

DOBA KONDENZACE VODNÍCH PAR V OBLASTI ZASKLÍVACÍ SPÁRY OTVOROVÝCH VÝPLNÍ

Ing. Roman Jirák, Ph.D., DECOEN v.o.s., roman.jirak@decoen.cz

V posledních letech je vidět progresivní trend snižování spotřeby energie provozu budov. Rozšiřují se řady odborníků zabývajících se touto problematikou, a tak z jejich řad a z řad normalizačních komisí přicházejí stále přísnější požadavky a předpisy na části staveb, jež spotřebu energie výrazně ovlivňují. Mezi ně neodmyslitelně patří také lehké obvodové pláště – prosklené fasády a otvorové výplně, které ale zároveň jsou jejich nejslabšími částmi. Tepelně-technické požadavky na ně kladené je nutné rozdělit na dvě základní skupiny:

1. Požadavky kladené na otvorovou výplň jako na výrobek. Tyto požadavky jsou předepisovány harmonizovanou normou ČSN EN 14351-1: 2006, čímž se stávají závaznými a musí být splněny v případě uvedení konstrukce na trh. Zde se jedná o tzv. součinitel prostupu tepla otvorové výplně U_w [W/m²K], udávající průměrnou tepelně izolační vlastnost konstrukce.
2. Požadavky kladené na otvorovou výplň jako na zabudovanou konstrukci. Požadavky této skupiny nejsou sice předepsány harmonizovanou normou, ale jejich závaznost je dána vnitřními zákony a vyhláškou. Požadavky musí být splněny v případě zabudování konstrukce do stavby, a co je důležité, ve vztahu k daným podmínkám, ve kterých se stavba nachází. Jiné vlastnosti tedy musí mít okenní konstrukce zabudovaná v Praze a jiné na Vysočině. Požadavkem charakterizujícím tuto skupinu z tepelně-technického hlediska je požadavek na nejnižší teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} [-] (dříve nejnižší vnitřní povrchová teplota).

Přirozeně také v této době vznikají jak z řad vědeckých pracovníků, tak z řad výrobců a dodavatelů diskuze o vhodnosti těchto požadavků, formulacích a správnosti metodiky jejich hodnocení. Jedním z nejdiskutovanějších bodů je požadavek na nejnižší teplotní faktor vnitřního povrchu otvorových výplní.

Tento příspěvek se zabývá časovým úsekem, kdy dochází v průběhu dne ke kondenzaci vodních par na vnitřním povrchu, a závažností tohoto jevu.

Teplotní faktor vnitřního povrchu

Jak již bylo řečeno, teplotní faktor vnitřního povrchu patří mezi požadavky, které se vztahují k daným okrajovým podmínkám, do nichž je konstrukce osazena. Oproti dříve používanému požadavku na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu má velkou výhodu v tom, že tato bezrozměrná hodnota charakterizuje lokální vlastnost konstrukce nebo styku konstrukcí a nezávisí na přilehlých okrajových podmínkách, což dokazuje následující vztah:

$$f_{R_{si}} = 1 - U_x \cdot R_{si} \quad [1]$$

kde U_x lokální součinitel prostupu tepla konstrukce v místě sledované vnitřní povrchové teploty

R_{si} odpor na přestupu tepla na vnitřní straně

Význam teplotního faktoru vnitřního povrchu spočívá v ověření rizika kondenzace vodních par na vnitřním povrchu konstrukce. V případě jeho přítomnosti kondenzát nejen degraduje vlastnosti dané konstrukce a konstrukcí k ní přilehlých, ale protože je katalyzátorem vzniku plísní a výskytu oligotrofních organismů, narušuje zdravotní a hygienickou nezávadnost vnitřního prostředí. Mnozí z odpůrců tohoto požadavku argumentují tím, že kondenzace na plastových oknech není podstatná, neboť zde nemůže dojít ke vzniku plísní. Pravý opak však dokazuje následující obrázek 1. Další z často zmiňovaných argumentů je spekulace, že k teplotám vnějšího prostředí, při nichž jsou konstrukce ověřovány, dochází jenom ve zlomku času v průběhu dne, a tak ke kondenzaci dochází v minimální době, za níž výše zmíněné problémy nemohou vzniknout. Jinak řečeno, pokud konstrukce nesplní tento požadavek, ještě neznamená, že není vhodná pro zabudování do stavby v daných okrajových podmínkách.



