

KRITICKÉ OBLASTI OKENNÍCH KONSTRUKCÍ Z POHLEDU KONDENZACE VODNÍCH PAR

CRITICAL AREAS OF WINDOWS CONSTRUCTION FROM THE PROBLEMATIC OF WATER WAPRO CODENSACION

2009

Ing. Roman Jiráček, Ph.D.^[1], *soudní znalec se specializací na otvorové výplně a tepelnou techniku pro lehké obvodové pláště, energetický specialista jmenovaný MPO*

DECOEN znalecký ústav s.r.o., DECOEN v.o.s., www.decoen.cz

Neustále se zvyšující nároky na úspory tepla budov zapříčinily velký posun kupředu v oblasti okenních konstrukcí, a to nejen z tepelně-technického hlediska. Kde problém bohužel stále přetrvává, je výskyt vodního kondenzátu na vnitřním povrchu konstrukce. Nemá smysl spekulovat o důležitosti tohoto problému, protože konstrukce, u níž dochází na jejím vnitřním povrchu ke kondenzaci vodních par, výrazně narušuje jak vlastní konstrukci, tak i zdravotní a hygienickou nezávadnost vnitřního prostředí.

Prvním důležitým krokem při řešení tohoto problému je určit místa, kde díky konstrukčnímu uspořádání otvorových výplní dochází k prudkému snížení vnitřních povrchových teplot a následně k výskytu nežádoucího kondenzátu.

Význam vnitřní povrchové teploty u okenních konstrukcí

Časté a nežádoucí orosování skel není ničím jiným než ukázkou fungování již dávno popsaných přírodních zákonů. Bylo by vhodné si jednotlivé pojmy ve spojení s naší praxí alespoň částečně objasnit.

U zabudovaných konstrukcí je podstatné, aby vnitřní povrchová teplota θ_{si} na celém vnitřním povrchu konstrukce neklesla pod určitou hodnotu. Pro neprůsvitné konstrukce jde o teplotu s rizikem růstu plísní $\theta_{si,80}$, kdy při poklesu na její hodnotu je výrazně zvýšena pravděpodobnost růstů plísní. U námi zkoumaných otvorových výplní jde o tzv. teplotu rosného bodu θ_w , což je teplota, při níž je okolní vzduch plně nasycen vodní parou a jeho relativní vlhkost dosahuje 100%. V tomto případě již není okolní vzduch schopný vodní páru v sobě udržet a na povrchu konstrukce dojde tzv. kondenzaci vodních par (např. známé rosení skel). Teplota rosného bodu je funkcí teploty vzduchu a jeho relativní vlhkosti. Čím je vyšší teplota a relativní vlhkost vnitřního prostředí, tím je rosný bod daného prostředí

vyšší. Tento vztah vysvětluje následující rovnice, kde pro teploty -45°C - 60°C jsou $\alpha = 6,112 \text{ hPa}$, $\beta = 17,62$, $\lambda = 243,12^\circ\text{C}$:

$$\vartheta_w(\vartheta_{ai}, w) = \frac{\lambda * \left(\ln\left(\frac{w}{100}\right) + \frac{\beta + \vartheta_{ai}}{\lambda + \vartheta_{ai}} \right)}{\beta - \left(\ln\left(\frac{w}{100}\right) + \frac{\beta + \vartheta_{ai}}{\lambda + \vartheta_{ai}} \right)} \quad [4]$$

Kde:	ϑ_w	teplota rosného bodu	[°C]
	ϑ_{ai}	teplota vnitřního vzduchu	[°C]
	w	relativní vlhkost vnitřního vzduchu	[%]

Normové požadavky a ověřování rizika kondenzace vodních par

Aby nedocházelo u otvorových výplní ke kondenzaci vodních par na jejich vnitřním povrchu, a tím k narušení zdravotní a hygienické nezávadnosti, předepisuje ČSN 720540 – 2 Tepelná ochrana budov (naposledy aktualizována v dubnu 2007) požadavek na tzv. teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} [-]. Ten je tepelně-technickou vlastností konstrukce, není závislý na okrajových podmínkách a vychází z vnitřní povrchové teploty ϑ_{si} [°C]. Jeho výpočet zobrazuje následující rovnice:

$$f_{Rsi} = \frac{(\vartheta_{si} - \vartheta_e)}{(\vartheta_{ai} - \vartheta_e)} \quad [3]$$

