

NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV
ústřední pracoviště



MIKROKLIMA V HISTORICKÝCH INTERIÉRECH

Praha 2011

NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV
ústřední pracoviště

Odborné a metodické publikace, svazek 39



MIKROKLIMA
V HISTORICKÝCH
INTERIÉRECH

Miroslav Černý, Miloslav Němeček

1. vydání
Praha 2011

Národní památkový ústav jako odborná organizace státní památkové péče v České republice vydává tuto publikaci v zájmu zabezpečení jednoty metodických hledisek památkové péče pro danou oblast ochrany kulturních památek, v souladu s ustanovením § 32 odst. 1 zákona č. 20/1987 Sb., o státní památkové péči, ve znění pozdějších předpisů. Metodika Mikroklima v historických interiérech byla připravena v rámci plnění vědeckého záměru VZ MK 07503233301, úkolu 101 HS-I. Vědecký výzkum ke zkvalitnění odborně metodického řízení státní památkové péče.

Lektorovali:

Ing. Ivana Kopecká, Národní technické muzeum

Ing. arch. Miloš Solař, Národní památkový ústav, ústřední pracoviště



NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV
ÚSTŘEDNÍ PRACOVISŤE

© Národní památkový ústav, ústřední pracoviště, Praha 2011

© Miroslav Černý, prof. Ing. Miloslav Němeček, DrSc., 2011

Předmluva © doc. PhDr. Josef Štulc, 2011

Grafické zpracování © Aleš Lederer, 2011

Foto © Ladislav Bezděk, Rudolf Bruner-Dvořák, Vladimír Fyman, Vladimír Hyhlík, Milan Jančo, Čestmír Šíla, fotosbírka Národního památkového ústavu, ústředního pracoviště

Reprofoto © Gabriela Čapková, NPÚ ÚP, Barbora Hružová, ArÚ AV ČR, v.v.i. Praha

ISBN 978-80-87104-82-8

Fotografie na přední straně obálky:

Dačice (okres Jindřichův Hradec), zámek. Pohled do schodišťové haly. (Foto Petr Toman)

Vyobrazení na str. 1:

Heinrich Reinhart, 1879, salón takzvaného Horního Buquoyovského zámku (Státní zámek Rožmberk). (Zdroj: Zeugen der Intimität, s. 128, 233, obr. 10.42)

Fotografie na zadní straně obálky:

Ploskovice (okres Litoměřice), zámek. Pohled do vestibulu. (Foto Roman Kursá).

Obsah

Předmluva	5
1 Úvod	7
2 Problém vlhkosti v památkových objektech	9
2.1 Vliv venkovního prostředí na památkové interiéry	12
2.2 Obecně o vlhkém vzduchu	14
2.3 Vlhký vzduch a materiály památkových předmětů	14
2.4 Vlhkostní rovnováha materiálů	15
2.5 Vlhký vzduch v h-x diagramu	16
2.6 Důležitost vlhkostní rovnováhy	19
3 Co ovlivňuje působení vlhkosti v interiérech	26
3.1 Přenos a výměna tepla	27
3.2 Proudění vzduchu	29
3.2.1 Vynucené proudění	29
3.2.2 Přirozená (samovolná) teplotní konvekce	34
3.3 Komínový jev u vysokých staveb	43
4 Problémy interiéru	49
4.1 K vlhkosti mobiliáře a stavby	50
4.2 Vlhkostní setrvačnost interiéru	55
4.3 Další vlastnosti konvekce	55
4.4 Sálavé teplo	58
4.5 Měření teploty a vlhkosti v interiérech	58
5 Závěr	60
Souhrn, Summary, Zusammenfassung	61
Anotace	62
Klíčová slova	63
Literatura	64

Předmluva

Střední Evropa v porovnání s jinými oblastmi, jako je například Středomoří nebo Přední východ, nemá pro uchovávání historických památek příliš příznivé klimatické podmínky. Její klima se vyznačuje většími a častějšími výkyvy teploty a vlhkosti vzduchu, které představují zvýšené riziko ohrožení a zejména povrchového narušení památkových předmětů. Čím více na sever a do vnitrozemí, tím více fyzikálních a chemických jevů a veličin se podílí na zhoršování stavu památek.

Toto ohrožení je pak mimořádně vysoké v obdobích, kdy se vnitřní prostředí nevytápěných objektů dostává do stavu blízkého rosnému bodu. Vlhkost vzduchu totiž způsobuje, že hygroskopické materiály, z nichž jsou zhotoveny památkové předměty, přejímají také určité množství vlhkosti, odpovídající stavu okolního vzduchu. Změny teploty a vlhkosti prostředí, v němž jsou památky uchovávány, vyvolávají nežádoucí pokles nebo zvyšování tohoto obsahu vlhkosti, která pak závažně ohrožuje stav vystavených exponátů i výzdoby historických interiérů.

Ideálním řešením pro dokonalou konzervaci „starých“ uměleckých památek, mobiliárních fondů a sbírek by jistě bylo klimatizované „galerijní prostředí“. Toto řešení však představuje neúnosně nákladnou alternativu, která je reálná jen pro malou část nejceněnějších sbírek. V neposlední řadě je instalace klimatizačního zařízení často neslučitelná s požadavkem autenticity historických prostor, kde je uložený mobiliář prezentován.

Pro historické objekty užívané k uchování uměleckých a historických sbírek a jejich zpřístupnění veřejnosti je stále více příznačné, že tyto objekty nejsou celoročně obývány a provozovány, a tudíž ani vytápěny. Jejich vnitřní prostředí je tak v převážné míře pod spontánním vlivem velmi proměnného středoevropského klimatu.

Nikoli vzácně se vyskytuje stav, kdy se vlhkost vzduchu v objektech blíží hrozivým 80 procentům, často i stavu rosného bodu, nebo jej dokonce dosahuje. Tím pak vznikají ideální podmínky pro nástup plísní nebo jiných ničivých procesů. Je však třeba zdůraznit, že přímo ohrožujícím faktorem není sám fakt, že ohrožovaný objekt v zimním období vychladne.

Nízká teplota sama o sobě stav exponátů a interiéru neohrožuje. Za jistých podmínek naopak může být dokonce i faktorem, který přispívá ke konzervaci. Kritickým parametrem je relativní vlhkost vzduchu, která je s venkovní nízkou teplotou spojená, zejména její změny a s tím související sorpce vlhkosti v materiálech, z nichž jsou vystavená díla zhotovena. Tento problém není často respektován a není zatím

uspokojivě řešen nejen v ČR, ale ani v zahraničí a je příčinou rozsáhlých poškození někdy nenahraditelných kulturních a uměleckých památek. Cílem tedy je, aby opatření na ochranu památkově i jinak cenných předmětů vycházela především z fyzikálně správných a objektivních představ o působení přírodních jevů daných fyzikálními zákony.

Sepsáním této publikace autoři přibližují čtenáři přístupnou formou problematiku řešení vnitřního ovzduší (mikroklimatu) památkových interiérů. Popisují jen základy přístupu k mikroklimatologii, které mají naznačit, jak je celá problematika zajímavá a zároveň ve své podstatě nesmírně složitá. Současně je cílem publikace seznámit čtenáře s terminologií používanou v tomto oboru. Tomu by také měla napomoci početná obrazová příloha, kresby, grafy, fotografie a reprodukce historických vyobrazení interiérů zámků a bytů 19. století, umožňující lepší pochopení sledované problematiky. Pro představení škod způsobených přítomným vlhkým vzduchem, nevhodným větráním, nevětráním a prudkými výkyvy teploty během roku, vyvolávajícími kondenzací vody na podchlazených zdech nebo nadměrné vysušování s degradací povrchů zdí. Pro upozornění na další možná rizika ohrožující památkové interiéry a jejich mobiliární náplň byly zcela záměrně vybrány historické fotografie z fotoarchivu NPÚ dokumentující památkové interiéry krátce po roce 1948 – zámky Doudleby nad Orlicí a Jezeří – kde z důvodu změny politických poměrů v roce 1948 a následných konfiskací došlo k přetržení kontinuity i té nejzákladnější péče o ně. S následky tohoto jednání, vedoucího k těžkým poškozením historických interiérů a jejich náplně, je nutné se vypořádávat dodnes. Další soubor historických fotografií, dokumentující interiéry Kostelce nad Orlicí a Opočna, byl zařazen, aby upozornil na neuralgická místa památkových interiérových instalací z hlediska problematiky, které se tato práce věnuje.

Naším díkem jsme zavázáni Ing. arch. Věře Kučové, doc. PhDr. Josefu Štulcovi a Ing. arch. Miloši Solařovi za jejich připomínky k prvnímu čtení textu předkládané publikace. Děkujeme oponentům Ing. Ivaně Kopecké a Ing. arch. Miloši Solařovi za jejich lektorské posouzení rukopisu a cenné poznámky a doporučení k němu, které jsme rádi akceptovali. Náš dík patří Mgr. Milanu Jančovi za zajištění fotografií a obrazových reprodukcí, které přispěly ke zkvalitnění vzhledu této publikace. Děkujeme i pracovníkům redakce NPÚ ÚP, jmenovitě Mgr. Jakubu Hromkovi, za redakční přípravu rukopisu textu do tisku a jeho trpělivost při konečném zpracovávání předkládané metodiky Mikroklima v historických interiérech.

1 Úvod

V poškození interiérů památkově a historicky cenných objektů se dominantně uplatňuje¹ relativní vlhkost vzduchu projevující se vlhkostí v něm přítomných hygroskopických materiálů. Samotná relativní vlhkost vzduchu, jejíž působení je spojeno s jeho teplotou, však není plně rozhodující. Je-li relativní vlhkost vzduchu stejná, platí poznatek, že při nižší teplotě vzduchu z něj přijmou hygroskopické materiály více vlhkosti, než je-li jeho teplota vyšší, kdy navlhají méně.

V převážné většině památkově chráněných objektů, které nejsou vybaveny klimatickým zařízením k teplotní a vlhkostní úpravě vzduchu, je nutno vystačit se vzduchem, jehož parametry závisí na teplotě a vlhkosti vzduchu venku. Vzduch působí na vnitřní části stavební konstrukce, především pak na předměty a mobiliář v interiérech, kam pronikl průchody a netěsnostmi dveří a oken z okolních prostorů a chodeb. Mohl sem proudit také přímo zvenku komínovými a větracími průduchy a otevřenými okny a dveřmi při větrání.

Důležitou úlohu hraje teplota vzduchu, závislá na venkovní teplotě a mění se v průběhu jeho cesty do interiéru. Ohled na to, že se během této cesty při změně teploty mění i vlhkost vzduchu, je věcí odborníka. Je však nutné, aby alespoň základní představy měli o tomto vlivu pracovníci v památkových objektech. Zvláště v souvislosti s větráním, jímž mohou v interiérech, které nejsou klimatizovány a automaticky regulovány, podpořit a udržovat kompromisní, přibližně rovnovážný teplotní a vlhkostní režim, od něhož se očekává, že chráněný interiér a jeho mobiliář co nejméně poškodí. Základní znalosti jsou důležité i v souvislosti se spotřebou energie v památkovém objektu. Nejen v chladném období, kdy se jedná jak o teplo na vytápění objektu, tak i o výparné teplo, které je nutno vynaložit na vlhčení vzduchu. Také v jarním přechodném období, kdy ve vychladlém interiéru hrozí kondenzace vlhkosti, je nutno vynakládat energii k odvlhčení vzduchu, dotovaného vysokou vlhkostí vzduchu vstupujícího zvenku. Zato v období uprostřed podzimu, kdy obsah vlhkosti ve venkovním vzduchu klesá, je třeba vzduch přivlhčovat, je-li interiér vytápěn.

O spotřebě energie rozhoduje skutečnost, že kompromisní požadavek rovnovážného stavu vzduchu, kdy mezi vzduchem a chráněným předmětem dochází k minimální výměně vlhkosti, nevyžaduje ani stálou teplotu, ani stálou relativní vlhkost vzdu-

1 *Literatura 1, 2.*

chu. Lze mu vyhovět fyzikálně oprávněnou souhrou stálé teploty a relativní vlhkosti, při respektování dalších důležitých jevů v interiérech památkového objektu. Tomu se věnují následující části předkládané metodiky.



Obr. 1. Doudleby nad Orlicí (okres Rychnov nad Kněžnou), zámek. Vlhčí vzduch je lehčí. Destrukce tapet vpravo pod stropem jako doklad přítomnosti lehčího vlhkého vzduchu při velmi nízké teplotě. Zámek byl v roce 1949, v den pohřbu Michaela hraběte Bubna-Litic, zabrán původním majitelům, uzavřen a úředně zapečetěn.² V důsledku nevětrání a netemperování místností došlo v letech 1949–1950 k poškozením. (Foto Čestmír Šíla, 1950)

2 *Literatura 15.*

2. Problém vlhkosti v památkových objektech

Pracovníky v převážné většině neklimatizovaných památkových objektů je třeba vybavit minimem poznatků z rozsáhlé a složité problematiky působení vlhkosti vzduchu. To vyžaduje:

- umět teplotu a vlhkost vzduchu měřit;
- správně interpretovat výsledky měření na základě znalosti takzvaného h-x diagramu vlhkého vzduchu, tedy umět odhadnout účinky působení vlhkosti na různé materiály;
- poznat vliv a působení řady dalších důležitých fyzikálních činitelů a jevů na mikroklima objektu:
 - proudění a pohyb vzduchu;³
 - vliv změn jeho teploty a vlhkosti;
 - význam vlhkostní rovnováhy okolního vzduchu s hygroskopickými materiály.⁴

Nadále se budeme zabývat případy, kdy vlhkost do interiéru přináší především pronikající venkovní vzduch (nikoli případy, kdy příčinou vysoké vlhkosti jsou poruchy konstrukce). Působení vlhkého vzduchu v interiéru značně ovlivňuje jak jeho stagnace v určitých místech, tak jeho sebemenší pohyb, cirkulace a proudění. Poznání zákonitostí pohybu vzduchu je východiskem pro odhad:

- jak a kudy vlhkost z venkovního prostředí do interiéru proniká;
- jakými mechanismy uplatní přímo či nepřímo svůj vliv na různé materiály.

Získané poznatky jsou základem pro přijetí opatření k ochraně památky před účinky vlhkého vzduchu.

Charakter a vliv dále popisovaných jevů v interiéru souvisí:

- s využitím interiéru (expoziční, depozitářské, provozní a kancelářské prostory);
- s provozem interiéru a pobytem osob v něm;
- s netěsností dveří, oken v interiéru;
- se způsobem a režimem vytápění;
- s osluněním stavby a s teplotou a vlhkostí vzduchu venku.

3 *Literatura 3.*

4 *Literatura 4, 5, 6, 7, 8.*

Teprve poznání těchto činitelů umožňuje rozvíjet samostatné úvahy o způsobech ochrany velké většiny památek před vlivy vlhkosti:

- bez nákladné klimatizace;
- bez nejistoty v rozhodování o vhodnosti jednoduchých opatření a možnostech využití levných technických prostředků k dalšímu zdokonalování ochrany před negativními účinky vlhkého vzduchu.

To je také podmínkou pro navazující účinné doplnění znalostí o specializovaná témata věnovaná například vlhkosti materiálů u umělecky a historicky zvláště cenných předmětů. Týká se to i atmosférické vlhkosti, která v památkových objektech ovlivňuje chování stavebních konstrukcí⁵ ve spojení s účinky vzlínající zemní vlhkosti, a rozpoznání jevů, které často vzlínající vlhkost jen připomínají, a celé řady dalších témat.

Řeší-li se problematika vlhkosti v památkových objektech, je nutné najít odpověď na následující otázky:

- Existuje nějaký stav vlhkého vzduchu, který má být požadován pro interiér jako optimální? Může být optimální?⁶ Co zde znamená „optimální“?
 - Jak dalece je nutné upravovat venkovní vzduch pro interiér?
 - Lze úpravu venkovního vzduchu pro interiér ponechat:
 - na konstrukci, stavu a vlastnostech stavby, ve které se interiér nachází?⁷
 - na působení netěsných oken a dveří?
 - na nepoučené obsluze ovládající v interiéru teplotu a vlhkost vzduchu vytápěním a občasným větráním?
- Aniž by bylo zohledněno:
- kolik venkovního vzduchu v příznivém nebo naopak nepříznivém stavu dovnitř pronikne;
 - s vědomím,⁸ že stav vzduchu v místnosti se mění podle denní doby a podle místa, v kterém měříme.

5 *Literatura 9, 10.*

6 *Literatura 1, 2, 5.*

7 *Literatura 5.*

8 *Literatura 3.*



Obr. 2. Stav vzduchu v místnosti se mění podle denní doby a podle místa, ve kterém měříme: (1) u podlahy; (2) pod stropem; (3) v blízkosti kamen a topných těles; (4) u otevřeného okna; (5) u zavřeného okna; (6) u východní zdi; (7) u západní zdi; (8) u severní zdi; (9) u jižní zdi; (10) podle místa, kam dopadá sluneční svit z okna; a tak dále. Malířské studio paláce Kinských na Staroměstském náměstí v Praze, baronka Kerpenová, roz. Hornsteinová, 1820–1825. (Zdroj: Zeugen der Intimität, s. 113, s. 206, obr. 9.01)

Právě zde se nachází důvod zmíněného kompromisního přístupu k určení vhodného stavu vzduchu v chráněném interiéru se souborem obvykle materiálově různorodých předmětů. O tom, jak řešit potíže s vlhkostí a jak udržet požadovaný „vhodný“ stav vzduchu v památkových interiérech v celém průběhu roku, rozhoduje sice odborník, ale tam, kde objekt není vybaven specializovanou technikou, musí pracovníci objektu sami vědět:

- kdy větrat;
- jak topit nebo temperovat;
- kdy omezit přístup osob a dbát, zda jsou dveře místnosti zavřené;
- kdy zvolit „mokry úklid“;
- kdy měřit.

