

VZDUCHOTESNOSŤ MODERNÝCH DREVOSTAVIEB

Ing. Peter Kysela, PhD.¹

¹ Katedra pozemného stavitelstva a urbanizmu, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovenská republika

Vzduchotesnosť budov je problematikou ktorej sa venuje už dlhoročný výskum. Motivácie vychádzali predovšetkým zo snahy o znižovanie energetickej náročnosti budov a dlhšej životnosti konštrukcií. Nezanedbateľný vplyv vzduchotesnosti na životnosť konštrukcií je dôležitý najmä u drevostavieb, kde prúdenie vlhkého vzduchu môže výrazne ohroziť konštrukčné prvky zvýšením hmotnostnej vlhkosti.

Vzduchotesnosť

Vzduchotesnosťou sa rozumie schopnosť určitého prvku (obálky budovy alebo iných dielčích častí) prepúšťať vzduch. Čím menej vzduchu prvok za určitých podmienok prepustí, tým je tesnejší. K tomu aby prvok prepúšťal vzduch, je potrebné splniť dve základné podmienky:

- prvok musí obsahovať netesnosti – miesta, kde môže vzduch prúdiť,
- prvok musí byť vystavený tlakovému rozdielu (rozdielny tlak vzduchu v prostrediach ktoré prvok oddeľuje [1].

História merania tesnosti:

- 1974 – norma DIN 4108-7 stanovuje vzduchovú priepustnosť okien,
- 1989 – uskutočňuje sa prvé meranie tesnosti metódou „blower door“,
- 1990 – vzniká návrh normy ISO/DIS 9972 na meranie tesnosti,
- 1991 – prvá budova dosahuje úroveň tesnosti n_{50} ,
- 2001 – do platnosti vstupuje norma STN 13829 Tepelno-technické vlastnosti budov. Stanovenie vzduchovej priepustnosti budov. Metóda pretlaku pomocou ventilátora,
- 2002 – smernicou 2002/97/ES sa stanovujú požiadavky na jednotlivé triedy celkovej spotreby energie budov vrátane strát infiltráciou,
- 2002 – do platnosti vstupuje norma STN EN 12114 Tepelno-technické vlastnosti budov. Vzduchová priepustnosť budov stavebných prvkov a konštrukcií Laboratórna skúšobná metóda.
- 2015 – do platnosti vstupuje norma STN EN ISO 9972 Tepelno-technické vlastnosti budov. Stanovenie vzduchovej priepustnosti budov. Metóda pretlaku pomocou ventilátora.

Netesnosti v obálke budovy

Netesnosti v obálke budovy, ktoré vznikajú v dôsledku chýb a nedôslednosti pri návrhu a výstavbe, sú jednoznačné miesta, kde vzduch opúšťa vetrací systém. Vznikajú neplánovane a viac-menej náhodne. Ich rozmiestnenie a veľkosť sa nedá dopredu úplne odhadnúť, preto sa nedajú ani spoľahlivo započítať do návrhu vetracieho systému. Na rozdiel od otvorov navrhnutých zámerne za účelom vetrania, neumožňujú žiadnu reguláciu prietoku vetracieho systému zo strany užívateľa. Nie je teda vhodné považovať netesnosti v obálke budovy za súčasť vetracieho systému [2]. Ich výskyt je parazitným javom, ktorému je potrebné počas návrhu a výstavby systematicky predchádzať [1].

Pre dosiahnutie čo najlepšej úrovne vzduchotesnosti stavby, je potrebné vytvoriť vzduchotesnú obálku budovy. U murovaných a betónových nosných konštrukcií sa vzduchotesná vrstva vytvorí zmonolitnením daných konštrukcií, prípadne súvislou vrstvou omietky. Netesnosti pri daných konštrukciách sa objavujú najčastejšie pri styku vodorovných a zvislých konštrukcií, ktoré býva riešené pretmelením daných spojov trvalo pružným tmelom, prípadne prelepením spojov izolačnými fóliami.

Ďaleko rizikovejšou skupinou pre výskyt netesností bývajú stavby na báze dreva. U týchto stavieb tvorí vzduchotesnú vrstvu, práve izolačná fólia alebo iné vzduchotesné materiály ako niektoré druhy OSB dosiek s povrchovou úpravou. Kvalita vyhotovenia vzduchotesnej vrstvy ako hlavne druh a prelepenie spoja izolácií a napojenie zvislých vzduchotesných vrstiev na vodorovné sa priamo odrazí na celkovej vzduchotesnosti budovy [3].

Vhodné materiály

Základným prvkom je vzduchotesná vrstva, ktorej materiál je volený podľa druhu stavby. Pri betónových a murovaných stavbách je vzduchotesná vrstva tvorená spojitou vrstvou omietky a materiálmi s uzavretou štruktúrou. Pri drevostavbách je vzduchotesná vrstva najčastejšie tvorená záklopom z OSB dosiek alebo parotesnou fóliou. Spojové materiály sa utesnia preložením, pretmelením alebo prelepením pomocou pásky [4].

Prestupy cez vzduchotesnú vrstvu musia byť utesnené pomocou pásky alebo špeciálnych výrobkov na to určených ako prestupné manžety, prechodky, vzduchotesné časti elektroinštalácie [5] [6].

Kvalita okien a jeho tesnení býva veľmi dôležitým faktorom pri hodnotení vzduchotesnosti. Je to nielen kvôli kvalite samotného okna ale hlavne aj vytvoreniu vzduchotesného spoja medzi okenným rámom a vzduchotesnou vrstvou. Najčastejšie lokalizované úniky sú práve v rohoch okien a spojení so vzduchotesnou vrstvou. Samotná kvalita okien môže výrazne zvýšiť vzduchotesnosť stavby a znížiť tak úsporu energie na vykurovaní až o cca. 70% [7].

Hodnotenie vzduchotesnosti

V Slovenskej a Českej republike sa vzduchotesnosť hodnotí ako intenzita výmeny vzduchu pri tlakovom rozdieli 50 Pa medzi interiérom a exteriérom – hodnota označovaná ako n_{50} [1/h]. Pri hodnote n_{50} je vzťažnou veličinou celkový objem meraného priestoru. Pri prievzdušnosti je vzťažnou veličinou plocha obálky meraného priestoru a vypočíta sa podľa STN EN 13829 podľa nasledujúceho vzťahu:

$$q_{50} = V_{50}/A_E \quad [\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)] \quad (3.1)$$

kde V_{50} je objemový tok vzduchu pre udržanie tlakového rozdielu 50 Pa [m^3],
 A_E plocha obálky meraného priestoru [m^2].

Hodnota q_{50} uvádza, koľko m^3 priemerne prejde 1 m^2 obálky budovy za 1 h pri tlakovom rozdieli 50 Pa.

Vzduchotesnosť stavieb v SR

Na Slovensku odporúčané hodnoty intenzity výmeny vzduchu nie sú dané predpisom v norme, ale používajú sa prevzaté hodnoty z noriem platných v Českej republike ČSN 73 0540-2 (2011), Rakúska ÖNORM B 8110-5 (2011) a Nemecka DIN 4108-7 (2011). Dosiahnutie požadovanej hodnoty $n_{50} < 1,5$ [1/h] pre nízkoenergetické domy a $n_{50} < 0,6$ [1/h] pre energeticky pasívne domy z hľadiska potreby energie na vykurovanie je kľúčové. V porovnaní s budovami, ktoré sú zhotovené štandardnými stavebnými postupmi bez zvýšených nárokov na vzduchotesnosť sa teoretická hodnota intenzity výmeny vzduchu pohybuje na úrovni hodnoty $n_{50} > 4,5$ [1/h] alebo aj niekoľko násobne viac [8] [9].

