

Jaroslav SOLAŘ¹

ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY POVRCHOVÉ KONDENZACE VODNÍ PÁRY

ISSUE OF SURFACE CONDENSATION OF WATER VAPOUR

Abstrakt

Príspevok pojednáva o problematice nežádoucí kondenzace vodní páry na vnitřním povrchu stavebních konstrukcí. V příspěvku jsou analyzovány stavebně fyzikální příčiny povrchové kondenzace vodní páry. Dále je zde pojednáno o možnostech technických opatření vedoucích k eliminaci uvedeného negativního jevu - změna užívání, úprava obvodových konstrukcí, zajištění požadovaných parametrů vnitřního vzduchu přirozeným větráním, nebo pomocí vzduchotechniky.

Abstract

The article deals with the issue of unwanted condensation of water vapour on internal surface of building structures. Building and physical conditions of surface condensation of water vapour is analysed. It discusses possibilities of technical solutions leading to elimination of the mentioned negative phenomenon – change of use, adjustment of peripheral structures, reaching the required parameters of internal air by natural ventilation or through air-conditioning.

1 ÚVOD

Atmosférický vzduch obsahuje vodní páru. Množství vodní páry obsažené ve vzduchu uvnitř budovy závisí především na způsobu jejího užívání. Tedy na zdrojích vodní páry zde situovaných. Ty mohou být různé. Několik příkladů je uvedeno v tab. 1.

Množství vodní páry obsažené ve vzduchu je charakterizováno jeho vlhkostí. Pokud má předmět, který je obklopován vzduchem o určité teplotě a relativní vlhkosti teplotu nižší než je teplota rosného bodu, dochází na jeho povrchu ke kondenzaci vodní páry. **Ve stavebních objektech jsou z tohoto hlediska kritickými místy především:**

1. Výplně otvorů v obvodových stěnách (okna, dveře, výkladce apod.).
2. Svislé kouty.
3. Vodorovné kouty u obvodových stěn v místech kontaktu se stropy či podlahami, resp. podlahami na terénu.
4. Vodorovné kouty u vnitřních stěn, jestliže tyto oddělují místnosti s výrazně odlišnými vnitřními teplotami.
5. Tepelné mosty v obvodových stěnách, střeších, ve vnitřních stěnách, nebo stropech, které oddělují místnosti s výrazně odlišnou teplotou vnitřního vzduchu.

¹ Doc. Ing. Jaroslav Solař, Ph.D., Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 301, e-mail: jaroslav.solar@vsb.cz.

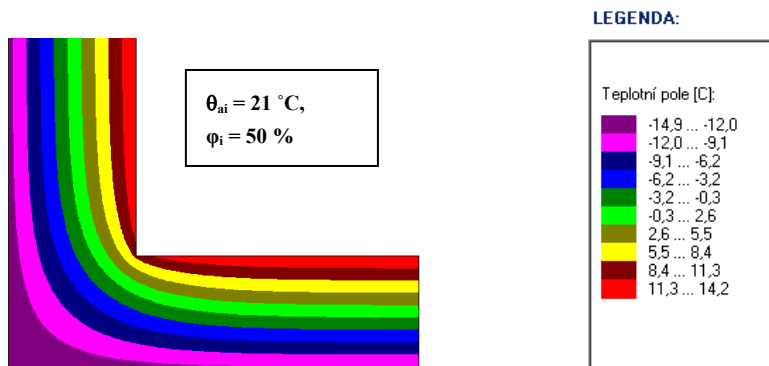
Tab. 1: Zdroje vodní páry a množství její produkce [1]

