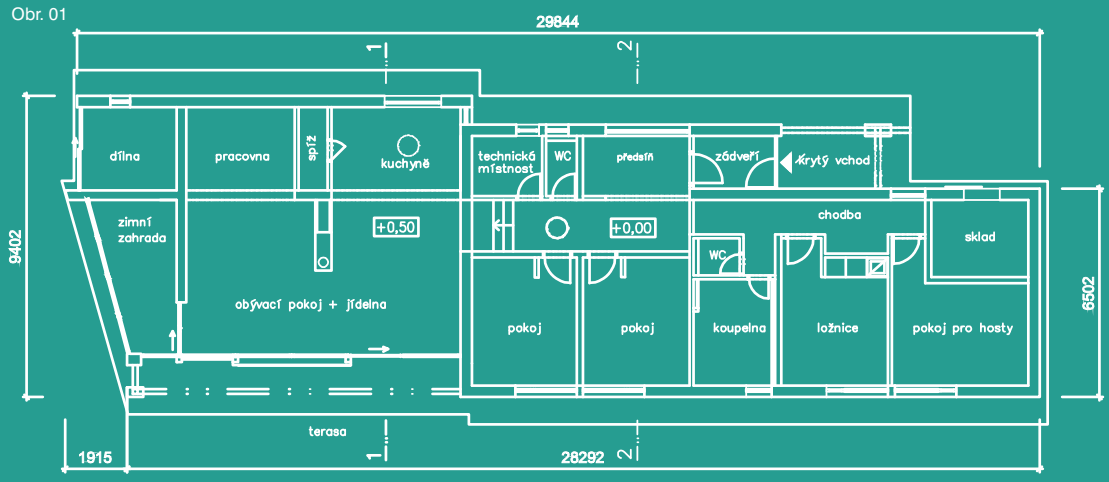
BLOWER-DOOR TEST PŘI MĚŘENÍ

STAVEB S LEHKOU OBVODOVOU KONSTRUKCÍ

V LOŇSKÉM ROCE VE DVOJČÍSLE ČASOPISU DEKTIME 05-06 [9] JSME VÁS SEZNÁMILI S PROBLEMATIKOU TĚSNOSTI STAVEB. V ČLÁNKU BYLY UVEDENY ZÁKLADNÍ LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY A NAZNAČENA METODIKA MĚŘENÍ. OD TÉ DOBY JSME PROVEDLI VÍCE DALŠÍCH MĚŘENÍ TĚSNOSTI NEJEN RODINNÝCH A BYTOVÝCH DOMŮ, ALE I HAL. S JEDNÍM MĚŘENÍM RODINNÉHO DOMU VÁS BLÍŽE SEZNÁMÍME V TOMTO ČLÁNKU. PROTOŽE SE MĚŘENÍ USKUTEČNILO JEŠTĚ V ZIMĚ, BYLA PŘI ODHALOVÁNÍ NETĚSNOSTÍ POUŽITA VEDLE ANEMOMETRU TAKÉ TERMOVIZNÍ KAMERA.

Obr. 01



ZÁKLADNÍ INFORMACE O OBJEKTU

Předmětem měření je tvarově zajímavá dřevostavba přízemního rodinného domu, která stojí nedaleko Brna. Půdorys je na obr. /01/. Delší stěny jsou situovány na jih a sever. Příčné řezy domu jsou na obr. /02/ a /03/. Střecha je rozdělena na čtyři samostatné pultové části /foto 01 až 03/. Hlavní vstup do domu se nachází v severní části. Na jižní a západní stěně jsou velká francouzská okna, ze severu jsou menší okna, východní fasáda je zcela bez oken. Větrání je navržené jako přirozené a vytápění budou zajišťovat radiátory lokálně doplněné podlahovým vytápěním.