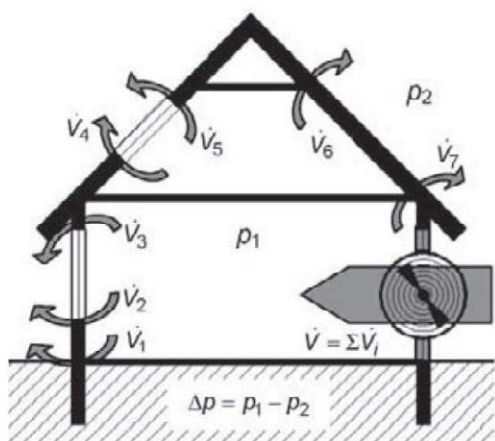
Metódy merania vzduchotesnosti budov

Blower door metóda - metóda tlakového spádu s externým ventilátorom

Najčastejšie používanou metódou pre meranie vzduchotesnosti budov je blower door test. Je to vlastne metóda tlakového spádu s externým ventilátorom. Názov metódy je odvodený z anglického prekladu blower-ventilátor, door-dvere. Spočíva v umiestnení ventilátora do vstupných dverí alebo iného otvoru v obvodovom plášti.

Metoda tlakového spádu spočíva v meraní objemového toku vzduchu cez obálku budovy pri známom merateľnom tlakovom rozdieli, pričom sa volí tlakový rozdiel v rozmedzí 20 až 80 Pa, tak aby tlakový rozdiel bol vyšší než rozdiel tlaku vzduchu v interiéri a exteriéri budovy vyvolaný klimatickými vplyvmi. Tlakového rozdielu sa dosiahne pomocou ventilátora s regulovateľnými otáčkami, ktorý sa osadí do výplne otvoru (spravidla dverí) v obvodovom plášti. Pričom pre každý ustálený tlakový rozdiel sa zmeria objemový tok vzduchu.

Výsledky merania zahrňujú dvojice hodnôt – závislosť meraného tlakového rozdielu vzduchu a odpovedajúceho toku vzduchu. Tieto hodnoty sa vo výsledku vynášajú do grafu. Obvykle sa uskutočňujú dve hodnoty merania, a to pri vyvolaní podtlaku v budove a v druhom prípade pri vyvolaní pretlaku v budove [10].



Obr. 120: Princíp metódy tlakového spádu s externým ventilátorom [1]

Pri vykreslení grafu v logaritmickom merítke má závislosť objemového toku vzduchu na tlakovom rozdieli tvar priamky, ktorej rovnica sa získa zlogaritmovaním empirickej rovnice prúdenia:

$$\log(V) = \log(C) + n \cdot \log(\Delta p)$$

Hodnoty n a $\log(C)$ je potom možné jednoducho vypočítať z nameraných hodnôt vhodnou metódou lineárnej regresie [1].

Štandardná zostava sa skladá z externého ventilátora s regulovateľnými otáčkami pre vyvolanie tlakového rozdielu, prístroja pre zmeranie tlakového rozdielu medzi vnútorným a vonkajším prostredím, regulátora otáčok, teleskopického rámu a vzduchotesnej plachty

pre osadenie a utesnenie ventilátora do otvoru, prístroja na meranie objemového toku vzduchu (zvyčajne súčasťou ventilátora) a vybavenia pre záznam dát a údajov, zvyčajne laptop. Metódy merania

Pretlak a podtlak

Testovanie vzduchotesnosti budovy sa zvyčajne zrealizuje pre podtlak aj pretlak. Je to nielen z dôvodu pre dosiahnutie väčšej presnosti merania, ale aj pretože niektoré chyby, ktoré mohli nastať pri realizácii sa nemusia preukázať pro oboch skúškach. Typickým príkladom je použitie vzduchotesných fólií pri drevostavbách, kde sa môže netesnosť prejaviť len pri určitom smere prúdenia vzduchu (prekrývanie spojov izolácií).

Laboratórne metódy merania vzduchovej priepustnosti

Merania vzduchotesnosti stavebných prvkov je možné vykonávať v kontrolovaných laboratórnych podmienkach alebo na mieste podľa STN EN 12114. V oboch prípadoch to spočíva v umiestnení pretlakovej komory na vnútornej strane stavebného skúmaného dielu. V oboch prípadoch je vzduch privádzaný do komory rýchlosťou potrebnou na udržanie špecifického rozdielu tlaku naprieč vzorkou a je meraný výsledný privádzaný prietok [11]. Výsledky takýchto skúšok sa zvyčajne uvádzajú ako úniky vzduchu na jednotku plochy ($\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$) alebo únik vzduchu na jednotku dĺžky trhliny ($\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$), obe sú špecifikované pre tlakový rozdiel 1 Pa alebo pri inom špecifikovanom tlakovom rozdieli. Charakteristiky prúdenia vzduchu stavebných prvkov je možné presne určiť za laboratórnych skúšobných podmienok. Výhodou laboratórnych testov je, že je možné skúmať veľké množstvo vzoriek za podobných podmienok, ktoré nie sú ovplyvnené zmenami klimatických podmienok. Nevýhodou laboratórnych testov však je, že získané výsledky sa môžu výrazne líšiť od výsledkov získaných na mieste pri zdanlivo identických komponentoch. Je to nevyhnutné kvôli rozdielom v kontrole kvality medzi laboratóriom a staveniskom. V prípade skúšok na mieste sa zvyčajne vyskytuje rozdiel medzi tlakom v budove a vonkajším, ktorý by mohol spôsobiť únik vzduchu cez samotnú pretlakovú komoru, a pri použití skúšobnej komory sa potom zavedú chyby v nameraných prietokoch vzduchu. Tieto chyby je možné výrazne znížiť vyrovnaním tlaku v zbernej komore na tlak v miestnosti obsahujúcej stavebný diel.

To sa dá dosiahnuť použitím pomocného ventilátora v miestnosti spojenej so zbernou komorou, aby sa udržal nulový tlakový rozdiel medzi komorou a miestnosťou [12].

Metóda tlakového spádu

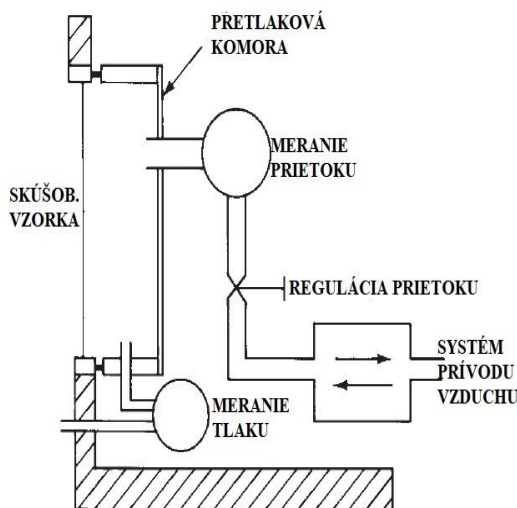
Princíp tejto metódy je podobný princípu merania celkovej vzduchotesnosti budov metódou tlakového spádu s pomocou externého ventilátora. Meraná laboratórna vzorka sa vystaví sérii odstupňovaných tlakových rozdielov známej hodnoty. Tlakový rozdiel je vyvolaný ventilátorom s plynule regulovateľnými otáčkami. Na každej úrovni tlakového rozdielu sa zmeria objemový tok vzduchu prechádzajúci vzorkou. Výsledky merania sa vynesú ako body do grafu v závislosti na objemovom toku vzduchu a tlakovom rozdiel. Obe osi grafu sú v logaritmickom merítke. Vhodnou metódou lineárnej regresie sa určia parametre rovnice prúdenia C a n [1].

