

edice **stavitel**

# Odvlhčování staveb

2., přepracované vydání

Michael Balík a kolektiv



mokrý kniha

 GRADA®

## Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude **trestně stíháno**.

*Používání elektronické verze knihy je umožněno jen osobě, která ji legálně nabyla a jen pro její osobní a vnitřní potřeby v rozsahu stanoveném autorským zákonem. Elektronická kniha je datový soubor, který lze užívat pouze v takové formě, v jaké jej lze stáhnout s portálu. Jakékoliv neoprávněné užití elektronické knihy nebo její části, spočívající např. v kopírování, úpravách, prodeji, pronajímání, půjčování, sdělování veřejnosti nebo jakémkoliv druhu obchodování nebo neobchodního šíření je zakázáno! Zejména je zakázána jakákoliv konverze datového souboru nebo extrakce části nebo celého textu, umístování textu na servery, ze kterých je možno tento soubor dále stahovat, přitom není rozhodující, kdo takovéto sdílení umožnil. Je zakázáno sdělování údajů o uživatelském účtu jiným osobám, zasahování do technických prostředků, které chrání elektronickou knihu, případně omezují rozsah jejího užití. Uživatel také není oprávněn jakkoliv testovat, zkoušet či obcházet technické zabezpečení elektronické knihy.*





Copyright © Grada Publishing, a.s.

## ■ ODVLHČOVÁNÍ STAVEB

### 2., přepracované vydání

#### **Ing. Michael Balík, CSc.**

Ing. Lukáš Balík, Ph.D.

Ing. Karol Bayer

Ing. Martin Blaha

Doc. Ing. Eva Burgetová, CSc.

Ing. Tomáš Hoskovec

Ing. Jiří Kočí

Doc. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D.

Ing. Marek Novotný

Doc. Ing. Jaroslav Solař, Ph.D.

Ing. Pavel Šťastný, CSc.

Vydala Grada Publishing, a.s.

U Průhonu 22, Praha 7

obchod@grada.cz, www.grada.cz

tel.: +420 220 386 401, fax: +420 220 386 400

jako svou 3371. publikaci

Odpovědná redaktorka Jitka Hrubá

Sazba Jan Šístek

Fotografie na obálce z archivu autorů

Fotografie a grafické přílohy v textu z archivu autorů

Počet stran 312

První vydání, Praha 2008

Vytiskla tiskárna FINIDR s.r.o.,

Lipová č.p.1965, 737 01 Český Těšín

© Grada Publishing, a.s., 2008

Cover Design © Eva Hradiláková, 2008

*Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků.*

ISBN 978-80-247-2693-9 (tištěná verze)

ISBN 978-80-247-6985-1 (elektronická verze ve formátu PDF)

© Grada Publishing, a.s. 2011

# ■ Obsah

Úvod .....	9
<b>1 Oblasti spodní stavby porušované vlhkostí .....</b>	<b>11</b>
1.1 Povrchy .....	11
1.2 Svislé konstrukce, stropy, klenby, podlahy .....	13
1.2.1 Zdivo svislé, obvodové a nosné výplňové .....	13
1.2.2 Stropy a klenby .....	13
1.3 Vnitřní prostředí .....	14
1.3.1 Zdroje vlhkosti .....	14
1.3.2 Důsledky změn vlhkostních parametrů vnitřního prostředí .....	18
1.3.3 Předpisy a požadavky .....	21
1.3.4 Větrání a kvalita vnitřního prostředí .....	24
<b>2 Příčiny poruch .....</b>	<b>30</b>
2.1 Závady stavební, nevhodné úpravy .....	31
2.2 Stavební hmoty a jejich vlhkost .....	32
2.2.1 Smáčivost, nasákavost .....	32
2.2.2 Porozita .....	34
2.2.3 Mrazuvzdornost .....	35
2.2.4 Odolnost vůči krystalizaci solí .....	35
2.2.5 Rozpustnost, vyluhování .....	36
<b>3 Voda v konstrukcích, vlhkost .....</b>	<b>37</b>
3.1 Vlhkost, její veličiny a vztahy .....	37
3.2 Transport vody a vlhkosti v porézních materiálech .....	38
3.2.1 Difuze .....	38
3.2.2 Kapilární vedení vlhkosti .....	41
3.2.4 Kapilární kondenzace .....	44
3.2.4 Povrchová kondenzace .....	44
3.2.5 Sorpce .....	45
3.2.6 Vysychání .....	45
3.3 Zdroje zvýšené vlhkosti .....	47
<b>4 Vodorozpuštěné soli v konstrukcích .....</b>	<b>51</b>
4.1 Zdroje a mechanismy působení vodorozpuštěných solí .....	51
4.1.1 Zdroje solí .....	51
4.1.2 Mechanismus působení solí .....	54
4.2 Důsledky vlivu vodorozpuštěných solí .....	56
4.3 Výkvěty a výluhy .....	57
<b>5 Biokoroze stavebních materiálů .....</b>	<b>60</b>
5.1 Průzkum .....	60
5.2 Souvislosti vlivu plísní se životním prostředím .....	61

