

# TEPLOTA A VLHKOST

Účinky teploty a vlhkosti na sbírkové materiály.

Metody měření teploty a vlhkosti.  
Možnosti úpravy a regulace teploty a vlhkosti

**TEPLOTA**

# Teplota

- „Vlastnost předmětů a okolí, kterou je člověk schopen vnímat a přiřadit jí pocity studeného, teplého či horkého.“
- Veličina vhodná k popisu stavu ustálených makroskopických systémů.
- Teplota vyjadřuje pohyb molekul v materiálu
  - **s narůstající teplotou se zvyšuje pohyb molekul → materiál se roztahuje;**
  - **s klesající teplotou se pohyb zmenšuje → materiál se zkracuje**

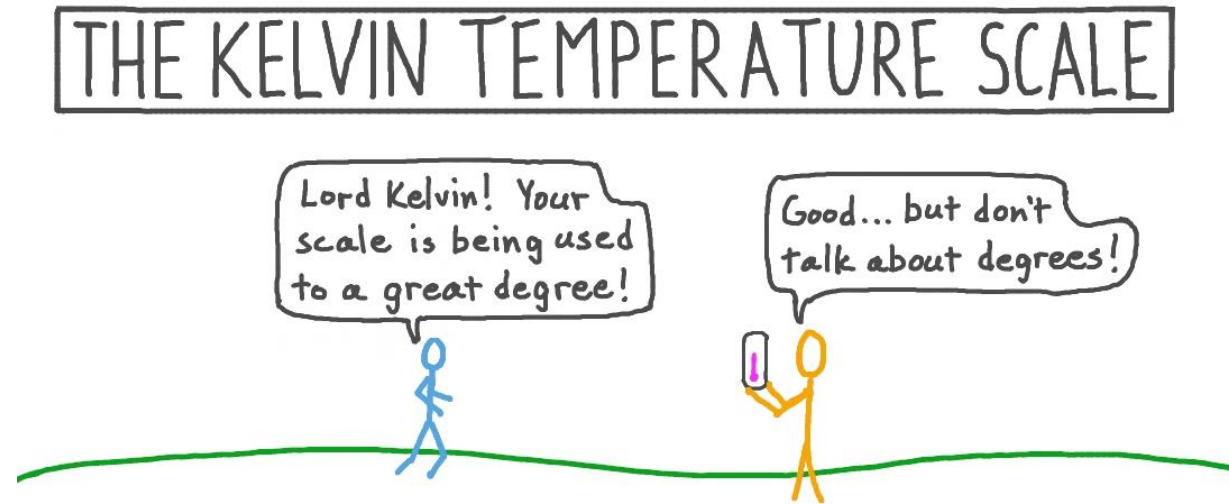
- Základní fyzikální veličina soustavy SI
- Základní jednotka **Kelvin (K)**,
- Vedlejší jednotka stupeň **Celsia (°C)**
- Absolutní nula  $0 \text{ K} = -273,15 \text{ °C}$

Teplo může být **přenášeno**:

Vedením – kondukce

Prouděním – konvekce

Zářením - radiace



# Vliv teploty na sbírkové předměty

- Vyšší teplota **urychluje chemické reakce**
  - Navýšení T o 10 °C (5 °C u organických materiálů) zdvojnásobí rychlost většiny chemických reakcí
- Vyšší teplota urychluje biologickou aktivitu
- Obecně rozmezí 18-21 °C (max 25 °C), s odchylkou  $\pm 3$  °C
- Nebezpečné jsou velké výkyvy T (a RV)!!!
- Teplota je vždy spojená s relativní vlhkostí (RV)

# Vysoká teplota

## Teplota nad 30 °C

- Chemické reakce se exponenciálně urychlují s narůstající T
- Biologické poškození – hmyz nad 10 °C, plísně nad 4 °C
- Citlivá především: magnetická média (videopásky, diskety), nitrát celulózy (celuloid), acetátové filmy, guma, PU pěny, kyselý papír
- Dochází k rozměrovým změnám
- Velmi poškozené celuloidové filmy se mohou vznítit již při 38 °C
  - <https://youtu.be/NeggpZfbMRo>
- Silně degradovaná useň se při zvýšené RV může „rozpouštět“

