**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)**. Přepočet:

* °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 , 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.

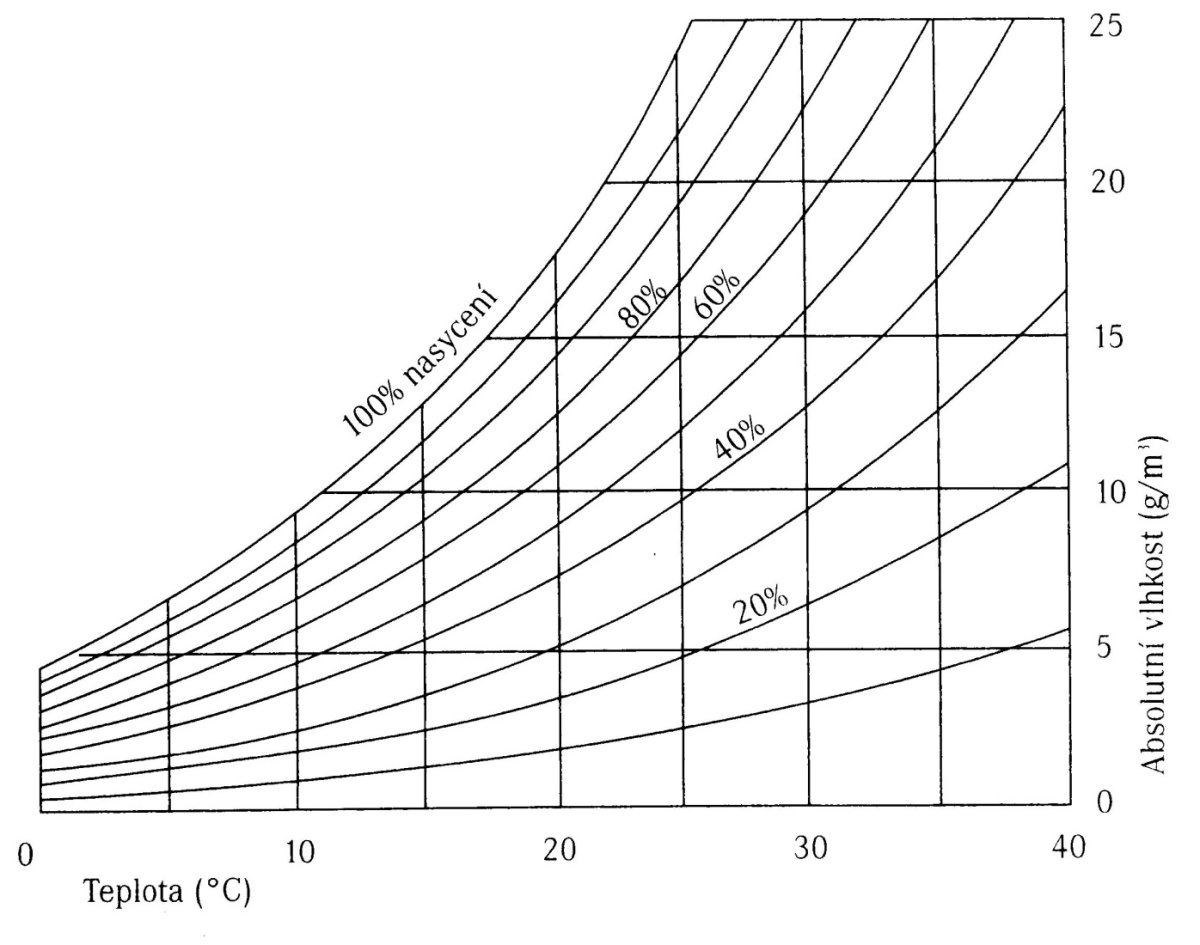
**Vlhkost – pojmy:**

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

**\* 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 [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-3 vodní páry?