<b>6</b>	<b>Souvislosti vlhkosti stavebních materiálů se statikou budov</b>	<b>64</b>
6.1	Vliv vlhkosti na mechanicko-fyzikální vlastnosti materiálů	65
6.2	Posuzování statické spolehlivosti konstrukcí z hlediska vlhkosti	69
6.2.1	Získání výchozích podkladů	69
6.2.2	Trhliny	71
6.2.3	Posuzování zděných konstrukcí	76
<b>7</b>	<b>Podklady nutné pro odvlhčovací návrhy</b>	<b>81</b>
7.1	Místní šetření na stavbě	81
7.2	Zjišťování hmotnostního obsahu vody v konstrukcích – vlhkostní průzkum	82
7.2.1	Klasifikace vlhkosti	82
7.2.2	Metody měření vlhkosti	83
7.3	Informace o podzáklaď a vlastnostech okolního terénu	90
7.4	Průzkumy salinity	90
7.5	Průzkumy z hlediska biokoroze	90
7.6	Průzkumy archivní	90
7.7	Podrobnosti a formy vyhodnocení průzkumů	91
<b>8</b>	<b>Způsoby snížení vlhkosti konstrukcí</b>	<b>99</b>
8.1	Vzduchové izolační systémy	108
8.1.1	Vzduchové dutiny stěnové	111
8.1.2	Konstrukční zásady pro návrh stěnových vzduchových dutin	122
8.1.3	Podlahové vzduchové dutiny	134
8.1.4	Ostatní vzduchové systémy	145
8.2	Dodatečné bariéry ve zdivu	156
8.2.1	Chemické metody	156
8.2.2	Mechanické metody aplikace dodatečných izolací	177
8.3	Jílové izolace	184
8.4	Metody elektroosmotické	192
8.4.1	Elektroosmóza	194
8.4.2	Elektrolýza	201
8.4.3	Druhy elektroosmotických metod	203
8.4.5	Příklady praktického návrhu elektroosmotického systému	211
8.5	Plošné izolace	217
8.5.1	Systémy a materiály vodotěsných izolací	220
8.5.2	Spodní stavba	221
8.5.3	Technologie provádění izolačních systémů	229
8.5.4	Konstrukční řešení detailů vodotěsných izolací	231
8.6	Povlaky, konzervační a hydrofobizační úpravy	235
8.6.1	Nátěry omítek a zdiva	235
8.6.2	Zpevňující prostředky	241
8.6.3	Hydrofobizační prostředky	243
8.7	Omítky	247
8.7.1	Základní dělení	247
8.7.2	Omítky vnitřně hydrofobizované	248
8.3.7	Omítky na historických objektech	253

---

<b>9 Ochrana vlhkého zdiva proti plynům</b> . . . . .	<b>255</b>
9.1 Sanace vlhkého zdiva a ochrana proti radonu . . . . .	255
9.2 Sanace vlhkého zdiva a ochrana proti metanu . . . . .	256
<b>10 Odsolování zdiva</b> . . . . .	<b>261</b>
10.1 Opatření proti vlivu vodorozpustných solí . . . . .	261
10.1.1 Redukce obsahu solí . . . . .	262
10.1.2 Používání materiálů odolných vůči působení solí . . . . .	265
<b>11 Snižování vlhkosti prostředí</b> . . . . .	<b>266</b>
11.1 Účinek na základě ohřívání a větrání . . . . .	266
11.2 Odvlhčování na principu adsorpce . . . . .	267
11.3 Odvlhčování pomocí kondenzace . . . . .	268
<b>12 Sanační návrhy z hlediska památkové ochrany</b> . . . . .	<b>270</b>
<b>13 Odvlhčovací návrhy v příkladech, variantách</b> . . . . .	<b>274</b>
<b>Slovníček vybraných pojmů</b> . . . . .	<b>289</b>
<b>Výběrový seznam odborné literatury</b> . . . . .	<b>301</b>
<b>O autorech</b> . . . . .	<b>306</b>

**Motto:**

*„...Je-li však některá stěna provlhá úplně, postaví se v malém odstupu od ní druhá tenká stěna vzdálená od první o tolik, kolik poměry dovolí. Mezi oběma stěnami se vede o něco pod úroveň místnosti žlábek s otvory do volného prostoru. Po postavení této stěny až do její výšky se (v ní) ponechají průduchy (také nahoře). Nebude-li totiž vlhkost míti odvodu otvory jak nahoře tak i dole, rozšíří se i v novém zdivu... Není-li však pro nedostatek místa možno postavit takovouto druhou zeď, zídí se stružky, jejichž otvory musejí ústíti na volné prostranství. Pak se položí dvoustopové střešní krytinové cihly s jedné strany na okraj stružky. S druhé strany se pod ně podezdí z malých cihel pilířky, na nichž mohou svými rohy seděti 2 krytinové cihly, které mají odstupovati ode zdi tak, aby nenechávaly více volnosti než na šířku dlaně. Ke stěně nad tím se upevní odspodu až po hořejšek svísele postavené bradavkové cihly (tegula mammata), jejichž vnitřní strana se musí pozorně vysmoliti, aby se do nich nemohla dostatí vlhkost. Také zde je třeba zařídití průduchy naspodu i zcela nahoře nad stropním zaklenutím...“*

(Alberti: Deset knih o stavitelství)



## ■ Úvod

Prostorová vlhkost a vlhkost zdiva budov jsou základními problémy, které spolu se statikou ovlivňují rozhodování majitelů (investorů) o způsobech a rozsahu rekonstrukce. V posledních letech je to také problém kvality novostaveb, které velmi často není možné z důvodu vlhkosti zdiva zkolaudovat.

Návrhy způsobů dodatečného snižování vlhkosti se časem poněkud oddělily od běžného projektového stavitelství a staly se, alespoň v komplikovaných případech, samostatnou projektově-stavební specializací. Kvalitu návrhů by měly také zajistit platné normy, které jsou závazné. Situace se poněkud znepréhledňuje stále novými sanačními metodami, které se objevují na stavebním trhu, zároveň s novými realizačními organizacemi.

Cílem publikace je podrobná orientace v daném problému, v možnostech snižování vlhkosti zdiva, prostor a domů. Je určena projektantům, majitelům domů a investorům. Kniha může být i doplňkem studia na středních a vysokých školách. Její těžiště je v reálných komplexních návrzích sanace, s podrobnou charakteristikou, vytipováním kladů a záporů navržené dominantní metody, které vychází z dlouholetých zkušeností. Kniha o odvlhčování navazuje svým zaměřením a rozsahem na řadu knih dřívějších, které bylo třeba doplnit a aktualizovat (jsou součástí uvedené literatury).