Požiadavky na meracie zariadenie a postup merania sa môžu líšiť podľa typu skúmaného prvku. Potreba prívodu vzduchu pre dosiahnutie určitého tlakového rozdielu môže byť značne odlišná. Je to priamoúmerné vzduchotesnosti skúmaného prvku. Pre prvky s vysokou úrovňou vzduchotesnosti nie je potrebný prívod veľkého množstva vzduchu, ale je potrebná veľmi citlivá regulácia objemového prietoku privádzaného vzduchu. Naopak pre prvky s nízkou úrovňou vzduchotesnosti je potrebné priviesť väčšie množstvo vzduchu pre vytvorenie tlakového rozdielu [13].

Hlavnú časť laboratórneho zariadenia tvorí tlaková skúšobná komora. Jej prednú stranu tvorí osadzovací rám kde sa upevňuje meraná skúšobná vzorka vzduchotesnými páskami a prostredníctvom kovového prítlačného rámu s kovovými svorkami. Na zadnej strane je pripevnená príruha prívodného potrubia vzduchu, na ktorom sú rozmiestnené prietokomery s reguláciou prietoku vzduchu. Prívodné potrubie ukončuje namontovaný ventilátor, ktorý zabezpečuje potrebný objemový prietok vzduchu a jeho tlak.

Pre presné ukazovanie tlakového rozdielu slúži tlakomer prepojený silikónovou hadičkou so skúšobnou tlakovou komorou. Monitorovanie teploty a vlhkosti vonkajšieho a vnútorného prostredia laboratórneho zariadenia počas merania zabezpečuje termo/hygro snímač [14].

Túto metódu je možné využiť aj na meranie vzduchotesnosti výsekov obvodových konštrukcií, ich spojov a ďalších konštrukčných detailov obvodového plášťa. Výsledky týchto meraní majú veľký význam pre podrobné výpočtové modelovanie výmeny vzduchu infiltráciou netesnosťami v obvodovom plášti.



Obr. 121: Schéma laboratórneho zariadenia pre meranie vzduchotesnosti stavebných prvkov [12]

Vplyv sezónnosti a vlhkosti na vzduchotesnosť budovy

O význame relatívnej vlhkosti na výslednú vzduchotesnosť stavieb, je možné uvažovať pri drevestavbách alebo pri stavbách ktorých obalové konštrukcie ako obvodový plášť alebo strešné konštrukcie sú vyhotovené z drevených prvkov. Dôvodom sú zmeny v rozmeroch drevených konštrukčných častí vystavených vysušeniu alebo zvlhčeniu. Zmrašťovanie a napučiavanie drevených prvkov ovplyvňuje vzduchotesnosť niektorých spojov, respektíve vytváranie škár a netesností vplyvom zmrašťovania konštrukčných prvkov.

Sezónnosť meraní a vplyv na výsledok vzduchotesnosti skúmali Kim a Shaw už v roku 1983, kedy na dvoch drevostavbách z rámovej konštrukcie s fóliou, kde vykonali merania každé dva týždne od mája 1982 do júla 1983. Hodnoty ktoré namerali v dvoch neobsadených domoch vykazovali značné sezónne výkyvy, ktoré boli najnižšie koncom leta a jesene a najvyššie v zime a skoro na jar [15].

Vplyvmi sezónnosti a relatívnej vlhkosti na výsledok testov a úrovne vzduchotesnosti budovy sa zaoberala Paula Wahlgren. Testovaním dvoch obytných budov na báze dreva, postavených v roku 2004 a 1993 vo Švédsku. Vyhodnocovala 5 až 6 testov na vzduchotesnosť stavby v priebehu 10tich mesiacov, ktoré potvrdili vyššiu vzduchotesnosť budov počas letného obdobia, oproti chladnejším zimným mesiacom, približne o 10% [16].

Pri stavbe drevených budov je často spoločným odporúčaním chrániť drevené prvky počas výstavby a zabezpečiť, aby bolo stavebné drevo pred začatím stavebných prác správne vysušené. Hlavným dôvodom je vyhnúť sa vysokej úrovni zabudovanej vlhkosti a zvýšenému riziku problémov súvisiacich s vlhkosťou.

Ďalším problémom vyvolaným skutočnosťou, že vzduchotesnosť budovy sa môže určitý čas po jej dokončení zvýšiť, je sezónne obdobie, kedy sa majú vykonať merania vzduchotesnosti. Ak majú predpisy alebo klienti určité požiadavky na vzduchotesnosť budovy, ako je možné zabezpečiť ich splnenie. Je zrejmé, že iba meranie vzduchotesnosti budovy bezprostredne po dokončení stavby nie je dôveryhodným spôsobom hodnotenia skutočnej vzduchotesnosti budovy. Aj skutočnosť, že sa vzduchotesnosť v priebehu roka líši, robí merania problematickejšími, pretože to prakticky znamená, že vzduchotesnosť sa musí merať pri viacerých príležitostiach, aby sa získal úplný obraz [17].

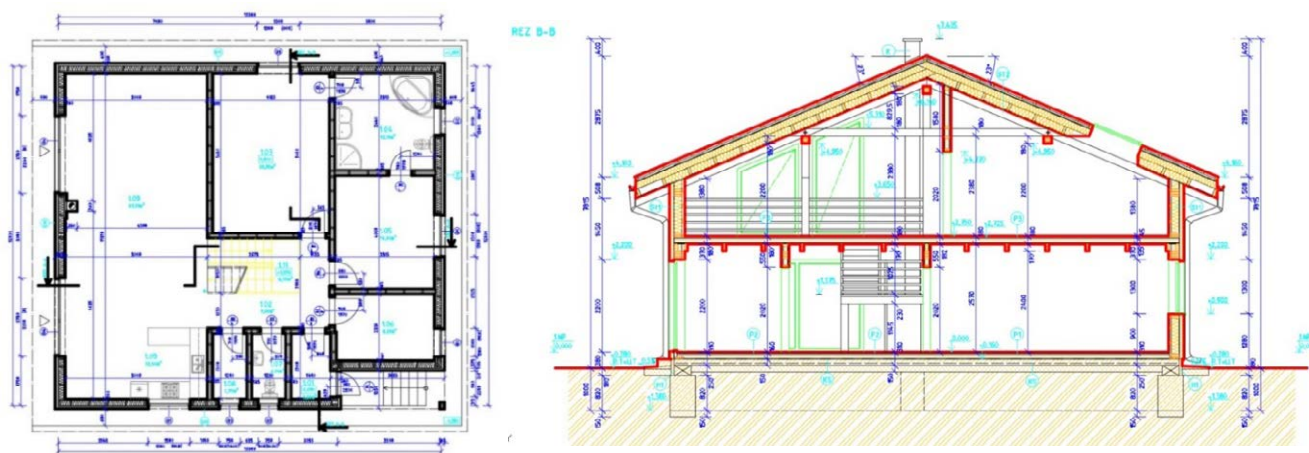
Meranie vzduchotesnosti na KPSU SvF UNIZA

Experimentálne meranie metódou Blower Door v rámovej drevostavbe

Pomocou prístrojového vybavenia Katedry pozemného stavitelstva a urbanizmu, súpravy na meranie blower door Minneapolis Model 4.1, sa vykonalo viacero meraní vzduchotesnosti počas rôznych klimatických období, na modernej drevostavbe.

