

**Výzkumná zpráva:**  
**Rozbor a analýza dat experimentální**  
**dřevostavby**  
**CZ.01.1.02/0.0/0.0/16\_045/0007420**



Zpracoval: doc. Ing. Iveta Skotnicová, Ph.D.  
VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra prostředí staveb a TZB  
Ludvíka Podéště 1875/17  
708 33 Ostrava-Poruba



EVROPSKÁ UNIE  
Evropský fond pro regionální rozvoj  
Operační program Podnikání  
a inovace pro konkurenceschopnost



MINISTERSTVO  
PRŮMYSLU A OBCHODU

---

## **OBSAH:**

<b>ÚVOD</b>	<b>3</b>
<b>1 ROZBOR A EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA NAMĚŘENÝCH DAT</b>	<b>4</b>
1.1 Měřicí snímače a zařízení	4
1.2 Experimentální analýza naměřených dat	5
1.2.1 Experimentální měření teplot v zemině v podzákladích dřevostavby	5
1.2.2 Analýza výsledků měření průběhů teplot v zemině v podzákladích a mimo budovu za celý rok 2016	8
1.2.3 Analýza výsledků měření teplot a vlhkosti v obvodových konstrukcích dřevostavby	12
1.2.4 Průběh vnějších povrchových teplot obvodových stěn objektu v zimním období (leden 2017)	15
1.2.5 Průběh teplot uvnitř obvodových stěn v zimním období (leden 2017)	17
1.2.6 Průběh relativních vlhkostí uvnitř obvodových stěn v zimním období	19
1.2.7 Průběh vnějších povrchových teplot v obvodových stěnách v letním období	21
1.2.8 Průběh teplot uvnitř obvodových stěn v letním období	23
1.2.9 Analýza výsledků měření hustoty tepelného toku obvodovou stěnou	28
1.2.10 Analýza výsledků měření akustických vlastností dělicích příček	30
<b>2 ROZBOR A POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ TEORETICKÝCH ANALÝZ A EXPERIMENTÁLNÍCH MĚŘENÍ</b>	<b>34</b>
2.1 Analýza výsledků měření a výpočtů teplotního pole v obvodové stěně dřevostavby v zimním období	34
2.2 Analýza výsledků měření a výpočtu tepelného toku v obvodové stěně dřevostavby v zimním období	36
2.3 Analýza výsledků měření a výpočtů teplotního pole v obvodové stěně dřevostavby v letním období	38
<b>3 ZÁVĚR</b>	<b>40</b>
<b>PUBLIKAČNÍ ČINNOST O VÝSLEDKÁCH VÝZKUMU VE VÝZKUMNÉM A INOVAČNÍM CENTRU NÁRODNÍHO DŘEVAŘSKÉHO KLASTRU</b>	<b>42</b>

---

## ÚVOD

„Výzkumné a inovační centrum Moravskoslezského dřevařského klastru (MSDK)“, je oficiální název pro experimentální dřevostavbu v pasivním standardu, která byla vybudována v areálu Fakulty stavební Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava v roce 2012. Investorem stavby byl Moravskoslezský dřevařský klástr (dnes Národní dřevařský klástr). Hlavním dodavatele stavby byla firma RD Rýmařov, a.s. Objekt je vybaven moderními technologiemi, splňujícími parametry pasivní budovy s inteligentními prvky měření a regulace.

Předmětem výzkumné zprávy je rozbor a analýza fyzikálně-technických dat zaznamenaných z jednotlivých čidel a přístrojů umístěných v objektu experimentální dřevostavby. Mezi dlouhodobě monitorované veličiny patří teploty vnitřního a venkovního prostředí, teploty uvnitř stavebních konstrukcí dřevostavby, teploty v zemině pod základovou deskou budovy, relativní vlhkosti vnitřního a venkovního vzduchu, relativní vlhkosti uvnitř stavebních konstrukcí dřevostavby. Mezi další fyzikální veličiny, které jsou pravidelně zaznamenávány patří koncentrace CO<sub>2</sub>, meteorologické údaje – rychlost proudění vzduchu, osvětlenost. Na základě naměřených veličin byla provedena teoretická analýza výsledků měření. Cílem výzkumu je porovnat výsledky experimentálních analýz s teoretickými metodami, ověřit jejich přesnost a vhodnost pro predikci tepelného chování lehkých stavebních konstrukcích za různých okrajových podmínek.

Experimentální a teoretická analýza fyzikálně-technických dat byla v této výzkumné zprávě provedena pouze pro vybraná období. Všechna zaznamenaná data z průběhů let 2012 až 2017 (leden) jsou uložena v datových souborech na přiloženém CD nosiči, kde jsou tříděna po jednotlivých měsících do dílčích kategorií dle umístění čidel, typu konstrukce a typu čidla.

---

# 1 ROZBOR A EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA NAMĚŘENÝCH DAT

Dlouhodobé monitorování a vyhodnocování fyzikálně-technických vlastností stavebních konstrukcí a vnitřního prostředí celé budovy probíhá za reálných vnějších podmínek. Od srpna 2012, kdy byl celý měřicí systém zprovozněn, jsou kontinuálně zaznamenávány následující veličiny:

- teploty v zemině pod základovou deskou a mimo budovu,
- vnitřní a vnější povrchové teploty obvodových konstrukcí,
- teploty a relativní vlhkosti uvnitř obvodových konstrukcí,
- teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu ve vnitřním a venkovním prostředí budovy.

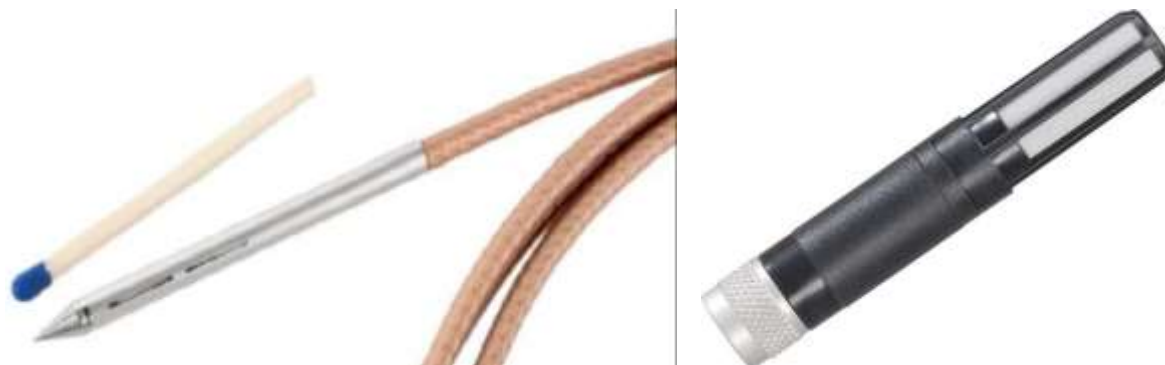
Mezi další fyzikální veličiny, které jsou měřeny pouze v určitých časových obdobích nebo jednorázově, patří: hustota tepelného toku na vnitřním povrchu obvodových konstrukcí, termovizní měření, akustické vlastnosti stavebních konstrukcí. Pro účely výzkumu jsou využívána i data z ostatních měřicích čidel v objektu (firmy Siemens), které jsou součástí systému měření a regulace – např. koncentrace CO<sub>2</sub> v jednotlivých místnostech, osvětlenost v jednotlivých místnostech, data z meteostanice umístěné na střeše objektu, apod.

Zaznamenaná naměřená data z průběhů let 2012 až 2017 (leden) jsou tříděna po jednotlivých měsících do dílčích kategorií dle umístění čidel, typu konstrukce a typu čidla a jsou uložena v datových souborech na přiloženém CD nosiči.

## 1.1 Měřicí snímače a zařízení

Pro dlouhodobé monitorování tepelných vlastností stavebních konstrukcí a zeminy jsou v objektu a v zemině umístěny měřicí snímače. Veškerá naměřená data jsou zaznamenávána a ukládána měřicí ústřednou. Základní měřicí zařízení pro kontinuální monitorování jednotlivých teplotních a vlhkostních vlastností stavebních konstrukcí a vnitřního a venkovního prostředí dodala firma TR instruments spol. s r.o.

Pro měření vnějších a vnitřních povrchových teplot konstrukcí jsou použity teplotní snímače TG 68-60 Pt1000, třídy A a TG7 Pt1000, třídy A, pro měření teploty a relativní vlhkosti uvnitř konstrukcí stěn, střechy a stropu jsou použity snímače HC2-C04 RH/T Rotronic s přesností  $\pm 1,5 \% \text{ rh} / \pm 0,3 \text{ K}$  (obr.4.3), pro měření teplot a relativní vlhkosti vzduchu ve vnitřním prostředí jsou použity teplotní snímače Pt1000, třídy A a HC2-S RH/T Rotronic s přesností  $\pm 0,8 \% \text{ rh} / \pm 0,1 \text{ K}$  (obr.4.4), pro měření teplot v zemině jsou použity odporové platinové teplotní snímače TR 087B-60 Pt1000, třídy A, teplotní rozsah od -25 do +70 °C.



Obr.1.1 Teplotně-vlhkostní snímač HC2-C04 [1] Obr.1.2 Teplotně-vlhkostní snímač HC2-S4 [2]

Pro dlouhodobé zaznamenávání naměřených hodnot je použita vícekanálová měřicí ústředna dataTaker DT80G Geologger se 4 moduly CEM 20, která zaznamenává všechny hodnoty měřených veličin v konstrukcích a ve vnitřním prostředí v časovém intervalu 15 minut. Hodnoty teplot v zemině jsou zaznamenávány v časovém intervalu 1 hodiny.