Řešit snížení vlhkosti konstrukcí bez respektování příčin poruch je předem navrženou vadou. Takto navržené metody, často zvolené libovolně, jsou neúplné a přestože mohou dočasně splnit zadání, tj. zajistit suché povrchy, vyvolávají další vážné poruchy konstrukcí. Při výběru odvlhčovacího opatření je třeba brát v úvahu jeho nadřazenost oproti úpravám vedlejším. Rovněž je třeba rozhodnout, které problémy staveb jsou celkové a které pouze lokální. Jejich záměna je podstatným omylem, který vede ke ztrátě odborné orientace v poruchách způsobených vlhkostí. Poznání celého řetězce vztahů příčin poruch je při sanačním návrhu základním krokem.

Autoři knihy jsou ve svých oborech specialisty a jejich jednotlivé kapitoly se navzájem překrývají a doplňují. Stylizace a částečně i řazení textů jsou samozřejmě ovlivněny jejich subjektivním pohledem.

Významnou částí knihy jsou podklady grafické, které byly obětavě a profesionálně zpracovány dalšími spolupracovníky. Děkujeme! Jsou to: Jitka Kůželová, Ing. Miroslav Čivrný, Ing. Michal Humal, Ing. Veronika Jarošíková, Ing. Kristina Vavrušková a Ing. Karel Macek. Za zpracování výpočtů v programu ANSYS děkujeme Doc. Ing. Milošovi Kalouskovi.

Za pečlivou a přínosnou práci, bych rád poděkoval doc. Ing. Tomáši Klečkoví, CSc., řediteli Kloknerova ústavu ČVUT v Praze, který se ujal úkolu pročtení celého rukopisu jako recenzent a vnesl řadu podnětných poznámek a připomínek.

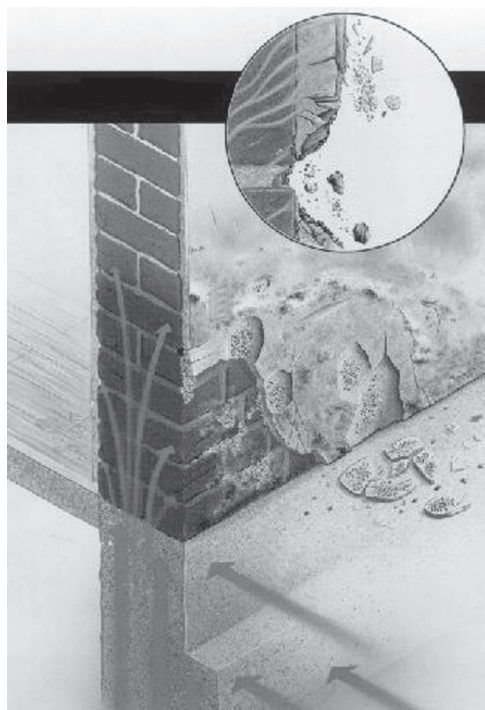
# 1 Oblasti spodní stavby porušované vlhkostí

Poruchy konstrukcí, jejichž příčinou je vysoká vlhkost, salinita a další s ní související vlivy, ovlivňují jejich životnost a zásadně možnosti využívání prostor. Degradující omítky jsou nejčastěji důsledkem vlhkosti konstrukcí. V další charakteristice se neberou v úvahu problémy, které jsou spojeny s volným zatékáním vody, jako například poruchy instalací, dešťových svodů, vadných stavebních detailů apod.

## 1.1 Povrchy

Prvním příznakem problémů s vlhkostí bývá obvykle estetická porucha na povrchu stěny, odlupování nátěru nebo narušení omítky (obr. 1.1 a obr. 1.2).

Pro základní rozlišení povrchové úpravy a schopnosti odolávat zatížení vlhkostí a vodou rozděluje zahraniční norma DIN omítky dle jejich kapilární nasákavosti (tab. 1.1).



**Obr. 1.1** Mechanismus narušení omítky vztlínající zemní vlhkostí (vztlínající vlhkost zavlhčuje omítku, zóna odpařování je na povrchu omítky, krystalizující soli narušují postupně povrch omítky i zdíva)

Toto rozlišení může pomoci se správnou volbou omítky z hlediska jejího zatížení vlhkostí z vnější strany, nepopisuje však vlastnosti omítky z hlediska její odolnosti proti vztlínající zemní vlhkosti. V praxi je právě vztlínající zemní vlhkost nejčastější příčinou poruch spodní stavby.

Z tohoto důvodu je nutno rozlišovat kromě vodoodpudivosti povrchové úpravy ještě další vlastnosti omítek, především jejich difuzní odpor a pórovitost. Z tabulky 1.1 je patrná shodná vodoodpudivost tvrdé soklové omítky a porézní sanační omítky. Nesprávné použití



**Obr. 1.2** Příklad působení vztlínající zemní vlhkosti

## 12 Oblasti spodní stavby porušované vlhkostí

soklové omítky, která je nedostatečně paropropustná, vede u vztlínající vlhkostí zatíženého zdiva k zásadnímu zhoršení stavu vlhkosti v celé konstrukci. Extrémem jsou ještě dnes občas prováděné obklady vlhkého zdiva nepropustným keramickým obkladem.

Rozhodující pro úspěšnou volbu povrchové úpravy vlhké konstrukce je tedy analýza příčin vlhkosti a správně navržená omítka z hlediska jejích vlastností i technologické skladby.