Obrázek 1 vznik plísně u plastových oken

Nakolik jsou oprávněné diskuze a argumenty, zda ke kondenzaci dochází opravdu jenom ve zlomku času, který způsobí kondenzát, jehož množství je zanedbatelné a nebude tak ohrožovat samotnou konstrukci ani její zdravotní nezávadnost, není možné rozhodnout pouze teoretickou diskuzí. Musíme opustit dané normové předpisy, nahlédnout do fyzikální podstaty problému a experimentálně ho ověřit.

Podstata kondenzace vodních par

Podstata kondenzace vodních par je již dlouhou dobu popsána známými fyzikálními zákony. Ke kondenzaci na povrchu konstrukce dochází v případě, že její povrch je ochlazen na nebo pod teplotu rosného bodu, který je funkcí teploty, relativní vlhkosti a atmosférického tlaku prostředí. Její výpočet je dán podle následujícího vztahu:

$$\vartheta_w(\vartheta_{ai}, w) = \frac{\lambda * \left(\ln\left(\frac{w}{100} \right) + \frac{\beta + \vartheta_{ai}}{\lambda + \vartheta_{ai}} \right)}{\beta - \left(\ln\left(\frac{w}{100} \right) + \frac{\beta + \vartheta_{ai}}{\lambda + \vartheta_{ai}} \right)} \quad [2]$$

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

Z fyzikálního hlediska jde o fázovou přeměnu z plynného skupenství na kapalné. Ve vzduchu o určité relativní vlhkosti a teplotě se volně pohybují molekuly vody, jejichž množství určuje relativní vlhkost daného prostředí. Molekuly vody, které jsou složeny ze dvou atomů vodíku a jednoho atomu kyslíku, se volně pohybují ve vzduchu a občas dochází k jejich srážkám. Když se dvě molekuly vody srazí, opět se odrazí. Pokud ale začne klesat teplota, molekuly mají méně energie a začnou se tedy pohybovat pomaleji. Jakmile klesne teplota na teplotu rosného bodu, pohybují se molekuly natolik pomalu, že se spolu naváží. Vazba vzniká mezi atomy vodíku a atomem kyslíku. Vodní molekuly se spojují v krátké řady, což zapříčiní přeměnu vodní páry v tekutinu. Pokud dojde k navázání

tel.: +420 72463899 email: info@decoen.cz

dostatečného množství molekul, vzniká tzv. kapka, která se objevuje na površích konstrukcí, jejichž povrch vykazuje teplotu nižší než je teplota rosného bodu daného prostředí.

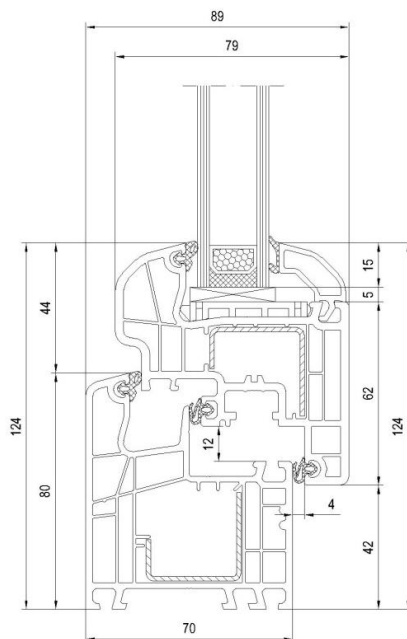
Doba kondenzace

Aby bylo možné stanovit skutečnou dobu, při které dochází ke kondenzaci v průběhu charakteristického zimního dne, bylo nejprve provedeno v reálném, již stojícím domě měření všech veličin, na kterých zkoumaný jev závisí. V lednovém dni v průběhu 24 hodin byly měřeny v desetiminutových intervalech tyto hodnoty: θ_{ai} ... teplota vnitřního prostředí, θ_e ... teplota vnějšího prostředí a w_i ... relativní vlhkost vnitřního prostředí. Vnitřní teploty se pohybovaly mezi 17,92 až 26,73°C, teploty vnějšího prostředí mezi -17,19 až -5,67°C a hodnoty relativní vlhkosti vnitřního prostředí mezi 37 až 49%.

