

PROBLEMATIKA VZDUCHOTĚSNOSTI VELKOOBJEMOVÝCH PROSTORŮ VE VZTAHU K HODNOCENÍ METODIKOU BREEAM

Ing. Viktor Zwiener, Ph.D. | vedoucí oblasti DEKPROJEKT
viktor.zwiener@dek-cz.com | 731 544 905



Pro zahraničního investora jsme zajišťovali komplexní certifikaci BREEAM k novostavbě velkoobjemové skladové haly nedaleko Prahy. Požadavek na těsnost obálky stavby investor vznesl bez ohledu na certifikaci BREEAM, zřejmě si vědom příznivého přínosu této vlastnosti na náklady na vytápění ze svých zahraničních projektů.

Základní informace o certifikačním systému BREEAM jsme v minulosti uvedli v článku kolegyně Ing. Daniely Danešové (licencovaná BREEAM Assessorka): BREEAM a LEED – Certifikace z hlediska udržitelného rozvoje [5]. Připomeňme pouze, že se jedná o jeden z celosvětově nejrozšířenějších a nejuznávanějších systémů certifikace staveb z hlediska udržitelné výstavby, který současně slouží i jako motivační nástroj pro investora ke zvyšování kvality a užitných vlastností staveb a pro jejich vzájemné porovnávání. Metodika BREEAM je založena na bodovém systému, kterým se hodnotí soubor jednotlivých kritérií. Pro dosažení požadovaného stupně certifikace je zapotřebí splnit a získat předepsaný minimální počet bodů.

V polovině roku 2013 BRE vydalo

nový technický manuál pro certifikaci novostaveb [8], který upravil metodiku hodnocení. Jednou z novinek vůči předchozí verzi manuálu [9] je možnost zohlednit parametr vzduchotěsnosti obálky stavby v bodovém hodnocení. A právě úprava metodiky certifikace umožnila s výhodou využít požadavku investora na vzduchotěsnost stavby zároveň pro hodnocení BREEAM. Investor si vytyčil za cíl dosažení stupně hodnocení „very good“.

Vzduchotěsnost obálky může do procesu certifikace vstoupit hned ve 2 oblastech: „Management“ a „Energy“. V oblasti Management se konkrétně jedná o možnost zisku 1 kreditu v podoblasti Man 01 Sustainable procurement (Řízení procesu přípravy a výstavby s ohledem na udržitelný rozvoj), a to ve fázi construction and handover (výstavba a převzetí stavby). V oblasti Energy se pak jedná o možnost zisku až 2 kreditů v podoblasti Ene 01 Energy efficiency (energetická účinnost), avšak pouze za předpokladu, že není možné nebo vhodné provést hodnocení energetické účinnosti stavby schváleným výpočtovým programem. Hodnocení schváleným výpočtovým programem obvykle

vede k dosažení lepšího bodového hodnocení. V našem případě jsme z tohoto důvodu použili schválený program Energetika ze skupiny programů pro stavební fyziku DEKSOFT. Test vzduchotěsnosti obálky haly jsme tedy využili pro získání jednoho kreditu v podoblasti Man 01. Možný kreditový zisk shrnuje /tab. 01/.

Jak je z tabulky patrné, odvolává se technický manuál na národní předpisy. Připomeňme, že v České republice a na Slovensku se vzduchotěsnost hodnotí jako intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa mezi interiérem a exteriérem – hodnota označována jako n50 (1/h). U hodnoty n50 je vztažnou veličinou celkový objem měřeného prostoru. U průvzdušnosti je vztažnou veličinou plocha obálky měřeného prostoru a vypočítá se dle ČSN EN 13829 [3] podle následujícího vztahu:

$$q_{50} = V_{50} / A_E \text{ (m}^3\text{/(h.m}^2\text{))}$$

kde

V_{50} je objemový tok vzduchu potřebný pro udržení tlakového rozdílu 50 Pa [m³]
 A_E je plocha obálky měřeného prostoru [m²]