**Tab. 1.1** Druhy omítek a jejich kapilární nasákavost

Druh omítky	Kapilární nasákavost [kg/m <sup>2</sup> ]	Po čase [min]
Jádrová omítka: <ul style="list-style-type: none"><li>• průmyslově vyrobená omítková směs;</li><li>• hydrofobizovaná průmyslově vyrobená omítková směs</li></ul>	≥2 ≤2	30 30
Lehčená jádrová omítka	≥2	30
Tepelně izolační omítka s lehkými organickými přísadami	≤2	120
Tepelně izolační omítka s minerálními lehkými přísadami	≤2	120
Soklová jádrová omítka (v soklové oblasti)	≤1	120
Pórovitá jádrová omítka	≥2	30
Sanační omítka	≤1	120
Jednovrstvá venkovní omítka	≤2	30

**Tab. 1.2** Druhy omítek – jejich použití v souvislosti s vlhkostí

Druh omítky	Správné použití
Standardní omítky: <ul style="list-style-type: none"><li>• běžná jádrová omítka štukovaná;</li><li>• hydrofobizovaná omítková směs</li></ul>	interiéry nezatížené vlhkostí exteriér, běžné fasády
Tepelně izolační omítka	obvykle exteriér, nutno hydrofobizovat nátěrem
Soklová jádrová omítka (v soklové oblasti)	u exponovaných komunikací
Sanační omítka	zdivo zatížené vztlínající zemní vlhkostí
Izolační omítka	vnější strana zdiva zatíženého vlhkostí z terénu
Izolační stěrka	jako izolační omítka, nutný rovný podklad, speciální prostory (nádrže, bazény apod.)
Vápenná omítka	interiéry, prostory s častou kondenzací vlhkosti (koupelny), omítky dobře „dýchají“
Hliněná omítka	interiér, výrazně reguluje vlhkost vzduchu

## ■ 1.2 Svislé konstrukce, stropy, klenby, podlahy

### ■ 1.2.1 Zdivo svislé, obvodové a nosné výplňové

**Zdivo svislé, obvodové a nosné výplňové** (částečně i zdivo příček) je namáháno zejména vlhkostí:

- vzlínající do zdiva z podzákladí;
- pronikající do zdiva z oblastí, kde je voda naakumulována (terény, dvory, chodníky apod.);
- na povrchu zdiva kondenzující vlivem jeho tepelně technických vlastností a nedostačným a nevhodným pohybem vzduchu a jeho kvalitou (větráním).

Na zdivu se projevují klasické vlhkostní mapy, jejichž charakter je směrodatný pro určení převažujícího vlivu. Vlhkost a salinita způsobují často postupný hloubkový rozpad zdiva. Postupně degraduje vždy nejdříve mechanicky „měkčí“ materiál. U zdiva kamenného (mimo jemnozrnného pískovce, vápence, opuky apod.), kde záleží na kvalitě ložné skladby, se tedy vesměs nejdříve vysypávají spáry. Cihelné zdivo se často chová opačně a mnohdy zůstávají pouze rastry například cementových spár.

Tvar vlhkostních map má své zákonitosti v souvislosti s druhem převažujícího vlivu. Je-li hlavní příčinou poruch **voda vzlínající z podzákladí**, zvyšuje se úroveň vlhkostních map vždy:

- v oblastech styku obvodových zdí a nosných středních zdí;
- v koutech podél obvodu;
- v místech schodišťových těles a výtahových šachet.

U převažující **vlhkosti, která vniká do konstrukce z boků**, lze pozorovat:

- nejvyšší vlhkost v hloubce cca 0,5–0,7 m pod úrovní terénu;
- kolísání hmotnostní vlhkosti v souvislosti s atmosférickými vlivy;
- na středních zdech kolmo situovaných k obvodu tvorbu vlhkostní mapy ve tvaru trojúhelníku, jehož přepona klesá směrem do středu domu.

**U kondenzující vlhkosti**, pokud je hlavní příčinou poruch, se objevují viditelné, nepravidelně ohraničené vlhkostní mapy:

- zdánlivě nelogicky, na různých místech v ploše zdi, často i vysoko nad „suchou“ oblastí. Takové poruchy jsou dokladem různého stavebního materiálu použitého ke zdění. Na blocích kamene, který má velkou tepelnou akumulaci nebo vytváří tepelný most, se kondenzující vlhkost projevuje nejdříve;
- v horních koutech místností a v oblastech s možností vzniku tepelných mostů – u oken, dveří apod.

### ■ 1.2.2 Stropy a klenby

Hlavní vlivy, které způsobují poruchy horizontálních konstrukcí, které nesouvisí přímo s terénem, jsou vysoká hmotnostní vlhkost svislých konstrukcí, vlastnosti stavebního materiálu a prostorová relativní vlhkost v místnostech pod nimi.

## 14 Oblasti spodní stavby porušované vlhkostí

---

Vlhkost se do stropů a kleneb dostává tedy přímým kontaktem se zvlhlou zdí a přestupem vodní páry z prostorů. U kleneb se vzhledem k často velké konstrukční výšce v oblasti patek může vlhkost shromažďovat dlouhodobě. K tomuto stavu negativně přispívají mokré stavební procesy při rekonstrukci.

### **Stropy a klenby bývají viditelně zvlhlé:**

- v místech kontaktu stropů s obvodovými stěnami;
- v patkách kleneb;
- ve vrstvách pod nášlapnými vrstvami podlah.

Dobře izolované podlahy nad nimi jsou důvodem pro radikální zhoršování vlhkostního stavu celé skladby.

**Podlahové vrstvy v kontaktu s terénem** se často vlhkostí vzdouvají, eventuálně se rozpadají hnilobou (dřevěné). Vytvářejí se podmínky pro výskyt plísní a hub.

Důvody tohoto stavu jsou:

- vysoká vlhkost zeminy v podzákladí, eventuálně blízkost vody;
- poruchy nebo nevhodný typ plošné hydroizolace;
- nedokonalé izolační spojení vodorovné podlahové izolace s izolací zdí;
- absence izolace nosných zdí;
- izolace nosných zdí a skladba podlah bez izolace.

Ve všech výše jmenovaných případech byla některá část systému „dokonalé hydroizolační vany“ podceněna nebo dokonce vynechána.