# Nízká teplota

- Chladnější prostředí – zajištění větší stability většiny materiálů
- Každý pokles o 5 °C zhruba zdvojnásobí životnost předmětu:
  - acetátový film: 21 °C a 60% RV cca 30 let,  
13 °C a 30% RV až 300 let
- Velmi citlivé materiály, např. barevné filmy na acetátové podložce - uloženy v mrazu
- Sušení biologického materiálu (rostliny) – sublimace
- Likvidace škůdců – lyofilizační linka (vymrazování při -18 až -30 °C po 48h)

- **Teplota 5 °C** je považována za minimální bezpečnou spodní hranici
- Pod 5 °C
  - může docházet k teplotní kontrakci (výtvarné materiály),
  - tuhnutí a křehnutí (polymerní materiály)
- Sn předměty by neměly být v prostředí pod 13 °C (Sn mor)
- Teploty po bodem mrazu – zamrzání vody v dutinách a pórech – praskání



[http://www.anatomie-varhan.cz/texty/varhany/slovník/foto/cinovy\\_mor.JPG](http://www.anatomie-varhan.cz/texty/varhany/slovník/foto/cinovy_mor.JPG)



# Výkyvy teplot

- Náhlé výkyvy mohou způsobit mechanické (rozměrové) změny
- Dochází ke vzniku vnitřního teplotního gradientu a prnutí v materiálech
- Nebezpečné především u předmětů kombinovaných
  - obrazy (dřevo + pigmenty),
  - emaily (kov + smalt),
  - vykládaný nábytek,
  - knihy (papír, useň, kov,...)
  - oděvy (textil, kov, sklo, plasty,...)

# Příčiny nevhodné teploty

## **Sluneční záření**

- teplota na povrchu může být 40–75 °C (v uzavřených vitrínách i více)

## **Umělé osvětlení**

- klasické žárovky, halogenové lampy – vyzařují velké množství tepla (IR)

## **Budovy a jejich klima**

- lokální zdroje – topení, ventilátory; chladné stěny

Transport – v létě vysoká teplota, v zimě mráz

# Měření teploty

- Vzduch i materiál
- Teploměry
  - kapalinové (rtuťové, lihové),
  - bimetalové,
  - elektronické (dotykové, bezdotykové IR),
  - termokamery
- Propojení s dalšími měřidly a s PC
- Pravidelná kalibrace