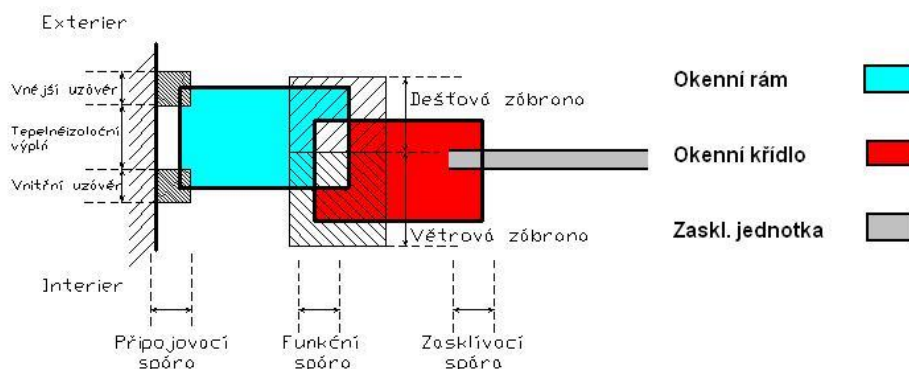
$$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} + \Delta f_{Rsi}$$

Kde:	ϑ_{si}	vnitřní povrchová teplota konstrukce	[°C]
	ϑ_{ai}	návrhová teplota vnitřního vzduchu	[°C]
	ϑ_e	návrhová teplota venkovního vzduchu	[°C]
	$f_{Rsi,N}$	požadovaná teplota nejnižšího teplotního faktoru vnitřního povrchu	[-]
	$f_{Rsi,cr}$	kritický teplotní faktor vnitřního povrchu	[-]
	Δf_{Rsi}	bezpečnostní přírážka teplotního faktoru	[-]

Dále normy stanovují okrajové podmínky, resp. návrhové teploty vnitřního a vnějšího vzduchu a jejich relativní vlhkosti, při kterých se tato shoda posuzuje. Teplota vnějšího prostředí θ_e je dána lokalitou, ve které je stavba umístěna, a vlhkost i teplota vnitřního prostředí jsou dány druhem vnitřního prostoru, ve kterém je otvorová výplň umístěna.

Výskyt nejnižších povrchových teplot

Okenní konstrukci můžeme rozdělit na několik částí podle následujícího schématu (obrázek č.1). Zasklivačí jednotku (v dnešní době jde nejčastěji o izolační dvojsklo nebo trojsklo), okenní křídlo (pohyblivou část) a okenní rám (část dilatačně spojenou s ostěním). Spojení těchto tří jednotlivých částí jsou nazývána spáry. Právě tato místa díky určitému narušení celistvosti konstrukce nebo výskytu tepelného mostu lze předpokládat za nejrizikovější místa, kde by mohlo docházet k náhlému snížení vnitřní povrchové teploty.



