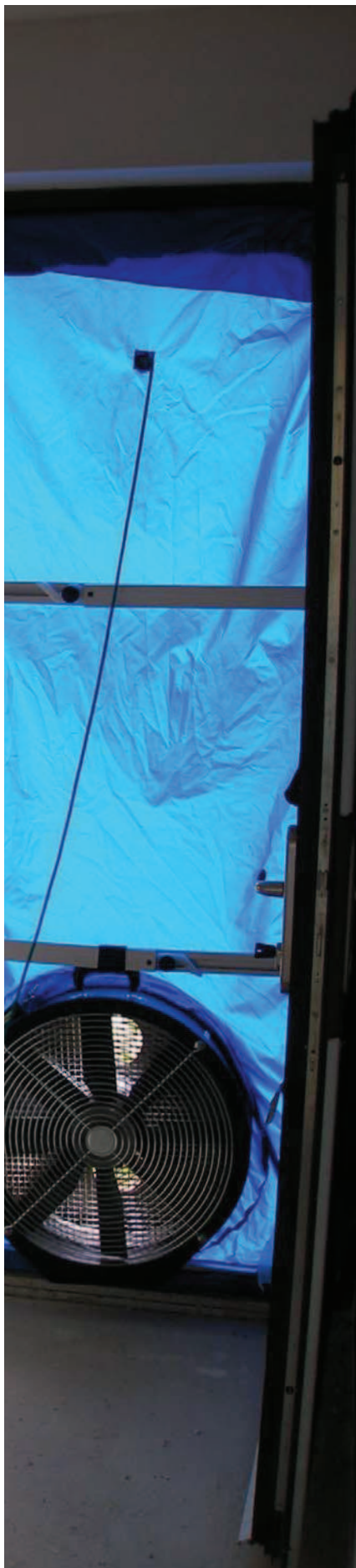


ANALÝZA VZDUCHOTĚSNOSTI

**OBJEKTŮ NA
ZÁKLADĚ MĚŘENÍ
PROVEDENÝCH
V OBDOBÍ 2006–2014**

V ROCE 2010 JSME NA STRÁNKÁCH TOHOTO ČASOPISU POPRVÉ ZVEŘEJNILI ANALÝZU Z NAŠICH MĚŘENÍ PRŮVZDUŠNOSTI OBJEKTŮ [7]. ANALÝZA VYCHÁZELA Z MĚŘENÍ PROVEDENÝCH OD ROKU 2006 DO ROKU 2010 A TÝKALA SE POUZE DŘEVOSTAVEB. OD TÉ DOBY PROVÁDÍME MĚŘENÍ POD HLAVIČKOU AKREDITOVANÉ ZKUŠEBNÍ LABORATOŘE ATELIER DEK A SOUBOR DAT SE TAKŘKA ZPĚTINÁSOBIL. POJĎME SE PODÍVAT, JAKÉ ZÁVĚRY LZE ZÍSKAT Z ANALÝZY CELÉHO SOUBORU DAT.





VZDUCHOTĚSNOST STAVEB

Pro výpočet energetické náročnosti budov by se měly dle ČSN 73 0540-2 [2] používat hodnoty celkové intenzity výměny vzduchu na úrovni I podle tab. /01/. Přesto by měla být snaha zajistit takové řešení konstrukcí, aby byly dosahovány co možná nejnižší hodnoty. Netěsnosti v obvodových konstrukcích budovy nemají vliv jen na tepelné ztráty budovy, ale také na životnost jednotlivých konstrukčních prvků budovy. Pravděpodobně nejvíce rizikové jsou netěsnosti, které jsou v blízkosti dřevěných nosných konstrukcí. V zimním období hrozí v blízkosti netěsností kondenzace vodní páry, což znamená velkou míru rizika degradace dřevěných konstrukčních prvků. Poruchy vzduchotěsnicích vrstev mají za následek také snížení kvality vnitřního prostředí vlivem proudícího vzduchu, kdy uživatelé prostoru mají subjektivní pocit nižší teploty vnitřního prostředí.

Vrstva zajišťující vzduchotěsnost může mít s ohledem na konstrukční systém různou polohu vůči interiéru. Hlavním principem je její spojitost a omezení složitých konstrukčních uspořádání, která by její účinnost snižovala. Velmi důležité je, aby hlavní vzduchotěsnicí vrstva byla

co možná nejsnadněji proveditelná a aby byla zajištěna její dlouhodobá životnost. Vzduchotěsnost obálky budovy může být zajištěna monolitickými vrstvami, jako jsou omítky nebo betonové stěny a stropy. U dřevěných obvodových konstrukcí je vzduchotěsnost zpravidla zajištěna asfaltovými pásy se svařenými spoji, fóliemi lehkého typu nebo velkoplošnými deskovými konstrukcemi s přelepenými spoji. Tyto vrstvy zpravidla zároveň plní i parotěsnicí funkci.