V rámci rozšiřování oblastí výzkumu v experimentální dřevostavbě, byla postupně doplněna další nová měřící zařízení a senzory:

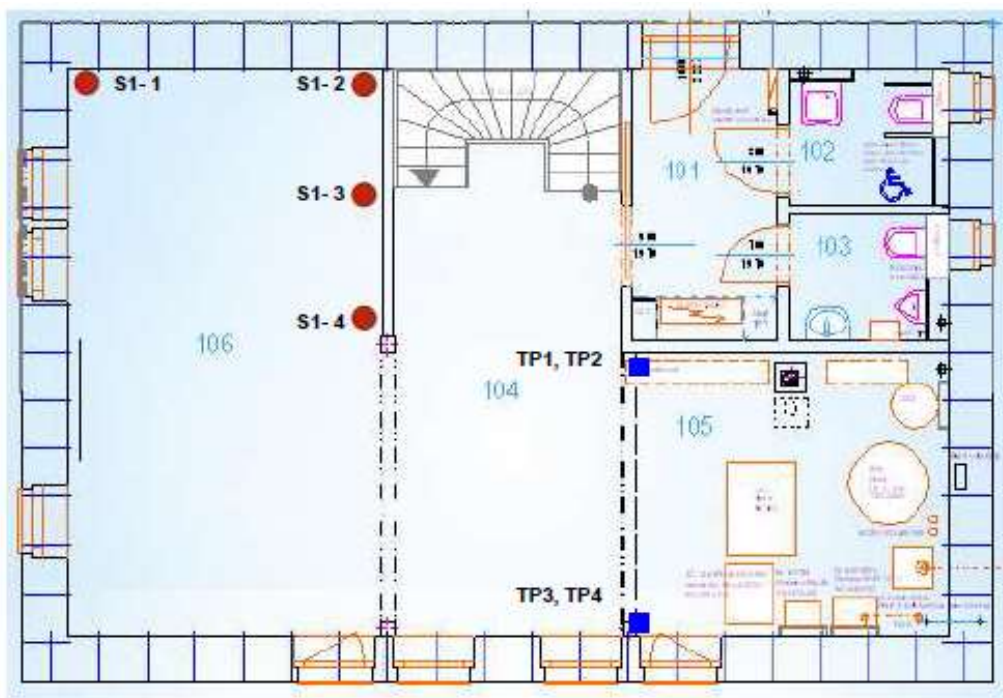
- čidla pro měření venkovní teploty vzduchu, relativní teploty vzduchu a barometrického tlaku vzduchu na severní (stíněné) fasádě objektu. Dodavatelem zařízení je firma TR instruments, s.r.o. (data se monitorují od prosince 2013).
- čidla pro měření teploty v zemině mimo budovu dřevostavby ve hloubce 0,2 m a 1,0 m pod úroveň terénu. Dodavatelem zařízení je firma TR instruments, s.r.o. (data se monitorují od ledna 2016).
- čidla pro měření globálního slunečního záření pomocí snímačů záření na svislých stěnách obvodového pláště. Dodavatelem zařízení je firma Ahlborn, s.r.o. (leden 2017, zatím nezapojeno).

## 1.2 Experimentální analýza naměřených dat

### 1.2.1 Experimentální měření teplot v zemině v podzákladí dřevostavby

Sondy pro měření teplot v zemině (označené S1-1 až S1-4) jsou půdorysně rozmístěny ve čtyřech pozicích pod základovou deskou (viz obr. 1.3). V každé pozici sondy jsou zabudována tři teplotní čidla ve třech hloubkových úrovních (obr. 1.5) pod úroveň podlahy 1. NP ( $\pm 0,000$ ): -0,700 m (pod tepelnou izolací základové desky), -1,500 m (úroveň základové spáry) a -3,000 m (zemina).

Další měření teplot v zemině umožňují rovněž odporové tenzometry umístěné v základové desce (na výztuži) a zemní tlakové buňky (označené na obr. 1.3 TP1 až TP4) umístěné ve dvou hloubkách – 0,7 m (pod tepelnou izolací) a 1,5 m pod povrchem terénu (úroveň základové spáry).



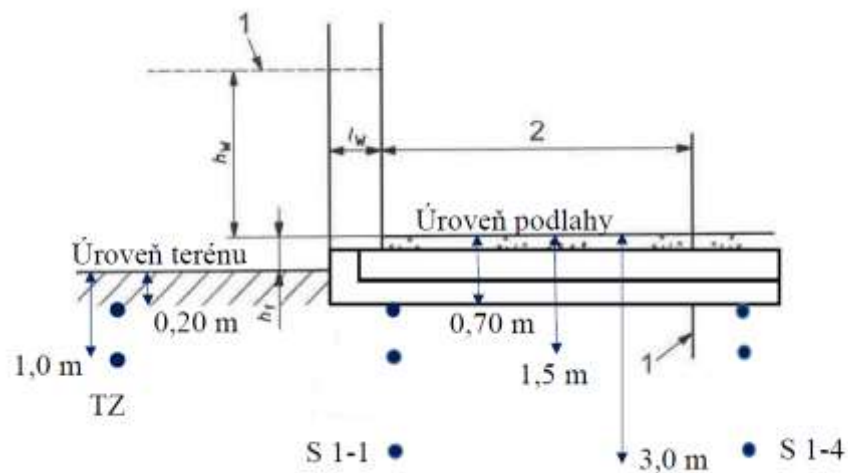
Obr. 1.3 Půdorysné rozložení teplotních sond a zemních tlakových buněk pod základovou deskou a v podzákladí dřevostavby (zdroj: RD Rýmařov)

Umístění teplotních čidel do zeminy muselo být realizováno současně s výstavbou objektu. Na obr. 1.4 je ukázka ukládání teplotních čidel do zeminy do hloubky 3 m a 1,5 m pod úroveň podlahy budoucí stavby.



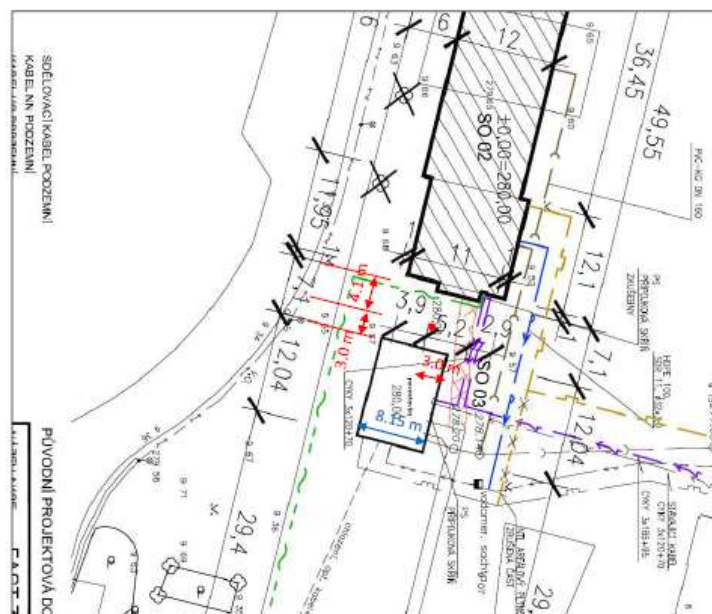
Obr. 1.4 Realizace umístění teplotních čidel do zeminy v podzákladí dřevostavby

V průběhu hodnocení naměřených teplot v zemině v podzákladí budovy, vyplynula potřeba porovnat naměřené teploty s teplotami v zemině mimo vlastní objekt v průběhu celého roku. Z tohoto důvodu byla dodatečně zakoupena a nainstalována ještě 2 teplotní čidla do zeminy mimo dřevostavbu. Na obr. 1.5 je zobrazeno schéma hloubkového umístění teplotních čidel ve svislém řezu budovou. Teplotní čidla s označením TZ jsou dodatečně umístěna čidla mimo budovu. Z důvodu realizace provedení výkopové rýhy pro umístění čidel, bylo možné uložení čidel do hloubky 0,2 m a 1,0 m pod úroveň terénu, což odpovídá pozici čidel pod budovou v hloubce 0,7 m a 1,5 m pod úroveň podlahy.



Obr. 1.5 Schéma hloubkového umístění teplotních čidel v zemině

Půdorysné umístění teplotních čidel do zemině mimo budovu dřevostavby je znázorněno na Obr. 1.6. Bylo nutné provést výkop rýhy bezpečně mimo vedení stávajících inženýrských sítí a v dostatečné vzdálenosti od základové desky budovy, aby nedocházelo k ovlivnění teplotního pole v zemině. Zemní výkopové práce provedla firma SWN Czech s.r.o. dne 22.10. 2015.



Obr. 1.6 Situační umístění teplotních čidel do zemině mimo budovu dřevostavby

Pro měření teplot v zemině mimo budovu byly použity stejné snímače, jako pod budovou - odporové platinové teplotní snímače TR 087B-60 Pt1000, třídy A, teplotní rozsah od -25 do +70 °C. Umístění teplotních čidel a jejich propojení s dataTakrem DT80G provedla firma TR instruments, spol. s r.o. (Obr. 1.7). Při pokládání čidel pomáhali také doktorandi FAST VŠB-TUO.



