

Nové možnosti rozvoje vzdělávání na Technické univerzitě v Liberci

Specifický cíl A2: Rozvoj v oblasti distanční výuky, online výuky a blended learning

NPO_TUL_MSMT-16598/2022



Smart oděvy

Zdeněk Kůs



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



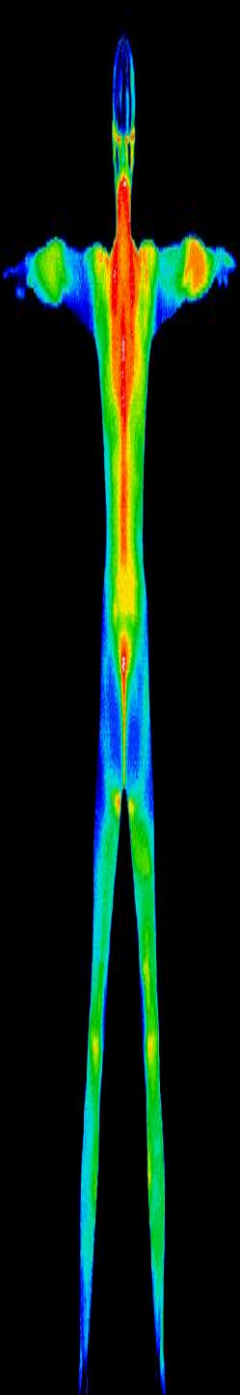
Národní
plán
obnovy

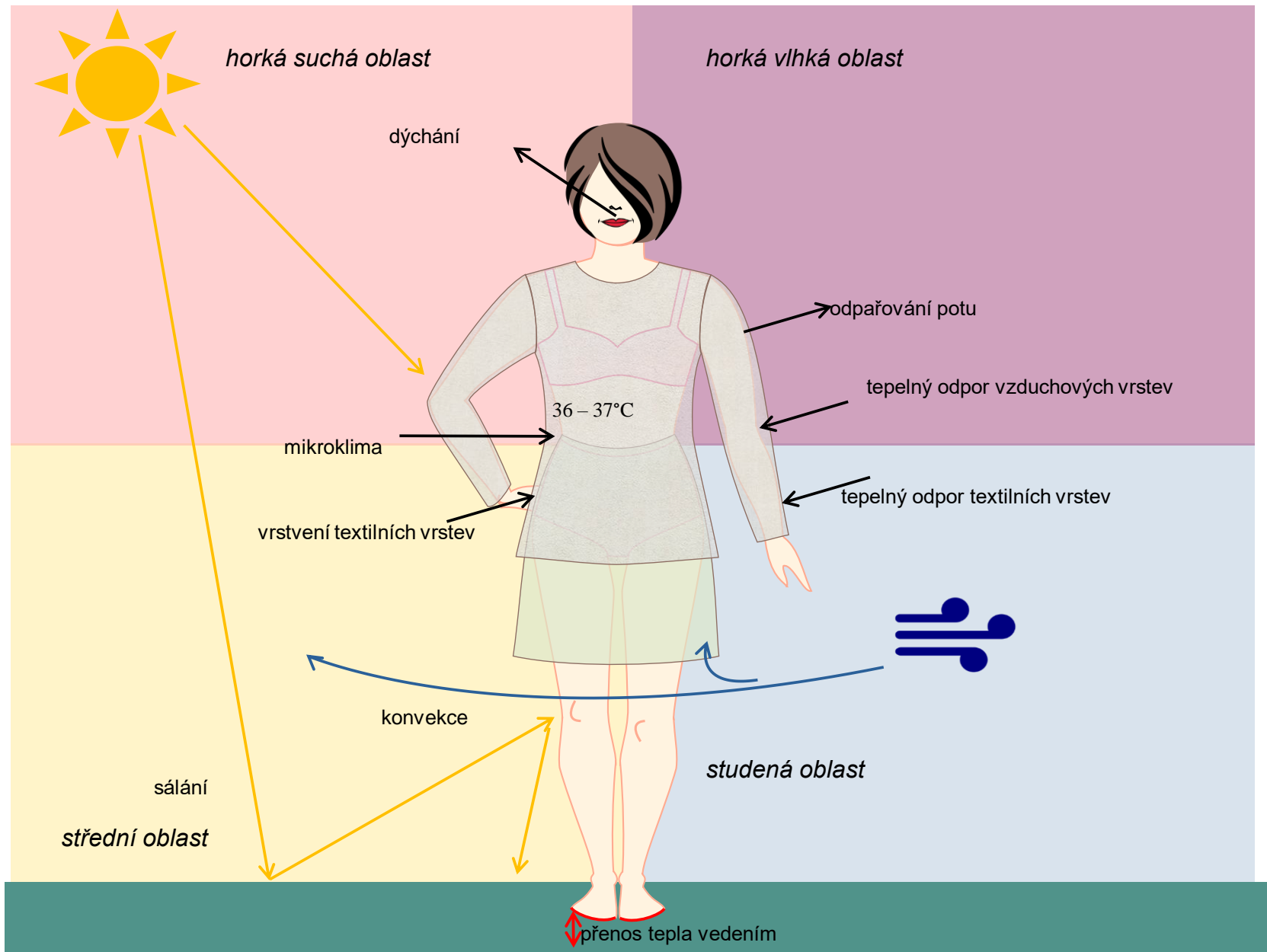


MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

SOD

Úvod do komfortu





Teplota

Teplota x Teplo – Co to je ?

- Co se s teplotou mění?
- Objem kapaliny, rozměry předmětů, ...
- Teplo

Teplota

Teplota je fyzikální veličina popisující stav systému, stavová veličina

Míra kinetické energie pohybujících se molekul

Kmitají okolo rovnovážné polohy, mřížka

Historie

- Filón Byzantský (3. až 2. století BC) – vzduchový termoskop
- Starověk – Hérón Alexandrijský
 - Héronova baňka – jednoduchý parní reaktivní stroj



- Galileo Galilei – baňka, trubice. Ohřevem vzduchu v baňce se měnila výška sloupce kapaliny v trubici

Teplotní stupnice

- obvykle dva referenční body

Fahrenheit - 1724

0 °F - směs chloridu amonného, vody a ledu

98 °F - teplota lidského těla

Později

32 °F - bod mrazu vody

212 °F bod varu vody

Přepočet

$$C = \frac{5}{9} \cdot (F - 32)$$

$$F = \frac{9}{5} \cdot C + 32$$



Teplotní stupnice

R.A. Réamur

A.Celsius - 1742

100 °C – teplota tání ledu

0 °C - teplota varu vody

Později se stupnice otočila (Carl Linné)

0 °C - teplota tání ledu

100 °C - teplota varu vody

Přepočet

Teplotní stupnice

Kelvin – jednotka SI, William Thompson, lord Kelvin

273,16 °C – teplota trojného bodu vody při 613 Pa

0 °C - absolutní nula

$$K/K = C/^{\circ}C + 273,15$$

$$C/^{\circ}C = K/K - 273,15$$

Kromě toho jsou další stupnice

Rankinova (počátek jako Kelvin, 180 °R = 100K)

Réamurova (100 °C = 80 °Re)

Barevná teplota světla

Vlhkost

Daltonův zákon, stavová rovnice

Celkový tlak směsi plynů je dán součtem parciálních tlaků jejich složek

$$p = \Sigma p_i$$

$$p V = n R T$$

Vlhkost , vlhký vzduch

Vlhkost

- **Absolutní** - Hmotnost vodní páry v objemu 1 m^3 [kg/m^3] (*hustota vodní páry ρ_v*)
- **Relativní** - míra nasycení vzduchu. $\varphi = 100 \%$ znamená nasycený vzduch

Vlhký vzduch

- **nenasycený** (parciální tlak vodních par ve vzduchu je menší tlak sytých par při téže teplotě $p_v < p_v''$)
- **nasycený** $p_v = p_v''$
- **přesycený** (nasycený vzduch, který obsahuje ještě další vodu v kapalném nebo tuhém skupenství)

Sytá pára

- Pára, která je v termodynamické rovnováze se svou kapalnou fází.
- Její tlak je určen **pouze teplotou**.
- Zmenšuje-li se objem při stálé teplotě a tlaku, pára kondenzuje.
- Při zvětšování objemu se kapalná fáze vypařuje, až zbude jen sytá pára.
- Při dalším zvětšování objemu není již kapalinou nasycena a stává se z ní pára přehřátá

Rosný bod

- Teplota rosného bodu je teplota, při které je vzduch nasycen.
- Při dalším ochlazování začíná vodní pára kondenzovat.
- V $h-x$ diagramu se teplota rosného bodu pro daný stav vzduchu odečte na průsečíku křivky nasycení a čáry měrné vlhkosti, odpovídající danému stavu vzduchu.

Mollierův diagram

Molière

(vlastním jménem Jean-Baptiste Poquelin) (1622-1673)

francouzský herec, spisovatel a dramatik



Mollierův diagram

~~Molière~~

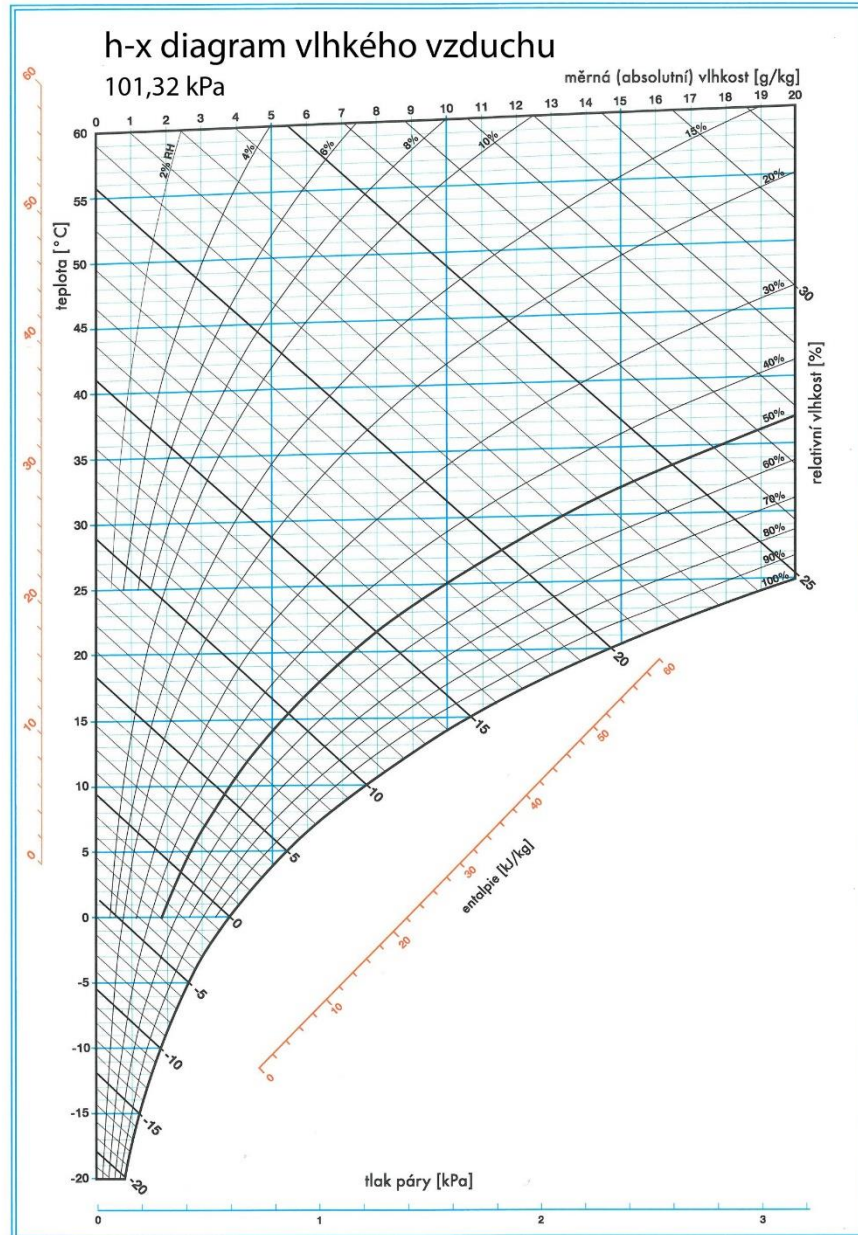
~~(vlastním jménem Jean-Baptiste Poquelin)
(1622-1673)~~