Hlavní nosné konstrukce tvoří dřevěné prvky. Skladby stěny, střechy a podlahy jsou následující (od interiéru):

Stěna
- vnitřní obklad ze sádrokartonových desek (v době měření nebyl ještě na některých stěnách namontován)
- kovový rošt (někde nebyl použit, někde je jednosměrný a někde obousměrný)
- parozábrana z fólie lehkého typu
- dřevěné bednění (OSB deska)
- nosná konstrukce z dřevěných prvků vyplněná tepelnou izolací z minerálních vláken
- dřevěné bednění (OSB deska)
- vnější kontaktní zateplovací systém (ETICS).

Střecha
- vnitřní obklad ze sádrokartonových desek (v době měření nebyl ještě namontován)
- parozábrana z fólie lehkého typu
- krokve, mezi krokvemi tepelná izolace z minerálních vláken
- dřevěné bednění (OSB desky)
- pojistná hydroizolace z fólie lehkého typu
- kontralatě a latě
- skládaná pálená krytina

Podlaha
- nášlapná vrstva dle místnosti
- anhydritový potěr
- tepelná izolace z EPS
- asfaltová hydroizolace
- podkladní beton

Střechou prochází tři světlovody /foto 04, 05/, které slouží k osvětlení chodby a kuchyně. U stěn si byl projektant vědom možnosti porušení parozábrany při instalaci vnitřních rozvodů, a proto ji umístil do chráněné polohy, tzn. že mezi vnitřním obkladem ze sádrokartonových desek a parozábranou je kovový rošt, v jehož rovině jsou všechny rozvody taženy /foto 06/. U střechy je použita skladba s tepelnou izolací mezi krokvemi a s parozábranou a pojistnou hydroizolací z fólie lehkého typu. Z praxe a rovněž z našich termovizních měření (viz např. [10]) víme, že takové skladby mohou být problematické z hlediska správného vzduchotěsného provedení. Vhodným členěním domu ale projektant získal 4 pultové střechy s minimem složitých detailů a prostupů. Střechou prostupují pouze světlovody.

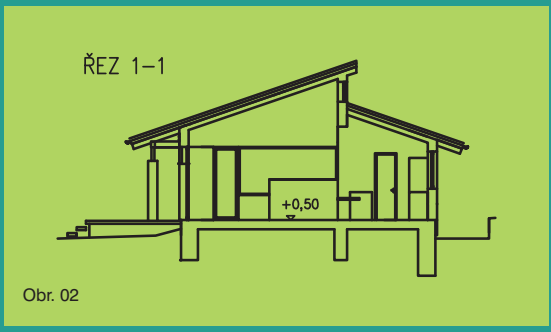
Celý dům tvoří jednu větranou zónu. Pro stanovení intenzity výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa mezi interiérem a exteriérem budovy je třeba znát vnitřní objem domu ohraničený všemi vzduchotěsnicími konstrukcemi, tj. parozábranou na stěnách a stropě a železobetonovou podlahovou deskou. Pro přibližné stanovení plochy netěsností je důležité potom znát celkovou plochu obálky budovy. Hodnoty jsou následující:

- vnitřní objem 710 m^3
- čistá plocha podlaží 210 m^2
- plocha obálky budovy 590 m^2

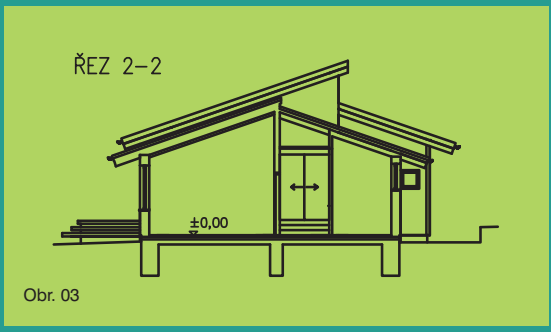
PŘÍPRAVA OBJEKTU PŘED MĚŘENÍM

Měřením se má prokázat těsnost obálky budovy. Aby bylo možné případné netěsnosti ještě opravit, bylo měření provedeno před zakrytím většiny plochy parozábrany /foto 04-06/, pouze v koupelně a některých pokojích již byly parozábrany zakryty sádrokartonovými deskami /foto 07 a 15/. Před zkouškou jsme utěsnili všechny otvory, které nemají ovlivnit měření, především se jednalo o všechny rozvody vody

