

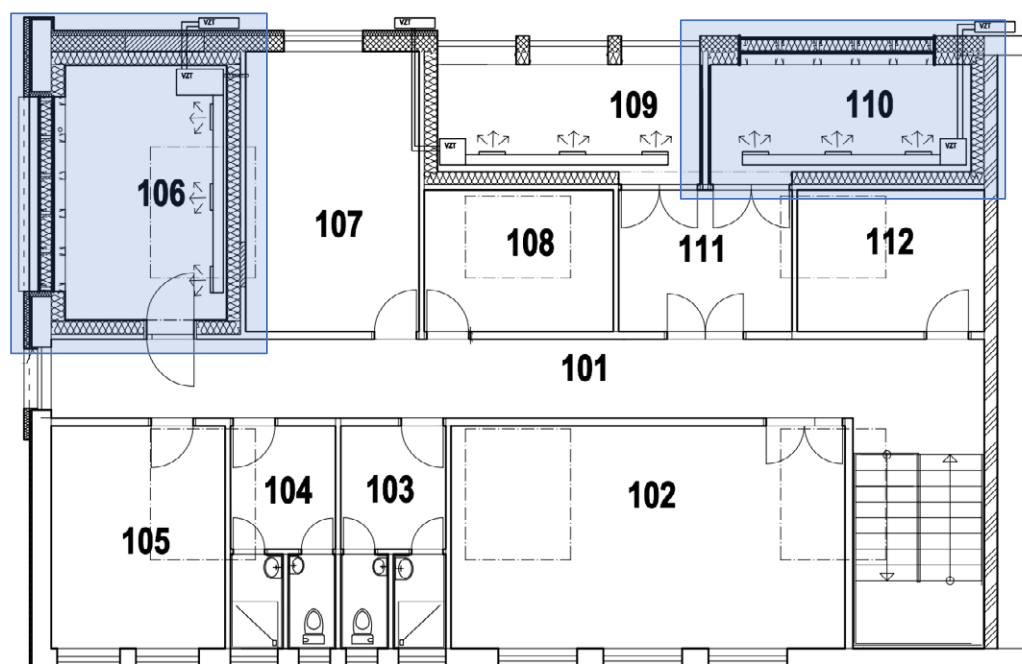
PRIAMY VÝSKUM OBALOVÝCH KONŠTRUKCIÍ DREVOSTAVIEB

Ing. Daniela Micháľková, PhD.

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

Výskum obalových konštrukcií drevostavieb zaznamenal svoj počiatok v roku 2011 [1], kedy bol prvýkrát vybudovaný takzvaný pavilónový výskum. Pozostával z dvoch susediacich miestností, patrične tepelne odizolovaných od okolitých priestorov aby bolo možné dosiahnuť ustálenú vnútornú klímu bez nadbytočného vplyvu susediacich prevádzok a kancelárií. V jednej miestnosti sa nachádzalo päť vzoriek obalových stien drevostavieb s rôznymi skladbami, zatiaľ čo druhá miestnosť bola venovaná výskumu troch rôznych okenných výplní.

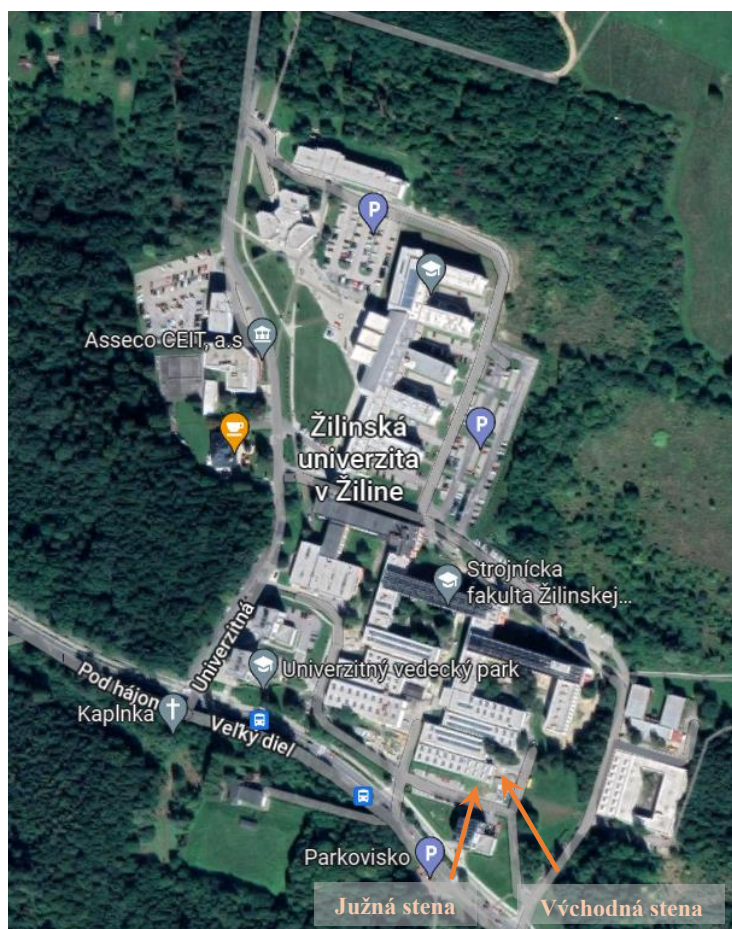
Tento výskum bol od svojho počiatku doplnený a momentálne je tvorený troma miestnosťami. V jednej sa nachádzajú okenné výplne ako to bolo pôvodne naplánované. Originálnu miestnosť so stenami na báze dreva ale doplnila jej dvojica, tentokrát ale s odlišnou orientáciou voči svetovým stranám. Obr. 111 znázorňuje pôdorys oboch spomínaných miestností označených farebným rámom.