Při vytváření koncepce dodatečného hydroizolačního systému je nutné si položit zásadní otázku: „Je třeba podlahy izolovat proti vodě v případě, že ani zdivo izolováno není?“. Jak velké úpravy v dispozici, provozu, eventuálně v typu nášlapných vrstev by to znamenalo? Tato otázka často projektanta překvapí a záleží na technických argumentech, které by ho mohly vést k návrhům skladby podlah bez hydroizolace. Za dobrou izolaci lze považovat i vytvoření podkladního dutinového celoplošného systému.

## ■ 1.3 Vnitřní prostředí

*„Lidé, kteří se těší podnebí čistšímu, vynikají duševně nad ty, kdo žijí v ovzduší hustém a vlhkém.“*

*(Alberti, Deset knih o stavitelství)*

### ■ 1.3.1 Zdroje vlhkosti

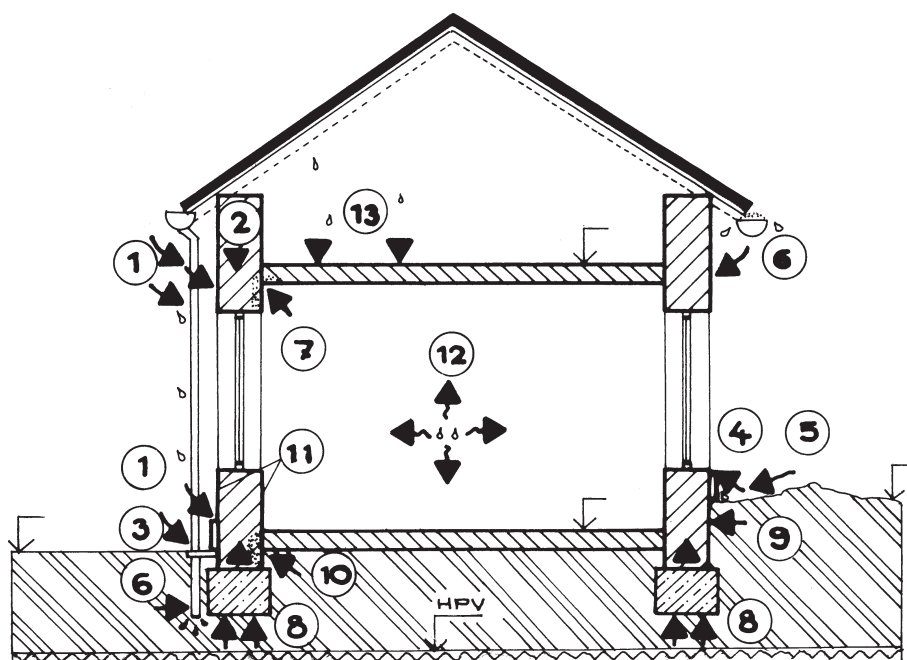
#### **Vlhkost v konstrukcích**

Vlhkost je nedílnou součástí prakticky všech pórovitých stavebních látek a z nich vytvářených konstrukcí. Určité množství vlhkosti v konstrukcích nemusí být pro stavbu samu na obtíž a z hlediska vnitřního mikroklimatu v budovách může být i pozitivním faktorem. Obtížnou

se však vlhkost stává v situacích, kdy dochází k jejímu hromadění v určitých místech konstrukce, kde pak iniciuje degradační procesy a zhoršuje užitné vlastnosti konstrukce a může být i příčinou snížené funkčnosti a spolehlivosti stavebního díla.

U objektů, kde vytváříme vnitřní klima nezávislé na proměnách vnějšího prostředí, dochází k rozdílům vlhkosti vzduchu, resp. teplot v exteriéru a v interiéru. Směr pohybu vodní páry je dán snahou po vyrovnání těchto rozdílů – z prostoru s vyšším parciálním tlakem do prostoru s nižším parciálním tlakem. Vzniká tak tok vodní páry (difuze) a tok tepla obalovými konstrukcemi. Protože vzniku uvedených rozdílů nelze zabránit (budova by ztratila příslušné požadované parametry vnitřního mikroklimatu) je nutné vždy hledat cestu a způsoby, jak vodní páře umožnit snadný přechod do atmosféry a rizikový faktor kondenzace vody uvnitř zdiva tak vyloučit, tzn. zabezpečit konstrukčním řešením stav, kdy v celoroční bilanci je množství zkondenzované vodní páry menší než množství vodní páry, která je schopna se z konstrukce odpařit (kapacita odparu).

Z hlediska vlhkosti jsou nejvíce namáhány suterénní konstrukce objektů s nefunkčním nebo neexistujícím hydroizolačním systémem, do kterých se vlhkost dostává vztlínáním nebo difuzí vodní páry z podzákladí. V tomto případě vodní pára ve zdivu kondenzuje a je kapilárními



**Obr. 1.3** Příčiny vlhnutí zdiva

1 – dešťová voda pronikající z boku, stékající po povrchu zdiva; 2 – volná voda pronikající stavebními vadami; 3 – volná voda vnikající do zdiva špatným stavebním detailem; 4 – voda odstříkující; 5 – voda stékající volně po povrchu; 6 – špatný stav instalací dešťových svodů; 7 – kondenzace v místech nedostatečné tepelné izolace; 8 – voda vztlínající z podzákladí; 9 – voda vnikající do zdiva z boků; 10 – s vodou do konstrukce pronikají i rozpustné soli; 11 – voda hygroscopická; 12 – zvyšování vlhkosti v interiéru; 13 – stavební vlhkost vnášená mokřými procesy

## 16 Oblasti spodní stavby porušované vlhkostí

silami transportována do nadzákladových částí zdiva. Tyto konstrukce jsou pak zdrojem zvýšené vlhkosti.

### Vlhkost vnitřního prostředí

Stav vnitřního prostředí a jeho složky lze popsat řadou fyzikálních veličin, které jsou uvedeny v následující tabulce 1.3.

