

# Teplota a relativní vlhkost – teorie

## Teplota

Teplota charakterizuje tepelný stav hmoty, vyjadřuje pohyb molekul – s rostoucí teplotou roste pohyb atomů a materiál se může roztahovat. Základní jednotka teploty **K (Kelvin)**, další: **°C (Celsius)**, **°F (Fahrenheit)**. Přepoččet:

- °C vs K: jednoduché, 1°C se rovná rozměrově 1 K, jen je posunuta hodnota na stupnici: 0°C = 273 K
- °C vs °F: složitější  $1^{\circ}C = \frac{5(1^{\circ}F-32)}{9}$ , pak: 0°C = 32 °F

## Vliv teploty

Teplota ovlivňuje rychlost chemických reakcí tak, že pokud se zvýší o 10 °C, tak bude rychlost reakce dvojnásobná. Ve vztahu ke sbírkám tak lze chápat reakce, jako např. koroze kovů, degradace organických materiálů. Stejně tak s rostoucí teplotou se zvyšuje aktivita biologických škůdců (růst hub a plísní od 4 °C, aktivita dřevokazného hmyzu od 10 °C)

- Vysoká teplota (nad 30 °C): citlivé jsou zejména organické materiály – filmy, magnetická záznamová média, fotografie, degradovaný papír. U celuloidu (nitrátu celulózy) hrozí při 38 °C samovznícení. Při vyšších teplotách dochází k tání vosků a některých plastů
- Nízká teplota (pod 5 °C): křehnutí pryží a plastů, u předmětů z čistého cínu riziko tzv. cínového moru (strukturní přeměna při 13,2 °C kdy dojde k přeměně kovu na prášek). Při teplotě pod bodem mrazu dochází k zamrznutí vody v pórech materiálu, což může způsobit jeho praskání
- Výkyvy teploty: spojené se změnou relativní vlhkosti, dochází k praskání dřeva, deformaci a křehnutí papíru, malby (tvorba krakel)



Poškození plastů působením vysoké  $T$



Cínový mor (působení nízké  $T$ )

## Relativní vlhkost

Vlhkost vzduchu udává obsah vodní páry obsažené ve vzduchu. Zdrojem vlhkosti v muzeu může být z exteriéru déšť nebo voda vzlínající ze základů budovy při nesprávné izolaci. V interiéru to pak jsou rostliny, lidé (člověk za 1 h vyprodukuje 50 g vodní páry) nebo úklidová služba.

### Vlhkost – pojmy:

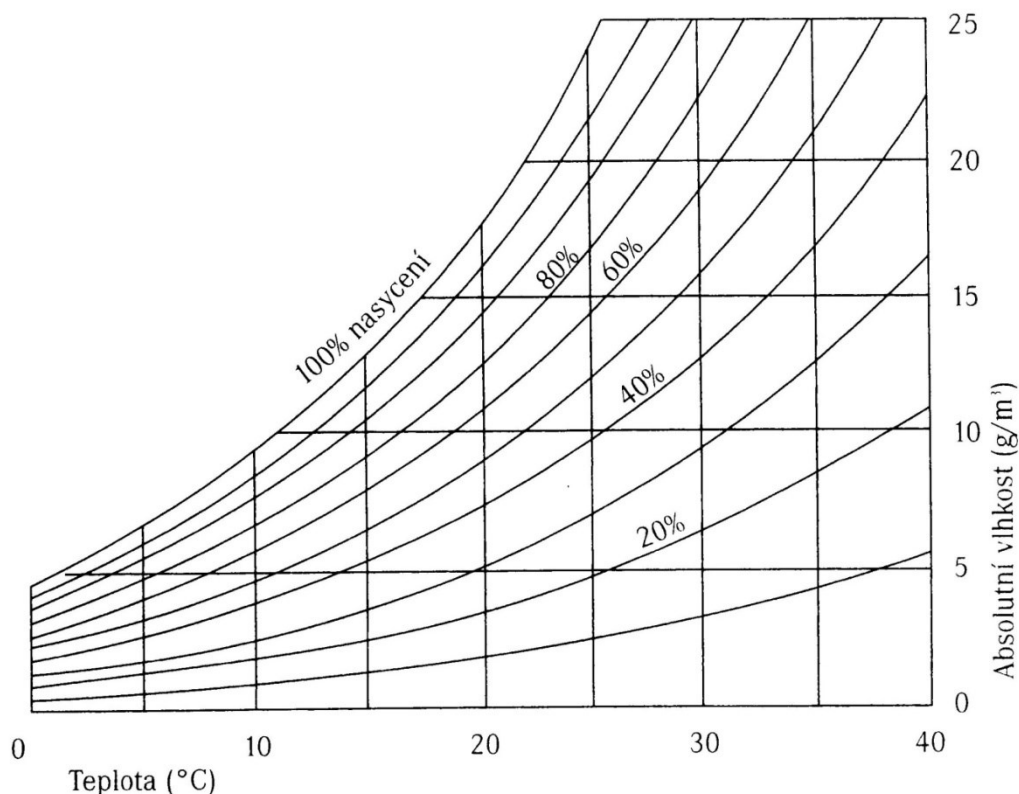
- **Rosný bod ( $T_{dp}$ ):** hodnota teploty, při které se prostor nasatí vodní párou a ta začne kondenzovat (relativní vlhkost dosáhne 100 %), jednotka: °C
- **Absolutní vlhkost (AV):** udává obsah vodní páry v objemu vzduchu, jednotka:  $\text{g m}^{-3}$
- **Relativní vlhkost (RV):** poměr absolutní vlhkosti ku obsahu páry při nasycení, udává míru nasycení prostoru vodní parou ( $AV_s = \text{saturated}$ ), jednotka: bezrozměrná %