# Regulace teploty

Kvalitní izolace vs klimatizace

- Izolace stěn – budovy, skříně

Zastínění oken a zamezení přímému slunečnímu záření

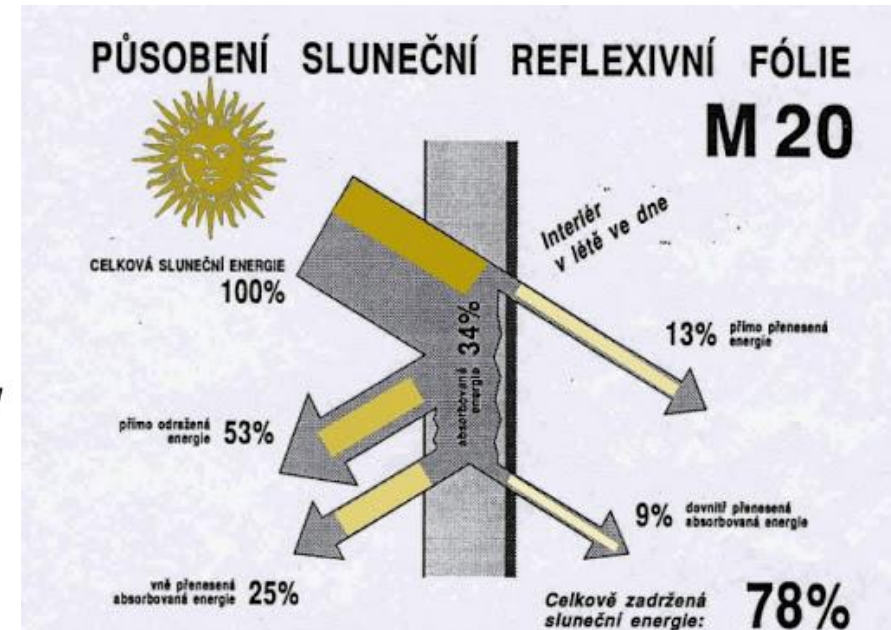
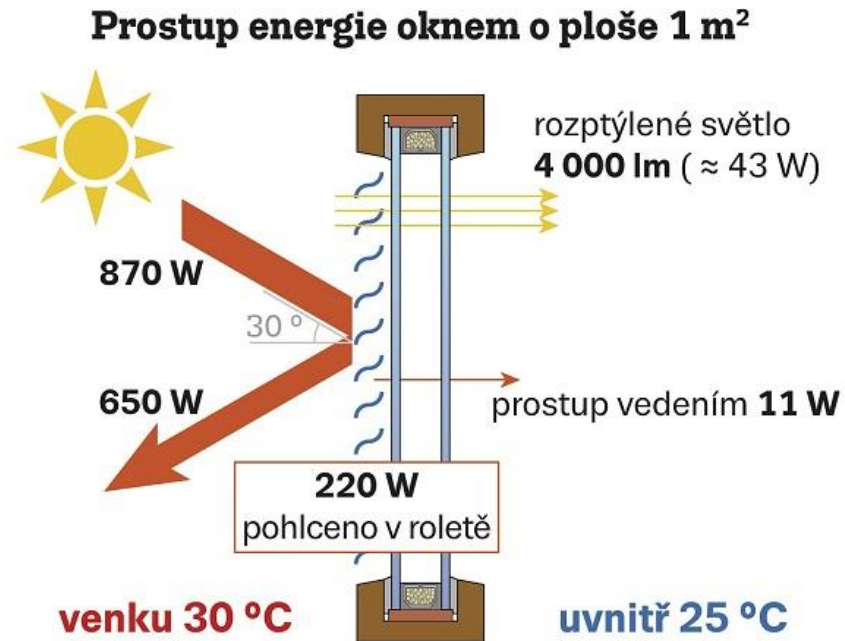
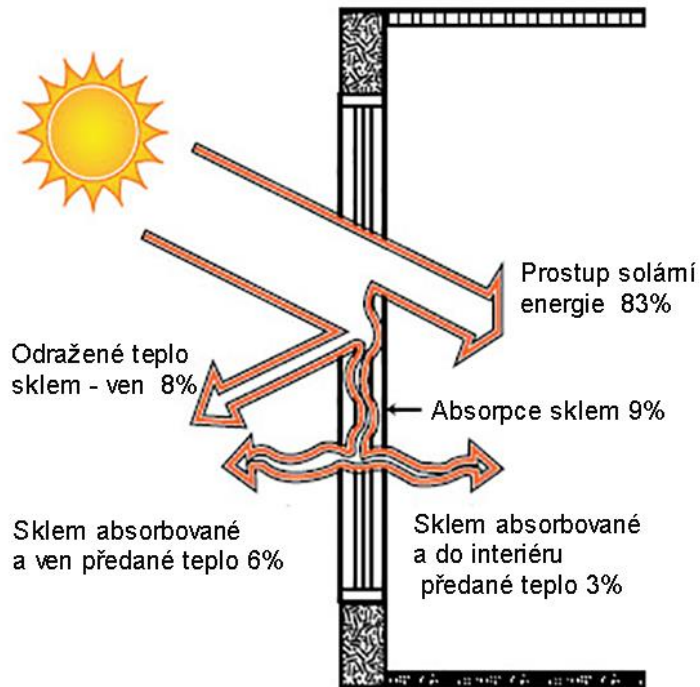
- Okenní zábrany – žaluzie, rolety, okenice, závěsy,...
- Okna pokrytá IR folií
- Speciální typy skel
- Vhodné osvětlení

Temperování depozitářů – ne vytápění

Vzdálenost předmětů alespoň 10 cm od obvodových zdí či chladných podlah

Transport přizpůsobit aktuálním klimatickým podmínkám

- Zastínění oken a zamezení přímému slunečnímu záření



**VLHKOST**

## Vlhkost vzduchu

- Jaké množství vody v plynném stavu (vodní páry) obsahuje dané množství vzduchu

## Zdroje vlhkosti

- Déšť, vodní zdroje, vlhká půda, vlhké zdivo
  - Lidské tělo – člověk produkuje cca 50 g vodní páry za hodinu
  - Organické materiály – rostliny
  - Úklidové práce
- 
- Umožňuje průběh chemických reakcí
  - Přispívá k rozvoji biologického napadení