Člověk při lehké činnosti	30 – 60 g/h
při středně těžké práci	120 – 200 g/h
při těžké práci	200 – 300 g/h
Koupelna s vanou	700 g/h
se sprchou	2600 g/h
Kuchyně při vaření	600 – 1500 g/h
průměrně denně	100 g/h
Sušení prádla (pračka na 4,5 kg)	50 – 200 g/h
odstředěného	100 – 500 g/h
mokrého kapajícího	
Bazény (volné vodní plochy)	40 g/m ² .h
Rostliny	
pokožkové květiny, např. fialka (Viola)	5 – 10 g/h
rostliny v květináči, např. kapradina (Comptonia asplemifolia)	7 – 15 g/h
fikus střední velikosti (Ficus elastica)	10 – 20 g/h

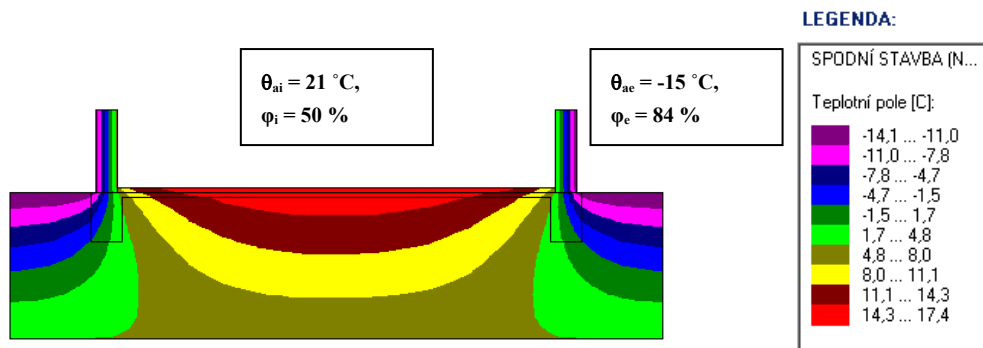
Místa uvedená v bodech 2 až 5 jsou kritickými z hlediska povrchové kondenzace vodní páry z toho důvodu, že jejich povrchová teplota bývá vždy nižší než povrchová teplota okolních konstrukcí. To je zapříčiněno dvourozměrným, případně také třírozměrným vedením tepla na rozdíl od jednorozměrného vedení tepla, jež se uskutečňuje například v plochách stěn. Pak je jen otázkou, zda teplota jejich vnitřního povrchu je vyšší či nižší než teplota rosného bodu vnitřního vzduchu, která odpovídá jeho teplotě a relativní vlhkosti.

U výplní otvorů (viz bod 1) pak povrchové teploty často bývají nižší než teplota rosného bodu vnitřního vzduchu.

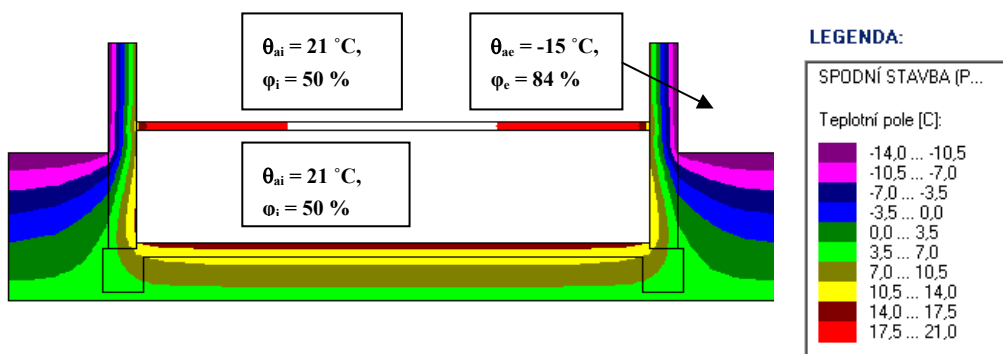
Pro ilustraci jsou na obr. 1 až 3 znázorněny průběhy teplot ve svislém koutě a u spodních staveb nepodsklepeného a podsklepeného objektu, resp. u jejich vodorovných koutů.



Obr.1: Ukázka průběhu teplot u svislého koutu obvodového zdiva z plných cihel o tl. 450 mm.
Výstup z programu AREA 2009 [4].



