

Současné otvorové výplně na českém a evropském trhu - II

NEJKRITICKĚJŠÍ MÍSTA Z POHLEDU KONDENZACE VODNÍCH PAR NA VNITŘNÍM POVRCHU

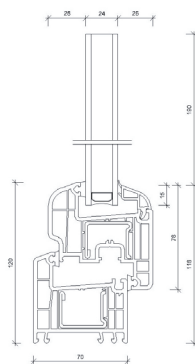
Ing. Roman Jirák, Ph.D., DECOEN v.o.s., roman.jirak@decoen.cz

V předchozím úvodním článku [1] bylo poukázáno na kondenzaci vodních par na vnitřním povrchu otvorových výplní jako na nejčastější důvod ke stížnostem a k reklamacím těchto konstrukcí. Společnosti osazující okenní konstrukce nebo jejich výrobci často argumentují investořům nevhodným užíváním vnitřního prostředí. Toto tvrzení může být ve značných případech neopodstatněné a nepravdivé. Obyvatelé žijí v budově a užívají ji v naprosté většině případů stejně po výměně okenních konstrukcí jako před ní. O špatném užívání tedy nemůže být řeč. Je však nutné podotknout, že výměnou starých konstrukcí za nové (vzhledem k nadměrné infiltraci starých okenních konstrukcí) se mění podmínky vnitřního prostředí a může tak dojít v některých případech ke zvýšení průměrné relativní vlhkosti vnitřního prostředí, a tak samozřejmě i ke zvýšení jeho rosného bodu. Z těchto řádků vychází otázka, jak situaci výměny oken řešit, jak k ní přistupovat, kdo by za ni měl mít zodpovědnost a hlavně ji řídit. Rozhodně to nebude investor, který jako laik nemůže mít dostatečné znalosti dané problematiky. Měl by to být projektant, který má rekonstrukci, a tím i výměnu otvorových výplní na starosti. V případě, že není projektant u výměny zainteresován, měl by jeho roli, alespoň částečně, přebrat výrobce. Předem se musí stanovit, jaké parametry má okenní konstrukce mít, a to ne jenom specifikovat vlastnosti konstrukce jako výrobku, ale i stanovit vlastnosti a podmínky kladené na zabudovanou konstrukci. Vzhledem ke kondenzaci jako nejčastějšímu problému by v první řadě měla být posouzena vhodnost konstrukce do dané lokality pomocí požadavku na teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} .

Abyste bylo možné blíže se zaměřit na řešení problému s kondenzací vodních par na okenních konstrukcích a v praxi ho efektivně posu-

zovat, je nutné nejprve vyhledat riziková místa s výskytem nejnižších vnitřních povrchových teplot a tím místa, kde je nejvyšší riziko kondenzace vodních par. K této analýze lze přistoupit dvěma způsoby: matematicko-numerickým modelováním a experimentálním měřením.

1.1 Matematicko-numerické modelování – analýza ve dvourozměrném teplotním poli



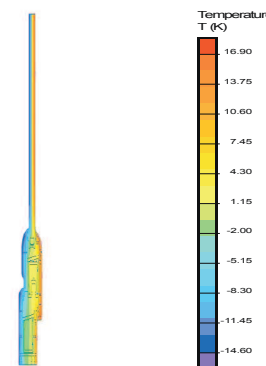
Obrázek č. 1 výkres okenního profilu.

informace o analyzované konstrukci obsahuje tabulka ve spodní části výkresu. Pro okenní konstrukci byl proveden výpočet dvourozměrného šíření tepla v programu QuickField verze 5.2 tak, aby byl zjištěn průběh povrchových teplot na vnitřním povrchu. Okrajové podmínky výpočtu byly zvoleny následující: teplota vnitřního prostředí $\theta_{ai} = 21\text{ °C}$ a teplota vnějšího prostředí $\theta_{e} = -15\text{ °C}$. Tyto okrajové podmínky byly zvoleny z důvodu snadnějšího nastavení v klimatických komorách u případných experimentů. Výpočet byl proveden dle ČSN EN ISO 10077-1 s využitím ČSN EN ISO 10211-1 a ČSN EN ISO 13788. Ve výpočtu byly vzduchové dutiny namodelovány o anizotropní ekvivalentní tepelné vodivosti. Na základě jednoho ze závěrů disertační práce

Pro tento účel byla zvolena jedna z nejběžnějších plastových okenních konstrukcí vyskytujících se na našem trhu.