$$RV = \frac{AV}{AV_s} * 100$$

V muzejní praxi se nejvíce pracuje s relativní vlhkostí, ta je závislá na teplotě. Obecné pravidlo: **při růstu teploty relativní vlhkost vzduchu (při stejném obsahu vodní páry) klesá a naopak**. Závislost  $T$  na  $RV$  vychází z **psychrometrického diagramu**.

Popis diagramu:

- Vodorovná osa (x): teplota [°C]
- Svislá osa (y): absolutní vlhkost [ $\text{g m}^{-3}$ ]
- Křivky (oblouky): spojnice dané relativní vlhkosti



- Příklady, jak číst z diagramu:
- Jaká bude RV při teplotě 25 °C, pokud bude vzduch obsahovat 10 g m<sup>-3</sup> vodní páry?  
Odpověď: protněme čáru vedenou z hodnoty 25 °C na ose x a čárou z hodnoty 10 g m<sup>-3</sup> na ose y. Protnou se v kousek od oblouku s hodnotou 40 %, hodnota je tedy cca 42 % RV.
- Jak se změní hodnota RV, pokud se zvýší teplota z 15 °C na 25 °C, pokud je AV = 5 g m<sup>-3</sup>?  
Odpověď: při 15°C a dané AV je RV = 38 %, při změně teploty odečteme hodnotu, kterou protíná AV = 5 g m<sup>-3</sup> a T = 25 °C s křivkou RV = 19 %. RV tedy klesne o 19 %.

### Vliv nesprávné vlhkosti

- Nízká RV: vliv na organické přírodní materiály (dřevo, papír, useň, textil) – při nízké RV dochází k jejich vysušování a následnému praskání, kroucení a rozpadu. U olejomalb nebo tempery dochází ke tvorbě prasklin – krakel, stejně tak u skleněných fotografií se želatinovou vrstvou. U porézní keramiky dochází k migraci solí na povrch – vznikají solné výkvěty a vlivem tlaku při krystalizaci může materiál praskat.
- Vysoká RV: rozvoj mikrobiologického napadení (plísně, dřevokazné houby), zvýšená aktivita hmyzu. U organických materiálů dochází k botnání, rizikové pro nestabilní kovy s aktivní korozi – železné předměty s chloridovou korozi, slitiny mědi s tzv. nemocí bronzů. Poškození materiálů působením vzdušných polutantů (rozpuštění

např. par kyselých látek do filmu kondenzované vody na povrchu předmětu – vznik slabého roztoku kyseliny).

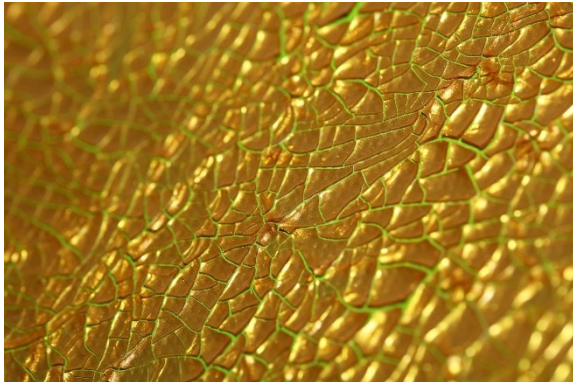
- Výkyvy RV: obecně větší než  $\pm 5\%$  za 24 hod – způsobují tvarové změny a praskání prudkou změnou vlhkosti v hygrokopickém materiálu.