Obr.2: Ukázka průběhu teplot u spodní stavby nepodsklepeného objektu bez tepelné izolace v podlaže. Výstup z programu AREA 2009 [4].



Obr.3: Ukázka průběhu teplot u spodní stavby a stropu nad suterénem u podsklepeného objektu bez tepelné izolace v podlaže. Výstup z programu AREA 2009 [4].

Příčina výrazně nižších teplot ve svislých a vodorovných koutech v nadzemní i v podzemní části budov spočívá v tom, že u staveb realizovaných v dřívější době byly na obvodové konstrukce (stěny a podlahy na terénu) kladeny výrazně nižší tepelné technické požadavky, než je tomu v současné době (viz ČSN 73 0540-2 [2]).

Dále je možno výskyt nežádoucí kondenzace vodní páry pozorovat, kromě jiného, obvykle také:

1. U objektů, které mají velkou tloušťku obvodových stěn (zpravidla historické budovy).
2. V místnostech, kde byla původní dřevěná okna nahrazena novými, která jsou velmi těsná proti infiltraci venkovního vzduchu.
3. V místnostech, resp. v celých objektech, kde v důsledku změny užívání vnitřního prostoru došlo ke zvýšení produkce vodní páry (např. v důsledku zavedení nové technologie).

U objektů, které mají velkou tloušťku obvodových stěn (např. historické budovy) zůstává v důsledku jejich velké tepelné setrvačnosti vnitřní povrchová teplota na obvodových stěnách i po zvýšení venkovní teploty v jarních měsících nadále nízká – pod úroveň teploty rosného bodu, která odpovídá hodnotám teploty a relativní vlhkosti venkovního vzduchu. Venkovní vzduch o vyšší teplotě je schopen pojmout větší množství vodní páry a má tedy větší měrnou vlhkost (vodní obsah). A tím také vyšší teplotu rosného bodu. Vnikne-li tento vzduch dovnitř objektu, dojde ke kondenzaci vodní páry na vnitřním povrchu obvodových stěn (viz obr. 10).

V současné době nastává problém s povrchovou kondenzací vodní páry také v místnostech, kde byla původní dřevěná okna nahrazena novými, která jsou velmi těsná proti infiltraci

venkovního vzduchu. Vodní pára, jež byla dříve nepřetržitě odvětrávána v důsledku infiltrace původními okny, nyní zůstává v místnosti, přičemž zároveň dochází k další produkci vodní páry v důsledku užívání místnosti (viz tab. 1). Tím dochází ke zvyšování měrné vlhkosti (vodního obsahu) vnitřního vzduchu (viz obr. 13 a 14). To má za následek zvýšení teploty rosného bodu vnitřního vzduchu nad hodnotu teploty povrchu některých stavebních konstrukcí. Výsledkem je kondenzace vodní páry na konstrukcích, které mají nízkou povrchovou teplotu.

Pokud jde o výskyt kondenzace vodní páry na povrchu stavebních konstrukcí **v místnostech, resp. v celých objektech, kde v důsledku změny užívání vnitřního prostoru došlo ke zvýšení produkce vodní páry (např. v důsledku zavedení nové technologie)**, mechanismus jejího vzniku je podrobně popsán níže v kap. 2 (viz obr. 13 a 14).

Ilustrativní příklady kondenzace vodní páry na povrchu stavebních konstrukcí jsou znázorněny na obr. 4 až 6. Důsledkem kondenzace vodní páry je pak vznik plísní, které mají negativní vliv na užívání takto postižených prostorů (viz obr. 7).