~~francouzský herec, spisovatel a dramatik~~



Richard Mollier
(1863-1935)

Mollierův diagram



Základní osy diagramu (vyneseny pod úhlem 135°):

- entalpie h [kJ/kg_A]
- měrná vlhkost x [g/kg_A]

další osy se dopočítávají:

- teplota t [°C]
- relativní vlhkost φ [-]
- hustota vlhkého vzduchu [kg/m³]

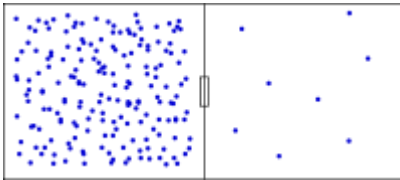
h-x diagram

Entropie

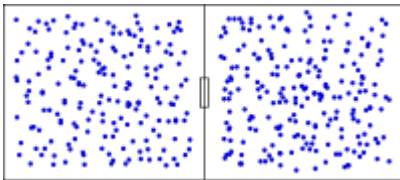
Entropie je jedním ze základních a nejdůležitějších pojmů ve fyzice

„míra neuspořádanosti“ zkoumaného systému

„míry neurčitosti“ systému.



Termodynamický systém s nízkou entropií



Termodynamický systém s vysokou entropií

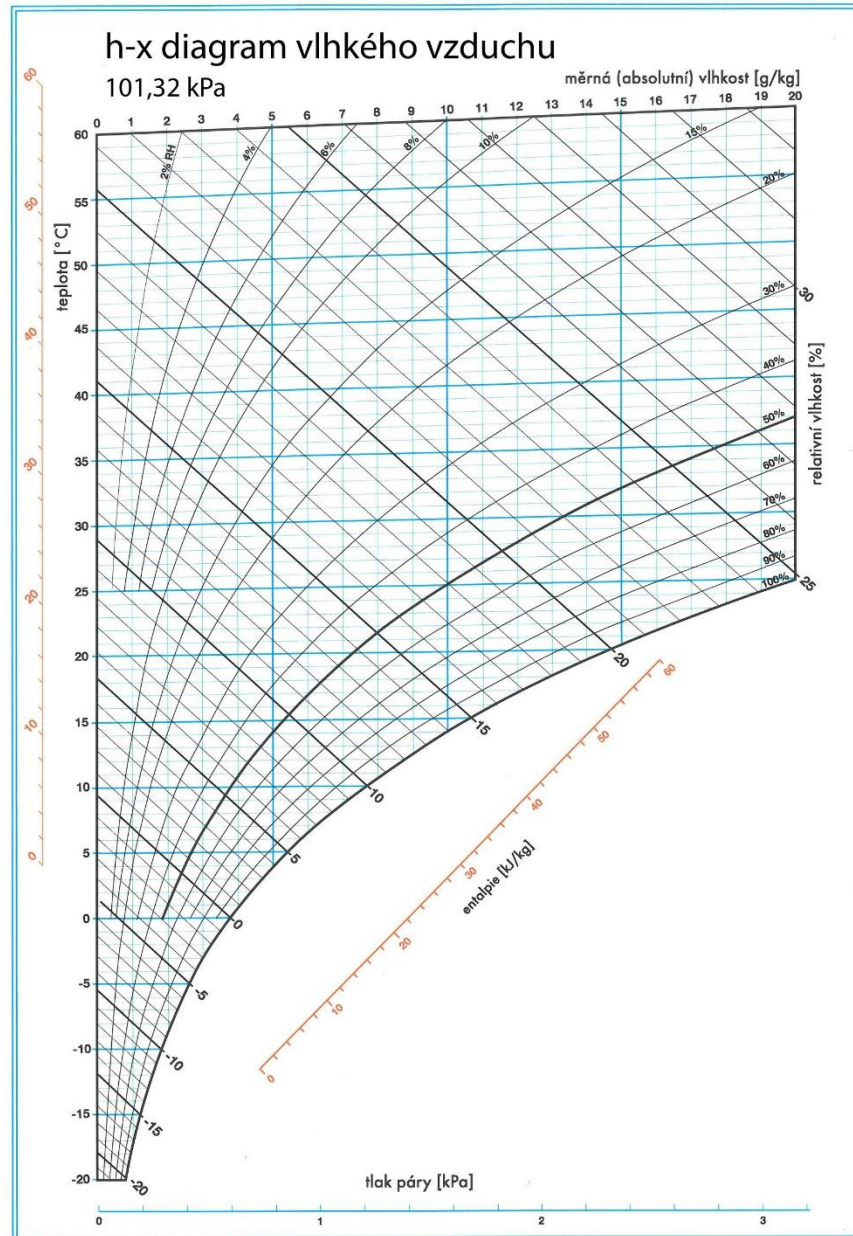
Odkaz např. cs.wikipedia.org

Entalpie

Entalpie (dříve *tepelný obsah*) je fyzikální veličina označovaná písmenem H udávaná v [joulech](#), která vyjadřuje energii uloženou v [termodynamickém systému](#).

Její absolutní hodnotu nelze změřit, stanovuje se jen *změna entalpie*

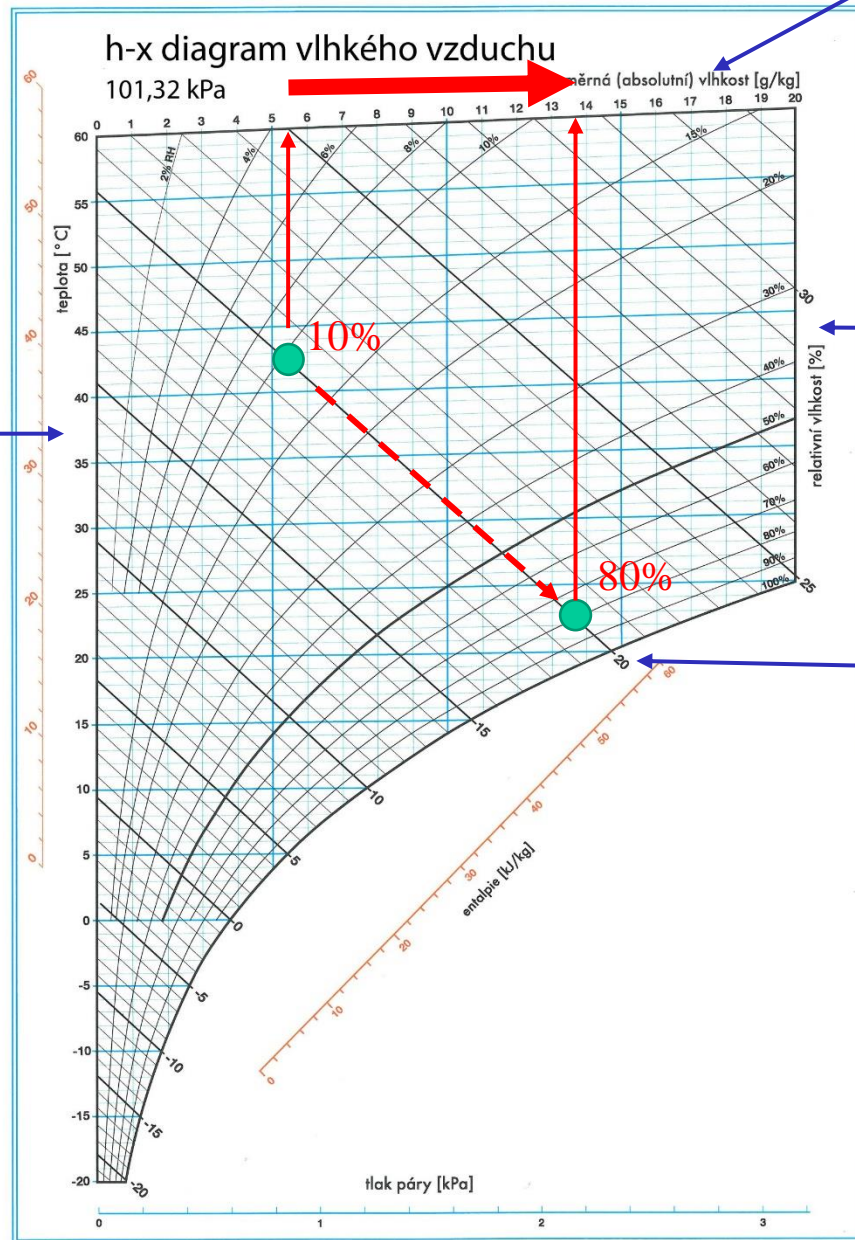
Mollierův diagram



Přidáme vodu??

Mollierův diagram

Absolutní vlhkost



Relativní vlhkost

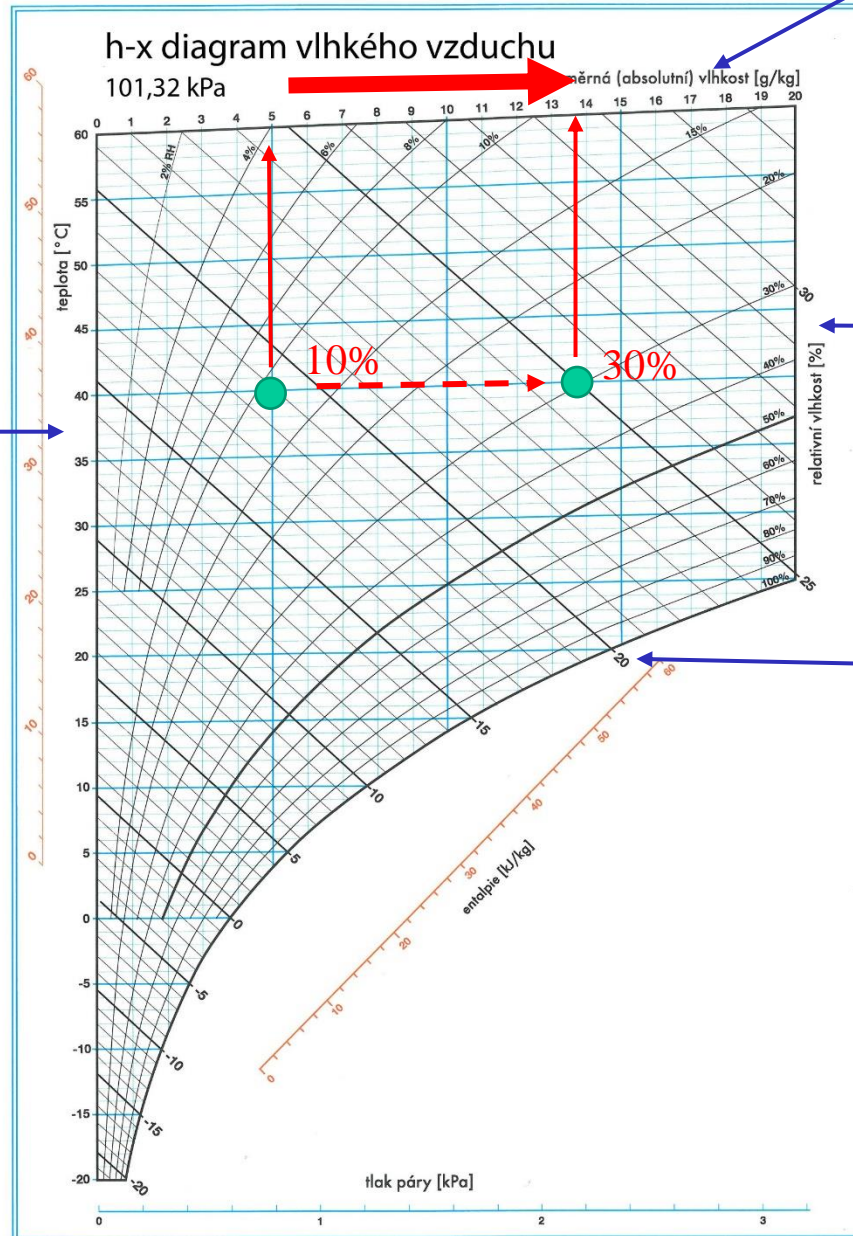
Teplota

Teplota

Přidáme vodu??