**Tab. 1.3** Přehled složek vnitřního prostředí a jejich fyzikálních veličin [3]

Interní mikroklima	Základní veličiny	Charakter	Zdroje
Tepelně vlhkostní	Teplota (°C), vlhkost vzduchu absolutní (g/m <sup>3</sup> ) a relativní (%)	Teplo, vodní pára	Lidé, technologie
Mikrobiální	Koncentrace mikroorganismů (1/m <sup>3</sup> )	Mikroorganismy ve vzduchu	Lidé, flóra a fauna
Toxické	Koncentrace toxických látek (mg/m <sup>3</sup> )	Rozptýlené plynné škodliviny ve vzduchu	Spalování, oxidy uhlíku a dusíku
Oděrové	Koncentrace plynných látek (mg/m <sup>3</sup> , p. p. m.)	Vůně, zápach	Kosmetika, cigarety
Aerosolové	Koncentrace aerosolů (mg/m <sup>3</sup> )	Rozptýlené pevné a kapalné škodliviny ve vzduchu	Prach, aplikace nátěrů
Elektrostatické	Elektrostatický náboj (V)	Statická elektřina	Dynamický styk a oddělování pevných částic
Akustické	Hladina akustického tlaku (dB)	Hluk	Lidé, zařízení, technologie

Z uvedeného přehledu složek vnitřního prostředí je dále analyzována tepelně vlhkostní a mikrobiální problematika.

### Příčiny zvýšené vlhkosti v budovách

Možné příčiny zvýšené vlhkosti:

- nedostatečná údržba (zanesení drenáže, dešťových svodů a okapů, zatékání poškozenou krytinou, komínovými průduchy nebo klempířskými prvky),
- změna provozních parametrů vzduchu uvnitř objektu (zvýšení relativní vlhkosti vzduchu a teploty), kde nejsou stávající konstrukce pro tyto účely dimenzovány,
- změna užívání objektu,
- změna systému vytápění,
- nevhodné stavební zásahy (zazdění větracích průduchů, dodatečné použití nepropustných materiálů na vnějším líci zdiva znemožňujících difuzi vodních par, např. keramické obklady, cementové omítky, parotěsné podlahy apod.),
- změna hydrogeologických podmínek – zvýšení hladiny podzemní vody.

### Povrchová kondenzace

Při dané teplotě je vzduch schopen pohltit jen určité omezené množství vodní páry. Při poklesu teploty pod teplotu rosného bodu – která je funkcí teploty a relativní vlhkosti vzduchu – adekvátní množství vodní páry okamžitě zkondenzuje.

Příčinou vzniku povrchové kondenzace jsou změny teplotního a vlhkostního režimu vzduchu v místnosti, které jsou výsledkem v ní probíhajících procesů (vytápění, větrání a další využívání).

Množství produkované vlhkosti v objektu může být velmi rozdílné, podle druhu činnosti. Pro průměrný byt může celková produkce vodní páry dosáhnout 10–15 kg za den. Zvýšenou vlhkost vnitřního vzduchu podporuje nevhodný režim vytápění, nepříznivá expozice místností, případně lokální zdroje vlhkosti (akvária, pěstování květin, nefunkční ventilace v kuchyni nebo koupelně apod.).

**Tab. 1.4** Zdroje vlhkosti v budovách

Zdroj vlhkosti	Množství vlhkosti (g/h)
Člověk	50 – 300
Koupelna	700 – 2600
Kuchyně	600 – 1500
Sušárna	200 – 500

Kondenzaci vody na vnitřním povrchu stavebních konstrukcí ovlivňují rovněž změny povětrnostních podmínek v různých ročních obdobích:

- v zimním období dochází ke kondenzaci na konstrukcích, které nejsou dostatečně izolovány (tepelné mosty v místech koutů, štitových stěn, střešního pláště, nadpraží apod.);
- na jaře a v první polovině léta nastává tato situace často v nevytápěných masivních budovách (např. kostely, zámky) na chladných konstrukcích s vysokou tepelnou akumulací. V tomto období je budova stále ještě velmi chladná, resp. výrazně chladnější než okolní atmosféra, a v důsledku toho při větrání vlhkost obsažená ve venkovním vzduchu kondenzuje na chladném povrchu stěn.

**Tab. 1.5** Rosný bod [5]

Teplota vzduchu [°C]	-20	-10	0	+10	+20	+30
Max. obsah vodní páry ve vzduchu [gm <sup>-3</sup> ]	0,9	2,2	4,8	9,1	17,3	30,3

**Tab. 1.6** Obsah vlhkosti ve vzduchu v závislosti na relativní vlhkosti [5]

Relativní vlhkost (%)	Množství vodní páry ve vzduchu (gm <sup>-3</sup> ) při teplotě vzduchu (°C)					
	-20	-10	0	+10	+20	+30
30	0,30	0,7	1,4	2,8	5,2	9
40	0,35	0,9	1,9	3,8	6,9	12
50	0,45	1,1	2,4	4,7	8,7	15
60	0,54	1,3	2,9	5,6	10,0	18
70	0,63	1,5	3,4	6,6	12,0	21



## 18 Oblasti spodní stavby porušované vlhkostí

Opatření pro zamezení vzniku povrchové kondenzace předpokládá:

- zajistit řádné vytápění místností v zimním období;
- zajistit relativní vlhkost vzduchu v bytových prostorách pod 50 %;
- ze strany uživatelů bytu zajistit nezbytné větrání bytových prostor okny;
- na maximální možnou míru omezit produkci vlhkosti v bytě;
- lokální zdroje vývinu par je nutné zajistit lokální ventilací;
- není vhodné umísťovat nábytek těsně ke stěnám, naopak mezi nábytkem a stěnou by měla být pro volné proudění vzduchu ponechána mezera alespoň 50 mm;
- v době na počátku užívání budovy zvýšit intenzitu výměny vzduchu a vytápění.