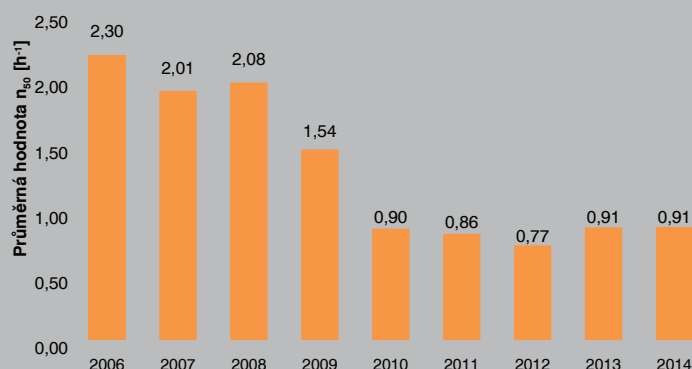
MĚŘENÍ VZDUCHOTĚSNOSTI

Průvzdušnost obálky budovy nebo její ucelené části se hodnotí celkovou intenzitou výměny vzduchu n_{50} [h^{-1}] při tlakovém rozdílu 50 Pa, která se stanovuje experimentálně podle [4] metodou blower-door test. Podrobněji je měření popsáno v [5]. Výsledek měření udává, kolikrát se za hodinu vymění celý objem vzduchu měřeného prostoru při tlakovém rozdílu 50 Pa mezi vnitřním a vnějším prostředím.

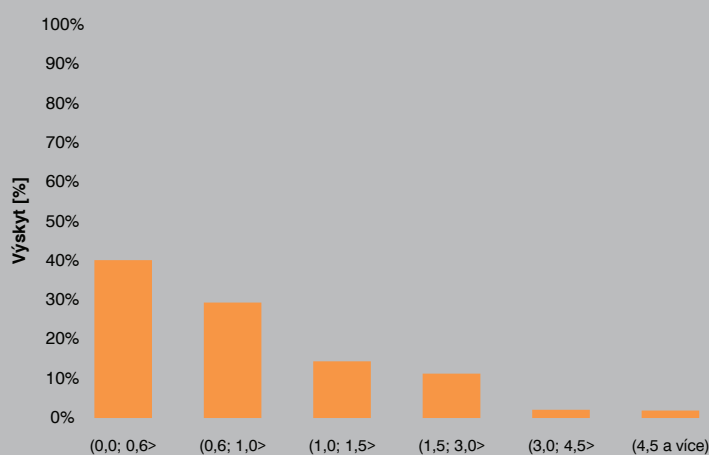
Tabulka 01 – Doporučené hodnoty celkové intenzity výměny vzduchu dle ČSN 73 0540-2 [2]

Větrání v budově	Doporučená hodnota celkové intenzity výměny vzduchu $n_{50,N}$ [h^{-1}]	
	Úroveň I	Úroveň II
Přirozené nebo kombinované	4,5	3,0
Nucené	1,5	1,2
Nucené se zpětným získáváním tepla	1,0	0,8
Nucené se zpětným získáváním tepla v budovách se zvláště nízkou potřebou tepla na vytápění	0,6	0,4

Graf 01 | Průměrná hodnota n_{50} v závislosti na roku provedení testu



Graf 02 | Četnost naměřených hodnot n_{50} [h^{-1}]



ANALÝZA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

Analýza je provedena z měření, která byla realizována v období let 2006 až 2014.

ANALÝZA PODLE TYPU A DRUHU OBJEKTU

V průběhu let narůstá počet prováděných měření metodou blower-door test, což je dáno jednak rozšiřujícím se povědomím o důležitosti vzduchotěsnosti obálky budovy a zároveň i spuštěním dotačních titulů pro podporu výstavby domů v pasivním standardu. Se zvyšující se zkušeností stavebních firem s problematikou vzduchotěsnosti staveb je zaznamenáno meziroční snižování (zlepšování) průměrné naměřené hodnoty n_{50} [h^{-1}] viz /graf 01/. Od roku 2010 je zřejmá určitá stagnace průměrných hodnot. Zajímavý je mírný pokles průměrných hodnot v roce 2011 a 2012. Vysvětlení je snadné, v těchto letech byl větší podíl zastoupení staveb realizovaných v pasivním standardu v návaznosti na dotační titul „Zelená úsporám“, což se promítlo i do celkového výsledku daných roků.

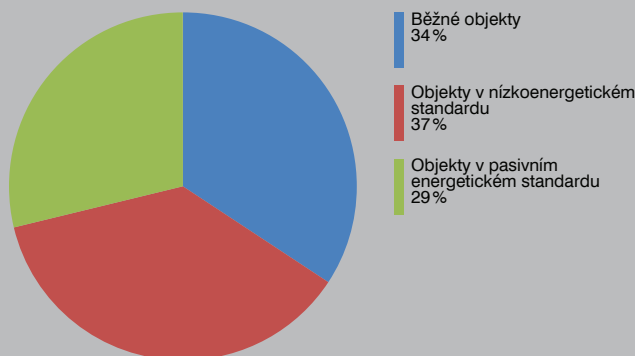
Zhruba 40 % z provedených měření dosahuje hodnot $n_{50} \leq 0,6$ [h^{-1}] /graf 02/. Z grafu 02 je také patrné, že téměř 85 % měření nepřesahuje hodnotu $n_{50} = 1,5$ [h^{-1}]. Naopak hodnoty, které se blíží doporučené hodnotě celkové intenzity výměny vzduchu $n_{50,N}$ pro objekty s přirozeným nebo kombinovaným systémem větrání se vyskytují poměrně vzácně. Průměrná hodnota ze všech měření činí $n_{50} = 1,06$ [h^{-1}].

