

# Hodnocení izolačních skelných systémů a oken v kritických podmínkách

Ing. Pavol PANÁČEK, PhD.  
Ing. Marek POLÁŠEK, PhD.  
MENDELU, Zkušebna STV Zlín

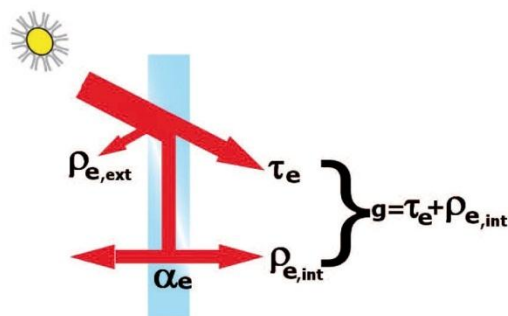
## 1. Úvod

Izolační skla jsou v dnešní době neodmyslitelnou součástí moderní výstavby. Nacházíme je kromě tradičního použití v oknech i v prosklených fasádách budov. Jsou složeny ze dvou nebo tří tabulí skla o tloušťkách a druzích odpovídajících funkcím, mechanickým a estetickým nárokům. Vzdálenost mezi tabulemi skla vymezuje různě široký distanční profil naplněný vysoušecím prostředkem – molekulovým sítem, které odstraňuje vlhkost a vyrovnává tlak v dutině mezi skly. Obvodové spojení tabulí skla a distančního profilu je zabezpečeno adhezivním, trvale plastickým tmelem, vnější okraj izolačního skla je po celém obvodu utěsněn trvale pružným tmelem, který zabraňuje pronikání vlhkosti do dutiny. S cílem zvýšit tepelně-izolační vlastnosti se dutina mezi skly plní vzácným plynem (kupř. argonem, kryptonem). V posledních 2–3 letech došlo k významnějším změnám zejména v použití materiálu na distanční profil. Původně hliníkové profily izolačních skel nahrazují ocelové, nerezové nebo nejnověji plastové. Masové rozšíření izolačních skel přineslo i negativa často neprávem připisovaná výměnám oken za těsnější a s lepšími tepelně-technickými vlastnostmi. Uživatel nerad mění své návyky a pod tlakem trhu musejí i výrobci oken hledat nové řešení. Cílem příspěvku je přiblížit uživatelům a výrobcům oken některé kritické projevy použití izolačních skel a způsob diagnostiky vad projevujících se na sklech nebo okolních konstrukcích.

## 2. Charakteristické vlastnosti izolačních skel

Nejnámější charakteristickou vlastností izolačních skel, ale i oken je **součinitel prostupu tepla** (označení  $U_g$  pro sklo,  $U_f$  pro rám a  $U_w$  pro celé okno). Hodnota součinitele prostupu tepla udává množství tepla, které pro-

jde za jednotku času jedním  $m^2$  dílce při teplotním rozdílu vzduchu mezi interiérem a exteriérem 1 Kelvin (K). Měrnou jednotkou je  $W/(m^2K)$ . Čím je tato hodnota nižší, tím je lepší tepelná izolace dílce. I když nejde o jedinou charakteristickou vlastnost oken nebo izolačního skla, je jistě nejdiskutovanější, ale i nejméně investory a uživateli oken zpochybňovanou. Přispívá k tomu skutečnost, že jsou jenom omezené možnosti jejího přímého měření na reálném rozměru okna nebo zasklené stěny a měřidla nejsou běžně dostupná výrobcí oken nebo investorovi. Častěji se odvozuje od jiných parametrů izolačního skla. Druhou charakteristikou, která ovlivňuje tepelně-izolační vlastnosti oken nebo izolačních skel je hodnota součinitele propustnosti celkové energie slunečního záření ( $g$  – solární faktor), které se dostává do interiéru. Může být vyjádřen jako bezrozměrné číslo nebo se někdy uvádí i v procentech. Skládá se z přímé transmise energie a sekundárního výdaje tepla prosklené plochy směrem do vnitra, které vzniká na základě absorbova-



Obr. 1 – Solární vlastnosti

ných slunečních paprsků (obr. 1). Její hodnotu stanovujeme nízkoe emisním povlakem povrchu tabule izolačního skla z vnitřní strany. S průnikem světla přes okna souvisí další charakteristika – světelná propustnost ( $\tau_e$ ). Propustnost viditelného světla charakterizuje množství světla, které projde izolačním sklem. Jedná se o optickou vlastnost, která se vyjádří jako číslo mezi 0 a 1. Čím vyšší je číslo, tím více světla propouští okno.