Tabulka 01 | Požadovaná kritéria na průvzdušnost objektů dle manuálu BREEAM

Podoblast	Specifikace	Kredit	Využití pro certifikovanou halu
Man 01	Tlaková zkouška prokáže, že hodnota průvzdušnosti objektu $q_{50} < 5,0 \text{ m}^3\text{/(h.m}^2\text{)}$ nebo je menší, než max. hodnota dle národních předpisů (platí přísnější požadavek)	1	uplatněno
Ene 01	Tlaková zkouška prokáže, že hodnota průvzdušnosti objektu (q_{50}) je o 50 % nižší než hodnota požadovaná dle národních předpisů. Pokud národní předpisy nestanovují žádnou hodnotu, musí být splněna maximální hodnota $q_{50} = 5,0 \text{ m}^3\text{/(h.m}^2\text{)}$.	1	-
	Tlaková zkouška prokáže, že hodnota průvzdušnosti objektu (q_{50}) je o 75 % nižší než hodnota požadovaná dle národních předpisů. Pokud národní předpisy nestanovují žádnou hodnotu, musí být splněna maximální hodnota $q_{50} = 2,5 \text{ m}^3\text{/(h.m}^2\text{)}$.	2	neuplatněno, preferován vyšší bodový zisk z posouzení energetické náročnosti programem Energetika ze skupiny programů pro stavební fyziku Deksoft

Hodnota q_{50} uvádí, kolik m^3 vzduchu průměrně projde $1 m^2$ obálky budovy za 1 h při tlakovém rozdílu 50 Pa. Na rozdíl od některých evropských zemí nemá Česká republika ve svých předpisech požadované maximální hodnoty zavedeny, a proto platí v České republice hodnoty uvedené v /tab. 01/.

SPECIFIKACE HALY, KTERÁ BYLA PŘEDMĚTEM CERTIFIKACE BREEAM (V DALŠÍM TEXTU JAKO „CERTIFIKOVANÁ HALA“)

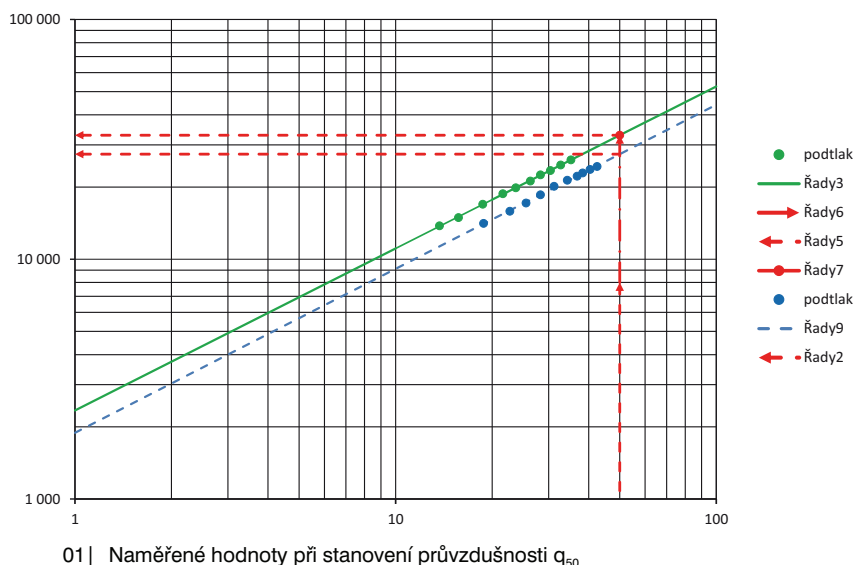
Půdorysné rozměry haly byly $230 \times 170 m$ a výška 13,5 m. V hale byla přibližně v polovině plánována dělicí příčka, která celkový objem $521\,000 m^3$ rozdělí na dva dílčí prostory o objemech $225\,000 m^3$ a $296\,000 m^3$ /obr. 10/. Nosnou konstrukci tvořily železobetonové sloupy a vazníky. Stěny byly plánovány z kompletizovaných sendvičových panelů s tl. tepelné izolace 100 mm a s vloženou butylkaučukovou páskou mezi panely. Střechu tvořily trapézové plechy s parotěsnicí a vzduchotěsnicí vrstvou z PE

fólie, tepelnou izolací tl. 160 mm z minerálních vláken a hydroizolační vrstvou z PVC-P fólie. Do objektu bylo navrženo 17 dveří a 21 vjezdových vrat, z čehož byla 2 vrata úrovně s nájezdovým můstkem a 19 vrat mimoúrovňových s nakládacím můstkem. Dále bylo ve střeše navrženo 140 bodových a 14 pásových světlíků.