Obr. 111: Pôdorys laboratória s pavilónovým výskumom obalových konštrukcií drevostavieb – miestnosť 106 a 110
[zdroj: Juráš, P.]

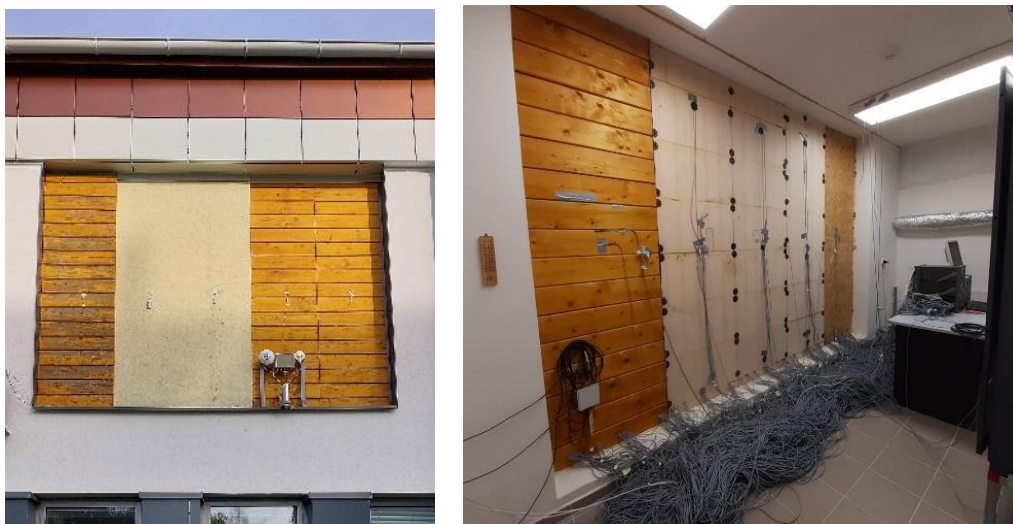
Steny týchto priestorov sú od okolitých miestností a komunikácií oddelené tepelnou izoláciou hrúbky 250 mm. Táto izolácia sa nachádza aj pod stropom a na podlahe, aby bolo zamedzené tepelným stratám alebo nadbytočným tepelným ziskom. Obe miestnosti sú vybavené klimatickými jednotkami, ktoré sú navrhnuté tak aby počas celého roka vytvárali a udržiavali stacionárne podmienky, konkrétne teplotu vnútorného vzduchu 20 °C a relatívnu vlhkosť 50 %.

Satelitný snímok na obr. 112 znázorňuje umiestnenie týchto stien v rámci areálu Žilinskej univerzity v Žiline, deklarujúc popri tom orientáciu voči svetovým stranám. Pôvodná miestnosť 110 je pritom orientovaná na juhozápad, presnejšie s 15° inklináciou k západu. Novšia miestnosť, s označením 106, čelí juhovýchodu, s 15° inklináciou k juhu. Pre zjednodušenie označujeme tieto orientácie ako juh a východ.

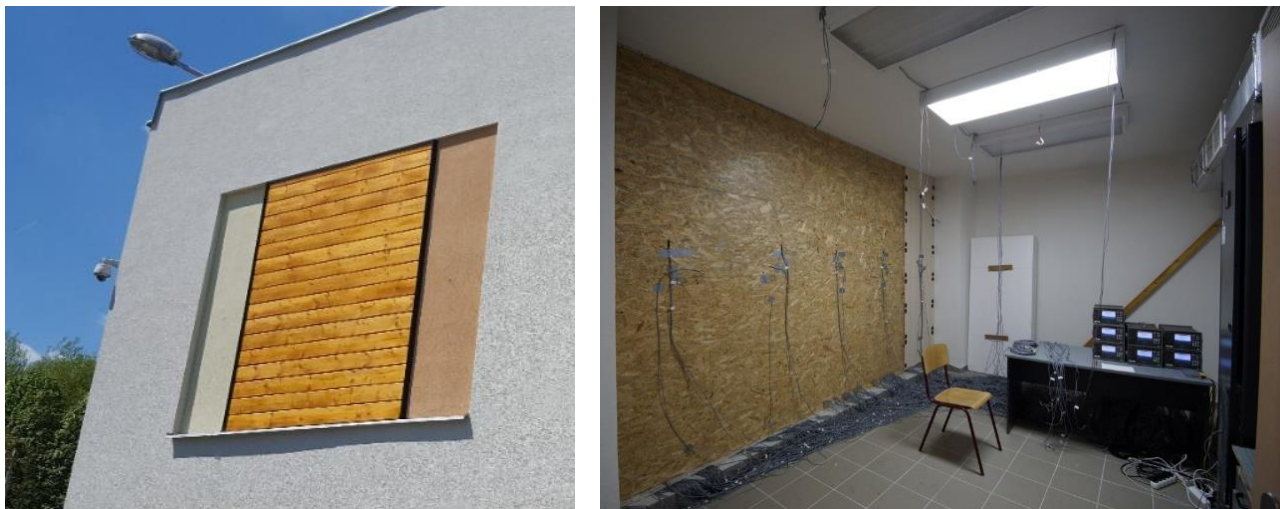


Obr. 112: Umiestnenie experimentálnych stien [zdroj maps.google.com]