Dále je možné ubírat se dvěma směry. Pomocí počítačové simulace zatížit namodelovanou okenní konstrukci tímto nestacionárním teplotním polem a výpočtem stanovit v jednotlivých intervalech vnitřní povrchovou teplotu. Tu pak synchronizovaně porovnávat s vypočtenou hodnotou rosného bodu. Tento způsob je náročný na třírozměrnou modelaci okenní konstrukce, její přesné namodelování je podmínkou kvalitních výsledků. Druhou možností, která byla zvolena, je experimentální přístup, jehož postup je popsán na následujících řádcích.

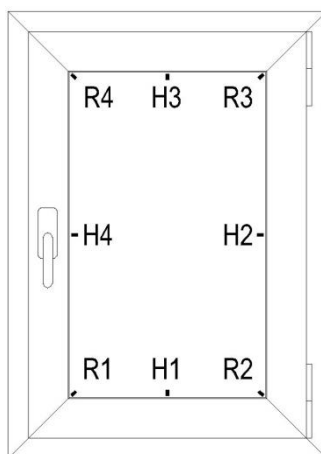
Experimentální simulace

Experiment byl proveden na vzorku okenní konstrukce tvořené pětikomorovým plastovým profilem se středovým těsněním (obrázek 2). Hloubka uložení zasklívací jednotky se součinitelem prostupu tepla $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ a distančním rámečkem Swisspacer V byla 15 mm.



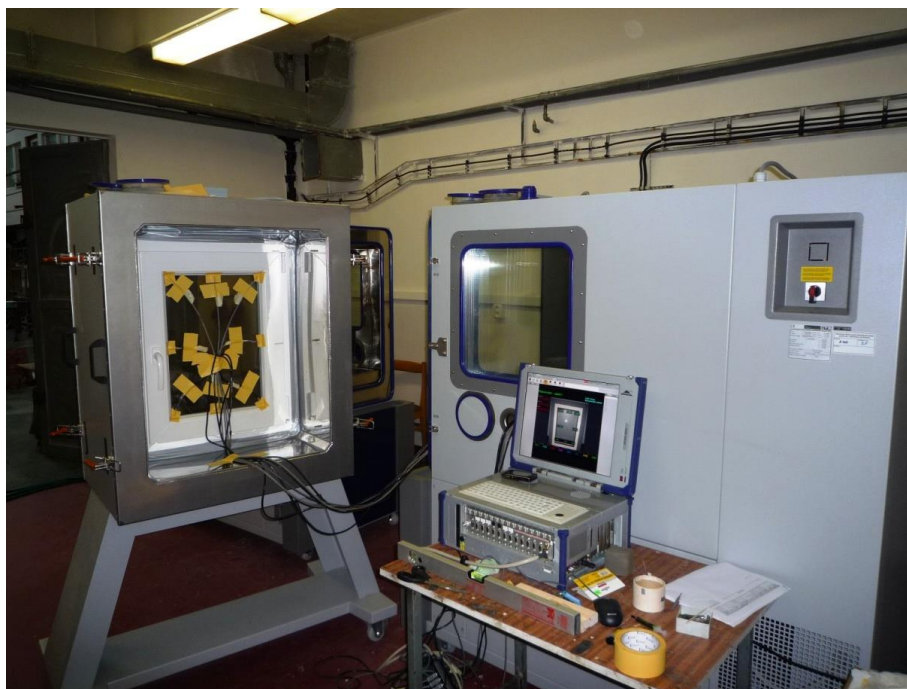
Obrázek 2 profil okenního rámu

Vzorek byl osazen do ocelového tunelu tak, aby nedocházelo k transportu tepla mezi konstrukcí a tunelem. Protože již bylo dokázáno, že nejnižší vnitřní povrchové teploty na otvorových výplních se vyskytují v oblasti zasklívací spáry, zvláště pak v rohu zasklívací jednotky [3], jednotlivá teplotní čidla byla rozmístěna do všech rohů a doprostřed jednotlivých vlysů v zasklívací spáře podle obrázku 3.