Převládající názor, že rozhodujícím faktorem ovlivňujícím stav chráněného předmětu je při jakékoli teplotě nad 0 °C relativní vlhkost vzduchu, který předmět obklopuje, je mylný⁹ a je třeba jej opravit. Jedná se totiž o čtyři fyzikální jevy, jejichž společné a vzájemně závislé působení musí mít na zřeteli nejen odborník, ale v přiměřené míře každý, kdo pečuje o památkový objekt. Jsou to:

- a) proměnnost teploty a vlhkosti venkovního vzduchu v čase a jejich vzájemná závislost daná počasím i roční dobou a ovlivňující po průniku venkovního vzduchu do stavební konstrukce teplotu a vlhkost vzduchu v interiérech;
- b) proudění vzduchu a přestup tepla a vlhkosti ze vzduchu na povrchy a do předmětů, které obklopuje;
- c) vztah mezi teplotou a vlhkostí vzduchu a měrnou vlhkostí materiálů a předmětů, s kterými je tento vzduch ve styku;
- d) vznik a pohyb nečistot a prachu ve vzduchu.

2.1 Vliv venkovního prostředí na památkové interiéry

Pokud jde o vliv venkovního prostředí na interiér, pro praxi pracovníka památkového objektu nebo vlastníka či správce interiéru postačí vzít v úvahu pouze dva činitele, závislé na sobě fyzikálními jevy probíranými v příspěvku:

- a) stav (teplotu a vlhkost) venkovního vzduchu;
- b) na venkovním vzduchu v různé míře¹⁰ závislý „požadovaný“ stav vzduchu v příslušném interiéru.

Stavy vzduchu v interiéru i v exteriéru jsou dostatečně určeny hodnotami teploty a relativní vlhkosti vzduchu. Proto je třeba mít na zřeteli, že v praxi pracovník pečující o památku potřebuje především:

- přístroje, jejichž čidla spolehlivě změří teplotu a relativní vlhkost venku i uvnitř;
- základní orientaci ve stavovém (h-x) diagramu vlhkého vzduchu;
- správnou kvalitativní představu o fyzikálních jevech, které přístup venkovního vzduchu do interiéru způsobují nebo podporují (viz kapitola 3), a o jejich příčinách;
- představu o tom, jak omezit či podpořit jejich vliv (viz kapitola 4).

⁹ Literatura 1, 2.

¹⁰ Podle výše zmíněných bodů b) a c).

Od pracovníků památkové péče ani vlastníků a správců působících přímo v historických objektech nelze očekávat, že:

- určí přesný obraz proudění pronikajícího vzduchu;
- určí množství pronikajícího vzduchu zvenku a z okolních místností a prostor;
- budou mít přesné údaje o vlhkostních vlastnostech materiálů ve vztahu k vlhkému vzduchu.

Správný odhad charakteru a vlivu zmíněných fyzikálních jevů, které mohou k ochraně památky přispět, je však nutný, a to i za technicky velmi omezených podmínek a s jednoduchými prostředky. Využití poznatků, na něž se v článku poukazuje, je pak cestou, jak se vyhnout krokům, které mohou památku citelně poškodit.

Příkladů nezvládnutí odhadu vlivu teploty a vlhkosti na interiér je celá řada. Zmínit můžeme:

- nucené¹¹ nebo přirozené¹² větrání interiéru při nevhodném počasí;
- nepřiměřeně intenzivní vytápění;
- prochlazení interiéru;¹³
- rychlý zátop, kdy nebyl vzat zřetel na roční dobu, tedy na teplotu a vlhkost venku a na vlhkost mobiliáře;
- „mokrá“ úklid a podobně v nevhodné době.

Vesměs jde o činnosti spadající pod témata dalšího textu (viz kapitola 3). Posláním příspěvku je proto:

- vybavit pracovníky památkové péče i vlastníky a správce objektů s památkovými interiéry základními znalostmi fyzikálních zákonů a principů z dané oblasti;
- objasnit jim příčiny jevů, z nichž poškození památky může pocházet.

Snaha vystačit s běžnými znalostmi fyziky vede v textu k převaze verbálního popisu se snahou nahradit vzorce, grafy a diagramy souborem zásad s popisem jednoduchých grafických zobrazení, z nichž se přímo nabízejí souvislosti stavu ovzduší venku se stavem vzduchu uvnitř.

11 *Větrání s pomocí ventilátorů.*

12 *Větrání okny.*

13 *Na teploty pod 11 °C, kdy neúčinkuje odvlhčování kompresorovými odvlhčovači.*

2.2 Obecně o vlhkém vzduchu

Panuje rozšířený názor, že pro kvalitní uchování mobiliáře je optimální teplota kolem 20 °C při relativní vlhkosti vzduchu 50 %. Teplota kolem 20 °C vzduchu je sice poměrně častá, není však vždy zaručena. V průběhu roku z mnoha příčin teplota značně kolísá jak venku, tak uvnitř staveb. Pro prostředí v interiérech jsou stále zásadní otázky zmíněné v úvodu:

- Existuje nějaký optimální stav vlhkého vzduchu? A jak může být dosažen a udržován?
- Co to vůbec znamená „optimální stav vlhkého vzduchu“?
- Je nutné venkovní vzduch pro interiér nějak upravovat?

Jako významné lze uvést pět faktorů, jejichž společné a vzájemně závislé působení vliv vzduchu na interiér vytváří a které musí mít na zřeteli každý, kdo pečuje o památkový objekt. Jsou to:

1. teplota a vlhkost venkovního vzduchu, jako veličiny dané počasím i roční dobou a ovlivňující svým průnikem do budovy stav vzduchu v jejích interiérech;
2. přestup tepla a vlhkosti ze vzduchu na povrchy a do předmětů, které obklopuje, a pohyb (proudění) vzduchu;
3. vztah mezi teplotou a vlhkostí vzduchu a měrnou vlhkostí materiálů a předmětů, se kterými je tento vzduch ve styku;
4. vysoká vlhkost vzduchu, která přispívá k biodegradaci materiálů (k rozvoji mikroorganismů, plísní a hub);
5. čistota a prašnost vzduchu.

2.3 Vlhký vzduch a materiály památkových předmětů

Vlhký vzduch jako směs suchého vzduchu a vodní páry je hlavním přirozeným prostředníkem mezi budovou a okolím, rozhodujícím o vlhkosti stavební konstrukce interiéru a v něm uložených předmětů a o výměně tepla a hmoty (tepla a vlhkosti) s okolím i mezi nimi navzájem. Rychlost a dokonalost této výměny je jednoznačně závislá pouze na proudění, tedy na rychlosti, jíž se vzduch vůči povrchům a předmětům v interiéru pohybuje.

Vlhkost, která hygroskopickým materiálům vůči vzduchu v interiéru přebývá a kterou proto vysycháním ztrácejí,¹⁴ musí přijmout vzduch, který je obklopuje. Naopak vlhkost, kterou hygroskopické materiály přijmou, musí být okolnímu vzduchu odebrána.

Na relativní vlhkosti vzduchu závisí především takzvaná rovnovážná měrná vlhkost u^* , na níž závisí rozměry hygroskopických materiálů.¹⁵ Vysoušením se materiál smršťuje (sesychá). Zvýšením vlhkosti bobtná a rozměry se zvětšují. Vlhkostní roztažnost je příčinou poškození řady památkových předmětů a prvků, zvláště těch, které jsou tvořeny nesourodými vrstvami, i celých stavebních konstrukcí nebo jejich částí.¹⁶ Zvýšení teploty vzduchu (a na ní závislé teplotní roztažení hygroskopických materiálů) působí poněkud proti vlhkostrátnímu smrštění. Ohřívání vzduch, pokud jeho vlhkost uměle nezvyšujeme, má totiž tendenci tyto materiály vysoušet a smršťovat. Tento vliv teploty je obvykle málo významný. Výjimku však představují některé anorganické materiály (pálené a přírodní).

2.4 Vlhkostní rovnováha materiálů

Pracovník v památkovém objektu i jeho vlastník a správce si jsou jistě vědomi, že teplota a vlhkost vzduchu určují měrnou vlhkost hygroskopického materiálu, který je vzduchem obklopen. Každý objekt z hygroskopického materiálu po dostatečně době kontaktu s vlhkým vzduchem dosáhne rovnovážné měrné vlhkosti u^* . Jako příklad lze uvést, že každé dvojici hodnot teploty a relativní vlhkosti vzduchu odpovídá určitá rovnovážná měrná vlhkost dřeva.

Při stejné dvojici teploty a relativní vlhkosti vzduchu mohou mít různé hygroskopické materiály¹⁷ podstatně odlišnou rovnovážnou měrnou vlhkost. Například při určitém stavu vlhkého vzduchu je rovnovážná měrná vlhkost dřeva kolem 10 % ($u^*_d = 100$ g/kg), ale rovnovážná vlhkost běžné omítky ve vzduchu o stejné teplotě a vlhkosti je mnohem nižší, pouze kolem 1 %.

14 Jde o zmíněné hygroskopické materiály, jak organické jako dřevo, papír, bavlna, vlna, kůže, klíč, želatina, obilí, mouka a podobné, tak i anorganické a minerální, jako opuky, pískovce, hlínky, omítky, pálená stavební a jiná keramika a jiné.

15 Literatura 4, 9, 10, 11, 12, 13.

16 Literatura 14.

17 Literatura 11, 12, 13

Tyto údaje jsou pro ochranu památkových předmětů důležité proto, aby v jedné místnosti nebyly společně instalovány natolik materiálově rozdílné předměty, které reagují na vlhký vzduch značně rozdílnou rovnovážnou vlhkostí, že stav vzduchu může být příznivý jen pro některé z nich.

Z toho je zřejmý význam vzájemné závislosti¹⁸ stavu vzduchu a měrné vlhkosti hygroskopického, to značí vlhkost přijímajícího materiálu, jak bude ukázáno v kapitole 2.6.

Materiál i předmět, jehož měrná vlhkost u^* ani teplota se příliš nemění, si v podstatě zachovává tvar i rozměry. Vliv teplotní roztažnosti hygroskopických materiálů totiž bývá velmi malý, takže vliv jeho měrné vlhkosti na změnu jeho rozměrů převládá.

2.5 Vlhký vzduch v h-x diagramu

V praxi pro rozměrovou a tvarovou stálost stačí, aby za běžných teplot v udržovaných interiérech byla rovnovážná měrná vlhkost u^* materiálu stálá, tedy aby materiál byl ve vlhkostní rovnováze s okolním vzduchem. Předpokládá se tudíž, že nevýrazné změny teploty se na změnách rozměrů neprojeví.

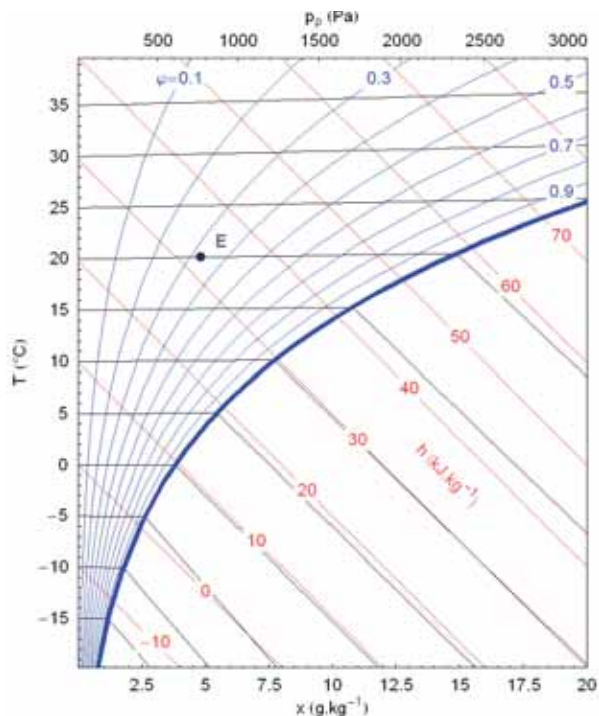
Pro pochopení významného vztahu vlhkosti vzduchu k měrné vlhkosti různých materiálů by památkář měl mít nejnütnější znalosti o takzvaném enthalpickém h-x diagramu vlhkého vzduchu, který popisuje vzájemnou závislost teploty a relativní vlhkosti vzduchu, tedy parametry, které jsou pro rovnovážnou vlhkost různých materiálů určující.

Enthalpický (někdy zvaný Mollierův) h-x diagram vlhkého vzduchu je uveden na obrázku 3.

Na vodorovné ose je vynesena měrná vlhkost x (g/kg_{su}) vlhkého vzduchu jako směsi x (g, kg) vodní páry s 1 kg suchého vzduchu. Kolmice k vodorovné ose, tedy svislé přímký, přísluší různým hodnotám $x = \text{konst}$ a na každé z nich vynesenu stálému obsahu vodní páry ve vzduchu.

Hlavní část diagramu se nachází nad doprava stoupající tučnou modrou křivkou zvanou čára sytosti. Vyznačuje stav vzduchu, který je vodní parou nasycen, tedy jeho relativní vlhkost je $\phi = 1$ (tedy 100 %). Oblast „mlhového“ vzduchu pod čarou sytosti ponecháme však odborníkovi.

18 *Literatura 12.*

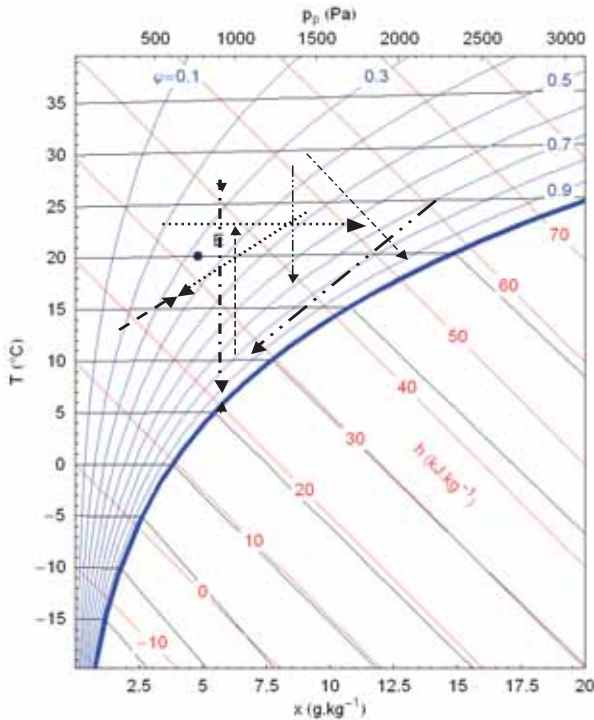


Obr. 3. H-x diagram vlhkého vzduchu.

Vlhkému vzduchu, jehož relativní vlhkost je nižší než 100 %, přísluší oblast nad čarou sytosti vzduchu a místa, kde je jeho relativní vlhkost stálá, vyznačují tenké modré křivky značené hodnotami $\phi = 0,1$ až $0,9$, jež v procentech odpovídají hodnotám 10 až 90 %.

Stálým teplotám od -15 do $+35$ °C (stupnice na svislé ose diagramu) přísluší mírně doprava stoupající černé tenké čáry (zdánlivě přímkou), jejichž směr se na čáře sytosti láme dolů, do oblasti „mlhového“ vzduchu. Stav vlhkého vzduchu nad čarou sytosti je plně určen jedním bodem, v němž lze odečíst jeho teplotu T (°C) a relativní (ϕ), respektive měrnou (x) vlhkost. K určení stavu vzduchu stačí znát teplotu T a relativní (ϕ), popřípadě měrnou (x) vlhkost nebo teplotu T_{rb} rosného bodu, kterou některé typy přístrojů zjistí. Takto teplota rosného bodu, která závisí slabě na barometrickém tlaku, je silně vázána na měrnou vlhkost x vzduchu, a to tak, že rosný bod je dán průsečíkem příslušné svislé přímkou $x = \text{konst}$ s čarou sytosti. Je to teplota, při níž kondenzuje voda ze vzduchu, jehož stav se nachází nad čarou sytosti na této svislici $x = \text{konst}$.

Pro úplnost dodejme, že šikmé červené přímky označují stálou enthalpii, tedy tepelnou energii, kterou množství $1 + x$ (kg) směsi obsahuje. Tato veličina však více zajímá odborníky. Diagram je konstruován obvykle pro barometrický tlak, jehož dohodnutá a mimo větší nadmořské výšky vyhovující střední hodnota je 100 kPa. Obrázek 4 a jeho legenda seznamují čtenáře s různými změnami stavu vzduchu zmíněnými zčásti nahoře i s dalšími, se kterými se může při jednání s klimatologem a projektantem setkat.



Obr. 4. H-x diagram vlhkého vzduchu při barometrickém tlaku 105 Pa, relativní vlhkost ϕ ($\%/_{100}$).