Obr.4: Kondenzace vodní páry na povrchu stěny v blízkosti podlahy (objekt s vysokou tepelnou setrvačností)



Obr.5: Kondenzace vodní páry v koutě na povrchu stěny a stropu (nedostatečná tepelná izolace obvodové stěny)



Obr.6: Kondenzace vodní páry v místě obvodové stěny ze železobetonu



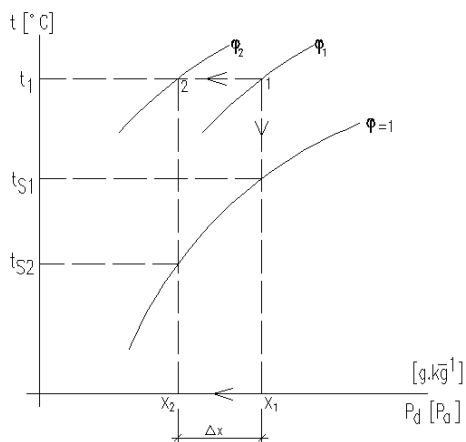
Obr.7: Důsledek kondenzace vodní páry na vnitřním povrchu obvodových konstrukcí – růst plísní

2 VLHKOSTNÍ PROBLÉMY ZAPŘÍČINĚNÉ ZMĚNOU V UŽÍVÁNÍ VNITŘNÍCH PROSTORŮ

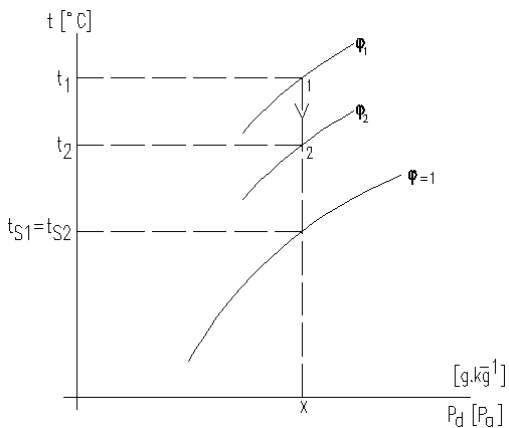
Pokud ve stávajícím objektu změníme užívání, ať už jednotlivé místnosti nebo celé budovy, často s tím souvisí také změna podmínek vnitřního mikroklimatu – tedy teploty a relativní vlhkosti vnitřního vzduchu. Se změnou teploty a relativní vlhkosti vzduchu se mění také jeho teplota rosného bodu. Pokud je teplota rosného bodu vnitřního vzduchu nižší než povrchová teplota stavebních konstrukcí, pak dochází ke kondenzaci vodní páry na jejich povrchu.

Z obecného hlediska zde mohou principiálně nastat následující možnosti:

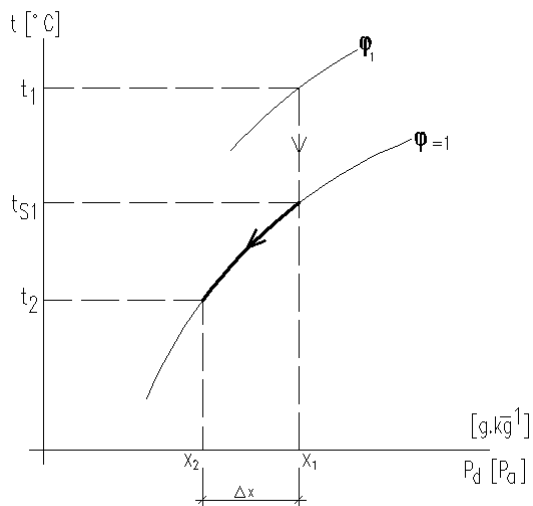
1. Snížení relativní vlhkosti vzduchu za konstantní nebo i vyšší teploty ($t_1 = \text{konst.}$, resp. $t_2 > t_1$, $\varphi_2 < \varphi_1$, $x_2 < x_1$, $t_{s2} < t_{s1}$). Viz obr. 8.
2. Snížení teploty vzduchu, přičemž dochází ke zvýšení relativní vlhkosti ($t_2 < t_1$, $\varphi_2 > \varphi_1$, $x = \text{konst.}$, $t_s = \text{konst.}$). Viz obr. 9.
3. Snížení teploty vzduchu pod teplotu rosného bodu. ($t_2 < t_1$, $\varphi_2 = 1$, $x_2 < x_1$). Viz obr. 10.
4. Snížení teploty a změna relativní vlhkosti vzduchu ($t_2 < t_1$, $x_2 < x_1$, $t_{s2} < t_{s1}$, $\varphi_2 < \varphi_1$, nebo $\varphi_2 = \varphi_1$, nebo $\varphi_2 > \varphi_1$). Viz obr. 11.
5. Zvýšení teploty vzduchu, přičemž dochází ke snížení relativní vlhkosti ($t_2 > t_1$, $\varphi_2 < \varphi_1$, $x = \text{konst.}$, $t_s = \text{konst.}$). Viz obr. 12.
6. Zvýšení relativní vlhkosti vzduchu za konstantní teploty ($t_i = \text{konst.}$, $\varphi_2 > \varphi_1$, $x_2 > x_1$, $t_{s2} > t_{s1}$). Viz obr. 13.
7. Zvýšení teploty a změna relativní vlhkosti vzduchu ($t_2 > t_1$, $x_2 > x_1$, $\varphi_2 < \varphi_1$, nebo $\varphi_2 = \varphi_1$, nebo $\varphi_2 > \varphi_1$, $t_{s2} > t_{s1}$). Viz obr. 14.