Měřené objekty, které jsou v energetickém standardu běžném, nízkoenergetickém a pasivním, mají v evidovaných měřeních obdobné zastoupení /graf 03/. Z grafu /04/ je patrné, že průměrné hodnoty u objektů v nízkoenergetickém a pasivním standardu se pohybují těsně pod doporučenou hodnotou dle tab. /01/. Například u pasivních domů je evidováno 16 % měření, kdy byla překročena doporučená hodnota $n_{50,N} = 0,6$ [h^{-1}]. Objekty postavené v nízkoenergetickém standardu jsou v drtivé většině navrženy se vzduchotechnickými

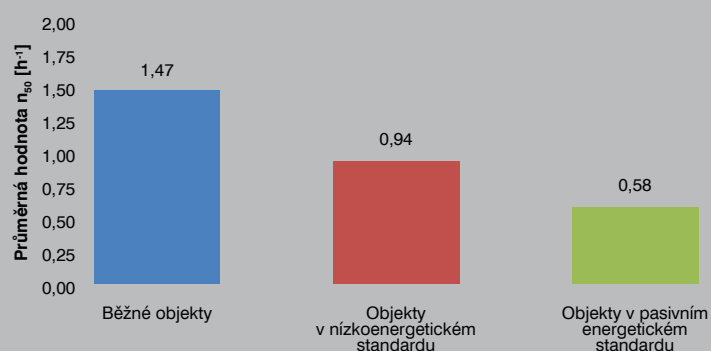
systémy se zpětným získáváním tepla, pro které platí doporučená hodnota $n_{50,N} = 1,0 \text{ [h}^{-1}\text{]}$. Naopak objekty, které jsou postaveny v běžném energetickém standardu, splňují doporučení tab. 1 s velkou rezervou. Z toho vyvstává otázka, zda pro běžné objekty s přirozeným nebo kombinovaným větráním není doporučená hodnota $n_{50,N} = 4,5 \text{ [h}^{-1}\text{]}$ dle tab. 1 až příliš benevolentní, když i při standardní výstavbě je v průměru dosaženo relativně nízkých hodnot $n_{50} \text{ [h}^{-1}\text{]}$. Podle našich zkušeností z měření znamená přesáhnutí hodnoty cca 2,0 až 2,5 $\text{[h}^{-1}\text{]}$ výskyt zpravidla velmi výrazných systematických netěsností v obvodovém plášti budovy. Tomu také odpovídají požadované hodnoty pro objekty v běžném energetickém standardu používané v zahraničí, které se obvykle pohybují v rozmezí 2,5 až 3,0 $\text{[h}^{-1}\text{]}$ (např. Německo a Rakousko).

Se suverénní převahou jsou měřeny rodinné domy /graf 05/. Důvodem je podpora výstavby pasivních domů dotačními tituly, ale pravděpodobně i fakt, že budoucí uživatelé rodinných domů mají větší zájem na kvalitním provedení stavby i z hlediska vzduchotěsnosti. Dalším typem měřených objektů s významným zastoupením jsou byty v bytových domech. Převážně se jedná o byty v bytových domech postavených v nízkoenergetickém nebo pasivním standardu. Objednatelům měření jsou v tomto případě typicky přímo developerské společnosti nebo dodavatelské firmy, od kterých developerské společnosti vyžadují doložení zkušebního protokolu. Ačkoliv je průměr z naměřených hodnot u bytů v bytových domech /graf 06/ relativně vyšší, je nutné si uvědomit, že na výsledku měření se podílí i vnitřní dělicí konstrukce k sousedním bytům a společným prostorám. Pokud by se měřil bytový dům jako celek, bylo by zřejmě dosaženo výrazně lepšího výsledku, než v případě jednotlivých bytů. Bytové domy měřené jako celek nebo další typy objektů, jako jsou administrativní budovy a budovy škol, jsou měřeny výjimečně a v úhrnu se jedná o jednotky, nejvýše desítky objektů. Halové objekty není vhodné

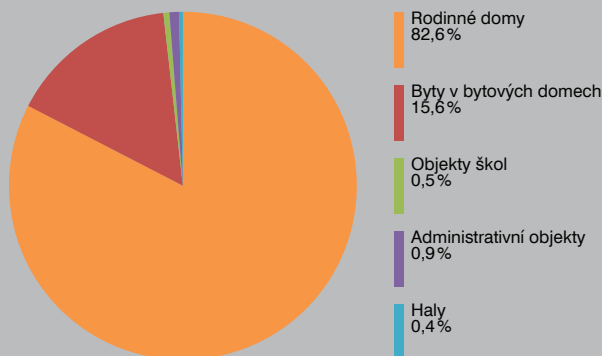
Graf 03 | Podíl měřených objektů podle energetického standardu



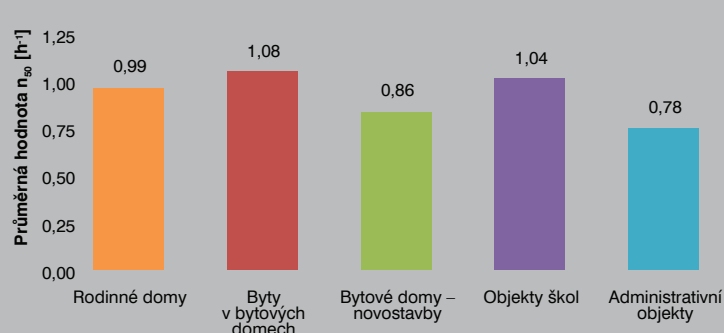
Graf 04 | Hodnota n_{50} podle energetického standardu objektu