Legenda k obrázku:

- $g$  – celková propustnost solární energie (solární faktor) v procentech nebo (–)
- $\tau_e$  – propustnost přímého slunečního záření (přímá solární propustnost) v procentech
- $\rho_{e,ext}$  – odrazivost přímého slunečního záření, vnější v procentech
- $\rho_{e,int}$  – odrazivost přímého slunečního záření, vnitřní v procentech
- $\alpha_e$  – pohltivost přímého slunečního záření (přímá solární absorpce) v procentech

Tabulka 1 – Rozpětí tepelných a optických vlastností tepelně-izolačních skel vyrobených různými výrobci (nejsou vzájemně kombinovatelné) [2]

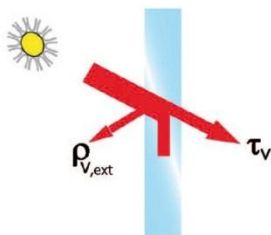
Druh zasklení	Skladba (tloušťka skla, meziskelní prostor)	$U_g$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	$g$ [-]	$\tau$ [-]
1V	4	5,8	0,90 – 0,85	0,90 – 0,88
2 IV	4/12/4	3,0 – 2,8	0,80 – 0,76	0,82 – 0,80
3 IV	4/12/4/12/4	2,1 – 1,8	0,70 – 0,55	0,75
DV**)	4/20 – 100/4	2,8	0,76	0,82
DV**)	4/20 – 100/4/12/4	2,0	0,70	0,75
2 WSV, vzduch	4/12 – 16/#4	2,0 – 1,3	0,70 – 0,55	0,80 – 0,70
2 WSV, argon	4(#)/12 – 16/#4	1,4 – 1,1	0,63 – 0,53	0,80 – 0,75
2 WSV, argon (pyrol.)	4/16/#4	1,5	0,72	0,74
2 WSV, krypton	4(#)/10 – 16/#4	1,1 – 1,0	0,63 – 0,50	0,80 – 0,77
3 WSV, argon	4(#)/10 – 16/4/10 – 16/#4	0,8 – 0,6	0,53 – 0,47	0,72 – 0,68
3 WSV, argon (pyrol.)	4(#)/16/4/16/#4	1,0	0,58	0,63
3 WSV, krypton	4(#)/8 – 12/4/8 – 12/#4	0,7 – 0,5	0,52 – 0,47	0,72 – 0,68
<b>na porovnání:</b>				
2 vakuum	4/1/#4	0,4***	?	?
3 vakuum	6#/1/#4#/1/#6	<0,2	?	?
2 aerogelgranulát v meziskelním prostoru	4/30 – 60/4	0,6 – 0,3	0,35 – 0,10	?

\* směrem z exteriéru do interiéru

\*\* zdvojená nebo dvojitá okna s 2 jednoduchými skly resp. s 1 jednoduchým a 1 izolačním sklem hodnota  $U_g$  z DIN 4108-4

\*\*\* cíl výzkumného projektu

IV = izolační sklo; DV = dvojitě zasklení; WSV = tepelně-izolační sklo; # = poloha nízkoe emisního povlaku



Obr. 2 – Světelné vlastnosti

Legenda k obrázkům:

$\tau_v$  – světelná propustnost v procentech

$\rho_{v,ext}$  – světelná odrazivost (reflexe) vnější tabule ID v procentech

Akustické vlastnosti jsou vyjádřené hodnotou indexu vzduchové neprůzvučnosti ( $R_w$ ). Určujícími prvky pro dvojnásobný systém zasklení jsou [1]:

- tloušťka skel nebo plošná hmotnost skel
- vzdálenost mezi skly
- uzavřené prostředí (vzduch, plyn, vhodná směs plynů) mezi skly.