Opis meranej budovy

Samostatne stojaci rodinný dom, dvojpodlažný, nepodpivničený so sedlovou strechou. Nosná konštrukcia je vytvorená zo stĺpikovej nosnej sústavy s osovou vzdialenosťou stĺpikov 650 mm, z KVH profilu 180 × 60 mm. Vzduchotesná vrstva je vytvorená pomocou parotesnej fólie v konštrukcii stien aj strechy. Obvodový plášť tvorí drevená rámová konštrukcia opláštená DHF doskou, tepelnou izoláciou Frontrock a omietkou Baumit z exteriérovej strany a vzduchotesnou fóliou, OSB doskou, a sadrokartónovým záklopom z interiérovej strany. Strecha objektu je drevená sedlová zaklopená parotesnou fóliou, OSB doskou a sadrokartónom Rigips z interiérovej strany. Strešná krytina je falcovaný plech na plnom debnení. Vnútorný objem vzduchu zistený na základe projektovej dokumentácie dodanej objednávateľom je 783 m³.



Obr. 122: Pôdorys objektu, 1.N.P. vľavo, rez objektu [projektová dokumentácia [18]] Príprava budovy pred vykonaním meraní

V rodinnom dome boli uzatvorené všetky okná a dvere v obvodovom plášti. Všetky vnútorné dvere boli v otvorenej polohe. Vývod komína a digestoru bol opatrený vzduchotesnou spätnou klapkou. Meracie zariadenie bolo umiestnené vo vchodových dverách zo severnej strany. Pred vykonaním meraní bola zistená teplota vnútorného aj vonkajšieho vzduchu a približná rýchlosť vetra pomocou vrtuľkového anemometra [19].

Inštalácia ventilátora a meracej jednotky

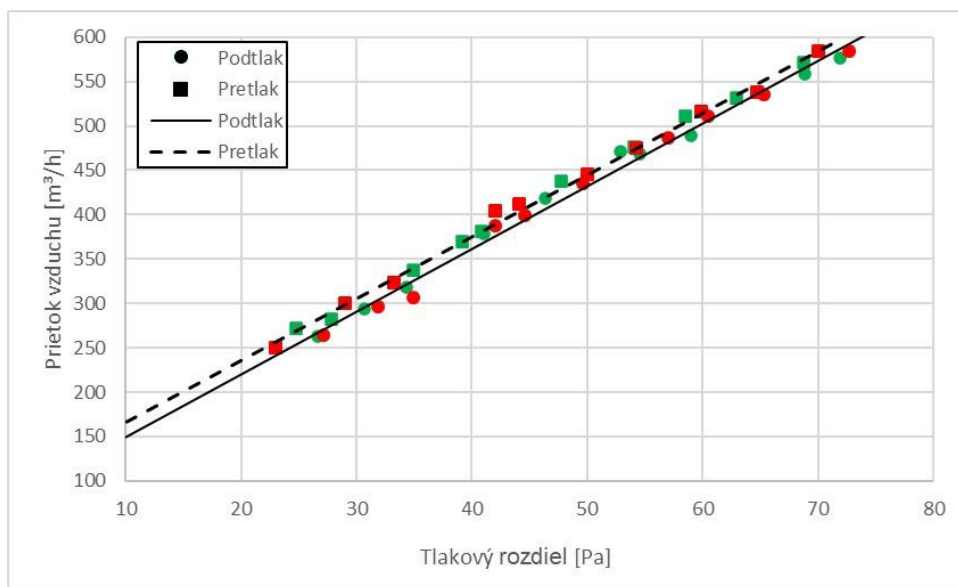
Umiestnenie ventilátora a osadenie vzduchotesnej plachty pomocou nastaviteľného hliníkového rámu bolo zvolené do vstupných dverí objektu. Na presné určenie rozdielov tlaku a meranie prietoku vzduchu bola využitá meracia jednotka DG 700, prepojená s prenosným počítačom s nainštalovaným softvérom TECTITE Express pre meranie vzduchotesnosti budov.



Obr. 123: Osadenie ventilátora do vstupných dverí rodinného domu

Meranie vzduchotesnosti rodinného domu

Prvé meranie sa uskutočnilo 7. októbra 2020. Teplota vonkajšieho vzduchu 13 °C. Polooblačno. Bezvetrie, slabý vietor 1–8 m/s prevažne od severu. Relatívna vlhkosť vonkajšieho vzduchu 71%. Meranie vzduchotesnosti bolo zrealizované 2-krát pre pretlak a 2-krát pre podtlak.



Obr. 124: Grafický priebeh tlakovej skúšky

Po vykonanej tlakovej skúške metódou blower – door, bola určená celková priemerná výmena vzduchu v budove pri pretlaku a podtlaku 50,0 Pa, je $n_{50} = 0,57 [1/h]$.

Opakované meranie v rôznych sezónnych obdobiach

Pre vyhodnotenie vplyvu sezónnosti na výsledok merania vzduchotesnosti budovy, bolo potrebné zopakovať meranie rovnakým postupom ako v predchádzajúcom meraní. Pri tom sa pozorovali klimatické podmienky ako údaje o teplote vnútorného a vonkajšieho vzduchu, rýchlosť prúdenia vetra, a údaje o vlhkosti vzduchu v danom období. Merania boli vykonané rovnakým postupom ako v prvom prípade.

Dátum merania	7. 10. 2020	16. 6. 2021	31. 1. 2022	11. 3. 2022
Priemerná teplota interiér [°C]	23	23	24	23
Priemerná teplota exteriér [°C]	13	26	2	-5
Rýchlosť vetra [m/s]	1,0–8,0	0,0–1,5	1,2–3,0	1,0–3,0
Priemerná vlhkosť vzduchu [%]	71	39	75	52
n_{50} (výmena vzduchu - priemer) [1/h]	0,57	0,58	0,59	0,62
n_{50} percentuálny rozdiel od „x“ [%]	x	+1,75	+3,51	+8,77
q_{50} (vzduch. priep.-priemer) [m ³ /(h.m ²)]	0,97	1,01	1,01	1,07
q_{50} percentuálny rozdiel od „x“ [%]	x	+4,12	+4,12	+10,31
w_{50} (merný obj. tok-priemer) [m ³ /(h.m ²)]	1,86	1,93	1,93	2,05
w_{50} percentuálny rozdiel od „x“ [%]	x	+3,76	+3,76	+10,22

Tab. 16: Percentuálny rozdiel v nameraných výsledkoch

Závery

Meranie vzduchotesnosti rodinného domu potvrdilo že vplyv klimatických podmienok má len minimálny vplyv na výsledok testu vzduchotesnosti. Vplyv klimatických podmienok je zahrnutý vo fyzikálnych vzťahoch, v ktorých je vplyv teploty vzduchu, respektíve jeho entalpia zahrnutá vo výslednej hodnote. Výraznejší vplyv teploty a pôsobenia klimatických zmien na vzduchotesnosť budovy je vyvolaný netesnosťou okenných otvorov, ktoré môžu byť zmenou teploty ovplyvňované výraznejšie ako nosná konštrukcia. Vzduchotesnosť budovy sa pri meraniach počas teplejších období výrazne nemenila. Podstatná zmena bola počas chladných zimných období kedy bola vonkajšia teplota pod bodom mrazu. Výsledné hodnoty vzduchotesnosti boli zhoršené o 8 až 10% v závislosti, od spôsobu hodnotenia. Dôkladná analýza výsledkov však preukázala, že k zhoršeniu vzduchotesnosti dochádzalo 3-násobne viac pri skúškach na pretlak ako podtlak. Z toho je zjavné že k zhoršeniu dochádzalo pravdepodobne skrz objemové zmeny vyplní otvorov a stykov ich tesnení, akoby za túto zmenu mohli byť zodpovedné objemové zmeny nosnej konštrukcie budovy alebo jej vzduchotesnej vrstvy. Poloha tesnení vo výplni otvorov je ďaleko viac ovplyvniteľná smerom prúdenia vzduchu, respektíve záporným alebo kladným tlakovým rozdielom.