Obrázek 1 Schématické rozdělení okenní konstrukce

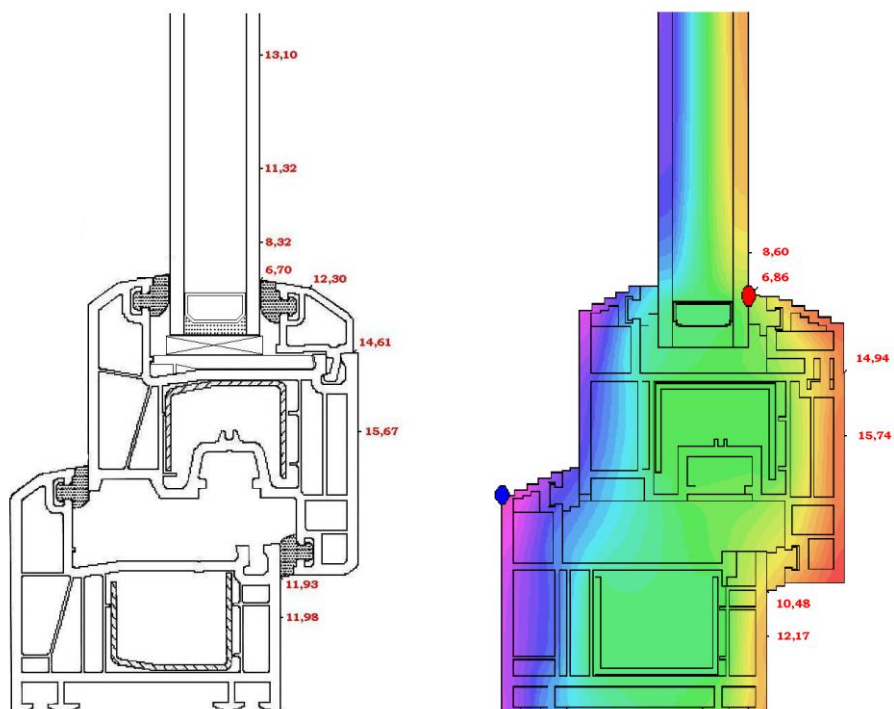
Pro potvrzení resp. vyvrácení této hypotézy byly zjištěny vnitřní povrchové teploty na plastovém pětikomorovém profilu se zasklivačí jednotkou o součiniteli prostupu tepla $U_g = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Aby nevznikly pochybnosti o věrohodnosti jednotlivých metod zjišťování vnitřních povrchových teplot, byly zde použity obě metody. V první případě byly za pomoci Technického a zkušebního ústavu stavebního v Praze teploty zjištěny měřením pomocí metody chráněné teplé skříně dle ČSN EN ISO 8990 a ČSN EN ISO 12567-1. V druhém případě byly vnitřní povrchové teploty zjištěny výpočtem ve dvourozměrném teplotní poli pomocí programu Area-Svoboda software. Grafické výstupy výsledků jsou znázorněny na následujícím obrázku č. 3.



