho tepelnou produkci bez výrazného (mokrého) pocení (*Pulkrábek*).

Tepelná pohoda je stav mysli, jenž vyjadřuje spokojenost s teplotním klimatem a který vychází ze subjektivního hodnocení (*ASHRAE*).

Tepelná pohoda znamená podmínky prostředí, za kterých jsou regulační mechanismy organismu namáhány tak, aby člověk adaptovaný na prostředí udržel s minimálním úsilím v chodu všechny své biologicky významné funkce (*Selye 1964*)

Tepelná pohoda je v prostředí, které u člověka vyvolává pohodu a uspokojuje jeho city (*Krch 1965*)

Tepelná pohoda představuje stav mysli, který vyjadřuje uspokojení s prostředím (*Fanger 1970*)

Tepelná pohoda znamená stav, ve kterém největší procento osob ze skupiny udává pohodu prostředí (*Fanger 1970*)

Tepelná pohoda zahrnuje souhrn podmínek, za nichž si subjekt neuvědomuje stav prostředí (*Saini 1971*)

Tepelná pohoda se vyznačuje neexistencí zbytečné tísně při dané činnosti (*Brundrett 1974*)

Metody hodnocení prostředí

- **Objektivní** – tepelná rovnováha člověka, skutečný účinek agencí na člověka
- **Subjektivní** – tepelný pocit člověka, vnímání prostředí
- **Předpisové** – hygienické předpisy (zákony, normy)

Stěžejní veličiny TV MK

Tepelný pocit člověka závisí hlavně na tepelné rovnováze jeho těla jako celku. Tuto rovnováhu ovlivňuje:

1. tělesná činnost
2. oděv
3. parametry prostředí:

teplota vzduchu

střední radiační teplota (teplota povrchů)

rychlost proudění vzduchu

vlhkost vzduchu

Identifikace veličin
prostředí

Působení veličin
na člověka

Objektivní hodnocení TV stavu prostředí

A) v reálných budovách měřením fyzikálních veličin a aplikací metod pro hodnocení (PMV, WGBT, teplota výsledná)

B) v navrhovaných budovách modelování TV MK

materiální – experimenty s pokusnými osobami v klimatických komorách

matematické – výpočtové metody simulující s různou přesností tepelný stav prostředí a fyziologickou odezvu lidského organismu

Prognóza TV stavu prostředí

matematické metody

a. v ustáleném teplotním stavu (stacionární):

- teplota vzduchu a průměrná teplota stěn (vážený průměr podle ploch)
- vypočtená operativní teplota

b. v neustáleném teplotním stavu (dynamické zjednodušené)

- tepelná stabilita v zimním období (pokles teploty při přerušovaném vytápění)
- tepelná stabilita v letním období (vzestup teploty v důsledku působení sluneční radiace)

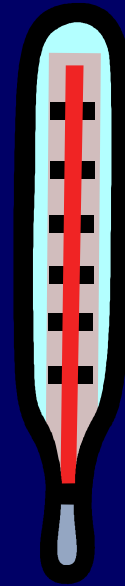
c. v neustáleném teplotním stavu – (dynamické)

- simulace teplotních veličin prostředí

programy tepelného chování místnosti (komplexní termodynamický systém místnosti) klimatická data – referenční rok, stavební řešení, provoz budovy, systém a provoz VVK, chování uživatele; metoda tepelné rovnováhy

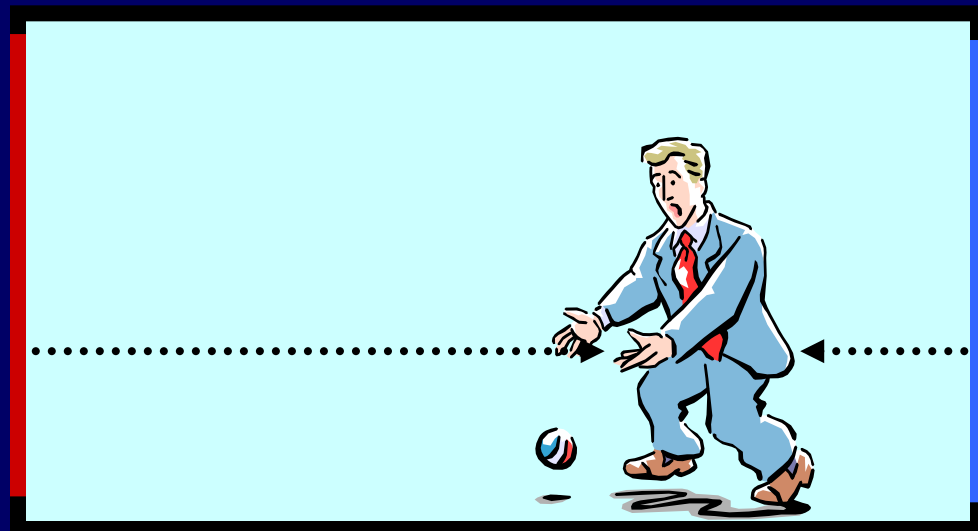
Teplota vzduchu t_a

Teplota vzduchu je teplota interiérového vzduchu bez vlivu sálání z okolních povrchů.



Střední radiační teplota t_r

zohledňuje vzdálenost posuzovaného bodu od jednotlivých povrchů a jejich poměrnou velikosti (tzv. view factor - poměr osálení) a je tedy **vázána na daný bod v prostoru**. U interiérů s rovnoměrnou povrchovou teplotou okolních ploch je vliv posuzovaného místa v prostoru malý, u interiérů s velkými chladnými resp. horkými povrchy je tento vliv podstatný a nezanedbatelný - střední radiační teplota bude zcela jiná v těsné blízkosti a ve velké vzdálenosti od chladné stěny



Teplota výsledná t_g



= teplota **změřená kulovým teploměrem**, která zahrnuje jak vliv teploty vzduchu, tak obklopujících stěn. Optimální radiční pohoda, tedy optimální poměr mezi teplem vydaným konvekcí a sáláním, je dosažena při maximálním rozdílu teploty kulového teploměru a teploty vzduchu $|t_a - t_g| < 4\text{K}$.

Operativní teplota t_o

= **vypočtená** veličina, je definována jako jednotná teplota černého uzavřeného prostoru, ve kterém by tělo sdílelo **konvekcí** i **sáláním** stejné množství tepla, jako ve skutečném teplotně nesourodém prostředí.

$$t_o = A \cdot t_a + \frac{1}{2} - A t_r$$

V_{ar}	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0
A	0,50	0,53	0,60	0,65	0,70	0,75

Teplota efektivní t_{ef}

= teplota prostoru při **relativní vlhkosti 50%**, která způsobí stejné celkové tepelné ztráty z pokožky jako ve skutečném prostředí. Dva prostory se stejnou efektivní teplotou vyvolají **stejné reakce organismu**, i když tyto prostory mají rozdílnou teplotu i vlhkost vzduchu. Podmínkou je však stejná rychlost proudění vzduchu.

Ukazatelé PMV a PPD

ČSN EN ISO 7730 Mírné tepelné prostředí

Stanovení ukazatelů PMV a PPD a popis podmínek tepelné pohody

- Předpověď středního tepelného pocitu člověka **PMV** na základě jeho činnosti, oděvu a faktorů prostředí v 7mi stupňové stupnici
- Předpověď procentuálního podílu nespokojených **PPD**, která poskytuje informaci o tepelné nepohodě tím, že předpovídá procentuální počet lidí, kteří budou v daném prostředí pravděpodobně pociťovat přílišné teplo nebo přílišné chladno
- Předpověď procentuálního podílu osob, které budou v daném prostředí pociťovat průvan, stupeň obtěžování průvanem **DR**

Ukazatel PMV

- **aktivita** (energetický výdej M)
- **oděv** (tepelný odpor I_{cl})
- **teplota vzduchu** t_a
- **střední radiační teplota** t_r
- **relativní rychlost proudění vzduchu** v_a
- **parciální tlak vodní páry** p_p