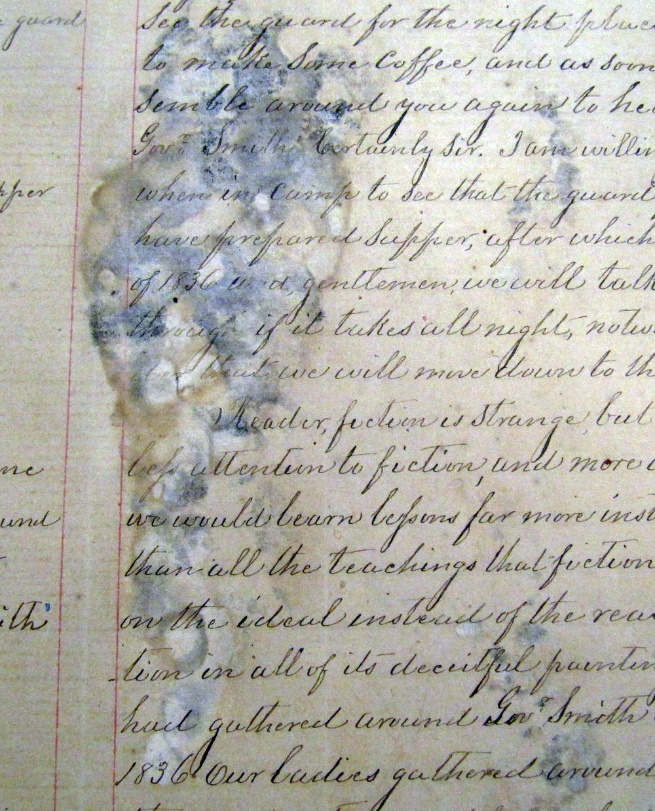
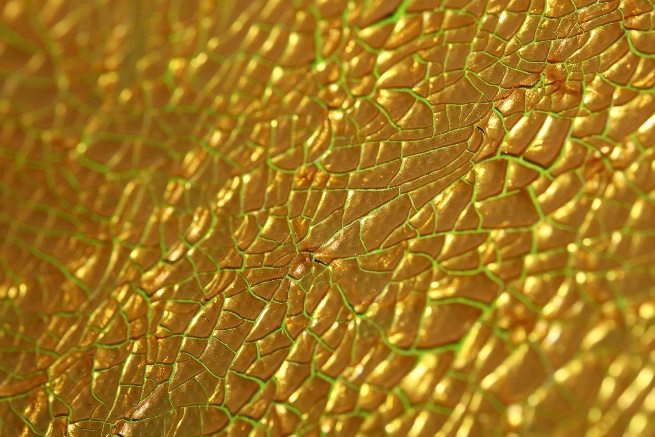
Odpověď: protneme čáru vedenou z hodnoty 25 °C na ose x a čárou z hodnoty  
10 g m-3 na ose y. Protnou se v kousek od oblouku s hodnotou 40 %, hodnota je tedy cca 42 % RV.

* Jak se změní hodnota RV, pokud se zvýší teplota z 15 °C na 25 °C, pokud je  
  AV = 5 g m-3?

Odpověď: při 15°C a dané AV je RV = 38 %, při změně teploty odečteme hodnotu, kterou protíná AV = 5 g m-3 a T = 25 °C s křivkou RV = 19 %. RV tedy klesne o 19 %.