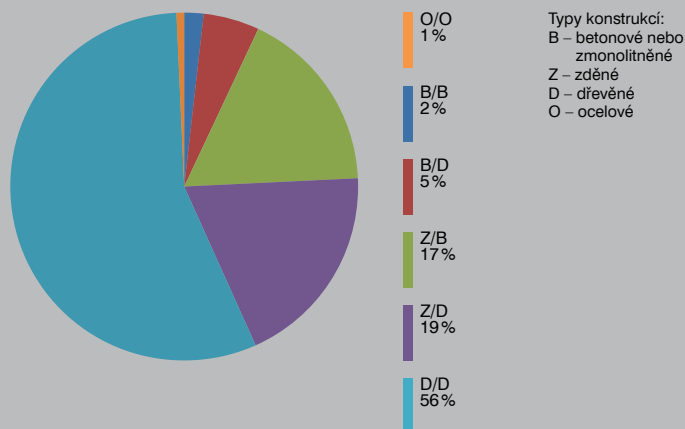
Graf 05 | Podíl měřených objektů podle jejich funkce



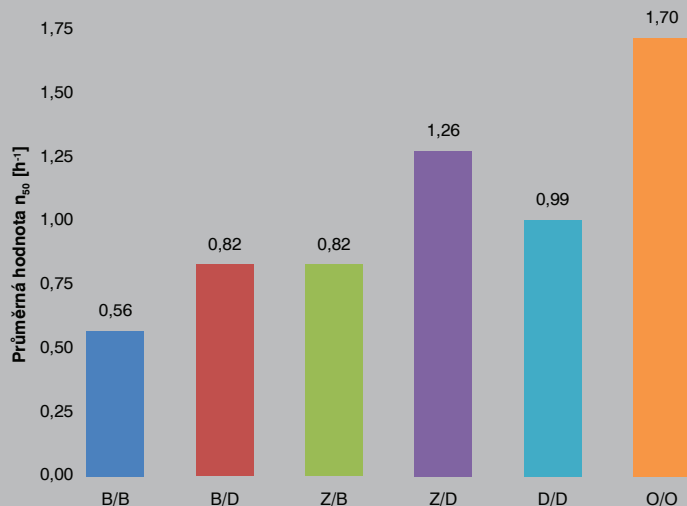
Graf 06 | Hodnota n_{50} podle funkce objektů



Graf 07 | Podíl měřených objektů podle typu konstrukce stěny/střechy



Graf 08 | Hodnota n_{50} podle konstrukce stěny/střechy



hodnotit z hlediska vzduchotěsnosti obálky budovy hodnotou n_{50} [h^{-1}], a proto nejsou do analýzy zahrnuty. Problematice vzduchotěsnosti velkoobjemových halových objektů se věnuje článek [6].

KONSTRUKČNÍ SYSTÉMY OBÁLKY BUDOV Z POHLEDU VZDUCHOTĚSNOSTI

Kombinací konstrukčních systémů obálky budov je celá řada. Dále je uváděno označení pro jednotlivé typy nosných konstrukcí:

B – betonové nebo zmonolitněné,
 Z – zděné,
 D – dřevěné,
 O – ocelové.

Nejčastějšími kombinacemi jsou u měřených objektů:

- obvodová stěna na bázi dřeva s dřevěnou střechou,
- obvodová stěna zděná s dřevěnou střechou,
- obvodová stěna zděná s betonovou střechou (nebo stropem).

Tyto tři varianty zaujímají celkem 92 % z měřených objektů /graf 07/. Průměrné hodnoty celkové průvzdušnosti obálky budov z měření na objektech s jednotlivými kombinacemi typu obvodové stěny a nosné konstrukce střechy jsou v grafu 08.

Nejnižších hodnot n_{50} bylo dosaženo u objektů s kombinací obvodové stěny i střechy (stropu) provedenými z monolitického betonu nebo ze zmonolitněných konstrukcí. Naopak nejhorších výsledků bylo dosaženo u objektů s ocelovou nosnou konstrukcí. Těchto objektů bylo měřeno poměrně malé množství a jednalo se spíše o atypické konstrukce. S výrazným nárůstem byla druhá nejhorší kombinace s obvodovou stěnou zděnou a střechou dřevěnou. Takových objektů je naopak v souboru dat poměrně hodně, takřka pětina.