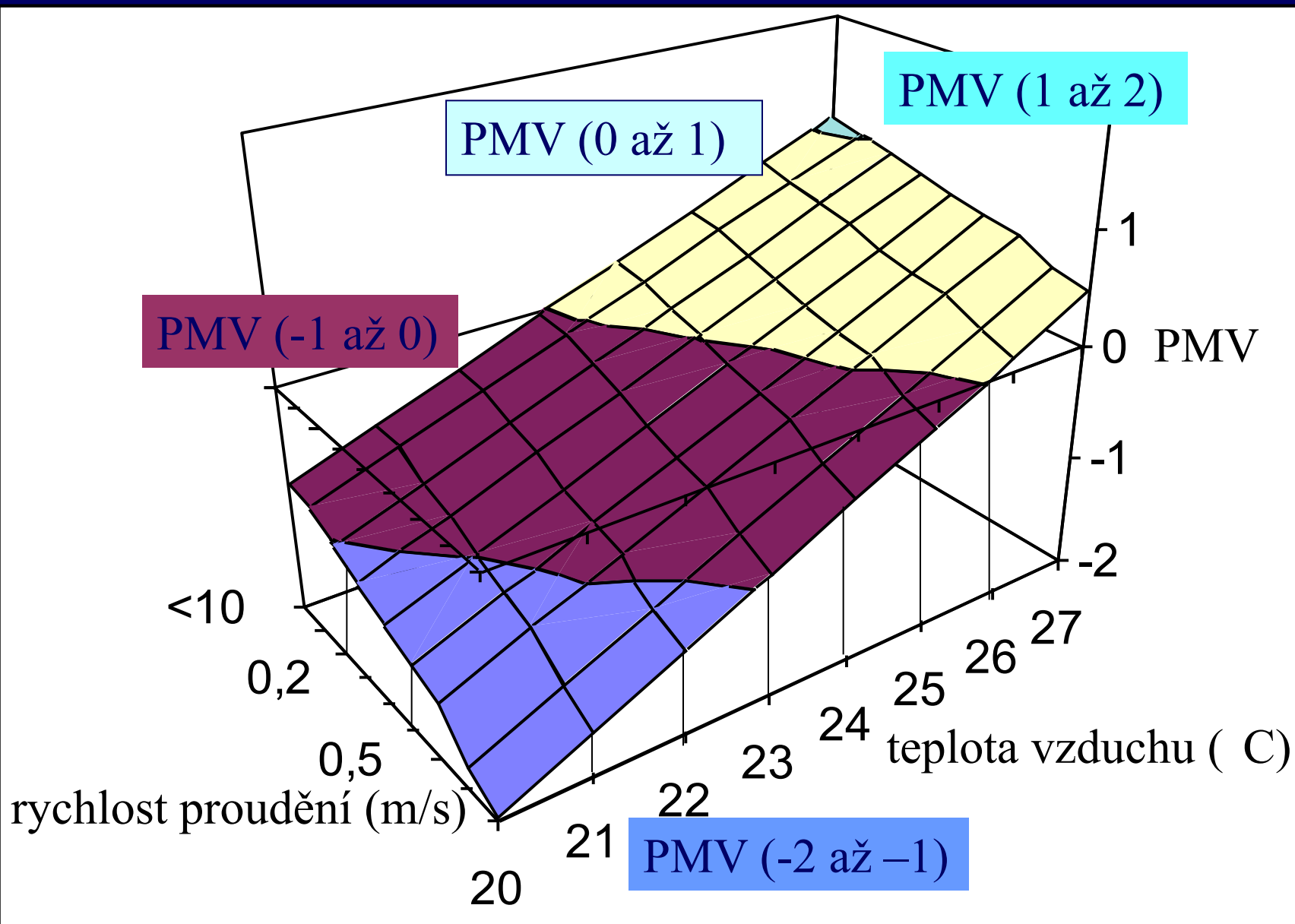
V mírném tepelném prostředí termoregulační systém člověka automaticky mění teplotu kůže a vylučování potu, aby udržel tepelnou rovnováhu. V ukazateli *PMV* je fyziologická odpověď termoregulačního systému statisticky vztažena k výsledkům posouzení vlastního tepelného pocitu.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Zima	Chladno	Mírně chladno	Neutrálně	Mírně teplo	Teplo	Horko

mírné tepelné prostředí



PMV – průměrný tepelný pocit



Použití ukazatele PMV

- ověření, že dané tepelné prostředí odpovídá kritériím pohody
- vytvoření širších mezí přijatelnosti v prostorách s nižšími požadavky na pohodu
- předpovědi kombinace činnosti, oděvu a podmínek prostředí, které vyvolají tepelně neutrální pocit ($PMV=0$)

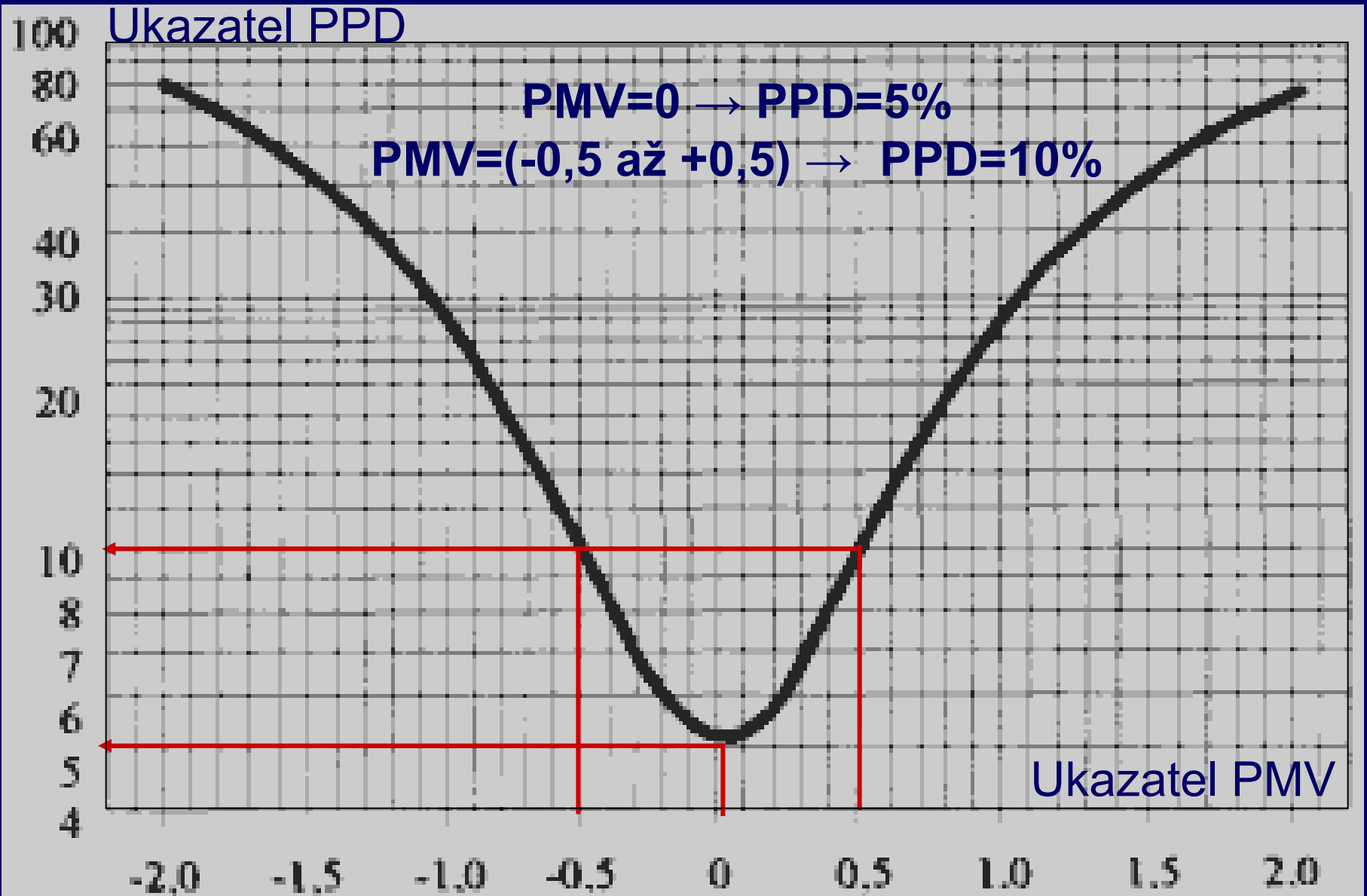
$$PMV = 0,303 e^{-0,036 M} + 0,028 \left\{ \begin{array}{l} \left[\frac{M - W}{1733} - 6,99 \frac{M - W}{p_a} + \right. \\ - 0,42 \frac{M - W}{58,15} - 1,7 \cdot 10^{-5} M \frac{867}{p_a} + \\ \left. - 0,0014 M \frac{34 - t_a}{3,96 \cdot 10^{-8}} f_{cl} \frac{t_{cl} + 273}{4} + \right. \\ \left. - \frac{t_r + 273}{4} + f_{cl} \cdot h_c \frac{t_{cl} - t_a}{4} \right] \end{array} \right\}$$

Ukazatel PPD

Ukazatel PPD je kvantitativní předpověď poměrného počtu lidí, kteří budou s daným prostředím nespokojeni. Z velké skupiny lidí předpovídá procentuální podíl osob, které budou pravděpodobně pociťovat přílišné teplo nebo chladno.

$$PPD = 100 - 95 e^{-0,033 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2}$$

Ukazatel PPD



Obtěžování průvanem DR

Průvan = pohyb vzduchu, který může způsobit nežádoucí **místní ochlazování lidského těla**. Možno vyjádřit procentuálním podílem lidí, u kterých se předpokládá pocit obtěžování průvanem.

$$DR = (34 - t_a)(v - 0,05)^{0,62} (0,37 v \cdot Tu + 3,14)$$

Tu ... místní intenzita turbulence (%)

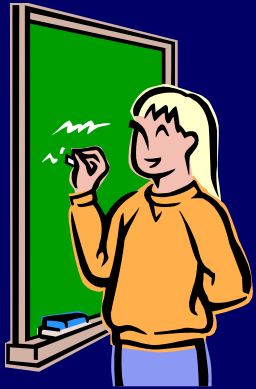
Třída budovy a kvalita prostředí

EUR 14449 EN

Třída budovy		Předpokládaný podíl nespokojených <i>PPD</i> (%)
A	s nejvyššími požadavky	10
B	střední úroveň	20
C	nejnižší stupeň	30

Kvalita prostředí a lidská produktivita

Existují zahraniční studie, které dokazují, že např. při lehké práci dochází ke stoprocentnímu výkonu člověka při teplotě **22 C**, při teplotě **27 C** klesá schopnost podávat plný výkon o 25 %, při **30 C** se dosahuje pouze 50 % z optima.