**Obr. 1.4** Povrchová kondenzace s výskytem plísní v místě tepelně poddimenzovaného překladu



**Obr. 1.5** Typickým projevem povrchové kondenzace je orosování povrchů konstrukcí, v tomto případě „obkreslování“ rozvodů studené vody s následným výskytem plísně

### ■ 1.3.2 Důsledky změn vlhkostních parametrů vnitřního prostředí

#### Degradace stavebního materiálu

Hromadění vlhkosti vzniklé v důsledku kondenzace v určitých místech konstrukce vyvolává výskyt plísní a degradační procesy, které způsobují rozpad omítkových vrstev, rozpad pojiva, povrchové narušení a rozpad cihel a kamene a řadu dalších poruch.

V případě silně zavlhlých konstrukcí dochází v jejich struktuře k vysoké saturaci kapilár a pórů. Důsledkem tohoto jevu je vyšší tepelná vodivost stavebních materiálů a intenzivnější prostup tepla. Tím dochází ke značným tepelným ztrátám.

Zvýšená vlhkost je příčinou hniloby zabudovaných dřevěných konstrukcí.

V budovách dochází v důsledku zvýšené vlhkosti k poškození uměleckých předmětů (v historických objektech nástěnných maleb), které jsou ve vlhkém prostředí umístěny.

Na druhé straně však vysušení zdiva nemusí zákonitě vést ke zlepšení jeho pevnostních charakteristik. Velmi nízké hodnoty vlhkosti vzduchu způsobují při delší expozici smršťování hmoty vysycháním vlhkosti z její struktury, což může vést ke vzniku trhlin a k rozpadu stavebních materiálů (zejména opuky). Přesušováním konstrukce dochází u neomítnutého

opukového zdiva k drolení a rozpadu pojiva a tzv. prášení opuky. S tím se lze setkat zejména při novém využívání suterénních prostor v historických budovách.

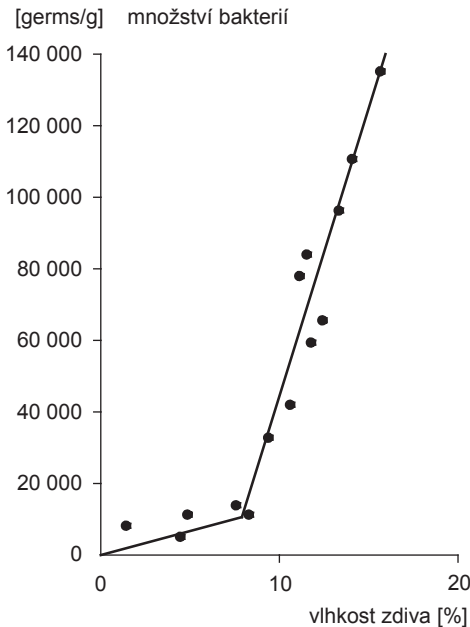
## Biologické znehodnocení staveb

Déle trvající zvýšená relativní vlhkost vnitřního ovzduší v místnostech má za následek rozvoj mikroorganismů vegetujících na vlhkém povrchu stavebních konstrukcí.

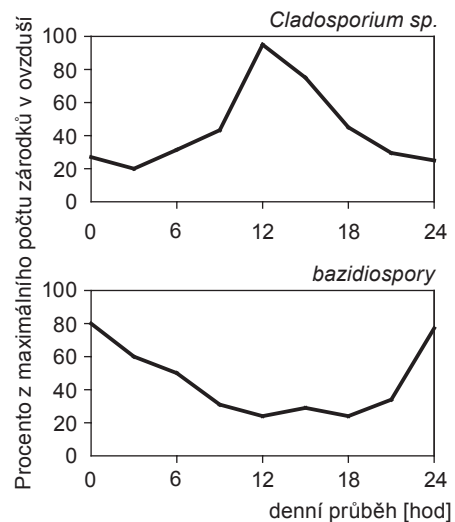
Spory plísní jsou přítomny ve vzduchu stále. Vytvoříme-li optimální podmínky pro jejich růst, projeví se to okamžitě na rozvoji jejich výskytu. S ohledem na rozvoj mikroflóry je možné považovat za rizikové podmínky relativní vlhkost ovzduší nad 80 % a vlhkost omítek přesahující 4 %. Mikromycety (plísně) klíčí i při relativní vlhkosti vzduchu 60 %, ovšem aktivní růst provázený tvorbou metabolitů a produkcí  $\text{CO}_2$  je zřejmý až při  $\varphi_i = 75$  až 80 % a vrcholí při relativní vlhkosti vzduchu blízké 100 %. U většiny mikromycet dochází při  $\varphi_i = 100$  % k poklesu růstu, pravděpodobně díky vrstvičce vody na povrchu konstrukce, která znesnadňuje přístup kyslíku.

K růstu mikrobů může dojít i tehdy, když je okolní prostředí suché. Mikromycetám stačí pro vývoj velmi krátké období navlhnutí, aby fruktifikací dokončily vývoj a přilehlý prostor zamořily zárodky. To je také jeden z důvodů, proč se nedaří nalézt přímý vztah mezi počtem zárodků a vlhkostí stavební konstrukce.