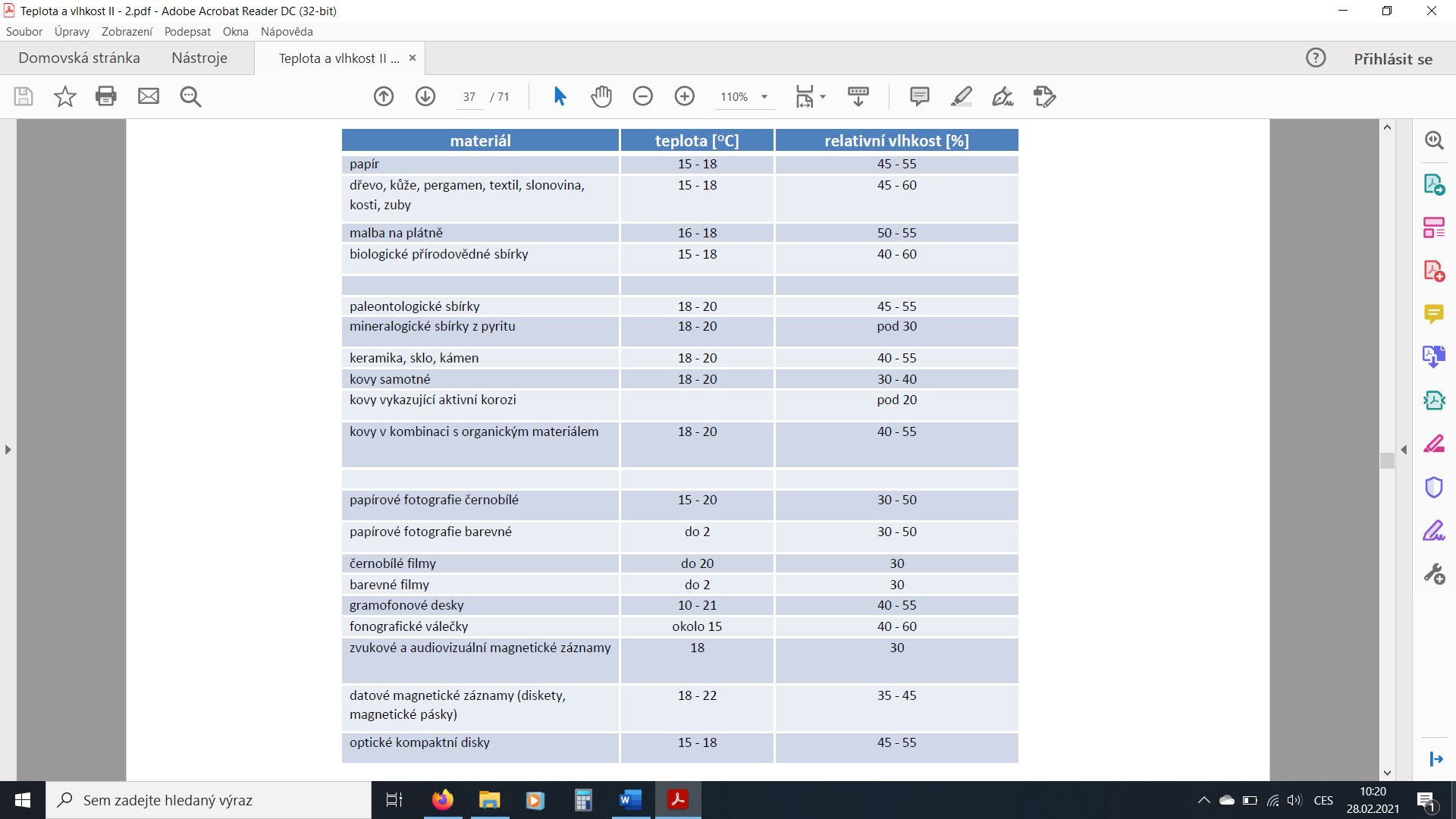
**Vliv nesprávné vlhkosti**

* 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 olejomaleb 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 korozí – železné předměty s chloridovou korozí, slitiny mědi s tzv. nemocí bronzu. Poškození materiálů působením vzdušných polutantů (rozpouštění např. par kyselých látek do filmu kondenzované vody na povrchu předmětu – vznik slabého roztoku kyseliny).
* Výkyvy RV: obecně větší než ± 5 % za 24 hod – způsobují tvarové změny a praskání prudkou změnou vlhkosti v hygroskopickém materiálu.

*Aktivní koroze železa vlivem vysoké vlhkosti Aktivní koroze slitin mědi – nemoc bronzu*

*Krakely na vrstvě malby vlivem nízké RV Výskyt plísní vlivem vysoké RV  
nebo jejího kolísání*

*Solný výkvět na keramice při nízké RV Praskání dřeva při nízké RV*

**Tabulka hodnot vhodné T a RV**

**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

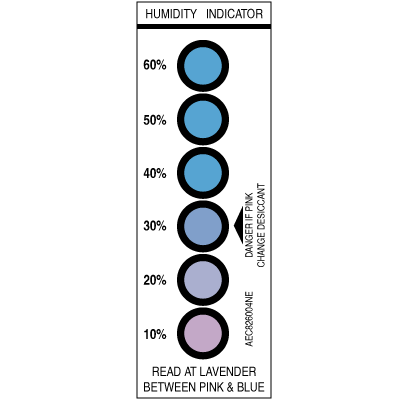
*Rtuťový teploměr Bimetalový teploměr Digitální teploměr*

*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 ± 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 dataloggery, 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 vzduchu 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.

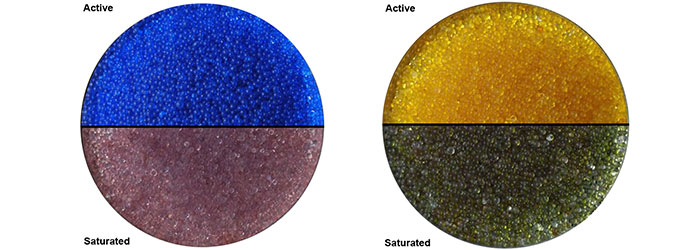
*Kondenzační odvlhčovač vzduchu*

**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 absorbentů 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 (CoCl2), jelikož chloridy jsou významný stimulant koroze.

*Silikagel Silikagel s indikátorem CoCl2*

**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 spíš pro citlivé materiály, které vyžadují udržení vyšší RV. Z doporučených hodnot RV pro předměty je tak Prosorb nejvhodnější univerzální absorbent. Pro nastavení správné RV je však potřeba adsorbent správně navlhčit – **kondicionovat**. To se provádí např. uzavřením absorbentu do těsného boxu s miskou s vodou. Stav kondicionace se pak kontroluje buď vložením vlhkoměru do boxu nebo zvážením hmotnosti adsorbentu. Dávkování absorbentu lze zjistit u výrobce, v případě Prosorbu je to 2-4 kg sorbentu na 1 m3 vitríny.