Tepelně-technická a optická kvalita zasklení resp. okna musí být vždy v souladu s konkrétními požadavky na stavbu. Potřebné parametry mají být odvozeny z energetické bilance, jako i konstrukčních detailů zvolené fasády, přičemž vedle vytápění, zvláště u nebytových budov je nutné počítat i se spotřebou energie na osvětlení a chlazení. V současnosti jako standard u novostaveb jsou izolační dvojskla s hodnotou  $U_g$  1,1 W/(m<sup>2</sup>.K). Hodnoty pod 1 W/(m<sup>2</sup>.K) se použijí zejména u budov s vyšším tepelně-izolačním standardem, ale též vždy když má být použité zvěšování zasklení bez ztráty komfortu na topení a možnosti umístění radiátoru pod zasklení. Při výběru trojitěho zasklení při tloušťce prostoru mezi skly 12 mm a naplnění argonem se dosahuje  $U_g = 0,77$  W/(m<sup>2</sup>.K) a použitím dražší náplně kryptonu  $U_g = 0,57$  W/(m<sup>2</sup>.K). Zmenšení hodnoty „g“ zvýšením tepelně-izolačních vlastností zasklení musí být korigované výběrem speciálních skel. Hodnoty „g“ u běžných izolačních zasklení u dvojskel jsou asi 0,63 a trojskel asi 0,52. Do pozornosti je nutné

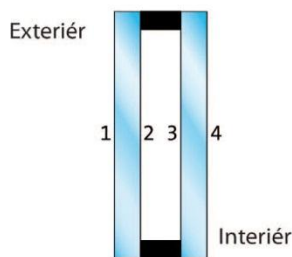
vzít i snížení světelné propustnosti zasklení ( $\tau_v$ ) zejména v školních a kancelářských budovách. Toto musí být kompenzováno buď zvýšenou kvalitou skla nebo velikostí zasklení. Příklady tepelných a optických vlastností tepelně-izolačních skel jsou v tabulce 1.

### 3. Nejčastější defekty oken a jejich diagnostika

Nejčastěji reklamovaným defektem oken a s nimi izolačních skel je kondenzace vodní páry na zasklení.

**Povrchová kondenzace na izolačních sklech** se může vyskytovat zejména (obr. 3):

- na vnější straně (pozice 1)
- na vnitřních stranách izolačního skla (pozice 2 a 3)
- na vnitřní straně (pozice 4).



Obr. 3 – Pozice u dvojskel [3]

Povrchová kondenzace na vnitřní straně začíná vždy v rozích, zejména z důvodu dodatečného ochlazení, které je způsobeno tepelným mostem. Na vznik tohoto tepelného mostu mají významný vliv použité distanční profily izolačních skel. Materiál, ze kterého je vyrobený distanční profil, ovlivňuje lineární ztrátový součinitel charakterizující přídavný tepelný tok v důsledku interakce mezi rámem, zasklením a skleněnou výplní. Udává množství tepelné energie unikající vlivem tepelného mostu až  $\psi = 0,03$  [W/(m.K)] – čili dvojnásobný rozdíl. Tato charakteristika má zásadní vliv na teplotu povrchu skla

v oblasti distančního profilu a tedy na skutečnost, či na skle v oblasti rozhraní sklo – zasklivač lišta může docházet ke kondenzaci vodní páry v chladném období. Je to jeden z důležitých parametrů kvality okna. Upřednostnit je nutné izolační skla s málo vodivým distančním profilem (tzv. teplým okrajem) uzavírajícím spojení tabule skel (kupř. označení: TGI, Swisspacer a Swisspacer V). Vhodnost navrhaného profilu rámu okna s použitým distančním profilem izolačního skla je možné ověřit výpočtem ustáleného dvojrozměrného vedení tepla metodou konečných prvků nebo v zimě měřeními povrchových teplot (obr. 4) a porovnáním s normovými požadavky pro danou teplotní oblast (ČSN 73 0540 - 3).



Obr. 4 – Měření povrchových teplot v zimním období

Při našem experimentálním měření na stavbě v podmínkách, kde u dvoukřídlého okna bylo izolační sklo osazeno v levém křídle s hliníkovým distančním profilem a pravé křídlo plastovým, byl za stejných podmínek naměřen rozdíl povrchových teplot 1,8 K (tab. 2).

