

ŠÍŘENÍ VLHKOSTI VE STĚNÁCH DŘEVOSTAVEB A VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNÍCH MĚŘENÍ NA REÁLNÉ STAVBĚ ZE STAVEBNÍHO SYSTÉMU EUROPANEL

V článku jsou prezentovány výsledky rozsáhlého experimentálního měření šíření vlhkosti obvodovými konstrukcemi dřevostavby s cílem ověřit její bezpečnost. Stavba je založena nad terénem na zemních vrstech a základová deska, stěny i střešní plášť jsou provedeny z panelů obdobného materiálového složení, ale rozdílně dokončeny interiérovými a exteriérovými vrstvami. Experiment běží již třetím rokem, článek shrnuje výsledky měření za roky 2019 a 2020. Měření prokázalo, že v konstrukcích nedochází ke kondenzaci vodní páry ani k nadměrnému vlhnutí dřeva v podlahových, stěnových a střešních panelech.

Zkoumání problematiky vlhkosti v obvodovém plášti dřevostaveb je velmi důležité. Vlhkost je určujícím faktorem pro funkčnost a životnost stavby. Vyšetřováním transportu vlhkosti stěnou a rizikem kondenzace se detailně zabývá norma ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov. Není to nijak jednoduché ani zábavné čtení, jenom komentář vysvětlující ustanovení této normy má 167 stran. Jak se tedy s touto technickou disciplínou opředenou množstvím mýtů a polopravd o difúzně otevřených a uzavřených konstrukcích, o „dýchání“ staveb, „větrání stěnou“ atd. vypořádat? Jak ověřit bezpečnost konstrukcí? Experimentem – jako v sedmé a osmé třídě na hodinách fyziky. Jeden takový experiment jsme spustili a stále probíhá.

CÍL VÝZKUMU

Užíváním stavby generujeme vlhkost v podobě vodní páry. Vařením, hygienou, praním a žehlením, ale i prostým dýcháním čtyřčlenná rodina denně vyprodukuje asi deset kilogramů vodní páry. Vodní pára se ze stavby odvětrá okny nebo ventilací. Zároveň se difúzí dostává do obvodových stěn, střech a podlah. Difúze vodní páry je přirozený přesun molekul vodní páry z místa s vyšší koncentrací na místo s nižší koncentrací, z místa s vyšší vlhkostí na místo s nižší vlhkostí.

Difúzí dochází ke zvlhčování, či vysychání dřevěných prvků, konstrukčních desek a izolačních materiálů obvodových konstrukcí staveb. V chladných měsících roku

hrozí kondenzace vodní páry a výskyt vody v kapalném skupenství. To může vést ke zhoršení vlastností tepelných izolantů v sendvičových konstrukcích, k růstu plísní a dřevokazných hub na dřevěných prvcích stěn a konstrukčních deskách na bázi dřeva. V horizontu několika let tak může dojít k degradaci materiálu stěn, střech a podlah a k havarijnímu stavu stavby.

Potřebujeme tedy experimentálně ověřit, zda v konstrukcích nedochází ke kondenzaci vodní páry a vlhkost dřeva v podlaze, stěně a střeše dřevostavby z EUROPANELU odpovídá požadavkům příslušné normy, konkrétně ČSN EN 1995-1-1, EUROKÓD 5 Navrhování dřevěných konstrukcí.

Obecně platí, že maximální vlhkost dřeva zabudovaného do stavby pro třídu provozu 2 dle EUROKÓDU 5 musí být nižší než 20 %. Pokud toto konstatování někomu nestačí, doporučuji prostudovat článek na tomto odkazu: <https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/7403-vliv-tepelne-vlhkosti-podminek-v-obvodovem-plasti-staveb-na-bazi-dreva>.

PROČ EXPERIMENT?

Norma Tepelná ochrana budov obsahuje výpočetní postupy pro výpočet teplot, vlhkosti vzduchu a dalších parametrů v jednotlivých vrstvách obvodové konstrukce stavby. Projektant stavby podle vypočtených parametrů musí vyhodnotit, zda zvolená skladba stěny, střechy nebo podlahy z pohledu difúze vodní páry splňuje předepsané parametry a zda dřevěné prvky a materiály

na bázi dřeva nejsou vystaveny podmínkám, ve kterých by překročily předepsanou hranici vlhkosti pro třídu provozu 2.