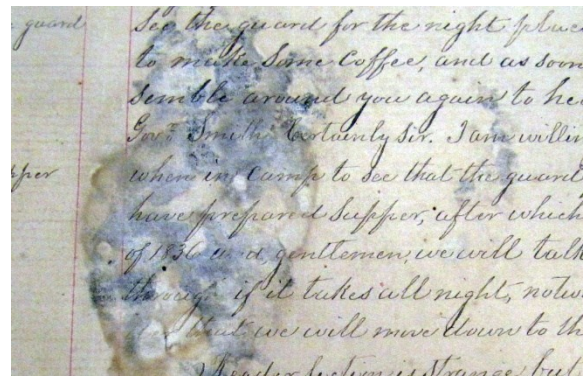
Aktivní koroze železa vlivem vysoké vlhkosti



Aktivní koroze slitin mědi – nemoc bronzů



Krakely na vrstvě malby vlivem nízké RV nebo jejího kolísání



Výskyt plísní vlivem vysoké RV



Solný výkvět na keramice při nízké RV



Praskání dřeva při nízké RV

## Tabulka hodnot vhodné T a RV

materiál	teplota [°C]	relativní vlhkost [%]
papír	15 - 18	45 - 55
dřevo, kůže, pergamen, textil, slonovina, kosti, zuby	15 - 18	45 - 60
malba na plátně	16 - 18	50 - 55
biologické přírodovědné sbírky	15 - 18	40 - 60
paleontologické sbírky	18 - 20	45 - 55
mineralogické sbírky z pyritu	18 - 20	pod 30
keramika, sklo, kámen	18 - 20	40 - 55
kovy samotné	18 - 20	30 - 40
kovy vykazující aktivní korozi		pod 20
kovy v kombinaci s organickým materiálem	18 - 20	40 - 55
papírové fotografie černobílé	15 - 20	30 - 50
papírové fotografie barevné	do 2	30 - 50
černobílé filmy	do 20	30
barevné filmy	do 2	30
gramofonové desky	10 - 21	40 - 55
fonografické válečky	okolo 15	40 - 60
zvukové a audiovizuální magnetické záznamy	18	30
datové magnetické záznamy (diskety, magnetické pásky)	18 - 22	35 - 45
optické kompaktní disky	15 - 18	45 - 55



## Měření teploty:

Na měření teploty se používají **teploměry** různé konstrukce a na různém principu:

- Kapalinové teploměry: založené na tepelné roztažnosti kapaliny ve skleněné trubičce. Nejpřesnější – rtuťové, dnes se spíše používají lihové kvůli toxicitě rtuti
- Bimetalové: založené na rozdílné tepelné roztažnosti dvou k sobě spojených kovů stočených do oblouku
- Elektronické – vycházejí ze změny odporu křemíkového čidla dle změny okolní teploty



*Rtuťový teploměr*



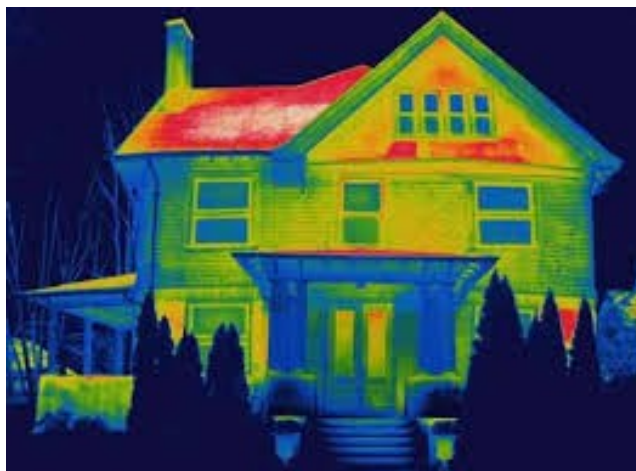
*Bimetalový teploměr*



*Digitální teploměr*



*Termokamera*



*Snímek domu zachycený termokamerou*

Sofistikovaným zařízením pro sledování rozložení teploty v prostoru a proudění vzduchu je termokamera, která je vybavena speciálním čidlem pro snímání tepelného (infračerveného) záření vyzařované povrchem materiálu. Lze tak např. odhalit studená místa, kde by mohlo dojít ke kondenzaci vody a výskytu plísní nebo sledovat úniky tepla kolem oken, dveří apod.