Obr. 1.7 Realizace umístění teplotních čidel do zeminy mimo budovu dřevostavby

### 1.2.2 Analýza výsledků měření průběhů teplot v zemině v podzákladí a mimo budovu za celý rok 2016

Monitorování průběhů teplot v zemině pod základovou deskou přináší přehled o rozložení teplot v zemině v průběhu celého roku a tím i přehled o reálných tepelných ztrátách přes konstrukci podlahy do zeminy. Navržená skladba podlahové konstrukce dřevostavby (tab. 1.1), která je založena na tzv. plovoucí základové desce, zajišťuje dokonalou izolaci podlahy, minimalizuje tepelné ztráty přes podlahu do zeminy a tím i minimálně ovlivňuje teplotu zeminy pod základovou deskou.

Tab. 1.1 Skladba podlahové konstrukce

Stavební materiály	tloušťka $d$ [m]	Objemová hmotnost $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W/(m.K)]	Měrná tepelná kapacita $c$ [J/(kg.K)]	Faktor difúzního odporu $\mu$ [-]
Dlažba	0,008	2000	1,01	840	200
Anhydrid	0,050	2100	1,2	840	20
Separáční fólie	0,001	1400	0,16	960	16700
Polystyren EPS 200 S	0,140	30	0,034	1270	40
PE fólie	0,001	900	0,35	1470	144000
Železobetonov� deska	0,300	2400	1,58	1020	29
Extrudovan� polystyren	0,200	30	0,034	2060	100

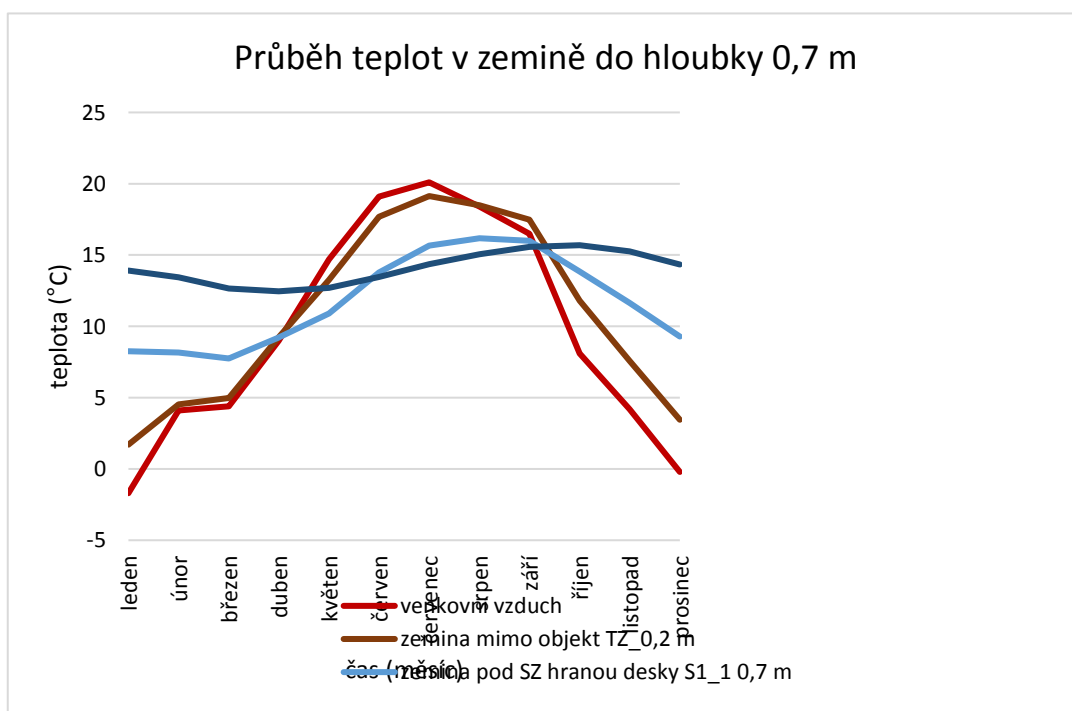
Na obr. 1.8 a  1.10 jsou znázorněny průběhy průměrných měsíčních teplot v zemině pod základovou deskou a mimo základovou desku během období celého roku 2016. Teploty v zemině vykazují s rostoucí hloubkou stabilnější hodnoty a kolísají pouze v závislosti na pozici umístění teplotního čidla pod základovou deskou a na ročním období. Pro porovnání



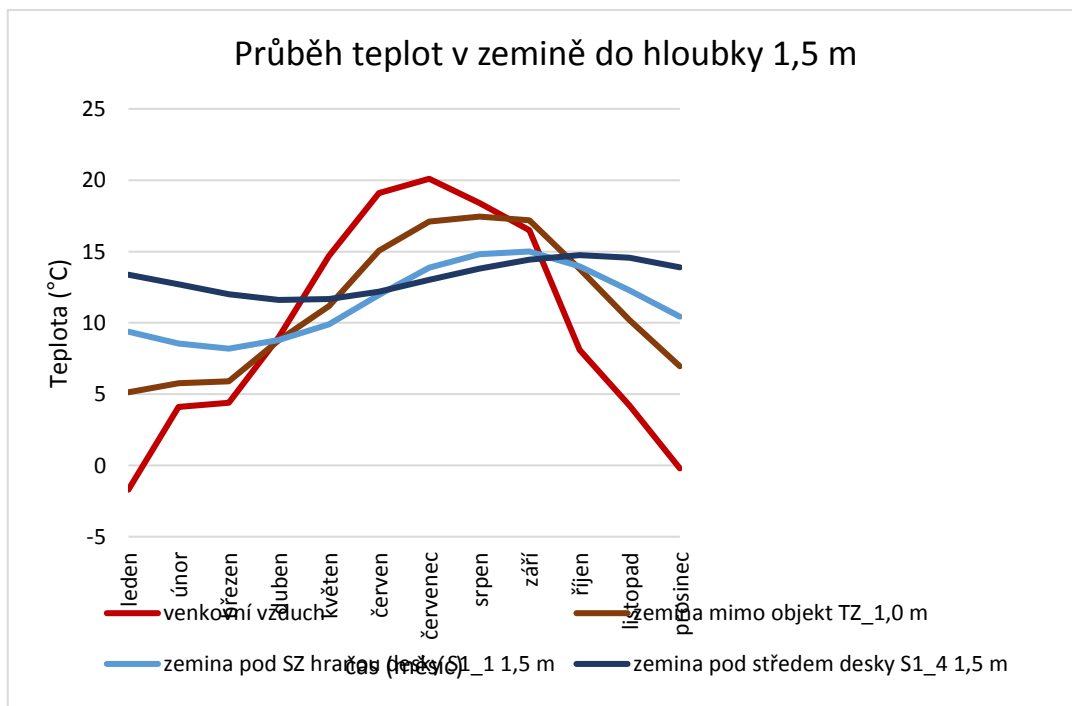
byly vybrány teploty v sondě TZ umístěné mimo budovu a v sondách S1-1 (umístěné pod SZ okrajem základové desky) a S1-4 (umístěné pod středem základové hloubky).

Teplota v zemině v sondě TZ umístěné mimo objekt v hloubce 0,2 m pod povrchem terénu nejvíce kopíruje průběh teploty venkovního vzduchu. V průběhu celého roku se teplota v zemině v této hloubce pohybovala v rozmezí 1,7 °C až 19,1 °C. Teplota v zemině v sondě TZ umístěné v hloubce 1,0 m pod povrchem terénu se v průběhu celého roku pohybovala v rozmezí 5,1 °C až 17,4 °C.

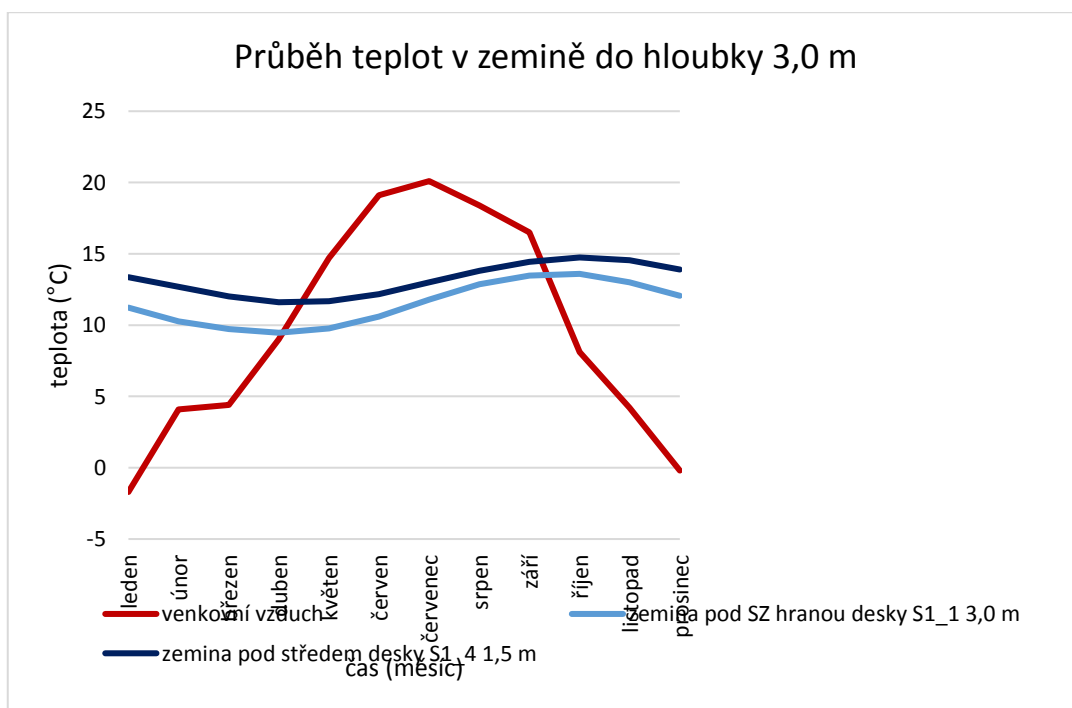
Teplota v zemině v sondě S1-1 umístěné pod tepelnou izolací v hloubce 0,7 m pod úrovní podlahy, na severozápadním okraji základové desky, se v průběhu celého roku pohybovala v rozmezí 7,7 °C až 16,2 °C. V hloubce 1,5 m pod úrovní podlahy v rozmezí 8,2 °C až 15,0 °C. V hloubce 3,0 m v rozmezí 9,5 °C až 13,6 °C. Průměrné celoroční teploty dosažené v sondě S1-1 se v jednotlivých hloubkách pohybují v rozmezí 11,7 – 11,4 °C.