Příklad – Stanovení parametrů prostředí podle kvality budovy

Určete rozmezí operativní teploty pro jednotlivé činnosti a předpokládaný podíl osob nespokojených s prostředím. Potřebné údaje odvoďte z obrázku. Relativní rychlost proudění vzduchu odhadněte.

a) PPD= 10%

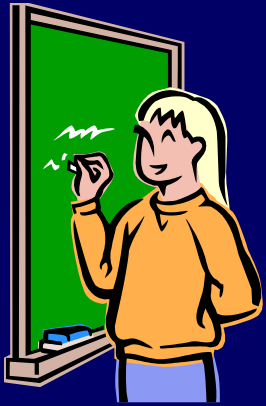


b) PPD= 15%



c) PPD= 20%





Příklad – Stanovení parametrů prostředí podle kvality budovy (řešení)

Veličiny / příklad		a	b	c
Tepelný odpor oděvu (clo)				
Energetický výdej (met)				
Mechanická práce (met)				
Relativní rychlost vzduchu (m/s)				
PMV pro PPD (min a max)				
Operativní teplota (C)	ČSN EN ISO 7730			
	Nařízení vlády č.523/2002 Sb.			

ČVUT, Fakulta stavební, Katedra TZB
Prof. Ing. Miloslav V. Jokl, DrSc.



Celoživotní práce v oblasti vnitřního prostředí budov. Autor teorie ekosystému a komplexního ekosystému v uzavřených prostorách budov a jeho matematického modelu. Experimentální výzkum tepelného zatížení člověka v klimatické komoře.

Vlastní konstrukce kulového teploměru a stereoteploměru.

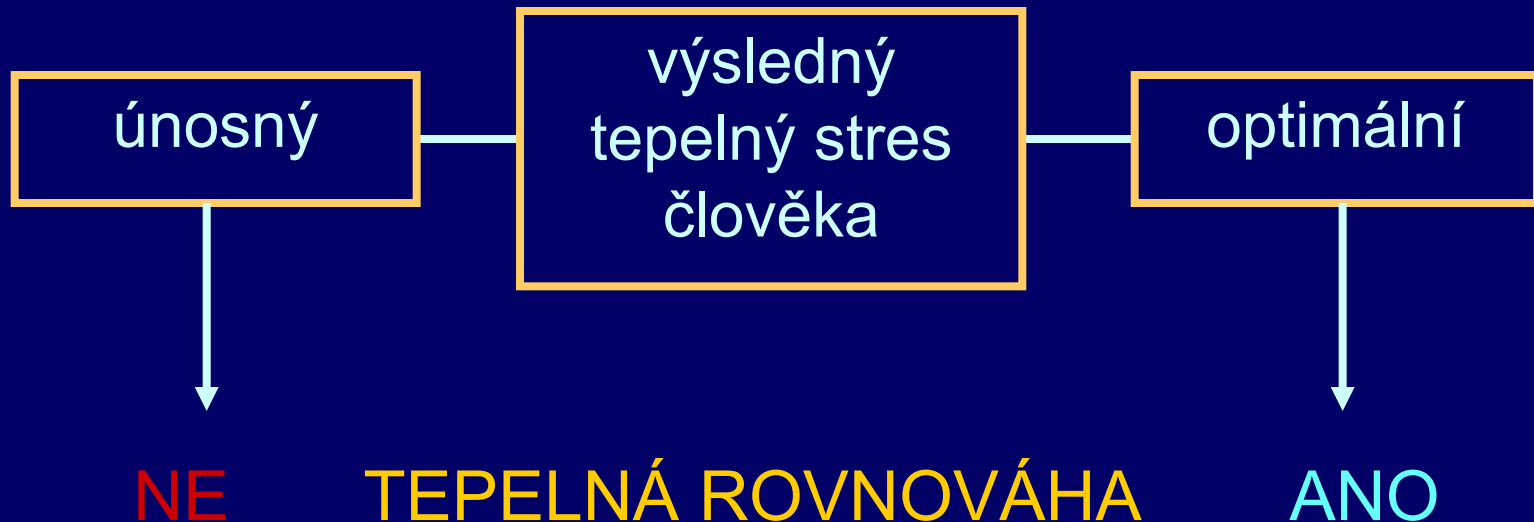
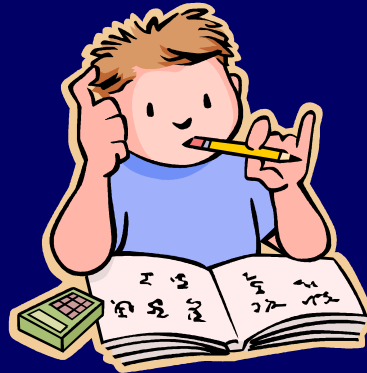
zákon zachování hmoty a energie = zákon zachování agencie

Joklův systém hodnocení

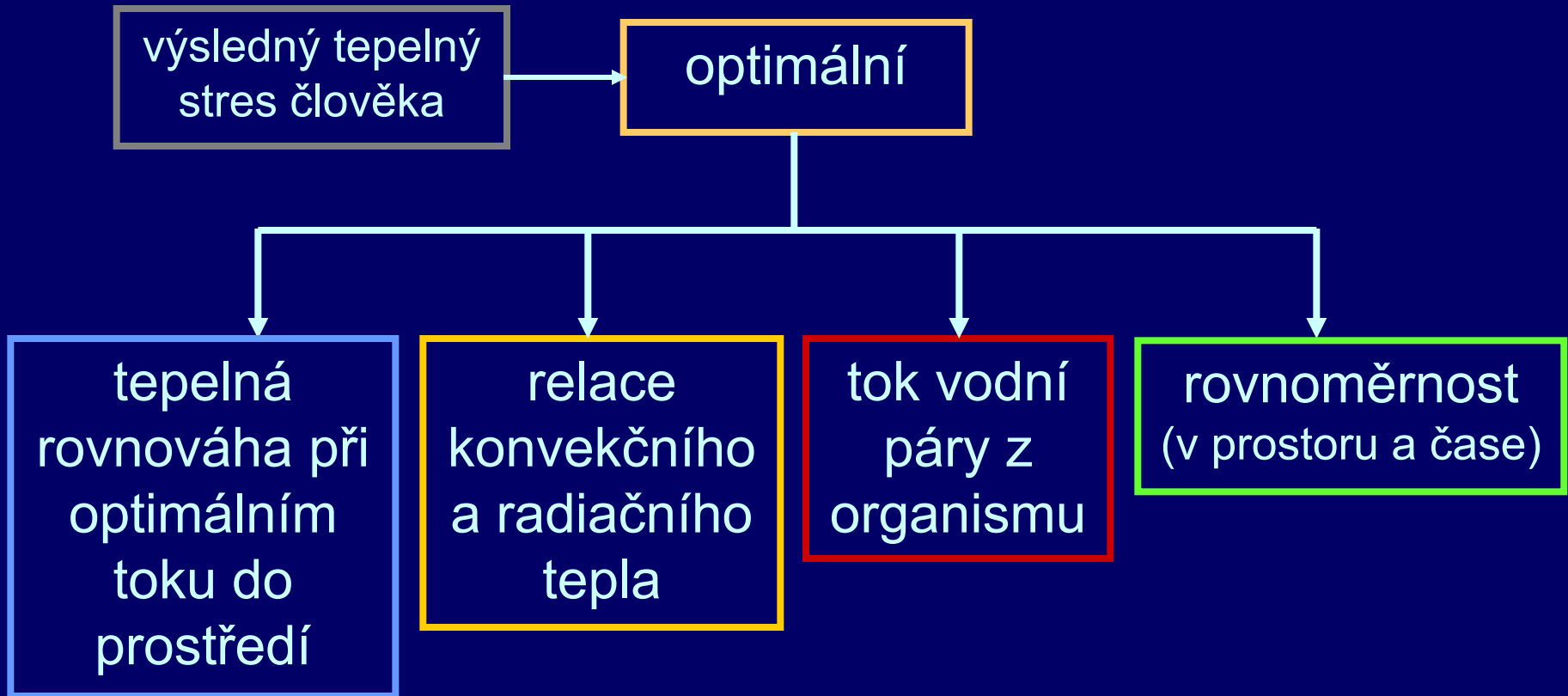
je zaměřený na posuzování všech tepelně-vlhkostních stavů zejména pracovního prostředí. Vyhodnocují se tu:

- **toky agencií**, tj. tepelné toky exponující organismus člověka
- koncentrace těchto agencií v jednotce objemu
- prostorové rozložení toků agencií v exponovaném subjektu - **rovnoměrnost expozice**, tj. rovnoměrnost tepelné zátěže člověka v prostoru
- **doba expozice a časové rozložení** toků agencií, tj. poměry tepelných toků různého druhu.