Úpravy vzduchu:

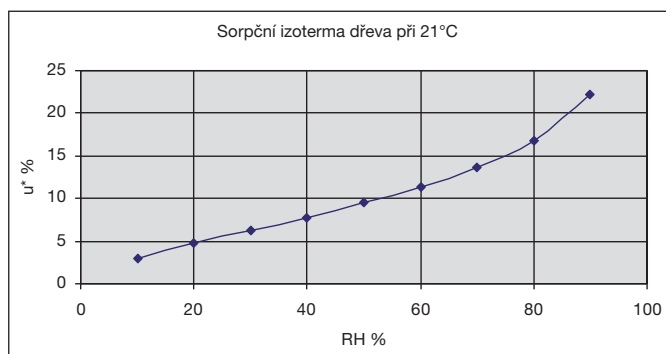
- ohřev: -----
- chlazení bez odvlhčení: - - - - -
- chlazení s odvlhčením:
- isoenthalpické vlhčení:

- - - - - - ► dosažení vysoké relativní vlhkosti ϕ při nízké měrné vlhkosti x snížením teploty na $T = 7^\circ\text{C}$,
- a - - - - - ► b směšování
 $M_a/M_b = b/a$
- rosný bod: ▲
- vlhčení parou:

Se znalostí základních vlastností vlhkého vzduchu a s fyzikálně správnými představami o proudění různě teplého vzduchu, o jeho termickém pohybu, o komínovém jevu a jeho efektu a podobně, o nichž příspěvek pojednává, bude památkář připraven poznat další důležité vlastnosti vlhkého vzduchu v některém dalším příspěvku, popřípadě přímo z odborné literatury věnované h-x diagramu a vlhkostní rovnováze.

2.6 Důležitost vlhkostní rovnováhy

Z předešlého vyplývá, že vlhkostní rovnováha souvisí s tvarovou stálostí. Rovnováhu při určité teplotě vyjadřují takzvané sorpční izotermy. Jedna z nich, dostatečně výstižná pro běžné druhy dřeva při 21 °C, je na obrázku 5. Je z ní patrné, jak se měrná vlhkost u^* dřeva přizpůsobuje při 21 °C relativní vlhkosti $RH = \phi$ (%) vzduchu.

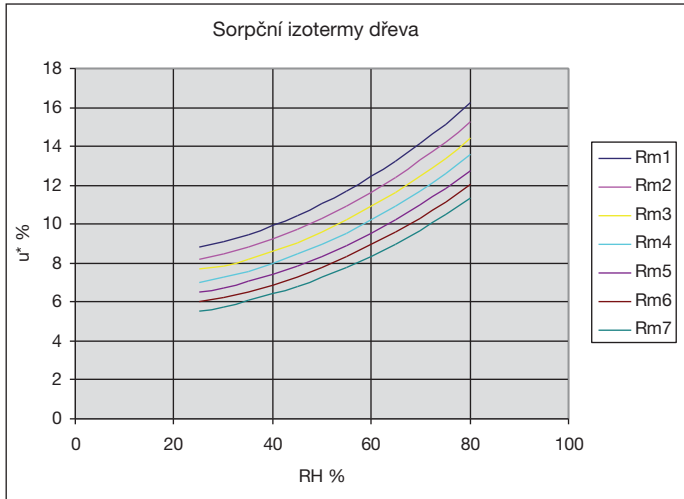


Obr. 5. Ukázka tvaru sorpční izotermy běžného lesního dřeva.

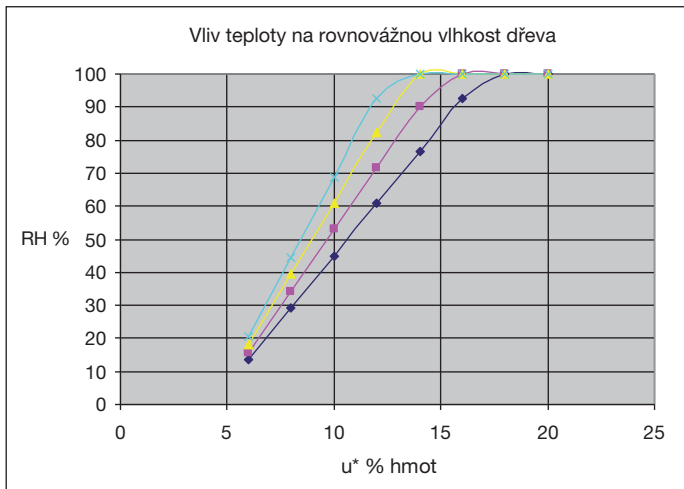
Pro jinou teplotu se poloha křivky sorpční izotermy posouvá. Její tvar se mění. Pro více teplot je proto vztah materiálu k relativní vlhkosti vzduchu vyjádřen celou „rodinou“ sorpčních izoterem. Je to patrné například z obrázku 6 a 7 na straně 20.

Na obrázku 7 jsou podle Lykova¹⁹ zaměněny souřadné osy, jak lze nalézt i v některých publikacích. Zde je významné to, že se zakřivení sorpčních izoterem citelně zvětšuje s poklesem teploty. To je patrné i v Mollierově h-x diagramu, přeneseme-li do něj sorpční izotermy.

19 Literatura 12.



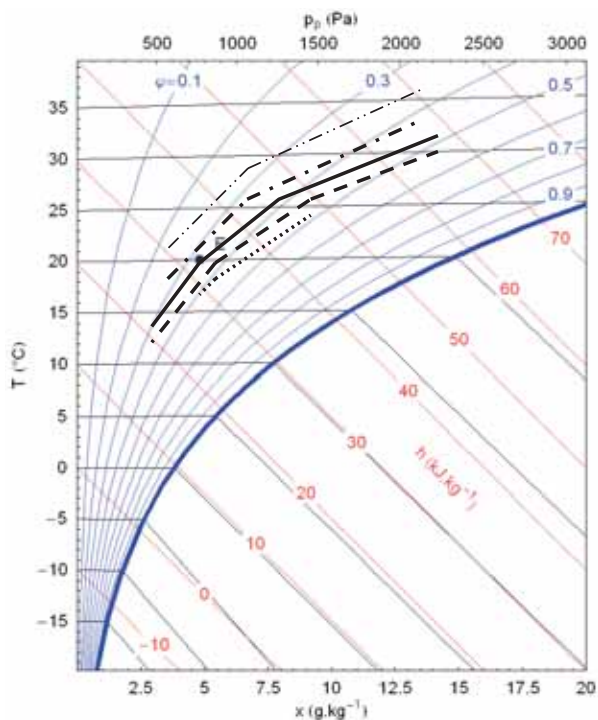
Obr. 6. Příklad teplotní závislosti sorpčních izoterm běžných lesních dřev. Rm1 (5 °C), Rm2 (10 °C), Rm3 (15 °C), Rm4 (20 °C), Rm5 (25 °C), Rm6 (30 °C), Rm7 (35 °C).



Obr. 7. Obrácený graf sorpčních izoterm pro běžná dřeva. Odstupňování teplot:

- a) 14 °C —
- b) 8 °C —
- c) 26 °C —
- d) 20 °C —

Pro dřevo to znázorňuje obrázek 8. Křivky jsou v něm aproximovány přímkami. Výhodou tohoto zobrazení je, že v oblasti mezi 30 a 60 % relativní vlhkosti jednoduše vyjadřují závislost měrné vlhkosti u^* dřeva na teplotě a měrné vlhkosti x vzduchu, kterou již dnešní přístroje pro měření relativní vlhkosti ϕ běžně vyhodnotí.



Obr. 8. H-x diagram vlhkého vzduchu v okolí doporučené oblasti měrné vlhkosti dřeva ($9 < u^* < 10$) %_{hmot.}

Označení mezí: $u^* = 7,5$ - - - - $u^* = 9$ - - - $u^* = 10$ — $u^* = 11$ - - - $u = 12,5$ %_{hmot.}

Obrázek 8 je dokladem, že při nižší teplotě vzduchu je žádoucí snížit jeho relativní vlhkost.

Rozměrová stálost materiálu obecně nevyžaduje stálou relativní vlhkost, pokud přizpůsobíme teplotu vzduchu. Vlhkostní rovnováha materiálu se vzduchem je totiž podmíněna také teplotou tohoto vlhkého vzduchu. Otázkou vlh-

kostní rovnováhy se běžně zabývají průmyslové technologie, kde se podle sorpčních křivek²⁰ nastavuje požadovaná vlhkost vzduchu:

- při spřádání bavlny a tkaní (proti lámavosti vlákna);
- ve zpracování tabáku (proti prašnosti a ztrátám lámáním polotovaru);
- při práci s umělými vlákny;
- při pneumatickém transportu mouky ve skleněném potrubí mlýnů (zde vhodná vlhkost vzduchu slouží k eliminaci elektrostatických výbojů a usazování mouky na stěně potrubí);
- v papírenském²¹ a dřevařském průmyslu (sušení a zpracování dřeva) a jinde.

Z uvedených sorpčních izoterem vidíme, že obecně není nutné, aby okolní vzduch musel mít pro zachování určité měrné vlhkosti u^* materiálu stálou teplotu i relativní vlhkost, jak je to pravidlem při běžné klimatizaci vzduchu. Vlhkostní rovnováha (stálost měrné vlhkosti u^*) je přijatelně splněna i při různých teplotách vzduchu, pokud lze zanedbat vliv teplotní roztažnosti materiálu a pokud je relativní vlhkost vzduchu přizpůsobena dané teplotě. Proto zde platí, že při nižší teplotě musí být relativní vlhkost vzduchu nižší a naopak, při vyšší teplotě musí být relativní vlhkost vzduchu vyšší (viz tabulka 1).

Jako příklad pro většinu dřev, papír a organická vlákna platí vztah (1) a následující příklad. Podle něho vhodná měrná vlhkost většiny běžných druhů dřeva $u^* = 10\%$ zůstane stejná, nachází-li se ve vlhkém vzduchu, jehož relativní vlhkost ϕ_i (%) a teplota splňují uvedený pokusně získaný a v oblasti teplot $T_i = 13$ až 24 °C osvědčený vztah vlhkostní rovnováhy.

$$\phi_i \approx 1,3 \cdot (T_i + 26,4) \quad (1)$$

Tabulka 1 získaná vyčíslením tohoto vztahu naznačuje, jak musí být při nižší teplotě k udržení stejné měrné vlhkosti dřeva relativní vlhkost snižována a naopak, jak vyšší relativní vlhkostí zabráníme vyschnutí materiálu vlivem zvýšené teploty. To je důležité pro deskovou malbu.

Tabulka 1						
T_i (°C)	12	15	18	21	24	27
ϕ_i (%)	49,9	53,8	57,7	61,6	65,5	69,4

Příklad svědčí o tom, že k udržení stálé měrné vlhkosti dřeva $u^* = 10\%$ postačí dostatečně kterákoliv z dvojic T_i, ϕ_i z ukázané tabulky 1.

²⁰ Literatura 12.

²¹ Literatura 11.

Pro olejové malby na plátně lze k teplotám uvedeným v tabulce 1 doporučit mírně nižší hodnoty relativní vlhkosti ϕ vzduchu v interiéru, pro jiné druhy barev na plátně (olej, tempera a akryl) je na to třeba vzít ohled.

Pokud je podkladem malby papír, dřevovláknitá deska a podobně nebo syntetická barva, je většinou důležitá teplota vzduchu (u voskových vysrávek je nutno hlídat její výši, aby nepřekročila hodnotu 23 °C). Může se jednat i o olej na kartonu nebo dřevovláknité desce. Podložka je pak důležitější než technika malby. Mezi takzvanými akryly jsou také rozdíly, může se jednat i o vinylacetátové disperze nebo kombinace.

Je také třeba si uvědomit důležitost rozdílů teploty vzduchu a teploty zdi, na které je obraz zavěšen. Zvláštní význam má náhlá změna, popřípadě rychlé kolísání teploty vzduchu v prostoru, což hmotné zdivo nestačí sledovat a obraz trpí rozdílem roztažnosti vrstev malby a podkladu. Je to nebezpečné i pro fotografie a grafické listy. Zadní strana obrazu ani rám by neměly být v kontaktu se stěnou (rám se na několika místech podkládá).

Analogický problém roztažnosti vrstev různých materiálů, značně citlivých vůči vlhkosti tentokrát v oblasti změn vlhkosti vzduchu, je příčinou vzniku puchýřů a odlupování tenkých vrstev štuky a výmalby zdí.

Uvědomíme-li si, že stav vzduchu příznivý běžnému dřevu v intervalu 40 až 60 % relativní vlhkosti je přípustný i pro jiné organické materiály, jako kůži, papír (dokonce i fotografický), textil, klíč, želatinu a podobně a jejich kombinace, představují uvedené hodnoty odhad, jaký stav vzduchu je pro jejich ochranu možné preferovat. Kolísání relativní vlhkosti vzduchu v tomto intervalu (40–60 %) se často považuje za přijatelné, nesmí však být rychlé a časté.

Je nutné upozornit a zdůraznit, že materiály dlouhodobě uvyklé na určité klimatické podmínky (jakkoli vzdálené optimálním hodnotám) není vhodné náhle přemísťovat do podmínek naprosto odlišných, i když třeba lepších. Děje se tak běžně, například při zapůjčování polychromovaných dřevěných plastik a reliéfů z kostelů nebo zámeckých interiérů na výstavy nebo při jejich přemísťování do nového a kvalitativně lepšího deponitáře, což vede k nevratným poškozením těchto předmětů.

Pro praxi je z toho zřejmé, že často doporučované hodnoty pro klimatizovaný vzduch, tedy stálost teploty 20 °C a stálost relativní vlhkosti 50–60 % **nejsou pro dřevo – a tedy ani pro celou řadu jiných hygroscopických materiálů – bezpodmínečně nutnou podmínkou.**

Omezení jsou patrná z obrázku 5 a zejména z obrázků 6 a 7, kde ze značné změny křivosti sorpčních izoterem dřeva v oblasti nízkých teplot a relativní vlhkosti ϕ vzduchu nad 70 % vyplývá rychlý vzestup měrné vlhkosti u^* dřeva, tedy jeho navlhnutí, stoupá-li relativní vlhkost vzduchu nad varovných 70 %. Zároveň (z obrázků 6 i 7) je zřejmé, jak stoupá měrná vlhkost u^* dřeva při snižování teploty vzduchu.



Při nízké teplotě, zvláště jedná-li se o venkovní vzduch, je jeho relativní vlhkost ϕ vždy vysoká a v chladném období roku (při teplotách pod +10 °C) neklesá pod 70 až 80 %. Proto je nebezpečné větrat a takovým vzduchem dále vychlazovat již prochlazené interiéry, není-li zajištěno alespoň jejich temperování. Je to o to nebezpečnější, že **běžné kompresorové odvlhčovače při teplotách pod +11 °C prakticky neodvlhčují, takže interiér zůstává nevratně vlhký.** Odtud pochází i zápach ztuchliny, který je neklamným indikátorem jak vysoké relativní vlhkosti, tak přítomnosti mikroorganismů, plísní a dřevokazných hub.

Chladný vzduch pod +7 °C uvnitř, který vlivem stavu venku mívá relativní vlhkost 75 až 90 % (například v zimě v prochlazeném domě) je proto příčinou vysoké měrné vlhkosti všech hygroskopických materiálů v interiéru (dřevěného a textilního mobiliáře, papíru a podobně). Vyšší relativní vlhkost vzduchu (vyšší než 50 %) rovněž podporuje korozi kovů, zvláště těch, které obsahují železo, speciálně jde-li o starou ocel. To se týká hlavně prochlazených interiérů. V obývaných historických budovách musí být navíc řešen problém fyziologické vlhkosti uvolňované z těl přítomných a procházejících osob, a to technikou temperování, popřípadě umělé regulace vlhkosti.

Závažné zjištění poskytne porovnání průběhů sorpčních izoterm dřeva s izotermami papíru a textilních surovin při teplotě kolem 20 °C. Zjistili bychom, že sklony prostředních částí jejich křivek jsou poměrně blízké, což naznačuje, že prostředí vyhovující dřevu může být vhodné i pro řadu druhů papíru, textilu a podobných organických materiálů. Podmínkou, obecně platnou zejména pro hmotné a rozměrné předměty, je udržovat požadovaný příznivý stav vzduchu v úzkých mezích a zabránit jeho častým, respektive náhlým výkyvům.

Obr. 9, 10. Kostelec nad Orlicí (okres Rychnov nad Kněžnou), zámek, pokoj pro hosty v prvním patře. Teplota vzduchu a teplota zdi, na níž jsou obrazy zavěšené, se liší. Náhlé změny teploty vzduchu a její kolísání, na které zdivo nestačí reagovat, ohrožuje i rozvěšené obrazy trpící rozdílem roztažnosti materiálů použitých při jejich výrobě (viz obrázek 14, zámek Opočno, obrazárna). Po konfiskaci zámku po roce 1948 byl veškerý mobiliář pokoje odstraněn a z části rozprodán, rozdán, rozkraden nebo zničen. (Foto Čestmír Šíla, 1950)

3 Co ovlivňuje působení vlhkosti v interiérech

Zajištění vlhkostní rovnováhy v celém uvažovaném prostoru památkového objektu je úkol, jehož splnění závisí na výměně vzduchu s venkem, což zase závisí na dalších činitelích. Jde nejen o působení vlhkosti jako takové, ale i o její ovlivnění dalšími fyzikálními jevy, v nichž hraje roli rozdíl teplot a nestálé rozložení vlhkosti v prostoru, proudění vzduchu, teplo získané z různých zdrojů, tepelná radiace (sálání) a různost přítomných materiálů. Hlavní činitel a jevy, které podléhají vlivu venkovního prostředí, zejména teplotě a vlhkosti venkovního vzduchu a jejich změnám, jsou uvedeny v následujících odstavcích.