Obr. 01 | Půdorys
Obr. 02 | Příčný řez 1-1
Obr. 03 | Příčný řez 2-2



Obr. 02



Obr. 03

REKAPITULACE INFORMACÍ O BLOWER-DOOR TESTU

Blower-door test je metoda, která pro měření těsnosti budov využívá tlakový spád. Výsledkem je hodnota intenzity výměny vzduchu [h^{-1}] při tlakovém rozdílu mezi interiérem a exteriérem budovy 50 Pa (n_{50}). V České republice se doporučuje splnit hodnoty uvedené v tabulce, které jsou dány způsobem větrání objektu.

Obdobné hodnoty mají stanoveny i další evropské státy. V tabulce jsou pro srovnání uvedeny Německo a Rakousko, kde jsou ale na rozdíl od České republiky hodnoty závazné. Naproti tomu např. na Slovensku dosud žádnou doporučenou nebo požadovanou hodnotu nemají, ačkoliv evropskou normu pro zkoušení těsnosti EN 13829 již zavedenu do svého normalizačního systému mají [6].

Tabulka 01

Země	ČR	SR	Německo	Rakousko
Předpis	ČSN 73 0540-2	STN 73 0540-2	DIN 4107-8	ÖNORM B 8110-5
Větrání v budově	$n_{50,N}$ [h^{-1}]	–	$n_{50,N}$ [h^{-1}]	$n_{50,N}$ [h^{-1}]
Přirozené	4,5	–	3,0	3,0
Nucené	1,5	–	1,5	1,5
Nucené se zpětným získáváním tepla	1,0	–	–	–
Nucené se zpětným získáváním tepla v budovách se zvláště nízkou potřebou tepla na vytápění – pasivní domy	0,6	–	0,6	0,6

01

02

a kanalizace. Původně jsme měli obavy o dostatečnou těsnost světlovodů, neboť jsme se při měřeních s těmito konstrukcemi dosud nesetkali. Těsnost světlovodů jsme se rozhodli ověřit měřením proudění vzduchu anemometrem až při samotném testu (viz dále). Nakonec jsme uzavřeli všechna okna a dveře / foto 09/.

INSTALACE ZAŘÍZENÍ PRO BLOWER-DOOR TEST

Vzhledem k tomu, že se jedná o poměrně malý objekt o malém vnitřním objemu a přepokládali jsme větší míru těsnosti, postačilo pro měření nainstalovat pouze jeden ventilátor o maximálním objemovém toku 9 000 m^3/h. Pokud by se předpoklady o větší těsnosti nepotvrdily, měli jsme nachystány i další dva ventilátory, které vlastní Dekprojekt s.r.o. Pro instalaci lze použít jak vstupní dveře do objektu (v tomto případě byly k dispozici hlavní vstupní dveře nebo boční dveře do koupelny), tak také okna. Po důkladném prohlédnutí profilů dveří a oken jsme se rozhodli použít hlavních vstupních dveří. Výhodou rovněž bylo, že jsou dveře umístěny v závětří severní stěny a při měření jsou daleko méně ovlivňována tlaková čidla větrem, něž by tomu bylo u zcela rovné fasády. Průběh instalace zařízení do vstupních dveří je na foto /10/ až /13/.