## Absolutní vlhkost $\text{g cm}^{-3}$

- hmotnost vodní páry obsažené v jednotce objemu vzduchu při dané teplotě

$$\Phi = \frac{m}{V} (\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$$

- 1  $\text{m}^3$  vzduchu obsahuje za atmosférického tlaku

<b>T (°C)</b>	<b>g <math>\text{cm}^{-3}</math></b>	<b>T (°C)</b>	<b>g <math>\text{cm}^{-3}</math></b>
5	6,8	25	23,0
10	9,4	30	30,4
15	12,8	35	39,6
20	17,3	40	51,1

- Čím teplejší vzduch, tím víc vodní páry je schopen pojmout



## Relativní vlhkost %

- poměr mezi skutečnou a maximální absolutní vlhkostí

$$RV = 100 \frac{\Phi_{skutečná}}{\Phi_{maximální}} \%$$

- udává míru nasycení vzduchu
- vždy závisí na teplotě - zvyšováním T vzduchu dochází ke snižování RV a obráceně
- při změně teploty lze udržet konstantní RV pouze zvlhčováním vzduchu při zvyšování teploty nebo sušením vzduchu při poklesu teploty



## Rosný bod a kondenzace

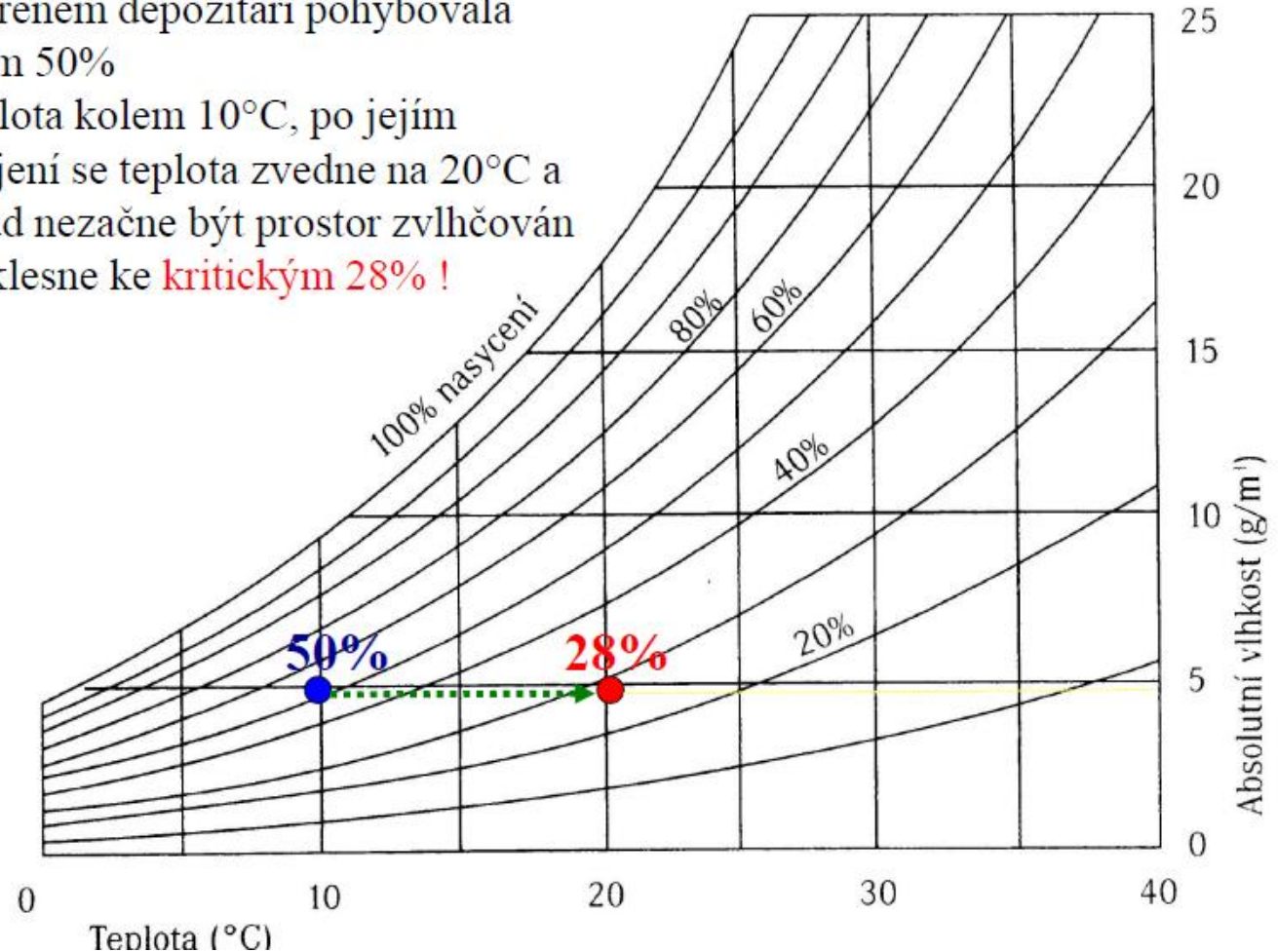
- teplota, při které je vzduch maximálně nasycen vodní parou (RV 100 %)
- klesne-li teplota pod tento bod, dochází ke kondenzaci
- překročí-li obsah vody ve vzduchu při dané teplotě hodnotu nasycení, tato voda se vysráží na povrchu předmětu v kapalně formě
- když vzduch nasycený vodní parou při dané teplotě postupně ochlazujeme
  - při styku teplého a vlhkého