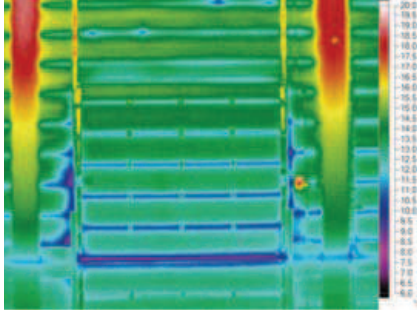
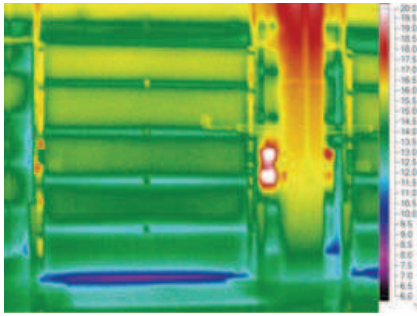
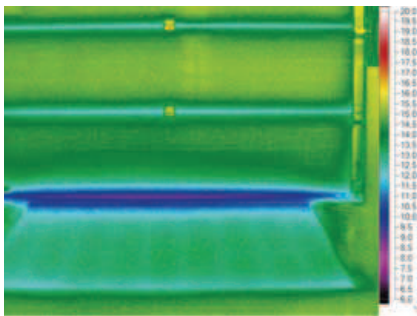
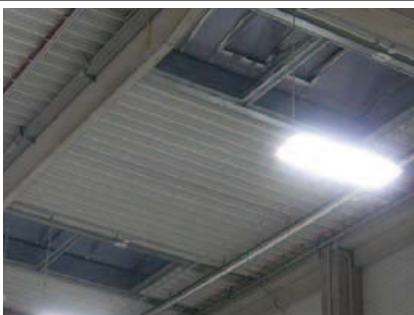
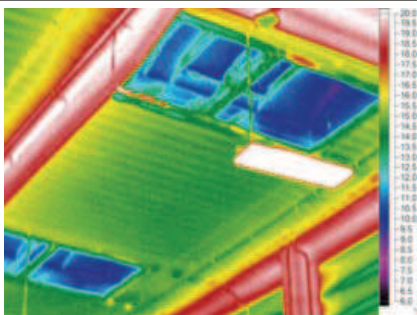
OVĚŘENÍ PLÁNOVANÝCH KONSTRUKCÍ NA ZKUŠEBNÍ HALE

Konzultace s projektantem a realizační firmou ohledně řešení vzduchotechnických opatření probíhaly od samého začátku realizace. Do projektu jsme tak mohli vnést naše zkušenosti z měření jiných objektů. U vybraných konstrukčních prvků byla navíc provedena praktická zkouška. Pro tento účel byla využita menší již realizovaná hala, která sice měla odlišnou konstrukci obvodové stěny (C-kazety s tepelnou izolací z minerálních vláken oproti plánovaným sendvičovým panelům), ale ostatní konstrukce a řešení detailů měla obdobné jako plánovaná certifikovaná hala. Jednalo se především o tyto detaily:

- těsnění spoje mezi C-kazetami (utěsnění bylo provedeno



	Přirozený tlakový rozdíl	Podtlak
02 Termogram plochy stěny, tepelně se propisují pásnice C-kazet; spoje mezi C-kazetami a spoj C-kazet s nosnými sloupy jsou vzduchotěsné		
03 Termogram plochy stěny, patrná jsou lokální nevzduchotěsná místa ve spoji C-kazet (pravděpodobně z důvodu chybné aplikace butylkaučukové pásky)		

	Přirozený tlakový rozdíl	Podtlak
04 Vrata bez nakládacího můstku, patrné je nevzduchotěsné provedení přípojovací spáry		
05 Vrata s nakládacím můstkem se sklopným klínem		
06 Detail nakládacího můstku se sklopným klínem		
07 Světliky		

Poznámka: Z důvodů odlišného součinitele emisivity vnitřní povrchové vrstvy C-kazet a betonu neplatí na termogramech teplotní stupnice pro betonové konstrukce.



- butylkaučukovými páskami);
- napojení C-kazet na nosné sloupky (opět řešeno butylkaučukovými páskami);
- napojení dveří a vrat do obvodových stěn;
- těsnost vrat;
- střešní světlíky.