Konstrukční systémy obvodových stěn

Konstrukční systémy obvodových stěn mají především u vícepodlažních budov dominantní vliv na hodnotu celkové

průvzdušnosti jejich obálky. Zároveň mají vliv na technickou náročnost řešení detailů napojení s ostatními konstrukcemi (výplně otvorů, podlaha, střecha). Proto bylo přistoupeno u jednotlivých typů obvodových stěn k podrobnějšímu rozčlenění. První skupinou byly zděné obvodové stěny. Objekty byly roztrženy podle použitého typu kusového staviva /graf 09/:

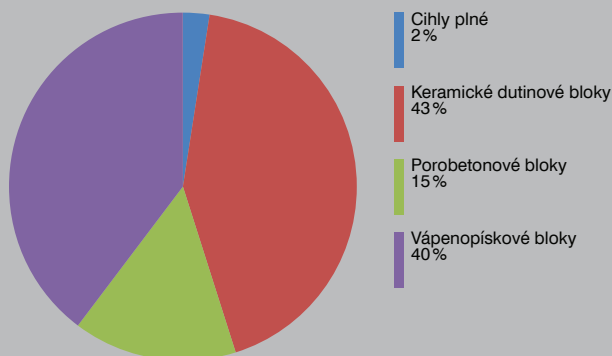
- cihly plné,
- keramické dutinové bloky,
- pórabetonové bloky,
- vápenopiskové bloky.

Z grafu /10/ je patrné, že nejhorší hodnoty jsou v průměru zaznamenávány u objektů s obvodovými stěnami vyzděnými z cihel plných pálených. Tato skupina ale zahrnuje menší množství měření s převládajícím zastoupením rekonstrukcí stávajících objektů, kde zpravidla nebylo systémově zajištěno napojení vzduchotěsnicích vrstev střechy a obvodových stěn a řešení prostupů přes obálku budovy (např. přípojovací spáry oken). Ostatní výsledky potvrzují zkušenosti z měření, že horší hodnoty jsou dosahovány u objektů, u kterých jsou pro obvodové stěny použity keramické dutinové bloky. U kusového staviva zajišťuje vzduchotěsnost především vnitřní omítka. Její narušení v kombinaci s četnými svislými dutinami v blocích a absence účinného přerušení v rovině ložné spáry znamenají riziko podstatného zhoršení vzduchotěsnosti obvodové stěny.

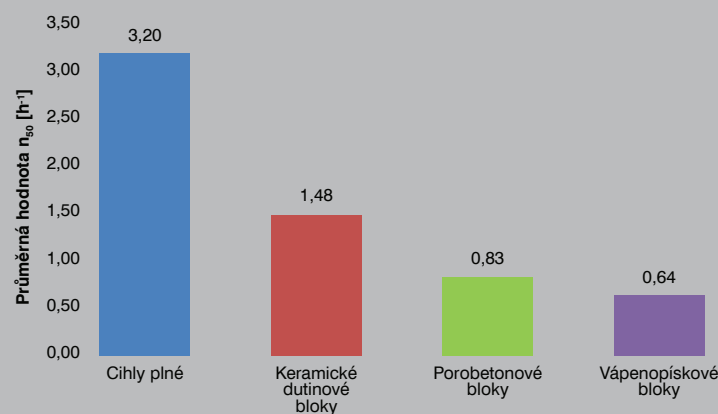
Typickou významnou netěsností jsou u tohoto typu zdiva rozvody elektroinstalací /obr. 01/. Výrobci keramických dutinových bloků si tuto nevýhodu uvědomují a někteří postupně technologie upravují tak, aby bylo možné vystavět vyhovující objekt. Důležité je dodržet technologickou kázeň. Nejnižší změřená hodnota u objektu s dutinovými keramickými bloky je $n_{50} = 0,20 \text{ [h}^{-1}\text{]}$.

U ostatních typů zdiva se tento druh netěsností vyskytuje s mnohem menší četností. Zlepšení vzduchotěsnosti obvodových stěn z kusového zdiva je možné

Graf 09| Podíly měření podle materiálu zděných stěn



Graf 10| Hodnota n_{50} podle materiálu zděných stěn



SMĚRNICE ČHIS 05 ZKUŠEBNÍ METODIKA PRO STANOVENÍ PŘÍTOMNOSTI NETĚSNOSTÍ A NEUTĚSNĚNÝCH SPÁR V OBVODOVÝCH KONSTRUKCÍCH

Zkušební metodiku lze použít pro stanovení přítomnosti netěsností a neutěsněných spár na vnitřním povrchu obvodových konstrukcí. Požadavky na přítomnosti netěsností a neutěsněných spár v obvodových konstrukcích jsou stanoveny v ČSN 73 0540-2. Metodiku zakotvenou ve směrnici ČHIS 05 lze použít pro všechny konstrukce, na které se vztahují požadavky ČSN 73 0540-2.

Směrnice ČHIS 05 je volně ke stažení na www.hydroizolacnispolecnost.cz.

docílit například provedením kontaktního zateplovacího systému s celoplošným lepením a opatřením okolo elektroinstalačních rozvodů (např. vložení elektroinstalační krabice do sádrového lože a použití krabic s těsnicími membránami). Nejlepších výsledků je dosahováno u objektů s vápenopiskovými bloky, u kterých jsou těsnější ložné spáry a drážky pro rozvody se snadněji utěšují.

Vzduchotěsnicí vrstvu ve stěnách u dřevostaveb nejčastěji tvoří fólie nebo OSB deska. Skupina zahrnuje dřevostavby:

- se sloupkovým systémem,
- s panely,
- s nosnou konstrukcí z masivních dřevěných panelů (jsou tvořeny několika vrstvami lamel, které jsou mezi sebou slepeny).