# Psychrometrický (Mollierův) diagram

- Čím nižší T, tím snáze je RV udržitelná
- Malé kolísání kolem 20 °C způsobí velké změny RV
- Malé kolísání kolem 15 °C způsobí malé změny RV

Před začátkem topné sezóny se RV v uzavřeném depozitáři pohybovala kolem 50% a teplota kolem 10°C, po jejím zahájení se teplota zvedne na 20°C a pokud nezačne být prostor zvlhčován RV klesne ke **kritickým 28% !**



# Vliv vlhkosti na materiály

Vlhkost materiálu (obsah vlhkosti)

- poměr hmotnosti obsažené vody ku celkové hmotnosti vlhkého vzorku

$$w = \frac{m_{H_2O}}{m} \cdot 100 (\%)$$

Rovnovážná relativní vlhkost materiálu

- vlhkost materiálu odpovídající obsahu vlhkosti v okolním vzduchu
- vyjádřena sorpční izotermou
  - závislost rovnovážné vlhkosti materiálu na relativní vzdušné vlhkosti při konstantní teplotě nazýváme sorpční izotermou.

# Požadavky na RV

Poškození většiny materiálů pokud:

- RV nad 75 %
- RV konstantně nízká pod 30 %
- Náhlé výkyvy -  $\pm 5$  % během několika hodin

Obecný kompromis RV = **50  $\pm$  5 %**

- Tolerovaná odchylka 40-60 % RH během měsíce
- Krátkodobé výkyvy (h) by neměly být víc než o 5 %
- Každý materiál vyžaduje jinou RV
- U kombinovaných předmětů dle nejcitlivějšího

## **Organické materiály**

- hygroskopické – schopné přijímat/odevzdávat vodu z okolí
  - výměna probíhá, dokud se neustaví difúzní rovnováha
- příliš vysoká, nízká či kolísání vlhkosti prostředí:
  - deformace, praskání, zvlnění, změna mechanických vlastností,...

## **Anorganické materiály**

- ovlivňuje F-CH reakce
- významnější reakce s  $\text{SO}_x$  a jinými polutanty,
- koroze kovů, hydratace skla,
- pohyb solí v keramice a kameni,
- rozpad minerálů

# Dlouhodobě vysoká RV nad 75 %

- Biologické poškození
  - Růst plísní
  - Zvýšení aktivity hmyzu
  - Nejcitlivější – materiály s obsahem proteinů škrobů a cukrů
- Koroze kovů
- Rozpad nestabilního skla
  - Koroze skla – šupinkovité krusty, irizace či devetrifikace skla
  - Především středověká a skla ze 17. stol.
- Mechanické změny
  - Krabatění papíru, deformace dřeva, odlupování polychromie

# Dlouhodobě nízká RH pod 30 %

- Vysušení a křehnutí organických materiálů
  - Sesychání a praskání – dřevo, useň, pergamen, slonovina, kosti, proutí,...
  - Sesychání papíru a lepidel
- Praskání a odpadávání laků, povrchových úprav, malby, fotografické emulze
- Rozměrové změny
- Výkvěty solí na povrchu porézních materiálů