Obrázek 3 rozmístění teplotních čidel

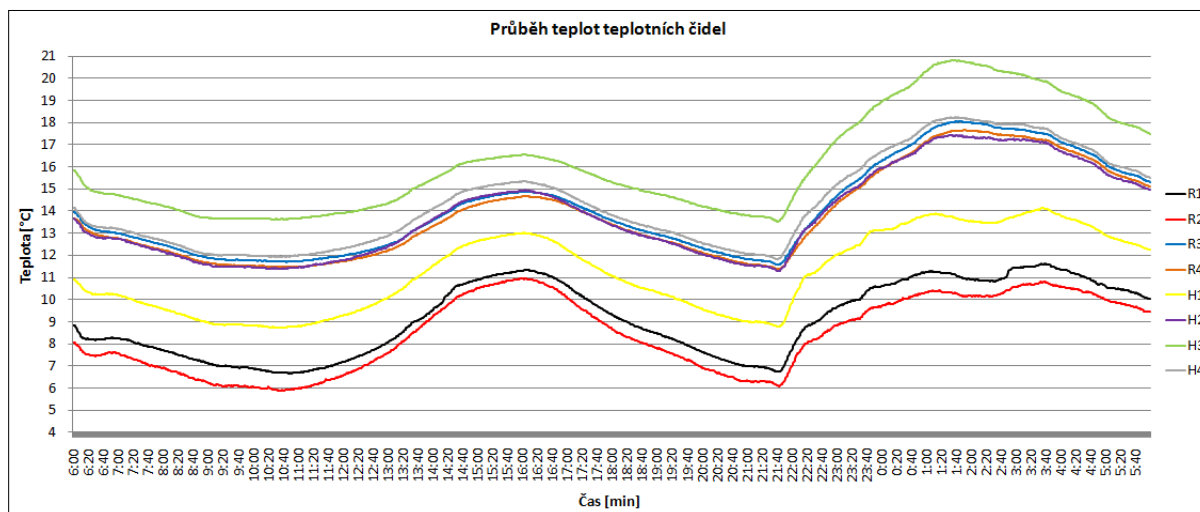
Tunel s osazenou konstrukcí byl umístěn mezi dvě klimatické komory (obrázek 4), které simulovaly vnitřní a vnější prostředí a teplotně tak zatěžovaly konstrukci podle naměřených dat. Data z teplotních čidel byla přenášena pomocí kabelů do měřicí jednotky DEWETRON, jež zaznamenávala povrchové teploty dvakrát za sekundu v průběhu celých 24 hodin.



Obrázek 4 zkušební zařízení

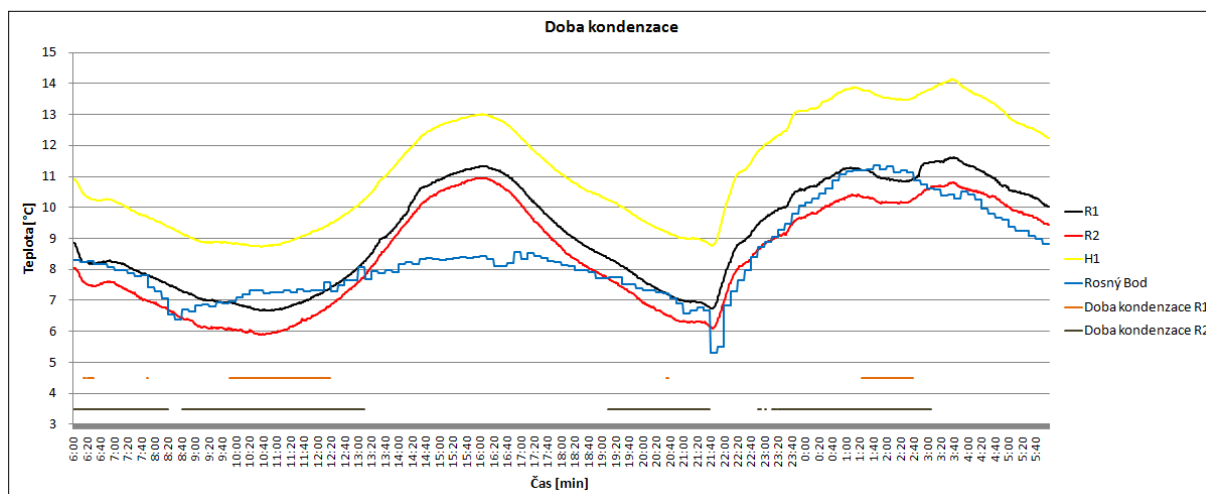
Výsledky měření

Následující graf (graf 1) zobrazuje průběhy naměřených teplot všech osmi umístěných teplotních čidel. Byly potvrzeny závěry předešlého experimentu [3], že nejnižší vnitřní povrchové teploty se vyskytují v oblasti zasklívací spáry v rozích zasklívací jednotky. Nejnižší teploty vykazovala teplotní čidla umístěná v zasklívací spáře u spodního vlysu okenního rámu, a to především čidla R1 a R2, která ovlivňoval dvojnásobný tepelný most rohově spojeného distančního rámečku. Na druhé straně nejvyšší teploty byly naměřeny u horního vlysu rámu, konkrétně u čidla H3 umístěného uprostřed, které nebylo ovlivňováno rohovým spojením distančního rámečku.