Povrchová kondenzace vodních par na pozici 4 izolačního

skla je spojená především s následujícími faktory [3]:

- vnější klima
- vnitřní teplota vzduchu
- vlhkost v budově
- výkonnost ventilace v kuchyni a hygienických prostorách bytu
- povrchová teplota stěny.

Na omezení kondenzace vodních par na povrchu je vhodné působit na každý z výše uvedených parametrů, kromě vnějšího klimatu, na který nemáme žádný vliv.

Povrchová kondenzace na vnější straně izolačního skla je způsobená zejména nočním úbytkem tepla saláním vůči jasné obloze. Tvoří se bez srážek při vysoké relativní vlhkosti vnějšího vzduchu. Je to stejný princip, jaký se vyskytuje na povrchu listů rostlin, nebo kapotě automobilů, kde kondenzuje za jasných nocí voda, s kterou se ráno střetáváme v podobě rosy. Působením slunečních paprsků, nebo prouděním vzduchu formou větru se zarosená skla stávají opět průhlednými. I když je tento jev pro některé uživatele velice nepříjemný, je to důkaz o dobrých izolačních vlastnostech zasklení. Tyto jevy nepředstavují chyby izolačních skel, ale jsou způsobeny atmosférickými podmínkami [4]. Jiným nedostatkem je subjektivní pocit chladu v blízkosti izolačního skla. Tento nedostatek se vyskytuje zejména u velkých zasklených stěn (rozměru obyčejně blízko 2 m). Výrobci těchto prosklených stěn pod tlakem investorů, zejména majitelů rodinných domů, se velice často pouštějí do experimentů se zasklením velkých ploch, velkých terasových

**Tabulka 2 – Porovnání povrchových teplot v rozích ID a výpočet místního  $U_g$  [10]**

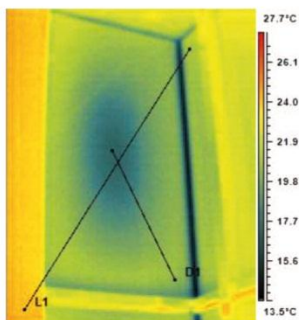
poř. číslo	popis vzorku	materiál	naměřená hodnota v °C	Místní $U_g$ [W/(m <sup>2</sup> .K)]
1.	dvoukřídlé okno 0/0S - levé křídlo	hliníkový distanční profil	14,6	2,2
2.	dvoukřídlé okno 0/0S - pravé křídlo	plastový distanční profil	16,4	1,5