Obr. 11. Salon neznámého sídla v Čechách v zimě. V chladném období je interiér vytápěn teplem ze sousedních místností. Termokamera by odhalila teplo, které mezi teplejším vnitřním a chladnějším venkovním povrchem odchází ven (modrá barva v koutech u oken). E. Anton, kolem roku 1840. (Zdroj: Zeugen der Intimität, s. 95, s. 188, obr. 6.36)

3.1 Přenos a výměna tepla

Teplota, jež ovlivňuje působení vlhkosti vzduchu na materiál, je výsledkem tepelného toku, tedy výměny tepla. Tepelný tok je podmíněn rozdílem teplot a směřuje od vyšší k nižší teplotě (viz obrázek 11). Proto je rozdíl teplot mezi interiérem a venkovním prostředím dán pouze tokem tepelné energie stěnou, která obě prostředí odděluje.

Významný je směr tepelného toku. Je směrem, kterým se v materiálu šíří teplo a postupuje i vlhkost. V chladném období interiér vytápíme teplem, které hmotou mezi teplejším vnitřním a chladnějším venkovním povrchem odchází ven. V horkých letních dnech je tomu naopak. Teplo zvenku vlivem rozdílu teploty mezi ohřátou fasádou a vnitřním lícem zdi v interiéru prochází opačným směrem do chladnějšího interiéru. Oba jevy měly omezit závěsy (viz obrázky 11, 12).



Obr. 12. Hudební salon Černínů v létě. V horkých letních dnech teplo zvenku prochází do chladnějšího interiéru v důsledku rozdílu teploty mezi ohřátou fasádou a vnitřním lícem zdi v interiéru. Karel Nord, 1841. (Zdroj: Biedermeier 2008, s. 75, obr. 7)

Na intenzitě takových tepelných toků se podílí:

- tepelný odpor stěny oddělující oba prostory;
- teplota sousedního prostředí, jež si teplo s touto stěnou vyměňuje.

Je přitom nutno mít na paměti, že i malé rozdíly teplot vzduchu, kterým se v žádné místnosti nevyhneme a které souvisí s rozdíly teplot mezi vzduchem a stěnami prostorů, jsou příčinou pohybu vzduchu. Toto pohyblivé prostředí, jímž je vzduch, zajišťuje a zesiluje přenos tepla prouděním (konvekci) také mezi jednotlivými povrchy, které se v interiéru nacházejí.

Teplotně odlišné povrchy (vnitřní stěny a přičky, mobiliář, povrch oděvu a pokožky přítomných osob, povrchy radiátorů, kamen a jiných topných, popřípadě i chladicích zdrojů) si však s obvodovou stěnou místnosti i mezi sebou vyměňují teplo také tepelnou radiací (sáláním). To je další příspěvek k výměně tepla.

U sálavého tepla je důležité vědět, že teplo se sdílí s teplejšího povrchu na chladnější tepelným (infračerveným) zářením, s intenzitou, která závisí nejen na teplotě, ale též na součiniteli zářivosti teplejšího a součiniteli pohltivosti chladnějšího z povrchů, a nezávisí na proudění, přičemž vzduch mezi nimi sálavé teplo propouští. Z vymě-



Obr. 13. Jezeří (okres Most), zámek, takzvaný lovecký salón. Stopy tepelné radiace se projevují na stěně za kamny, zatímco teplotní proudění ovlivní povrchy nad kamny (viz též obrázek 35, zámek Doudleby nad Orlicí, sál s bílými kamny). (Foto Vladimír Hyhlík, 1967)

ňovaného sálavého toku vzduch teplo nezískává, nepohlcuje ho, může se ohřát jen od teplejších stěn nebo od teplého povrchu kamen (viz obrázek 13) nebo infrazářiče prouděním (přirozenou teplotní konvekci).

Existuje dosti výpočtových podkladů a návodů, z kterých odborník poměrně spolehlivě dokáže odhadnout tepelné toky i teploty při různých stavech venku i v interiéru při procesech transportu (přenosu a výměny) tepelné energie. Dokáže z nich také odhadnout směry a rychlosti pohybu vzduchu.

Je na správci památkového objektu, aby si v souladu s výše uvedenými fyzikálními principy takové informace správně interpretoval pro konkrétní péči o interiéru. Protože vlhkost materiálů závisí také na teplotě, nesmí se zapomenout, že výměna tepla je úzce spjata i s výměnou hmoty, tedy se ziskem nebo ztrátou vlhkosti předmětů.

3.2 Proudění vzduchu

Na výměnu a přenos tepla a vlhkosti, tedy na teplotu a na účinky vlhkosti, má proudění vzduchu význačný vliv. Hlavním činitelem výměny vlhkosti je zde **cirkulace** vzduchu mezi místy, kde vzduch vlhkost přijímá a kde ji do suššího prostředí vydává.

Sebemenší trvalý pohyb vzduchu a jeho cirkulace i nepatrnou rychlostí (rychlost $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ prakticky nepocítujeme) způsobuje výměnu vzduchu a zároveň tepla. Tím odstraňuje chladné, takzvané mrtvé kouty u podlah a chladných stěn, v nichž by se vyšší vlhkost jinak dlouhodobě držela a přispívala k rozvoji plísní a jiných mikroorganismů, zatímco ve výše položených místech stavby nemusí vadit.

V pohybu vzduchu však rozlišujeme dva způsoby:

a) vynucené proudění;

b) přirozenou (samovolnou) teplotní konvekci.

3.2.1 Vynucené proudění

Vyvolává ho vzduchotechnické zařízení nebo volně v prostoru umístěné ventilátory. Rychlost vzduchu vytékajícího z vyústek v potrubí vzduchotechnického zařízení nebo z axiálního, například stojanového nebo stolního, ventilátoru umístěného v prostoru se vzdáleností od nich klesá a dá se s určitou přibližností odhadnout výpočtem. Pro toho, kdo to neumí, však postačí vědět několik skutečností:

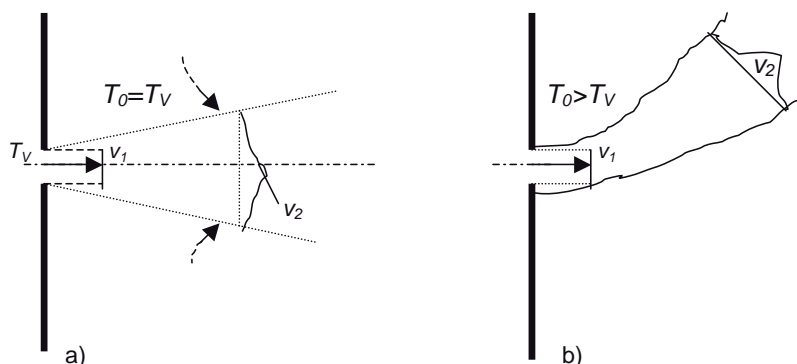
- Rychlost vzduchu proudícího z otvoru (viz obrázek 16a) zasahuje tím dále do prostoru, čím je počáteční rychlost větší, a do tím větší šířky, čím je plocha otvoru



Obr. 14, 15. Opočno (okres Rychnov nad Kněžnou), zámek, obrazová galerie a salon I. patra (kuřácký kabinet). Mrtvých koutů přibývá s počtem umístěného mobiliáře. Vitríny tvoří jejich zvláštní druh. Prospěšným může být stolní ventilátor a vyvětrání při vhodné příležitosti. (Foto Rudolf Bruner-Dvořák, Praha, kolem roku 1900)



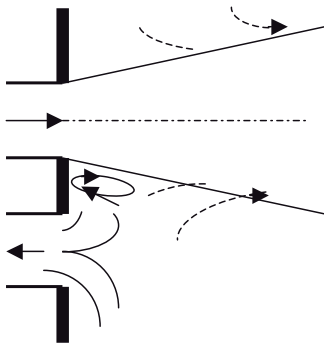
větší. Proud přibírá okolní vzduch, rozšiřuje se a jeho rychlost klesá. Neklesne však na nulu, nýbrž se skládá s pohybem vzduchu, který v daném prostoru způsobil jiný zdroj, a končí většinou jako pomalá cirkulace zaplňující celý prostor. Cirkulace je důsledkem principu zachování hmoty (hmotnosti, nikoliv objemu), kdy vzduch odebraný z určitého místa musí být nahrazován jiným vzduchem přitékajícím z okolí.



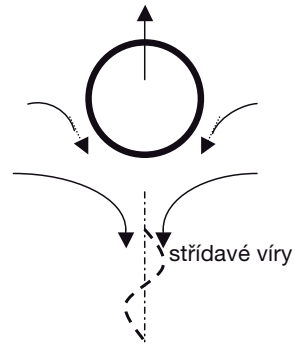
Obr. 16a, b. Volný (zatopený) proud vzduchu: a) izotermní; b) teplý.

- Je-li teplota T_v vytékajícího vzduchu shodná s teplotou T_0 vzduchu v prostoru, kam vytéká, není směr proudu teplotou ovlivněn (viz obrázek 16a) a s odstupem od otvoru postupně slábnoucí proud výtékajícího vzduchu splyne s prouděním v prostoru, aniž se zakříví nahoru nebo dolů.
- Je-li teplota T_v výtékajícího vzduchu vyšší než teplota T_0 v prostoru, kam vytéká, zakřívuje se dráha výtékajícího vzduchu nahoru, tedy teplejší vzduch v chladnějším vzduchu stoupá vzhůru (viz obrázek 16b) a zároveň se přizpůsobuje teplotě okolí.
- Zatímco pohyb vzduchu, který z otvoru vzduchotechnické vyústky nebo z jiného zdroje, například ventilátoru, určitou rychlostí vytéká, zasahuje do okolí, je důležité vědět, že vzduch nasávaný do otvoru se projevuje pouze v bezprostředním okolí otvoru (viz obrázek 17).
- K obrazu proudění přispívá i jev samovolné teplotní konvekce, k níž patří takzvaný komínový efekt, který nastává ve vyhřátých vysokých prostorech (schodiště, věže a podobně). Nazván byl pro podobnost s pohybem kouře v komíně v zimě a bude mu věnován podrobnější výklad v kapitole 3.3.

- Je-li teplota T_v vytékajícího vzduchu nižší než teplota T_o v prostoru, kam vytéká, zakřivuje se dráha vzduchu dolů.
- Otvor, do něhož je vzduch nasáván (viz obrázek 17), prakticky neovlivní proudění ve svém okolí, vzduch je do něho tedy strháván pouze z bezprostřední blízkosti. Rychlost vzduchu vytékajícího z obyčejného otvoru například na konci potrubí dosahuje v podstatě nerušeně značně dále než proudění vzniklé sáním do otvoru. Proto blízkost sousedícího sacího otvoru prakticky nenaruší dosah nuceně přiváděného vzduchového proudu.

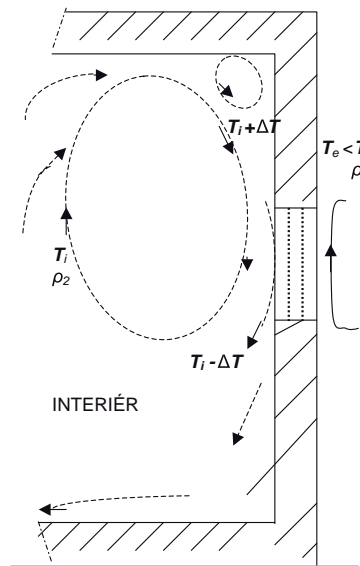


Obr. 17. Řešení přívodu a odvodu vzduchu v kapli Sv. Kříže na hradě Karlštejn.

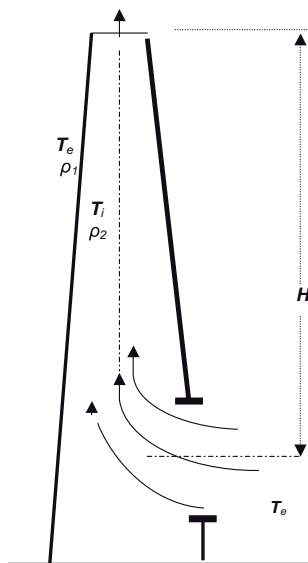


Obr. 18. Pokles vzduchu působením chladného tělesa. Jev je opakem stoupání horkovzdušného balónu v chladnějším vzduchu. Princip zachování hmotnosti vede k proudění.

- Vzduch, který se ochladil na chladném tělese, jak by tomu například bylo u chladné koule (viz obrázek 18), v okolním teplém vzduchu klesá. V důsledku toho i nuceně přiváděný, původně teplý vzduch, který se na nějakém studeném povrchu ochladil, může u podlahy vytvořit stagnující studený vlhký „bazén“, který někdy nemusí být rozrušen ani přiváděným vzduchem. Je to ukázáno na příkladu studeného, na chladném okně ochlazovaného vzduchu, jak je naznačeno na obrázku 19 v následující části věnované samovolné teplotní konvekci. Proto je důležité zajistit promíchání vzduchu nuceně, například stojanovým axiálním ventilátorem umístěným na vhodném místě.



Obr. 19. Schéma přirozené cirkulace.

Obr. 20. Schéma účinku komína vzduchu od chladné stěny ($T_i > T_e$) a chladného okna.

Pokud nás nezajímají hodnoty rychlosti nebo je neumíme určit, stačí často pouze odhad obrazu pohybu a důležité **cirkulace** vzduchu a k úvahám použijeme již zmíněný **princip (zákon) zachování hmotnosti**. Za běžných podmínek pomalého proudění a nevelkých teplotních rozdílů můžeme totiž hmotnost nahradit s dobrou přibližností objemem vzduchu. Pak přibližně platí, že objem vzduchu odcházejícího z určité části prostoru musí být nahrazen přítokem stejného objemu z okolí.

Názorně si to lze představit na obrázku 19 pro dětský balónek naplněný lehkým plynem jako kouli stoupající vzhůru a obtékanou vzduchem shora dolů. Je jisté, že objem, který koule pod sebou uvolňuje, musí být **cirkulací** doplňován stejným objemem vzduchu shora a ze stran. Obraz proudění, které kouli obtéká, odpovídá obrázku 19.

V běžných stavbách se uplatňuje princip přibližného zachování objemu, kde se teplota přiváděného a odváděného vzduchu příliš neliší. Jinak by musel být uplatněn princip zachování hmotnosti, tedy požadavek, aby přivedená hmotnost vzduchu byla stejná jako hmotnost vzduchu, který odchází.

3.2.2 Přirozená (samovolná) teplotní konvekce

Analogická situace k balonku s lehkým plynem na obrázku 19 vznikne pro teplo-vzdušný balon, který stoupá vlivem vztlaku teplého vzduchu v jeho obalu, tedy proto, že teplý vzduch, který je lehčí než vzduch v okolí, vytváří zevnitř aerostatický tlak na horní polovinu pláště balonu (obrázek 21). Kdybychom udělali otvor ve vrchlíku balonu, teplý vzduch by ovšem pod účinkem tohoto vztlaku unikl nahoru.



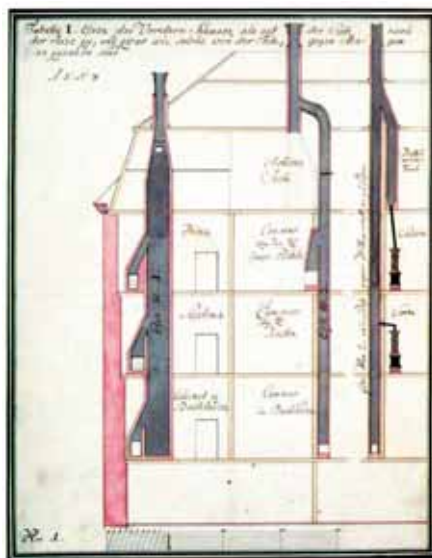
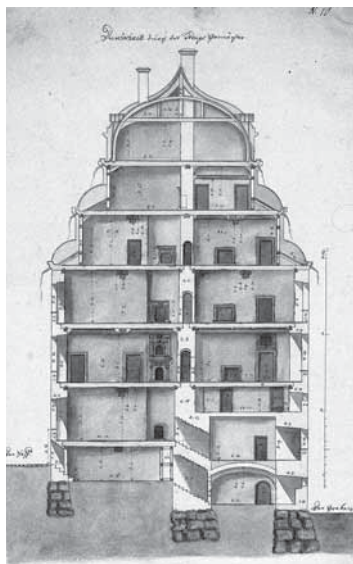
Obr. 21. Praktickým příkladem k porozumění komínovému efektu je horkovzdušný balón, kde se projevuje snaha teplého vzduchu stoupat vzhůru, přitom vzduch vyvíjí potřebný vztlak a jeho síla nese textilní obal naplněný horkým vzduchem k obloze. Pohled do čestného dvora zámku Veltrusy. Lavírovaná kresba, Jan Ranzmayer (1861). (Foto Ladislav Bezděk; zdroj: Lukášová 2008, s. 26, obr. 1)

Místo teplého vzduchu v balonu si ale můžeme představit teplé spaliny v prostoru komína, který je dole – v sopouchu – otevřený, ale v koruně uzavřený poklopem. Tehdy teplé spaliny, které jsou lehčí než okolní vzduch, tlačí na uzávěru v koruně komína silou, která se snaží poklop zvedat. Pokud by poklop byl ke koruně komína připevněn, je ovšem správná představa, že vztlak se snaží zvedat celý komín. Odtud již není daleko k pochopení termického pohybu vzduchu, který nastane při odstranění

poklopu a otevření koruny komína, jak ukazuje schematický obrázek 20. Je zřejmé, že jde opět o **cirkulaci** vzduchu mezi komínem a okolím. Tomuto pohybu se říká komínový jev. Projevuje se i ve vysokých budovách cirkulací s efektem, jímž je výměna vzduchu. Podmínkou je, aby patra byla nějak propojena prostory, jimiž může ve svislém směru proudit vzduch tak, jako je tomu u komína na obrázku 20. To znamená, že existují minimálně dvě výškově rozdílná místa, jimiž je vnitřek budovy propojen se vzduchem o jiné teplotě v okolí budovy.