## Měření relativní vlhkosti:

Relativní vlhkost vzduchu se měří pomocí **psychrometrů** nebo **hygrometrů** (vlhkoměrů). Odhadnout ji lze pomocí indikačních papírků impregnovaných solemi kobaltu, jejichž zabarvení se mění podle změny RV.

- Psychrometr pracuje na principu měření rozdílu teploty pomocí dvou teploměrů – jeden je vystaven RV prostředí a druhý je zvlhčován vodou (tedy při 100 % RV). Hodnota RV se pak odečítá z tabulky rozdílů teplot při dané RV. Přesnost u psychrometrů je  $\pm 1 \%$
- Hygrometry se dělí na:
  - Mechanické - pracují na principu rozměrových změn nějakého prvku (např. vlasů), které jsou připojené na ručičku přístroje. Nejsou však moc přesné.
  - Digitální – používají na měření RV elektronické čidlo.
- Orientačně lze kontrolovat hodnoty RV pomocí papírových indikátorů, které pracují na principu chemické reakce, kdy barevné terčíky jsou činidla, které mění své zbarvení podle úrovně okolní vlhkosti.



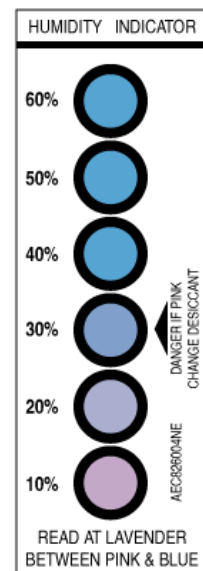
*Psychrometr*



*Vlasový hygrometr*



*Digitální hygrometr*



*Papírový indikátor*

### **Záznam RV a T:**

Pro zaznamenávání hodnoty T a RV, což je nutné pro kontrolu mikroklimatu expozic a depozitářů, se používají různé systémy tzv. dataloggerů. Nejjednodušším a nejstarším typem je mechanický termohygrograf, který zapisuje hodnoty otáčením válce se záznamovým pásem. Záznamová pera jsou připojené na mechanický teploměr a hygrometr.

Dnes se však většinou používají modernější elektronické datalogery, které mohou komunikovat i pomocí wifi, GSM nebo rádiových vln se serverem a získáme tak přehled o mikroklimatu v celé budově. Záznamníková čidla by však pro správné měření měla být umístěna v prostoru, kde je neovlivňuje proudění vzduchu (např. u oken, výdechů vzduchotechniky, topení). Ideální výška umístění je cca 1,5 – 1,8 m nad zemí.



*Datalogger Comet*



*Rádiový datalogger Hanwell*



*Wifi datalogger Testo*

### **Řízení teploty a relativní vlhkosti**

Nastavení vhodné teploty pro uložení předmětů není zpravidla problém, horší je však situace, co se týká relativní vlhkosti. Z předchozích odstavců je již jasné, jak spolu teplota a relativní vlhkost souvisí. Prvním předpokladem pro dlouhodobé uložení je vhodná **budova**. Ideální je dobře izolovaná budova s kvalitními dveřmi, okny a předsazenou fasádou (tvoří vzduchovou kapsu, díky níž je zdivo dobře odvětrávané a poskytuje také tepelnou izolaci) a funkční **vzduchotechniku**. Vzduchotechnika musí obsahovat směšovací jednotku vzduchu, díky které lze vzduch na vstupu zvlhčovat i odvlhčovat. Nevýhodou jsou však vysoké pořizovací a provozní náklady. Často jsou však muzea umístěná ve starých budovách, zámcích a podobně. Paradoxně staré budovy se silnými stěnami poskytují celoročně relativně stabilní klima pro předměty, avšak za předpokladu, že mají dobře odizolované podlaží a nedochází ke vzlínání vlhkosti ve stěnách. Horší je zde však udržet komfort pro návštěvníka z hlediska topení. V zimě je třeba prostory alespoň temperovat, aby nedocházelo k poklesu teploty k bodu mrazu. Pro řízení správné relativní vlhkosti lze použít zvlhčovače a odvlhčovače vzduchu.