Obr. 1.8 Celoroční průběh průměrných měsíčních teplot v zemině do hloubky 0,7 m



Obr. 1.9 Celoroční průběh průměrných měsíčních teplot v zemině do hloubky 1,5 m



Obr. 1.10 Celoroční průběh průměrných měsíčních teplot v zemině do hloubky 3,0 m

Tab. 1.2 Celoroční průběh průměrných měsíčních teplot v zemině

		Teploty [ °C]							
Měsíc	Venkovní vzduch $\theta_e$	Pozice teplotních čidel v zemině							
		TZ (mimo budovu)		S1-1 (pod SZ hranou desky)			S1-4 (pod středem desky)		
		Hloubka pod úrovní terénu		Hloubka pod úrovní podlahy			Hloubka pod úrovní podlahy		
		0,2 m	1,0 m	0,7 m	1,5 m	3,0 m	0,7 m	1,5 m	3,0 m
1	-1,7	1,7	5,1	8,3	9,4	11,2	13,9	13,4	13,0
2	4,1	4,5	5,8	8,2	8,6	10,3	13,4	12,7	12,5
3	4,4	5,0	5,9	7,7	8,2	9,7	12,7	12,0	11,9
4	9,0	9,2	8,8	9,2	8,8	9,5	12,5	11,6	11,4
5	14,7	13,3	11,2	10,9	9,9	9,8	12,7	11,7	11,3
6	19,1	17,7	15,1	13,8	12,0	10,6	13,5	12,2	11,4
7	20,1	19,1	17,1	15,7	13,9	11,8	14,4	13,0	11,8
8	18,4	18,5	17,4	16,2	14,8	12,9	15,0	13,8	12,5
9	16,5	17,5	17,2	16,0	15,0	13,5	15,6	14,4	13,1
10	8,1	11,8	13,8	13,8	14,0	13,6	15,7	14,7	13,6
11	4,2	7,6	10,2	11,6	12,3	13,0	15,3	14,6	13,7
12	-0,2	3,4	7,0	9,3	10,4	12,1	14,3	13,9	13,4
$\phi$	<b>9,7</b>	<b>10,8</b>	<b>11,2</b>	<b>11,7</b>	<b>11,4</b>	<b>11,5</b>	<b>14,1</b>	<b>13,2</b>	<b>12,5</b>

Pod středem základové desky (sonda S1-4) v hloubce 0,7 m pod podlahou byl průběh teplot v zemině během roku vyrovnanější. V průběhu celého roku se teplota v zemině pohybovala v rozmezí hodnot 12,5 °C až 15,7 °C. V hloubce 1,5 m pod úrovní podlahy v rozmezí 11,6 °C až 14,7 °C. V hloubce 3,0 m v rozmezí 11,3 °C až 13,7 °C. Průměrné celoroční teploty dosažené v sondě S1-4 se v jednotlivých hloubkách pohybují v rozmezí 14,1 – 12,5 °C.

V tab. 1.2 jsou uvedeny průměrné měsíční teploty venkovního vzduchu a průměrné měsíční teploty v jednotlivých sondách. Zatímco nejnižší průměrná teplota venkovního vzduchu a teplota v zemině mimo objekt byla dosažena v měsíci lednu. V zemině pod dřevostavbou byla díky tepelně izolačním vlastnostem objektu dosažena nejnižší průměrná teplota až v měsíci březnu (v hloubce 0,7 m, SZ okraj desky), v dubnu a v květnu (v hloubce 3,0 m, střed desky).

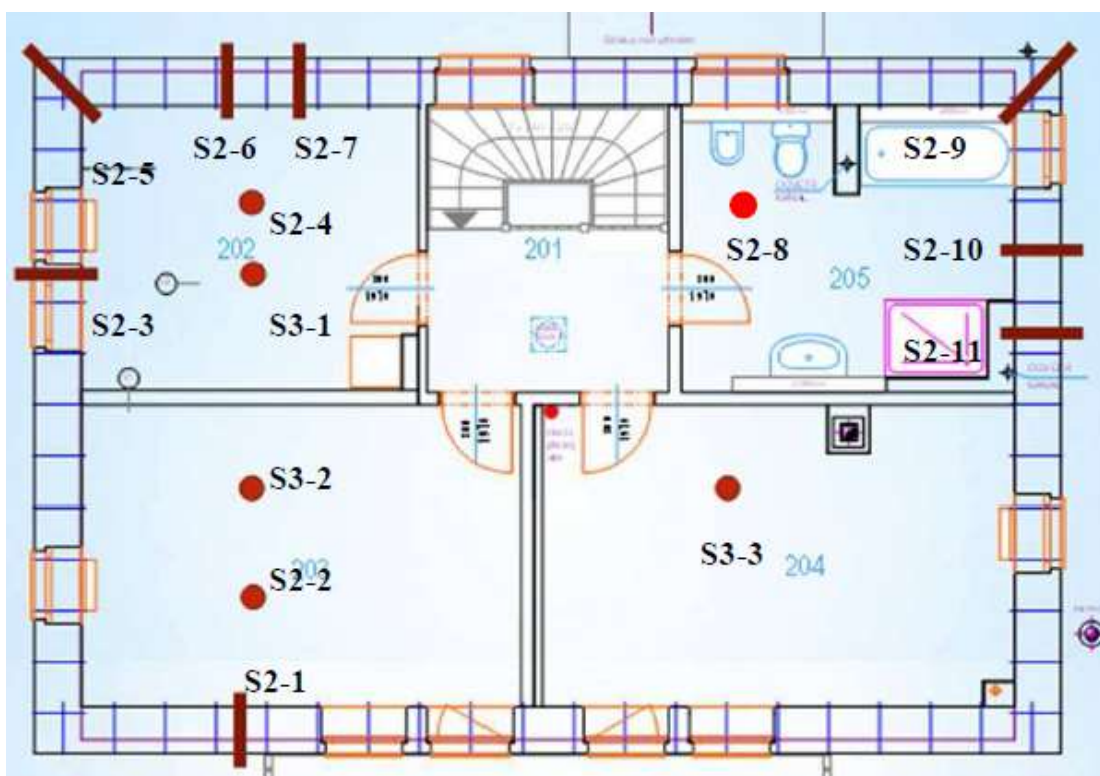
Nejvyšší průměrná měsíční teplota venkovního vzduchu byla dosažena v měsíci červenci, v zemině pod objektem byla nejvyšší průměrná teplota dosažena v měsíci srpnu (v hloubce 0,7 m, SZ okraj desky) a v listopadu (v hloubce 3,0 m, střed desky).

Výzkum teplotního pole v zemině pod základovou deskou a tepelnou izolací podlahové konstrukce je zajímavý také s ohledem na možnosti využití horizontálního zemního výměníku tepla, který je položen právě v hloubce 0,7 m pod celou plochou základové desky a zatím není zapojen do systému. Vzhledem k naměřeným teplotám v podzákladí dřevostavby v průběhu celého roku by využití zemního výměníku tepla mohlo přinést další energetické úspory objektu.

### 1.2.3 Analýza výsledků měření teplot a vlhkosti v obvodových konstrukcích dřevostavby

Cílem měření průběhů teplot a relativních vlhkostí na povrchu a uvnitř obvodových konstrukcí dřevostavby je ověření teplotně-vlhkostního chování konstrukcí za reálných podmínek. Pozornost je věnována zejména možnému riziku vzniku kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce v zimním období a také vlivu slunečního záření na přehřívání konstrukcí v letním období.

Sondy (označené S2-1, S2-3, S2-5, S2-6, S2-7, S2-9, S2-10, S2-11) pro měření povrchových teplot obvodových konstrukcí a pro měření teplot a relativních vlhkostí uvnitř těchto konstrukcí byly umístěny celkem do osmi pozic v obvodové stěně a do dvou pozic ve střešní konstrukci (S2-4, S2-8) experimentálního objektu (obr. 1.11). Další sondy (S3-1, S3-2 a S3-3) zaznamenávají teploty vnitřního vzduchu. Pro monitorování průběhů teplot v půdním prostoru je určena sonda S2-2. Souběžně se také monitoruje teplota, tlak a relativní vlhkost venkovního vzduchu (stíněné teplotní čidlo na severní fasádě budovy).