Experimentálne steny na báze dreva sú osadené do exteriérových stien aby bola umožnená ich exploatácia voči prirodzeným vonkajším podmienkam. Ich vonkajší povrch je z exteriérovej strany plne priznaný, z vnútornej strany sú viditeľné snímače a nevyhnutné laboratórne vybavenie. Južná stena je vyobrazená na obr. 113, východná na obr. 114.



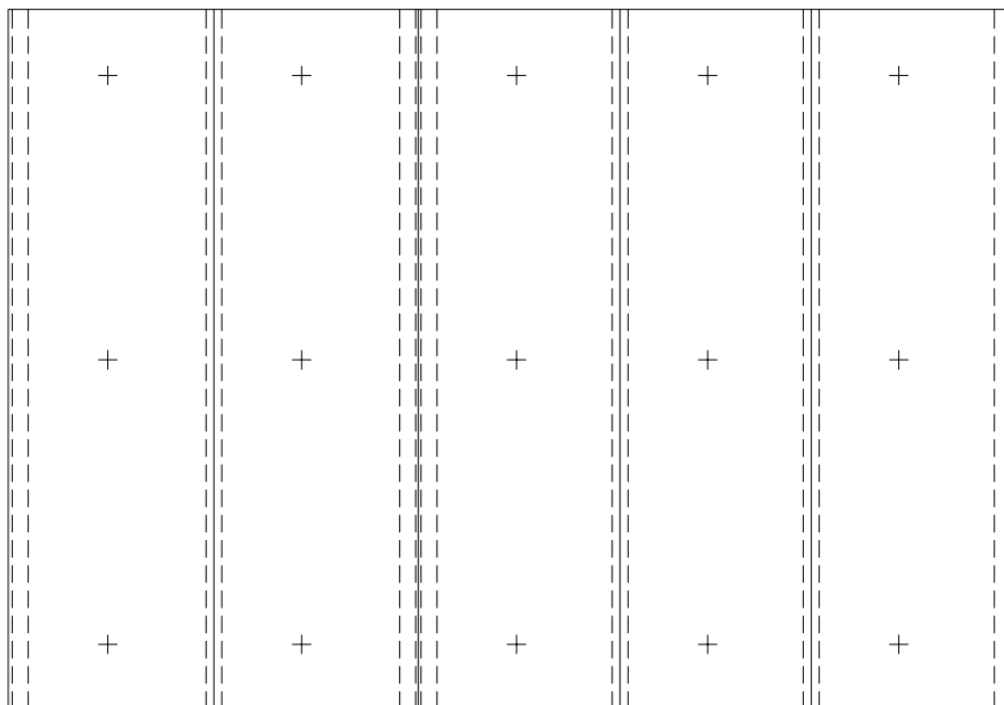
Obr. 113: Južná experimentálna stena – vľavo exteriér, vpravo interiér



Obr. 114: Východná experimentálna stena – vľavo exteriér, vpravo interiér

Výskum je zameraný na dlhodobé sledovanie teploty a relatívnej vlhkosti v týchto skladbách vystavených reálnym exteriérovým podmienkam. Tieto podmienky sú zaznamenávané meteorostanicou na streche budovy laboratória, aby bolo možné zdokumentované údaje vyhodnotiť. Dáta zahŕňajú vonkajšiu teplotu, relatívnu vlhkosť, tlak vonkajšieho vzduchu, intenzitu slnečného žiarenia, vietor a úhrn dažďa.

V stenách je umiestnených viac ako 600 snímačov teploty a relatívnej vlhkosti a to nielen na rozhraniach jednotlivých tepelných izolácií, ale aj na stĺpikoch. V oboch prípadoch sú snímače umiestnené v troch výškových úrovniach – približne 200 mm od horného okraja steny, 200 mm od spodného okraja steny a v strede jej výšky (obr. 115). To umožňuje posudzovať distribúciu týchto faktorov v rámci celej skladby.

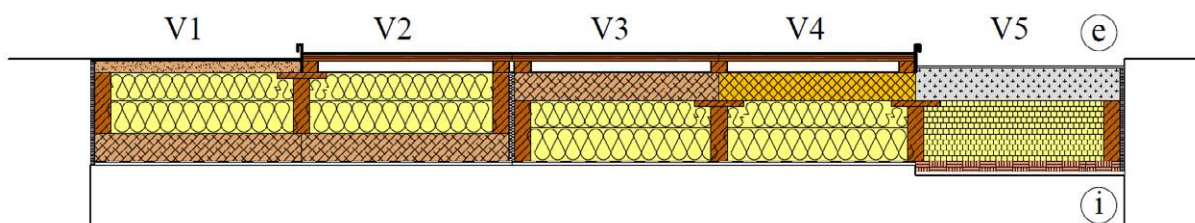


Obr. 115: Interiérový pohľad na východnú stenu s vertikálnym rozmiestnením snímačov