**Tabulka 3 – Vypočtené hodnoty  $U_g$  při různé tloušťce ID plněného vzduchem**

Tloušťka mezery [mm]	6	10	14	16
$U_g$ [W/(m <sup>2</sup> .K)]	2,4	1,8	1,5	1,4

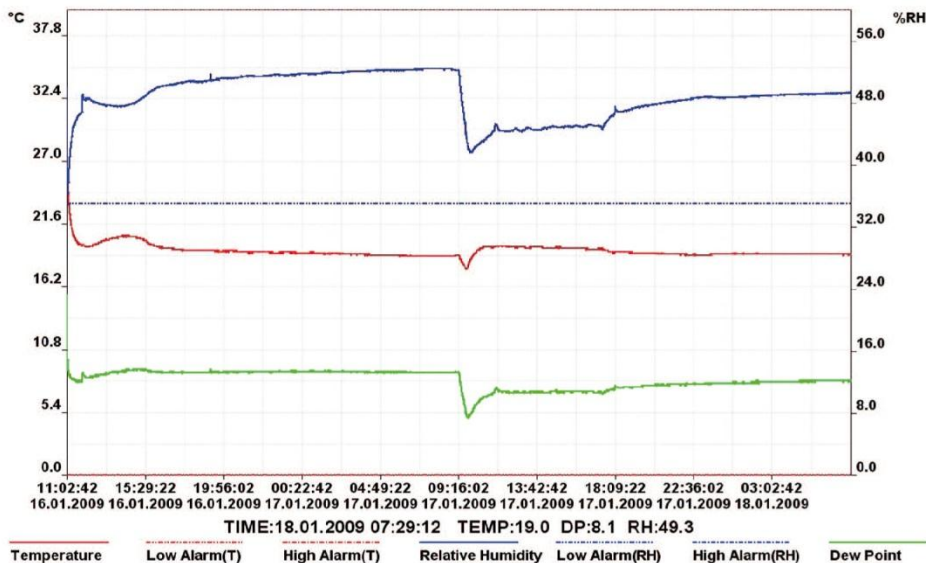


pevných stěn, posuvných dveří a pod. Možno i pod cenovým tlakem volí výrobce izolačního skla, který nemá technické vybavení na výrobu prosklených dílců takových rozměrů. Nejčastěji jde o průvodní jev způsobený zmenšením tloušťky dutiny izolačního skla, čili nerovnoběžností sousedících tabulí. Tu se však nejedná o vychýlování způsobené atmosférickým tlakem nebo teplotou. Toto vychýlení tabulí směrem do dutiny je způsobeno již přímo výrobcem. Horizontální způsob výroby izolačních skel, který praktikují téměř všichni menší výrobci, je náročný z hlediska dodržení rovnoběžnosti skleněných tabulí. Při tomto způsobu výroby se totiž izolační skla prohýbají již vlastní vahou a možná netěsnost ještě nezatmeleného skla tento průhyb značně zesiluje. Vertikální způsob výroby izolačních skel probíhající na automatických linkách velkých výrobců tento problém technologicky vylučuje. Kromě zmíněné výroby může tento stav nastat i při úniku plynu přes okrajový spoj. Typické pro tento stav je vtahování těsnění a distančního rámečku do dutiny skla, případně jeho destrukce [4]. Vliv tloušťky dutiny mezi skly na součinitel prostupu tepla pro dvojsklo vypočten podle ČSN EN 673 je uvedený v tabulce 3.



Obr. 5 – Změna tloušťky se projeví v zimě i na termovizním snímku.

První reakci investora, majitele nového okna, ale i výrobce okna při vzniku uvedených nedostatků je podezření, že nedostal izolační sklo s takovým součinitelem prostupu tepla ( $U_g$ ), za jaké zaplatil. Způsoby a podmínky měření součinitele prostupu tep-



Obr. 12 – Záznam z měření podmínek užívání bytu

la v laboratorních podmínkách na přesně omezených rozměrech jsou normovány. Na stavbě se k této hodnotě je možné dopracovat bez nutnosti demontáže okna u dvojskel měřením dříve uvedené tloušťky dutiny (obr. 6), za předpokladu zjištění existence povlaku, a měřením obsahu argonu nedestruktivní metodou (obr. 7). Toto je možné vykonat kdykoliv během roku. U trojskel tato možnost není, vzhledem k principu nedestruktivního měření obsahu plynu v dutině. Máme tu vždy možnost vyjmout

izolační trojsklo z rámu, navrtat distanční rámeček a odebrat plyn na okamžitou analýzu přenosným přístrojem. Takto je možno postupovat při soudních sporech za účasti výrobce, protože často se zkouškou izolační sklo tak poškodí, že jej není možné bez opravy vsadit zpět do rámu. V zimě je možné i u trojskel stanovit součinitel prostupu tepla pomocí měření povrchových teplot snímači teplot a měřidlem tepelného toku. V letním období to řešíme pomocí izolovaných boxů (obr. 9). Měření pro získání

průkazných výsledků jsou časově náročná, ovšem pro „výchovu“ výrobců izolačních skel velice prospěšná.

Extrémně slunečním žářem namáhané skleněné stěny by měly být z tvrzeného skla. Vada se projevuje samovolnými prasklinami skel směrem k okrajům. Toto téma je často mezi projektanty podceňované. Země jako Francie, Benelux, Velká Británie a Irsko dávno uznávají analýzy známé i jako analýzy rizik tepelného lomu jako standardní



Obr. 6 – Měření tloušťky skla a dutiny mezi skly ID



Obr. 8 – Měření pozice nízkoemisního povlaku ID



Obr. 10 – Měření solárního faktoru, světelné propustnosti, propustnosti UV záření a IR záření kombinovaným přístrojem