Výkres posuzovaného okenního profilu se základními rozměry je zobrazen na obrázku č. 1. Podstatné

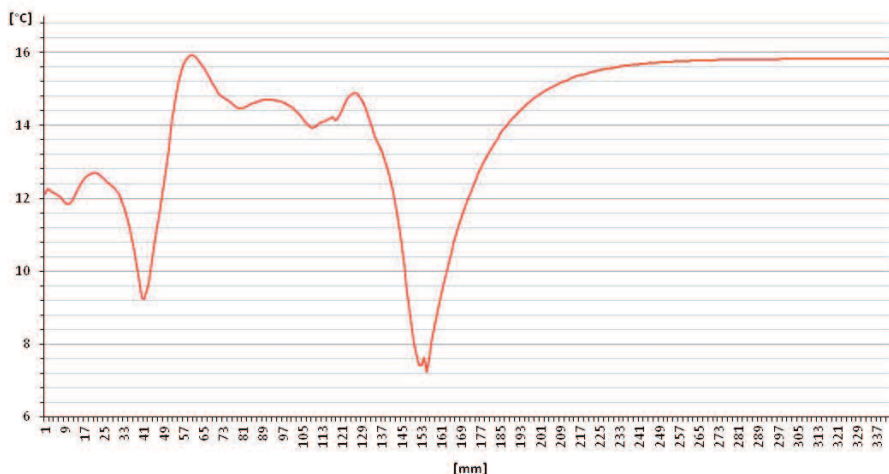
Ing. Michala Pexidera, Ph.D. [2], o cirkulaci vzduchu ve funkční spáře byla pro dutinu ve funkční spáře navržena ekvivalentní tepelná vodivost pro mírně provětrávanou vzduchovou dutinu, stejně tak i pro dutiny obsahující odtokové otvory. Grafický výstup teplotního pole zobrazuje následující obrázek č. 2.



Obrázek č. 2 grafický výstup výpočtu.

Jednotlivé barvy znázorňují průběh teplot v charakteristickém řezu konstrukce. Hodnoty ve stupních Celsia přiřazuje legenda v pravé části obrázku. Pro přesný průběh teplot na vnitřním povrchu detailu je teplotní pole nedostačující, proto je přiložen následující graf č. 1. Křivka grafu zobrazuje průběh teplot od spodní části rámu po horní část zasklívací jednotky. Na ose x jsou vyneseny hodnoty povrchových teplot [°C] a na ose y rozložená vzdálenost [mm] směrem od spodní části okenního rámu. Průměrná teplota vnitřního povrchu je $14,1\text{ °C}$. Na průběhu křivky jsou patrná dvě místa, kde teplota významně klesá pod průměrnou hodnotu. První místo zleva vykazuje hodnotu $9,23\text{ °C}$ a jedná se o oblast funkční spáry. Druhé místo vykazuje hodnotu $7,24\text{ °C}$, což je nejnižší hodnota na celém průběhu a dá se o ní tvrdit, že se jedná o teplotu, která bude rozhodně pod rosným bodem běžného vnitřního prostředí. Tato část grafu přísluší místu napojení zasklívací jednotky a okenního křídla, jinak nazývaného zasklívací spára. Naopak nejvyšší teplotu vykazuje pravá oblast ($15,82\text{ °C}$). Jsou to teploty v místě zasklívací jednotky dostatečně vzdálené od oblasti zasklívací spáry. Zasklívací spára, jak je vidět na průběhu teplot, ovlivňuje vnitřní povrchové teploty na zasklívací jednotce další desítky milimetrů.

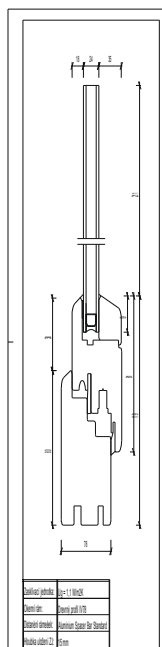
Výsledky první analýzy ukazují na místo funkční spáry a především zasklívací spáry jako na kritickou oblast okenních konstrukcí z pohledu rizika vzniku kondenzace vodních par. Jinými slovy jedná se o místa, kde je náhle snížena vnitřní povrchová teplota oproti průměrným teplotám na vnitřním povrchu konstrukce.