Obrázek 2 Měření vnitřních povrchových teplot

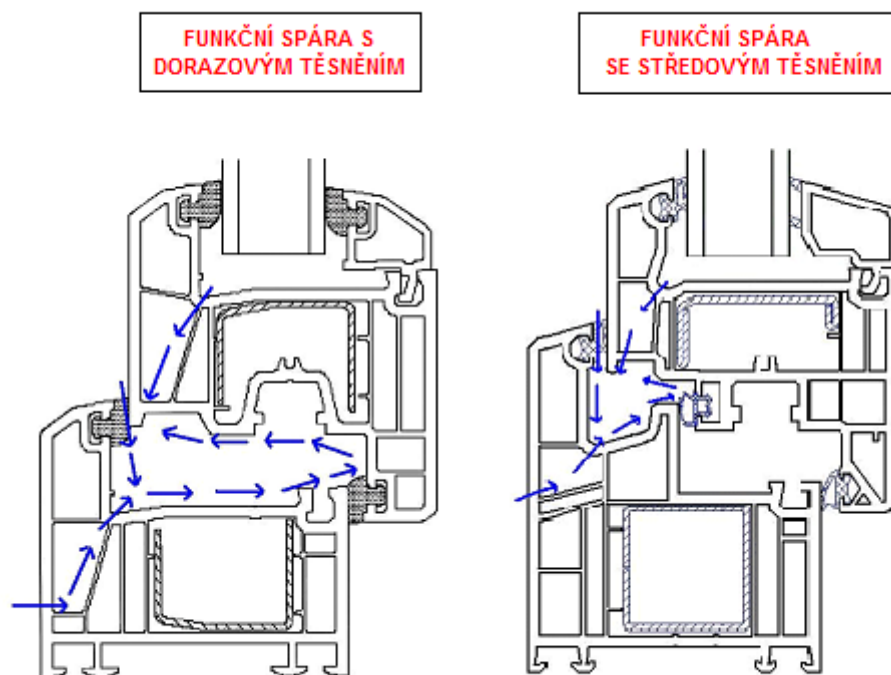
MĚŘENÍ
metoda chráněné tepelné skříně

VÝPOČET
area - dvourozměrné teplotní pole



Obrázek 3 Grafické výstupy ze zkoušek vnitřních povrchových teplot

Výsledky obou zkušebních metod jasně potvrdily, že náhlé snížení vnitřních povrchových teplot vykazují okenní konstrukce v oblastech zasklívací a funkční spáry, přičemž u zasklívací spáry jsou povrchové teploty výrazně nižší než u spáry funkční. Lze tedy napojení zasklívací jednotky a okenního křídla označit za nejrizikovější oblast celé konstrukce, v níž je příčinou tohoto snížení distanční rámeček, který díky své vysoké vodivosti (v tomto případě se jedná o hliníkový distanční rámeček $\lambda = 160 \text{ W/mK}$) tvoří tepelný most, jenž výrazně snižuje vnitřní povrchovou teplotu v této oblasti.[1] Do rizikových částí konstrukce lze také zařadit funkční spáru, a to díky dorazovému systému, který neobsahuje středové těsnění, čímž umožňuje studenému vzduchu přístup až k vnitřnímu těsnění, a tím tuto oblast výrazně ochlazuje. Studený vzduch proniká z venkovního prostředí jednak přes odvodňovací otvory dešťové zábrany ve spodní části okenního rámu, tak i přes vnější těsnění (viz obrázek č.4).

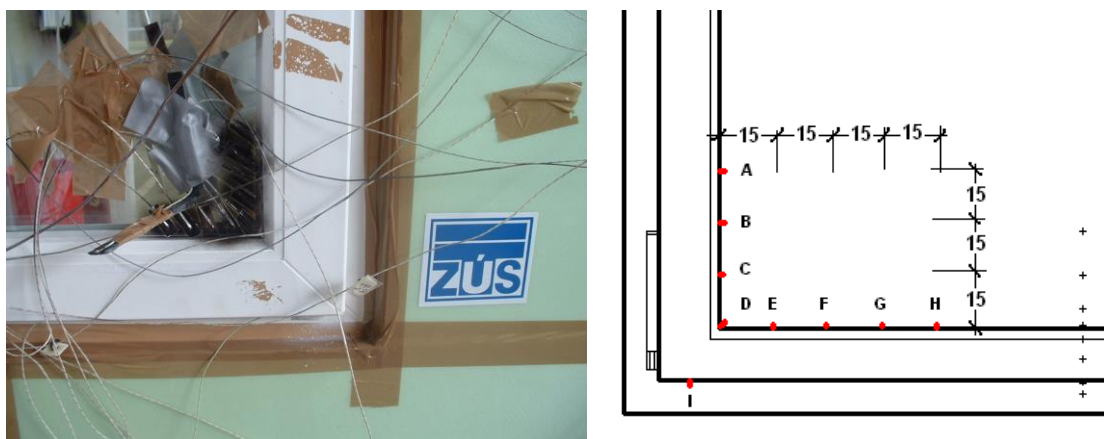


Obrázek 4 Proudění vzduchu ve funkční spáře

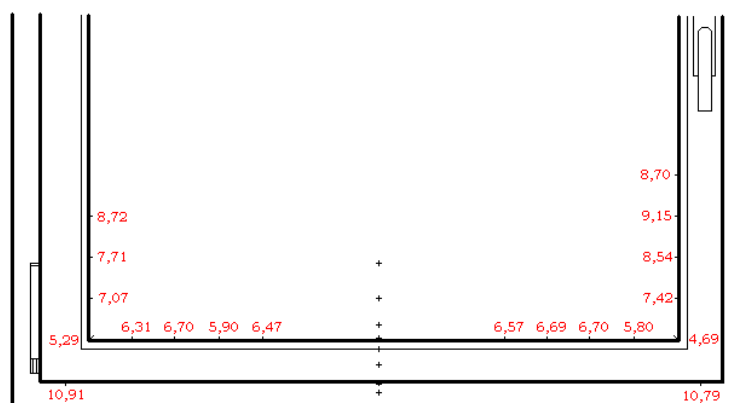
Lze tedy stanovit dílčí závěr, že nejnižší vnitřní povrchové teploty se budou vyskytovat v oblasti napojení zasklívací jednotky na okenní křídlo, tedy v tzv. zasklívací spáře. Je ale možné očekávat ještě nižší vnitřní povrchové teploty. Do této chvíle jsme se na okenní konstrukci nahlíželi pouze jako na dvourozměrný prvek. Vnitřní povrchové teploty zde byly zjištěny výpočtem a měřením,