# Výkyvy RH

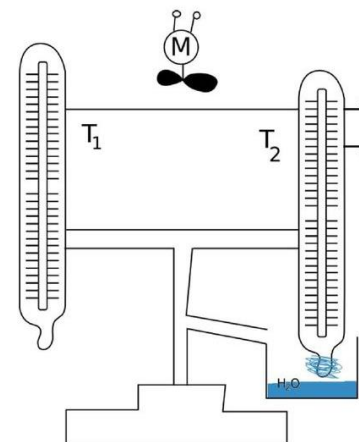
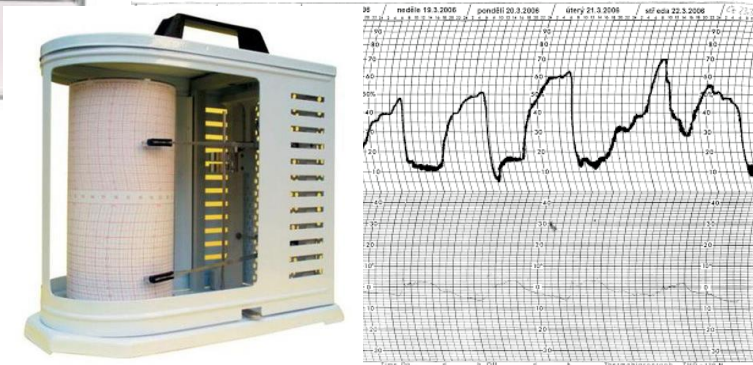
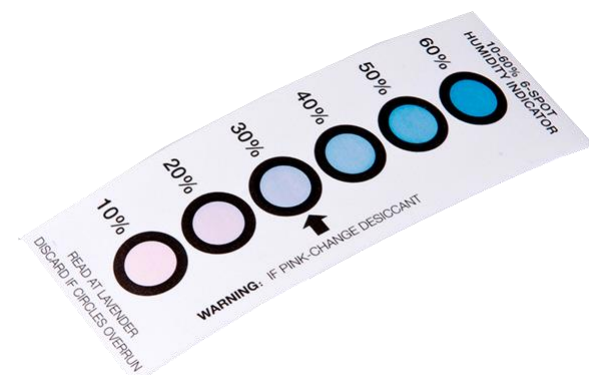
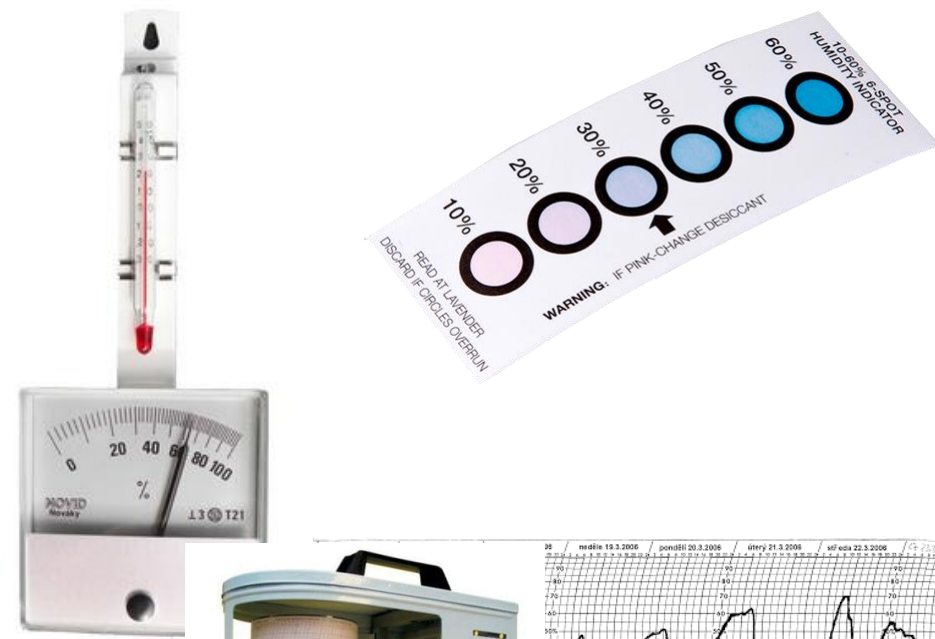
Ideálně méně než  $\pm 5\%$ , v reálu tolerováno  $\pm 10\%$  během měsíce

Způsobují objemové změny a strukturní poškození hygroskopických materiálů

- Botnání a praskání dřeva, odlupování polychromie, intazrií, zlacení
- Smršťování vláken
- Poškození vícevrstvých a vícemateriálových předmětů – knižní vazby, fotografie, malba
- Mobilizace solí v porézních materiálech – krystalizace solí, poškození nástěných maleb