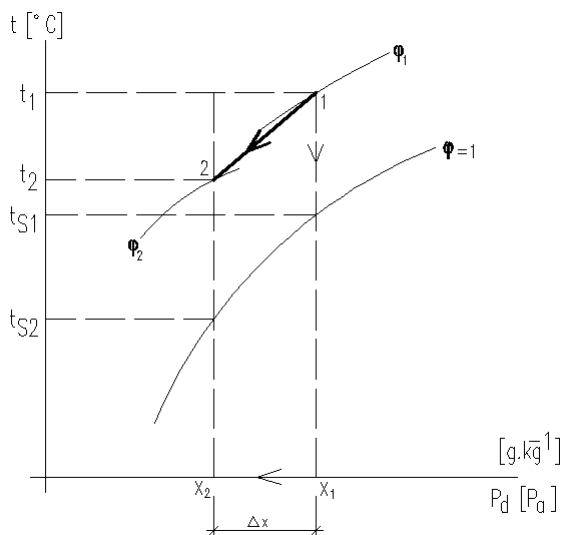
Obr.8: Snížení relativní vlhkosti vzduchu za konstantní nebo i vyšší teploty – znázornění v Mollierově h-x diagramu



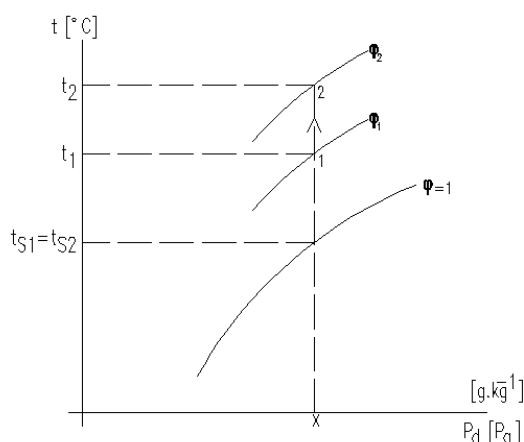
Obr.9: Snížení teploty vzduchu – znázornění v Mollierově h-x diagramu.