ale pouze na charakteristickém průřezu rámu. Nebyl zde uplatněn komplexní pohled na celou okenní konstrukci jako na dvourozměrný konstrukční prvek. V okenní konstrukci jsou však místa, na nichž lze předpokládat zvýšené působení tepelných mostů. Jedná se především o rohy a podobné zakřivení okenních rámu.

Pro zjištění povrchových teplot v rohu okenní konstrukce - vzhledem k obtížnosti modelování rohů okenních konstrukcí pro výpočet ve třírozměrném teplotním poli - bylo použito měření pomocí metody chráněné teplé skříně. Rozmístění čidel je vidět na obrázku č. 5 a výsledné naměřené teploty zobrazuje následující schéma (obrázek č. 6):



Obrázek 5 Rozmístění čidel v rohu okenní konstrukce



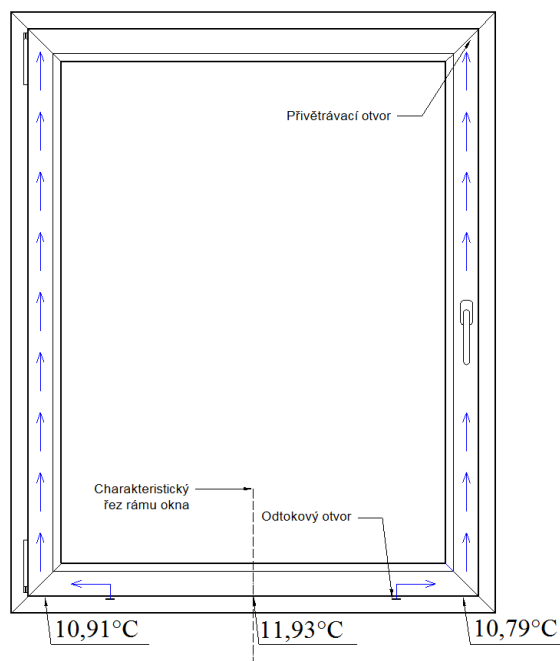
Obrázek 6 Naměřené vnitřní povrchové teploty

Z měření vyplynulo jasné zjištění. V rohu okenního křídla v oblasti zasklívací spáry byla naměřena finálně nejnižší vnitřní povrchová teplota celé okenní konstrukce, která je výrazně nižší než výše naměřené nebo vypočtené teploty na charakteristickém řezu rámu. Je to dáno dvojnásobným

působením tepelného mostu, vyvolaného spojením horizontální a vertikální části distančního rámečku zasklívací jednotky. Snímací čidla v rohu okenního křídla byla rozmístěna v rozmezí 2cm. Podle očekávání je z naměřených hodnot patrné, že vliv zdvojnásobeného tepelného mostu se směrem ke středu snižuje.

V oblasti funkční spáry je také výrazný vliv rohu okenního rámu patrný. Ve vzdálenosti 1,5 mm od spodního okraje okenního křídla (viz obrázek č.5) byla umístěna čidla, která naměřila teploty o 1 °C nižší než v klasickém řezu rámu.