Obr. 7 – Přístroj na nedestruktivní měření obsahu argonu v ID



Obr. 9 – Stanovení  $U_g$  pomocí izolovaných boxů a rozdílů povrchových teplot



Obr. 11 – Měření existence tvrzeného skla



nabídku fasád. V Německu byl vydaný Informační list Spolku výrobců oken a fasád z roku 2004 s názvem v překladu: „Teplné namáhání v oknech a fasádách“ [12]. Nutnost termické analýzy pro jakoukoliv aplikaci již ve fázi navrhování opisuje v kapitole 4.15 i harmonizovaná EN 13830 pro lehké obvodové pláště. Použití typu skla musí být obsahem i CE značení těchto výrobků. Harmonizovaná EN 14351-1 na okna a dveře takový požadavek nestanovuje, i když v praxi se rozměry tabulí skel často přibližují rozměrům použitým ve fasádách.

Co je tepelný lom a jak vzniká? Sklo je materiál, který při zdpovědném návrhu a běžném použití odolává různým zatížením. Namáhání nebo vystavení podmínkám vyšším jako limit zatížení vedou k náhlému rozbití skla. Toto může vést k omezení možností použití různých skel. Teplem způsobené praskliny jsou zapříčiněné kupříkladu sálavým teplem od topných těles, ale i koncentrací tepla zapříčiněnou polepením nebo pomalováním izolačních skel. Tepelný lom však může způsobit i více skel za sebou, kupříkladu při posuvných dveřích nebo stěnách, které nejsou dostatečně odvětrané. Mimořádně náchylné jsou zejména protisluneční skla s absorpční charakteristikou. Tu může způsobit prasknutí i částečné zastínění plochy zasklení. Je to dané odolností skla vůči náhlým změnám teploty a teplotním rozdílům, která je při standardním

skle 40K. Dokonce i zimní ráno, když se objeví vycházející slunce může způsobit takové rozbití skla. To, či sklo je tvrzené zjišťuje naše zkušebna indikátorem tvrzeného skla (obr. 11).

Tak, jak bylo v úvodu této kapitoly uvedeno, pod defekty projevujícími se ve vzniku kondenzátu vodní páry na povrchu skel kromě vlastností izolačního skla, vyplývají i uživatelské podmínky. Vedle diagnostiky izolačního skla (okna) je nutné věnovat pozornost orientaci oken, jejich zabudování a taktéž podmínkám jejich používání. Na zmapování uživatelských podmínek používáme záznamníky teploty a relativní vlhkosti vzduchu s možností grafického výstupu (obr. 12). Záznamníky je nutné současně nasadit do všech obyčejných místností na dobu minimálně jednoho týdne včetně víkendu, kdy obyvatelé místnosti jsou nejvíce obsazeni obyvateli. Naměřené hodnoty se po přepočtu porovnají s normovanými.

Nesprávné uživatelské podmínky bývají příčinou vzniku vad povrchových úprav dřevěných oken. Tyto vady se nejčastěji projevují vznikem puchýřů na vnější straně povrchové úpravy oken. Příčinou může být také nesprávná tloušťka povrchové úpravy na vnější a vnitřní straně okna. Rozhodnout o příčině je možné měřením tloušťky nátěrů. Naši zkušebna provádíme nedestruktivní měření tloušťky pomocí kalibrovaného ultrazvukového tloušťkoměru (obr. 13).

Zdánlivě se jeví, že průvzdušnost oken snižuje kondenzaci vodních par na zasklení. To platí jenom do určité míry. Nekontrolovaná průvzdušnost oken nebo nekvalita zabudování oken (dve-