**Odvlhčovače vzduchu** pracují na principu, že nasávaný vzduch je v přístroji ochlazen, čímž dojde ke kondenzaci vody v zásobníku a ven je pak vypuštěn suchý vzduch. Dalším typem jsou adsorpční odvlhčovače, které obsahují sorpční médium pohlcující vodu. Pro regeneraci se sorbent automaticky ohřevem vysuší a voda je odváděna do zásobníku. Tento typ však není moc výkonný.





*Kondenzační odvlhčovač vzduchu*

**Zvlhčovače vzduchu** se v depozitářích a výstavních prostorách používají častěji a existují základní 3 typy:

- Parní: voda ve zvlhčovači se odpařuje po jejím zahřátí do prostoru, provozně náročné
- Ultrazvukové: pomocí ultrazvuku se vytváří vodní mlha. U těchto zvlhčovačů je nutné používat destilovanou vodu, protože u obyčejné vody se tak do prostoru dostanou i rozpuštěné soli a usazují se na předmětech
- Studené odpařování: voda ve zvlhčovači je nasávána do filtru, přes který je ventilátorem vháněn vzduch a vlhkost je tak vháněna do prostoru. V praxi nejpoužívanější typ zvlhčovačů



*Parní zvlhčovač vzduchu*



*Ultrazvukový zvlhčovač vzduchu*

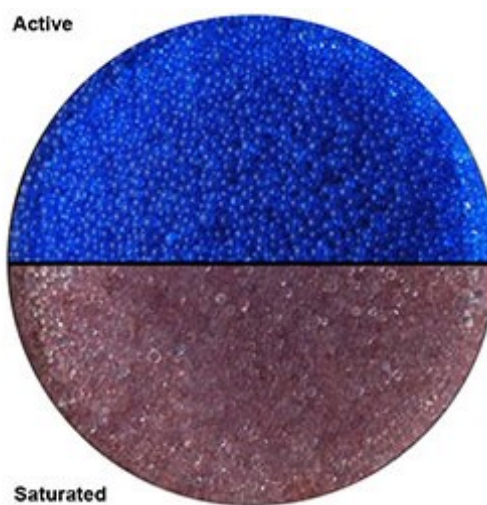


### *Zvlhčovač vzduchu se studeným odparem*

Pro lokální kontrolu RV např. ve vitrínách nebo obalech se používají **adsorbenty**. Existuje řada druhů, které mají různé sorpční charakteristiky. Některé adsorbenty jsou vhodné např. jen pro vysoušení, některé i pro zvlhčování. Materiál adsorbentů obsahuje mikropóry, do kterých zachytává vodu. Pro jeho regeneraci je nutné následné vysušení za teploty kolem 120 °C. Nejznámější adsorbent je **silikagel**, pórovitá forma oxidu křemičitého. Je vhodný pro udržení RV 0-30 %. Existují i formy s obsahem barevného indikátoru nasycení silikagelu. Nevhodné je použití silikagelu s indikátorem na bázi chloridu kobaltnatého ( $\text{CoCl}_2$ ), jelikož chloridy jsou významný stimulant koroze.



*Silikagel*



*Silikagel s indikátorem  $\text{CoCl}_2$*

Dalším typem jsou **molekulová síta**, což je obdoba silikagelu avšak na bázi zeolitů – hlinitokřemičitanů.



*Molekulové síto*



*Kazeta Prosorbu*

Speciálními typy jsou pak např. **Prosorb** a **Artsorb**. Prosorb je vhodný pro udržení RV 30-60 % a Artsorb 60-80 %. Artsorb je určený spíše pro citlivé materiály, které vyžadují udržení vyšší RV. Z doporučených hodnot RV pro předměty je tak Prosorb nejvhodnější univerzální adsorbent. Pro nastavení správné RV je však potřeba adsorbent správně navlhčit – **kondicionovat**. To se provádí např. uzavřením adsorbentu do těsného boxu s miskou s vodou. Stav kondicionace se pak kontroluje buď vložením vlhkoměru do boxu nebo zvážení hmotnosti adsorbentu. Dávkování adsorbentu lze zjistit u výrobce, v případě Prosorbu je to 2-4 kg sorbentu na 1 m<sup>3</sup> vitríny.