Graf 1 průběhy teplot jednotlivých čidel

Graf 2 zobrazuje křivku rosného bodu, vypočtenou z naměřených relativních vlhkostí w [%] a teplot vnitřního prostředí θ_i . Touto křivkou byly proloženy průběhy teplot čidel R1, R2 a H1. V době, kde se teplotní křivky vyskytly pod křivkou rosného bodu nebo ji protínaly, docházelo ke kondenzaci. Díky použití zasklívací jednotky s distančním rámečkem, který vykazuje v současné době nejlepší tepelně-technické vlastnosti [4], se tak stalo pouze u teplotních čidel umístěných v rohu izolačního skla R1 a R2. Jednotlivé úsečky ve spodní části tohoto grafu ukazují časový úsek, kdy v místě těchto čidel docházelo ke kondenzaci. V průběhu 24-hodinového experimentu docházelo ke kondenzaci u teplotního čidla R1 po dobu 4 hodin a 8 minut a u čidla R2 dokonce 13 hodin a 35 minut.



Graf 2 doba kondenzace

Je nutné si uvědomit, že kondenzaci vodních par neovlivňuje pouze kvalita samotné konstrukce otvorové výplně a oblast, ve které se vyskytuje budova, do níž je výplň zabudována, ale také přilehlé vnitřní prostředí. Použité relativní vlhkosti vnitřního prostředí pro tento experiment se pohybovaly v rozmezí 37-49%. Pokud by se tato vlhkost zvýšila v každém časovém intervalu o 5%, výrazně by se zvýšila i doba kondenzace. Zajímavých hodnot dosáhneme i v případě, že pro každý časový interval použijeme normou předepsanou relativní vlhkost vnitřního prostředí pro ověřování požadavku na nejnižší teplotní faktor vnitřního povrchu, přestože tato situace ve skutečnosti nikdy nemůže nastat. Časy, v nichž by docházelo ke kondenzaci v závislosti na zmíněných změnách relativní vlhkosti za předpokladu stejných teplot, zobrazuje následující tabulka:

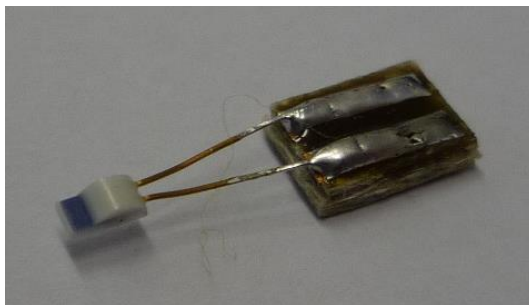
Doba kondenzace				
Rozmezí vlhkosti		37-49%	42-54%	50%
Teplotní čidla	R1	4:08	20:19	18:19
	R2	13:35	21:10	20:01
	H1	0:00	0:20	4:06

Tabulka 1 doba kondenzace

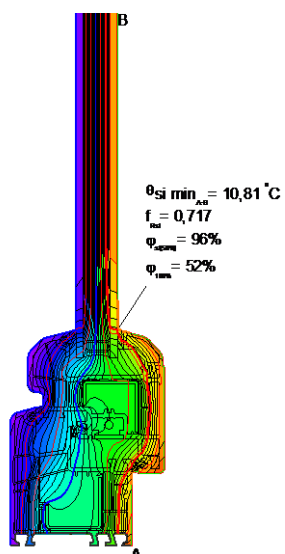
Diskuze

Měření vnitřních povrchových teplot, zvláště u otvorových výplní, je velmi problematickou záležitostí. Dosažení správných a nezkrivených výsledků ovlivňuje mnoho faktorů. Jedním z hlavních je zvolení vhodného teplotního čidla, jeho rozměrů a přesné umístění. V tomto případě bylo nutné teplotní čidlo umístit přesně do rohů zasklívací jednotky těsně u zasklívacího těsnění. Pokud by se tak nestalo nebo by se čidlo v průběhu měření posunulo, byly by naměřeny zkreslené teploty. Ze zkušenosti vyplývá, že posunutí teplotního čidla i o pouhý milimetr, zvláště v této oblasti, může ovlivnit naměřenou povrchovou teplotu více jak o 0,5°C.