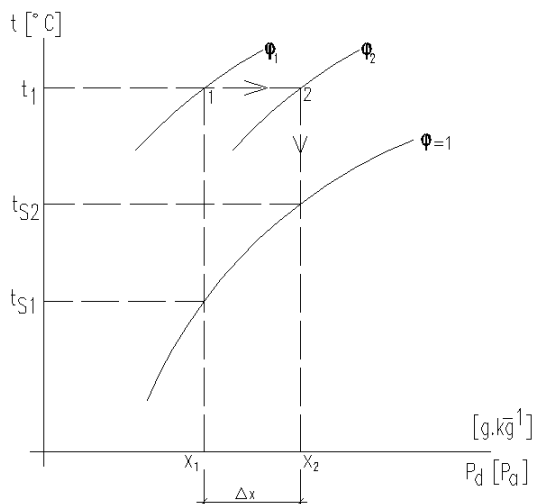
Obr.10: Snížení teploty vzduchu pod teplotu rosného bodu – znázornění v Mollierově h-x diagramu



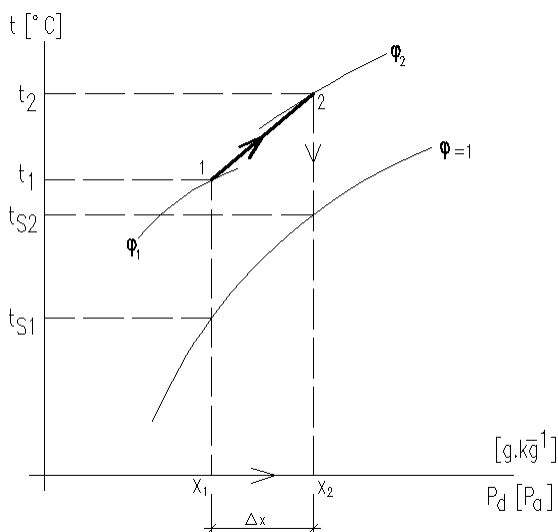
Obr.11: Snížení teploty a změna relativní vlhkosti vzduchu – znázornění v Mollierově h-x diagramu



Obr.12: Zvýšení teploty vzduchu – znázornění v Mollierově h-x diagramu



Obr.13: Zvýšení relativní vlhkosti vzduchu za konstantní teploty – znázornění v Mollierově h-x diagramu



Obr. 14: Zvýšení teploty a změna relativní vlhkosti vzduchu – znázornění v Mollierově h-x diagramu

Pokud jde o **případy uvedené v bodech 1, 2, 4 a 5** pak zde z hlediska povrchové kondenzace vodní páry **nebude problém**. To proto, že v těchto případech dochází k zachování, resp. ke snížení teploty rosného bodu vnitřního vzduchu ($t_{s2} < t_{s1}$, resp. $t_s = \text{konst.}$).

Jestliže dojde k výraznému snížení teploty vnitřního vzduchu až pod hodnotu teploty rosného bodu (viz **bod 3**), pak dochází k nasycení vzduchu vodní párou a k její kondenzaci jak v prostoru (tvorba mlhy), tak také na povrchu stavebních konstrukcí s nižší povrchovou teplotou. To proto, že vlivem výrazného snížení teploty vnitřního vzduchu dojde také k výraznému snížení povrchové

teploty zejména obvodových stěn v zimním období – taktéž pod hodnotu teploty rosného bodu. Tento případ však nastává většinou pouze u objektů, které se přestaly užívat a nejsou v zimním období vytápěny ani temperovány.

Problémy s kondenzací vodní páry na povrchu stavebních konstrukcí však zpravidla nastávají v případech uvedených v bodech 6 a 7. To proto, že zde dochází ke zvýšení teploty rosného bodu. Tedy: $t_{s2} > t_{s1}$. Pokud dojde ke zvýšení teploty rosného bodu natolik, že přesáhne povrchovou teplotu obvodových (případně i vnitřních) stěn což je v převážné většině těchto případů, pak nastává povrchová kondenzace vodní páry.

To proto, že při zvýšení relativní vlhkosti vzduchu, resp. při zvýšení teploty a změně relativní vlhkosti vzduchu tak, že se zvýší měrná vlhkost (vodní obsah), dochází k prudkému zvýšení teploty rosného bodu. Ta pak bývá vyšší než povrchová teplota obvodových stěn, resp. dalších stavebních konstrukcí, čímž nastává povrchová kondenzace vodní páry.