Mollierův diagram

Absolutní vlhkost



Teplota

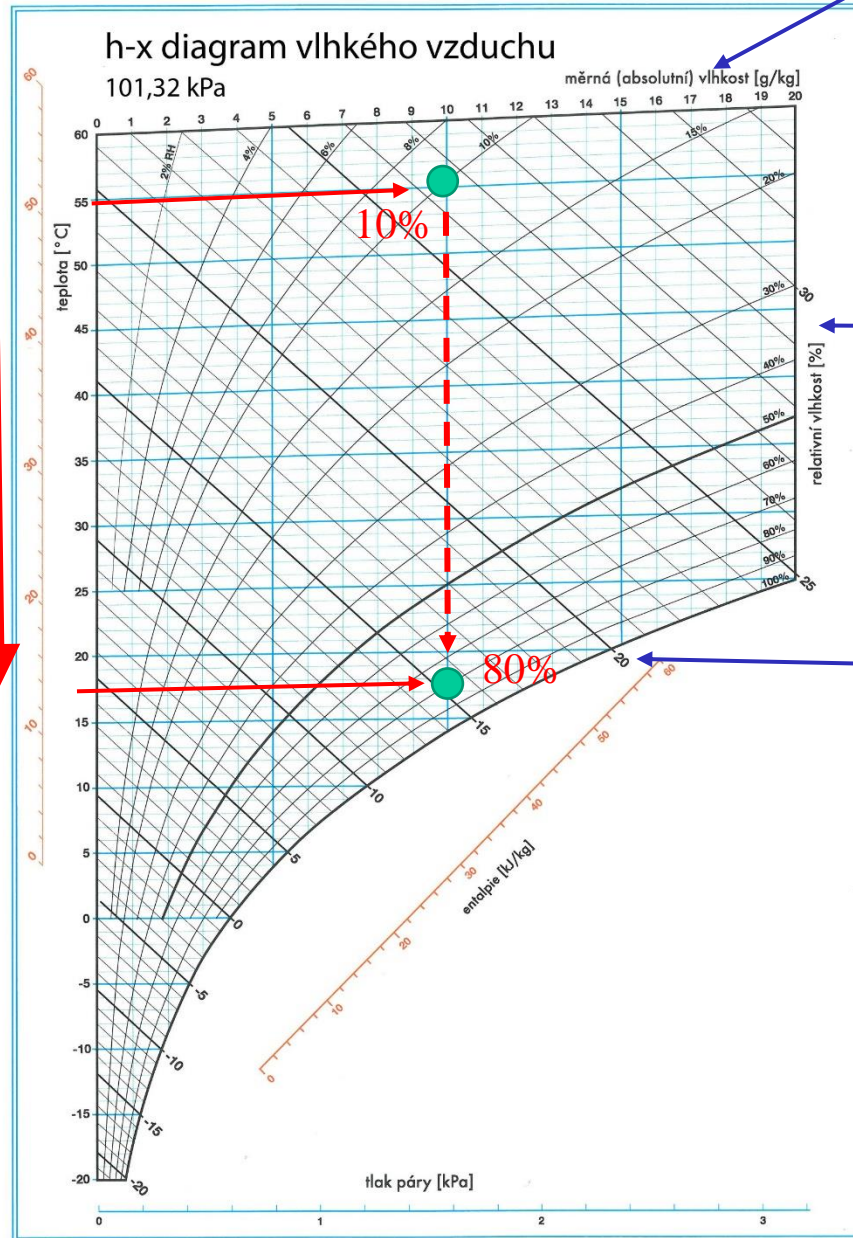
Relativní vlhkost

Teplota

Změna teploty ??

Mollierův diagram

Absolutní vlhkost



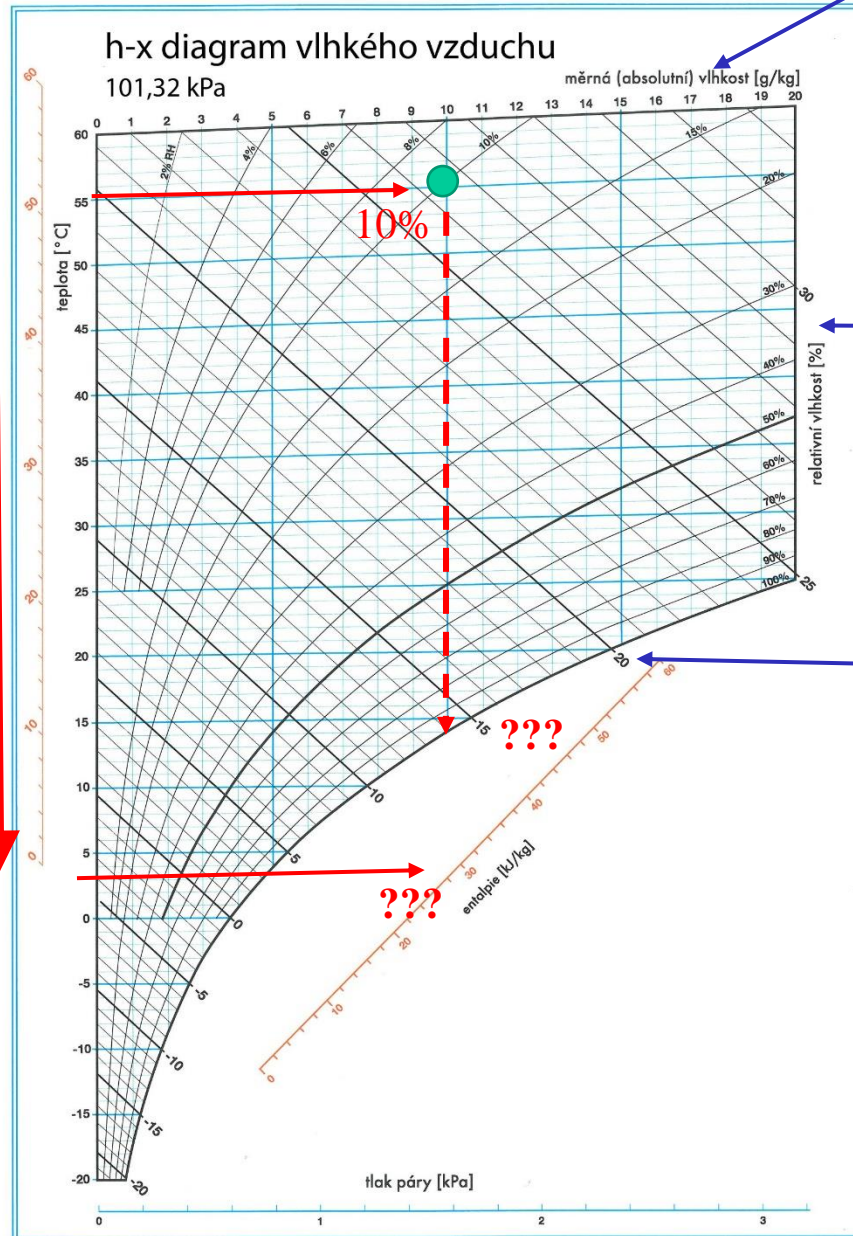
Relativní vlhkost

Teplota

Změna teploty ??

Mollierův diagram

Absolutní vlhkost



Teplota

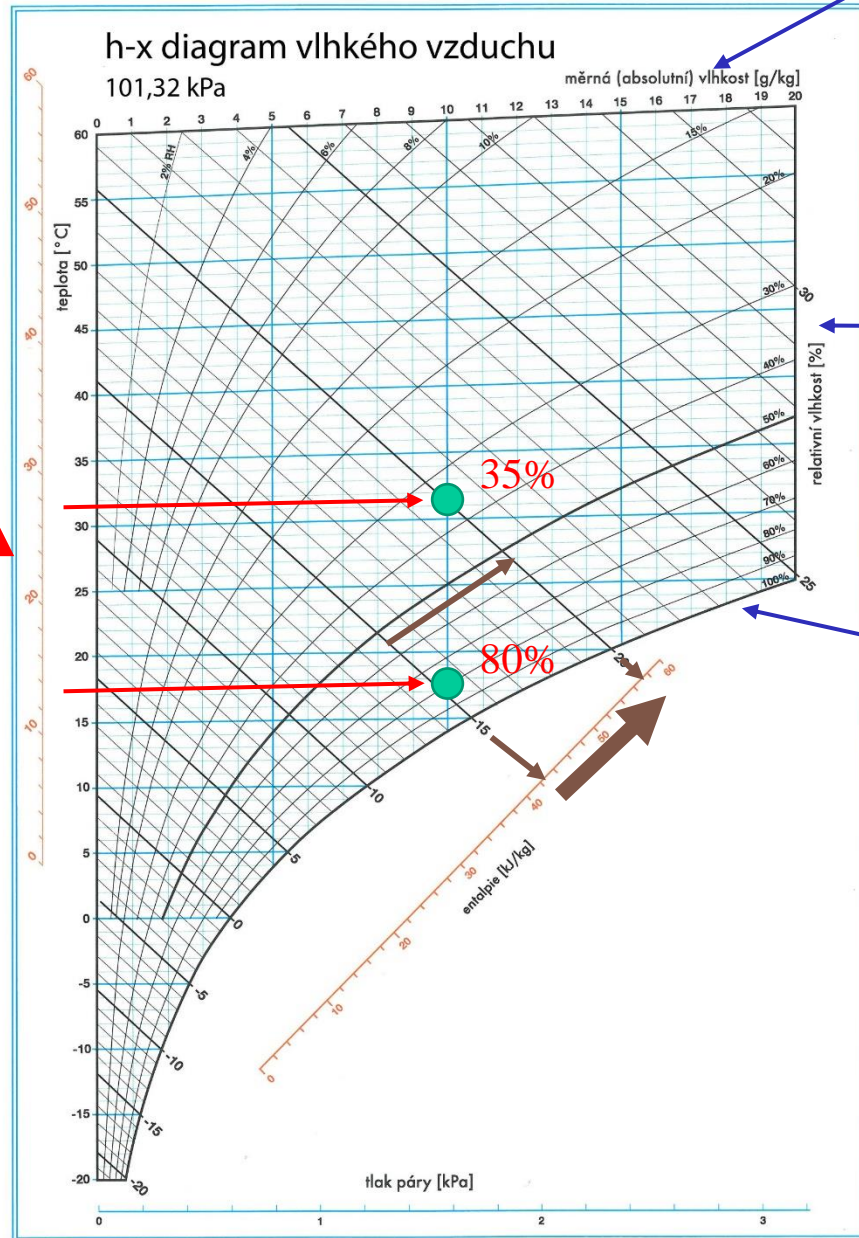
Relativní vlhkost

Teplota

A co takhle energie ??