Obsah vlhkosti hraje významnou úlohu i při kolísání relativní vlhkosti vzduchu  $\varphi_i$  během dne. Mikroklimatická vrstva, tzv. mezní vrstva v těsné blízkosti povrchu konstrukce, umož-

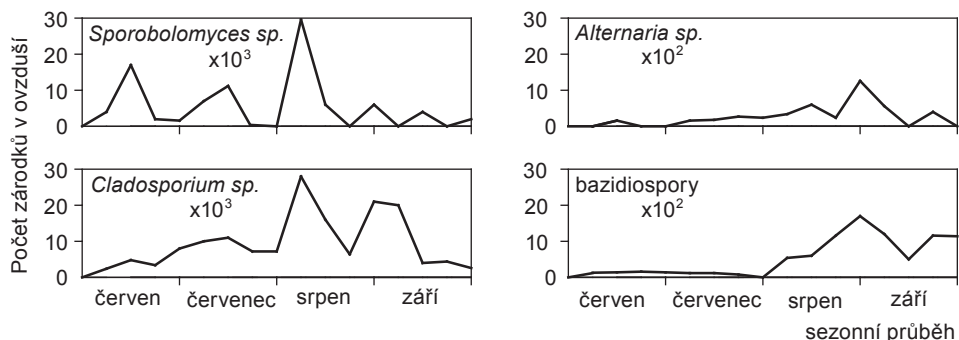


**Obr. 1.6** Závislost celkového počtu bakterií na vlhkosti zdiva [2]



**Obr. 1.7** Denní variace spor mikromycet a bazidiospor [2]

## 20 Oblasti spodní stavby porušované vlhkostí



**Obr. 1.8** Sezónní průběh výskytu spor některých mikromycet typický pro stavební objekty [2]

ňuje plísním překonat nepříznivý vliv případné nižší relativní vlhkosti vzduchu během dne (např. při větrání). Kompenzace vlhkosti závisí na tloušťce stavebního materiálu a rychlosti transportu vody k jeho povrchu.

Pro posouzení rozvoje plísní na stavebních konstrukcích je důležité zjištění, že plísně vyžadují pro růst stabilní hladinu vlhkosti (nejčastěji 80 % a více). Velký vlhkostní spád mezi navlhlym materiálem a okolním sušším ovzduším růst plísní brzdí. Zároveň je nutné uvést, že k růstu plísní na stavební konstrukci dojde až poté, kdy se ustálí rovnováha mezi okolní vlhkostí a konstrukcí. Jestliže není tvorba vlhkostního pole dotována např. kondenzací, dojde i při vysoké  $\varphi_i$  k nárůstu mikromycet za velmi dlouhou dobu (řádově týdny až měsíce). Naopak při stabilní i když nižší vlhkosti (80 až 90 %) může dojít k růstu plísní za skříněmi, na stěnách krytých záclonami apod.

V důsledku povrchové kondenzace se na stěnách bytů vyskytuje bohatá mikroflóra rodů *Aspergillus*, *Penicillium* a *Cladosporium*, které patří mezi potenciálně patogenní. Tyto plísně jsou také nejčastější příčinou vzniku alergických příznaků u osob, které plísněmi napadené byty obývají. Od jara do podzimu je množství plísňových zárodků v bytech menší než množství spor mikromycet v okolním ovzduší. V zimě je naopak množství zárodků v bytových objektech větší.

Delší pobyt lidí v takovýchto místnostech je z hygienického hlediska nepřijatelný a vyvolává akutní poruchy zdraví. U citlivých jedinců může způsobit nespecifické zdravotní potíže např. alergické rýmy, alergické astma, onemocnění dýchacích cest, kožní mykózy, kloubový revmatismus, svalové bolesti, celkovou malátnost aj.

Z obrázku 1.8 jsou patrná denní a sezónní období vrcholné aktivity růstu mikroorganismů. Z hlediska kvality vnitřního mikroklimatu je třeba v období s maximálním výskytem spor (s ohledem jak na denní tak roční cyklus) zajistit co nejvyšší možnou intenzitu větrání.

Požadavky na kvalitu vnitřního prostředí staveb, s výjimkou prostorů vyžadujících zvýšené nároky na čistotu, se pokládají za splněné, nepřekročí-li koncentrace bakterií 500 kolonie tvořících jednotek na 1 m<sup>3</sup> (KTJ.m<sup>-3</sup> vzduchu) a není-li koncentrace plísní vyšší než 500 KTJ.m<sup>-3</sup> vzduchu při stanovení koncentrace mikroorganismů aktivním nasáváním [7].

**Tab. 1.7** Koncentrace spor mikromycet v ovzduší bytů (CFU/m<sup>3</sup>) v závislosti na velikosti plochy porostlé plísněmi [2]

Velikost plochy porostlé plísněmi (m <sup>2</sup> )	Koncentrace spor mikromycet v ovzduší bytů (CFU/m <sup>3</sup> )
0	95 – 125
0,1–0,5	580 – 970
0,6–2,0	1030 – 1520
2,1–4,5	9230 – 13 230

### ■ 1.3.3 Předpisy a požadavky

Hodnoty veličin stavu vnitřního prostředí se odvozují z energetické bilance lidského organismu a z fyziologicky optimálních a přípustných klimatických podmínek pro pobyt a činnost lidí v budovách. Aktuálními kritérii tvorby vnitřního prostředí se stávají také ekonomické a ekologické aspekty.

#### Hygienické aspekty

Vlhkost vzduchu v prostorech se nejčastěji upravuje větráním. Větrání místností čerstvým venkovním vzduchem je pro lidské zdraví nepostradatelné a ničím nezastupitelné.

Požadavek na potřebu větrání vychází z vyhlášky MMR o obecných technických požadavcích na výstavbu č. 137/1998 Sb. Nařízením vlády ČR č. 178/2001 se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci před některými riziky plynoucími z pracovních podmínek a požadavky na pracovní prostředí a pracoviště.

Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb, uvádí mikroklimatické, teplotní a vlhkostní podmínky a parametry proudění vzduchu:

**Tab. 1.8** Relativní vlhkost vzduchu v pobytových místnostech [7]

Teplé období roku	nejvýše 65 %
Chladné období roku	nejvýše 30 %

**Tab. 1.9** Teploty a množství odváděného vzduchu pro hygienická zařízení u pobytových místností [7]

	teplota vzduchu $t_i$ (°C)	množství odváděného vzduchu za hodinu
Umývárny	22	30 m <sup>3</sup> na 1 umyvadlo
Sprchy	25	35–110 m <sup>3</sup> na 1 sprchu
WC	18	50 m <sup>3</sup> na 1 mísu 25 m <sup>3</sup> na 1 pisoár