Zkušební hala měla celkový vnitřní objem 24 900 m³ a plochu obalových konstrukcí 7 100 m². V obvodových stěnách bylo 5

vstupních dveří a 19 průmyslových sekčních vrat. Deset z nich mělo nakládací můstek se sklopným klínem /obr. 09/ a devět vrat bylo bez nakládacího můstku. Měření se uskutečnilo v březnu 2014, kdy ještě byla dostatečná zima pro získání vhodného rozdílu teplot mezi interiérem a exteriérem, a proto byla součástí měření průvzdušnosti také termodiagnostika. Termodiagnostika byla provedena v interiéru haly za přirozeného tlakového rozdílu

A – sekční vrata s dojezdem k můstku se sklopným klínem



B – sekční vrata s vnitřním nakládacím můstkem se sklopným klínem



a při udržovaném podtlaku v interiéru cca 30 Pa. Porovnání termogramů pořízených za různých tlakových podmínek umožňuje přesnou lokalizaci netěsností. Měření průvzdušnosti bylo provedeno pouze za podtlaku. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v grafu na /obr. 01/ (zelená přímka a body). Z uvedených dat vychází průvzdušnost $q_{50} = 4,5 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$, která vysoce převyšuje požadovanou hodnotu u certifikované haly. Na /obr. 02 až 07/ jsou ukázky termogramů vybraných detailů. Teplota vzduchu v exteriéru byla 5°C až 7°C a v interiéru (cca 1,5 m nad podlahou) $14,5^\circ\text{C}$ až $16,5^\circ\text{C}$.

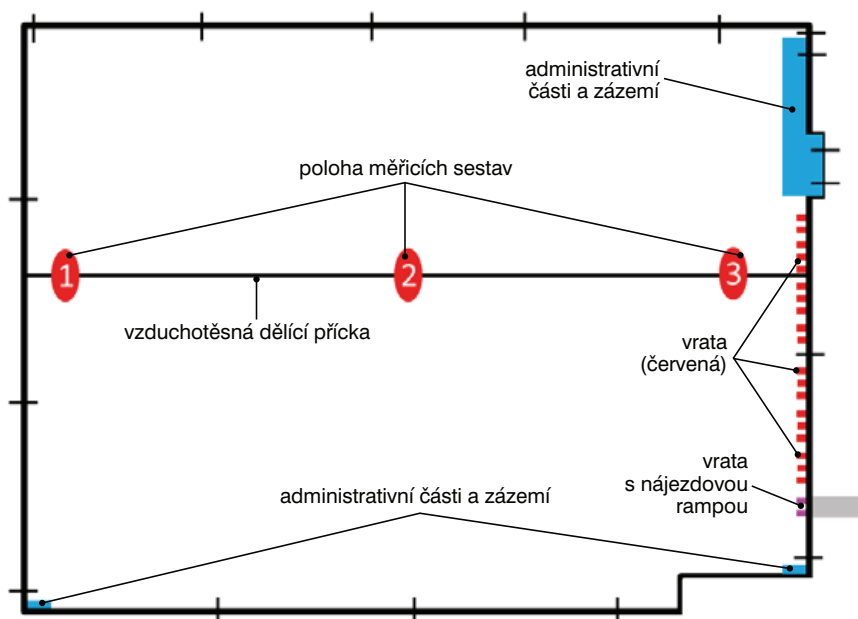
Z termogramů je patrné, že „nejslabším článkem“ objektu jsou světlíky a vrata a jejich připojovací spára a styk nakládacích můstků s podlahou haly. Pro zjištění míry vlivu styku můstků s podlahou na celkovou průvzdušnost jsme u šesti můstků tento detail vzduchotěsně zalepili lepicími páskami. Následně jsme opakovali měření /obr. 08/ průvzdušnosti při podtlaku (modrá čárková přímka a body na /obr. 01/. Průvzdušnost se snížila ze $4,6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ na $3,9 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, viz také tab. 2.

Na základě výsledků měření bylo rozhodnuto, že způsoby těsnění mezi C-kazetami vzájemně a mezi

C-kazetami a nosnými sloupy se použijí také u sendvičových panelů plánované certifikované haly. Nejproblematictější konstrukcí tak zůstaly světlíky a vrata a způsob jejich osazení do obvodové stěny. Ve spolupráci s realizační firmou jsme koncepčně navrhli řešení detailu spoje a současně jsme doporučili použití sekvenčních vrat s vnitřními nakládacími můstky se sklopným klínem /obr. 09/. V průběhu výstavby jsme provedli několik kontrol, díky kterým jsme eliminovali nepříjemná překvapení při měření po dokončení obálky.