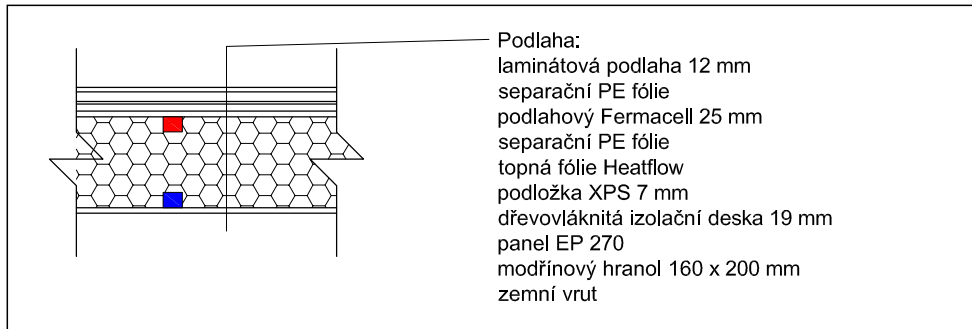
To není vůbec jednoduché. Kromě základních znalostí termodynamiky vlhkého vzduchu jsou potřebné i hlubší znalosti o struktuře dřeva a jeho sorpčních vlastnostech. Proto experiment – než přibližně počítat a složitě vyhodnocovat, je lepší přesně změřit a vědět.

JAK EXPERIMENT PROBÍHÁ?

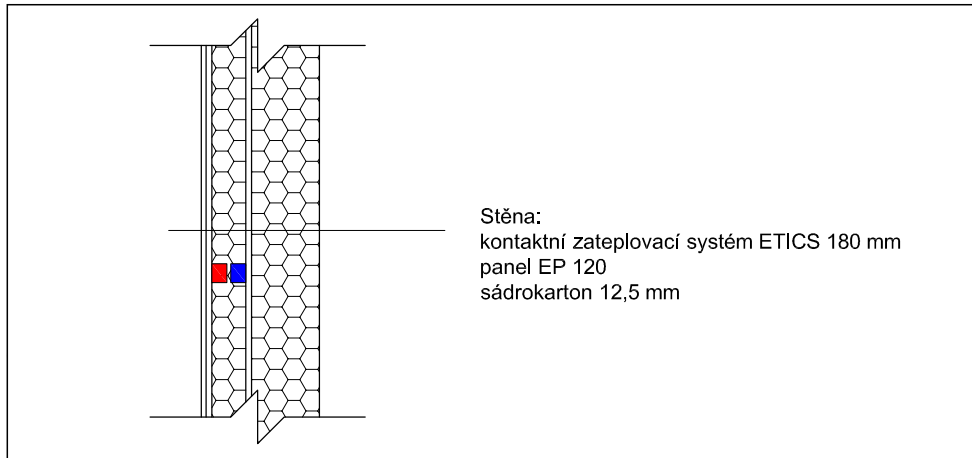
Velmi jednoduše. Postavili jsme dům. Do obvodových konstrukcí jsme zabudovali čidla, která měří vlhkost dřeva a vlhkost a teplotu vzduchu. Vyvinuli jsme elektronické a programové rozhraní pro snímání, zpracování, prezentaci a archivaci údajů z čidel. Všechno jsme odladili a nechali dva roky běžet. Nyní máme k dispozici 701 760 naměřených údajů a samozřejmě měříme dál.

POPIS EXPERIMENTÁLNÍHO VYBAVENÍ

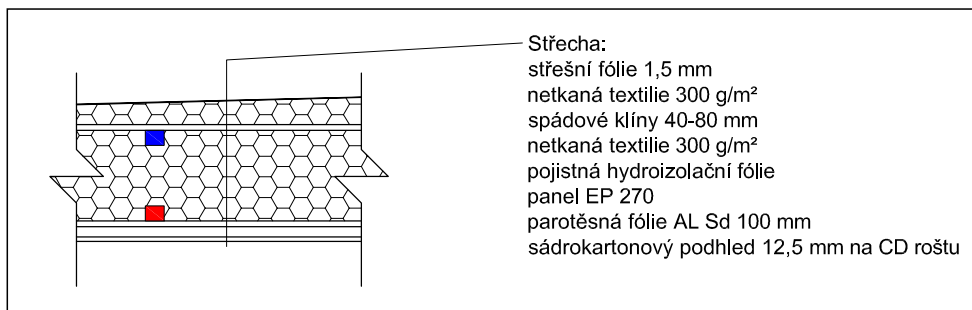
Experimentální dům je postaven ze stavebního systému EUROPANEL. Jedná se o jednopodlažní stavbu na zemních vrstech s plochou střešou. Dům je rozdělen na hlavní trakt a modul místnosti připojený spojovacím krčkem. Nad hlavním traktem je nainstalován falešný krov. Celková zastavěná plocha domu je 77,4 m². Kromě laboratorního využití dům slouží jako kancelářské prostory, zasedací místnost, vzorový dům pro jednání s klienty a školící středisko. Dům je vytápěn podlahovou topnou fólií a větrán



Obr. 1 Skladba podlahy



Obr. 2 Skladba stěny



Obr. 3 Skladba střechy

ventilaci s rekuperací tepla s kapacitou výměny vzduchu 30 m³/hod. Modré kostičky v obrázcích označují čidla umístěná v panelech na exteriérové straně a červené kostičky na interiérové straně.

MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ

Pro měření jsou použity senzory Moisture Guard vyvinuté výzkumným centrem ČVUT UCEEB v Buštěhradu. Senzory jsou komplexní prvky, které na základě měřených elektrických veličin poskytují informaci o vlhkosti dřeva, teplotě vzduchu, vlhkosti vzduchu a teplotě rosného bodu. Pro sběr a archivaci dat byl vyvinut systém EUROPANEL DCS (diagnostic control system), který kromě zmíněných

funkcí důležitých pro popisovaný experiment, umožňuje díky dalším sensorům a výkonovým prvkům monitorovat a upravovat parametry vnitřního prostředí domu. Konkrétně teplotu a vlhkost vzduchu a hladinu CO₂ a VOC v jednotlivých místnostech.

PŘÍPRAVA A INSTALACE SENZORŮ

Senzory měří vlhkost dřeva nepřímo měřením elektrického odporu dřeva. Jsou připevněny pomocí tří nerezových vrutů tvořících měřicí elektrody k 30 mm silnému válečku smrkového dřeva. Ten je přilepen k OSB 15 mm, která tvoří také plášť panelu. Takto připravený soubor je vložen do otvoru v panelu. Senzory jsou umístěny v podlahovém, stěnovém a střešním panelu vždy dva proti sobě, jeden na interiérové a druhý na exteriérové straně panelu. Spáry po umístění senzorů jsou zatmeleny trvale pružným tmelem.

METODIKA MĚŘENÍ A NAMĚŘENÉ HODNOTY

Senzory umístěné v konstrukcích domu jsou napojeny na systém EUROPANEL DCS, který každou hodinu zaznamená naměřené hodnoty do archivního souboru. Kromě archivace hodnot umožňuje systém sledovat aktuální hodnoty v reálném čase. Pro náš experiment je tak vytvářen obrovský soubor dat, která musíme pomocí nástrojů tabulkového procesoru zpracovat a převést do prezentovatelné podoby. Na dalších obrázcích jsou zobrazeny naměřené hodnoty. Do grafů jsou vynášeny aritmetické průměry vypočítané z 24 hodnot naměřených každý den daného roku.



Obr. 4 Výstavba experimentálního domu



Obr. 5 Experimentální dům



Obr. 6 Experimentální dům

VYHODNOCENÍ POŽADAVKŮ NA ŠÍŘENÍ VLHKOSTI KONSTRUKCÍ

Jak bylo uvedeno v úvodu, problematikou šíření vlhkosti v konstrukcích stavby se zabývá norma ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov. Tato norma definuje tři požadavky, které musí být splněny, aby konstrukce z pohledu šíření vlhkosti byly bezpečné:

1. kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce;
2. roční množství kondenzátu musí být nižší než kapacita odparu;
3. roční množství kondenzátu musí být nižší než $0,1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{rok}$, nebo 3–6 % plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně (nižší z hodnot).

Požadavky se kontrolují výpočtem. Splnění prvního požadavku musí posoudit projektant. Splnění druhého a třetího požadavku je provedeno porovnáním vypočtených hodnot s požadavky normy.

V našem experimentu hodnoty nepočítáme, ale měříme. Nejdříve musíme zjistit, zda v konstrukcích v letech 2019 a 2020 docházelo ke kondenzaci vodní páry. Ke kondenzaci dochází, když teplota prostředí poklesne pod teplotu rosného bodu. Rosný bod (teplota rosného bodu) je teplota, při které je vzduch maximálně nasycen vodními parami (relativní vlhkost vzduchu dosáhne 100 %). Pokud teplota klesne pod tento bod, nastává kondenzace.