Komínový jev a jeho efekt se projevují ve vytápěné budově v chladném období, kdy venkovní chladnější vzduch vniká do budovy dole, ohřívá se, stoupá vzhůru a ohřátý uniká nahoře, tak jako komínem.

Obrácený komínový jev nastává v budovách, v nichž se nachází vzduch chladnější než venku. Teplejší venkovní vzduch do budovy vniká nahoře, uvnitř se ochlazuje a dole z budovy odchází. Totéž můžeme pozorovat i u komína, který je vychladlý, je-li venku tepleji – z kamen cítíme zápach z komína a chceme-li zatopit, kouř se nám tlačí do místnosti. Princip komína tak dovoluje vysvětlit pohyb teplého vzduchu v chladném prostředí i chladného vzduchu přivedeného z okolí do vyhřáté místnosti.

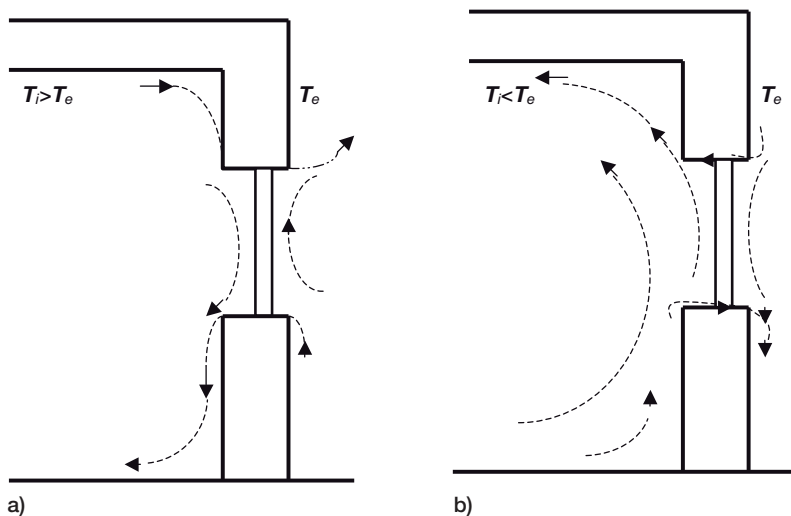


Obr. 22a, b. Takzvaný komínový efekt vysvětluje pohyb teplého vzduchu v chladném prostředí i chladného vzduchu přivedeného z okolí do vyhřáté místnosti. (Zdroj: Slotsholmen, s. 40; Waisenhaus, s. 23)

Není těžké si představit, že v prostoru vyplněném chladným vzduchem bychom teplovzdušný balon zbavili obalu, takže z balonu zůstane jen určitý, obalem neohraňovaný objem teplého vzduchu, který se pohybuje vzhůru. Toto proudění se nazývá samovolnou (přirozenou) teplotní konvekcí. Je tedy stejného původu jako proudění teplých spalin komínem. Místo obtékání nepřítomného obalu balonu zde opět dochází k **cirkulaci** ve formě směšování teplého vzduchu s chladným vzduchem v okolí a původní objem teplejšího vzduchu se postupně v okolí rozplyne, což je také průvodním jevem přirozené konvekce.

Jev probíhá samozřejmě i naopak, chladný vzduch v tomto případě opět bez ohraničujícího obalu v teplejším okolí klesá dolů. Konvekci tedy způsobuje gravitace působící na rozdílně hustý vzduch, což závisí na rozdílech jeho teploty v různých místech neizotermního prostoru. Je také zřejmé, že tytéž síly působily spolu při utváření obrazu vynuceného proudění, jak tomu bylo u schematických obrázků 16b a 18.

Sledujeme-li určitý objem teplého nebo chladného vzduchu, přivedeného například vzduchovodem do prostoru o jiné teplotě, pak nepřítomnost balonového obalu dovolí směšování tohoto objemu s okolním vzduchem a teplejší, respektive chladnější „jádro“ původního objemu i jeho rychlost se zmenšují a od určité vzdálenosti od vzduchovodu rozdíl teplot i rychlost proudění prakticky vymizí.

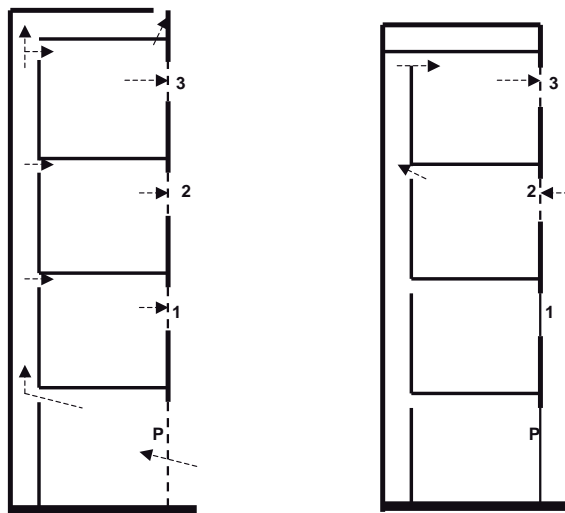


Obr. 23a, b. Průnik vzduchu netěsností okenního rámu a samovolná teplotní konvekce (a cirkulace): a) v chladném; b) v teplém období.

Jak již bylo zmíněno, přirozená (termická) konvekce je hnána rozdíly hustoty a tlaků způsobenými teplotním polem, tedy rozdíly teplot. Rozdíly tlaků jsou sice nepatrné a stačí uvést vzduch do pohybu jen malými rychlostmi, ale i ve velkých objemech. V uzavřených prostorech způsobují výměnu vzduchu s venkem, a to netěsnostmi oken, dveří, porositou stěn a spárami nebo trhlinami zdiva. Příkladem přirozené teplotní konvekce s cirkulací vzduchu jsou schematické obrázky 23a a 23b.

Na obrázku 23a jsou znázorněny proudnice při větrání oknem v místnosti, v níž je na počátku vzduch teplejší než venku. Teplejší vzduch uniká horní částí okna ven a je odtud nahrazován přítokem chladnějšího vzduchu v dolní části. Na obrázku 23b je znázorněno větrání v létě, kdy je vzduch venku teplejší než ve větrané místnosti. Teplý vzduch vniká dovnitř do místnosti horní částí okna a spodní částí okna vytlačuje studený vzduch ven.

Oba jevy představují ztráty energie. Stejný jev lze pozorovat u nahoře i dole nepřiléhajících dveří, což mimo jiné souvisí s obrázkem 24, který bude v souvislosti s výškovým rozdílem teplot popsán v kapitole 3.3. Větší ztráty bychom zjistili v situaci, kdy dveře nepřiléhají po celé výšce. Zde však, přibližně v polovině výšky dveří, vzduch netěsností neproudí.



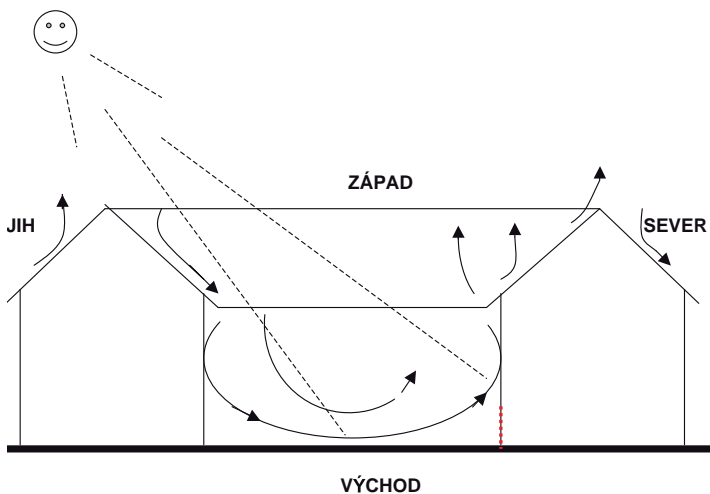
Obr. 24a, b. Komínový efekt v budově s průběžným schodištěm v zimě, dva příklady netěsných oken (šipky).

Pro představu čtenáře, který se nebojí jednoduchého výpočtu, uvedme, že nejvyšší rychlost v v úrovni h horní hrany okna nad parapetem nemůže překročit hodnotu danou vztahem (2):

$$v = 2 \sqrt{\frac{9,81 \cdot h (\rho_2 - \rho_1)}{\rho_2 + \rho_1}} \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (2)$$

9,81 $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ je gravitační konstanta (zemské zrychlení); $\rho_2 - \rho_1$ je rozdíl hustot vzduchu představující hnací sílu přirozené konvekce; je dán rozdílem jeho teplot na výšce h .

Skutečná rychlost proudění musí být menší, protože energie závislá na rozdílu ($\rho_2 - \rho_1$) hustot vzduchu, která je k dispozici, se spotřebovává nejen na vyvolání rychlosti v , ale i na tření, víření a další ztráty při proudění.



Obr. 25. Schéma cirkulace vzduchu v nádvoří, na zdech a střeše. Poškození na osluněném úpatí severního traktu dvora typické pro malá uzavřená nádvoří.

Další aplikací představy komína je obrázek 25. Jako nedokonalý, široký komín, jehož průřezem protéká vzduch oběma směry, se může chovat i nádvoří nebo rajský dvůr uzavřený mezi vysokými traktů zámecké nebo klášterní stavby (viz obrázky 25, 26 a 27), kde teplotní rozdíly jsou vyvolány tepelnými ztrátami a zisky pláště budovy, energií slunečního záření, ohřevem chladného venkovního vzduchu od stěn budovy

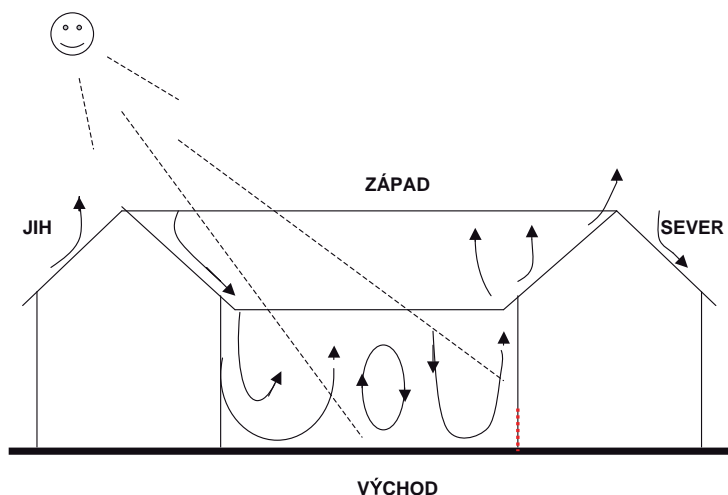


Obr. 26, 27. Poškození na osluněném úpatí severního traktu nádvoří je typické pro malá uzavřená nádvoří. Před zahájením obnovy je nutné dokumentovat stopy po poškození způsobené cirkulací vzduchu a jejich rozsahu přizpůsobit zvolený způsob povrchového ošetření fasád. I když je fasáda památkového objektu nově obnovená, nelze v těch samých místech zabránit jejímu opakovanému poškození, k tomu dochází působením stálé cirkulace vzduchu. (Foto Vladimír Fyman 1956; Milan Jančo, 2011)

a střešní krytiny a podobně, tedy přirozenou teplotní konvekci na plochách s odlišnými teplotami. Důsledné pochopení jevu této **cirkulace** vzduchu odborníkovi jistě přinese zajímavou odpověď například na příčinu destrukce fasády v úpatí osluněných zdí (tečkované zesílení čáry líce severní zdi nádvoří na obrázku 25), kde na osluněnou zeď přitéká chladný vzduch z dlažby na zastíněné straně nádvoří.

Při samovolné konvekci (proudění) značně záleží na poměru šířky vůči výšce prostoru a na teplotách stěn, jež proudění ve volném prostoru určují, ale to je již otázka pro odborníka. Pro srovnání s předešlým případem zde stačí poukázat na intenzivnější proudění na uzavřeném zámeckém nádvoří (viz obrázky 28 a 29) mezi dvěma zdmi různých teplot, z nichž ta zastíněná jižní, obrácená na sever je chladnější, zatímco zeď na severní straně, obrácená k jihu a vyhřívaná sluncem, je teplejší než vzduch. Samovolné konvekční proudění ovládané kladným, respektive záporným rozdílem teplot vzduchu a zdi vytváří vloženou cirkulaci uprostřed nádvoří, na rozdíl od případu na obrázku 25, kdy na malém nádvoří byl přítomen vír jediný.

Analogická situace vzniká i při samovolné cirkulující teplotní konvekci v místnosti. Je-li vzdálenost protějších stěn, způsobujících teplotní konvekci, relativně větší než jejich výška, což je případ velkých sálů, samovolná konvekce od chladné ani teplé stěny do středu sálu nezasáhne a prokazatelné, tedy měřitelné proudění se odehrává poblíže každé ze stěn. Mimo tyto oblasti je možno přesným měřením prokázat



Obr. 28. Cirkulace vzduchu v nádvoří, vliv poměru jeho šířky k výšce. U velkého nádvoří je poškození menší.



Obr. 29. Cirkulace vzduchu na velkém uzavřeném nádvoří nezpůsobuje díky vlivu poměru jeho šířky k výšce tak rozsáhlá poškození jako v případě malých uzavřených nádvoří. I v těchto případech je nutné, jako jeden z podkladů pro úspěch rekonstrukce, dokumentovat všechny stopy způsobené cirkulací vzduchu. (Foto Milan Jančo, 2011)

vložený vír, popřípadě fluktuace (více pomalých a větších či menších vírů) s měnícími se směry a kolísající rychlostí, kterou však přítomné osoby ani nepocítují. Naproti tomu v relativně úzkých prostorech se působení protilehlých stěn setkává, tak jako na obrázku 25. Jinak obraz cirkulačního proudění značně závisí mimo jiné na již zmíněném poměru šířky k výšce místnosti a na rozdílech teplot vzduchu a stěny, které se podílejí na intenzitě vířnatého pohybu vzduchu.

Protože je proudění vzduchu podmíněno rozdílem teplot, je snadné si vysvětlit až do června přetrvávající vlhkost z kondenzace atmosférické venkovní vlhkosti při „jarním“ větrání kamenných staveb. K ní dochází například na prochladlých dlažbách a dolních částech kamenných stěn v interiérech kostelů, které se nestačí přirozenou cestou prohřát.

Pro odhad možného obrazu vynuceného, popřípadě přirozeného teplotního proudění platí i v takových případech jednoduché pravidlo:



Obr. 30. V jarních měsících, kdy ještě nejsou zdi a dlažba kamenných staveb přirozenou cestou prohřáté, dochází při větrání na jejich povrchu ke kondenzaci atmosférické venkovní vlhkosti. (Foto Milan Jančo, 2011)

- Směr a předpověď chování každého proudění je nejspolehlivější blízko jeho zdroje, tedy u otevřeného okna a dveří, u výústky vzduchovodu, u výstupu volně stojícího ventilátoru, s uvážením působení zdroje tepla nebo chladu, jako je stěna, respektive předmět nebo přístroj, který ohřívá, popřípadě ochlazuje vzduch.
- Čím odtud dále, tím je odhad méně spolehlivý; vodítkem je však vždy skutečnost, že odcházející vzduch musí být nahrazen vzduchem z okolí, kde jsou teplotní rozdíly méně významné.

3.3 Komínový jev u vysokých staveb

Vysvětlení podává známý popis funkce komína podle obrázku 20. Nejblíže funkci komína je každý prostor, jehož teplota je vyšší než teplota okolí a je spojený s okolím dvěma nebo více otvory, ovšem v nesterénné výškové úrovni.

V několika výškách otevřeným komínem je například schodiště vysoké budovy s netěsnými okny.



Obr. 31. Schodiště vysoké budovy s netěsnými okny se chová stejně jako otevřený komín. I v něm „platí“ komínový efekt. (Foto Milan Jančo, 2011)

Ke komínu lze přirovnat vysokou budovu, jsou-li v ní otevřeny alespoň dvoje dveře (dole a nahoře). Někdy stačí pouze jedny dveře a druhé nahrazují netěsnosti (například okna ve schodišti) nebo jen výškové rozmístění netěsností v obvodovém plášti schodiště.