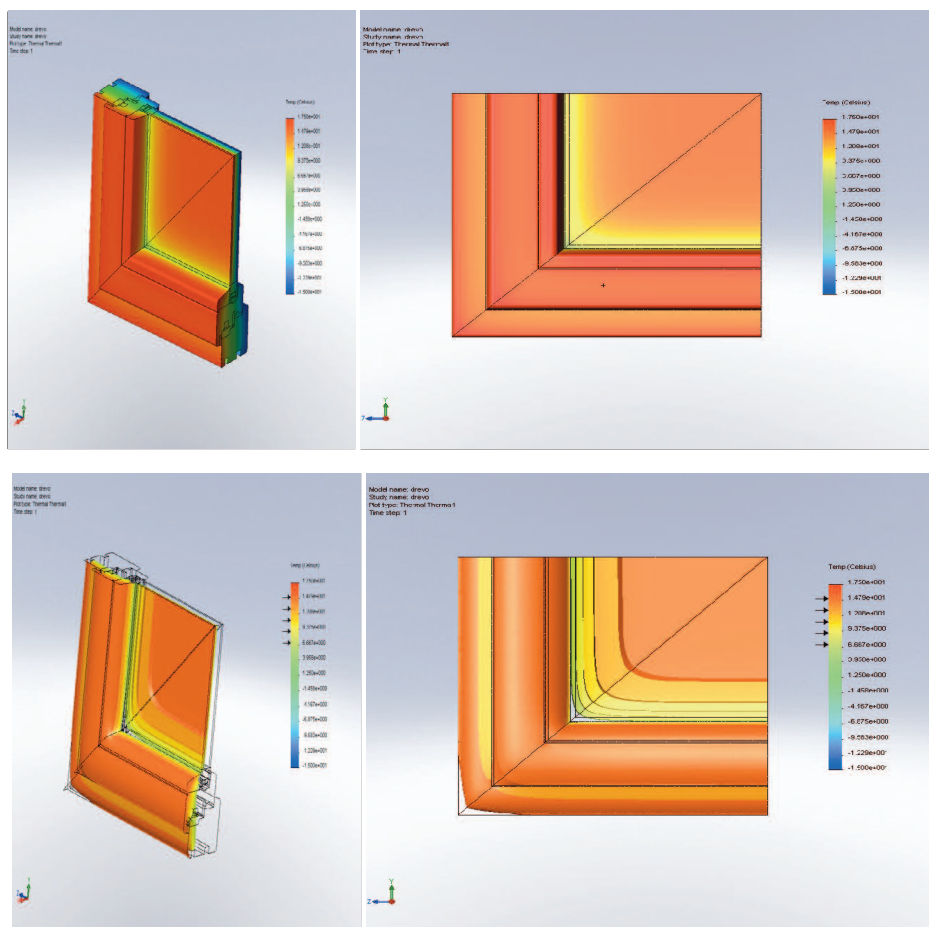
Graf č. 1 průběh vnitřních povrchových teplot v závislosti na souřadnici bodu vnitřního povrchu.

1.2 Matematicko-numerické modelování – analýza ve třírozměrném teplotním poli

Do této chvíle bylo na okenní konstrukci nahlíženo pouze jako na dvourozměrný prvek. Vnitřní povrchové teploty zde byly zjištěny výpočtem ve dvourozměrném teplotním poli pouze na charakteristickém průřezu rámu. Nebyl zde uplatněn komplexní pohled na celou okenní konstrukci jako na třírozměrný prvek. Lze předpokládat, že na okenní konstrukci existují místa, kde třetí rozměr bude hrát podstatnou roli. Aby bylo možné taková místa lokalizovat, bylo nutné provést výpočet ve třírozměrném teplotním poli. Výpočet byl proveden opět dle platné ČSN EN ISO 10077-2 s využitím ČSN EN ISO 10211-1 a ČSN EN ISO 13788. Okrajové podmínky byly použity shodně jako v předešlém případě. Vzhledem k tomu, že takovéto druhy výpočtů jsou značně náročné, zvláště pokud se jedná o tak složitou konstrukci, jako je plastová otvorová výplň, bylo nutné zvolit jednodušší konstrukci a provést mírná zjednodušení. Pro tento výpočet byla použita konstrukce zobrazená na následujícím obrázku č. 3.



Obrázek č. 3 výkres okenního profilu.



Obrázek č. 4 grafické výstupy z výpočtu třírozměrného teplotního pole rohu zasklívací jednotky.