Obr. 1.11 Půdorysné rozmístění teplotních a vlhkostních čidel ve 2.NP (zdroj: RD Rýmařov)

Sondy umístěné v obvodových konstrukcích jsou složeny vždy z 5 snímačů, které monitorují průběhy teploty a vlhkosti v příčném profilu celé obvodové konstrukce. Jednotlivé pozice čidel mají umožnit sledování tepelně vlhkostního chování v příčném profilu konstrukce s ohledem na různé faktory:

- a) **vliv orientace obvodové konstrukce na světové strany** – zohledňuje se vliv přímého a difúzního slunečního záření a vliv proudění vzduchu,
- b) **vliv odvětrávané vzduchové mezery na vnější straně konstrukce** – obvodový plášť dřevostavby má dva druhy fasády – kontaktně zateplenou celou konstrukci má jižní fasáda (systém Baumit), západní, severní a východní fasáda je řešena částečně s kontaktním zateplením (systém Baumit) a částečně s odvětrávanou vzduchovou mezerou se dvěma různými typy obkladů (desky CETRIS nebo dřevěný obklad),
- c) **vliv tepelných mostů** – nosné dřevěné profily (nosníky Steico Wall) v obvodových konstrukcích tvoří tepelné mosty, které se podílí na zvýšeném prostupu tepla,
- d) **vliv tepelných vazeb** – místa konstrukčních styků obvodových stěn (kouty) ovlivňují zvýšený tepelný tok v daném místě,

Umístění teplotně vlhkostních čidel do stavebních konstrukcí muselo být realizováno současně s výrobou obvodových konstrukcí v RD Rýmařov.

Obvodová stěna dřevostavby je řešena jako difúzně otevřená konstrukce (skladba konstrukcí viz tab. 1.3) ve dvou konstrukčních variantách:

- obvodová stěna s kontaktním zateplením (skladba A),
- obvodová stěna s odvětrávanou vzduchovou mezerou a dvěma typy obkladů (skladba B),

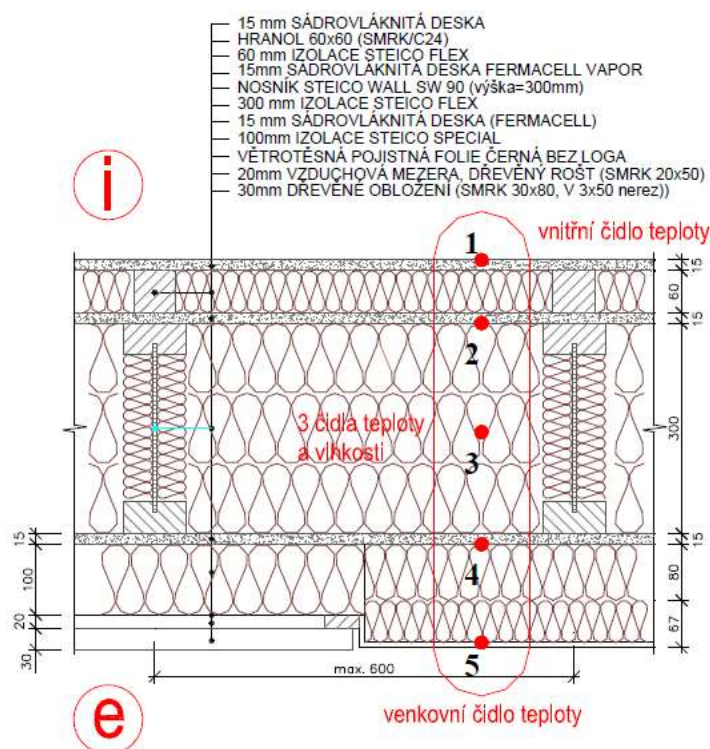
Tab. 1.3 Skladby obvodové stěny

skladba A (kontaktní zateplení)	Tloušťka vrstev $d$ [m]	skladba B (odvětrávaná vzduchová mezera)	Tloušťka vrstev $d$ [m]
deska Fermacell	0,015	deska Fermacell	0,015
tepelná izolace Steico Flex	0,060	tepelná izolace Steico Flex	0,060
deska Fermacel Vapor	0,015	deska Fermacel Vapor	0,015
tepelná izolace Steico Flex/nosník Steico Wall SW90	0,300	tepelná izolace Steico Flex/nosník Steico Wall SW90	0,300
deska Fermacell	0,015	deska Fermacell	0,015
tepelná izolace Steico Therm	0,080	tepelná izolace Steico Special	0,100
tepelná izolace Steico Protect	0,060	větrotěsná pojistná fólie	
omítka Baumit	0,007	odvětrávaná vzduchová mezera	0,040/0,02
		cementotřísková deska Cetris/ smrkový dřevěný obklad	0,012/0,03

Jak již bylo zmíněno, v obvodových stěnách je zabudováno celkem osm sond s tepelně vlhkostními čidly: S2-1 jižní fasáda (ve skladbě A), S2-3 západní fasáda (ve skladbě B

s obkladem Cetris), S2-5 severozápadní roh, S2-6 severní fasáda - tepelný most, S2-7 severní fasáda, S2-9 severovýchodní roh, S2-10 východní fasáda - tepelný most, S2-11 východní fasáda (všechny ve skladbě B – dřevěný obklad). Každou sondu tvoří vždy pět snímačů, které monitorují průběhy teploty a vlhkosti v příčném profilu celé obvodové stěny.

Na obr. 1.12 jsou znázorněny pozice čidel v příčném profilu obvodové stěny. Na vnitřním a vnějším povrchu obvodové stěny jsou umístěna čidla snímající povrchové teploty (č. 1 a 5), uvnitř obvodové stěny (300 mm panel) jsou umístěna kombinovaná čidla pro měření teploty a relativní vlhkosti (č. 2, 3, 4). V případě odvětrávané fasády je teplotní čidlo č. 5 umístěno na vnějším povrchu tepelné izolace v odvětrávané vzduchové mezeře.



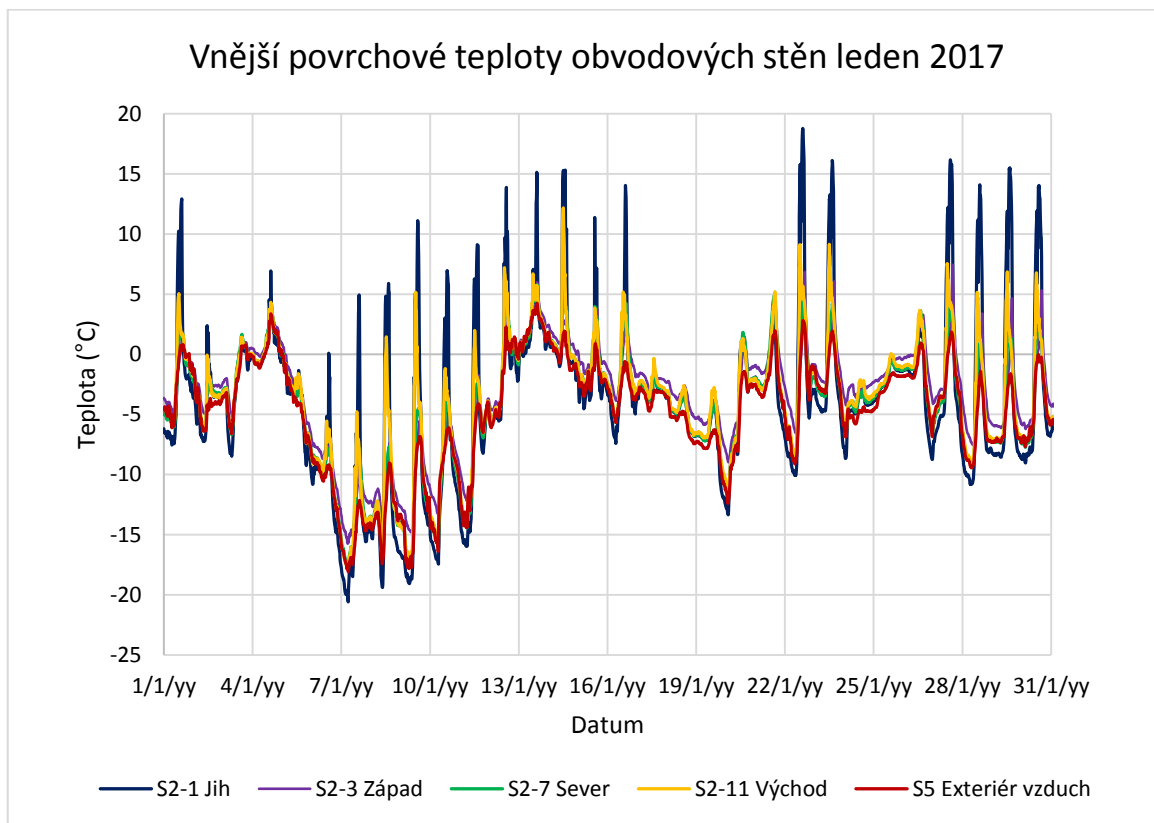
Obr. 1.12 Pozice umístění teplotně vlhkostních čidel v příčném profilu obvodové stěny [zdroj RD Rýmařov]

K podrobnější analýze průběhů naměřených hodnot teplot a relativních vlhkostí na povrchu a uvnitř obvodových stěn pasivní dřevostavby byly vybrány dva měsíce v roce 2013 a 2017 - měsíc leden (2017) s nejnižšími teplotami venkovního vzduchu a měsíc srpen (2013) s nejvyššími průměrnými teplotami venkovního vzduchu. Hodnocení bylo zaměřeno na ověření vlivu různých faktorů na teplotní a vlhkostní průběhy uvnitř konstrukcí. Přehled všech naměřených dat za uplynulé roky 2014, 2015, 2016 jsou uloženy v příloze zprávy na CD.