SNÍMÁNÍ KONSTRUKCÍ V INTERIÉRU TERMOVIZNÍ KAMEROU

Protože byl rozdíl teplot mezi interiérem a exteriérem větší než 5 °C, mohli jsem pro nalezení případných netěsností použít termovizní kameru. Před vlastním spuštěním ventilátoru jsme proto většinu konstrukcí v interiéru nasnímali /foto 14 a foto 17 až 22 snímky B/. Okrajové podmínky při měření byly následující:

- teplota vzduchu v exteriéru: 9,6 °C
- relativní vlhkost vzduchu v exteriéru: 80,5%

03

01 | Skládaná pálená krytina na střeše
02 | Severozápadní pohled
03 | Jižní pohled
04 | Pro osvětlení chodby je použit světlovod
05 | Pohled do chodby, uprostřed obrázku je patrný druhý světlovod pro osvětlení chodby
06 | Hlavní vstupní dveře, parozábrana není dosud zakryta vnitřními pohledovými vrstvami
07 | Práh vnějších vstupních dveří do koupelny, parozábrana zakryta sádrokartonem pro užití ve vlhkých provozech
08 | Parozábrana v chráněné poloze, rozvody jsou taženy v rovině vnitřního kovového roštu
09 | Zavřené okno (nesmí být ani mikroventilační poloha)

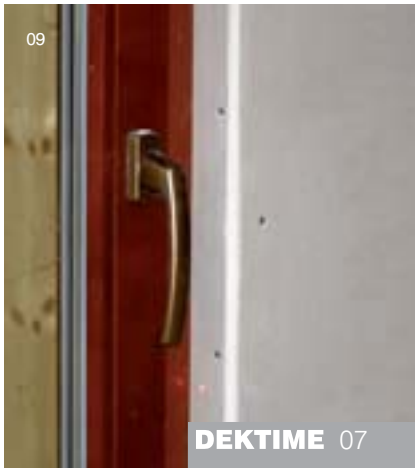
04

05

06

07

08



09

10| Sestavení rámu
11| Vyměření rámu ve vstupních dveřích
12| Osazení plachty ventilátoru a řídicí jednotky
13| Dodatečné utěsnění rámu s plachtou
14| Měření povrchových teplot konstrukcí v interiéru termovizní kamerou
15| Měření rychlosti proudění vzduchu anemometrem ve světlovodu v kuchyni
16| Průběh meření

10

11

12

13

- teplota vzduchu v interiéru: 18,5 °C
- relativní vlhkost vzduchu v interiéru: 46,5 %
- atmosférický tlak: 980,5 hPa

PRVNÍ SÉRIE MĚŘENÍ TĚSNOSTI

Před samotným měřením jsme spustili ventilátor a vyzkoušeli nastavený rozsah. Současně jsme anemometrem zjistili rychlost proudění vzduchu ve světlovodech /foto 15/. Měření ukázalo, že naše prvotní obavy o jejich těsnost byly liché a všechny světlovody byly dostatečně těsné.

Následně jsme provedli první sérii měření, vždy dvakrát při podtlaku a dvakrát při přetlaku v interiéru. Přesný postup je uveden v [9]. Závislost objemového toku na tlakovém rozdílu je uveden v grafu /01/.

Střední hodnotu objemového toku 2 590 m^3/h při 50 Pa podle grafu vydělíme objemem domu 710 m^3, čímž získáme násobnost výměny vzduchu 3,7 h^{-1} ± 8,3 % (přesnost výpočtu stanovuje řídicí software dodaný k Blower-door test zařízení). Uvedená hodnota splňuje doporučenou hodnotu v ČR pro budovy s přirozeným větráním (viz Rekapitulace informací o Blower-door testu na straně 6), ale pokud bychom byli v Německu nebo Rakousku, tak by hodnota požadovaná tamními předpisy nebyla splněna a prováděcí firma by musela vše řešit dodatečným utěsněním. Řídicí software k Blower-door test zařízení navíc stanovuje také přibližnou plochu netěsností, která v tomto případě byla cca 1 300 cm^2.