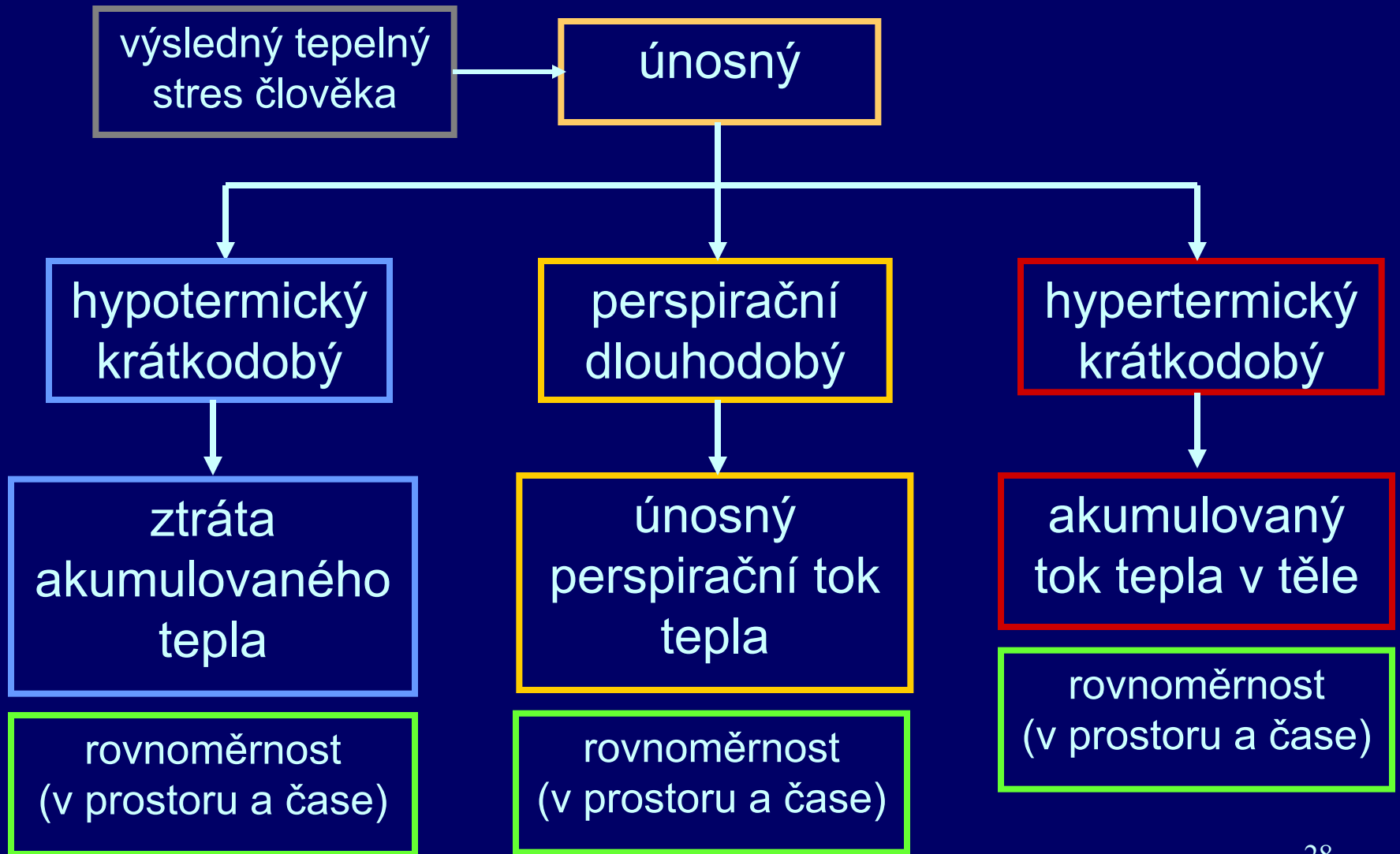
Metodika hodnocení TV mikroklimatu



Metodika hodnocení TV mikroklimatu



Metodika hodnocení TV mikroklimatu



Optimální TV MK

- **Tepelná rovnováha** lidského organismu bez pocení
- Optimální **rovnoměrností** tepelné zátěže člověka v prostoru a v čase
- Optimální **relací konvekčního a radiačního** tepla
- Optimálním tokem **vodní páry** do prostředí

Další podmínky doplňující
tepelnou rovnováhu

Další podmínky doplňující tepelnou rovnováhu

podmínka	Vliv vytápění a vzduchotechniky
Asymetrie radiační teploty od oken nebo jiných chladných svislých povrchů nesmí být větší než 10 C.	umístění vyústek přívodu vzduchu
Rozdíly teplot vzduchu mezi úrovní hlavy a kotníků nesmí být větší jak 3 C.	umístění vyústek přívodu vzduchu
Asymetrie radiační teploty od teplého stropu nebo jiných vodorovných povrchů nesmí být větší jak 5 C.	vytápěné nebo chlazené stropy či podlahy
Intenzita osálení hlavy od okna nebo infrazářiče nesmí být větší než 200 W/m ²	umístění infrazářičů
DR (stupeň obtěžování průvanem) ve středu vzdálenosti 50 cm od oken nebo jiných nadměrně ochlazovaných svislých stavebních konstrukcí (dveří, stěn) nesmí být větší jak 15 %.	umístění otopných těles a jejich dostatečná délka umístění a typ vyústek přívodu vzduchu

Tepelná rovnováha (neutralita) nemusí nutně znamenat tepelnou pohodu (může jí být dosaženo např. v nepříjemně těžkém oděvu), ale **tepelná pohoda** je podmíněna tepelnou rovnováhou. Oblast tepelné pohody je totiž jen částí rozsahu tepelné neutrality.