ři) do stavby může být příčinou kondenzace vlivem podchlazování profilů studeným venkovním vzduchem. Již několik let je známý požadavek na zabudování oken v České republice podle požadavků ČSN 73 0540-2:2002 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky: „Součinitel spárové průvzdušnosti  $i_{L,V}$  spár a netěsností v konstrukcích a mezi konstrukcemi navzájem, kromě funkčních spár výplní otvorů, musí být v celém průběhu užívání budovy téměř nulový, tj. musí být nižší než nejistota zkušební metody pro jeho stanovení“. Požadavek se vztahuje zejména na spáry v osazení výplní otvorů. Výplně otvorů (okna, dveře) se v laboratoři zkoušejí na průvzdušnost výrobků podle ČSN EN 1026 do tlaku 600 Pa. Zkušebna stavebně truhlářských výrobků disponuje přenosným zkušebním zařízením umožňujícím takový tlak vyvodit i na zabudované okno v budově. Toto zařízení je sestavené podle rakouské normy ÖNORM B 5321: Bauanschlussfuge für Fenster, Fenstertüren und Türen in Außenbauteilen – Prüfverfahren. Zkouška může být rozšířena o měření vodotěsnosti podle ČSN EN 13051. Postup zkoušky je akreditován.

#### 4. Závěr

Nejčastější příčiny vzniku defektů projevujících se na zabudovaných oknech (dveřích) a osazených izolačních sklech umíme diagnostikovat. K posouzení závad je nutné přistupovat komplexně. Bohužel některé příčiny, které vznikly kupříkladu při orientaci budovy nebo oken, nedokážeme odstranit. Zde by bylo potřebné upřít pozornost architektů, protože i špatně orientovaná, umístěná nebo členěná budova může udělat z dobrého okna problémové. Nedostatky se zjišťují i v informovanosti uživatelů oken. A svůj podíl mají jistě i výrobci oken tehdy, jestliže přecházíme z diagnostiky izolačních skel na diagnostiku rámců a celých oken. Ve vývoji metod dále pokračujeme tak, abychom vždy zjistili skutečnou příčinu defektu a někdy i určili viníka za způsobenou škodu. Na trhu působíme jako nestranný expertizní ústav v oblasti otvorových konstrukcí staveb.

#### Literatura

- [1] Puškár, A. a kol.: Okná, zasklené steny, dvere, brány, Vydavateľstvo JAGA GROUP, s.r.o. Bratislava, ISBN 978-80-8076-062-5, 2008
- [2] Wagner, A.: Energieeffiziente Fenster und Verglasungen, FIZ Karlsruhe, 3 prepracované vydanie, Solarpraxis AG, 2008
- [3] Anon.: MEMENTO, firemné materiály a prospekty SAINT – GOBAIN GLASS.
- [4] Brath, F.: Hodnotenie chýb izolačných skiel, In: Zborník prednášok zo seminára Energeticky úsporné okná a ich kvalita, Občianske združenie ENERGOkno, Bratislava 2007.
- [5] Puškár, A. a kol.: Technicko-experimentálne overenie izolačného dvojskla NITTERPLUS ULTRA 1.0, Výskumná správa SvF STU Katedra konštrukcií pozemných stavieb, nepublikované, Bratislava, 2002
- [6] Puškár, A.: Tepelnotechnické vlastnosti drevených okien, In: Zborník Odborný seminár „Dřevěná okna, dveře, schody“ Hranice, 2005
- [7] Al-Hajjaar, N.: Prostup tepla okny a izolačními skly – Zkušební a výpočtové metody a poznatky z laboratorní praxe.
- [8] Puškár, A. – Szabó, D.: Protokoly zo skúšok izolačných skiel, Katedra konštrukcií pozemných stavieb SvF STU, nepublikované, Bratislava, 2008
- [9] Puškár, A. – Panáček, P. – Szabó, D.: Energeticky úsporné drevené okná a kritická povrchová teplota, In: Zborník Odborný seminár „Dřevěná okna, dveře, schody“, Hranice, 2009
- [10] Vaverka a kol.: Stavební tepelná technika a energetika budov, Nakladatelství VITIUM Brno, 2006 s. 238
- [11] Anon.: Bauphysikalische Anforderungen, Eurowindor Academy, ift Rosenheim
- [12] Anon.: Thermische Beanspruchung von Gläsern in Fenstern und Fassaden, In.: Merkblatt V.02, Verband der Fenster- und Fassadenhersteller e.V. Frankfurt am Main, 2004



Obr. 13 – Aplikace nedestruktivního měření tloušťky povrchové úpravy dřevěných oken



Obr. 14 – Měření průvzdušnosti zabudovaných oken



Obr. 15 – Měření vodotěsnosti přípojovací spár oken