Samozřejmě nás zajímalo, kde se netěsnosti, které mají rozhodující vliv na těsnot celého objektu, nacházejí. Celé měření trvalo přibližně 20 minut, což je pro propsání případných netěsností málo, a proto jsme dalších 20 minut udržovali v interiéru podtlak cca 50 Pa. Následovalo opět měření konstrukcí v interiéru termovizní kamerou /foto 17 až 22, snímky C/.

17| Horní část francouzského okna v obývacím pokoji, patrná je pouze malá netěsnost v připojovací spáře okna.

18| Dolní část francouzského okna v obývacím pokoji, patrné jsou výrazné netěsnosti v připojovací spáře okna, které odpovídají připojovacím kotvám.

19| Styk podlahy a obvodové stěny v pracovně, kde se nacházela výrazná netěsnost.

20 | „T“ styk obvodové stěny [vlevo] a příčky [vpravo], nejvýraznější netěsnost v celém objektu, na fotografii kontrola proudění vzduchu anemometrem.

21 | Okno v jednom z pokojů, patrné jsou netěsnoti v přechodu obvodové stěny na šikmý podhled a netěsnosti způsobené procházejícími dráty v připojovací spáře okna.

22 | Příčka mezi pokojem pro hosty, netěsnosti se tepelně propisují již při přirozeném tlakovém rozdílu.

UTĚSNĚNÍ NETĚSNÝCH MÍST A DRUHÁ SÉRIE MĚŘENÍ

Abychom zjistili, jaký vliv mají netěsnosti na celkovou hodnotu n_{50}, rozhodli jsem se nejvýraznější nalezené netěsnosti pokud možno co nejvíce utěsnit. Pro utěsnění jsme používali polyuretanovou pěnu, silikon nebo lepicí pásky. Nebyly utěsněny části parozábrany již zakryté sádrokartonovými deskami, např. foto /22/. Následně jsme zopakovali měření Blower-door test. Výsledky měření jsou na grafu /02/. Výsledná násobnost výměny vzduchu je 2,0 h^{-1} ± 8,3 % a plocha netěsností cca 700 cm^2.

HODNOCENÍ

Z porovnání hodnot n_{50} při prvním měření (3,7 h^{-1}) a při druhém měření (2,0 h^{-1}) je zřejmé, že se dodatečně podařilo utěsnit cca 45 % netěsností.

Jaký to má finanční efekt? Především je třeba si uvědomit, že tlakový rozdíl 50 Pa je značně velký a v praxi nastává zřídka, pouze při nejsilnějších vichřicích a orkánech. Průměrný tlakový rozdíl se pohybuje přibližně kolem 4 Pa. Násobnost výměny vzduchu při tomto tlakovém rozdílu lze stanovit extrapolací křivky pro střední hodnotu z grafů /01/ a /02/. Obě hodnoty jsou uvedeny v tab. /02/. Pokud tedy známe intenzitu výměny vzduchu a vnitřní objem domu, můžeme vypočítat tepelnou ztrátu netěsnostmi za otopné období a finanční náročnost, viz tab. /02/.
Z tabulky je patrné, že finanční úspora díky dodatečnému utěsnění je pro tento dům cca 9 300,– Kč za rok.

Pokud se oprostíme od finančních úvah, mohou netěsnosti významně ovlivnit tepelné ztráty, povrchové teploty, vlhkostní režim skladeb a vzduchovou neprůzvučnost. Tedy kromě tepelnětechnických vlastností ovlivňují také akustické vlastnosti

budov. U tepelných ztrát se jedná o nadměrnou filtraci vzduchu, kdy je třeba ohřívat i vzduch, který projde netěsnostmi do objektu, nebo naopak, kdy ohřátý vzduch nekontrolovatelně z místnosti uniká. Pokud přijde teplý vzduch z interiéru do styku s chladnou konstrukcí, může docházet k povrchové kondenzaci, což vede k vlhkostním problémům někdy doprovázeným růstem plísní na povrchu konstrukcí. Oprava a sanace takových detailů může být ve finále nákladnější než kontrola správnosti provedení vzduchotěsnicích vrstev v průběhu jejich provádění.