Rovnoměrnost tepelné zátěže člověka v prostoru

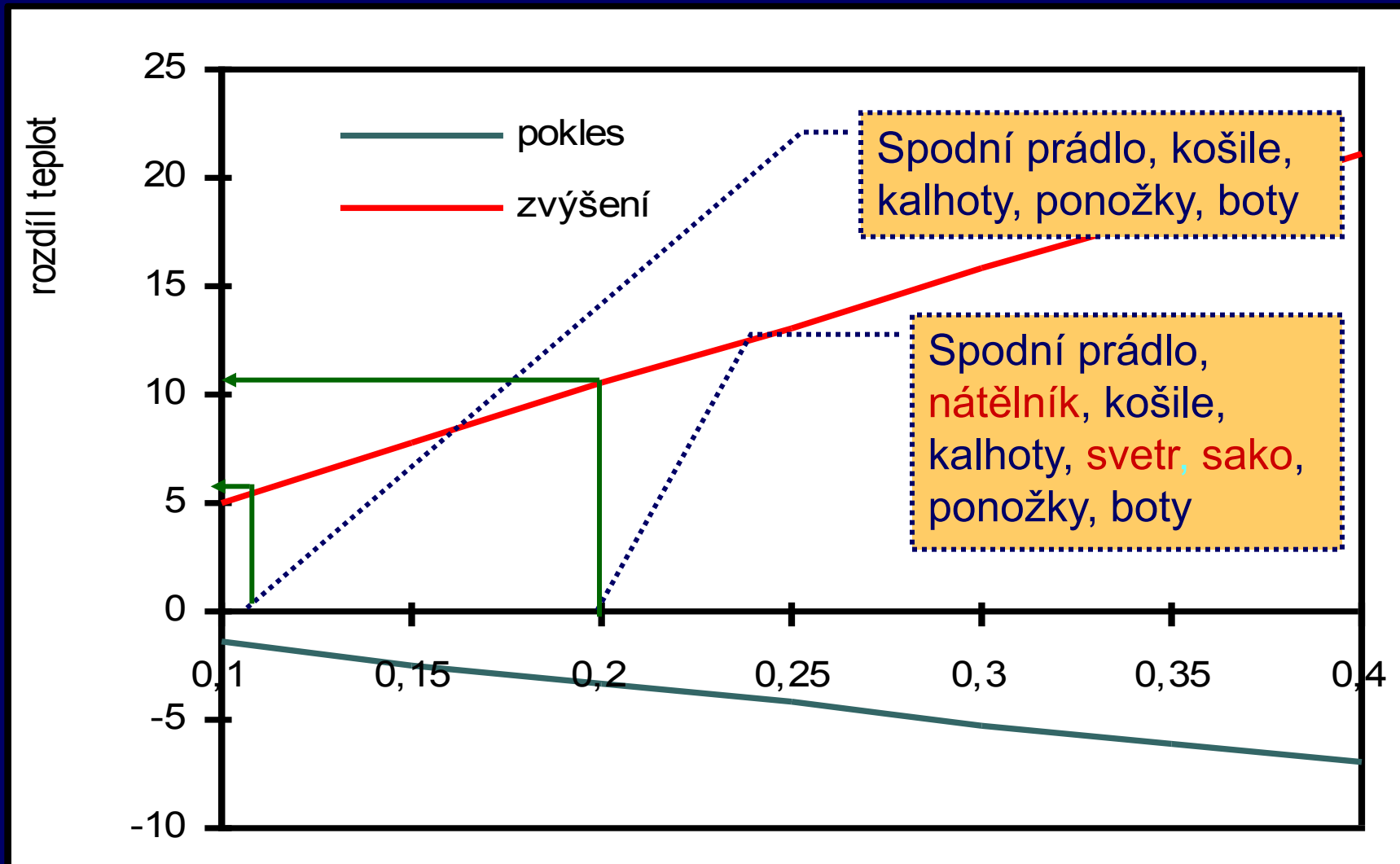
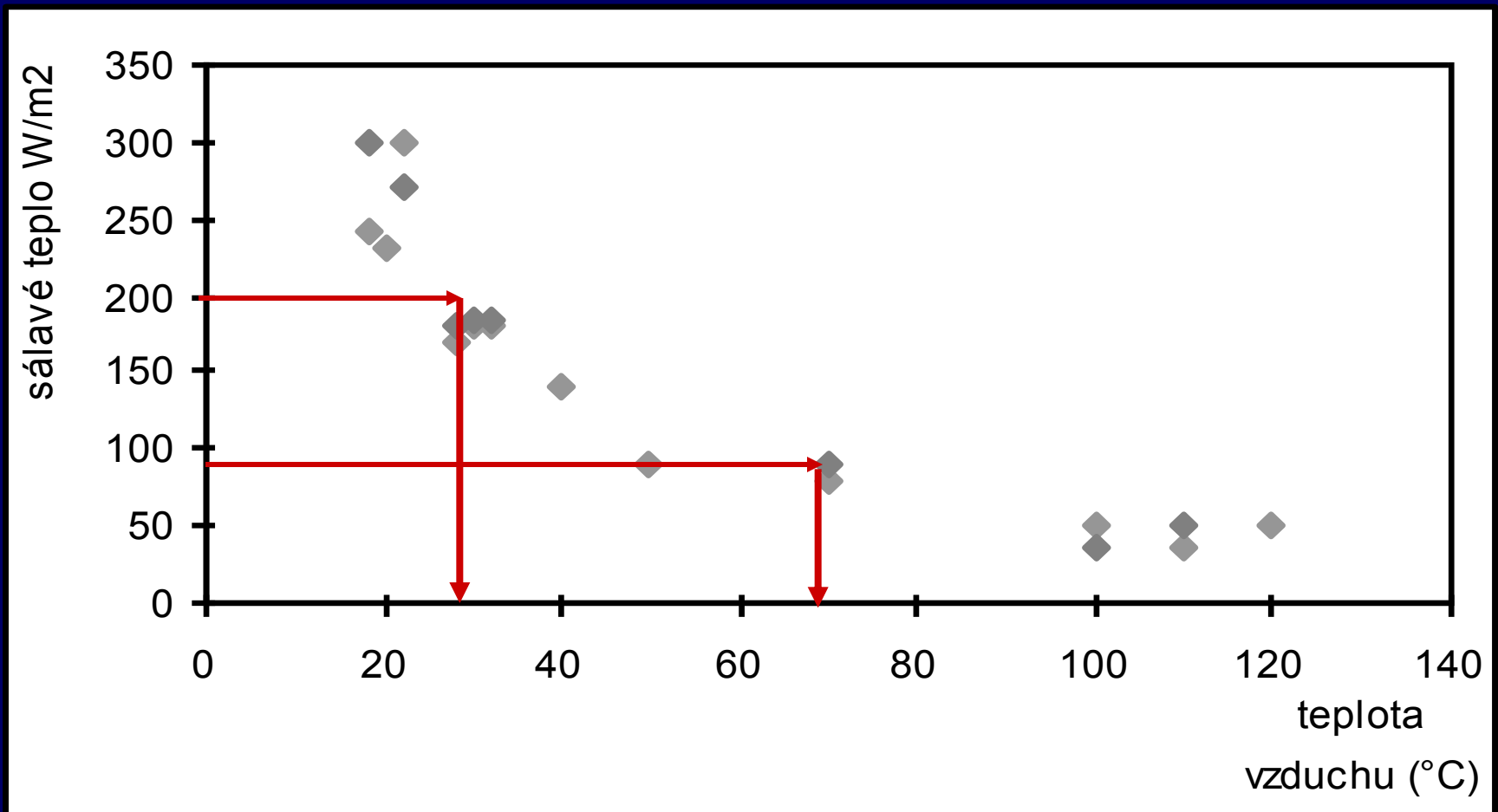
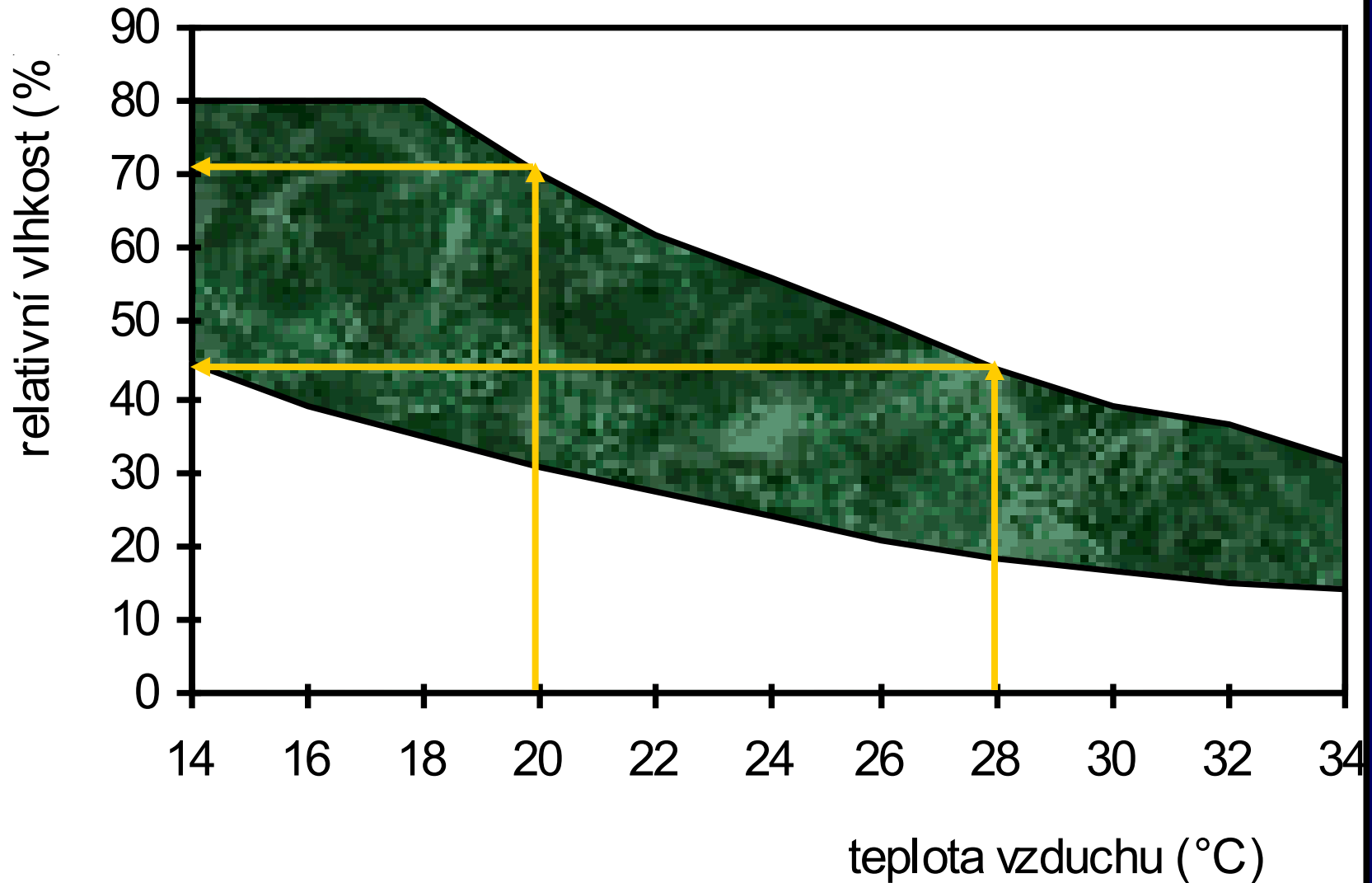