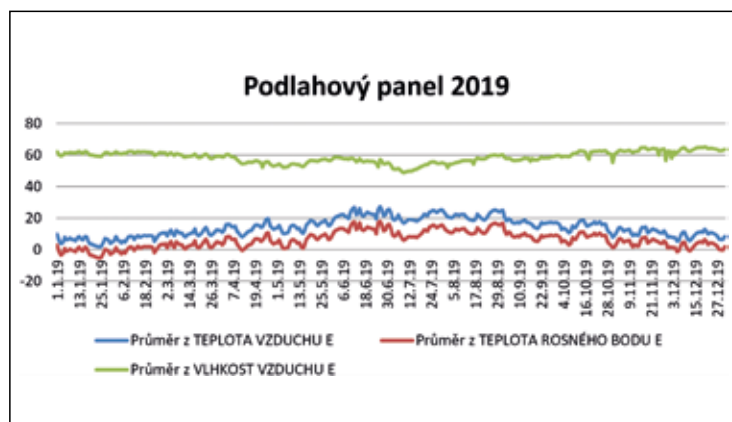
V níže uvedených grafech zeleně vynesené křivky znázorňují naměřený průběh relativní vlhkosti vzduchu v procentech na exteriérové straně panelu. Modře je vyneseno průběh teploty vzduchu v panelu a červeně teplota rosného bodu opět pro exteriérovou stranu panelu. Kondenzace hrozí



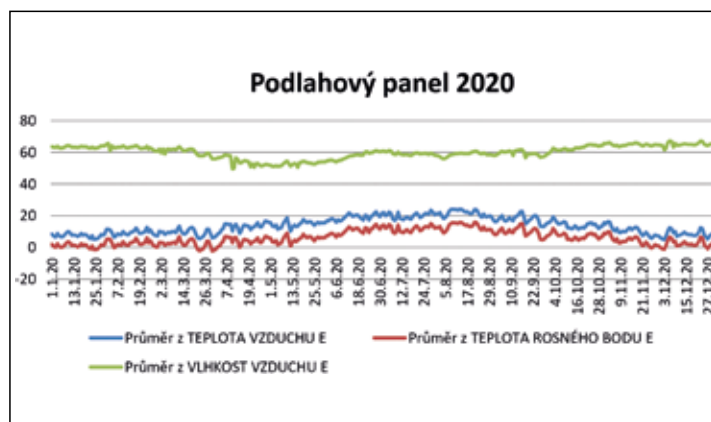
Obr. 7 Příprava senzorů



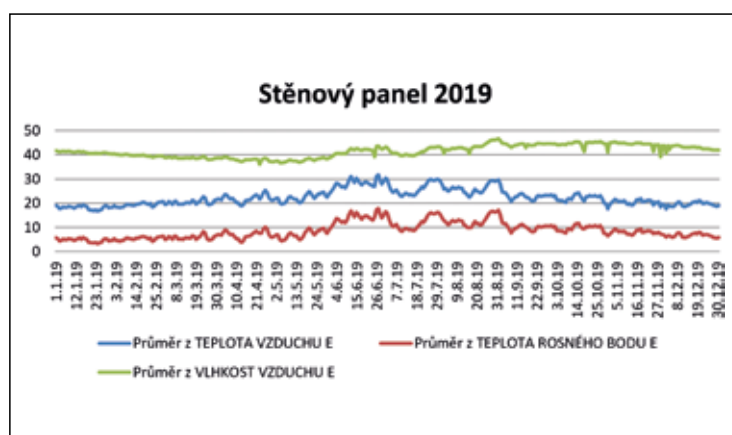
Obr. 8 Umístění senzoru v panelu



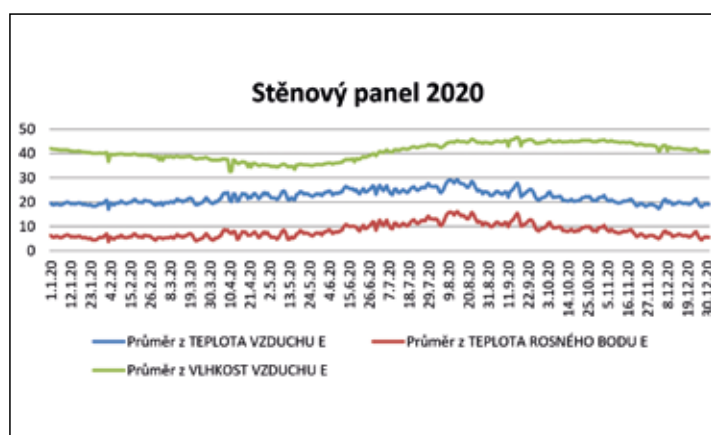
Graf č. 1 Relativní vlhkost vzduchu (%), teplota vzduchu a teplota rosného bodu (°C) na exteriérové straně podlahového panelu v roce 2019