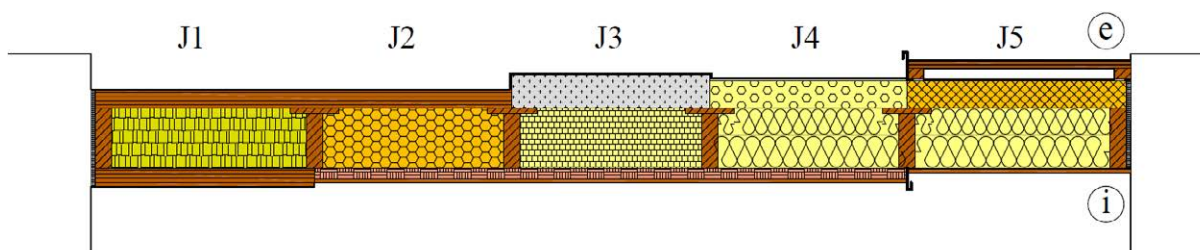
Na meranie teploty sú použité NTC termistory s presnosťou merania $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, zatiaľ čo relatívna vlhkosť je snímaná kapacitnými sondami s presnosťou $\pm 2\text{ }\%$. Zozbierané údaje sú následne ukladané na multimeter Fluke Hydra III.

Tieto steny boli skonštruované tak, aby umožnili rozobratie jednotlivých skladieb pre prípady kontroly alebo obnovy, prípadne obmeny niektorej skladby. Ich nosnú konštrukciu tvoria KVH profily v pomere strán 1:3 (two by six) v osovej vzdialenosti 720–770 mm. Najdôležitejším a zároveň najsledovanejším prvkom sú použité tepelné izolácie, aplikované v rôznom poradí a v rôznych kombináciách aby pokryli širšiu škálu vyhotovení, vo viacerých prípadoch doteraz nie typických pre súčasnú prax.

Obr. 116 a obr. 117 zobrazujú horizontálny rez oboma stenami, pričom zároveň obsahujú ich označenia pre jednoduchšiu orientáciu. Každá stena obsahuje 5 rôznych skladieb. Pre umožnenie porovnania vplyvu orientácie voči rôznym svetovým stranám boli vytvorené dve dvojice rovnakej skladby – V4 a J5, V5 a J3.



Obr. 116: Horizontálny rez východnou stenou

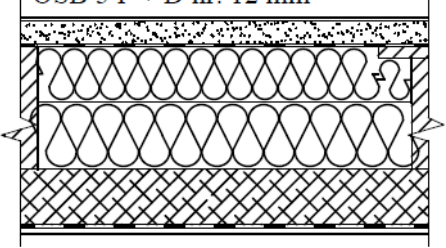
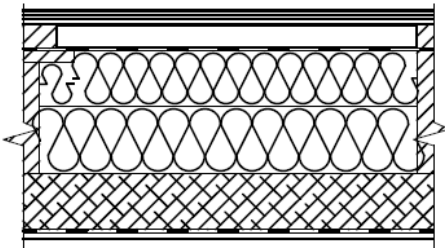
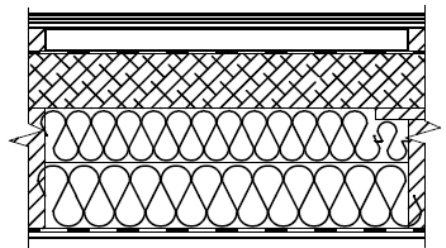
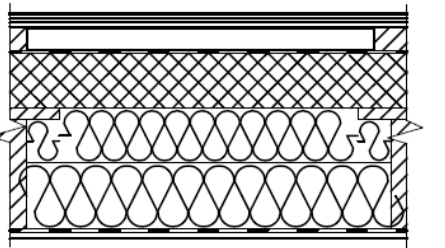
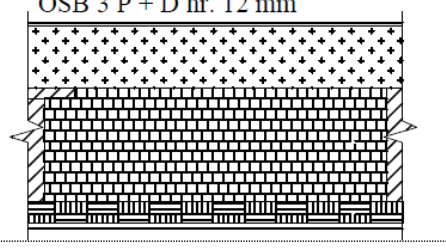
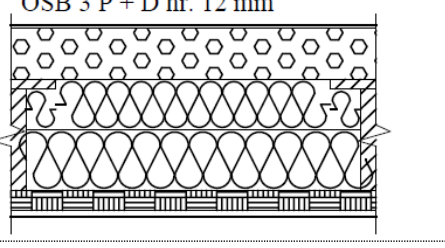
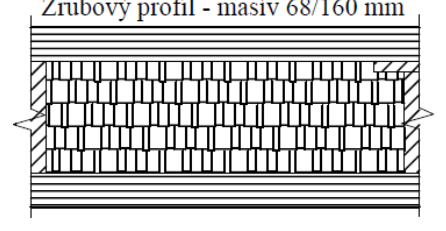
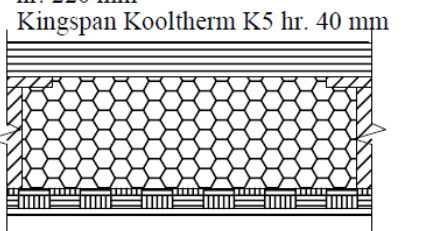


Obr. 117: Horizontálny rez južnou stenou

Jednotlivé vzorky sa odlišujú predovšetkým druhom alebo poradím vrstiev tepelnej izolácie. Štyri konštrukcie sú z vonkajšej strany ukončené kontaktným zatepľovacím systémom (V1, V5, J3 a J4), zatiaľ čo štyri využívajú ako bariéru voči vonkajšiemu prostrediu prevetrávanú vzduchovú dutinu ukončenú dreveným obkladom (V2–V4 a J5). Ostatné dve sú ukončené masívnym zrubovým profilom (J1 a J2).