REKAPITULACE

Na základě provedeného měření lze konstatovat:

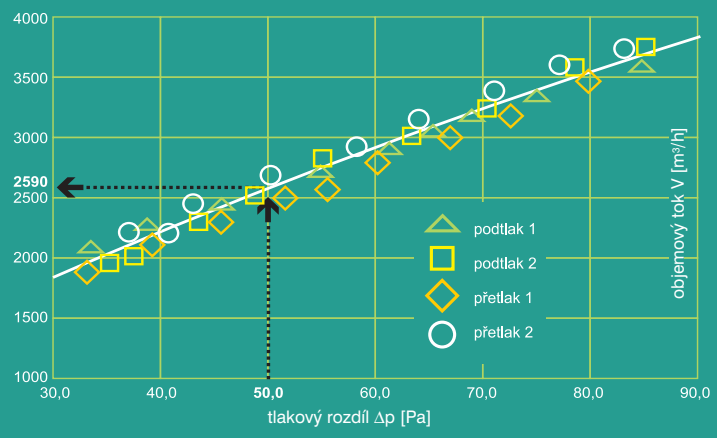
Již při první sérii měření byla naměřena hodnota intenzity výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa, která splňuje doporučené hodnoty v ČR pro objekty s přirozeným větráním.

V ČR doporučená hodnota násobnosti výměny vzduchu 4,5 h^{-1} pro domy s přirozeným větráním je poměrně vysoká a i běžnými konstrukcemi ji lze splnit. Lze předpokládat, že v budoucnu bude hodnota snížena na 3,0 h^{-1}, nebo i níže, jako je to např. v Německu nebo Rakousku. Již nyní ale obdobné přísnější hodnoty mohou být stanoveny ve smlouvě.

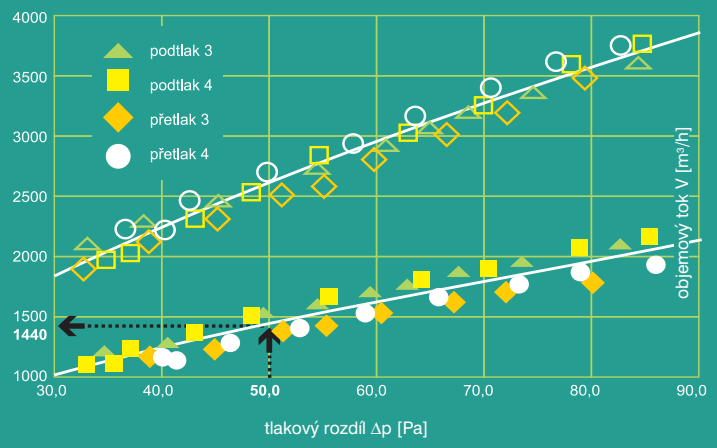
Prováděcí firmě se nepodařilo provést všechny detaily dostatečně vzduchotěsně. Svědčí to o její nedůslednosti.

Termovizní kamerou a anemometrem byla nalezena netěsná místa, která měla významný vliv na těsnost objektu. Jejich částečným utěsněním se snížila při druhém měření intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa o 45 %. Finančně se jedná o částku cca 9 300,– Kč ročně.

Při dodatečném utěsnění nebylo možné utěsnit všechna místa, protože některé části parozábrany již byly zakryté sádrokartonovými deskami, tzn. netěsnosti se projevily pouze ve spárách mezi



Graf 01 | Závislost objemového toku na tlakovém rozdílu, hodnoty z prvního měření



Graf 02 | Závislost objemového toku na tlakovém rozdílu, hodnoty z prvního měření [podtlak 1 a 2 a přetlak 1 a 2] a z druhého měření [podtlak 3 a 4 a přetlak 3 a 4]