Laboratórne meranie v klimatickej komore

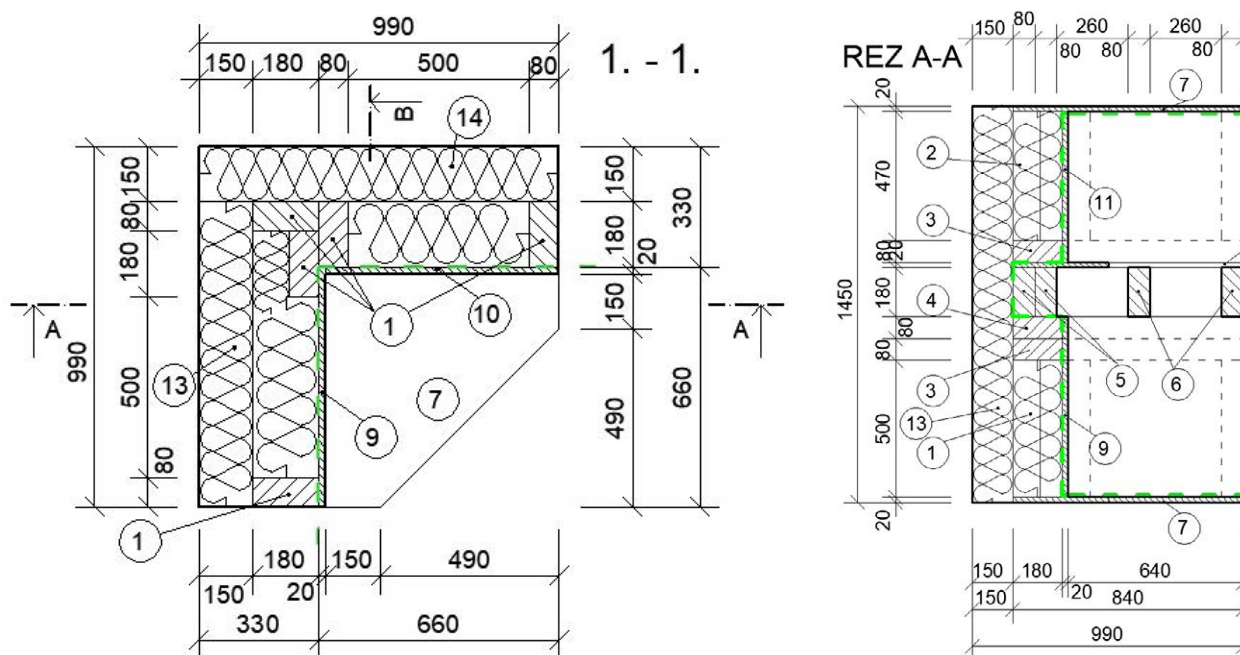
S využitím prístrojového vybavenia Katedry pozemného staviteľstva a urbanizmu SvF UNIZA, sa uskutočnilo laboratórne meranie fragmentu kritického detailu – spoja v skúmanej modernej stavbe. Na základe meraní pri rôznych tlakových úrovniach sa vyhodnotil vplyv klimatických podmienok na vzduchotesnosť fragmentu, respektíve vzduchotesnosť skúmaného spoja, úroveň rýchlosti vzduchu prepúšťaného spojom pri rôznych hodnotách tlaku. Z nameraných údajov vyhodnotil vplyv klimatických faktorov na objemové zmeny konštrukčných prvkov, ktoré sa prejavili na vzduchotesnosti fragmentu.



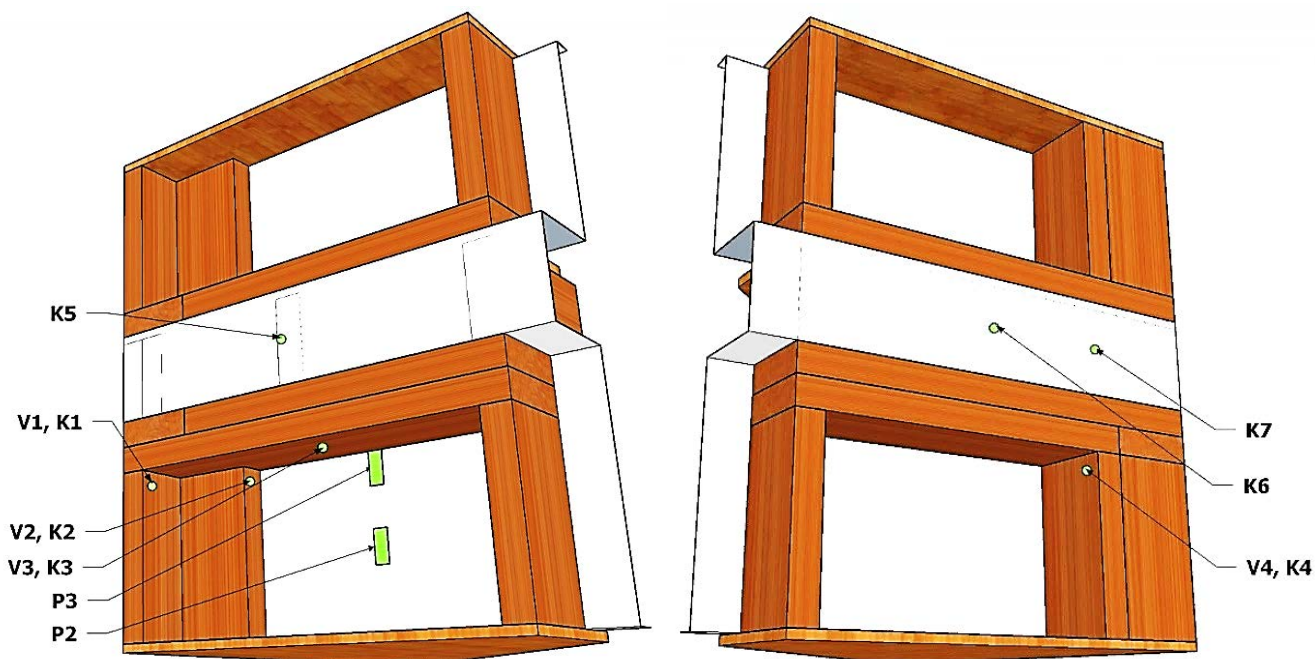
Obr. 125: Umiestnenie fragmentu do klimatickej komory

Fragment modernej drevostavby

Fragment predstavuje kritický detail rámovej modernej drevostavby. Fragment je spojom obvodových stien v rohu objektu a v rovine stropnej konštrukcie. Konštrukcia fragmentu so stĺpkovým nosným systémom zodpovedá najčastejšie používanému usporiadaniu stĺpikov v rohu. Tepelnoizolačná výplň je z minerálnej vlny a opláštenie z drevovláknitých fasádnych dosiek Steico. Vzduchotesná vrstva je tvorená parotesnou fóliou, ktorá súvisle prechádza cez rovinu stropu. Spôsoby uloženia stropných nosníkov sa v literatúre uvádzajú rôzne [20] [21].