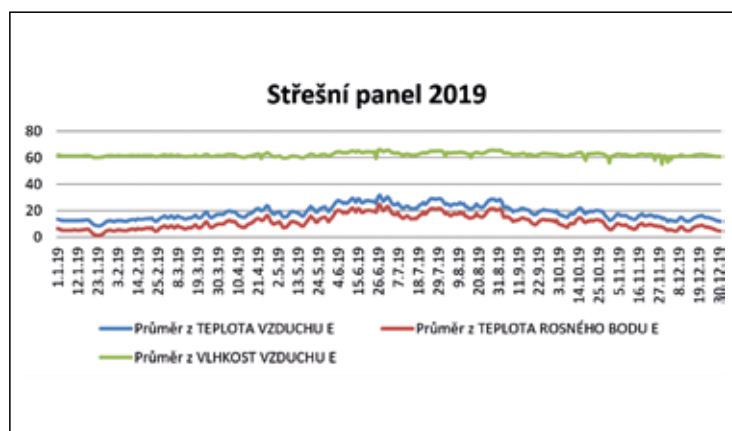
Graf č. 2 Relativní vlhkost vzduchu (%), teplota vzduchu a teplota rosného bodu (°C) na exteriérové straně podlahového panelu v roce 2020



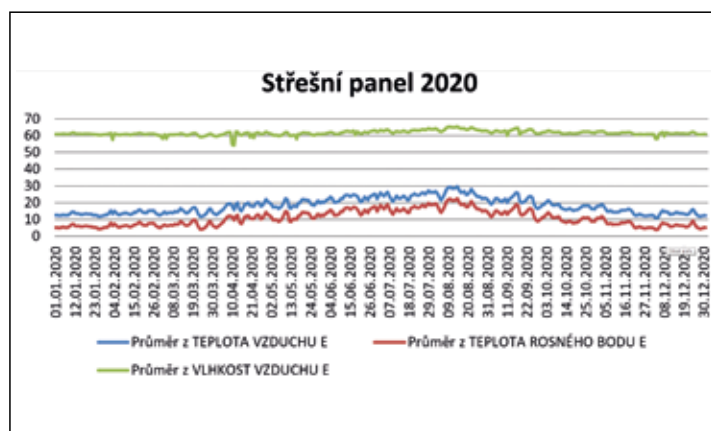
Graf č. 3 Relativní vlhkost vzduchu (%), teplota vzduchu a teplota rosného bodu (°C) na exteriérové straně stěnového panelu v roce 2019



Graf č. 4 Relativní vlhkost vzduchu (%), teplota vzduchu a teplota rosného bodu (°C) na exteriérové straně stěnového panelu v roce 2020



Graf č. 5 Relativní vlhkost vzduchu (%), teplota vzduchu a teplota rosného bodu (°C) na exteriérové straně střešního panelu v roce 2019

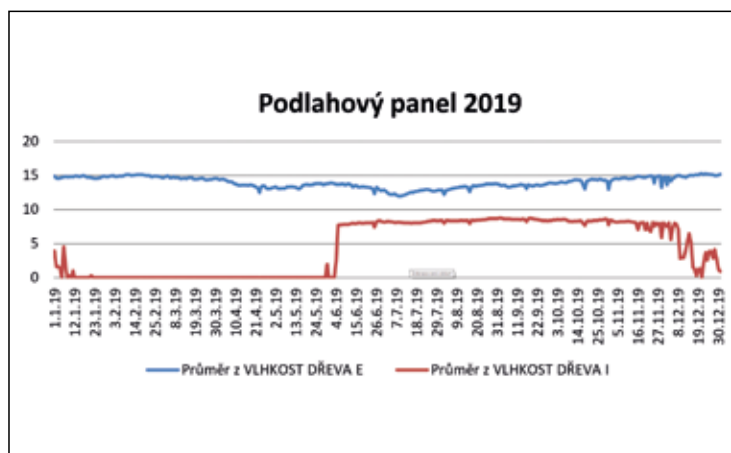


Graf č. 6 Relativní vlhkost vzduchu (%), teplota vzduchu a teplota rosného bodu (°C) na exteriérové straně střešního panelu v roce 2020

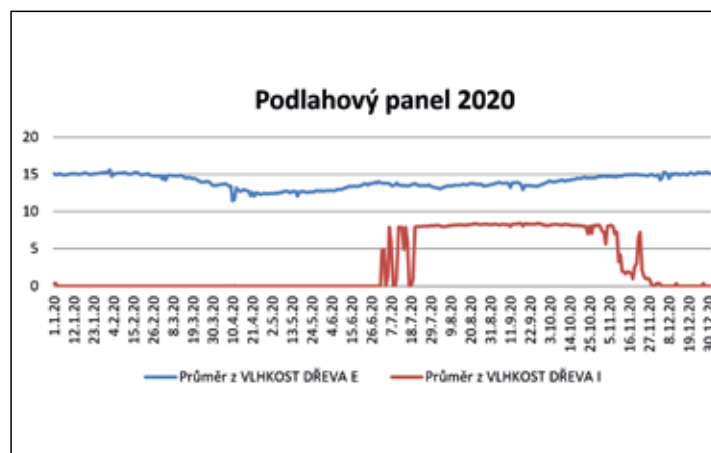
přáve v exteriérové zóně. Z grafů 1 až 6 je patrné, že ani v jednom případě neklesla teplota v panelu pod teplotu rosného bodu. To znamená, že v podlaze, stěnách i střeše nedošlo za dva roky měření ke kondenzaci vodní páry. Z pohledu kondenzace vodní