Po dostavbě celé haly bylo provedeno měření průvzdušnosti. Jak již bylo řečeno, byla hala přibližně v polovině přepažena vzduchotěsnou dělicí příčkou /obr. 11 až 13/, ve které byly 3 průchozí dveře a 3 průjezdová vrata. Vzduchotěsnost příčky se nám podařilo včas u investora a zhotovitele prosadit, čím se zvýšila šance na úspěšnost měření. Otvory pro průjezdová vrata byly vzduchotěsně uzavřeny OSB deskami s přelepenými spoji. Do třech průchozích dveří byly osazeny výkonné měřicí sestavy blower door, každé se 3 ventilátory /obr. 13 a 14/. Toto řešení umožnilo měřit halu po 2 částech, čímž bylo zapotřebí méně měřicích sestav a současně jsme nemuseli zařízení přemisťovat. Dále byly připraveny další dvě měřicí aparatury, které by byly v případě potřeby osazeny

10





11



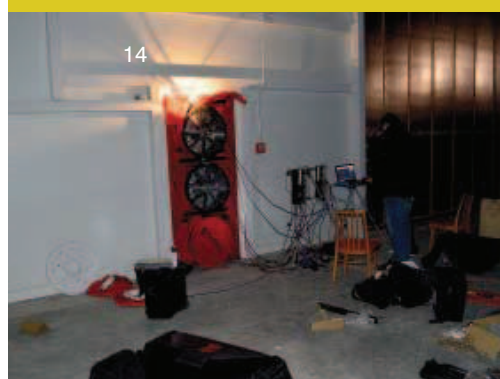
12



13

- 09| Průmyslová vrata s klasickým a vnitřním nakládacím můstkem (příklady)
- 10| Schéma půdorysu haly s vyznačením osazení měřících zařízení
- 11| Pohled do části B, nalevo dělicí příčka
- 12| Pohled do střední části část B

- 13| Pohled na dělicí příčku haly, v popředí měřící sestava 2, vzadu měřící sestava 1 (viz také obr. 14)
- 14| Měřící zařízení osazená do dveří dělicí příčky

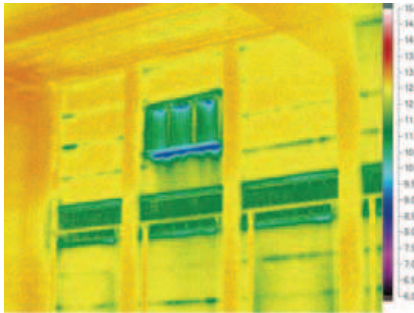
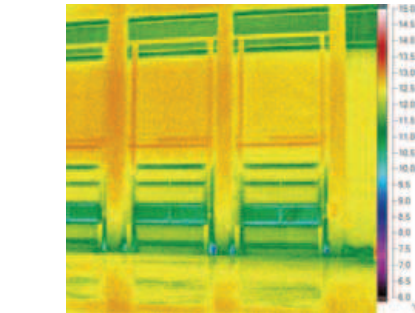
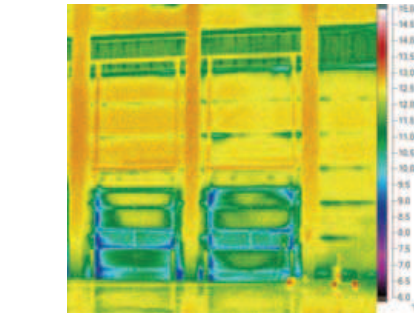
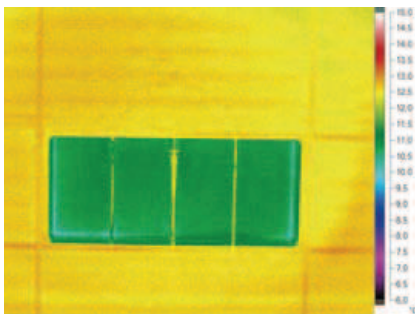
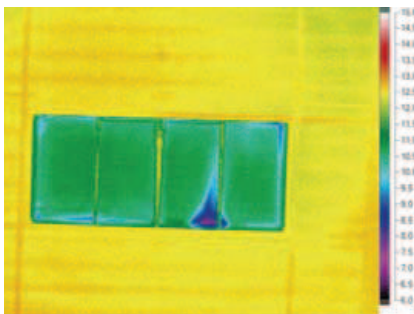
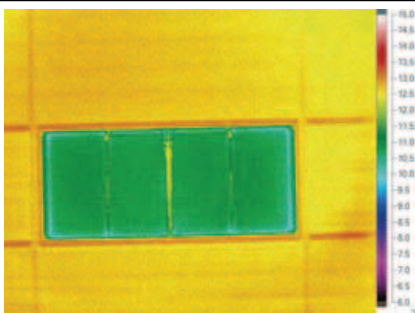
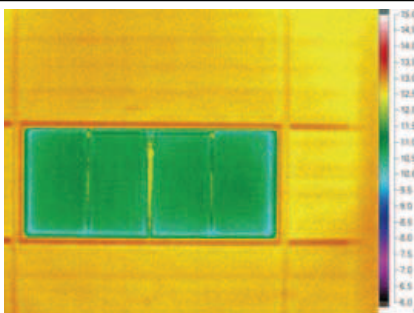