Obr. 126: Schematický pôdorys a rez fragmentu



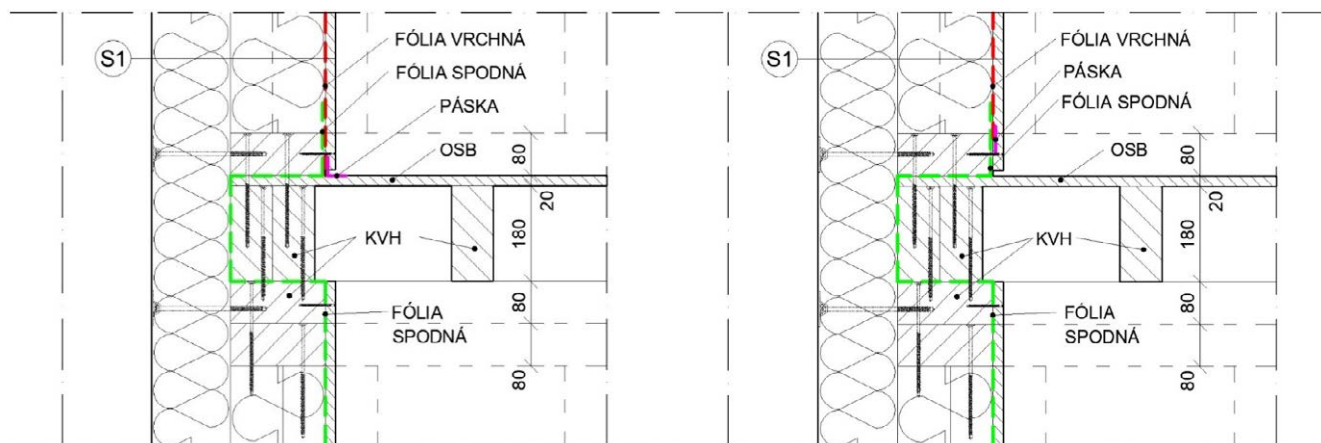
Obr. 127: Schematické označenie a umiestnenie snímačov

Snímače na meranie vlhkosti v materiáli sú na modeli označené V1–V4. Pri každom z nich sú osadené snímače teploty a relatívnej vlhkosti K1–K4. V rovine stropu sú osadené ešte tri snímače K5–K7, viď.. Na parotesnej fólii sú osadené dve platničky P2 a P3 na snímanie teploty a tepelného toku.

Možnosti prepojenia vzduchotesnej vrstvy

Aby bola zaistená vzduchotesnosť budovy, musí byť vzduchotesná vrstva riešená ako celistvá. Pri použití fólií ako vzduchotesnej vrstvy majú výrazný vplyv prestupy prvkov cez vzduchotesnú vrstvu, ale aj spôsob vyhotovenia jednotlivých spojov. Spôsob napojenia fólie práve v kritických detailoch môže byť rôzny. Existujú pravidlá a zásady pre správne preloženie fólie. Spoj fólie sa môžu zovrieť, prelepiť páskou alebo zabezpečiť obojstranným lepiacim materiálom, napríklad tmelom [22]. Riešenie napojenia fólií môže byť v niektorých miestach konštrukčne náročné, obzvlášť v miestach styku viacerých konštrukčných prvkov. Je vhodné aby sa tieto spôsoby napojenia riešili už v úrovni projektu. Takýmto spôsobom je možné určiť aj kedy počas výstavby je potrebné vloženie vzduchotesnej vrstvy, konkrétne fólie. Typickým príkladom je práve vyhotovenie stropnej konštrukcie, kde v mnohých prípadoch musí byť fólia vložená ešte pred, respektíve pri uložení stropných nosníkov. To znamená že je potrebné realizovať vzduchotesnú vrstvu v rovine stropu už počas výstavby nosnej konštrukcie budovy. Spôsob ukončenia a napojenia vzduchotesnej vrstvy sa môže líšiť vzhľadom od konkrétneho konštrukčného riešenia [23]. V rámci riešeného fragmentu je teda potrebné prepojenie vzduchotesnej vrstvy nie len v rohu budovy ale súčasne prepojenie v rovine stropu, respektíve medzi podlažiami.

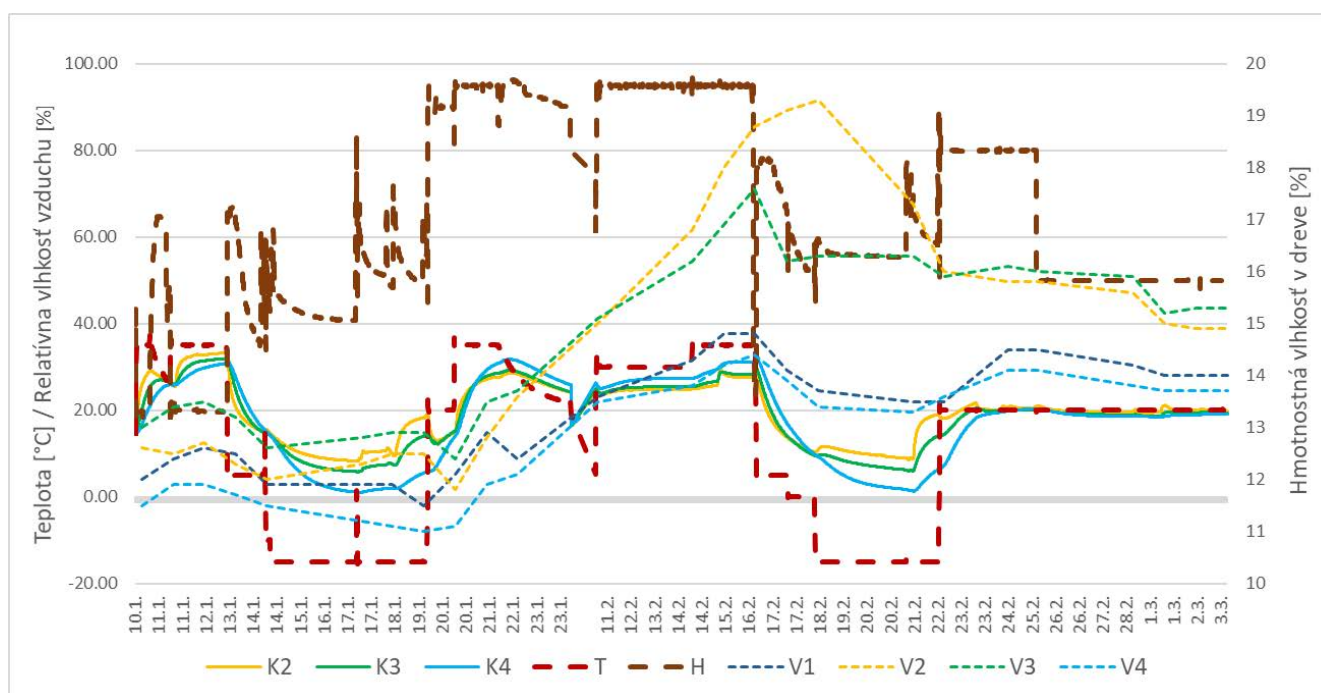
V pôvodnom vyhotovení fragmentu (variant 1) bola fólia zo spodného podlažia vyvedená po medzi podlahovú OSB dosku a spodnú pásnicu vrchného podlažia. Spodná pásnica pevne stiahnutá s OSB doskou priskrutkovaním do stropných trámov. Fólia vrchného podlažia je pripojená k podlahovej OSB doske pomocou pásky, viď. obr. 128.