Ve spodním vlysu okenního rámu jsou z funkční spáry vedeny na exteriérovou stranu odvodňovací otvory (jde o část tzv. dešťové zábrany). Aby tyto otvory mohly správně fungovat, musí dojít mezi vnějším prostředím a vnitřním prostředím funkční spáry k vyrovnání tlaků. To zapříčiňují přivětrávací otvory v horní části svislých vlysů. Mezi těmito otvory pak dochází k cirkulaci vzduchu v prostoru funkční spáry. Lze také předpokládat, že k proudění mezi odtokovými otvory dochází v omezenější míře. V některých případech je díky termickému vztlaku nasáván vzduch z vnějšího prostoru odtokovým otvorem. Vzduch se pak ve funkční spáře ohřívá a stoupá k přivětrávacímu otvoru. [2] To jsou důvody, proč se nejnižší vnitřní povrchové teploty v oblasti funkční spáry vyskytují mezi odtokovými a přivětrávacími otvory na spodním vlysu, tedy v rohu rámu. (Obrázek č.7)



Obrázek 7 cirkulace vzduchu ve funkční spáře v případě termického vztlaku

Závěr

Kondenzace vodních par na vnitřním povrchu okenních konstrukcí je známkou fungujícího přírodního zákona. Protože výskyt kondenzátu negativně ovlivňuje kvalitu vnitřního prostředí, je nutné tomuto jevu předejít. Jedním z prvních kroků je analýza okenní konstrukce a detekce míst, kde k těmto problémům dochází, a míst, kde se vyskytují nejnižší vnitřní povrchové teploty na celé okenní konstrukci. Z provedených zkoušek vyplynulo:

- nejnižší vnitřní povrchová teplota okenní konstrukce se vyskytuje v rohu okenního rámu v oblasti zasklívací spáry, a to vlivem spojení distančních rámečků [1].
- výrazné snížení vnitřní povrchové teploty se vyskytuje také v oblasti funkční spáry v rohu okenního rámu vlivem cirkulace vzduchu, který způsobují přivětrávací otvory a odtokové otvory dešťové zábrany.

Norma ČSN 730540-2 předepisuje požadavek na nejnižší teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} na celém vnitřním povrchu konstrukce. Pokud chceme ověřovat shodu s tímto požadavkem, je nutné vnitřní povrchové teploty (teplotní faktory vnitřního povrchu) zjišťovat na výše zmíněných místech, protože na charakteristickém průřezu rámu jsou tyto teploty, jak bylo zjištěno, vyšší.

Závěrem je nutné podotknout, že důležitým prvkem při zjišťování povrchových teplot, jak plyne ze zkušenosti se zjišťováním teplot měřením a výpočtem, je přesné umístění teplotních čidel, stejně tak i přesnost zadávání dat při ověřování vnitřních povrchových teplot pomocí výpočtu.

Článek byl vypracován za podpory Technického a zkušebního ústavu stavebního v Praze.

[1] Ing. Roman Jiráček, Ph.D. (*1982)

je soudním znalcem v oboru stavebnictví se specializací na otvorové výplně a tepelnou techniku lehkých obvodových plášťů. Je energetickým specialistou MPO. Absolvoval doktorské studium na ČVUT Fakultě stavební v Praze. Dva roky pracoval jako tepelný technik ve společnosti Skanska v závodě lehkých obvodových plášťů. Poté strávil čtvrt roku na pracovní stáži v IFT Rosenheim v Německu, kde se soustředil na simulaci transportu tepla skrz LOP a otvorové výplně. V současné době spolurídí společnost DECOEN v.o.s. a DECOEN znalecký ústav s.r.o. zaměřující se na tepelnou techniku, na snižování energetické náročnosti budov a projekční činnost.

kontakt: +420 724 638 998, roman.jirak@decoen.cz Tel.: 724 638 998

Literatura:

tel.: +420 72463899

email: info@decoen.cz

[1] JIRÁK ROMAN: Distanční rámečky zasklívacích jednotek a jejich vzájemná interakce s teplotním faktorem f_{Rsi} . Tepelná ochrana budov 1/2009

[2] PEXIDR MICHAL: Revize výpočetních postupů pro určování součinitele prostupu tepla okenních ráků. Disertační práce, Praha 2007

[3] ČSN 730540-2: 2007 Tepelná ochrana budov – Část2: požadavky. Praha Český normalizační institut.

[4] <http://www.paroscientific.com/dewpoint.htm>