# Měření vlhkosti

- Vlhkoměry (hygrometry)
  - Indikátorové papírky
  - Vlasový h. – přesnost  $\pm 5\%$ ,
  - Termohygrograf – přesnost  $\pm 3\text{--}5\%$ ,
- Psychrometry
  - Tvořen 2 teploměry
  - Přesnost  $\pm 1\%$
  - K ověření přesnosti měřících přístrojů
- Nezbytná pravidelná kalibrace



# Kombinace měření RV a T

- Digitální termohygrometry
- Měřicí sondy napojené na datalogger
- Měřicí sondy napojené na počítač



# Umístění měřících přístrojů

- Výška 1,5 – 1,8 m nad podlahou
- Nevhodné umístění:
  - Blízko oken, dveří, topných těles či vzduchotechniky
  - Kde neproudí vzduch
- Nezbytné temperování přístroje
- Možné měření uvnitř regálů, či na konkrétních místech
- Pravidelná kalibrace

# Regulace RV a T

## Pasivní regulační prvky

- Kvalitní izolace budovy, střechy, podkroví
- Krytá okna
- Omezení množství osob v místnosti
- Citlivé předměty mimo přímé sluneční záření, oken, obvodových zdí, vstupních chodeb,
- Snížení teploty během zimních měsíců – nastavení sezóních cyklů
- Ukládání předmětů v boxech, obalech, skříních
- Důsledná kontrola hodnot u citlivých materiálů

## Údržba budovy

- Zamezit zatékání, trhliny, kanalizace,...

## Řízené větrání

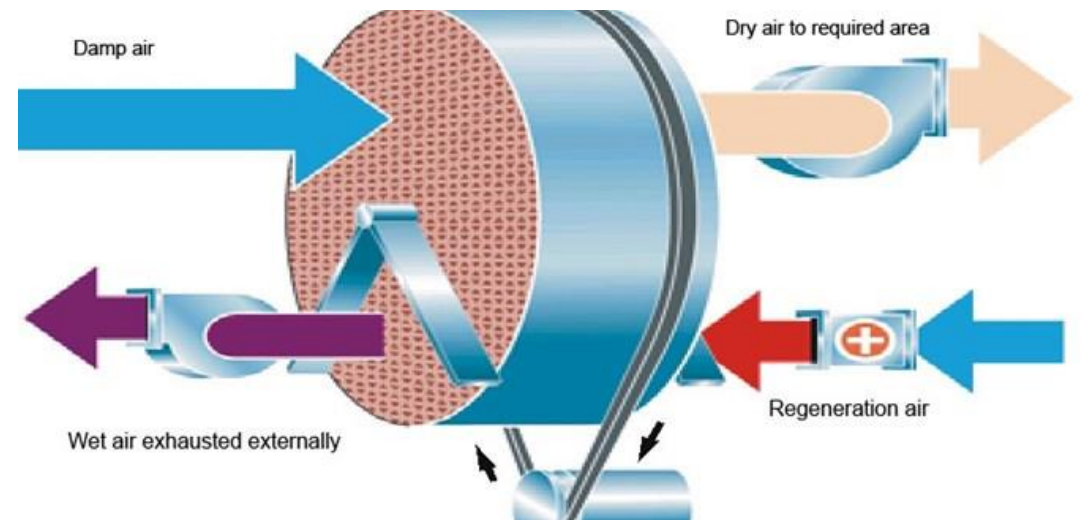
- + zdarma, rychlá výměna vzduchu
- - nebezpečí velkých výkyvů (kondenzace), vnik polutantů

## Odvlhčovací a zvlhčovací přístroje

- Odpařovací, parní, ultrazvukové zvlhčovače
- Kondenzační, parní odvlhčovače

## Stabilní vzduchotechnika

## Klimatizační jednotky



## Ukládání do obalů

- Obaly snižují účinky výkyvů, chrání před prachem, polutanty, hmyzem

## Používání látek upravujících RV (silikagel) – sorpční materiály

- Např.  $\text{SiO}_2$  (silikagel, Proisorb), zeolity
- Nesmí být v přímém kontaktu s předmětem

## Aklimatizace předmětů

- Klimabedny z pevného materiálu (dřevo) uvnitř opatřené izolací (PS)
- Před zabalením nechat bednu alespoň 24h aklimatizovat, otevírat po 24h