Diagram přípustného poklesu nebo zvýšení globeteploty ve výši kotníků vůči dýchací zóně. Tím jsou stanoveny požadavky na rovnoměrnost₃₂ větrání, vytápění a chlazení, a na teplotu přiváděného vzduchu

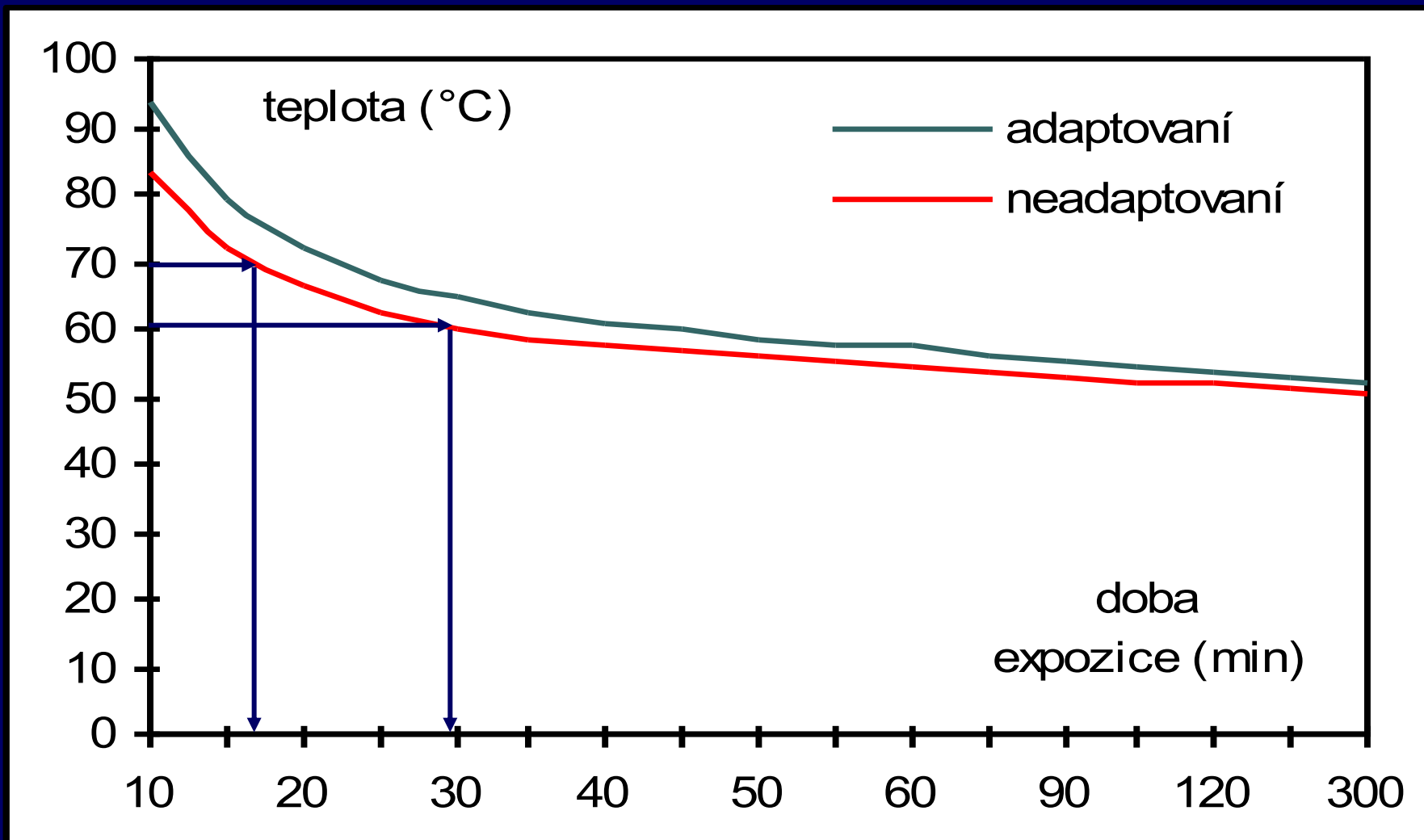
Krátkodobě únosné horké mikroklima



Optimální tok vodní páry do prostředí



Krátkodobě únosné horké mikroklima

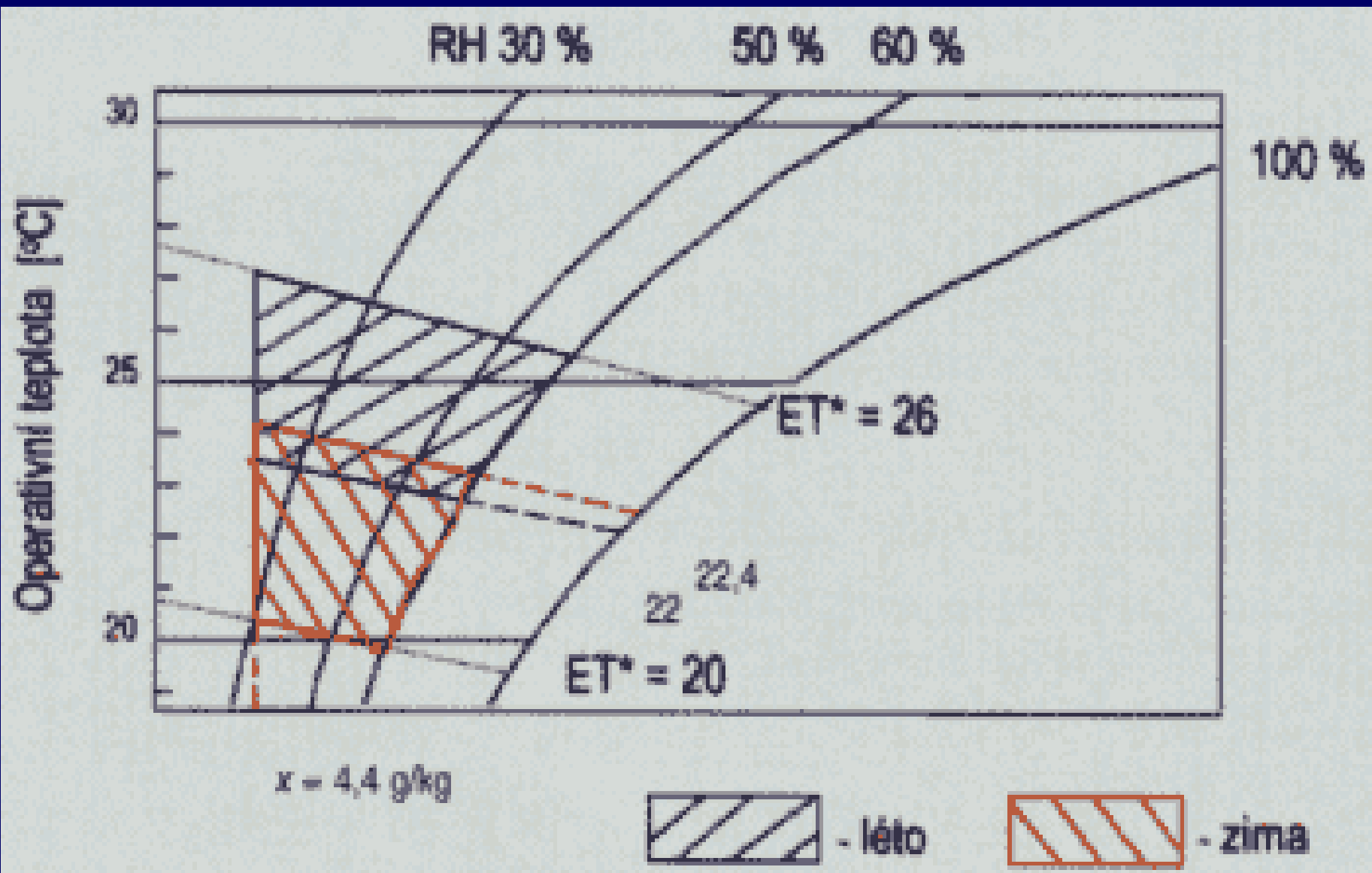


ASHRAE 55-92

Optimální a přípustné operativní teploty pro osoby vykonávající lehkou práci, při relativní vlhkosti vzduchu 50% a střední rychlosti vzduchu $\leq 0,15 \text{ m.s}^{-1}$