Poslední jmenovaný typ má nepoměrně menší podíl objektů než ostatní dva typy konstrukcí /graf 11/. Ukazuje se, že je v rámci tohoto systému dosahováno

výsledků s menším rozptylem naměřených hodnot /graf 12/. Především sloupkový systém dřevostavby (letmá montáž) v kombinaci s fóliemi vykazuje vyšší míru individuálnosti kvality provedení, která mimo jiné souvisí se zkušenostmi realizačních firem a s použitými typy doplňkových těsnicích materiálů. Typickou netěsností jsou u těchto konstrukcí prostupy instalačních rozvodů, vzájemné spojení parozábran a napojení stěny s podlahou na terénu.

Poslední významnou skupinou jsou monolitické a zmonolitněné obvodové stěny. Jejich představiteli jsou /graf 13/:

- monolitické železobetonové stěny,
- skořepinové tvárnice s betonovou zálivkou,
- tzv. ztracené bednění z EPS s betonovou zálivkou.

Hlavní vzduchotěsnicí vrstvu těchto konstrukcí tvoří samotná stěna nebo

vnitřní omítka. Průměrné hodnoty celkové průvzdušnosti obálky budov pro uvedené typy obvodových stěn jsou v grafu /14/, na kterém je patrné, že nejnižší hodnoty jsou dosahovány u objektů se ztraceným bedněním z EPS tvarovek.

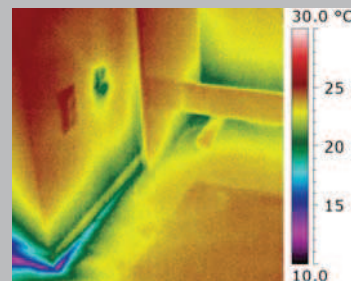
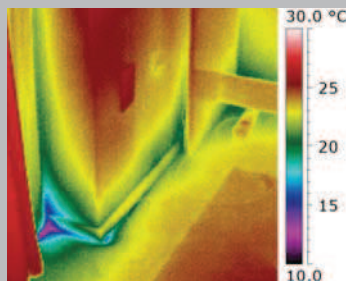
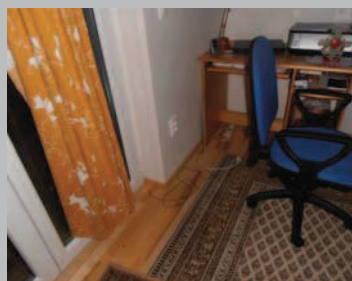
Konstrukční systémy střech (stropů)

Střechy měřených objektů lze podle stavebního systému rozdělit na:

- polomontované zmonolitněné,
- monolitické železobetonové konstrukce,
- dřevěné konstrukce,
- ocelové konstrukce.

Zmonolitněné nebo monolitické konstrukce střech nebo stropů (podíl 19%) jsou kvalitním vzduchotěsnicím prvkem, který bývá narušen zpravidla jen nevhodně opracovanými prostupy. U objektů, které mají železobetonový strop je evidována průměrná hodnota celkové průvzdušnosti obálky budovy $n_{50} = 0,8 [h^{-1}]$. Objektů s ocelovou střechou bylo změřeno

01| Pohled na netěsné elektrorozvody



PŮJČOVNA ZAŘÍZENÍ PRO BLOWER-DOOR TEST

Kontrola vzduchotěsnosti obálky budovy ve fázi výstavby a po dokončení vzduchotěsnicích vrstev je více než doporučená. Pro tyto účely jsme pro vybrané subjekty v letošním roce zprovoznili půjčovnu zařízení pro blower-door test. Lze si tak zkontrolovat správnou těsnost ještě před finálním měřením. Bližší informace k půjčování jsou uvedeny na www.atelier-dek.cz/pujcovna.

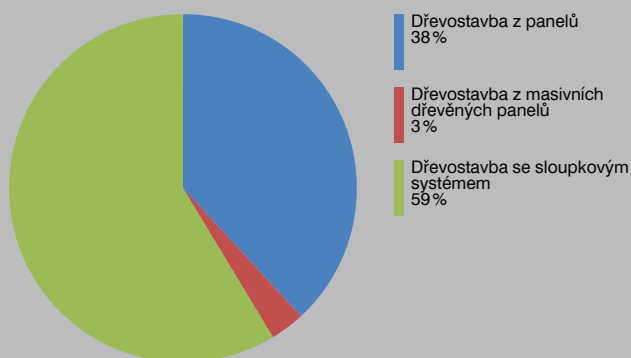
Měření průvzdušnosti na konci výstavby objektu by měla být u všech typů objektů samozřejmá, protože s ním lze prokázat kvalitu provedení obálky budovy a případně předejít budoucím škodám.

menší množství v řádu jednotek kusů a z hlediska konstrukčního uspořádání byly obdobné jako u dřevěných střech. Podíl objektů s dřevěnou nosnou konstrukcí střechy tvoří 79 % z celkového počtu měření a průměrná hodnota celkové průvzdušnosti obálky těchto budov je $n_{50} = 1,09 \text{ [h}^{-1}\text{]}$.