páry jsou konstrukce domu bezpečné protože v nich ke kondenzaci nedochází. Měřeními jsme tedy prokázali, že ke kondenzaci v konstrukcích nedochází. Nyní musíme ověřit, zda vlhkost dřeva v podlaze, stěně a střeše dřevostavby odpovídá

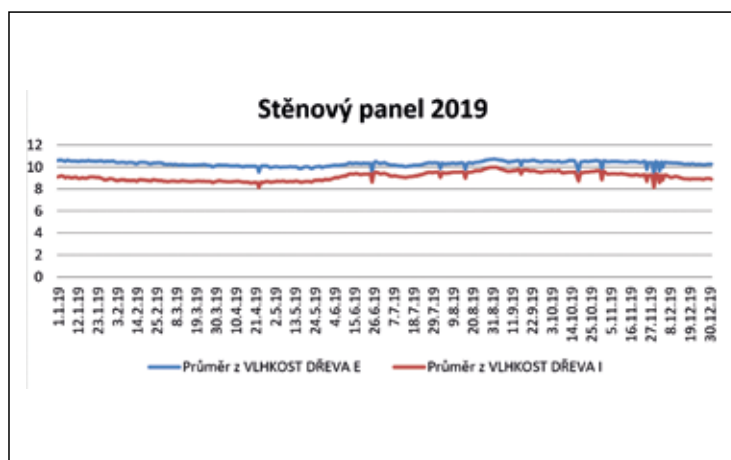
požadavkům příslušné normy, konkrétně ČSN EN 1995-1-1, EUROKÓD 5 Navrhování dřevěných konstrukcí. Platí, že maximální vlhkost dřeva zabudovaného do stavby pro třídu provozu 2 dle EUROKÓDU 5 (na kterou jsou konstrukce dřevostaveb



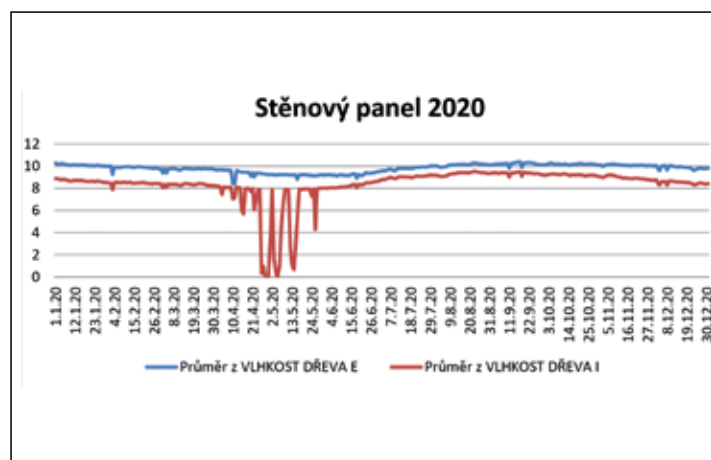
Graf č. 7 Vlhkost dřeva v (%) na exteriérové a interiérové straně podlahového panelu v roce 2019



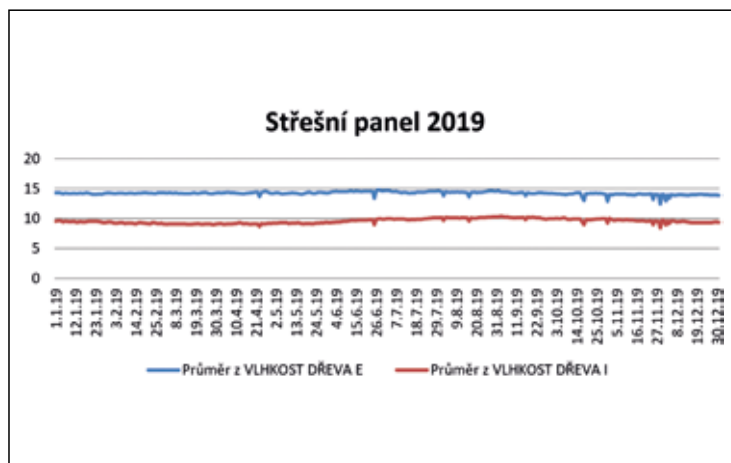
Graf č. 8 Vlhkost dřeva v (%) na exteriérové a interiérové straně podlahového panelu v roce 2020