Situaci vyjadřuje schematický obrázek 24 řezu několikapatrovou budovou v zimě. Na obrázku 24a je naznačen průvan schodištěm zaviněný netěsnými, popřípadě otevřenými domovními dveřmi a netěsným vstupem na půdu nebo střechu. Za této situace lze očekávat v různých výškách dílčí cirkulační oblasti. Vztlakový tlak působí zevnitř na okna ve všech patrech, což se projevuje (šipky) únikem tepla z bytů, jejichž vstupní dveře a okna netěsní.

Na obrázku 24b je naproti tomu ukázán případ, kdy domovní dveře, vstup na střechu i všechny dveře bytů vyjma dvou posledních podlaží jsou těsné. Průvan v nejvyšší části schodiště je způsoben netěsnými dveřmi a okny bytů v horních dvou patrech. V tomto případě vychládá přítokem venkovního chladného vzduchu netěsným oknem spodnější byt. Je-li vytápěn, dostává se z něj teplo na schodiště a do horního bytu. Není-li vytápěn, promrznou všechny prostory v pořadí šipek naznačujících cestu venkovního vzduchu.

U širokých schodišť je ovšem nutno počítat i s určitým pohybem vzduchu také napříč ke svislému směru. V každém případě je pravidlem, že trajektorie termického pohybu vzduchu ve velkých prostorech nejsou stabilní, dílčí objemy vzduchové hmoty se „převalují“ a intenzita jejich pohybu místo od místa kolísá.

Obrázky 23, 25 a 28 ukázaly situace vycházející z komínového jevu, které se dají přirovnat ke komínu na obrázku 20, u něhož by po celé jeho výšce část stěny chyběla.

Projev velmi zvláštní formy komínového účinku jako příčiny intenzivního studeného průvanu byl také zjištěn v podchodu památkového objektu z 30. let (viz obrázek 32b).²² Vzduch v druhé polovině chladného období (od ledna přibližně do začátku dubna) za jasného dne zhruba mezi 10. a 14. hodinou protahuje od severu k jihu širokým podchodem mezi severní a jižní fasádou tohoto poměrně vysokého památkového objektu. Příčinou (viz obrázek 33) je nízké slunce, které intenzivně, při téměř vodorovném dopadu zahřívá jižní fasádu (viz obrázek 32c). Na ní se vytváří mohutný stoupavý konvekční proud teplého vzduchu, který se podle zákona zachování hmotnosti musí doplnit. Děje se tak jednak z jižní strany, aerodynamickým podtlakem z obvykle klidného okolního vzduchu, jednak z průchodu, v němž těžký stagnující chladný vzduch (obdobný přetlaku ve vstupu u paty komína) hnaný aerostatickým přetlakem ze severní strany (viz obrázek 32a) zesiluje průvan a podporuje jeho stabi-

22 Národní památník Vítkov, Praha Žižkov; www.nm.cz.



a)

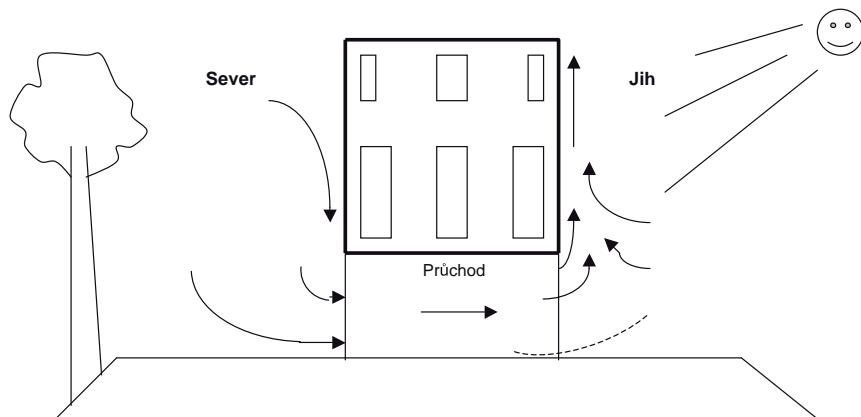


b)

c)



Obr. 32a, b, c. Národní památník v Praze na Vítkově. Průvan od severu (obrázek 32a) k jihu (obrázek 32c) širokým podchodem památníku, pod hlavním schodištěm, pozorovatelný každoročně od ledna do dubna, vzniká v důsledku vzniku komínového efektu. Tento průvan byl také hlavním důvodem prosklení prostoru během poslední rekonstrukce památníku v letech 2007–2009. (Foto Milan Jančo, 2011)



Obr. 33. Příklad účinku sluncem ozářené fasády.

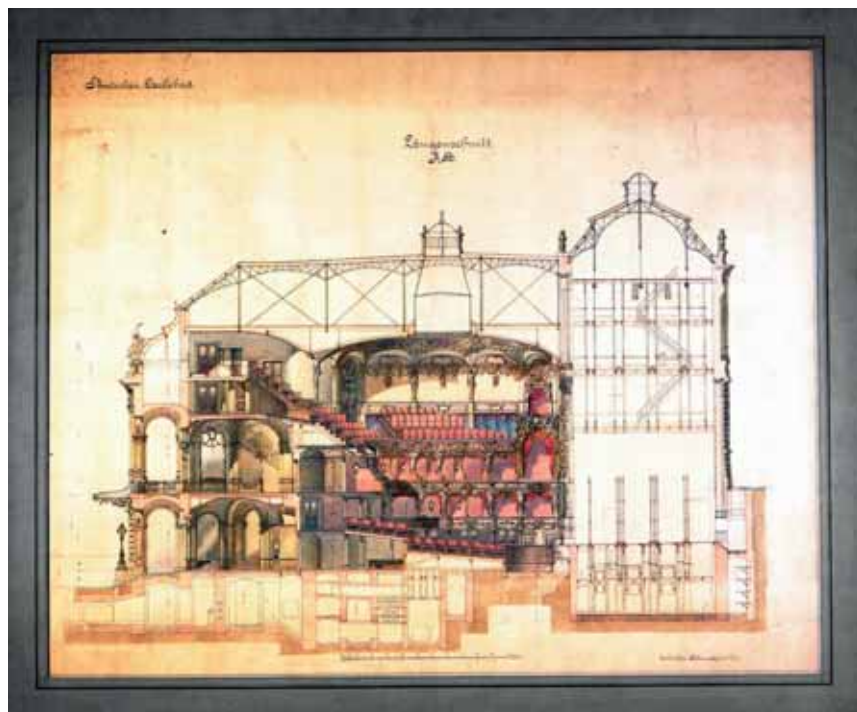
litu. Stoupající ohřátý vzduch s teplem slunečního záření však ve dne na jižní fasádě, podobně jako u případu na obrázku 25, poškozují její omítku, v noci v chladném vzduchu navlhne, tím, že ji intenzivně vysoušejí.

Naproti tomu jako „pravý“ komín, tedy s jednoznačným směrem pohybu vzduchu, se obvykle chovají rozsáhlé a vysoké prostory hledišť divadel. Důsledkem nevhodné dispozice interiéru je pak průvan od zvenčí nasávaného chladného vzduchu v divadelním foyeru a chodbách. Odstranění nebo potlačení jevu je někdy možné speciálními technickými opatřeními a prostředky, úspěch však není pravidlem.

Dalším případem projevů „pravého“ komínového účinku jsou úzká schodiště věží. Zde je teplotní rozdíl mezi teplotou venku a uvnitř podmíněn tepelnou setrvačností obvykle masivní stavby věže. Projevuje se to časovým zpožděním proti podobnému jevu u méně hmotných staveb, kdy chladné proudění dolů trvá ještě v létě.

Na základě řečeného lze uvést tři typy negativního působení komínového jevu:

- Sezónní vyskytující se na počátku chladného období, kdy je vnitřek stavby prohřátý (a vzduch táhne vzhůru), vede k rychlému ochlazení, eventuálně promrznutí spodku věže za netěsnými či často otvíranými dveřmi.
- Sezónní, neméně nebezpečný obrácený komínový jev na počátku teplého období, kdy vlny teplého vlhkého vzduchu proudícího věží shora dolů vedou ke kondenzaci vlhkosti na vnitřním, po zimě ještě chladném zdivu a vytvářejí i louže ve spodních částech věže.



Obr. 34. Komínový efekt je „doprovodným jevem“ velkých divadel. Teplý vzduch je nasáván komínem provaziště nahoru. V hledišti a foyeru je nahrazován studeným vzduchem nasávaným dovnitř zvenčí. (Zdroj: Divadlo v Karlových Varech, s. 57)

- c) Spadající na rozhraní zimy a jara, kdy střídání slunného teplého dne s nočními mrazy vede k rychlým změnám teploty a vlhkosti v povrchových vrstvách (štku, maleb) prochlady zdi, popřípadě i mobiliáře. Nebezpečí spočívá nejenom v postupné destrukci omítek interiéru, ale i ve zvýšené pravděpodobnosti biodegradace materiálů. Jde o jev nebezpečný nejen pro dřevěné a kovové prvky stavby a nakonec i pro opukové nebo pálené stavební materiály, ale i pro nástěnné malby nebo předměty obsahující hygroskopické materiály umístěné v daném nebo i sousedícím prostoru. Odborné řešení technickými prostředky, jako téměř vždy, je podmíněno měřením stavu vzduchu.



Obr. 35. Doudleby nad Orlicí (okres Rychnov nad Kněžnou), zámek, sál s bílými kamny. Průnik vlhkosti z možného zatékání. Lehčí vlhký vzduch nahoře nepodporuje v nevytápěné místnosti odpar této vlhkosti. (Foto Čestmír Šíla, 1950)

Všudypřítomné netěsnosti budovy a vnitřních prostor (vchodem, netěsností vysoko umístěných oken a okének v lucernách střech, vstupem na kůr a do podkrovní) a teplotní rozdíly podmiňují komínový jev vyvolávající proudění a výměnu vzduchu v chrámových lodích. V menších prostorech v zimě se komínový jev projevuje nízkou teplotou u podlahy bez pozorovatelné příčiny i tehdy, má-li tepelný zdroj v teplejší stěně (nebo topné těleso v její bezprostřední blízkosti) dostatečně vysokou teplotu a výkon. Vzduch z místnosti, teplejší než v jejím okolí, vytváří vztlak pod stropem, uniká netěsností u horní hrany dveří a je nahrazován chladným vzduchem z okolí netěsností u prahu dveří.

4 Problémy interiéru

Pracovníci v památkových objektech jistě pociťují, že naznačené fyzikální jevy vytvářejí jisté pořadí naléhavosti v řešení vztahů stavu vzduchu v interiéru památkového objektu k vlastnostem a účinkům vlhkého vzduchu venku. Vylučme předem objekty bez oken a ve stavu začínající devastace buď pro nezáměr o jejich osud, nebo pro neúměrné náklady na jejich opravu.



Obr. 36. Zabydlený interiér neklade příliš velké nároky na vlhkost a větrání. Postačuje udržovat teplotu a vlhkost vzduchu v poměrně širokých mezích tepelné pohody člověka, za předpokladu, že bytová jednotka není opatřena plastovými okny, kdy musí být větrání řešeno vzduchotechnickými systémy s rekuperací. (2011)²³

23 Za poskytnutí snímku děkujeme Gitě Marii Schöbert (Dánsko).

4.1 K vlhkosti mobiliáře a stavby

V již uvedených souvislostech je třeba vzít na vědomí zásadní rozdíl mezi péčí o prostředí v expozičních místnostech historických budov a o prostředí v prostorách obytných, kdy k vlivu venkovního vzduchu nutno přičíst vliv fyziologické vlhkosti vydávané osobami. V péči o prostředí v památkově cenných interiérech, za přítomnosti osob, je tak nutno řídit se následujícím:

a) V obytné místnosti, kde není třeba úzkostlivě sledovat uvedený vliv vlhkosti a bránit jeho projevům, postačí udržovat teplotu a vlhkost vzduchu v poměrně širokých mezích tepelné pohody člověka. Ty po větší část roku zajistí pouhé vytápění a nejjednodušší větrání okny. Zde jde obrazně o smíšení vlhkosti obsažené ve venkovním vzduchu s fyziologickou vlhkostí (vodní parou), kterou dýcháním a vylučováním vodní páry pocením produkují přítomné osoby, a o chránění hygroskopických materiálů proti přesychání, ke kterému by mohlo dojít přehnaným větráním prostoru v zimě, kdy je venkovní vzduch velmi suchý. Jeho měrná vlhkost x je nízká, méně než $3 \text{ g/kg}_{\text{sv}}$.

Poměrně novým jevem, vycházejícím z oblasti navrhování domů s minimální spotřebou energie, v níž je větrání řešeno vzduchotechnickými systémy s rekuperací, je opatřování obytných místností zcela těsnými okennými výplněmi vyhotovenými nejčastěji z plastových profilů obvykle vyztužených kovem. Právě pro běžné objekty a obytné prostory bez nuceného větrání nejsou těsná plastová okna obecně vhodná. Výrazně zhoršují klima pod hodnoty dané hygienickou normou.²⁴ K zabránění vzniku plísní nesmí teplota stavebních konstrukcí klesnout pod teplotu rosného bodu a relativní vlhkost vzduchu stoupnout nad 65 %.

b) Naproti tomu v památkovém interiéru, kde jde o celoroční vytvoření a udržení tepelně vlhkostní rovnováhy mezi vzduchem a chráněným předmětem umělým způsobem a kde musí být řešen kompromis mezi technikou ovládání vlhkosti temperováním, větráním, tedy působením vlhkosti zvenku, a regulací vlhkosti od lidí počtem osob, bude podle dříve řečeného nutno dbát:

- aby měrná vlhkost u^* hygroskopického materiálu (která se při určité teplotě a po dostatečně době ustálí na hodnotě odpovídající udržované vlhkosti okolního vzduchu a zůstane s ní v rovnováze) zůstávala pokud možno konstantní;

24 *Literatura 16.*

- a aby takto ustálená měrná vlhkost u^* nezávisela na teplotě; při zvyšování teploty vzduchu se tedy musí jeho relativní vlhkost ϕ zvyšovat a při snižování teploty vzduchu se musí jeho relativní vlhkost ϕ , byť s obtížemi, snižovat.



Obr. 37. Loučná nad Desnou (okres Šumperk), rohový salon. Památkový interiér vyžaduje celoroční zajištění vlhkostní rovnováhy. Nevhodné využití zámku po roce 1989 ho přivedlo do stavu ruiny. (Foto Čestmír Šíla, 1950)

Zastaralé doporučení, že oblast vlhkosti a teploty vzduchu, například $18\text{ °C} / 50\text{ +/- }5\text{ \% RH}$ se sezónní změnou $< 14\text{ K}$ a $< 20\text{ \%}$ ²⁵ vychází ze středních hodnot získaných vyhodnocením údajů ze seznamu takzvaných ICOM Recommendations (1960) pro muzea a přijímaná i pro výstavy a galerie,²⁶ není řešením ochrany památ-

25 Literatura 1.

26 <http://www.icom.org/>.

kových a uměleckých předmětů. Podle J. Holmberga²⁷ „se změnila v iluzi“: citováno v překladu: „*nezakládá se na dostačujícím výzkumu*“ a „*ze seznamu není patrné, zda hodnoty v něm uváděné nevycházejí z jiných institucí a nesledují jiný zájem nebo spíše nevyjadřují přání*“.²⁸

Rovněž hodnoty, blízké uvedeným, byly vystaveny oprávněné kritice,²⁹ především proto, že neberou zřetel na řadu fyzikálních zákonů. Také další důležité faktory, jako geografická poloha a tepelně-vlhkostní vlastnosti hmot budovy, pohyb vzduchu, obvyklá materiálová různorodost a rozličná hmotnost stavební konstrukce budovy i interiérů a předmětů ve sbírkách a expozicích, ohrožují víru, že jeden stav (teplota a relativní vlhkost) vzduchu i s daným úzkým rozmezím tolerovaných odchylek bude pro každý interiér optimální ve smyslu jeho komplexní ochrany.

Pochybnosti o takovémto požadavku „optimálního“ stavu vzduchu jsou oprávněné, pokud jde o kolísání teploty a relativní vlhkosti vzduchu u předmětů různé hmotnosti (například dřevěné plastiky vedle grafických listů) různou rychlostí.

Z uvedeného plyne potřeba opatrnosti v názorech a přístupech, jedná-li se například o víru v takzvané „standardní hodnoty pro uchovávání uměleckých děl“ – o teplotu 18–20 °C a relativní vlhkost 50–60 % – i při jejich transportu – nebo požadavku stálých klimatických podmínek v rozmezí 18 +/- 2 °C teploty a 50 +/- 5 % relativní vlhkosti.

Každý objekt vyžaduje citlivý přístup, proto o praktickém uplatnění účinku hodnot T , ϕ , x a na nich závislé rovnovážné měrné vlhkosti materiálů by měl rozhodovat odborník. Přesto pracovníci památkových objektů musí z fyzikálních principů znát alespoň kvalitativní stránky jejich působení, to značí charakter závislosti následků na příčinách.

Příkladů je řada. Je to neuvážené vyvětrání vyhřátého interiéru mrazivým venkovním vzduchem okny. Následkem je například nebezpečné vysušení deskových obrazů, intarsií, plastik i listů papíru (zejména pak želatinových fotografií). Příčinou je z fyziky známá skutečnost, že po ohřátí stěnami a od předmětů v místnosti se relativní vlhkost přivedeného studeného větracího vzduchu značně snížila a vzduch dřevěné a ostatní předměty výrazně vysušil.