Mollierův diagram

Absolutní vlhkost

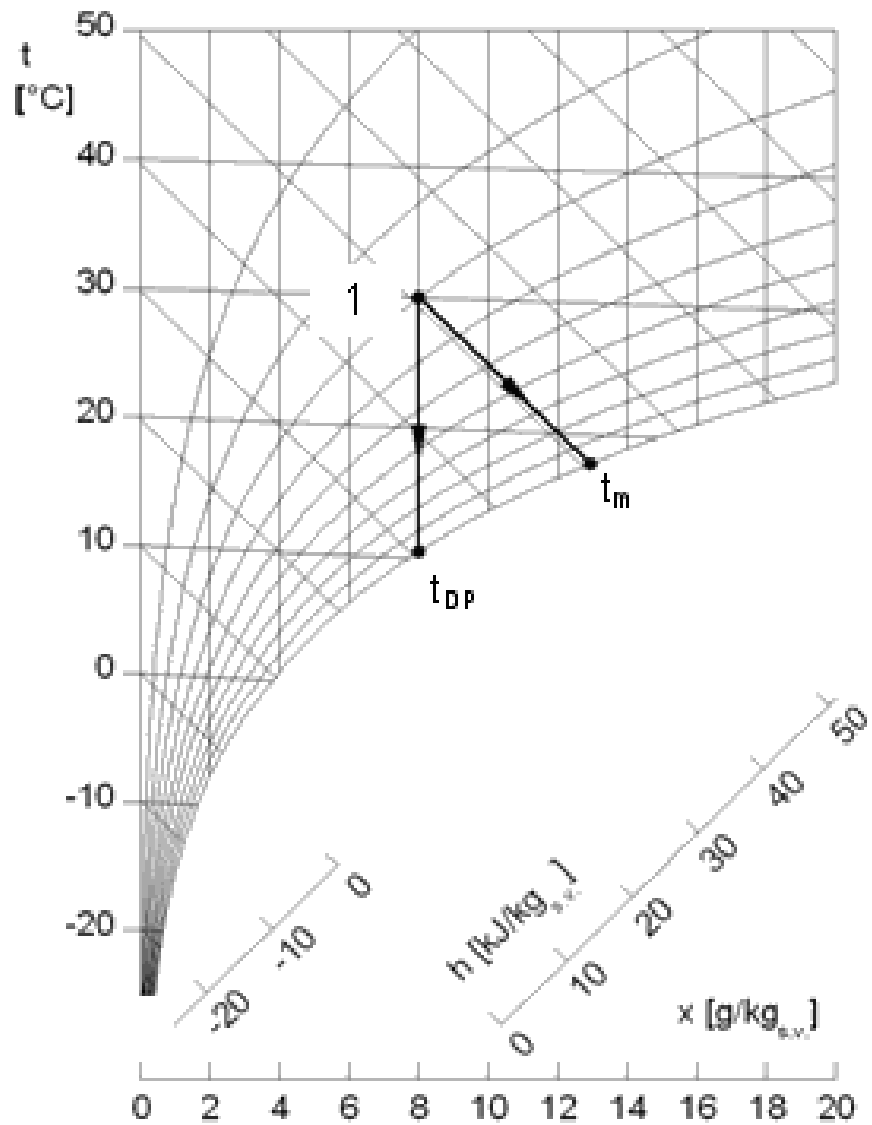


Teplota →



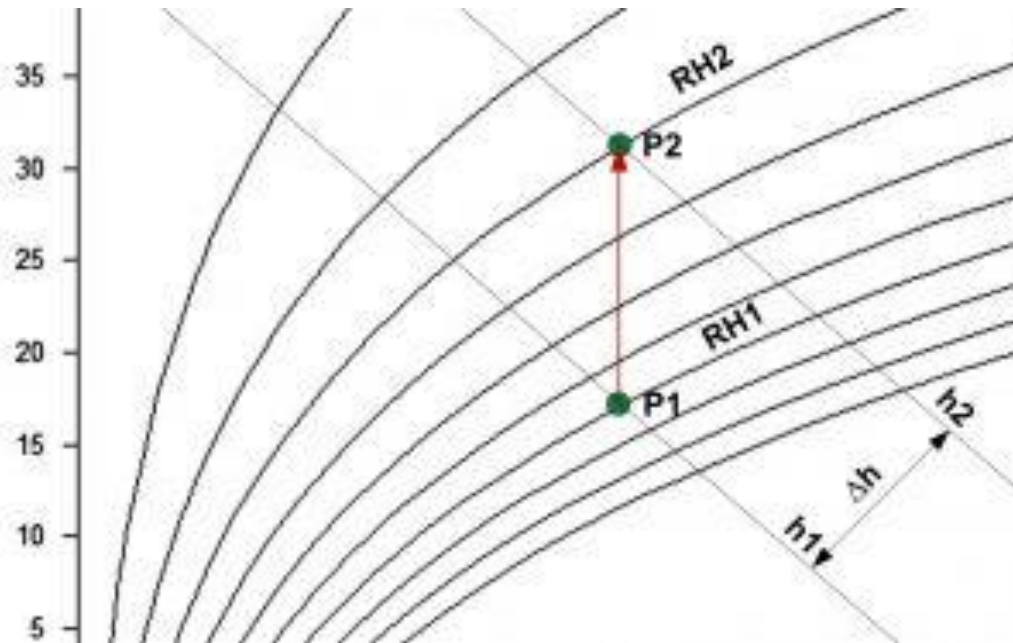
Relativní vlhkost

Teplota



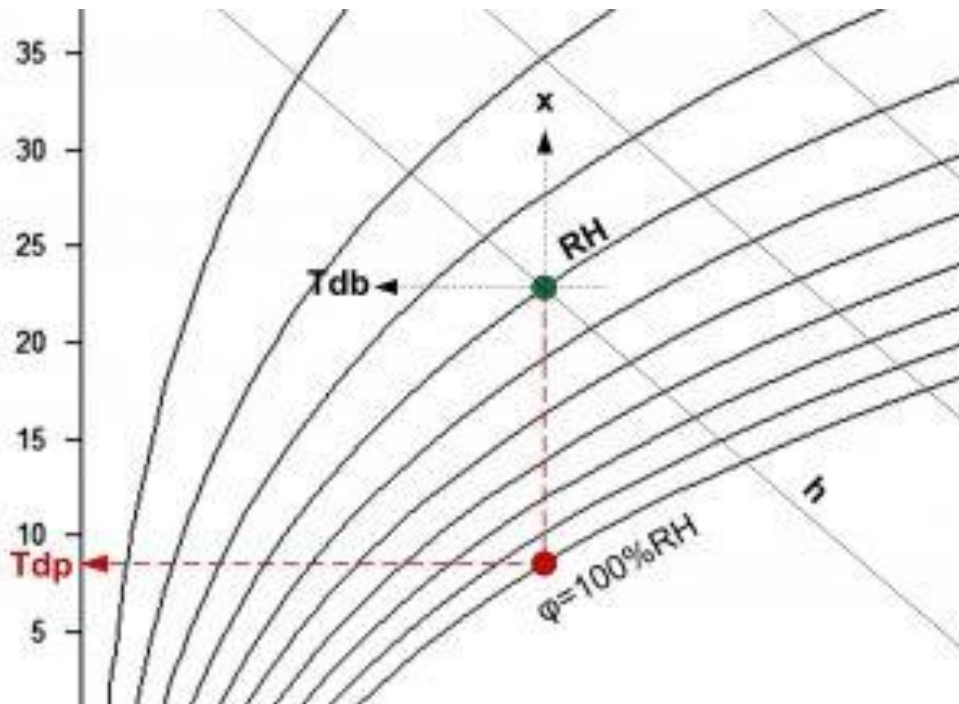
Ohřev vzduchu

- Nedochozí ke změně množství vody ve vzduchu ($x = \text{konstantní}$).
- Zmenšuje se relativní vlhkost
- Je nutno dodat energii Δh [kJ/kg].



Teplota rosného bodu

- T_{dp}



Možnosti měření vlhkosti

- měřením teploty rosného bodu (ochlazované zrcátko s optickým snímačem)
- měřením relativní vlhkosti na základě změny vlastností látek (ovčí střívko, vlas, kapacitní čidla, elektrická vodivost)
- zachycením vlhkosti z daného objemu vzduchu
- psychrometrem (teplota suchého t_A a mokrého teploměru t_{WB})

Psychrometr



Psychrometr

- *Dva teploměry*
- *Suchý x mokrý (navlhčený, punčoška)*
- *Aspirační psychrometr – kolem vlhkého teploměru proudí vzduch*
- *Rozdíl teplot – psychrometrická diference → tabulky*



hygrometr

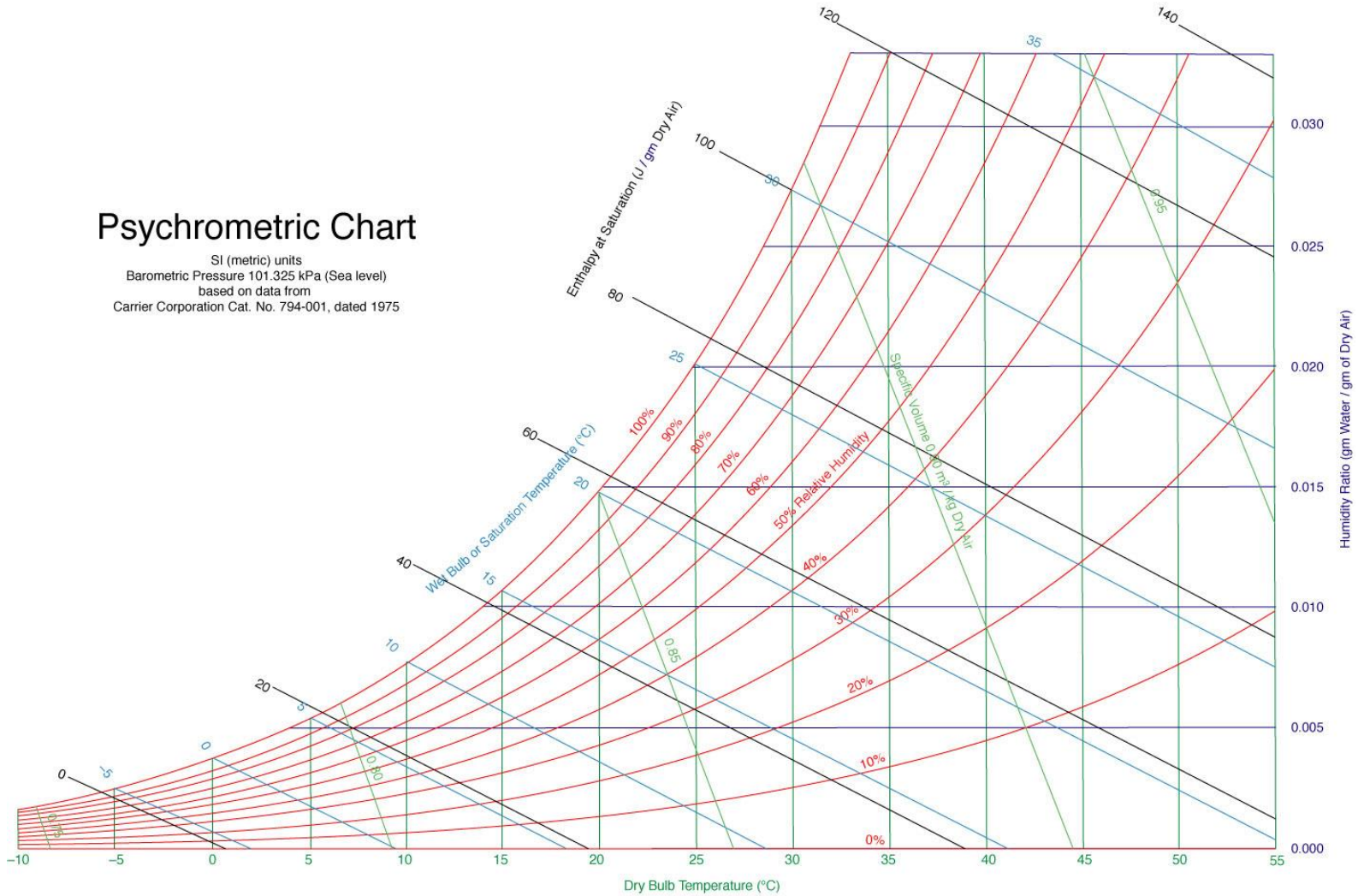
- *vlas*



Psychrometrický diagram

Psychrometric Chart

SI (metric) units
Barometric Pressure 101.325 kPa (Sea level)
based on data from
Carrier Corporation Cat. No. 794-001, dated 1975