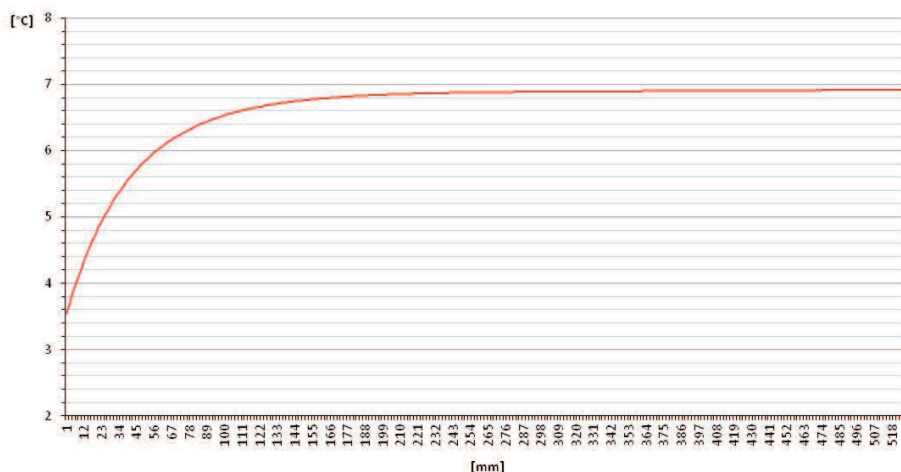
Pro analýzu byla konstrukce vymodelována v programu SolidWorks v průběhu mé zahraniční stáže v IFT Rosenheim. Za účelem zjednodušení model neobsahuje okapnici spodního vlysu rámu. Protože minulá analýza odhalila, že nejrizikovější místo je zasklívací spára, byl výpočet zaměřen na tuto oblast a pro modelaci byl zvolen roh okenní konstrukce. Výpočet odhalil velmi zajímavý výstup. Na následujících obrázcích jsou grafické výstupy teplotních polí z různých pohledů, za nimi následují pro lepší vyobrazení izoplochy, jež reprezentují teploty 7, 9, 13 a 15 °C. Zvýšenou pozornost je třeba věnovat především změně chování izoploch v místech blízkých se rohu okenního rámu a zasklívací jednotky.

Pro jasný přehled o průběhu povrchových teplot byly vypočtené hodnoty vyneseny do následujícího grafu č. 2. Zobrazená křivka je funkcí teploty a vzdálenosti od rohu zasklívací jednotky na spodním vlysu rámu v oblasti zasklívací spáry. Konkrétní hodnoty povrchových teplot jsou vyneseny po vzdálenostech 0,4 mm přesně podle velikosti sítě výpočtu této oblasti. Nejvyšší hodnota v zasklívací spáře je 6,91 °C. Jedná se o předpokládanou teplotu pro danou oblast a konstrukci s hliníkovým distančním rámečkem, což hovoří o reálnosti výpočtu. Směrem k rohu teplota exponenciálně klesá a nejnižší hodnoty 3,55 °C dosahuje přesně v rohu okenního křídla. Rozdíl teplot v oblasti zasklívací spáry mezi charakteristickým průřezem a rohem konstrukce je 3,52 °C.

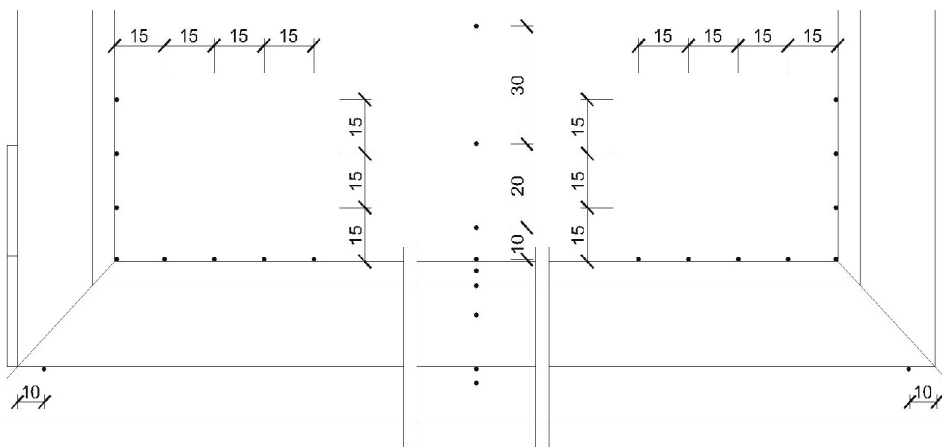
Výsledky analýzy průběhu teplot v třírozměrném teplotním poli potvrzují závěr předešlého výpočtu, zároveň hovoří o podstatném rozdílu mezi teplotami v charakteristickém průřezu rámu a rohu okenní konstrukce a poukazují na roh zasklívací spáry jako na oblast s výskytem nejnižší povrchové teploty.