Máme-li například vlhký vzduch o teplotě $t = 20\text{ °C}$ a relativní vlhkosti $\varphi = 50\%$, jeho teplota rosného bodu je $t_s = 9,26\text{ °C}$. Zvýšíme-li jeho vlhkost na $\varphi = 60\%$, zvýší se teplota rosného bodu na $t_s = 12\text{ °C}$. Zvýšíme-li dále jeho vlhkost na $\varphi = 80\%$, zvýší se teplota rosného bodu na $t_s = 16,44\text{ °C}$. V teplotách rosného bodu je pak rozdíl větší než 7 °C .

V praxi se může se jednat například o zavedení nové technologie při které dochází k vyšší produkci vodní páry, zřízení nové koupelny apod.

3 TECHNICKÁ OPATŘENÍ PŘI PROBLÉMECH S KONDENZACÍ VODNÍ PÁRY NA VNITŘNÍM POVRCHU STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

Z výše uvedeného také plyne, že pokud je stávající objekt (resp. vnitřní místnost) využíván k určitému účelu a vyskytují se zde vlhkostní problémy zapříčiněné nevhodným užíváním, pak máme v následující možnosti:

- a) Změnit užívání.**
- b) Provést úpravu obvodových konstrukcí.**
- c) Zajistit požadované parametry vnitřního vzduchu přirozeným větráním, nebo pomocí vдуchotechniky.**
- d) Kombinace uvedených možností.**

3.1 Změna užívání

Provedeme změnu užívání objektu či problematické místnosti tak, abychom snížili jeho relativní vlhkost. Teplota vnitřního vzduchu může zůstat stejná, být zvýšena či snížena (viz kap. 2, bod 1 a 4, resp. obr. 8 a 11). Z hlediska technického je to způsob nejjednodušší, finančně nejméně nákladný. Neuvažujeme-li náklady potřebné k zajištění změny užívání (stěhování apod.). Z praktického hlediska je však tato možnost často nereálná.

Snížíme tedy relativní vlhkost vnitřního vzduchu a provedeme posouzení teplotního faktoru vnitřního povrchu v kritických místech (viz kap. 1, body 1 až 5) podle ČSN 73 0540-2 [2] – např. pomocí výpočetního programu AREA 2009 [4]. Musí být splněna podmínka:

$$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N} [-] \quad (1)$$

kde:

$f_{Rsi} [-]$ – teplotní faktor vnitřního povrchu

$f_{Rsi,N} [-]$ – požadovaná hodnota nejnižšího teplotního faktoru vnitřního povrchu

V prostorách, kde se vyskytuje povrchová kondenzace vodní páry však nemusí být vždy nutně změněn způsob jejich užívání, ale často postačí pouze zajištění dostatečné výměny vzduchu běžným

způsobem bez jakýchkoliv dalších úprav (např. u místností s okny, která jsou velmi těsná proti infiltraci venkovního vzduchu (např. plastová okna).

3.2 Úprava obvodových konstrukcí

Provedeme úpravu obvodových konstrukcí (stěn a stropu, resp. střešního pláště) tak, aby tyto konstrukce byly vyhovující z hlediska aktuálních parametrů vnitřního vzduchu. To prakticky znamená odborný návrh a realizace patřičných stavebních úprav – návrh vhodných skladeb obvodových konstrukcí (zateplení, vložení parotěsné vrstvy apod.) za účelem:

1. Zvýšení teplotního faktoru vnitřního povrchu v rizikových místech tak, aby byla splněna podmínka (1).
2. Snížení či úplného vyloučení kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce tak, aby byly splněny požadavky ČSN 73 0540-2 [2] ohledně vnitřní kondenzace vodní páry.
3. Snížení hodnoty součinitele prostupu tepla U tak, aby byl splněn požadavek ČSN 73 0540-2 [2] na jeho maximální hodnotu. Pokud nebude možné tento požadavek splnit, je třeba postupovat podle čl. 5. 2. 2 ČSN 73 0540-2 [2].