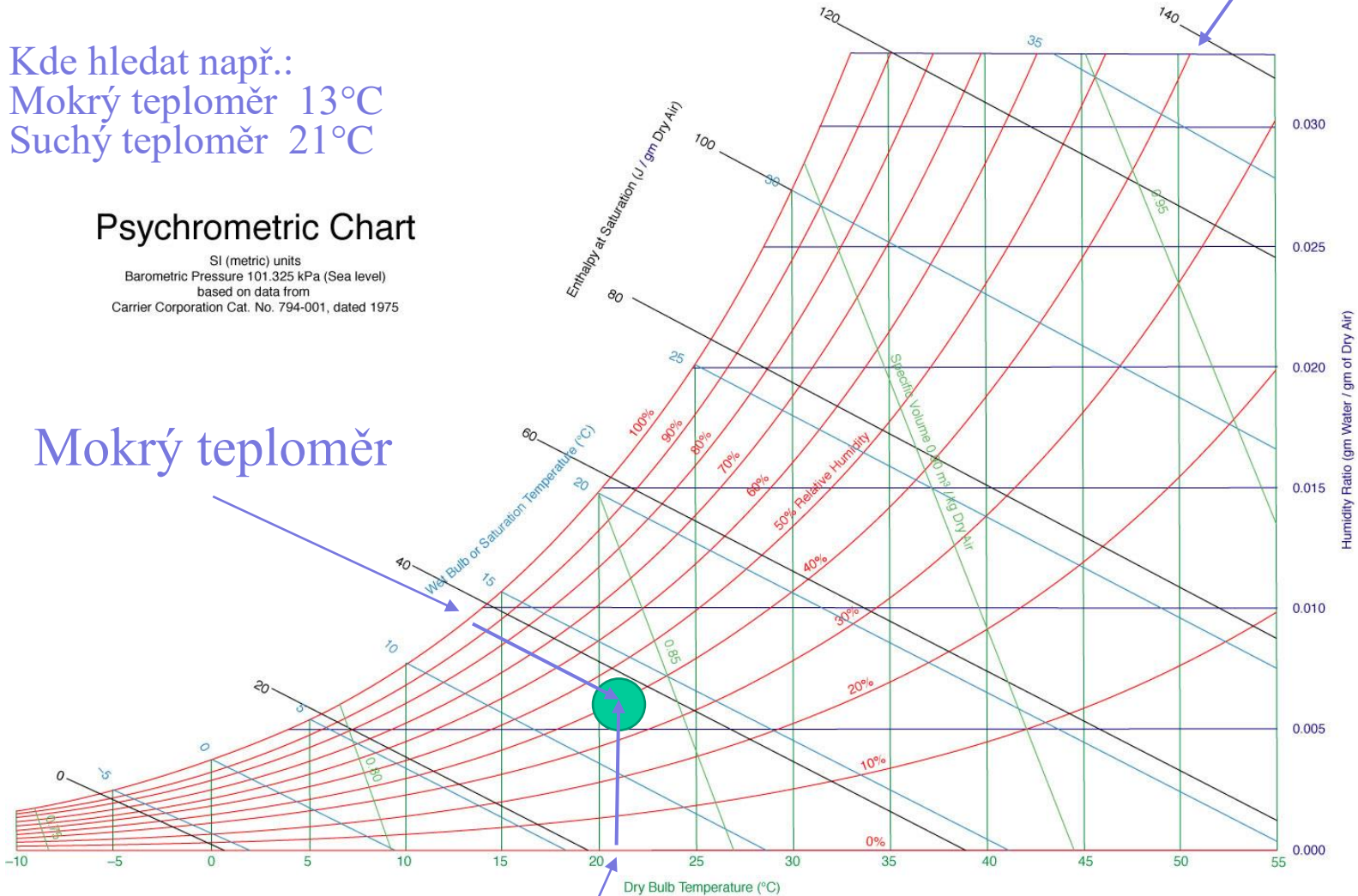


Psychrometrický diagram

Kde hledat např.:
Mokrý teploměr 13°C
Suchý teploměr 21°C

Psychrometric Chart

SI (metric) units
Barometric Pressure 101.325 kPa (Sea level)
based on data from
Carrier Corporation Cat. No. 794-001, dated 1975



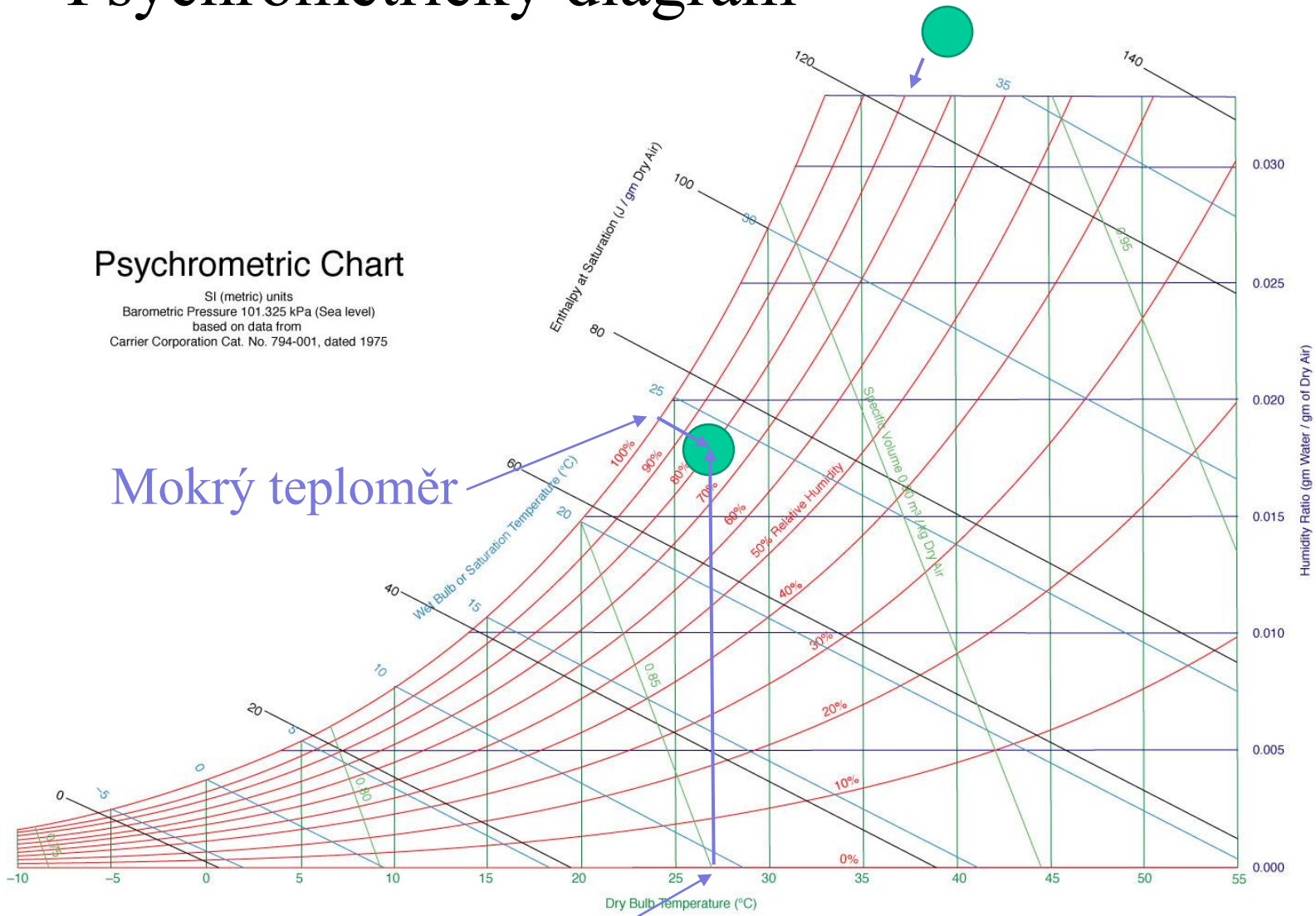
Mokrý teploměr

Suchý teploměr

Psychrometrický diagram

Psychrometric Chart

SI (metric) units
Barometric Pressure 101.325 kPa (Sea level)
based on data from
Carrier Corporation Cat. No. 794-001, dated 1975



Mokrý teploměr

Suchý teploměr

Kde hledat např.:

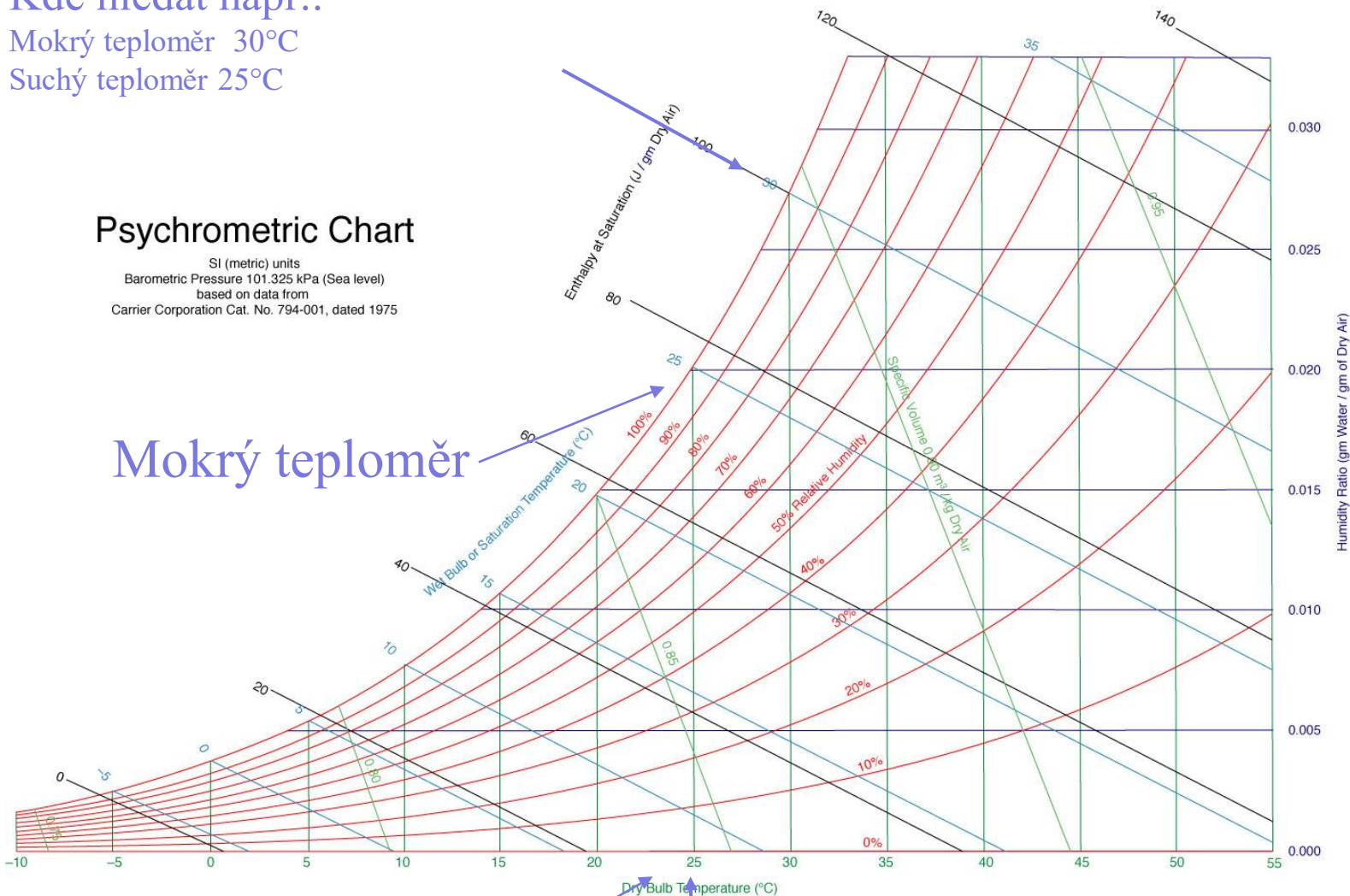
Mokrý teploměr 30°C

Suchý teploměr 25°C



Psychrometric Chart

SI (metric) units
Barometric Pressure 101.325 kPa (Sea level)
based on data from
Carrier Corporation Cat. No. 794-001, dated 1975



Mokrý teploměr

Suchý teploměr

Kdy se cítíme komfortně?