Z hľadiska ochrany voči účinkom vodných pár sa v tomto výskume nachádzajú dva systémy. Prvým je difúzne otvorený systém, aplikovaný pri piatich vzorkách (V5, J1–J4). Druhý systém zahŕňa inteligentnú klimamembránu s premenlivým difúznym odporom (V1–V4 a J5), meniacim sa v závislosti na rozdieloch tlakov vodných pár v interiéri a exteriéri. V tab. 13 sú graficky znázornené horizontálne prierezy všetkých skladieb s individuálnymi poradiami vrstiev. Exteriér sa nachádza na hornej strane, interiér v spodnej časti.

Použité tepelné izolácie (TI) sa odlišujú v materiálovej báze, hrúbke, ale aj poradí ich aplikácie. Najpočetnejšiu skupinu tvoria izolácie na báze minerálnych vlákien, či už ide o sklené vlákna (Isover Multimax, Isover Clima alebo fúkaná TI Isover Insulfit) alebo čadičové vlákna (Isover TF Profi a fúkaná izolácia Isover Ganulate). Druhou najčastejšie použitou je drevovláknitá izolácia Steico Protect v hrúbke 40 alebo 100 mm. Pri viacerých skladbách je základná TI medzi stĺpikmi doplnená z vnútornej strany doskami s jadrom z fenolovej peny Kingspan Kooltherm K5, ktoré sa v tomto výskume vyznačujú najnižším súčiniteľom tepelnej vodivosti spomedzi všetkých TI. V dvoch skladbách je použitá aj vrstvená tepelná izolácia, z 90 mm zložená zo šedého polystyrénu, doplneného 30 mm izoláciou z čadičových vlákien. Pre výskum a porovnanie prírodnej tepelnej izolácie bola vytvorená skladba, ktorá pozostáva výhradne zo zrubových profilov z vonkajšej a vnútornej strany, vyplnená tepelnou izoláciou z ovčej vlny.

<p>V1: Silikónová omietka Weber HN8C hr. 2 mm Lep. stierka + sklotextilná mriežka hr. 5 mm Steico Protect hr. 40 mm Isover Vario KM Duplex UV Isover Multimax 030 hr. 220 mm Steico Protect hr. 100 mm Isover Vario KM Duplex UV OSB 3 P + D hr. 12 mm</p> 	<p>V2: Drev. obklad - zrub. profil 28/160 mm Vzduchová dutina - laty 60/40 mm Isover Vario KM Duplex UV Isover Multimax 030 hr. 220 mm Steico Protect hr. 100 mm Isover Vario KM Duplex UV OSB 3 P + D hr. 12 mm</p> 
<p>V3: Drev. obklad - zrub. profil 28/160 mm Vzduchová dutina - laty 60/40 mm Isover Vario KM Duplex UV Steico Protect hr. 100 mm Isover Multimax 030 hr. 220 mm Isover Vario KM Duplex UV OSB 3 P + D hr. 12 mm</p> 	<p>V4: Drev. obklad - zrub. profil 28/160 mm Vzduchová dutina - laty 60/40 mm Isover Vario KM Duplex UV Isover TF Profi hr. 100 mm Isover Multimax 030 hr. 220 mm Isover Vario KM Duplex UV OSB 3 P + D hr. 12 mm</p> 
<p>V5: Silikónová omietka Weber OR1E hr. 2 mm Lep. stierka + sklotextilná mriežka hr. 5 mm Isover Twinner hr. 120 mm Isover Insulfit - skl. vlákna hr. 220 mm Kingspan Kooltherm K5 hr. 40 mm OSB 3 P + D hr. 12 mm</p> 	<p>J4: Silikónová omietka Weber OR1E hr. 2 mm Lep. stierka + sklotextilná mriežka hr. 5 mm Isover Clima 34 hr. 100 mm Isover Multimax 030 hr. 220 mm Kingspan Kooltherm K5 hr. 40 mm OSB 3 P + D hr. 12 mm</p> 
<p>J1: Zrubový profil - masív 68/160 mm Ovčia vlna hr. 220 mm Zrubový profil - masív 68/160 mm</p> 	<p>J2: Zrubový profil - masív 68/160 mm Isover Granulate čadičové vlákna hr. 220 mm Kingspan Kooltherm K5 hr. 40 mm</p> 

Tab. 13: Experimentálne skladby výskumu drevostavieb KPSU Uniza

Základné fyzikálne parametre jednotlivých materiálov pre ich stacionárny stav sú zhrnuté v tab. 14, pričom predstavujú návrhové hodnoty. Patria medzi ne objemová hmotnosť ρ , súčiniteľ tepelnej vodivosti λ , faktor difúzneho odporu μ a merná tepelná kapacita c .