Další podmínkou přesných výsledků je zajištění minimálního tepelného odporu mezi teplotním čidlem a samotným povrchem. Nesmí tedy dojít v průběhu měření k oddálení čidla od měřeného povrchu, jinými slovy musí být po celou dobu zajištěn jejich těsný kontakt. V tomto případě byla na teplotní čidlo nanášena vysoce tepelně vodivá pasta.

**Obrázek 5 detail teplotního čidla**

Velmi obtížnou částí experimentu, v níž je nutné připustit, že často vznikají nepřesnosti, je nastavení vhodného přestupového odporu na vnitřní straně. Ten je výrazně ovlivněn rychlostí proudění vzduchu. Teplotní čidla měří teplotu celým svým objemem a ventilátory zajišťující rovnoměrné rozložení teploty vzduchu po celé klimatické komoře mohou hnát na teplotní čidla teplý vzduch vyšší rychlostí, než by byla ve skutečnosti dosažena, čímž čidla výrazně zahřívají. Proto je nutné čidla před rychle proudícím vzduchem zastínit. Pro zvolení správné míry zastínění bylo provedeno tzv. kalibrační měření, které bylo porovnáváno s výpočtem ve výpočtovém programu, jež dovoluje přesné namodelování konstrukce. Ve výsledku pro okrajové podmínky $\Theta_{ai}=21^{\circ}\text{C}$ a $\Theta_e=-15^{\circ}\text{C}$ byla vypočtena povrchová teplota na charakteristickém průřezu rámu $10,81^{\circ}\text{C}$ a ve stejných podmínkách bylo naměřeno uprostřed spodního vlysu $10,90^{\circ}\text{C}$. Obrázek 6 ukazuje grafický výstup z dvourozměrného teplotního pole z programu Flixo a obrázek 7 záznam z měření.



Obrázek 6 grafický výstup výpočtu



Obrázek 7 záznam z měření

Závěr

Výsledky experimentu dávají jednoznačnou představu o délce časového úseku, ve kterém v charakteristickém zimním dni dochází ke kondenzaci. V případě této konstrukce vznikal kondenzát více než polovinu simulované doby. A to i přes skutečnost, že byl použit nejlepší distanční rámeček a použitá relativní vlhkost vnitřního prostředí (37-49%) v žádném časovém okamžiku nedosáhla normové hodnoty (50%). Z experimentu plynou tyto dílčí závěry:

- Okrajové podmínky pro ověřování požadavku na teplotní faktor vnitřního povrchu nejsou přehnané.
- Nelze obecně říci, že ke kondenzaci dochází jen v době, která je nedostatečná pro vznik takového množství kondenzátu, jenž by díky jeho stékání nemohl degradovat přilehlé konstrukce a nezapříčinil vznik plísní. Tento jev je ovlivněn velkým množstvím faktorů.
- Byl potvrzen závěr předešlého experimentu popsaného v článku Detekce oblasti okenních konstrukcí s nejnižší vnitřní povrchovou teplotou [3], že chceme-li ověřovat požadavek na nejnižší teplotní faktor vnitřního povrchu, nemůžeme tak činit na charakteristickém průřezu rámu, ale ve spodních rozích zasklívací spáry.

- [1] ŠÁLA J.: *Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} pro ČSN 73 0540-2*, Tepelná ochrana budov 4/2006
- [2] <http://www.paroscientific.com/dewpoint.htm>
- [3] JIRÁK R.: *Detekce oblasti okenních konstrukcí s nejnižší vnitřní povrchovou teplotou*. Otvorové výplně stavebních konstrukcí 2009, IV. Ročník celostátního odborného semináře
- [4] JIRÁK R. *Elimination of the water vapor condensation in the area of glazing groove*. 7th International Seminar on Environmentally Compatible Structures and Structural Materials (ECS). 7. Ročník mezinárodní konference 2009, s.96-100, ISBN 978-80-01-04506-0

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 zapsaným v seznamu MPO. Absolvoval doktorské studium na ČVUT Fakultě stavební v Praze. Dva roky pracoval jako tepelný

tel.: +420 72463899 email: info@decoen.cz

technik ve společnosti Skanska v závodě lehkých obvodových plášťů. Po té 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 řídí společnost DECOEN v.o.s. zaměřující se na tepelnou techniku a na snižování energetické náročnosti budov a znalecký ústav DECOEN znalecký ústav s.r.o.