#### 1.2.4 Průběh vnějších povrchových teplot obvodových stěn objektu v zimním období (leden 2017)

Na obr. 1.13 jsou znázorněny celodenní průběhy vnějších povrchových teplot na obvodových stěnách objektu během měsíce ledna 2017. Povrchové teploty konstrukcí

kopírují průběhy teplot venkovního vzduchu, ale odlišují se svými hodnotami. Z uvedených průběhů jsou zřetelné rozdíly povrchových teplot mezi jednotlivými stěnami s různou orientací na světové strany, projevuje se zde vliv sluneční radiace, vliv sálání noční oblohy, vliv proudění vzduchu, vliv srážek a také vliv odlišného druhu fasády.



Obr. 1.13 Měsíční průběh vnějších povrchových teplot obvodových stěn objektu

V tab. 1.4 je znázorněno, jakým teplotám a jakému rozdílu teplot je vystavena fasáda objektu dřevostavby v průběhu zimního období (měsíc leden 2017).

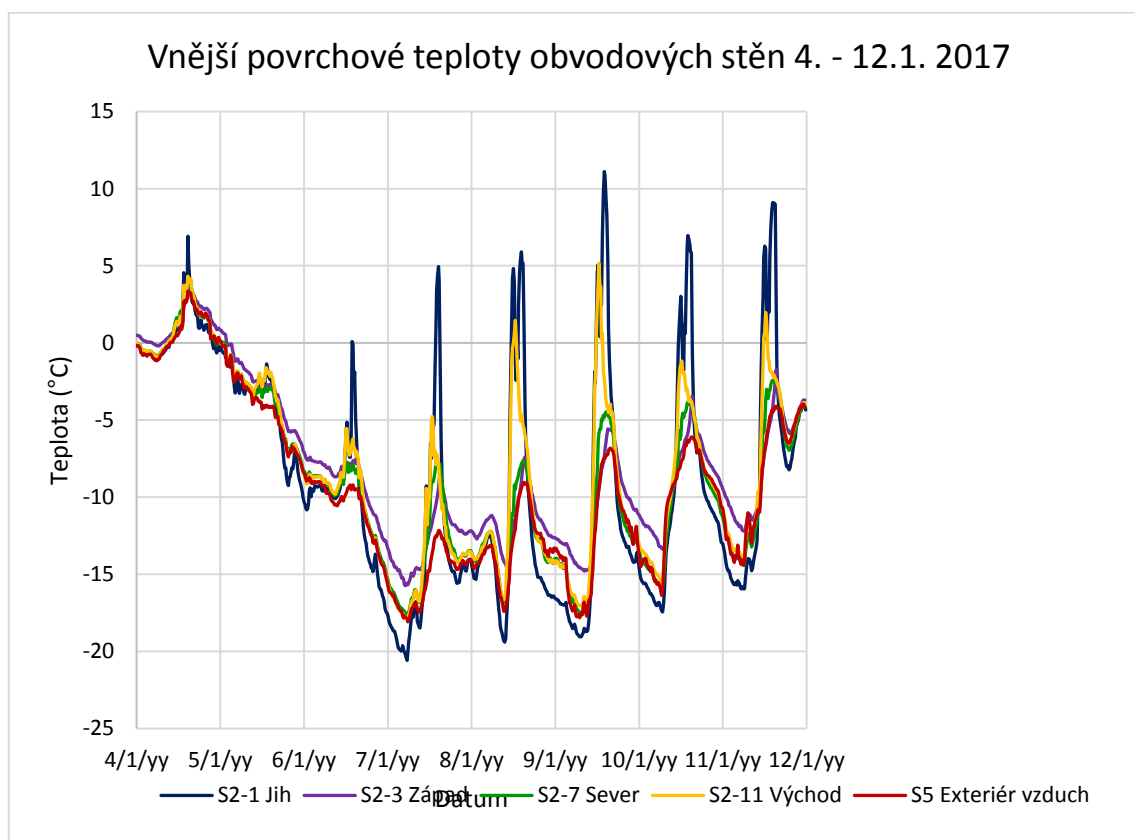
Tab. 1.4 Hodnoty povrchových teplot obvodových stěn během měsíce ledna 2017

Hodnoty teplot	Teploty venkovního vzduchu ve °C	Hodnoty povrchových teplot obvodových stěn během měsíce ledna 2017 ve °C v místech měřících sond							
		S2-1	S2-3	S2-5	S2-6	S2-7	S2-9	S2-10	S2-11
		J	Z	SZ	S	S	SV	V	V
Průměr	-4,8	-3,9	-3,3	-4,5	-4,2	-4,1	-4,1	-3,5	-3,7
Min	-18,1	-20,6	-15,7	-17,9	-17,7	-17,7	-17,4	-17,8	-17,9
Max	4,2	18,8	7,4	5,5	5,6	5,8	6,0	13,2	12,2
Max-Min	22,3	39,4	23,1	23,4	23,3	23,5	23,4	31,0	30,1

Z uvedených hodnot je zřejmé, že největšímu rozdílu teplot je vystavena jižní fasáda objektu s kontaktním zateplením (sonda S2-1). Při slunečném počasí se vlivem solární radiace ohřívá nejvýrazněji jižní fasáda. Na této fasádě se ovšem také projevuje nejvíce vliv sálání jasné noční oblohy, který způsobuje její ochlazení pod teplotu venkovního vzduchu.

Zajímavý je také rozdíl mezi povrchovými teplotami západní a východní fasády objektu. Západní odvětrávaná fasáda tvořená obkladem deskami Cetris vykazuje nejmenší rozdíl teplot na svém povrchu (měřeno na vnějším povrchu stěny pod fasádními deskami) v porovnání s východní odvětrávanou fasádou tvořenou smrkovým dřevěným obkladem. Obkladové desky Cetris s průměrnou objemovou hmotností  $1350 \text{ kg/m}^3$  v porovnání s dřevěným obkladem s objemovou hmotností cca  $440 \text{ kg/m}^3$  eliminují lépe výkyvy teplot v odvětrávané vzduchové mezeře během roku a tím mají vliv na nižší tepelné ztráty obvodové stěny v zimě a zároveň na nižší tepelné zisky v létě,

Pro podrobnější analýzu byly vytvořeny grafy s 9 denním průběhem teplot. Byly vybrány dny 4. – 12. 1. 2017 s jasnou i zataženou oblohou během dne i noci (obr. 1.14)



Obr. 1.14 Průběh venkovního vzduchu a vnějších povrchových teplot obvodových stěn na jednotlivých stranách objektu dne v lednu 2017

Na obr. 1.14 je znázorněn průběh vnějších povrchových teplot na jednotlivých stranách fasády během sledovaného období. Jasná obloha se slunečním zářením během dne dokáže ovlivnit nárůst povrchové teploty jižní stěny oproti teplotě venkovního vzduchu až o cca  $14 \text{ °C}$ . V noci při jasné obloze je kontaktně zateplená jižní fasáda vystavena účinkům sálání chladnější oblohy, což způsobuje pokles povrchové teploty stěny oproti teplotě vzduchu o cca  $2,5 \text{ °C}$  (v tomto případě). Vliv odvětrávané fasády na vnější povrchovou teplotu se projevuje v porovnání s kontaktně zateplenou fasádou nižšími výkyvy teplot během dne.



---

Nejméně výrazný výkyv teplot vykazuje západní odvětrávaná fasáda s obkladovými deskami Cetris.

Z následujících měření je možné odvodit dílčí závěry:

- Kontaktně zateplená jižní fasáda dosahuje během zimního období nejvyšších povrchových teplot při jasném slunečném počasí a zároveň nejnižších povrchových teplot při jasné noční obloze (důsledek sálání chladnější oblohy).
- Fasáda s odvětrávanou vzduchovou mezerou eliminuje velké výkyvy vnějších povrchových teplot obvodové stěny během dne a noci. Vliv na výkyvy teplot má i druh fasádního obkladu. Obklad deskami Cetris výrazněji ovlivňuje teplotu vzduchu v odvětrávané mezeře, než dřevěný obklad. Během dne snižuje vliv přehřívání a během noci snižuje vliv podchlazování vnějšího povrchu konstrukce.