2.1 Experimentální analýza

K analýzování a řešení transportu tepla skrz okenní konstrukci je možné přistoupit dvěma způsoby. Řešit daný problém pomocí numerické analýzy (matematického výpočtu), nebo provést experimentální měření. Aby se daly závěry předešlých výpočtů považovat za věrohodné, byla provedena experimentální analýza s cílem



Graf č. 2 Průběh vnitřních povrchových teplot v oblasti zasklívací spáry v závislosti na vzdálenosti od rohu ZJ.



Obrázek č. 6 rozmístění teplotních čidel při experimentu.

potvrdit nebo vyvrátit výsledky matematických výpočtů. Experiment byl proveden za podpory Technického a zkušebního ústavu stavebního Praha s. p., který poskytl zkušební vzorek a klimatickou komoru pro měření.

Rozmístění teplotních čidel a okrajové podmínky

V závislosti na výsledcích předchozích výpočtů ve dvourozměrném a trojrozměrném teplotním poli byla rozmístěna teplotní čidla. V případě experimentu v TZUS Praha byly k dispozici termočlánky. Pro měření povrchových teplot v oblastech, jako jsou zasklívací spáry, funkční spáry, popřípadě rohy zasklívacích jednotek a okenních rámců, se jedná o vhodná teplotní čidla. Především pro svou minimální velikost umožňující jejich přesné umístění. Což je, jak se ukázalo v průběhu měření, faktor, který výrazně ovlivňuje přesnost konečných výsledků.

Termočlánky byly rozmístěny u spodního vlysu rámu. Konkrétně uprostřed v jeho charakteristickém průřezu a v rozích zasklívací jednotky okenního křídla tak, aby mohly být porovnány závěry obou výpočetních analýz. Jejich přesné rozmístění zobrazuje schéma na obrázku č. 6.

Na dalším obrázku č. 7 je vidět fotografie rozmístění čidel v pravém rohu konstrukce. Čidla byla uchycena pomocí hliníkové lepicí pásky s vysokou tepelnou vodivostí proto, aby nedocházelo k izolování článků a jejich bezprostřední blízkosti od okolní interiérové teploty. Protože hliníkové pásky měly lesklý povrch s nízkou emisivitou, který by mohl ovlivňovat přenos tepla sáláním, byly přestříkány barvou.

Okrajové podmínky měření byly stanoveny stejně jako v obou případech numerického výpočtu. Teplota vnitřního prostředí $\theta_{ai} = 21\text{ °C}$ a teplota vnějšího prostředí $\theta_e = -15\text{ °C}$.

Průběh měření

Osazená konstrukce do izolovaného rámu byla umístěna mezi dvě klimatické komory, z nichž jedna simulovala podmínky vnějšího prostředí (-15 °C) a druhá vnitřního prostředí (21 °C). Protože se jednalo o nedynamickou experimentální analýzu, bylo samotné měření zahájeno až

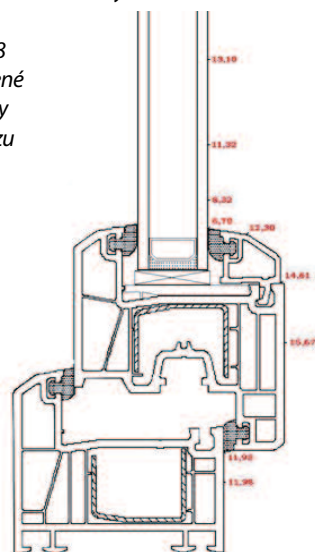
8 hodin po zapnutí klimatických komor, z důvodu vyrovnání teplot v komorách a okenní kon-



Obrázek č. 7 umístění čidel v rohu okenní konstrukce.

strukci. Vlastní měření trvalo 7 hodin. Každou hodinu byly zaznamenány teploty všech povrchových čidel umístěných na konstrukci a zároveň