14



Tabulka 02 | Naměřené hodnoty

Hala	Část	Objem [m ³]	Plocha obal. kcí [m ²]	n50 [1/h]	q50 [m ³ /(h.m ²)]	Požadavek dle BREEAM [m ³ /(h.m ²)]	Poznámky
Certifikovaná hala	A	225 000	42 000	0,11	0,58	≤ 2,5	průměrná hodnota z měření při podtlaku i přetlaku
	B	296 000	53 000	0,11	0,64		průměrná hodnota z měření při podtlaku i přetlaku
				0,24	1,4		pouze jednobodové měření při podtlaku 50 Pa otevřeny jedny dveře o ploše 1,9 m ²
Zkušební hala	A	24 900	7 100	1,3	4,5	–	pouze při podtlaku
				1,1	3,9		pouze při podtlaku s úpravou některých nakládacích můstků

	Přirozený tlakový rozdíl	Podtlak
15 Termogram koutu dělicí příčky a obvodové stěny, patrna jsou lokální nevzduchotěsná místa mezi sendvičovými panely a v úrovni parapetu okna		
		
16 Vrata s vnitřním nakládacím můstkem se sklopným klínem, patrna jsou nevzduchotěsná místa ve vratech, připojovací spáry jsou provedeny vzduchotěsně		
		
17 Vzduchotěsně osazený střešní světlík		
		
18 Střešní světlík s lokální netěsností		
		

do dveří v obvodové stěně. Při měření části haly A byla v části B otevřena všechna vrata a tato část se prakticky chovala jako exteriér. Při měření části B byl postup obrácený.

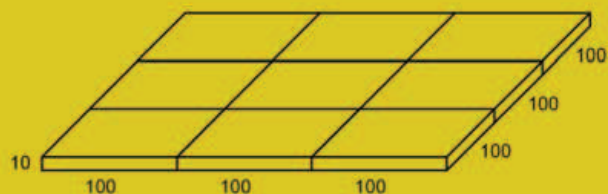
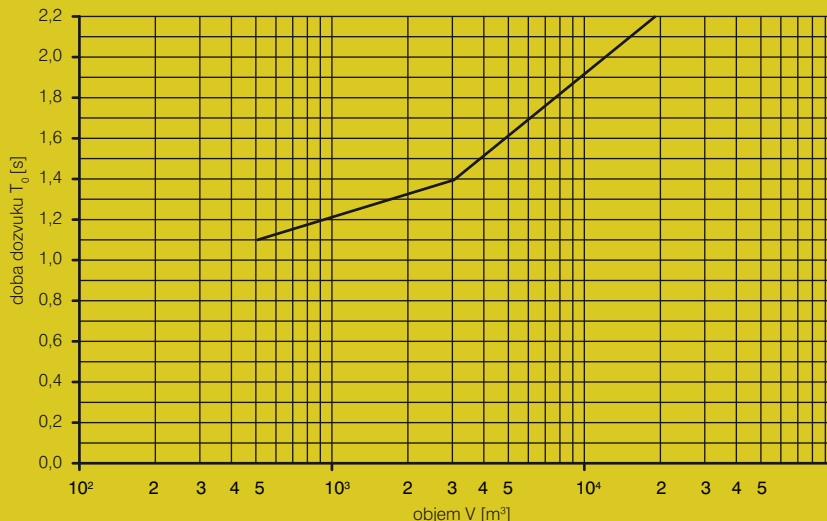
U části A byla naměřena hodnota $q_{50} = 0,58 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ a u části B hodnota $q_{50} = 0,64 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$, viz také tab. 2. Na /obr. 12/ až /15/ jsou opět termovizní snímky některých konstrukčních částí za přirozeného tlakového rozdílu a při podtlaku v interiéru. Teplota vzduchu v exteriéru byla cca $5,0^\circ\text{C}$ a v interiéru (cca 1,5m nad podlahou) $13,0^\circ\text{C}$.