Pozornosti nesmí uniknout ani větráním vyvolaný pohyb vzduchu, řídící se dříve zmíněnými vlastnostmi samovolné teplotní konvekce. Zde je důležitá poloha památkového předmětu, například obrazu, vůči oknu; navíc i jeho velký výškový rozměr – vzduch dole má podstatně odlišné vlastnosti než vzduch u horní části předmětu.

27 *Literatura 2.*

28 *Literatura 1, 2.*

29 *Literatura 1.*

A nejen to – chladný vzduch u podlahy zvyšuje vlhkost stěny, od níž po zavření okna dolní část obrazu tuto vlhkost přejímá. Je nutno mít na paměti nepatrnou strmost sorpčních izoterem omítek a zdíva.³⁰ Takové materiály v poměrně širokém rozpětí relativní vlhkosti vzduchu mění svou měrnou vlhkost pouze v řádu nízkých procent, přesto tyto cyklické změny způsobují jejich místní porušení (vlasové trhliny postupně se zvětšující a šířící se dále) i závažnější defekty (při destrukci mrazem).

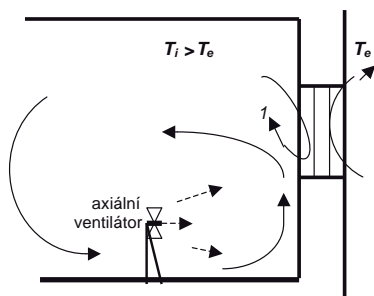
Rozdílná vlhkosťní kapacita různých materiálů je dána polohou jejich sorpčních izoterem a především jejich sklonem. Měrné vlhkosti u^* nerostných a keramických materiálů jsou na rozdíl od hodnot měrné vlhkosti organických materiálů obecně velmi nízké a s relativní vlhkostí vzduchu se mění jen málo. Z této vlastnosti například vyplývá tvorba vlhkých map, ovšem také vznik mokré kondenzace na omítkách a zdívu při zátoku v prochlady prostorech.

Tento jev „vlhkých peřin v prochlady chalupě“ i to, že dotykem ruky pocítuje vlhkost dřeva postele, není náš subjektivní dojem. Je to fyzikální skutečnost, což v případech dřeva jasně potvrzují sorpční izotermy (viz obrázky 6 a 7). Předměty z organických materiálů se v prostoru ohřívají rychleji než kamenné a cihelné stěny i jádro omítky. Uvolňují relativně značné množství vodní páry, která na stěnách kondenzuje a kterou někdy ani lehká, tepelně dobře izolující vrchní omítka nedokáže bez kondenzace pojmout.

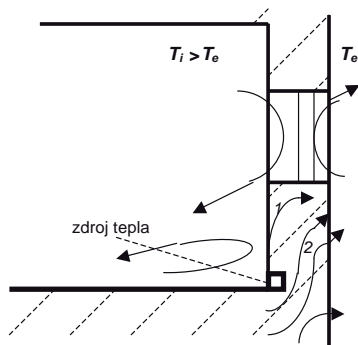
Právě uvedené příklady však mají i další souvislost. Neuvážené větrání vychlazující interiér a následující zátok, podobně jako větrání vychlady prostoru teplým a vlhkým předjarním a jarním vzduchem, mohou na chladném zdívu u podlahy vést ke kondenzaci vlhkosti a podpoře vzniku a vegetace plísní a k biodegradaci dřeva. Zde jde o důsledky působení vlhkosti atmosférického původu. Nemusí jít o následek vzlínavé vlhkosti, kdy je vzhled vlhkého povrchu zdi (tmavší „mapy“) podobný.

Vlhkost zdi a jejich koutů u podlahy je možno rychle vysušit vynuceným prouděním pomocí stolního nebo stojanového axiálního ventilátoru (viz obrázek 38). Je to často rychlejší než větráním okny, kdy čekáme na příhodný stav vzduchu venku, a to díky tomu, že relativní vlhkost vzduchu i ve velmi vlhkém interiéru je vždy minimálně o 4 až 8 % nižší než 100 %, kdy vzduch vlhkost z okolí nemůže přijmout. Díky tomuto rozdílu cirkulující vzduch vlhkost z okolí přijímá. Nemusí se užít ani ventilátor s elektrickým ohříváčem, u něhož je třeba bránit přesušení a odstavit ho dále od odvlhčovaného místa. Pokud je elektrická síť v pořádku a ventilátor má tepelnou pojistku, může běžet bez dozoru i v noci. Odvlhčování je zahájeno neprodleně. Je příznivé, protože není zbytečně rychlé.

30 *Literatura 9, 10.*



Obr. 38. Vliv ventilátoru na proudění.



Obr. 39. Odklon toku vztlínavé vlhkosti k podlaze vlivem chladného okna.

Ve snaze urychlit vysoušení prostoru jako celku jeho vytápěním nebo jen temperováním a větráním okny je nutno brát zřetel na roční dobu, ale také – očima odborníka – na tvar a strmost sorpčních izoterm dotčených materiálů. Při větrání je nutno brát v úvahu měrnou vlhkost vzduchu venku a relativní vlhkost, kterou bude vykazovat tento zvenku přivedený vzduch, až se ve vysoušeném teplejším interiéru někdy i o více než 10 °C ohřeje. Tato relativní vlhkost spolu s teplotou rozhodují o rychlosti vysoušení, která nesmí být příliš vysoká.

Přípustnou hodnotu rychlosti vysoušení nelze snadno určit, závisí případ od případu na mnoha právě uvedených činitelích a není ani dána zkušeností, proto je na místě opatrnost a zajištění interiéru proti prochladnutí. Pozornost proto zvláště zaslouží pomalé vysoušení značně vlhkých nebo záplavou podmáčených základů budov ve sklepních prostorech. Materiály základového zdiva (zvláště pálené cihly, opuka, méně pískovec a malta) se vysoušením smršťují. Změny rozměrů jsou při rychlém vysoušení nerovnoměrné (materiál se chová podobně jako bimetalový pás) a vedou k posuvům a porušení celistvosti zdiva, jež mohou ohrozit statiku budovy.

Poněkud jiným způsobem odvlhčení je instalace vodorovného zdroje tepla, například topného kabelu pod omítky při podlaze (viz obrázek 39). Tepelný tok zde má více složitých funkcí, jednou z nejdůležitějších je zábrana vzniku map od vlhkosti, které se nepatrným zvýšením teploty na omítce vypaří.

Periodické kolísání teploty a vlhkosti řady stavebních, zvláště keramických pálených materiálů, při růstu jejich měrné vlhkosti a s jejich následným smrštěním při vysoušení jsou příčinou postupného růstu počtu trvalých drobných vnitřních poško-

zení a pomalého růstu jeho rozměrů a objemu, trvajícího i staletí. Příčinou je skutečnost, že většina změn materiálu chemickými reakcemi a kapilárními silami ve fázi jeho navlhčení je nevratná a přetrvává i po vysoušení.

Při zvyšování teploty každý z materiálů, které zde přicházejí v úvahu, zvětšuje své rozměry, přičemž vyšší teplota podporuje jeho vysoušení, provázené jeho podstatně intenzivnějším smršťováním. Teplota je v interiéru z mnoha vážných příčin určující a nutně udržovanou mikroklimatickou veličinou. Proto se podle prve uvedeného chování materiálů stává vlhkost vzduchu veličinou, kterou je nutno teplotě přizpůsobovat. To je také poslední argument pro nutnost zabývat se vlhkostí, jak tomu také dosud provedené úvahy nasvědčují.

4.2 Vlhkostní setrvačnost interiéru

To, jak rychle se vlhkost vzduchu v interiéru změní při náhlém přivedení vzduchu o podstatně jiné měrné vlhkosti x , závisí na vlhkostní kapacitě prostoru. Tu tvoří sice stavební konstrukce (tedy omítky a zdivo), především však dřevěné stropy, podlahy, dřevěný mobiliář a jiné hmotnostně významné předměty z hygroskopických anorganických materiálů. Mají větší schopnost pohlcovat vlhkost než zdivo a anorganické materiály, proto je jejich přítomnost v interiéru velmi důležitá. O jejich vlhkostní setrvačnosti rozhoduje, jak bylo dříve řečeno, vlhkostní kapacita zúčastněných materiálů, tedy umístění a strmost jejich sorpčních izoterm v grafu $\phi-u^*$ (například na obrázku 5, 6 a 7).

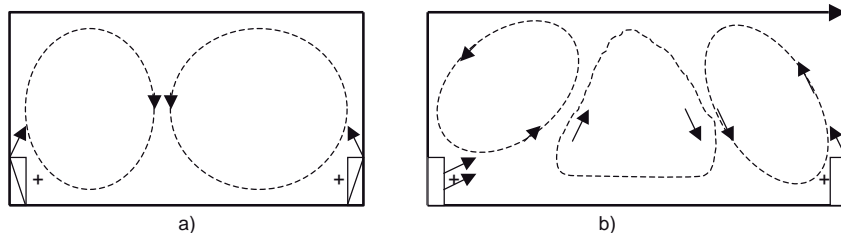
S ohledem na potřebu udržení vhodné relativní vlhkosti, jestliže se při změnách teploty měrná vlhkost x málo mění (pokud nejsou zdroje vlhkosti přítomné), je nutno vzít v úvahu konvekci, tedy pohyb vzduchu v daném prostoru.

Role zde hraje intenzita přestupu a výměny vlhkosti a tepla například na stěnách, mobiliáři i na kamnech, respektive topných tělesech, což je pro volbu intenzity zátopu, respektive větrání buď otázka odborná, nebo v praxi záležitost opatrnosti.

4.3 Další vlastnosti konvekce

Vynucené i přirozené proudění v prostorech je obvykle složitý prostorový, většinou nestabilní jev. Snaha o jeho výzkum měření rychlosti v jednotlivých místech a znázornění proudnicemi je často bezvýsledná. Jednoduchá teplotní cirkulace (viz obrázky 19 a 23), vlastní malému rozdílu teplot se při zvětšení tohoto rozdílu rozpadá na spřažené menší víry.

Podrobné vysvětlení přesahuje rámec stati, nehledě k tomu, že příklady uvedené na dvojrozměrném obrázku nemohou úplně vystihnout skutečnost. Nicméně pro ilustraci uvedme obraz dvojrozměrného proudění (viz obrázky 40a, b), jež by se ustavilo působením dvou a více zdrojů (ventilátorových konvektorů) tepla, které vyvolají samovolné proudění. To stykem cirkulačních proudů různého smyslu rotace vykazuje víry, jejichž rozměr ovlivňuje tření vzduchu na stěnách a směšování vzduchu na jejich rozhraní, takže ve větší vzdálenosti zanikají. To vše jsou ovšem nestabilní jevy.

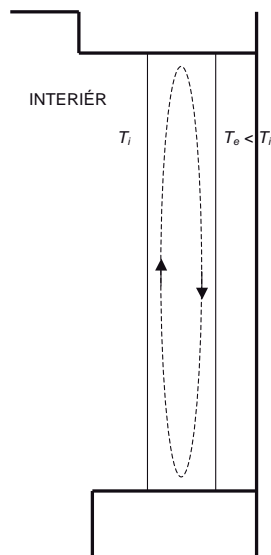


Obr. 40a, b. Cirkulace v prostoru: a) s dvěma silnými zdroji tepla; b) v dlouhém prostoru se slabými zdroji tepla a pohybu, kde se vytvořila oblast vložené cirkulace.



Obr. 41. Doudleby nad Orlicí (okres Rychnov nad Kněžnou), zámek. Špaletové okno chráněné zvenčí dřevěnými žaluziemi. Žaluzie umístěné na západní a východní straně zabraňovaly v letním období nadměrnému přehřívání se interiéru, jak po ránu, tak především na večer. Žaluzie na jižní straně objektu chránily interiéry zejména v zimním období, kdy nízké slunce během poledne pronikalo hluboko do místností. (Foto Čestmír Šíla, 1950)

Je zřejmé, že nový stav se při zvyšování teploty ustálí až po určitém období nestability. Z obou případů lze vysvětlit jev konvekce, která se uplatňuje i v rozměrech zcela malých, jako je prostor mezi skly špaletového okna (viz obrázek 42). Rozdíl teplot mezi venkovní a vnitřní tabulí vytváří jednoduchý pohyb charakterizovaný jako přechod z klidu jediným pomalým vírem (viz obrázek 42), který dolů nese chlad vnějšího skla, zatímco prostor mezi skly nahoře má vyšší teplotu od teplejšího vnitřního skla. Mezi tabulemi po vnějším skle stéká chladný vzduch dolů a podle „zákona“ zachování objemu se klesající vzduch musí nahoře doplňovat teplým vzduchem, který stoupá při teplejší vnitřní tabuli. Zdrojem energie je část tepla, které oknem uniká ven z místnosti.



Obr. 42. Jednoduchá cirkulace mezi skly špaletového okna.

Tímto působením lze vysvětlit zimní kondenzaci vlhkosti vzduchu ve špaletě na vnějším skle uvnitř okna, popřípadě, ve velkých mrazech, i na vnitřní straně vnitřního skla, kdy ovšem kondenzuje vlhkost z místnosti. Kondenzace vlhkosti vzduchu ve špaletě se tedy vyznačuje tím, že orosení skel se koncentruje vždy na dolní části zasklení, stejně jako na jednoduchém okně.

Složitější prostorové případy, například vývoj pohybu vzduchu mezi dvěma vzdálenými stěnami (případ z obrázku 40), teplejšími než vzduch mezi nimi, z nichž jedna

má vyšší teplotu než druhá, jak je tomu mezi jižní a severní stěnou většího sálu, nebo proudění spojené s průvanem a jiné případy nestabilního proudění, může řešit jen odborník. Neobejdou se bez náročného měření teplot a rychlostí vzduchu a přibližných fyzikálních nebo matematických modelů.

Tyto příklady naznačují, jak i bez měření vlhkosti, pouze s teploměrem ke zjištění teploty venku a uvnitř a s minimálními prostředky (například s tabulkami vlastností vlhkého vzduchu nebo s jeho h-x diagramem) může pracovník památkového objektu volit z možností správných opatření podle charakteru potíží.

4.4 Sálavé teplo

Z dosavadních úvah by se mohlo zdát, že jediným nositelem tepla je vzduch a vlhkost předmětů je ovlivněna pouze jeho vlhkostí. Často si sálavé teplo vyzařované teplejšími povrchy ani neuvědomujeme, ačkoliv se v řadě případů podílí na vysoušení povrchů vzduchem, jehož relativní vlhkost se blíží 100 %, popřípadě zabraňuje kondenzaci na stěně tím, že se zaslouží o udržení několika desetin °C nad rosným bodem jejího povrchu. Znamená to ovšem, že zábranu kondenzace nelze posuzovat měřením teploty vzduchu. Musí se měřit teplota dotčeného povrchu. Jev je znám z praxe jako sálavé topení prostorů, kde o tepelné pohodě osob v daném prostředí nerozhoduje teplota vzduchu, který je chladný (je obvykle jen mírně ohříván stykem s teplejšími osálanými povrchy). Odborník, který řeší podobné problémy výpočtem a ověřuje je náročným měřením, dokáže ušetřit náklady vyžadované obyčejným přivedením a ohřevem vysoušecího vzduchu.

4.5 Měření teploty a vlhkosti v interiérech

Každé měření stavu vzduchu musí být podrobena úvaze o jeho správnosti. Víme, že:

- teplotní čidlo ozářené sluncem ukazuje teplotu vyšší než teplota okolního vzduchu, podobně jako čidlo, na které sálají roztopená kamna;
- dvě osálaná čidla v témž místě vykazují odlišný údaj, je-li jedno z nich ofukováno ventilátorem nebo odstíněno nějakým předmětem;
- rozdíly ve výsledcích měření mohou být způsobeny jak umístěním a malou citlivostí čidel, i nepřesností čtecích přístrojů, ale i algoritmem (například zaokrouhlováním při zpracování dat).

Podíváme-li se na kterýkoliv z obrázků 18, 20, 23, 25, 33, 38, 39 či 40, dovedeme si představit, že není jedno, kam umístit čidlo teploty, respektive vlhkosti vzduchu, abychom získali údaj, který nejlépe vystihuje teplotu a vlhkost, která je směrodatná pro účel měření, například pro ochranu cenných předmětů před vlivem okolního vzduchu. Vše, co bylo řečeno o pohybu vzduchu, o fluktuacích proudění a vírech, se projevuje svým vlivem nejen v chybách měření teploty a vlhkosti v reálných podmínkách, ale i předtím v koncepčních úvahách projektanta.

5. Závěr

Oblast ochrany památkových interiérů z hlediska mikroklimatu je možno označit za hraniční, neboť se zde stýkají vědní obory fyziky a chemie s potřebou aplikace technických prostředků a praktická činnost pracovníků památkové péče. Rovněž se zde setkávají rozhodování o tak prozaické činnosti, jakou je udržování teploty, těsnosti oken a zavření dveří, s dohledem nad návštěvníky, obavami z mokrého úklidu, se stresem z náročnosti techniky, z vlhkosti vzduchu a z vrtochů počasí.