Materiál	ρ [kg/m ³]	λ [W/ (m ² .K)]	μ [-]	c [J/ (kg.K)]
Drevený obklad	400	0,180	157	2510
Silikónová omietka Weber	1600	0,860	130	920
Lepiaci stierka so sklotextilnou siečkou	1660	0,900	20	900
Zrubový profil	400	0,180	157	2510
Inteligentná klimamembrána Isover Vario KM Duplex UV	364	0,350	100000	1470
Drevovláknitá tepelná izolácia Steico Protect	265	0,048	5	2100
Isover Multimax 030 - TI na báze sklených vlákien	64	0,030	1	940
Isover Clima 034 - TI na báze sklených vlákien	148	0,034	1	1030
Isover TF Profi - TI na báze čadičových vlákien	100	0,036	1	1020
Isover Insulfit - fúkaná TI na báze sklených vlákien	35	0,043	1	940
Isover Granulate - fúkaná TI na báze čadičových vlákien	50	0,040	1	1020
Isover Twinner - vrstvená TI z 30 mm Isover TF Profi a 90 mm Isover Greywall	25	0,033	30	1100
Kingspan Kooltherm K5 - TI s jadrom z tuhej fenolovej peny	35	0,021	35	1400
Ovčia vlna	16	0,042	1,5	1720
OSB 3 P+D	650	0,130	50	1700

Tab. 14: Základné fyzikálne parametre použitých materiálov

Tieto skladby boli navrhované pre budovy s takmer nulovou potrebou energie, čomu odpovedá aj ich výsledný tepelný odpor R_T a súčiniteľ prechodu tepla U (tab. 15), vypočítané pre nehomogénne konštrukcie v súlade s [2]. V rámci sledovania skutočného správania sa jednotlivých konštrukcií je nevyhnutné poznať aj ich dynamické charakteristiky. Dve z nich – teplotný útlm konštrukcie ν a fázový posun teplotných kmitov ψ – sú zhrnuté v tab. 15 [3].

Skladba	R_T [(m ² .K)/W]	U [W/(m ² .K)]	ν [-]	ψ [h]
V1	9,06	0,110	329,9	12,9
V2	7,99	0,125	248,8	10,3
V3	7,99	0,125	247,5	10,3
V4	8,58	0,117	115,6	6,5
V5	9,98	0,100	131,5	6,2
J1	5,11	0,196	112,3	9,6
J2	6,92	0,145	141,9	9,2
J4	10,75	0,093	206,2	9,1

Tab. 15: Základné fyzikálne charakteristiky sledovaných skladieb

Ako môžeme vidieť, tieto charakteristiky nie sú plne závislé na samotnom tepelnom odpore skladby. Napríklad, konštrukcia V5 sa vyznačuje najvyšším tepelným odporom a teda najnižším súčiniteľom prechodu tepla, avšak hodnoty teplotného útlmu a fázového posunu teplotných kmitov sú medzi sledovanými konštrukciami priemerné. Na rozdiel od tejto konštrukcie, skladba V1 dosiahla najlepšie výsledky čo sa týka dynamických charakteristík. Tieto sú zrejme spôsobené najvyšším množstvom drevovláknitej izolácie spomedzi všetkých skladieb. Tento predpoklad podporujú aj výsledky konštrukcií V2 a V3, taktiež obsahujúcich drevovláknitú izoláciu, ktoré sú z hľadiska teplotného útlmu a fázového posunu teplotných kmitov na druhom mieste.

Prekvapivým výsledkom bola skladba s označením J1. Z hľadiska prechodu tepla má táto skladba najhoršie výsledky, v prípade fázového posunu teplotných kmitov ale dosahuje nadpriemernú hodnotu. Toto nás viedlo k bližšiemu skúmaniu tejto konštrukcie. Doterajšie výsledky toho výskumu sú zverejnené v [4] a pre porovnanie zahŕňajú posúdenie tejto konštrukcie – J1 – a jej najpodobnejšej – J2.

Posúdenie je z hľadiska environmentálneho, kde je porovnaný ekoindex, primárna energia, potenciál globálneho otepľovania a acidifikácie. Z tohto pohľadu je prírodnejšia konštrukcia J1 vo vedúcom postavení.

Otázkou ale bolo či je možné aby táto skladba bola výhodnejšia nielen z hľadiska udržateľnosti životného prostredia, ale aj z hľadiska stavebnej tepelnej techniky. Pre tieto potreby boli porovnané teploty a relatívne vlhkosti v oboch konštrukciách v priebehu celého roka, bližšie analyzované v troch samostatných týždňoch vybraných na reprezentáciu zimného, jarného a letného obdobia.

V zimnom období bola teplota najbližšie k interiéru vyššia pri konštrukcii J1, napriek tomu, že pod vonkajším obkladom bola jej teplota nižšia ako v prípade J2. Rovnaký fenomén sa objavil aj v jarnom období. Naopak, v lete sa tento trend otočil a napriek tomu, že z vonkajšej strany dosiahla vyššie teploty J1, vnútorné teploty tu boli nižšie. V prípade relatívnej vlhkosti (Rh) sú výsledky podobného charakteru. Skladba J1, ktorá z exteriérovej strany dosahovala v zime a lete vyššie hodnoty, dokázala dosiahnuť pokles až o 50 % Rh, zatiaľ čo v prípade J2 bola táto hodnota 20 % Rh. V letnom období sa tento trend podobne ako pri teplote obrátil.