Obr. č. 8 naměřené hodnoty v průřezu

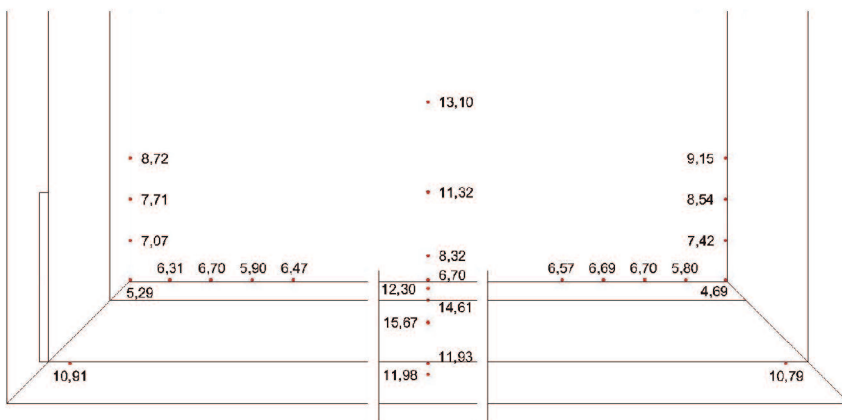


prostorových čidel měřících teplotu prostředí v komorách. Komory byly schopny udržet zadanou teplotu s přesností $\pm 1\text{ °C}$, proto bylo nutné naměřené teploty přepočíst ve vztahu ke skutečné aktuální teplotě v klimatické komoře. Ze sedmi přepočtených hodnot byl vytvořen aritmetický průměr, který již byl považován za vnitřní povrchovou teplotu v daném místě čidla platnou pro okrajové podmínky $\theta_{ai} = 21\text{ °C}$ a $\theta_e = -15\text{ °C}$.

Výsledky měření

Výsledné naměřené vnitřní povrchové teploty povrchovými čidly v místě jejich umístění zobrazují následující schémata. Na obrázku č. 8 jsou zaznamenány naměřené povrchové teploty uprostřed spodního vlysu. Nejnižší teplotu $6,7\text{ °C}$ vykázalo teplotní čidlo umístěné přesně na pomezí zasklívací jednotky a okenního křídla, tedy v zasklívací spáře. Čidlo umístěné

10mm nad okenním křídlem vykázalo druhou nejnižší teplotu $8,32\text{ °C}$. Pokud srovnáme chování naměřené povrchové teploty v této oblasti s průběhem vypočtené teploty ve stejné oblasti dvourozměrného teplotního pole, můžeme říci, že měření potvrdilo výsledek předešlého výpočtu. Samozřejmě ale nelze porovnávat konkrétní hodnoty naměřených a vypočtených teplot díky mírně odlišným konstrukcím použitým pro účely těchto analýz. Dále je zde vidět i pokles povrchové teploty v oblasti funkční spáry oproti naměřeným teplotám v jiných oblastech povrchu okenního křídla. Přestože se nejedná o tak výrazný pokles jako v případě výpočtu, lze opět konstatovat, že funkční spára patří mezi jednu z kritických oblastí. Větší rozdíl mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami v této oblasti lze také přisoudit k nepřesně stanovené ekvivalentní tepelné vodivosti funkční spáry díky nedostatečným informacím o chování a cirkulaci vzduchu v této dutině.



Obrázek č. 9 naměřené hodnoty v rozích okenní konstrukce.

Obrázek č. 9 zobrazuje výsledné teploty zaznamenané v oblastech rohů konstrukce. Nejnižší hodnoty byly naměřeny v zasklívací spáře v rohu zasklívací jednotky. V levém rohu 5,29 °C a v pravém 4,69 °C, což jsou hodnoty až o cca 2 °C nižší než hodnoty naměřené až o prostředřed rámu. Rozmístění dalších čidel podél zasklívací spáry ve směrech vodorovného i svislého rámu nám umožnilo analyzovat chování povrchové teploty v závislosti na vzdálenosti od rohu zasklívací jednotky a porovnat tyto průběhy s průběhy teplot vypočtených v třírozměrném teplotním poli. Až na mírné odchylky některých čidel způsobených pravděpodobně pohybem čidla v průběhu experimentu se teplota ve směru od rohu prudce zvyšuje a se zvětšující se vzdáleností se ustaluje na konečné hodnotě. Shodné chování vykázal i výpočet ve třírozměrném teplotním poli. Zároveň i poukázal na povrchovou teplotu v rohu zasklívací spáry jako na nejrizikovější místo okenní konstrukce z pohledu rizika kondenzace vodních par. Tedy srovnáním naměřených a vypočtených hodnot se závěry výpočtů potvrzují.