Takové podmínky,

ISO 7730

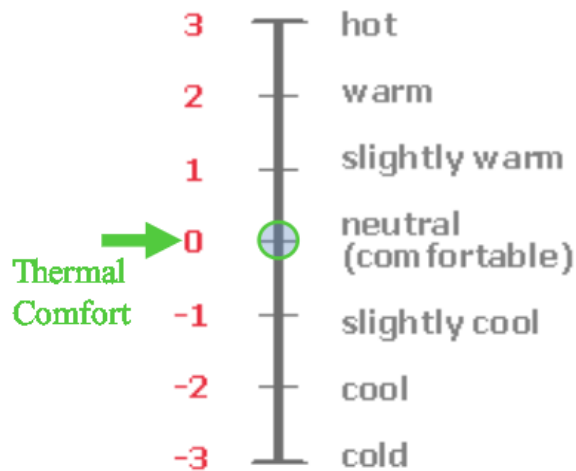
Tepelná rovnováha

Psychologicky pocit komfortu

Kdy se cítíme komfortně?

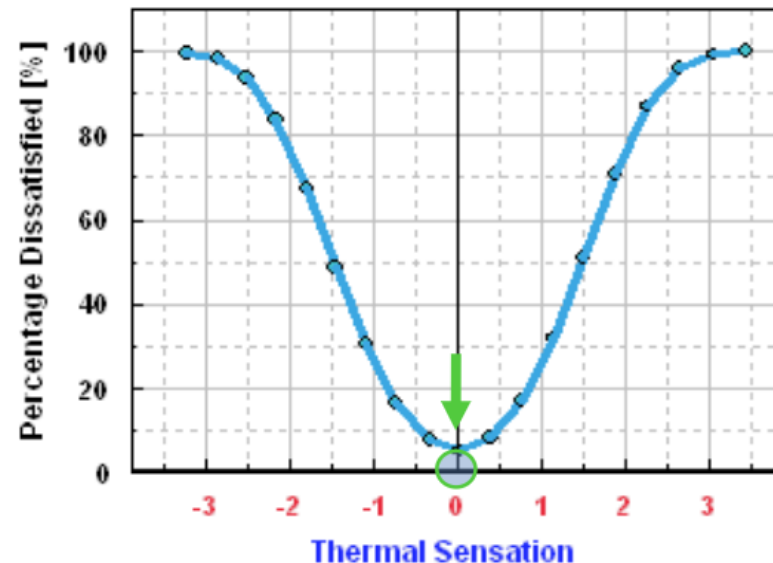
Thermal Comfort Variables

Thermal Sensation



(7-Point ASHRAE Scale)

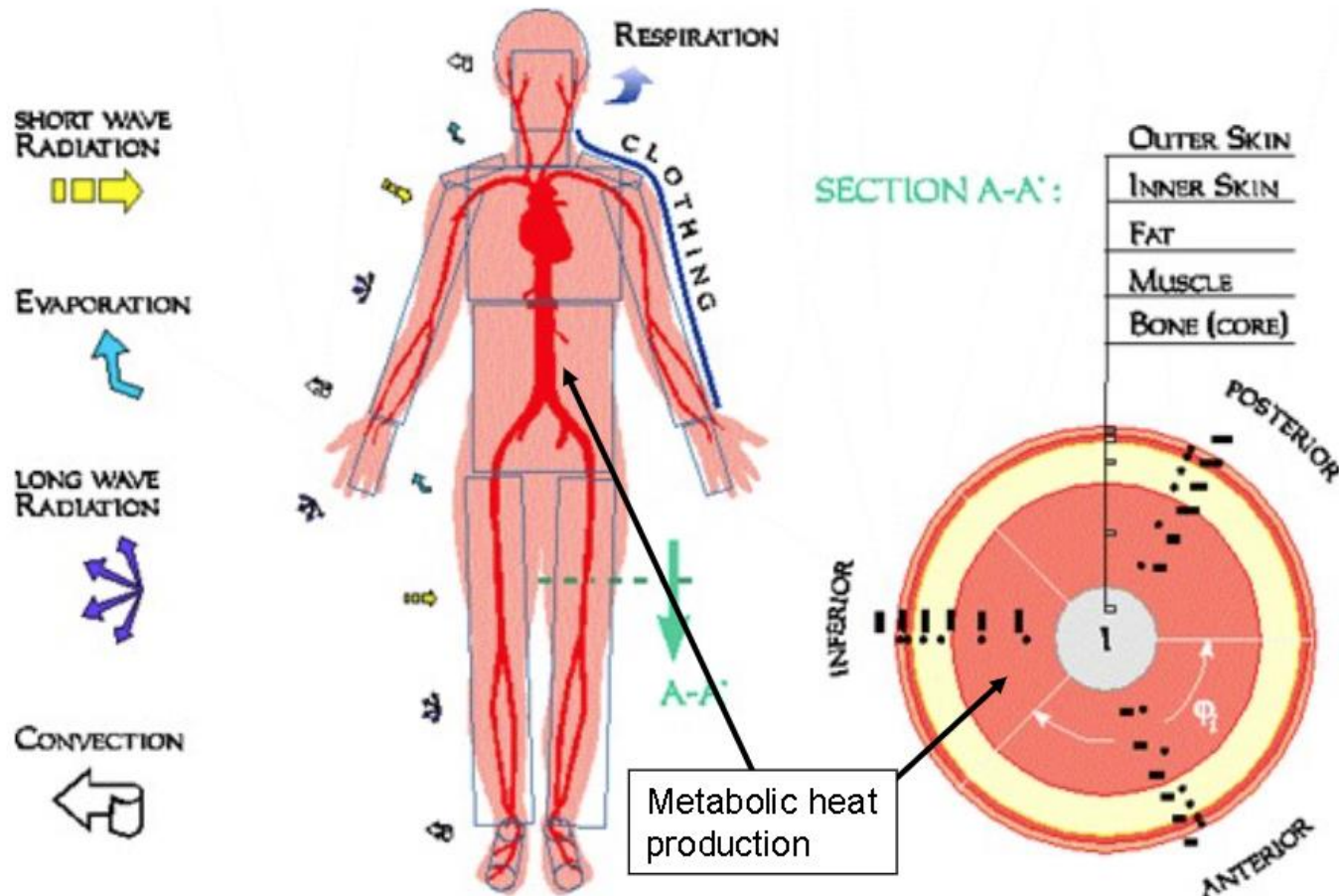
Percentage of Dissatisfied



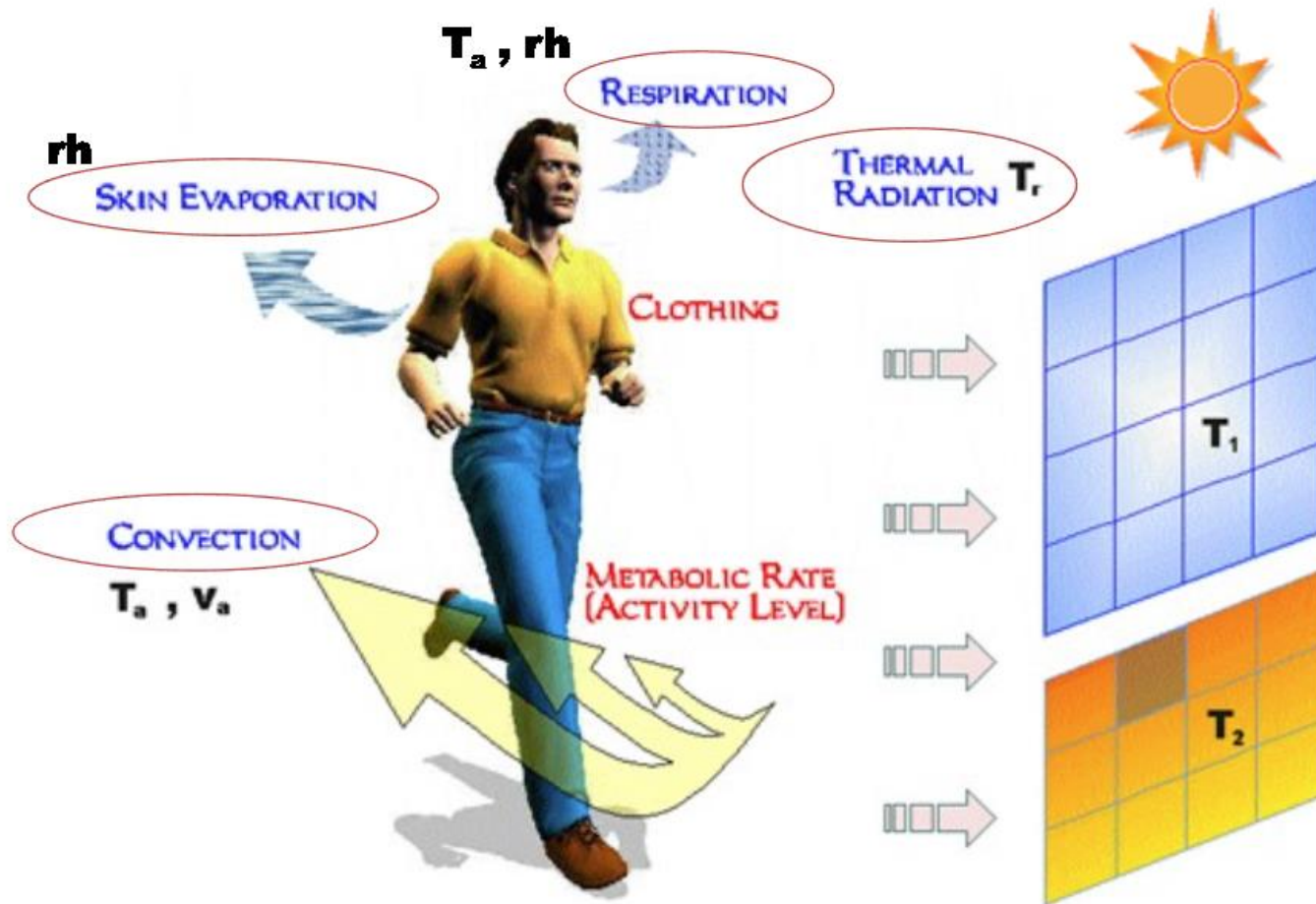
TS may also be the mean vote for a group of individuals

Kdy se cítíme komfortně?

Heat Balance of the Human Body



Kdy se cítíme komfortně? Rovnováha ?



Kdy se cítíme komfortně?