Tieto zistenia jednoznačne poukazujú na nevyhnutnosť dynamického sledovania navrhovaných skladieb. V takýchto prípadoch totiž vyššia hodnota súčiniteľa prechodu tepla nemusí vždy znamenať priaznivejší vývoj teploty a relatívnej vlhkosti.

V roku 2019 sme pristúpili ku kontrole stavu týchto experimentálnych konštrukcií. V rámci tohto procesu sme boli nútení rozobrať všetky skladby, pričom sme kontrolovali ich stav prvotne z vizuálneho hľadiska, následne z hľadiska potenciálneho zhoršenia fyzikálnych vlastností. Merania boli zamerané predovšetkým na zistenie hmotnostnej vlhkosti tepelných izolácií a drevených prvkov, ale tiež overenie súčiniteľa tepelnej vodivosti rôznych TI. Zistenia tohto snaženia sú podrobne rozoberané v [3] a [5].

Už vizuálna obhliadka poukázala na prvé problémy. Prvým bola presakujúca voda z exteriérového prostredia do drevovláknitej izolácie v prípade skladby V3 (obr. 118). K priesaku došlo vplyvom nevyhnutného prestupu káblov snímačov do exteriéru. Po meraní bola v tomto mieste zistená zvýšená hmotnostná vlhkosť – 18,6 %. Tento prípad nie je síce charakteristický pre všetky stavby, avšak prestupy cez obvodové steny ako také nie sú výnimkou a preto je aj na základe tohto zistenia nevyhnutné dbať na precízne vyhotovenie a utesnenie detailov okolo drevovláknitých izolácií, ktoré majú schopnosť regulovať vlhkosť vo svojom okolí. Táto vlastnosť je bežných prípadoch prínosná, avšak v prípade podobnej poruchy môže dôjsť k závažnej degradácii tohto materiálu. Výsledkom môže byť stena, ktorá neplní svoju primárnu funkciu a v konečnom dôsledku negatívne ovplyvní energetickú bilanciu celej stavby.

Ďalším, nemenej závažným nedostatkom zisteným vizuálnou prehliadkou, bolo objavenie vzduchových dutín, vytvorených v skladbách s fúkanou minerálnou TI. Tento problém bol objavený vo všetkých troch skladbách, pričom výraznejšie dutiny boli vytvorené v prípade sklenených vlákien.



Obr. 118: Priesak vody z exteriérového prostredia v prípade skladby V3

Najrozsiahlejšie dutiny boli v prípade všetkých troch skladieb lokalizované v hlave steny, dosahujúc pri konštrukcii V5 až 80 mm. Táto dutina bola priebežná po celej hrúbke TI vrstvy, pričom túto maximálnu výšku dosahovala v strede konštrukcie. Druhým miestom tvorby dutín bol stred výšky týchto skladieb. Pre potreby merania priebehov teploty a relatívnej vlhkosti bol do tohto miesta umiestnený drôt, na ktorom boli osadené snímače. Napriek jeho minimálnej hrúbke ale dokázal spôsobiť nerovnomerné naplnenie tepelnou izoláciou. Dutina, ktorej vytvorenie spôsobil neprebíhala po celej hrúbke konštrukcie a dosiahla výšku maximálne 30 mm. Obe sú vyznačené na obr. 119.

Tieto dutiny boli v procese kompletizácie obhliadky doplnené rovnakou tepelnou izoláciou, aby boli odstránené tieto tepelné mosty. Na vyhodnotenie vplyvu tejto zmeny bolo potrebné počkať dlhšie časové obdobie, aby sa stav konštrukcie dostatočne ustálil. Pri výslednom porovnaní teploty a relatívnej vlhkosti pred a po tejto oprave boli zistené výrazné zmeny. Vzhľadom na charakter poruchy v podobe tepelného mosta boli tieto veličiny porovnávané v zimnom období. Oprava a doplnenie hornej dutiny spôsobili vzrast teploty v konštrukcii takmer o 8 °C už na začiatku vrstvy fúkanej TI. Z hľadiska relatívnej vlhkosti bol zaznamenaný pokles o 45 %. V strednej pozícii boli tieto zmeny o niečo menej výrazné, kde nárast teploty predstavoval 4 °C a pokles Rh o 7 %. Pre overenie relevantnosti bola vyhodnotená aj najnižšia pozícia snímačov, kde nebol objavený žiaden nedostatok. V rámci tejto časti skladby bola teplota aj relatívna vlhkosť rovnaká v oboch porovnávaných rokoch.