Souhrnem vybraných poznatků a příkladů z působení fyzikálních zákonů a účinků techniky by měl článek ulehčit pracovníkům jejich situaci a zbavit je obav tam, kde si dosud nedokázali vysvětlit příčiny některých potíží, s nimiž se setkávali. Pokud jde o vlhkost vzduchu a její závislost na teplotě interiéru, je třeba upozornit na kapitolu 2.4 pojednávající o vlhlostní rovnováze a na kapitolu 2.6 s tabulkou 1 a na h-x diagram na obrázku 8, kde jsou konkrétní údaje dvojic teplota / relativní vlhkost vyhovujících většině běžných materiálů v tom smyslu, že nedojde k jejich rychlé degradaci vlhkostí.

Důležitost ochrany materiálů památkových předmětů si ve snaze o přístupnost vyžádala poměrně podrobný výklad, jelikož komplexnost problematiky vlhkosti si zaslouží důkladnou základní přípravu.

Souhrn

Vlhkost vzduchu je významným činitelem v mikroklimatické ochraně a péči o historicky a jinak cenná umělecká díla, stavby a jejich interiéry. Pro osoby pečující o památkovou ochranu přímo v památkových objektech se poukazuje na zásadní důležitost vlivu teploty a vlhkosti vzduchu. Zdůrazněn je také význam jeho pohybu a proudění nejen pro přenos tepla a současně vlhkosti mezi zúčastněnými tělesy, který je zprostředkován vlhkým vzduchem. Je stručně zmíněn rozhodující význam vlhkostní sorpční rovnováhy mezi vzduchem a hygrokopickými materiály, z nichž jsou vytvořena jak chráněná díla, tak stavební konstrukce interiéru.

Summary

Air humidity is a significant factor in the microclimatic protection and in the care of historically or otherwise valuable works of art, buildings and the interiors of historical buildings. For persons in charge of the care of historical expositions and buildings, the importance of air temperature and humidity is discussed. In addition, the importance of the movement and flow of the air mediating the heat and humidity exchange between surfaces is emphasized. The importance of knowledge of sorption isotherms is briefly mentioned as being significant for the moisture equilibrium between the air and the hygroscopic material of a work of art.

Zusammenfassung

Die Luftfeuchtigkeit ist ein bedeutender Faktor in den mikroklimatischen Schutz und Pflege von historisch und sonstig wertvollen Kunstwerken und von Gebäuden und deren Innenräume. Für Personen die für diese Pflege und Schutz verantwortlich sind, ist die prinzipielle Bedeutung der Lufttemperatur und -feuchtigkeit diskutiert. Auch die Bewegung und Strömung der Luft ist als bedeutend hervorgehoben, denn die Luft vermittelt nicht nur den Austausch der Wärme, aber gleichzeitig der Feuchte zwischen den Objekten. Die Kenntnis von Sorptionsisothermen der beteiligten hygrokopischen Materialien von Kunst- und Bauwerken ist auch als bedeutend kurz erwähnt.

Anotace

Odborně metodická publikace určená vlastníkům a správcům památkových objektů s památkovými interiérovými instalacemi a dalším pracovníkům pečujícím o památkově cenné interiéry s památkovými interiérovými instalacemi objasňuje kromě podstaty působení vlhkosti vzduchu i značný význam jeho pohybu a příčin jeho proudění pro přenos tepla a výměnu vlhkosti mezi zúčastněnými tělesy. Stručně zmiňuje rozhodující význam vlhkostní sorpční rovnováhy mezi vzduchem a hygroskopickými materiály, z nichž jsou vytvořena jak chráněná díla, tak stavební konstrukce interiéru.

Klíčová slova

Vlhkost vzduchu, h-x diagram vlhkého vzduchu, sorpční izotermy, vynucené proudění, samovolná teplotní konvekce, přenos tepla a vlhkosti, komínový jev, komínový efekt v budovách a interiérech.

Literatura

- 1/ Michael KOTTERER et al., *Klima in Museen und historischen Gebäuden, die Temperierung; Climate in museums and historical buildings, tempering*, Wissenschaftliche Reihe Schönbrunn, Band 9, Wien 2004. ISBN 3-901568-51-4.
- 2/ Jan HOLMBERG, *Relative Humidity in Historic Houses*, Museums and Museum Storage Rooms, a Literature Study. 1st Swedish Contribution to the EUROCARE Research Project EU 1383 PREVENT, Technical University of Vienna, Vienna 1996.
- 3/ Miloslav NĚMEČEK – Petr BEDNÁŘ, *Sníží proudění vzduchu vlhkost v historickém interiéru? Vytápění – větrání – instalace 12/2003/4*, Praha 2003, s. 145–149. ISSN 1210-1389.
- 4/ Miloslav NĚMEČEK – Karel PAPEŽ, *Úprava vzduchu v historických objektech, Vytápění – větrání – instalace 10/2001/4*, Praha 2001, s. 150–158. ISSN 1210-1389.
- 5/ Frederick P. BOODY – Henning GROSSESCHMIDT – Wolfgang KIPPES, *Climate in Museums and Historical Buildings, Tempering*, in: Michael KOTTERER et al., *Klima in Museen und historischen Gebäuden, die Temperierung*, Wissenschaftliche Reihe Schönbrunn, Bd. 9, Wien 2004. ISBN 3-901568-51-4.
- 6/ Pavel ZÍTEK – Miloslav NĚMEČEK, *Řízení mikroklimatu v interiéru historického objektu k prevenci poškození uměleckých památek*, Grant GAČR č. 101-03-1365.
- 7/ Walter J. MOORE, *Fyzikální chemie*, SNTL Praha, 1981.
- 8/ Miroslav SAZIMA a kol.: *Sdílení tepla – Technický průvodce*, SNTL Praha, 1993.
- 9/ Moira A. WILSON – William D. HOFF – Christopher HALL – Bernard McKay Anna HILEY, *Kinetics of Moisture Expansion in Fired Clay Ceramics*, A (Time)^{1/2} Law, Phys. Rev. Lett., Vol. 90, No 12.
- 10/ Petr KOTLÍK – Jan ŠRÁMEK – Jiří Kaše, *Opuka, VŠCHT, STOP*, Společnost pro technologie ochrany památek, Praha 2000. ISBN 80-902668-5-1.
- 11/ Alexander POŽGAJ – Dušan CHOVANEC – STANISLAV KURJATKO – Marián BABJAK, *Štruktúra a vlastnosti dreva*, Príroda, a.s., Bratislava, 1997. ISBN 80-07-00960-4.
- 12/ Jan ZVONÍČEK, *Sušárny, skripta*, Ediční středisko ČVUT Praha, Fakulta strojní, Praha 1994.
- 13/ Speciální podklady (výsledky výzkumu autorů, projekty a realizace).
- 14/ Kateřina CICHROVÁ – Petr JOHANUS – Václav VONDRÁČEK, *Restaurování dvou barokních stolů ze zámku Hluboká nad Vltavou*, Zprávy památkové péče 68/2008/1, Praha 2008, s. 31–35. ISSN 1210-5538.

- 15/ Eleonora DUJKOVÁ, roz. BUBNA-LITIC, *Vzpomínání*, Praha 2009, s. 32. ISBN 978-80-903138-7-3.
- 16/ Petr VŠETEČKA, Historická okna z pohledu stavební fyziky, in: *Obnova oken-ních výplní a výkladců*, Odborné a metodické publikace, svazek 38, Praha 2010, s. 81–89. ISBN 978-80-87104-58-3.

Literatura, zdroje obrazových příloh a jejich uvádění v textu

Milan AUGUSTÍN (ed.), *Divadlo v Karlových Varech, Historie a obnova na konci tisíciletí*, Karlovy Vary 1999 (Divadlo v Karlových Varech). ISBN 80-238-4538-1.

Bo BRAMSEN – Palle FOGTDAL, *København før og nu – og aldrig*, Bind I, Slotsholmen, København 1996 (Slotsholmen). ISBN 87-7807-720-6.

Eva LUKÁŠOVÁ, *Zámek Veltrusy – historický interiér jako neobyčejná cesta do minulosti*, *Zprávy památkové péče* 68/2008/1, s. 26–30 (Lukášová 2008). ISSN 1210-5538.

Hans OTTOMEYER, Klaus Albrecht SCHRÖDER, Laurie WINTERS, *Biedermeier, The invention of simplicity*, Vienna – Berlin 2006 (Biedermeier 2006). ISBN 978-0-944110-89-8.

Paul RAABE – Thomas MÜLLER-BAHLKE, *Das Historische Waisenhaus, Das Hauptgebäude der Franckeschen Stiftungen zu Halle*, Halle 2005 (Waisenhaus). ISBN 3-931479-73-0.

Radim VONDRÁČEK (ed.), *Biedermeier, Umění a kultura v Českých zemích 1814–1848*, Praha 2008 (Biedermeier 2008). ISBN 978-80-7101-073-9.

Zeugen der Intimität, Privaträume der kaiserlichen Familie und des böhmischen Adels, Aquarelle und Interieurs des 19. Jahrhunderts, Schallaburg, Katalog des Niederösterreichischen Landesmuseums, Neue Folge, Nr. 408, Horn 1997 (*Zeugen der Intimität / Svědkové soukromí*). ISBN 3-85460-175-1.

METODICKÉ PUBLIKACE NÁRODNÍHO PAMÁTKOVÉHO ÚSTAVU EDICE ODBORNÉ A METODICKÉ PUBLIKACE

1. Jiří HOŠEK – Jiří Boris PELIKÁN – Václav SOKOL, *Vlhnutí zdiva historických objektů a metody dodatečné hydroizolace*, SÚPPOP, Praha 1986.
2. Marek LUKÁŠ – Věra VODĚROVÁ – Jiří VONDRA, *Údržba lidových staveb*, SÚPPOP, Praha 1986.
3. Josef HOBZEK, *Kláštery v českých zemích z hlediska památkové hodnoty*, SÚPPOP, Praha 1987.
4. Josef HOBZEK, *Vývoj památkové péče v českých zemích. Stručný nástin*, SÚPPOP, Praha 1987.
5. Marie MARŠÁKOVÁ, *Metodika inventarizačního průzkumu chráněných území*, SÚPPOP, Praha, b.d.
6. *Metodické podklady pro bilanci významných krajinných prvků ČSR v rámci národní koncepce tvorby a ochrany životního prostředí a racionálního využívání přírodních zdrojů do roku 2000*, SÚPPOP, Praha 1988.
7. Jan ČEŘOVSKÝ, *Ekologická výchova ve velkoplošných chráněných územích*, SÚPPOP, Praha, b.d.
8. Miloš SUCHOMEL, *Záchrana kamenných soch*, SÚPPOP, Praha 1988.
9. *Seminář o lidové architektuře, Plástovice 1987*, SÚPPOP, Praha 1988.
10. Jiří BELIS, *Výtvarný vývoj varhanních skříňů v Čechách*, SÚPPOP, Praha 1988.
11. Hugo ROKYTA, *J. J. Winckelmann a Čechy*, SÚPPOP, Praha 1988.
12. Max DVORÁK, *Katechismus památkové péče*, Edice MONUMENTA, sv. 1, Praha 1991.
13. Miloš SUCHOMEL, *Záchrana kamenných soch, 2. díl*, 1990.
14. Petr MACEK, *Standardní nedestruktivní stavebně historický průzkum*, SÚPP, Praha 1997.
15. Vojtěch LÁSKA – Alfréd SCHUBERT – Josef ŠTULC, *Péče o střechy historických budov*, 1997.
16. Josef ŠTULC – Miloš SUCHOMEL – Ivana MAXOVÁ, *Péče o kamenné sochařské a stavební památky*, SÚPP, Praha 1988.
17. Jan SOKOL – Tomáš DURDÍK – Josef ŠTULC, *Ochrana, údržba a stavební opravy zřícenin hradů*, SÚPP, Praha 1998.
18. Věra KUČOVÁ – Pavel BUREŠ, *Principy péče o lidové stavby*, SÚPP, Praha 1999.
19. Jarmila RADOVÁ (ed.), *Seznam nejohroženějších a nevyužívaných nemovitých památek v České republice*, SÚPP, Praha 1999.

20. Ladislav BEZDĚK – Květa KŘÍŽOVÁ – Eva LUKÁŠOVÁ – Vojtěch PÍSAŘÍK, *Barevná fotodokumentace mobiliárních fondů hradů a zámků (Metodika standardního postupu při zhotovování barevné fotodokumentace jako součásti Základní evidence mobiliárních fondů hradů a zámků)*, SÚPP, 2000.
21. Ondřej ŠEFCŮ – Jan VINAŘ – Marie PACÁKOVÁ, *Metodika ochrany dřeva*, SÚPP, Praha 2000.
22. Zdeněk NOVÁK, *Dřeviny na veřejných městských prostranstvích*, SÚPP, Praha 2001.
23. Petr MACEK, *Standardní nedestruktivní stavebně-historický průzkum*, 2. rozšířené vydání, SÚPP, Praha 2001.
24. Jarmila RADOVÁ (ed.), *Seznam nejhroženějších a nevyužívaných nemovitých památek v České republice*, SÚPP Praha, 2001.
25. Ivana KOPECKÁ a kol., *Preventivní péče o historické objekty a sbírky v nich uložené*, SÚPP, Praha 2002.
26. Jarmila RADOVÁ (ed.), *Seznam nejhroženějších a nevyužívaných nemovitých památek v České republice*, NPÚ, Praha 2003.
26. Vojtěch LÁSKA – Alfréd SCHUBERT – Miloš SOLAŘ – Josef ŠTULC, *Péče o střechy historických staveb*, NPÚ, Praha 2003.
27. Václav GIRSA – Josef HOLEČEK – Pavel JERIE – Dagmar MICHONOVÁ, *Předprojektová příprava a projektová dokumentace v procesu péče o stavební památky*, NPÚ, Praha 2004.
28. Karel KIBIC – Karel KUČA – Věra KUČOVÁ, *Novostavby v památkově chráněných sídlech*, NPÚ, Praha 2004.
29. Alfréd SCHUBERT, *Péče o historické výplně okenních a dveřních otvorů*, NPÚ, Praha 2004.
30. Jarmila RADOVÁ (ed.), *Seznam nejhroženějších a nevyužívaných nemovitých památek v České republice*, NPÚ, Praha 2005.
31. Jiří BLÁHA – Vít JESENSKÝ – Petr MACEK – Vladislav RAZÍM – Jan SOMMER, Jan VESELÝ, *Operativní průzkum a dokumentace historických staveb*, NPÚ, Praha 2005.
32. Petr KOUKAL a kol., *Péče o varhany a zvony, jejich památková ochrana*, NPÚ, Praha 2006.
33. Alfréd SCHUBERT a kol., *Péče o památkově významné venkovní komunikace*, NPÚ, Praha 2007.
34. Jiří ROHÁČEK, *Epigrafika v památkové péči*, NPÚ, Praha 2007.
35. Josef HOLEČEK – Václav GIRSA a kol., *Projektování obnovy stavebních památek*, NPÚ, Praha 2008.
36. Petr MACEK, *Barevnost fasád. Průzkum, dokumentace, vyhodnocení a obnova exteriéru historických staveb*, NPÚ, Praha 2009.

37. Věra KUČOVÁ, *Světové kulturní a přírodní dědictví UNESCO*, NPÚ, Praha 2009.
38. Marie BÁČOVÁ – Martin EBEL – Petra LESNIAKOVÁ – Alfréd SCHUBERT – Miloš SOLAŘ – Ladislav ŠPAČEK – Josef ŠTULC – Rostislav ŠVÁCHA – Petr VŠETEČKA, *Obnova okenních výplní a výkladců*, NPÚ, Praha 2010.
39. Miroslav ČERNÝ – Miloslav NĚMEČEK, *Mikroklima v historickém interiéru*, NPÚ, Praha 2011.

Pavel HÁJEK, *Metodika minimálního katalogizačního záznamu – zpracování historických knižních fondů ve správě Národního památkového ústavu pro účely zákona o účetnictví a základní principy pořizování fotodokumentace knižních sbírek (Digitalizace lokálních katalogů zámeckých knihoven pomocí systému Clavius)*, příloha *Zpráv památkové péče* 60/2009, Praha 2009.

Informace o odborné literatuře k tématu najdete v bibliografických přehledech na webové stránce Národního památkového ústavu, dostupných z této adresy:
<http://monumnet.npu.cz/knihovna/hledani.php> (roky 1994–2000)

Elektronické rejstříky knihovny ústředního pracoviště NPÚ jsou dostupné zde:
<http://www.npu.cz/npu/uop/302/cinn/knih/>

Poznámky

Poznámky



NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV
ÚSTŘEDNÍ PRACOVISŤE

Odborně metodické publikace, svazek 39

MIKROKLIMA V HISTORICKÝCH INTERIÉRECH

Miroslav Černý, Miloslav Němeček

Redakce: Jakub Hromek

Grafické zpracování: Aleš Lederer

Tisk: Tiskárna Libertas, a. s.

Vydal Národní památkový ústav, ústřední pracoviště

Valdštejské nám. 3/162, 118 01 Praha 1

v roce 2011

E-mail: redakce@up.npu.cz

www.npu.cz

Náklad: 2000 kusů

1. vydání

ISBN 978-80-87104-82-8



NÁRODNÍ
PAMÁTKOVÝ
ÚSTAV

ISBN 978-80-87104-82-8