Okolní podmínky

Teplota vzduchu

Radiační teplota povrchu

Rychlost vzduchu

Relativní vlhkost vzduchu

Člověk

Fyzická aktivita

Oděv, izolační vlastnosti oděvu

Kdy se cítíme komfortně?

clo --- co to je?

Jednotka, která vyjadřuje tepelnou izolaci oděvu

1 clo = 0.155 m² °C/W

Pánský oblek = 1 clo

Plavky cca 0,15 clo

Kabát cca 1.2 clo

Ensemble	Icl (clo)
Briefs; knit, short-sleeve sport shirt; walking shorts and belt; calf-length socks; hard-soled shoes	0.4
Briefs; broadcloth, long-sleeve shirt; long fitted trousers and belt; calf-length socks; hard-soled shoes	0.6
Panties; half-slip; broadcloth, long-sleeve blouse; single-breasted suit jacket; A-line, knee-length skirt; pantyhose; thongs/sandals	1.0
Briefs; t-shirt; broadcloth, long-sleeve shirt; long-sleeved, round-neck sweater; thick, straight, long, loose trousers and belt; calf-length socks; hard-soled shoes	1.0
Flannel, long-sleeve, long nightgown; thick, long-sleeve, wrap, long robe; slippers	1.7

Kdy se cítíme komfortně?

Met - metabolic rate

**Popisuje energii generovanou uvnitř těla
metabolickou aktivitou**

Je definována jako 58.2 W/m^2 , což je energie
produkována na jednotku plochy průměrné osoby
sedící v klidu

Ležící v klidu cca 0,8 Met

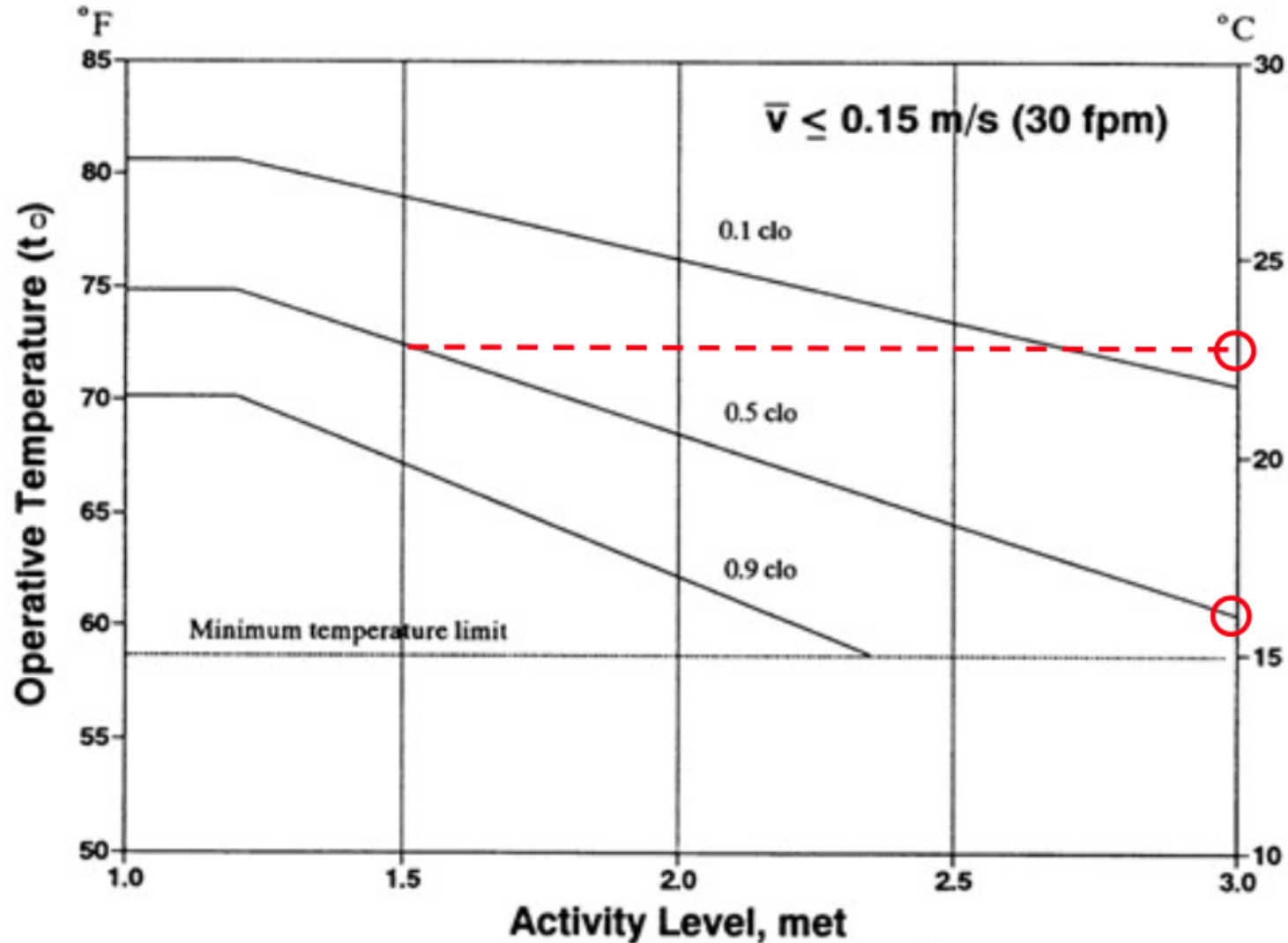
Běh – cca 8 Met

Sport, tenis, atd. – cca 4 Met

Metabolic Rates for Typical Tasks

Activity	Metabolic rate (Met)
Reclining	0.8
Seated, quietly	1.0
Sedentary activity (office, dwelling, lab, school)	1.2
Standing, relaxed	1.2
Light activity, standing (shopping, lab, light industry)	1.6
Medium activity, standing (shop assistant, domestic work, machine work)	2.0
High activity (heavy machine work, garage work)	3.0

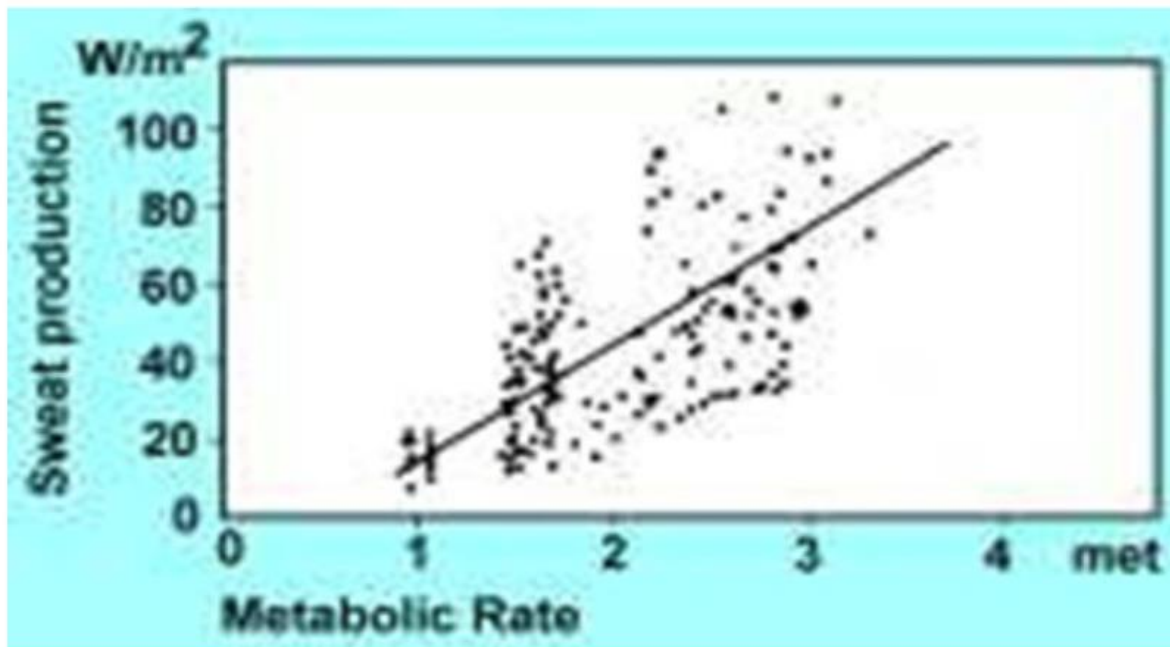
Effect of Activity Level



Kdy se cítíme komfortně?

Physiological Conditions for Thermal Comfort

Sweat rate



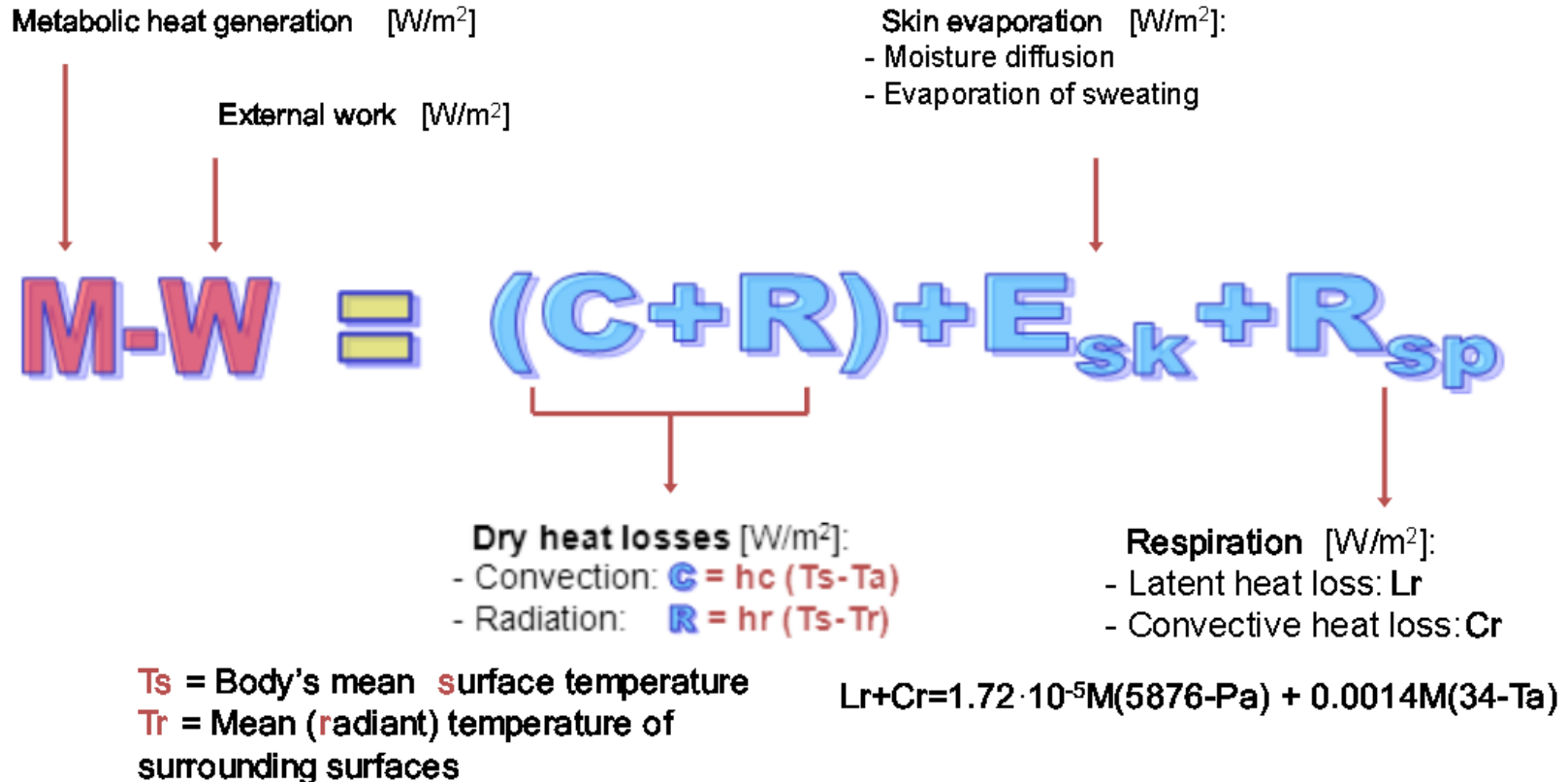
$$E_{sk} = 0.00305 [5733 - 6.99(M - W) - P_a] + 0.42 [(M - W) - 58.2]$$

Kdy se cítíme komfortně?