# Conservation heating

## Řízené vytápění

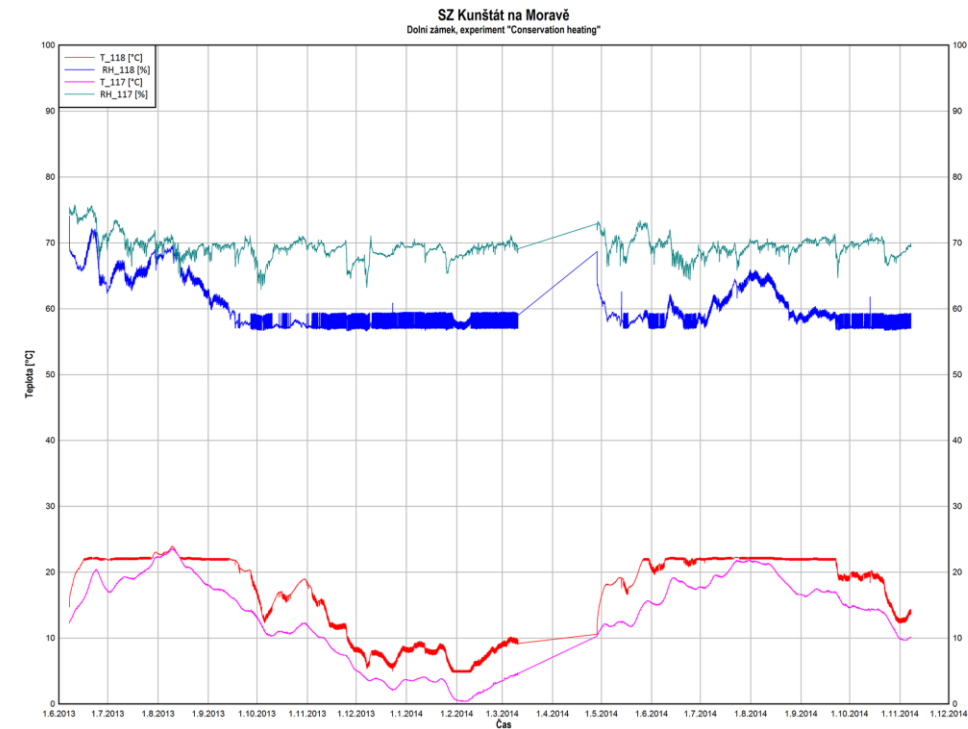
+ nenáročné na vybavení

- vhodné spíš ke snížení RV, ekonomická zátěž, může dojít k významnému snížení RV

- Sezónní cykly, ovládání termostaty
- Ovládání topení hygrostatem – topení se spouští na základě změny okolní vlhkosti „conservation heating“

- <https://vytapani.tzb-info.cz/17692-uplatneni-simulacni-analyzy-pri-overeni-efektivit-vytapani-metodou-conservation-heating-v-historicke-budove>

- [http://www.getty.edu/conservation/our\\_projects/science/climate/paper\\_staniforth.pdf](http://www.getty.edu/conservation/our_projects/science/climate/paper_staniforth.pdf)





# Odkazy

- [https://mck.technicalmuseum.cz/wp-content/uploads/2017/11/doporucene\\_hodnoty.pdf](https://mck.technicalmuseum.cz/wp-content/uploads/2017/11/doporucene_hodnoty.pdf)
- [https://mck.technicalmuseum.cz/wp-content/uploads/2017/12/Metodika WEB final.pdf](https://mck.technicalmuseum.cz/wp-content/uploads/2017/12/Metodika_WEB_final.pdf)
- <https://mck.technicalmuseum.cz/wp-content/uploads/2017/12/Preventivn%C3%AD-p%C3%A9%C4%8De-o-p%C5%99edm%C4%9Bty-kulturn%C3%AD-povahy-v-expozic%C3%ADch-depozit%C3%A1%C5%99%C3%ADch-a-zp%C5%99%C3%ADstupn%C4%9Bn%C3%BDch-autentick%C3%BDch-interi%C3%A9rech.pdf>
- <https://conservationphysics.org/index.html>
- <https://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/20452-klimatizacni-technika-a-technika-zvlhcovani-vzduchu-v-muzeu-gustava-lubcke-ve-meste-hamm>