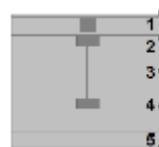
### 1.2.5 Průběh teplot uvnitř obvodových stěn v zimním období (leden 2017)

Velmi důležitou součástí monitorování teplotního chování stavebních konstrukcí je sledování průběhů teplot uvnitř obvodových konstrukcí během roku,

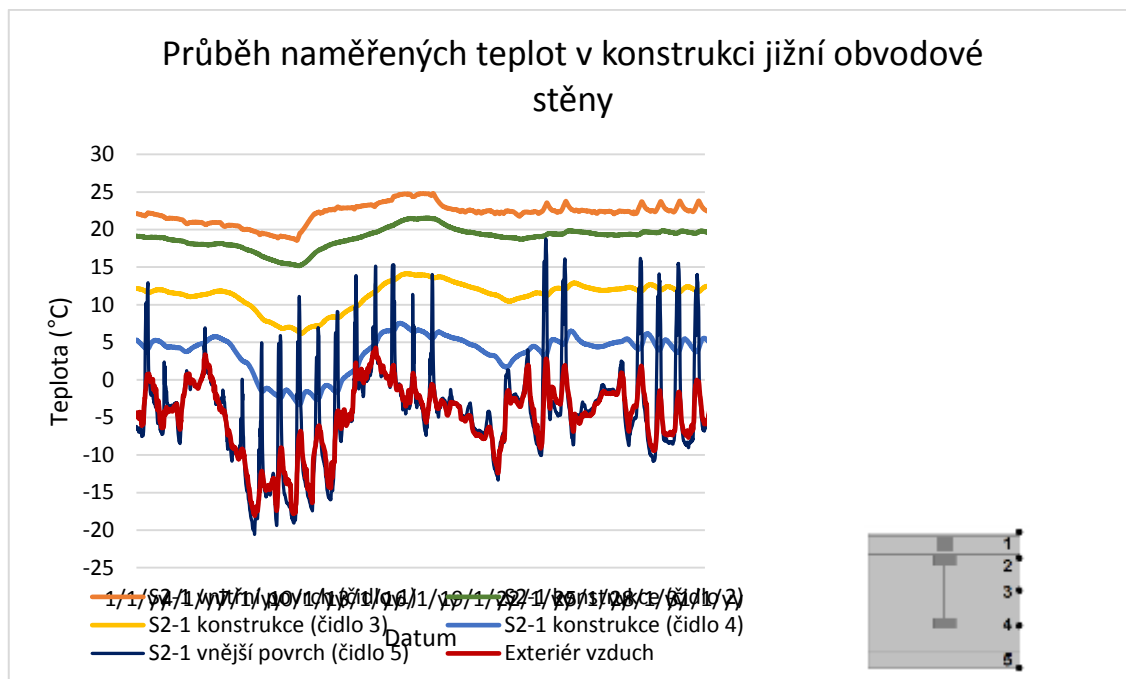
Na obr. 1.15 je znázorněn průběh teplot během měsíce ledna 2017 v sondě S2-1 orientované na jižní stranu a umístěné v ose mezi nosníky obvodové stěny s kontaktním zateplením. Jednotlivá čísla u křivek v legendě znázorňují průběhy teplot v měřeném místě příčného profilu obvodové stěny.

Naměřené průběhy teplot ukazují, jakým způsobem se konstrukce díky svým tepelně izolačním vlastnostem vyrovnává s rozdílem vnitřních a venkovních teplot v zimním období. Zatímco vnější povrch konstrukce (čidlo č. 5) je zatěžován velkým rozdílem povrchových teplot v průběhu měsíce ledna (od  $-20,5\text{ °C}$  do  $+18,8\text{ °C}$ ) a je zde patrný vliv solární radiace během dne a vliv sálání oblohy během noci, vnitřní vrstvy konstrukce včetně vnitřního povrchu vykazují velice malé výchylky v teplotách:

- čidlo č. 4 (od  $-3,3\text{ °C}$  do  $7,5\text{ °C}$ ),
- čidlo č. 3 (od  $6,2\text{ °C}$  do  $14,1\text{ °C}$ ),
- čidlo č. 2 (od  $15,2\text{ °C}$  do  $21,5\text{ °C}$ ),
- čidlo č. 1 (od  $18,5\text{ °C}$  do  $24,8\text{ °C}$ ).



Přičemž průběh vnitřní povrchové teploty konstrukce je ovlivněn vnitřní teplotou vzduchu a provozním režimem vytápění.



Obr. 1.15 Průběh naměřených teplot v konstrukci jižní obvodové stěny během měsíce ledna 2017

V tab. 1.5 jsou uvedeny pro srovnání naměřené teploty ve dvou vybraných teplotních sondách pro chladný zimní den 7. leden 2017.

Tab. 1.5 Průběhy teplot v teplotních sondách dne 7.1. 2017

Umístění čidel v jednotlivých sondách v obvodových stěnách	Čas <i>t</i> [hod]	Teplota venkovního vzduchu $\theta_e$ [°C]	Teploty v jednotlivých pozicích sondy					Teplota vnitřního vzduchu $\theta_{ai}$ [°C]
			5 [°C]	4 [°C]	3 [°C]	2 [°C]	1 [°C]	
Sonda S2-1 obvodová stěna_Jih								
	0:00	-15,7	-17,7	1,7	9,9	17,2	19,9	19,9
	3:00	-17,2	-19,7	1,0	9,6	17,1	19,8	19,9
	5:00	-17,8	-20,2	0,6	9,4	16,9	19,8	19,8
	9:00	-17,4	-18,4	-0,5	8,9	16,8	19,6	19,6
	13:00	-13,3	-5,5	-1,3	8,4	16,6	19,3	19,9
	16:00	-12,8	-11,0	-1,5	8,1	16,4	19,4	19,8
	19:00	-14,3	-14,8	-1,2	7,8	16,3	19,4	19,5
	23:00	-14,1	-14,1	-1,1	7,8	16,2	19,3	19,4
Sonda S2-7 obvodová stěna_Sever								
	0:00	-15,7	-15,3	-1,9	7,3	15,5	18,4	20,0
	3:00	-17,2	-16,9	-2,7	6,9	15,3	18,3	19,8
	6:00	-17,8	-17,5	-3,2	6,7	15,2	18,2	19,8
	9:00	-17,4	-16,8	-4,4	6,1	15,0	18,0	19,7
	13:00	-13,3	-9,0	-5,2	5,5	14,7	17,8	19,6
	16:00	-12,8	-9,8	-5,1	5,1	14,5	17,8	19,7
	19:00	-14,3	-13,4	-4,8	4,9	14,4	17,8	19,5
	23:00	-14,1	-13,5	-4,9	4,8	14,2	17,6	19,4

---

Z uvedených průběhů naměřených teplot v jednotlivých místech teplotních sond obvodové stěny během 24 hodin a z průměrných teplot v jednotlivých místech teplotních sond během celého měsíce ledna lze odvodit vliv různých faktorů na průběh teplot uvnitř konstrukce:

- vliv orientace na světové strany a vliv rozdílného typu fasády – projevuje se zejména ve vnější povrchové teplotě konstrukcí. Nejvíce ochlazována je během jasných nocí na vnějším povrchu jižní kontaktně zateplená stěna. Důvodem je vliv sálání chladné noční oblohy. Během dne se naopak projeví příznivý vliv solární radiace, který výrazně zvyšuje vnější povrchovou teplotu obvodového pláště. Vliv odvětrávané vzduchové mezery se na povrchové teploty konstrukcí projevuje nižšími teplotními výkyvy během dne a noci.
- vliv rozdílné skladby a tloušťky obvodové stěny v místě s kontaktním zateplením (sonda S2-1) a odvětrávanou vzduchovou mezerou (např. sonda S2 - 7): kontaktně zateplená stěna má tloušťku vnější tepelné izolace 140 mm, v případě odvětrávané mezery je to pouze 100 mm. Tento rozdíl má vliv na rozdílné teploty uvnitř obvodové stěny (teploty jsou v sondě S2-7 nižší v celém příčném profilu).
- vliv tepelného mostu v obvodové stěně – v místech dřevěného nosníku Steico wall se vliv tepelného mostu projevuje nižší vnitřní povrchovou teplotou i nižší teplotou v místě čidla č. 2.
- vliv tepelné vazby – v místě SZ rohu a SV rohu se vliv tepelné vazby projevuje zvýšeným prostupem tepla ve všech měřených bodech v porovnání se stěnou západní a severní nebo severní a východní.

### **1.2.6 Průběh relativních vlhkosti uvnitř obvodových stěn v zimním období**

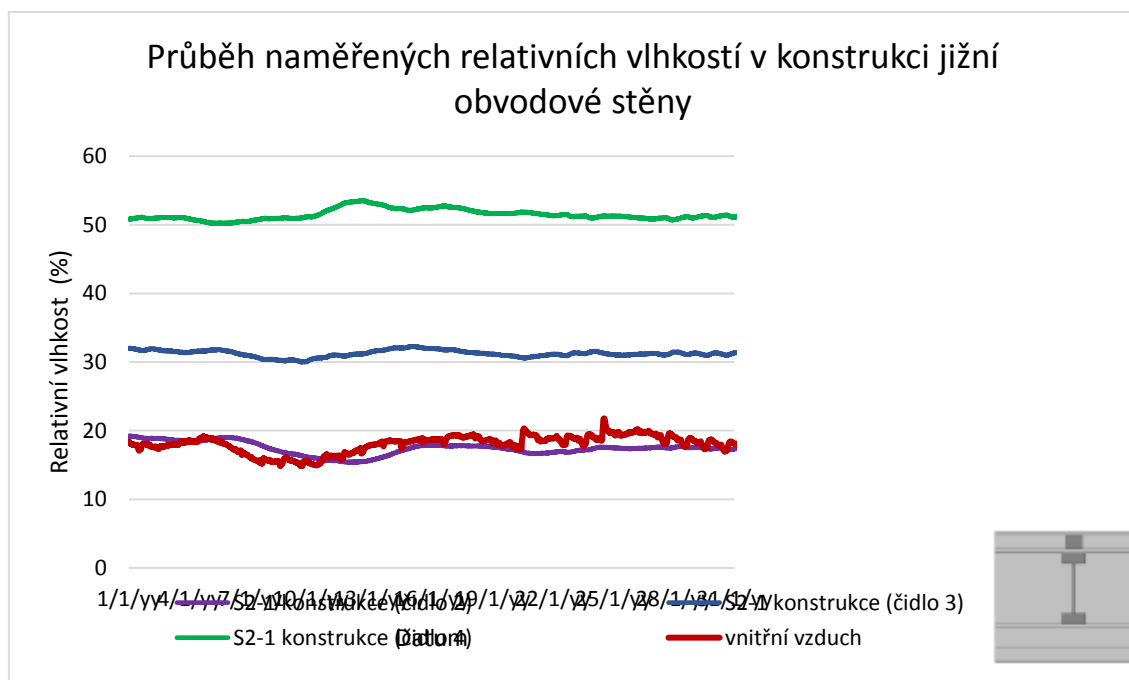
Průběh teplot přímo úměrně ovlivňuje průběh vlhkosti uvnitř konstrukcí. Vzhledem ke konstrukčnímu řešení obvodových stěn, které jsou navrženy jako difúzně otevřený systém, je zajímavé sledovat vlhkostní chování konstrukcí během roku.