ZÁVĚR

Na základě porovnání měření zkušební haly a certifikované haly lze konstatovat, že plocha fasády obsahuje v obou případech pouze lokální nevzduchotěsná místa. V certifikované hale jsou vzduchotěsnější střešní světlíky a připojovací spáry vrat. Použitím vnitřních nakládacích můstků byly zcela eliminovány netěsnosti mezi můstkem a podlahou. Netěsnosti ve vratech jako výrobku lze u obou hal označit za přibližně stejné.

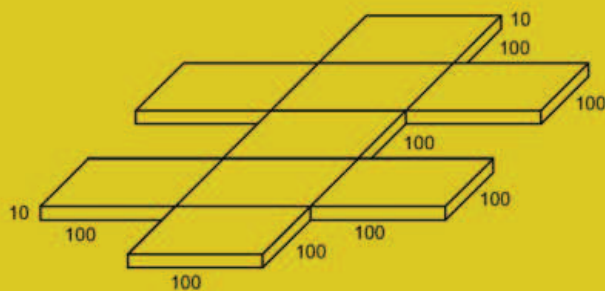
Výsledkem veškerého snažení byla velice nízká hodnota průvzdušnosti obálky certifikované haly $0,6 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$. Jsme přesvědčeni, že bez informací získaných ze zkušební haly, bez úprav projektu a bez dohledu nad těsněním spár při výstavbě haly by byla hodnota výrazně vyšší. Z hlediska realizace nemá smysl se na hodnotu průvzdušnosti dívat pouze jako na číslo a na hodnocení „požadavek splněn / nesplněn“, popř. „kredit získán / nezískán“, ale je třeba vidět také reálné úspory na vytápění, které při tak velké ploše haly budou významné. V úvodu tohoto článku jsme uvedli, že certifikace dle BREEAM slouží mimo jiné také jako motivační nástroj pro zvyšování kvality staveb. Domníváme se, že v popsaném případě tato situace nastala a investor obdrží objekt s kvalitnější obálkou.

Zamysleme se ještě nad hodnotou průvzdušnosti. Z metodiky měření plyne, že čím je měřený prostor větší, tím lze snáze získat nižší



$$V = 900\,000 \text{ m}^3$$

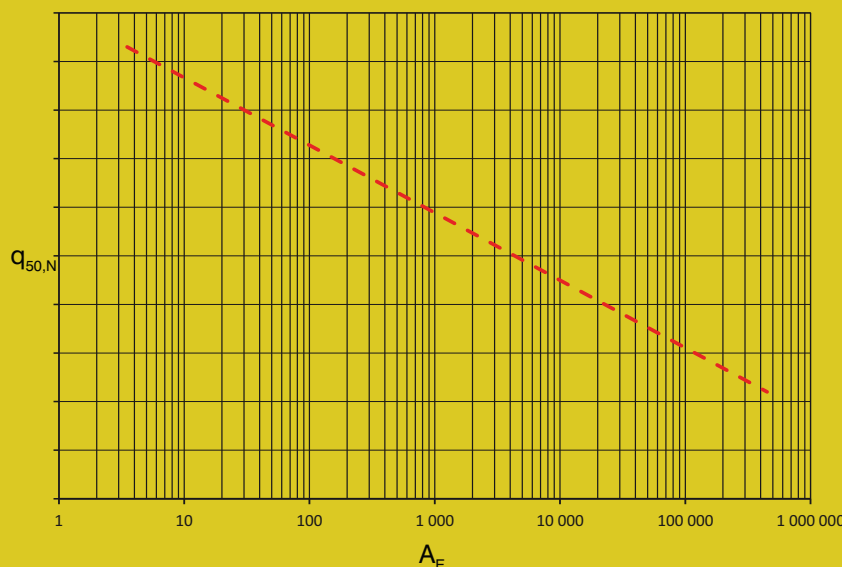
$$AE = 192\,000 \text{ m}^2$$



$$V = 900\,000 \text{ m}^3$$

$$AE = 200\,000 \text{ m}^2$$

- 19| Požadovaná doba dozvuku ve sportovních a plaveckých halách v závislosti na objemu prostoru (příklad)
- 20| Vliv tvaru objektu na plochu obalových konstrukcí