Obr. 128: Prepojenie parotesnej fólie – variant 1 (vľavo) variant 2 (vpravo)

V novom vyhotovení fragmentu (variant 2) bolo rovnaké riešenie ako v pôvodnom vyhotovení, ale doplnené o prepojenie spodnej a vrchnej fólie pomocou pásky. Dôkladné prelepenie bolo riešené v rohu, nakoľko vyvedenie a preloženie spodnej fólie je veľmi komplikované vzhľadom na viacero zalomení a nie je možné ho riešiť ako súvislé z jedného neprerušeného kusu.

Namerané hodnoty a závery



Obr. 129: Graf priebehov teploty a hmotnostnej vlhkosti v dreve

Graf nám znázorňuje opäť priebeh teploty a relatívnej vlhkosti v priestore komory krivkami T a H. Plnou čiarou sú znázornené teploty na snímačoch K2, K3, K4, ktoré boli v tesnej blízkosti sond V2, V3, V4. Sondy V1 až V4 na snímanie materiállovej vlhkosti dreva sú znázornené čiarkovanou čiarou. Pri sonde V1 bol tiež umiestnený snímač K1, ale vzhľadom na jeho poruchu sa vo výsledkoch ani v grafoch neuvádza.

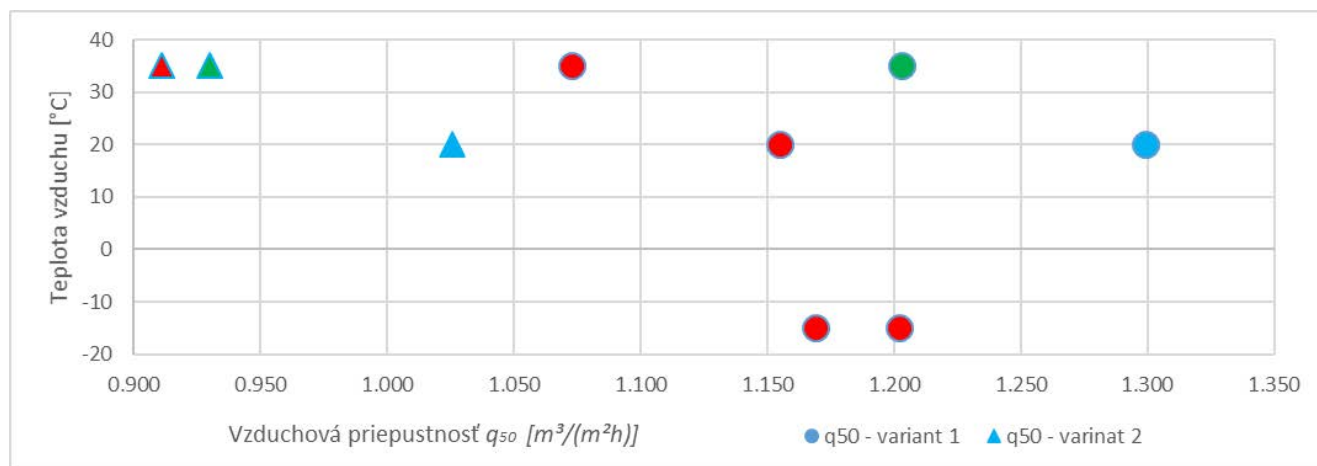
Počiatočná materiállová vlhkosť bola približne okolo 12%. Pri prvých meraniach so zvýšenou relatívnou vlhkosťou sa materiállová vlhkosť zvýšila na snímačoch maximálne o 0,5%. Nasledovnými procesmi, ktoré mali napomáhať sušeniu materiálu fragmentu sa podarilo znížiť vlhkosť ale maximálne o 1% a nie pod úroveň 11%. Táto vlhkosť je typická pre drevo ktoré sa používa na stavebné účely, no po zabudovaní by malo ešte čiastočne klesať [24]. Za vysušené drevo pre stavebné účely je možné pokladať drevo s materiállovou vlhkosťou od 10 až 14%. Nasledovnými procesmi

bolo simulované extrémne vlhké prostredie, ktoré malo simulovať tropické obdobie dažďov. Pri tomto období sa materiálová vlhkosť dreva rapídne zvyšovala. Najväčšie maximum dosiahla materiálová vlhkosť na sonde V2, kde dosiahla maximum 19,3%. Zvýšenie vlhkosti dreva nad 18% je v stavebných konštrukciách neprípustné nakoľko tu vzniká riziko jeho degradácie [25]. Treba ale pamätať, že fragment bol vystavený extrémnym podmienkam, ktoré simulovali obdobie s vysokým výskytom dažďa a teda s vysokou relatívnou vlhkosťou vzduchu. Maximá na ostatných sondách dosahovali len úroveň 15 až 16% hmotnostnej vlhkosti. Na sonde V2 a V3 je viditeľná aj zotrvačnosť reakcie na zmenu podmienok prostredia po procese sušenia a na sonde V2 aj po procese vlhčenia. Táto zotrvačnosť je pravdepodobne spôsobená tým, že drevené prvky sú chránené fasádovými obkladovými doskami a vyžaduje si to určitý čas kým sa zmena prostredia prejaví aj na konštrukčnom prvku.

Dátum	Ozn.	Teplota [°C]	Vlhkosť [%]	Prietok V_{50} [m³/h]	Hodnotenie q_{50} [m³/(m².h)]	Korekcia V_{50} [m³/h]	Hodnotenie +kor. q_{50} [m³/(m².h)]
7. 3.	Variant1	20	80	2,843	1,165	2,818	1,155
16. 3.	Variant1	20	50	3,171	1,300	3,171	1,300
17. 3.	Variant1	35	25	3,035	1,244	2,936	1,203
17. 3.	Variant1	35	90	2,732	1,120	2,618	1,073
18. 3.	Variant1	-15	68	2,765	1,133	2,933	1,202
18. 3.	Variant1	-15	68	2,690	1,102	2,853	1,169
21. 3.	Variant2	20	50	2,503	1,026	2,503	1,026
22. 3.	Variant2	35	90	2,322	0,952	2,224	0,911
22. 3.	Variant2	35	25	2,346	0,961	2,270	0,930

Tab. 17: Hodnoty meraní vzduchotesnosti, objemový prietok a q_{50}

Výsledky sú uvedené pre hodnotenie objemového toku pred aj po korekcii na laboratórne klimatické podmienky. Namerané hodnoty pri laboratórnych podmienkach zostali ako najvyššie pre uvedené varianty, ale ich odchýlka je pomerne malá. Korekcia výsledkov spôsobila zmenu nameraných hodnôt. Po korekcii sa odchýlka pri vysokých teplotách zvýšila a pri nízkych teplotách znížila, respektíve sa hodnota viac priblížila k hodnote nameranej pri klimatických podmienkach. Prehľad výsledkov po korekcii o klimatické podmienky je zobrazený v grafe na obr. 130.