			Měření		
Veličina	Značka	Jednotka	Před utěsněním	Po utěsnění	Rozdíl
násobnost výměny vzduchu při $\Delta p = 50$ Pa	n_{50}	h^{-1}	3,7	2,0	
násobnost výměny vzduchu při $\Delta p = 4$ Pa	n_4	h^{-1}	0,7	0,4	
tepelná ztráta netěsnostmi za otopné období[1)]	Q_v	GJ	54,2	31,0	
finančně[2)]	-	Kč	21 678	12 387	9 291

[1)] $Q_v = V \cdot n_4 \cdot 0{,}34 \cdot (t_{is} - t_{es}) \cdot D \cdot H \cdot 3{,}6$
V … je objem měřeného prostoru
n_4 … násobnost výměny vzduchu při $\Delta p = 4$ Pa
t_{is} … průměrná teplota vzduchu v interiéru za otopné období
t_{es} … průměrná teplota vzduchu v exteriéru za otopné období, pro Brno $t_{es} = 4\,°C$
D … počet dnů za otopné období, pro Brno D = 232 dnů
H … počet hodin za 1 den, H = 24 hod
[2)] uvažováno 400,– Kč za 1 GJ

Tabulka 02 | Tepelná ztráta netěsnostmi za otopné období a finanční náročnost

sádrokartonovými deskami, což ale nemusí přesně odpovídat jejich umístění.

Utěsněním jsme snížili rizika kondenzace uvnitř skladby a růstu plísní na vnitřním povrchu konstrukce.

Investorovi bylo doporučeno provést ještě jedno měření po finálním zakrytí parozábran a dokončení všech povrchových úprav. Toto měření dosud neproběhlo.

ZÁVĚR

Před zakrytím parozábrany a po úplném dokončení konstrukcí je u lehkých obvodových konstrukcí s tepelnou izolací mezi dřevěnými prvky nezbytně nutné se o kvalitě izolatérských prací exaktně přesvědčit.
Vhodnou metodou je Blower-door test kombinovaný s dalšími diagnostickými prostředky. Zjištěné netěsnosti lze lokalizovat a dodatečně utěsnit.

<Viktor Zwiener>

FOTO:

Vladimír Vymětalík
Viktor Zwiener

PODĚKOVÁNÍ:

Děkujeme brněnskému architektonickému atelieru Remo&partners za poskytnutí projektové dokumentace.

BIBLIOGRAFIE:

[1] Vyhláška Ministerstva pro místní rozvoj 137/1998 Sb. „O obecných technických požadavcích na výstavbu“

[2] ČSN 73 0540-2:2007 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky

[3] ČSN EN 13187:1999 (73 0560) Tepelné chování budov – Kvalitativní určení tepelných nepravidelností v pláštích budov – Infračervená metoda

[4] ČSN EN 13829:2001 (73 0577) Tepelné chování budov – Stanovení průvzdušnosti budov – Tlaková metoda

[5] STN 73 0540-2:2002 Tepelnotechnické vlastnosti stavebných konštrukcií a budov – Tepelná ochrana budov – Časť 2: Funkčné požiadavky

[6] STN EN 13829:2001 Tepelnotechnické vlastnosti budov – Stanovenie vzduchovej priepustnosti budov – Metóda pretlaku pomocou ventilátora

[7] DIN 4108-7:2001 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele

[8] ÖNORM B 8110-1 Wärmeschutz im Hochbau – Teil 1: Anforderungen an den Wärmeschutz und Deklaration des Wärmeschutzes von Gebäuden/Gebäudeteilen

[9] Zwiener V.: Měření těsnosti budov metodou tlakového spádu (Blower-door test) Dektime, č. 05-06/2006, str. 62-65

[10] Zdeněk L.: Porovnání skladby střechy s tepelnou izolací mezi krokvemi a skladby TOPDEK z hlediska stavební fyziky s využitím termovizní kamery Dektime, č. 05-06/2006, str. 56-61