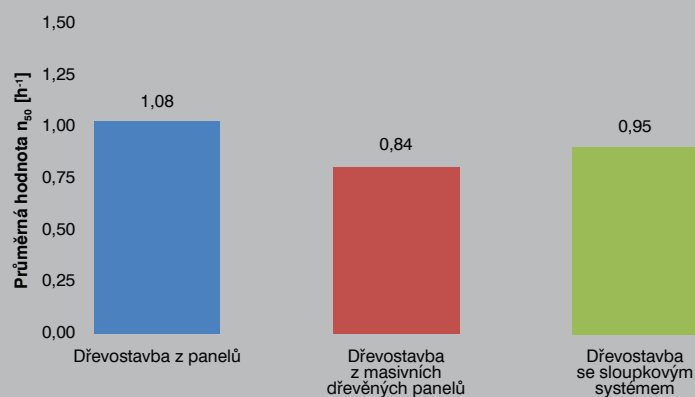
Rozdělení objektů podle vzduchotěsní vrstvy střechy s dřevěnou nosnou konstrukcí ukazuje, že nejlepší výsledky je dosaženo u budov se vzduchotěsní vrstvou střechy z desek na bázi dřeva, což jsou nejčastěji OSB desky.

Typickou netěsností u střešních konstrukcí jsou nekvalitně provedené vzájemné spoje fólií, napojení na přilehlé konstrukce a napojení na prostupující konstrukce (příklad netěsného stropu podkrovní je na obr. /02/). U nadkroevních systémů střech je typickou netěsností prostupující nosný prvek směrem k exteriéru (krokev, bednění u štítové stěny). Příklad této netěsnosti je uveden na obr. /03/.

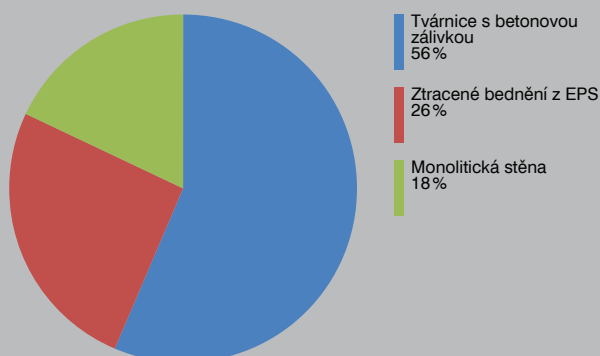
Graf 11 | Podíl podle typu stěn dřevostaveb



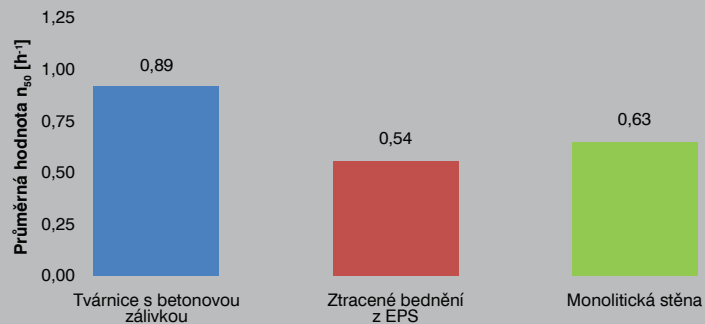
Graf 12 | Hodnota n_{50} podle materiálu stěn dřevostaveb



Graf 13 | Podíl jednotlivých typů zmonolitněných stěn



Graf 14 | Hodnota n_{50} podle materiálu zmonolitněných stěn



Vzduchotěsnicí vrstvy dřevostaveb

Posledním rozbořem je rozdělení výsledků měření celkové průvzdušnosti obálky budov podle typu vzduchotěsnicí vrstvy obvodových stěn a střech (stropů) u dřevostaveb. Vzduchotěsnicí vrstvy jsou tvořeny:

- fóliemi,
- asfaltovými pásy,
- deskami (OSB desky nebo masivní dřevěné panely).

Nejlépších hodnot je průměrně dosahováno u objektů, kde byla kombinace vzduchotěsnicí vrstvy /graf 15/:

- deska (stěna)/ asfaltový pás (střecha),
- fólie (stěna) / deska (střecha).

Tato měření jsou bohužel ve sledovaném období zastoupena v malé četnosti /graf 15/. Mnohem zásadnější jsou tedy výsledky ostatních skupin.

Jako optimální řešení vzduchotěsnicí vrstvy u dřevostavby vychází z ostatních typů kombinací jednoznačně nejlépe varianta deska / deska (nejčastěji OSB s přelepenými spoji /graf 16/). Základním předpokladem je však použití vhodného typu OSB desek, u kterých výrobce deklaruje vhodnost použití jako vzduchotěsnicí vrstvy pro obvodové konstrukce staveb.