Po vizuálnej prehliadke nasledovala kontrola hmotnostnej vlhkosti a hodnoty súčiniteľa tepelnej vodivosti použitých materiálov. Proces zisťovania hmotnostnej vlhkosti TI začal odoberaním vzoriek v charakteristických miestach, spravidla v troch výškových úrovniach aby bolo možné výsledky relevantne zhodnotiť. Tieto vzorky boli následne hermeticky uzavreté aby bolo možné ich preniesť do laboratória, kde sa nachádzala sušička materiálov. Boli odvážené a postupne sušené, pričom sme počas celého sušenia priebežne monitorovali ich hmotnosť až kým nedosiahli ustálený stav. Na základe počiatkovej a konečnej hmotnosti bolo potom možné pristúpiť k výpočtu a následnému vyhodnoteniu z hľadiska hmotnostnej vlhkosti. Drevené prvky ako nosné stĺpiky a drevovláknité izolácie boli merané priamo in-situ pomocou zariadení pre meranie hmotnostnej vlhkosti – Merlin EVO25, Testo a Greisinger so zabodávajúcimi a zatlákačmi hrotmi. Okrem toho bol meraný súčiniteľ tepelnej vodivosti prístrojom Isomet 2114.



Obr. 119: Skladba V5 s objavenými vzduchovými dutinami

V prípade nosných drevených prvkov bola maximálna nameraná vlhkosť 11,8 %, čo je hlboko pod úrovňou vlhkosti predstavujúcej nebezpečenstvo degradácie dreva 18 %.

Najvyššia hmotnostná vlhkosť v rámci tepelných izolácií bola nameraná v drevovláknitej izolácii a to nie len v prípade skladby V3, ale aj skladby V1, pričom v oboch bola vlhkosť zhodne 7,8 %. Za nimi nasledoval tento istý materiál v skladbe V2 spoločne s ovčou vlnou z konštrukcie J1, ktoré mierne presiahli hodnotu 5 %. Ostatné tepelné izolácie dosiahli hmotnostnú vlhkosť nepresahujúcu 3 %.

Pre vyhodnotenie zmeny súčiniteľa tepelnej vodivosti boli porovnávané pôvodné návrhové hodnoty s aktuálne nameranými hodnotami. Následne bola vypočítaná percentuálna zmena. Najväčšia zmena spomedzi tepelných izolácií bola nameraná v prípade drevovláknitých izolácií, predovšetkým v prípade spomínanej konštrukcie V3 s objaveným priesakom, ktorá dosiahla hodnotu 90,2 %. Tento materiál vykázal vysoký posun aj v prípade skladby V1 – 79,1 %. Za týmito nasledovala vrstvená TI, kde v časti šedého polystyrénu zmena súčiniteľa tepelnej vodivosti dosiahla 67,3 %. V prípade ostatných izolácií táto zmena nepresiahla 20 %.

Ďalšími časťami výskumu je sledovanie a porovnávanie vplyvu orientácie voči svetovým stranám a prevetrávaných vzduchových dutín. Skladby V2 a V3 nám umožňujú sledovanie zmeny poradia vrstiev tepelných izolácií a ich následné porovnávanie.

Významná časť výskumu je sústredená na simulácie týchto skladieb, či už v rámci 1D šírenia tepla a vlhkosti v programe Wufi Pro alebo 3D šírenia v programoch Wufi Plus alebo DesignBuilder.

V programe DesignBuilder bola vytvorená parametrická štúdia rodinného domu zameraná predovšetkým na sledovanie využitia jednotlivých skladieb v rámci ročného hodnotenia nákladov na vykurovanie. Okrem toho bol ale sledovaný aj vplyv rôznych faktorov tvaru budovy, percento presklených plôch obalových konštrukcií a variantné vykurovacie systémy. Všetky výsledky sú zhrnuté v [3].

Množstvo dát získavaných z tohto výskumu nám neustále poskytuje ďalšie možnosti napredovania. Neustále sledovanie a vyhodnocovanie údajov umožňuje zachytiť a analyzovať výkyvy v rámci teploty a relatívnej vlhkosti každej skladby. Ďalšou možnosťou vývoja je aj výmena jednej alebo viacerých skladieb a využitie progresívnych materiálov, používaných v súčasnosti alebo perspektívnych pre budúcnosť. Tento výskum je preto prínosný nielen z vedeckého hľadiska, ale aj pre využitie v pedagogickej praxi, kde vďaka nemu dokážeme študentom poskytovať stále nové informácie.

Použitá literatúra

- [1] ĎURICA, P. a kol. 2017. *Energetické a environmentálne navrhovanie a hodnotenie budov*. Žilina: EDIS.
- [2] STN EN ISO 6946. 2008. *Stavebné konštrukcie. Tepelný odpor a súčiniteľ prechodu tepla. Výpočtová metóda*. Bratislava: Slovenský ústav technickej normalizácie.
- [3] MICHÁLKOVÁ, D. 2020. *Teoreticko-experimentálna analýza a vývoj ľahkých obvodových plášťov pasívnych drevodomov*. Dizertačná práca. Žilinská univerzita v Žiline.
- [4] MICHÁLKOVÁ, D.; ĎURICA, P. 2022a. Natural materials in building construction - annual evaluation. *Acta Polytechnica CTU Proceedings*, 38, 222–227.
- [5] MICHÁLKOVÁ, D.; ĎURICA, P. 2022b. Experimental Verification of Thermal Insulation in Timber Framed Walls. *Materials*, 15(6), 2040.

Kontakty

Ing. Daniela Micháľková, PhD.: daniela.michalkova@uniza.sk