Obr. 130: Graf výsledných hodnôt nameranej vzduchotesnosti

Graf zobrazuje hodnoty nameranej vzduchovej priepustnosti fragmentu. Kruhovú značku zobrazujú hodnoty namerané pri variante 1 a trojuholníkovú pri variante 2. Červenou farbou sú zobrazené hodnoty s vyššou relatívnou vlhkosťou vzduchu ako 50%. Zelenou farbou sú zob-

razené hodnoty s nižšou relatívnou vlhkosťou vzduchu ako 50%. Modrou farbou sú zobrazené hodnoty namerané pri laboratórnych klimatických podmienkach. Rozdiel vo vzduchotesnosti fragmentu medzi variantmi 1 a 2 je viditeľný, dosiahlo sa zlepšenie o 21 %. Namerané hodnoty pri iných ako laboratórnych podmienkach naznačujú pomerne veľkú chybu merania, ale podobný posun hodnôt pri iných podmienkach je badateľný pri variante 1 aj pri variante 2.

Namerané hodnoty vzduchovej priepustnosti riešeného fragmentu preukázali, že prepojenie jednotlivých vrstiev fragmentu pomocou tesniacej pásky, by malo byť vykonané vždy pokiaľ to technologický proces dovoľí. Prepojenie týchto vrstiev viedlo k zvýšeniu celkovej vzduchotesnosti o viac ako 20%. Klimatické podmienky pri meraní vykazujú že ovplyvňujú výsledok merania, aj napriek normatívnej korekcii výsledkov, ktorý by mala zahŕňať rozdiel v teplote a relatívnej vlhkosti pri meraní. Hodnoty pri nízkych teplotách sa priblížili smerom k tejto hodnote ale hodnoty pri vysokých teplotách sa naopak od tejto hodnoty po korekcii ešte viac oddialili.

Použitá literatúra

- [1] NOVÁK, J. 2008. *Vzduchotesnosť obvodových plášťu budov*. Grada publishing, a.s.
- [2] SHERMAN, M. H.; D. T. GRIMSRUD, D. T. 1980. Infiltration-pressurization correlation: Simplified physical modeling. *ASHRAE Transactions*, 86(2), .
- [3] HRUBÁ, B.; ORAVEC, P.; LABUDEK, J. 2014. Diagnostics and optimalization off airtighness in experimental wooden structures. *Advanced Materials Research*, 1020, 540–544.
- [4] KRAUS, M.; ČERNÁ, M.; HRUBÁ, B.; SOUČKOVÁ, B.; KUBEČKOVÁ, D. 2013. Influence of Building Materials on Building Airtightness. *Applied Mechanics and Materials*, 372, 195–198.
- [5] RUŽIČKA, M. 2014. *Moderní dřevostavba*. Praha: Grada Publishing, a.s. ISBN 978-80-247-3298-5
- [6] JI, Y.; DUANMU, L. 2017. Airtightness field tests of residential buildings in Dalian, China. *Building and Environment*, 119, 20–30.
- [7] KRSTIĆ, H.; KOŠKI, Ž.; TOMLJANOVIĆ, M. 2014. Influence of Window Type on the Airtightness of Residential Units. *Elektronički časopis Građevinskog fakulteta Osijek - e-GFOS*, 5(9), 34–40.
- [8] BEDNÁR, J.; SEDLÁK, P. 2014. Analýza výsledkov merania vzduchotesnosti drevostavieb. Technická univerzita vo Zvolene, Drevárska fakulta, Slovensko.
- [9] ZWIENER, V. 2010. *Změna ČSN 73 0540-2 z pohledu vzduchotesnosti*. TZBinfo, DEKPROJEKT s.r.o.
- [10] LOKAJ, A.; GOCÁL, J.; ĎURICA, P.; KORENKOVÁ, R.; SKOTNICOVÁ, I.; ORAVEC, P.; KUBENKOVÁ, K.; RYBÁRIK, J.; SKULINOVÁ, D.; VLČEK, P.; PEŘINA, Z. 2010. *Dřevostavby a dřevěné konstrukce*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. ISBN 978-80-7204-732-1
- [11] PRIGNON, M. 2020. *Airtightness of building components: Assessment of the direct component testing for in-situ measurement of building component airtightness*. Belgian Building Research Institute.
- [12] AWBI, H. 2003. *Ventilation of Buildings*. Spon Press. ISBN 0-203-63447-0
- [13] LANGMANS, J.; KLEIN, R.; MICHEL, D.; ROELS, S. 2010. Potential of wind barriers to assure airtightness of wood-frame low energy constructions. *Energy and Buildings*, 42, 2376–2385.
- [14] BEDNÁR, J. 2013. Laboratórne meranie vzduchovej priepustnosti veľkoplošných materiálov na báze dreva. TU Zvolen, Drevárska fakulta, TZB-info, 06/2013.
- [15] KIM, A. K.; SHAW, C. Y. 1986. Seasonal Variation in Airtightness of Two Detached Houses. Measured Air Leakage of Buildings. *ASTM STP*, 904, 17–32.
- [16] WAHLGREN, P. 2014. *Seasonal variation in Airtightness*. Rev. SE-41296, Goteborg. Goteborg, Sweden: Chalmers University of Technology.
- [17] DOMHAGEN, F.; WAHLGREN, P. 2017. Consequences of Varying Airtightness in Wooden Buildings. In: rev. 11 *Nordic Symposium on Building Physics*. Norway.
- [18] JANČO, O.; LAMPEL, M. 2017. *Novostavba rodinného domu Podhorský – projektová dokumentácia*. Rosina, p.č. 294/2, Do majera, 2017.

- [19] ATTMA. 2010. *Technical Standard L1 – Measuring Air Permeability of Building Envelopes*. The Air Tightness Testing & Measurement Association, 2010 Issue. Dostupné na: www.attma.org
- [20] J. ŠTEFKO, J.; REINPRECHT, L.; KUKLÍK, P. 2009. *Dřevěné stavby, konstrukce, ochrana a údržba*. Bratislava: JAGA GROUP, ISBN 978-80-8076-080-9
- [21] HAZUCHA, J. 2016. *Konstrukční detaily pro pasivní a nulové domy*. Praha: Grada Publishing. a.s. ISBN 978-80-247-4551-0
- [22] WAHLGREN, P.; SIKANDER, E. 2010. *Methods and Materials for Airtight Building*. Buildings XI.
- [23] KALAMEES, T.; ALEV, Ü.; PARNALAAS, M. 2017. Air leakage levels in timber frame building envelope joints. *Building and Environment*, 116, 121–129.
- [24] KORENKOVA, R.; JAKUBČÍK, M.; KRUSHINSKÝ, P.; BABJAKOVÁ, Z.; CANGÁR, M. 2009. *Konstrukcie budov IV. - Drevostavby*. EDIS - vydavateľstvo Žilinskej univerzity. ISBN 978-80-554-0078-5, 2009.
- [25] E. NAGY, E. 2009. *Nízkoenergetický a energeticky pasívny dom*. Bratislava: JAGA GROUP, s.r.o. ISBN 978-80-8076-073-1.

Kontakty

Ing. Peter Kysela, PhD.: peter.kysela@uniza.sk