ASHRAE 55-92 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy
Americká norma 55-1992 (Tepelné parametry interiéru obývaného člověkem)

Období	Typické oblečení	Izolace oblečení [clo]	Stupeň aktivity [met]	Optimální operativní teplota [°C]	Přípustné rozmezí operativní teploty [°C]
Zima	Silné kalhoty, košile s dlouhým rukávem a svetr	0,9	1,2	22	20 až 23,5
Léto	Slabé kalhoty, košile s krátkým rukávem	0,5	1,2	24,5	23 až 26
	Minimální oblečení	0,05	1,0	27	26 až 29



Oblast tepelné pohody v letním a zimním období, pro člověka s oblečením typickým pro dané období a mírnou aktivitou (1,2 met), s předpokladem 10 % nespokojených lidí. ET ... efektivní teplota

Hygienické předpisy v ČR

Požadavky na kvalitu vnitřního prostředí vycházejí z našich platných předpisů:

- zákon č. 50/1976 Sb. - stavební zákon v platném znění
- zákon č. 20/1966 Sb. o zdraví lidu ve znění zákona č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví
- zákon č. 65/1965 Sb. - zákoník práce ve znění zákona č. 155/2000 Sb

Závazné požadavky pro další typy prostředí, především pro byty a bytové domy, ale třeba i čisté prostory zdravotnických pracovišť, našimi předpisy stanoveny nejsou. V těchto případech se opíráme pouze o doporučení existujících našich ČSN, příp. nejbližších zahraničních norem a doporučení, většinou VDI.

Hygienické předpisy v ČR

PRACOVNÍ PROSTŘEDÍ

Nařízení vlády č. 178/2001 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci před některými riziky plynoucími z pracovních podmínek a požadavky na pracovní prostředí a pracoviště, v novelizovaném znění nařízení vlády č. 523/2003 Sb. – stanoví mikroklimatické parametry a limity pro znečištění vnitřního prostoru.

OBČANSKÉ STAVBY

Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí obytných místností některých staveb – určuje mikroklimatické parametry a limity pro znečištění vnitřního vzduchu.

Hygienické předpisy v ČR pro pracovní prostředí

Třída práce	M [W.m ⁻²]	Operativní teplota t_o [°C]			V_a [m.s ⁻¹]	Rh [%]
		$t_{o\ min}$	$t_{o\ oot}$	$t_{o\ max}$		
I	≤ 80	20	22 ± 2	28	0,1 až 0,2	30 až 70
IIa	81 až 105	18	20 ± 2	27	0,1 až 0,2	
IIb	106 až 130	14	16 ± 2	26	0,2 až 0,3	
IIIa	131 až 160	10 ⁺	12 ± 2	26 ⁺	0,2 až 0,3	
IIIb	161 až 200	10 ⁺⁺	12 ± 2	26 ⁺⁺	0,2 až 0,3	

Celoročně a celosměnově přípustné mikroklimatické podmínky pro jednovrstvý až třívrstvý oděv, tj. tepelný odpor oděvu $R = 0,5$ až 1 clo a relativní vlhkost vzduchu 30-70 % podle NV č. 523/2002 Sb.

Administrativa = pracovní prostředí

MÁ BÝT:

nařízení vlády č. 178/2001 Sb. ve znění nařízení vlády č. 523/2002 Sb.:

- optimální hodnoty operativní teploty, resp. výsledné teploty kulového teploměru **22 ± 2 C**
- rozmezí únosných hodnot operativní teploty, resp. výsledných teplot kulového teploměru **20 až 28 C**
- rychlost proudění vzduchu 0,1 až 0,2 m.s⁻¹
- relativní vlhkost 30 až 70 %

Nespokojenost s prostředím = často zástupný problém

SKUTEČNOST – MĚŘENÍ SZÚ:

Příklady z měření výsledných teplot při venkovních teplotách 28 až 30 C:

- Pracoviště s přirozeným větráním - teploty až **40 C**
- Nuceně větraná pracoviště - teploty kolem **30 C**
- Klimatizovaná pracoviště - teploty kolem **28 C** a velká zátěž

termoregulačního mechanismu organismu při přechodech vnitřní/vnější prostředí.

Subjektivní hodnocení TV stavu prostředí

ČSN ISO 10 551

Stanovení vlivů tepelného prostředí
použitím posuzovacích stupnic

Subjektivní vjem prostředí – dotazníky:

Stupeň	3	2	1	0	-1	-2	-3
Tepelný pocit	Horko	Teplo	Mírně teplo	Neutrálně	Mírně chladno	Chladno	zima
Spokojenost s prostředím	Značná nepohoda		Mírná nepohoda	Pohoda komfort	Mírná nepohoda	Značná nepohoda	
prostředí	horké		optimální			chladné	

Horká prostředí

ČSN ISO 7243 Stanovení tepelné zátěže pracovníka podle ukazatele WGBT

Hodnocení horkého (průmyslového) prostředí
Zahrnuje vliv:

- Teploty vzduchu → kulový teploměr
- Radiační teploty → kulový teploměr
- Rychlosti proudění → přirozeně větraný mokrý teploměr
- Vlhkosti vzduchu → přirozeně větraný mokrý teploměr



$$WGBT = 0,7t_m + 0,3t_g$$

$$WGBT = \frac{WGBT_{hlava} + 2 \cdot WGBT_{břich} + WGBT_{kotníky}}{4}$$



Experimentální metody hodnocení TV mikroklimatu Klimatická komora



- **objektivní** hodnocení reakce subjektu (srdeční frekvence, množství vyloučeného potu)
- **subjektivní** hodnocení (vnímání prostředí)

Klimatická komora

Centrum pracovního lékařství (CPL) Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě

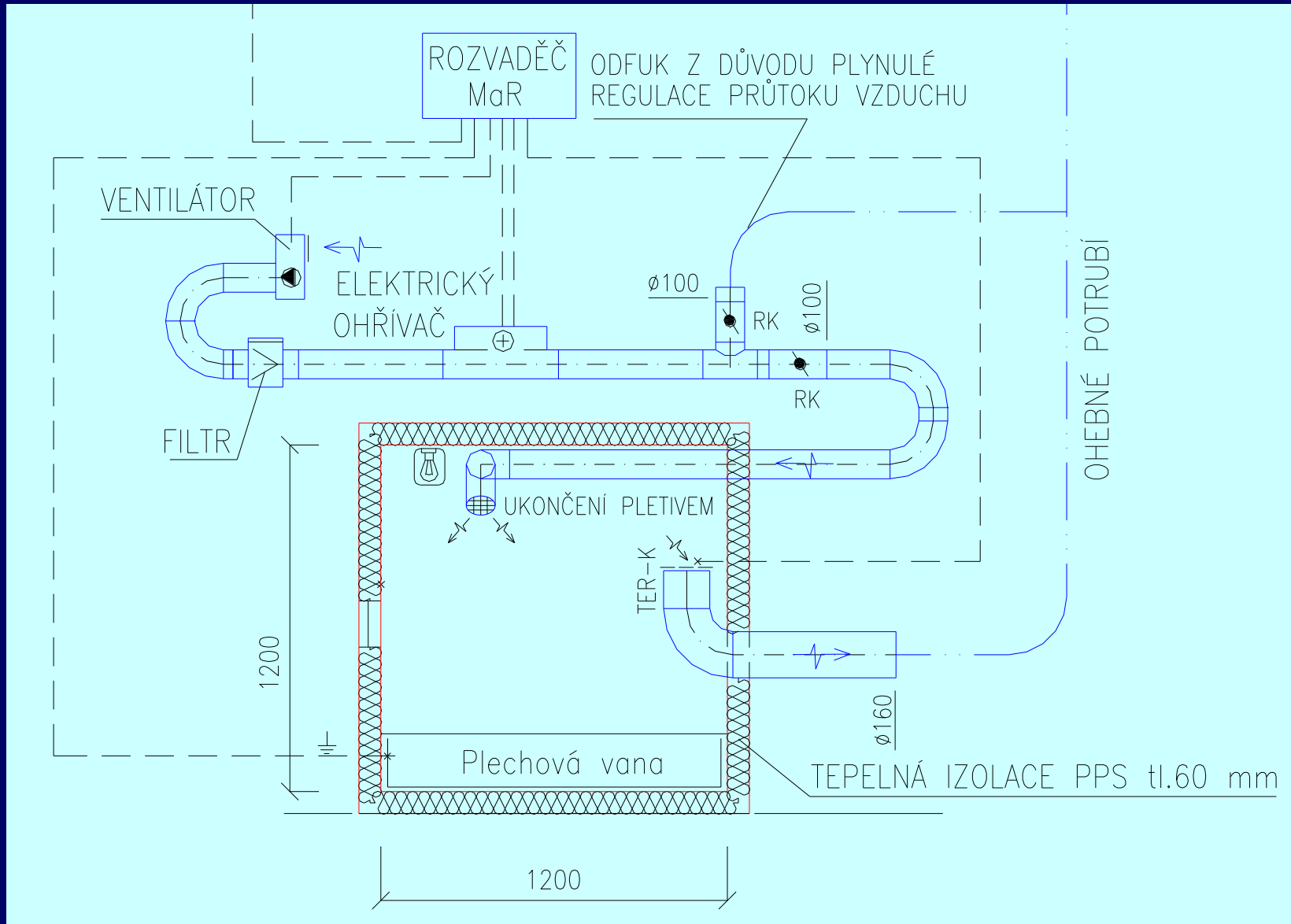
Klimatická komora nabízí možnosti testování reakce lidského organismu na zvýšenou zátěž v **extrémních tepelných a vlhkostních podmínkách**. Odezvu regulačních center a zejména kardiopulmonálního systému na zvýšenou pracovní tepelně-vlhkostní zátěž umožňuje komora kontinuálně monitorovat za přesně definovaných podmínek.