Posouzení uvedené v bodě 1. můžeme provést například pomocí výpočetního programu AREA 2009 [4]. Posouzení uvedená v bodech 2. a 3. můžeme provést například pomocí výpočetního programu TEPLO 2009 [3].

Problémy s kondenzací vodní páry na vnitřním povrchu stavebních konstrukcí mohou být řešeny například:

- a) Celkovým dodatečným zateplením objektu.
- b) Provedením dodatečné tepelné izolace spodní stavby.
- c) Dodatečným vložení tepelné izolace do podlahy situované na terénu.
- d) Provedením dodatečné tepelné izolace soklu.

3.3 Zajištění požadovaných parametrů vnitřního vzduchu přirozeným větráním, nebo pomocí vzduchotechniky

Pokud je to možné, zajistíme požadované snížení vlhkosti vnitřního vzduchu jeho řádnou výměnou přirozeným větráním. Pokud toto není možné, bude třeba využít vzduchotechniky. Tento způsob je však energeticky náročný a tím také finančně nákladný.

Pomocí vzduchotechniky (např. nuceným větráním, odvlhčováním apod.) je možno upravit parametry vnitřního vzduchu na požadované hodnoty tak, aby bylo dosaženo splnění podmínky (1). Provedeme tedy posouzení teplotního faktoru vnitřního povrchu v kritických místech (viz kap. 1, body 1 až 5) pro upravené parametry vnitřního vzduchu. Princip je stejný jako v případě změny užívání – viz kap. 3. 1.

3.4 Kombinace uvedených možností

Výše uvedené způsoby můžeme také kombinovat. Například snížíme relativní vlhkost vnitřního vzduchu a dodatečně provedeme tepelnou izolaci obvodové konstrukce. Tím dosáhneme:

1. Zvýšení teplotního faktoru vnitřního povrchu tak, aby byla splněna podmínka (1).
2. Snížení či úplného vyloučení kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce tak, aby byly splněny požadavky ČSN 73 0540-2 [2] ohledně kondenzace vodní páry uvnitř konstrukcí.
3. Snížení hodnoty součinitele prostupu tepla U tak, aby byl splněn požadavek ČSN 73 0540-2 [2] na jeho maximální hodnotu. Pokud nebude možné tento požadavek splnit, je třeba postupovat podle čl. 5. 2. 2 ČSN 73 0540-2 [2].

Tepelně technické posouzení se provede stejným způsobem jako v případě úpravy obvodových konstrukcí – viz kap. 3. 2.

4 ZÁVĚR

Bez provedení některé z výše uvedených úprav hrozí riziko výskytu poruch způsobených nadměrnou kondenzací vodní páry, a to:

1. Na povrchu stavebních konstrukcí tak, jak je popsáno v kap. 1.
2. Uvnitř obvodových konstrukcí, což může mít za následek:
 - a) Snížení jejich tepelně izolační schopnosti.
 - b) V případě dřevěných konstrukcí pak může být důsledkem jejich napadení biologickými škůdci (hnilobou, plísněmi, dřevokaznými houbami nebo hmyzem), což může vést i ke ztrátě únosnosti v důsledku totální destrukce (např. u nosných prvků dřevěných stropů, krovů, dřevěných hrázděných stěn atd.).

LITERATURA

- [1] GERTIS, K., ERHORN, H. *Wohnfeuchte and Wärmebrücken*. HLH 36, 1985, 3.
- [2] ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky (2007).
- [3] SVOBODA, Z. *TEPLO 2009 pro Windows*. Výpočtový program pro PC.
- [4] SVOBODA, Z. *AREA 2009 pro Windows*. Výpočtový program pro PC.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Dr. Ing. Zbyněk Svoboda, ČVUT Praha, Fakulta stavební