Hodnoty čidel umístěných v oblasti funkční spáry upozorňují na to, že i v této oblasti konstrukce je patrný vliv rohu rámu. V našem případě rozdíl teplot naměřených ve funkční spáře uprostřed vlysu a v blízkosti rohu rámu činí více než 1 °C.

Diskuse

Přes potvrzení závěrů si lze povšimnout jedné odlišnosti. Třírozměrný výpočet vykázal totožné chování průběhu povrchových teplot ve směru od rohu zasklívací spáry ve vodorovném i svislém směru. Takovéto chování však nelze zpozorovat na výsledcích experimentu. Samozřejmě hodnota u rohového teplotního čidla je společná, ale následující teplotní čidla ve svislém směru naměřila výrazně vyšší teploty, než je tomu u čidel u vodorovného vlysu. Rozdílné chování bylo pozorováno u obou rohů. Odlišnost vzbuzuje pozornost, zvláště pokud si uvědomíme geometrickou symetrii plastové okenní konstrukce. Rozdílné chování lze vysvětlit nevhodně zvoleným odporem přestupu tepla na vnitřním povrchu používaným při výpočtech. Přestupový odpor závisí na rychlosti a druhu proudění vzduchu podél povrchu okenní konstrukce. A právě druh a rychlost proudění nemohou být díky členitosti okenní konstrukce ve všech místech stejné, proto ani hodnota odporu přestupu tepla R_{si} nemůže být stejná na celém vnitřním povrchu (jak je tomu při výpočtech povrchových teplot a ověřování teplotního faktoru vnitřního povrchu). Považuji za důležité se o této problematice alespoň okrajově zmínit, proto ji bude věnován v budoucnu samostatný článek.

Závěr

K otázce vyhledání části konstrukce s nejnižší vnitřní povrchovou teplotou byly použity

obě možné metody. Oba přístupy navzájem potvrdily své výsledky, a stanovily tak následující jasné závěry:

- na jednotlivé spáry konstrukce (napojení jednotlivých částí okenní konstrukce) je nutné pohlížet jako na problémová místa z pohledu možnosti vzniku kondenzace vodních par na vnitřním povrchu okenních konstrukcí,
- nejrizikovější místo, kde lze předpokládat výskyt nejnižší vnitřní povrchové teploty na povrchu charakteristického průřezu rámu, je zasklívací spára,
- roh zasklívací jednotky je jednoznačně místo, kde se bude vyskytovat nejnižší vnitřní povrchová teplota na celém vnitřním povrchu okenní konstrukce.

Přesto, že závěry tohoto výzkumu bylo možné částečně dopředu očekávat díky dlouholetým zkušenostem z praxe, pokládají základ k dalším krokům výzkumu. Zároveň předkládají kompletní analýzu dané problematiky, jejíž závěry jsou potvrzeny jak dvourozměrným a trojrozměrným matematicko-numerickým modelováním, tak i experimentálním měřením.

Ing. Roman Jiráček, Ph.D. (*1982)

je soudním znalcem v oboru stavebnictví se specializací na otvorové výplně a tepelnou techniku lehkých obvodových pláštů. Absolvoval doktorské studium na ČVUT Fakultě stavební v Praze. Dva roky pracoval jako teplotní technik ve společnosti Skanska v závodě lehkých obvodových pláštů. 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.

www.decoen.cz

kontakt: roman.jiracek@decoen.cz

[1] R. JIRÁK, Současné otvorové výplně na českém a evropském trhu, Ateliér otvorových výplní, izolací a vybavení staveb 2013

[2] M. PEXIDER, Revize výpočetních postupů pro určování součinitele prostupu tepla okenních rámu, Disertační práce, Praha 2007

[3] R. JIRÁK, Distanční rámečky zasklívacích jednotek a jejich vzájemná interakce s teplotním faktorem vnitřního povrchu f_{rsi} , Disertační práce, Praha 2012

DECOEN
design consulting energy

Tel.: 724 638 998
Email: info@decoen.cz
Web: www.decoen.cz

- Soudní znalecké posudky otvorových výplní a LOP
- Průkazy energetické náročnosti budov
- Tepelně technické posudky
- Technický dozor investora
- Energetické audity
- Kompletní projekční činnost