21 | Návrh grafu pro stanovení požadavku na průvzdušnost na základě plochy obalových konstrukcí

hodnotu n_{50} resp. q_{50} , viz také [6, 7]. U certifikované haly jsme provedli pár dodatečných měření. Jedním z nich bylo také zjištění, jaký vliv na průvzdušnost části B mají jedny otevřené dveře o ploše $1,9 \text{ m}^2$ ($0,9 \times 2,1 \text{ m}$). Proto jsme provedli jednobodové měření při podtlaku 50 Pa. Jedná se o měření s větší mírou nejistoty, které sice ČSN EN 13829 [3] nepřipouští, ale pro hrubý odhad je dostačující. S otevřenými dveřmi se průvzdušnost více jak zdvojnásobila ($q_{50} \approx 1,4 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$). Při dalších otevřených dveřích už výkon všech zařízení nestačil na vytvoření požadovaného podtlaku 50 Pa. Plocha netěsností jedné dveří $1,9 \text{ m}^2$ je k celkové ploše obalových konstrukcí části B $53\,000 \text{ m}^2$ zanedbatelná a činí pouze 0,004 %, ale jak je patrné, na celkovou průvzdušnost má významný vliv. Proto je důležité se zabývat z hlediska vzduchotěsnosti každou konstrukcí a každým detailem. Pokud by měla mít certifikovaná hala stejnou průvzdušnost jako zkušební hala ($q_{50} = 4,6 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$), znamenalo by to ponechat otevřené několikrát dveře nebo by obálka objektu musela být realizována s daleko většími netěsnostmi. Na základě tohoto závěru se domníváme, že stanovení pouze jedné požadované hodnoty pro všechny objekty bez zohlednění jejich geometrie je nedostačující.

KONCEPČNÍ ÚPRAVA POŽADOVANÝCH HODNOT

Jak z toho ven? Naše akreditovaná zkušební laboratoř provádí mimo jiné akustická měření, mezi která patří také měření doby dozvuku. A právě u této veličiny se lze inspirovat. Dozvuk je velice důležitý parametr vnitřního prostoru z hlediska srozumitelnosti řeči, podání zvuku v prostoru (např. hudby) apod. Obecně lze dobu dozvuku definovat jako čas od vypnutí zdroje, za který dojde ke snížení hladiny zvuku o definovanou úroveň. Požadavky na dobu dozvuku jsou uvedeny v ČSN 73 0527 [2]. V normě je mimo jiné graf závislosti požadované doby dozvuku na objemu a druhu prostoru. Na /obr. 19/ je příklad pro sportovní a plavecké haly. Na ose X je v logaritmickém měřítku vynesena objem a optimální doba dozvuku pro libovolně velký prostor lze odečíst na ose Y.

Průvzdušnost je rovněž závislá na objemu, stejně tak i na ploše obalových konstrukcí. Dva tvarově různé objekty stejného objemu nemají stejnou plochu obalových konstrukcí. Na /obr. 20/ je příklad hal o výškách 10 m a rozdílných půdorysech. Členitější hala má větší plochu AE. Proto je pro stanovení požadavku na průvzdušnost výhodnější použít právě plochu obalových konstrukcí. Na /obr. 21/ je koncepčně navržen graf pro

stanovení požadované hodnoty průvzdušnosti v závislosti na ploše obalových konstrukcí. Obecný vztah by mohl mít tvar:

$$q_{50,N} = -P \ln(A_E) + Q$$

Kde konstanty P a Q je třeba stanovit na základě výsledků měření a popř. energetických výpočtů.

<Viktor Zwiener>

<Leoš Martiš>

<Jan Matička>

- [1] ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky
- [2] ČSN 73 0527 Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Prostory pro kulturní účely – Prostory ve školách – Prostory pro veřejné účely
- [3] ČSN EN 13829:2001 (73 0577) Tepelné chování budov – Stanovení průvzdušnosti budov – Tlaková metoda
- [4] DIN 4108-7:2011 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden – Anforderungen, Planungs- und Ausführungs-empfehlungen sowie -beispiele
- [5] Danešová D.: BREEAM A LEED – Certifikace z hlediska udržitelného rozvoje DEKTIME 2012/03, str. 24-34, ISSN 1802-4009
- [6] Simons, P., Rolfsmeier, St.: Postulat für Luftdichtheits-Grenzwerte bei großen Gebäuden 7th International BUILDAIR-Symposium, Stuttgart, Germany
- [7] Zwiener V.: Problematika průvzdušnosti velkých prostorů Časopis Tepelná ochrana budov, číslo 4/2012, str. 14-19, ISSN 1213-0907
- [8] BREEAM International New Construction – Technical Manual, SD 5075-1.0:2013 BRE, 03/03/2014
- [9] BREEAM Europe Commercial 2009 Assessor Manual, SD 5066A: ISSUE 1.1 BRE 2012