Predicted Mean Vote

- The mean vote of a group of individuals can be predicted.
- The Fanger model of human thermal comfort enables this.
- The model is really only applicable for a body in thermal equilibrium with its surroundings.
- PMV is calculated on a 7-point scale from -3 to +3 – so it is directly comparable with TS.

Comfort Equation (Fanger)



Resultant Temperature - T_{res}

Dry heat loss = Surface convection + Thermal radiation

$$(C+R) = hc(T_s - T_a) + hr(T_s - T_r)$$

$$= h(T_s - T_{res}) \quad h = hc + hr$$

$$T_{res} = \frac{hc T_a + hr T_r}{hc + hr}$$

In indoor spaces: $hc \sim hr$:

$$T_{res} = T_a/2 + T_r/2$$

Kdy se cítíme komfortně?

Calculating PMV

- When a body is out of equilibrium then thermal strain is experienced, as measured by L :

$$L = M - W - (C + R) + Esk + Rsp$$

- The value of L can be used to calculate PMV as follows:

$$PMV = [0.303 \cdot e^{(-0.036 \cdot M)} + 0.028] \times L$$

The complete equation set

Calculate the PMV using Equations (1) to (4):

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot \left\{ \begin{aligned} &(M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] \\ &- 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \\ &- 3,96 \cdot 10^{-6} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot \left\{ 3,96 \cdot 10^{-6} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \right\} \quad (2)$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} & \text{for } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \\ 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} & \text{for } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \end{cases} \quad (3)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 I_{cl} & \text{for } I_{cl} \leq 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \\ 1,05 + 0,045 I_{cl} & \text{for } I_{cl} > 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \end{cases} \quad (4)$$

where

M is the metabolic rate, in watts per square metre (W/m^2);

W is the effective mechanical power, in watts per square metre (W/m^2);

I_{cl} is the clothing insulation, in square metres kelvin per watt ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$);

f_{cl} is the clothing surface area factor;

t_a is the air temperature, in degrees Celsius ($^{\circ}\text{C}$);

\bar{t}_r is the mean radiant temperature, in degrees Celsius ($^{\circ}\text{C}$);

v_{ar} is the relative air velocity, in metres per second (m/s);

p_a is the water vapour partial pressure, in pascals (Pa);

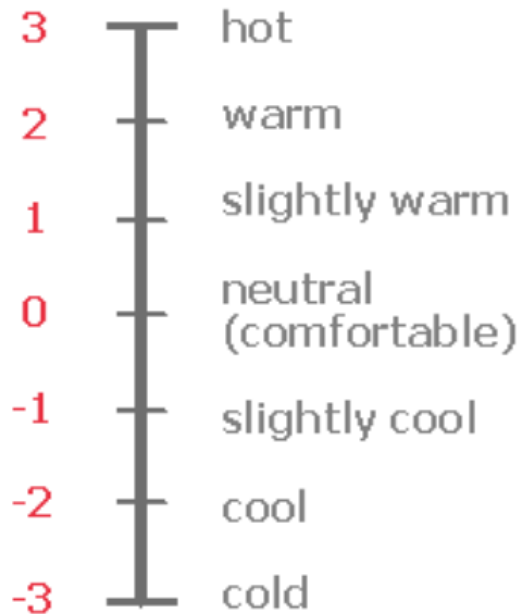
h_c is the convective heat transfer coefficient, in watts per square metre kelvin [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$];

t_{cl} is the clothing surface temperature, in degrees Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

Kdy se cítíme komfortně?

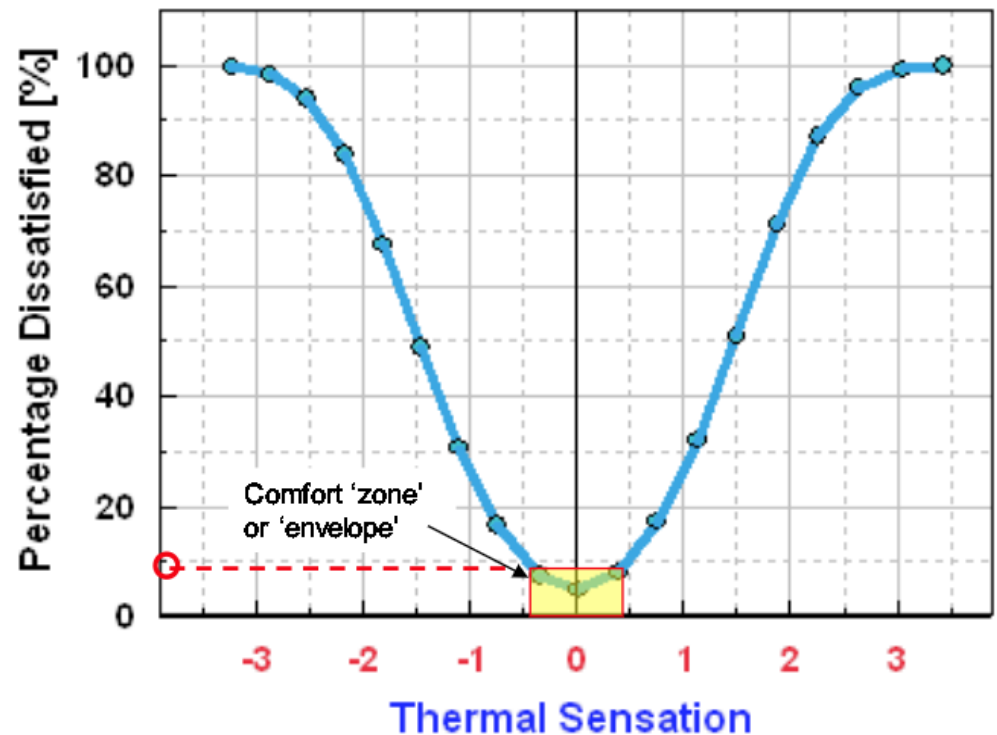
Comfort Zone / Envelope

Thermal Sensation



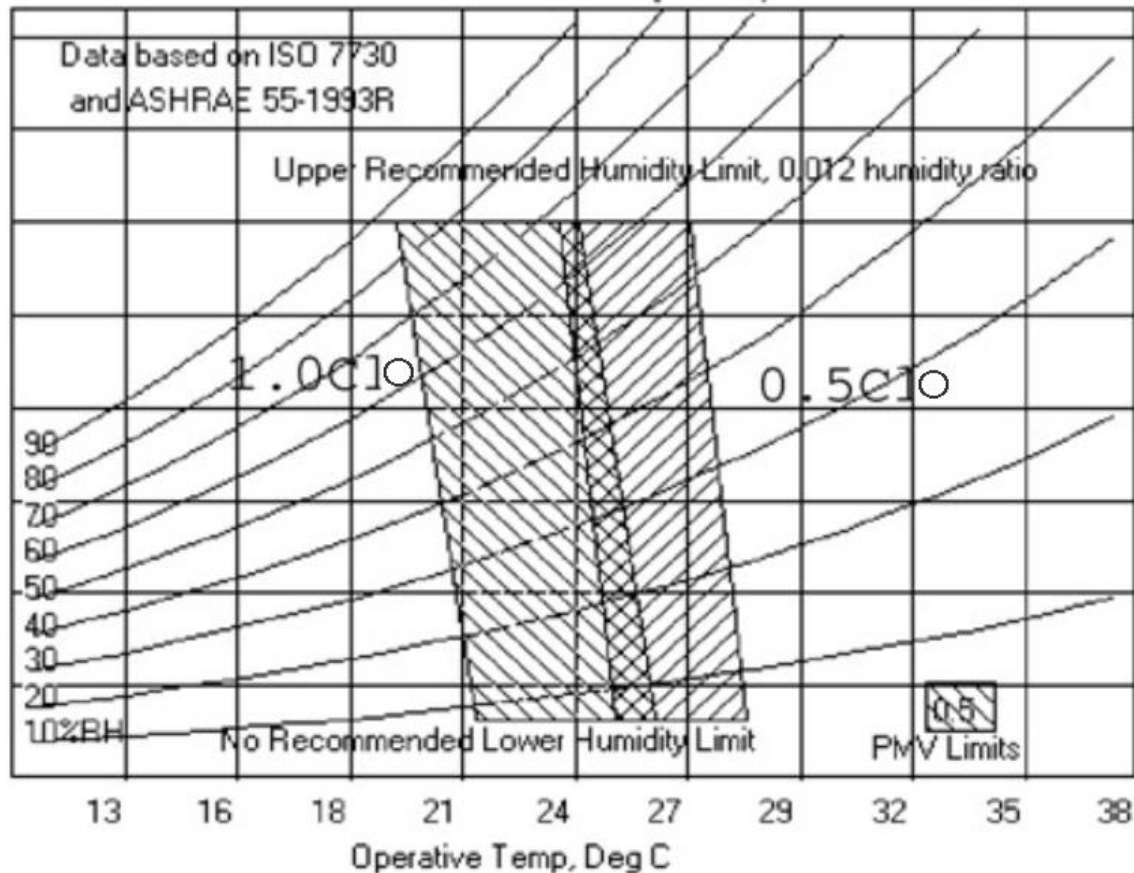
(7-Point ASHRAE Scale)

Percentage of Dissatisfied



Kdy se cítíme komfortně?

Comfort Envelope (ASHRAE Std 55R)



Kdy se cítíme komfortně?

- Thermal comfort is important for well-being and productivity
- Comfort depends on environmental factors (T_a , T_r , V_a , R_h)
- Comfort depends on personal factors (Met, Clo)
- Guidelines for indoor comfort are now based on T_{op} (which replaces T_{res}) or comfort envelopes

What Are CLO Values?

CLO is a value that describes the **degree of insulation provided by an article of clothing.**¹

A CLO value of **1** is equal to the **amount of clothing required by a resting human to maintain thermal comfort at a room temperature of 21 degrees Celsius, or 71 degrees Fahrenheit.**² Average indoor air temperatures in the US range from 68.5 to 75 degrees Fahrenheit in the winter, and 75 to 80.5 degrees Fahrenheit in the summer.³

A value of **1 CLO is based on a typical business suit**, which includes a shirt, undershirt, trousers, and suit jacket.

Traditional business suits are less commonly worn compared to when CLO values were created, but we can still use CLO values as a guide to what makes a thermally sufficient outfit, given a local temperature.

The **higher the CLO value, the more insulating value** is provided by the clothing in question.

[The CBE Comfort Tool](#) is an excellent resource for further exploring the relationships between CLO values, temperature, and human comfort.

Clothing	Clo Value
None	0
Briefs	.04
Pants With Long Legs	.1
Sleeveless shirt	.06
T-shirt	.08
Long-sleeved blouse	.15
Short-sleeved shirt	.09
Flannel shirt	.30
Shorts	.06
Trousers (Thin Fabric)	.15
Trousers (Thick Fabric)	.24
Work coveralls	.50
Thin sweater	.20
Thick sweater	.35
Down jacket	.55
Parka	.70
Socks	.02
Boots	.05
Light skirt 15 cm above the knee	.01
Heavy knee-length skirt	.25

Zkratky

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

Kdy se cítíme komfortně?

Kdy se cítíme komfortně?

Konec