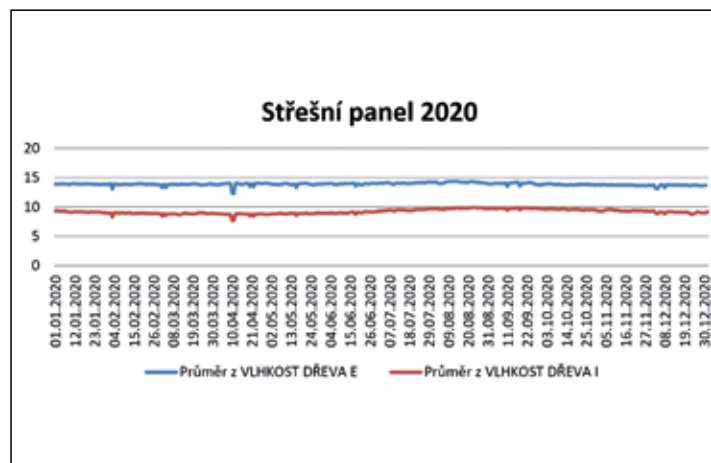
Graf č. 9 Vlhkost dřeva v (%) na exteriérové a interiérové straně stěnového panelu v roce 2019



Graf č. 10 Vlhkost dřeva v (%) na exteriérové a interiérové straně stěnového panelu v roce 2020



Graf č. 11 Vlhkost dřeva v (%) na exteriérové a interiérové straně střešního panelu v roce 2019



Graf č. 12 Vlhkost dřeva v (%) na exteriérové a interiérové straně střešního panelu v roce 2020

navrhovány a europanel certifikován) musí být nižší než 20 %.

V níže uvedených grafech 7 až 12 modře vynesené křivky znázorňují naměřený průběh vlhkosti dřeva v procentech na exteriérové straně panelu. Červeně je vynes

průběh vlhkosti dřeva v procentech na interiérové straně panelu. Z grafů je patrné, že ani v jednom případě nepřekročila vlhkost dřeva v panelu hranici 20 %.

V podlahovém panelu v obou letech vlhkost dřeva na exteriérové straně kmitala kolem

15 %. Vlhkost na interiérové straně podlahového panelu byla v topné sezóně neměřitelná kvůli podlahovému vytápění. Mimo topnou sezónu kmitala okolo 8 %.

Ve stěnovém panelu vlhkost na exteriérové straně kmitala kolem 10 % a na interiérové

straně okolo 9 %. Nizký vlhkostní spád je daný malou tloušťkou panelu 120 mm a velkou tloušťkou fasádního polystyrenu 180 mm.

Ve střešním panelu byla vlhkost dřeva na exteriérové straně panelu okolo 14 % a na interiérové straně panelu kolem 9 %.

Z grafů je zřejmé, že vlhkost dřeva v panelech byla po celý rok 2019 i 2020 hluboko pod limitními 20 %. Z pohledu vlhkosti dřeva jsou konstrukce domu bezpečné, protože její hodnota je hluboko pod požadovanou maximální hodnotou 20 %.

Grafické zobrazení hodnot bylo zvoleno kvůli přehlednosti a velkému rozsahu dat.

V níže uvedených tabulkách jsou ve třetích sloupcích uvedeny maximální a minimální dosažené hodnoty vlhkosti dřeva na exteriérových stranách panelů v jednotlivých letech. Každý údaj je vypočtený jako průměrná hodnota z dvaceti čtyř naměřených hodnot v daném dni. V dalších sloupcích tabulek jsou uvedeny související naměřené údaje v daném dni. Hodnoty v tabulkách potvrzují bezpečnost obvodových konstrukcí domu z EUROPANELU.

ZÁVĚR

Z naměřených a prezentovaných dat jednoznačně vyplývá, že v roce 2019 a 2020 nedošlo ke kondenzaci vodní páry v obvodových konstrukcích stavby, a to s velkou mírou bezpečnosti vyjádřenou rozdílem mezi teplotou vzduchu v panelu a teplotou rosného bodu. Z dat dále plyne, že vlhkost dřeva v obvodových konstrukcích je vždy hluboko pod hraniční vlhkostí 20 %. Můžeme tedy tvrdit, že stavba je z pohledu šíření vlhkosti konstrukcemi bezpečná.

V našem článku jsme se zaměřili pouze na jednu oblast, a to na šíření vlhkosti konstrukcemi dřevostavby.