ZÁVĚR

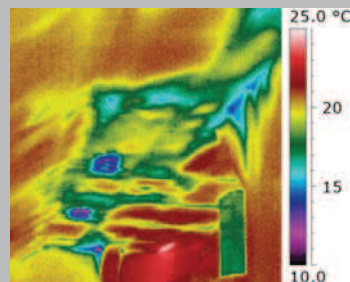
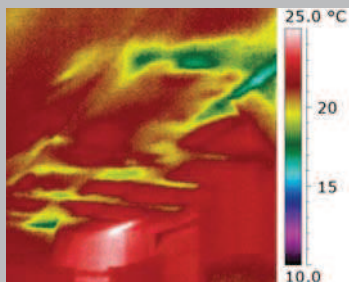
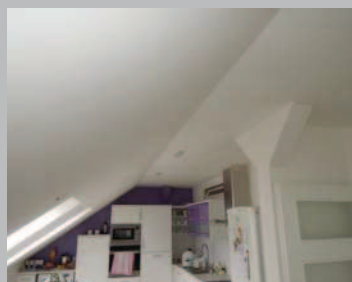
Z uvedené analýzy měření vzduchotěsnosti staveb vyplývá, že vyšší míry vzduchotěsnosti obálky budov bývá průměrně dosaženo při použití zmonolitněné konstrukce obvodových stěn, vápenopískových a pórobetonových bloků opatřených omítkou a deskového materiálu (zpravidla OSB desky). Z hlediska vzduchotěsnosti jsou rizikovým materiálem zdiva keramické dutinové bloky, které jsou velmi citlivé zejména na provádění prostupů a drážek.

Problematické jsou také fólie u lehkých obvodových konstrukcí. Vyžadují velmi vysokou kvalitu provedení, vhodnou materiálovou základnu jak pro vlastní spojování fólií, tak i pro připojování k přilehlým konstrukcím. Zároveň jsou nejvíce náchylné na poškození v průběhu výstavby, vyžadují pevný podklad v místě spojů a ideálně také mechanickou stabilizaci spojů pro zajištění jejich dlouhodobé spolehlivosti.

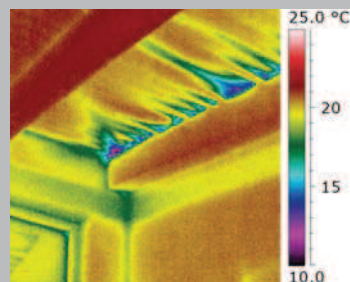
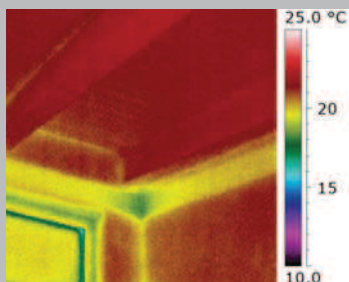
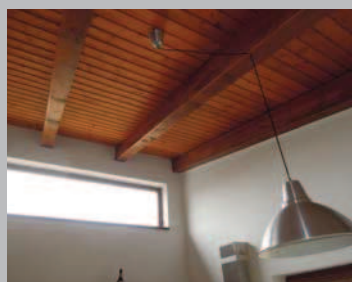
Už ve fázi projektování budov by se měl brát zřetel na možnosti zajištění vzduchotěsnosti obálky budovy. Stavební řešení musí umožňovat maximální možnou míru spojitosti, proveditelnosti a dlouhodobé životnosti vzduchotěsnicích vrstev.

<Vladimír Sedlák>
<Viktor Zwiener>

02| Pohled na netěsnou konstrukci SDK podhledu s parotěsnicí fólií



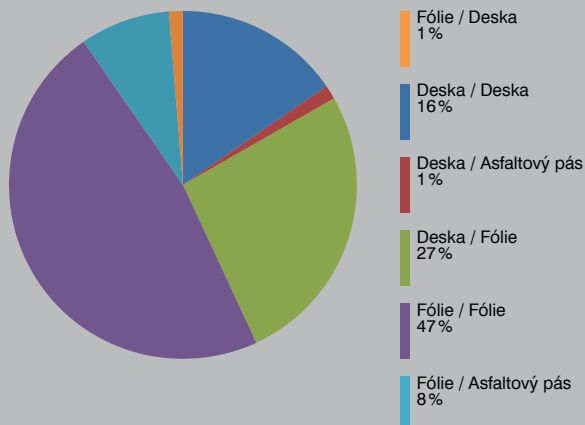
03| Pohled na netěsné napojení záklopu střechy (nadkroevní systém) na štitovou stěnu



Literatura

- [1] Archiv měření spol. DEKPROJEKT s.r.o.
- [2] ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky.
- [3] ČSN EN 13187 (73 0560) Tepelné chování budov – Kvalitativní určení tepelných nepravidelností v pláštích budov – infračervená metoda.
- [4] ČSN EN 13829 (73 0577) Tepelné chování budov – stanovení průvzdušnosti – Tlaková metoda.
- [5] Pešta J., Tesař D., Zwiener V.: Diagnostika staveb – Hydroizolace, termografie, blower-door test, akustika, DEK a.s., 2014, 124 s., ISBN 978-80-87215-15-9.
- [6] ZWIENER, V., MARTIŠ, L., MATIČKA, J.: Problematika vzduchotěsnosti velkoobjemových prostorů ve vztahu k hodnocení metodikou BREEAM, DEKTIME SBORNÍK 2015, s. 99-106. DEK a.s., Praha 2015, ISSN 1802-4009.
- [7] SKŘÍPSKÝ, J., ZWIENER, V.: Vzduchotěsnost dřevostaveb v souvislostech, DEKTIME 02/2010, s. 16-22, DEK a.s., Praha 2010, ISSN 1802-4009.

Graf 15| Podíl podle typu vzduchotěsnicí vrstvy stěny/střechy u dřevostaveb



Graf 16| Hodnota n_{50} podle vzduchotěsnicí vrstvy stěny/střechy u dřevostaveb