Na základě epidemiologické analýzy získaných dat v těchto simulovaných podmínkách je možné se značnou přesností provést odhad **zdravotních dopadů pracovní-tepelné zátěže** ve vybraných profesích (hasiči, důlní záchranáři apod.).



Klimatická komora v podmínkách VUT

Experimentální box



Experimentální box

experiment, při kterém byly nosnice dlouhodobě vystaveny prostředí o teplotě 28-30 C, kdy již slepice trpí hypertermií, která má negativní dopad i na velikost snášky. Úpravou krmné dávky však bylo dosaženo stejné užitkovosti jako při teplotách o 5 K nižších. Je to příklad další možnosti redukce tepelného stresu.



International Centre for Indoor Environment and Energy

P. Ole Fanger

Professor, D.Sc., Hon.D.Sc.



30 let výzkumů na půdě DTU (Dánská technická univerzita) v oboru vnitřního prostředí budov.

První kniha v roce 1970. Autor více jak desítky monografií, řada medailí ...

Jeho práce je základem EN na hodnocení mírného tepelného prostředí (PMV, PPD)

International Centre for Indoor Environment and Energy

Climate chambers



Subjekty jsou exponovány specifickým podmínkám prostředí (teplota a vlhkost vzduchu apod.) a zaznamenává se jejich subjektivní reakce a fyziologická odpověď organismu. Během experimentu subjekty často čtou nebo píší.



Thermal manikin



„Vytápěná figurína“ má 16 samostatně vyhřívaných zón. Tepelná ztráta z povrchu kůže může být snímána z 8 různých míst.

Nahrazuje člověka, je vystavován různým podmínkám, oblečení (také spací pytel apod.)

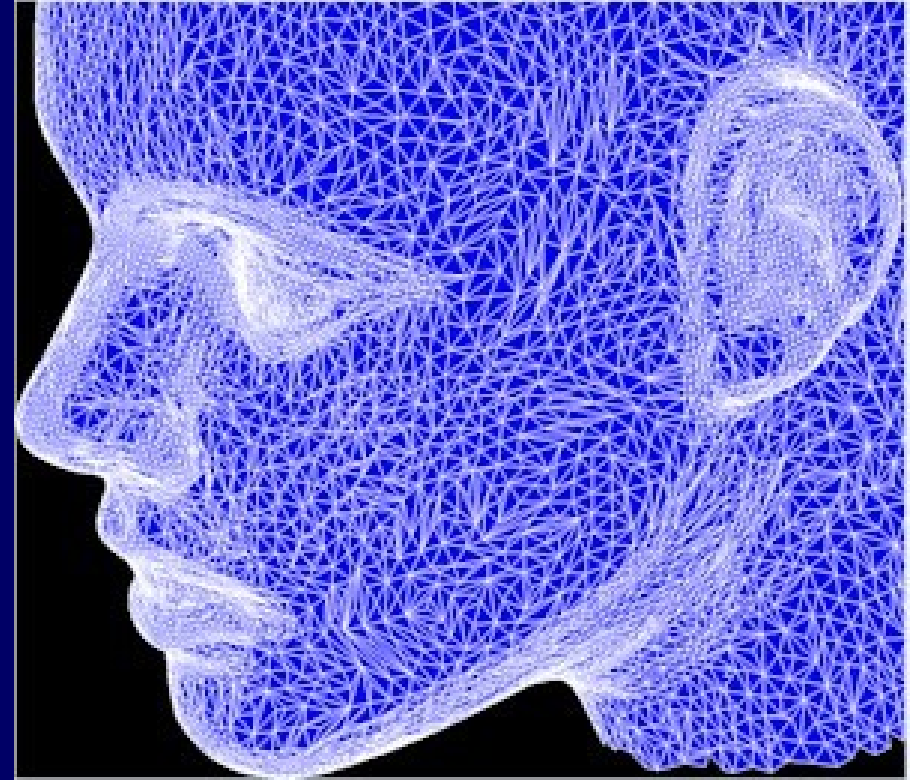
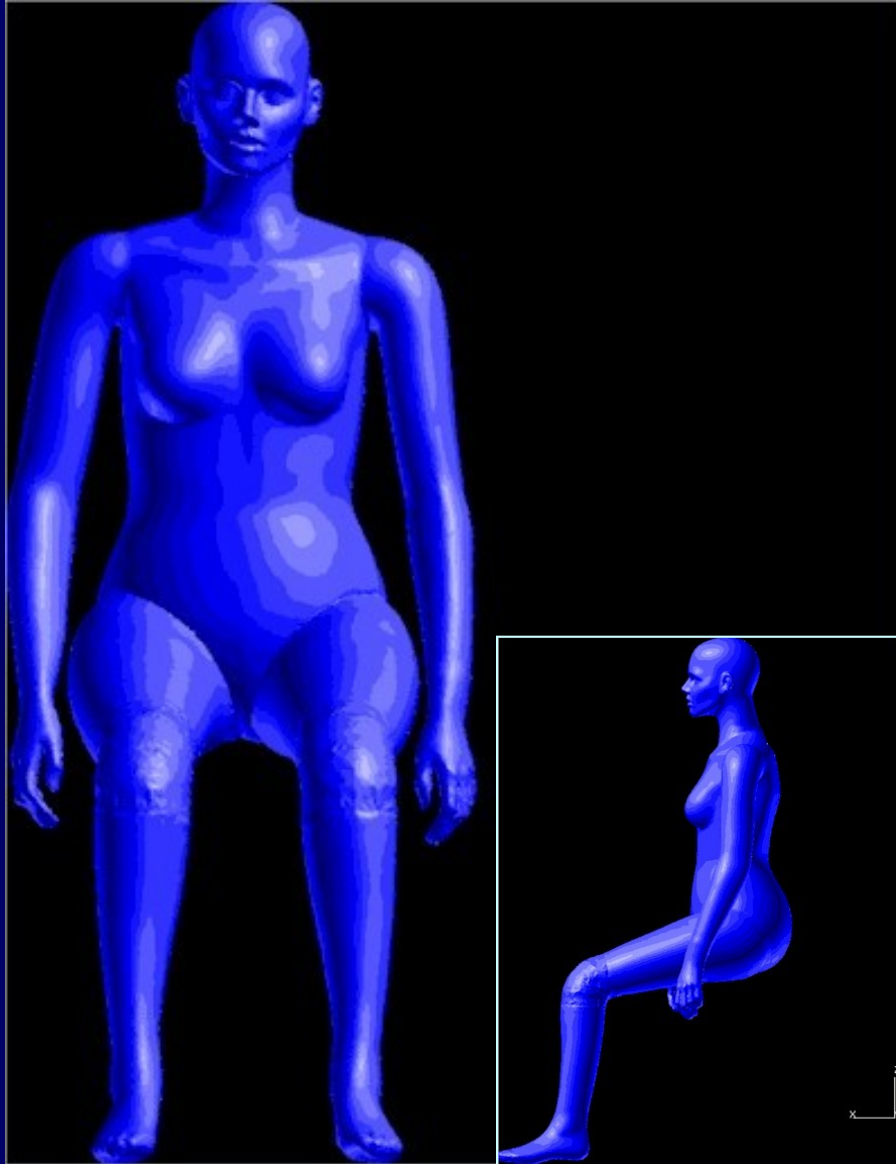
Simulují lidi z různých evropských zemí.

Měření proudění vzduchu při velmi malých rychlostech Laser Doppler anemometrem.



International Centre for Indoor Environment and Energy

Thermal manikin for CFD simulations





Ten, kdo chce v světě něco mít,
musí se hnout a plahočit.

Friedrich Schiller