Objem a druh získaných dat je unikátní tím, že umožňuje studovat děje v konstrukcích podlah, stěn a střechy ve vztahu k vnitřnímu a vnějšímu klimatu stavby. Časový rozsah probíhajícího experimentu (zatím dva a půl roku) umožní získat výsledky s vysokou mírou statistického významu. Není v našich silách data takového rozsahu zpracovat. Rádi poskytneme data a konzultace studentům všech stupňů odborných škol, které problematika zajímá, pro vypracování jejich ročníkových, bakalářských, diplomových či doktorandských prací.

Luděk Liška
EUROPANEL s.r.o.

Datum	Rok 2019	VLHKOST DŘEVA E /%	VLHKOST VZDUCHU E /%	TEPLOTA ROSNÉHO BODU E /°C	TEPLOTA VZDUCHU E /°C	VLHKOST DŘEVA I /%	VLHKOST VZDUCHU I /%	TEPLOTA ROSNÉHO BODU I /°C	TEPLOTA VZDUCHU I /°C	VENKOVNÍ TEPLOTA /°C
21.12.19	Podlahový panel	16,68	65,27	5,84	12,18	0,01	31,57	4,24	21,89	7,05
16.8.19	Stěnový panel	10,86	44,73	9,6	22,2	9,9	43,89	9,53	22,43	20,77
16.8.19	Střešní panel	15,2	65,97	14,62	21,24	10,54	53,49	13,1	23,07	20,77

Tab. č. 1. Maximální naměřená vlhkost dřeva na exteriérové straně panelů v roce 2019 a související naměřené hodnoty (E – exteriér, I – interiér)

Datum	Rok 2020	VLHKOST DŘEVA E /%	VLHKOST VZDUCHU E /%	TEPLOTA ROSNÉHO BODU E /°C	TEPLOTA VZDUCHU E /°C	VLHKOST DŘEVA I /%	VLHKOST VZDUCHU I /%	TEPLOTA ROSNÉHO BODU I /°C	TEPLOTA VZDUCHU I /°C	VENKOVNÍ TEPLOTA /°C
6.12.20	Podlahový panel	16,7	67,04	5,98	11,92	0,01	31,79	6,08	23,89	7,47
6.10.20	Stěnový panel	10,48	44,67	9,4	22	9,48	43,09	9,37	22,56	8,86
14.8.20	Střešní panel	14,55	65,55	22,97	30,14	9,87	53,22	19,82	30,42	18,39

Tab. č. 2. Maximální naměřená vlhkost dřeva na exteriérové straně panelů v roce 2020 a související naměřené hodnoty (E – exteriér, I – interiér)

Datum	Rok 2019	VLHKOST DŘEVA E /%	VLHKOST VZDUCHU E /%	TEPLOTA ROSNÉHO BODU E /°C	TEPLOTA VZDUCHU E /°C	VLHKOST DŘEVA I /%	VLHKOST VZDUCHU I /%	TEPLOTA ROSNÉHO BODU I /°C	TEPLOTA VZDUCHU I /°C	VENKOVNÍ TEPLOTA /°C
10.7.19	Podlahový panel	11,84	48,11	4,1	15	8,11	34,37	5,85	22,33	5,69
17.5.19	Stěnový panel	9,74	37,07	5,1	20,25	8,52	34,99	5,05	21,13	16,14
31.12.19	Střešní panel	13,78	60,75	4,75	12,12	9,21	43,37	7,54	20,43	3,36

Tab. č. 3. Minimální naměřená vlhkost dřeva na exteriérové straně panelů v roce 2019 a související naměřené hodnoty (E – exteriér, I – interiér)

Datum	Rok 2020	VLHKOST DŘEVA E /%	VLHKOST VZDUCHU E /%	TEPLOTA ROSNÉHO BODU E /°C	TEPLOTA VZDUCHU E /°C	VLHKOST DŘEVA I /%	VLHKOST VZDUCHU I /%	TEPLOTA ROSNÉHO BODU I /°C	TEPLOTA VZDUCHU I /°C	VENKOVNÍ TEPLOTA /°C
27.4.20	Podlahový panel	12,05	50,13	-0,4	9,48	0,01	26,63	2,82	23,05	5,23
26.5.20	Stěnový panel	8,97	34,66	4,97	21,2	0,01	32,71	4,74	21,88	10,77
22.11.20	Střešní panel	13,49	60,58	4,76	12,17	9,22	46,6	8,14	19,93	2,8

Tab. č. 4. Minimální naměřená vlhkost dřeva na exteriérové straně panelů v roce 2020 a související naměřené hodnoty (E – exteriér, I – interiér)