V tab. 1.6 jsou uvedeny průměrné relativní vlhkosti naměřené uvnitř obvodových stěn v jednotlivých sondách během měsíce ledna 2017. Z uvedených hodnot je zřejmé, že v konstrukcích nenastal během nejchladnějšího měsíce v roce stav kondenzace vodní páry. Průběh kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce závisí materiálové skladbě konstrukce a na okrajových podmínkách vnitřního a vnějšího prostředí.

Na obr. 1.16 je znázorněn měsíční průběh relativních vlhkostí uvnitř obvodové stěny orientované na jižní stranu (sonda S2-1). Průběhy relativních vlhkostí jsou v jednotlivých měřicích místech konstrukce v průběhu měsíce ledna vyrovnané.

Tab. 1.6 Průměrné relativní vlhkosti v jednotlivých sondách obvodových stěn během měsíce ledna 2017

Označení teplotních sond v obvodových stěnách	Orientace stěny v místě sondy	Průměrná rel, vlhkost venkovního vzduchu	Průměrné relativní vlhkosti v jednotlivých pozicích sond					Průměrná rel, vlhkost vnitřního vzduchu
			$\varphi_e$ [%]	5 [%]	4 [%]	3 [%]	2 [%]	
S2-1	Jih	85,8	-	51,5	31,2	17,4	-	18,1
S2-3	Západ	85,8	-	54,5	30,9	18,5	-	18,1
S2-5	SZ roh	85,8	-	63,9	49,7	27,7	-	18,1
S2-6	Sever most	85,8	-	53,4	32,1	19,1	-	18,1
S2-7	Sever	85,8	-	57,4	32,7	18,4	-	18,1
S2-9	SV roh	85,8	-	65,1	46,5	28,6	-	18,1
S2-10	Východ most	85,8	-	55,2	33,3	21,5	-	18,1
S2-11	Východ	85,8	-	58,9	35,8	20,7	-	18,1

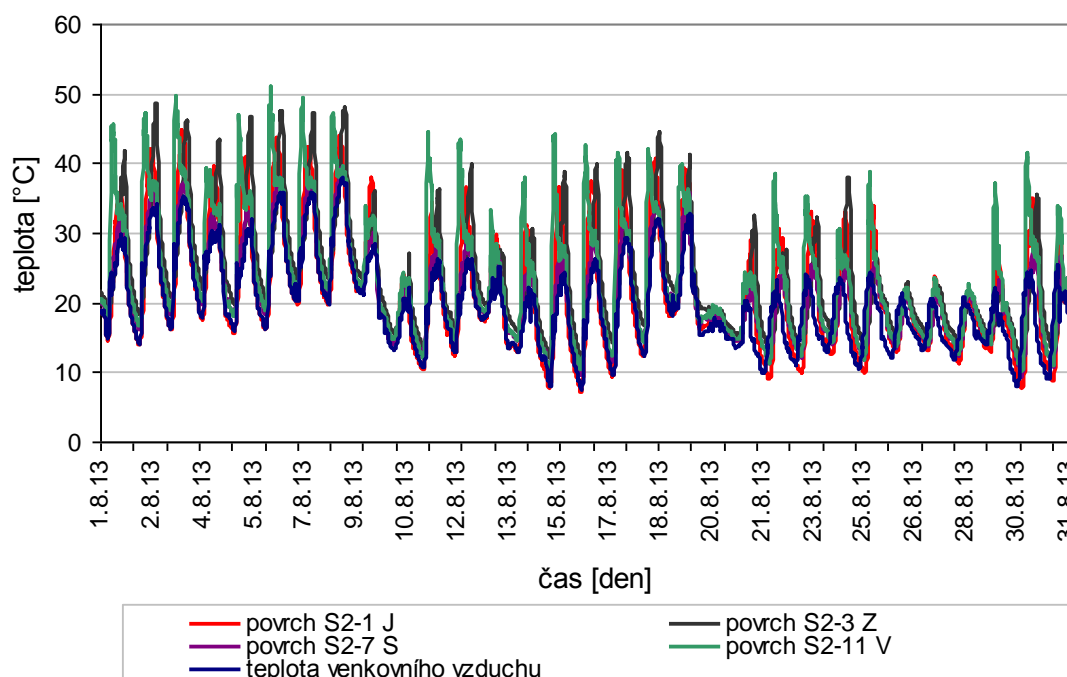


Obr. 1.16 Průběh naměřených relativních vlhkostí v konstrukci obvodové stěny s kontaktním zateplením - orientace jih (sonda S2-1)

Z uvedených průběhů je zřejmé, že za daných vnitřních a venkovních okrajových podmínek nedochází ke kondenzaci vodní páry uvnitř obvodových konstrukcí.

### 1.2.7 Průběh vnějších povrchových teplot v obvodových stěnách v letním období

Na obr. 1.17 jsou znázorněny celodenní průběhy vnějších povrchových teplot na obvodových stěnách objektu během měsíce srpna 2013 (nejteplejší letní měsíc). Z uvedených průběhů jsou zřetelné rozdíly povrchových teplot mezi jednotlivými stěnami s různou orientací ke světovým stranám, projevuje se zde vliv sluneční radiace, vliv sálání noční oblohy, vliv proudění vzduchu, vliv srážek a také vliv odlišného druhu fasády.



Obr. 1.17 Měsíční průběh vnějších povrchových teplot obvodových stěn objektu

V tab. 1.7 je znázorněno, jakým teplotám a jakému rozdílu teplot je vystavena fasáda objektu dřevostavby v průběhu letního období (měsíc srpen 2013).

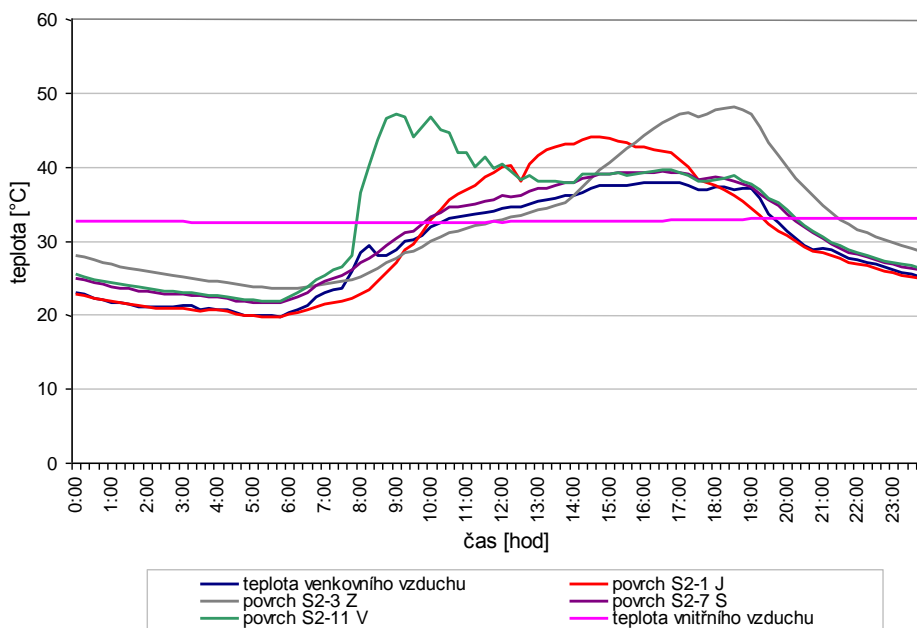
Tab. 1.7 Hodnoty povrchových teplot obvodových stěn během měsíce srpna 2013

Hodnoty teplot	Teploty venkovního vzduchu ve °C	Hodnoty povrchových teplot obvodových stěn během měsíce srpna 2013 ve °C v místech měřících sond							
		S2-1	S2-3	S2-5	S2-6	S2-7	S2-9	S2-10	S2-11
		J	Z	SZ	S	S	SV	V	V
Průměr	19,7	21,4	23,2	20,8	21,1	21,3	21,1	24,2	23,8
Min.	7,3	7,1	11,1	8,7	9,2	9,3	9,6	10	10
Max.	37,8	44,7	48,6	39,7	39,4	39,5	38,4	51,7	51,1
Min-Max	30,5	37,6	37,5	31,0	30,2	30,2	28,8	41,7	41,1

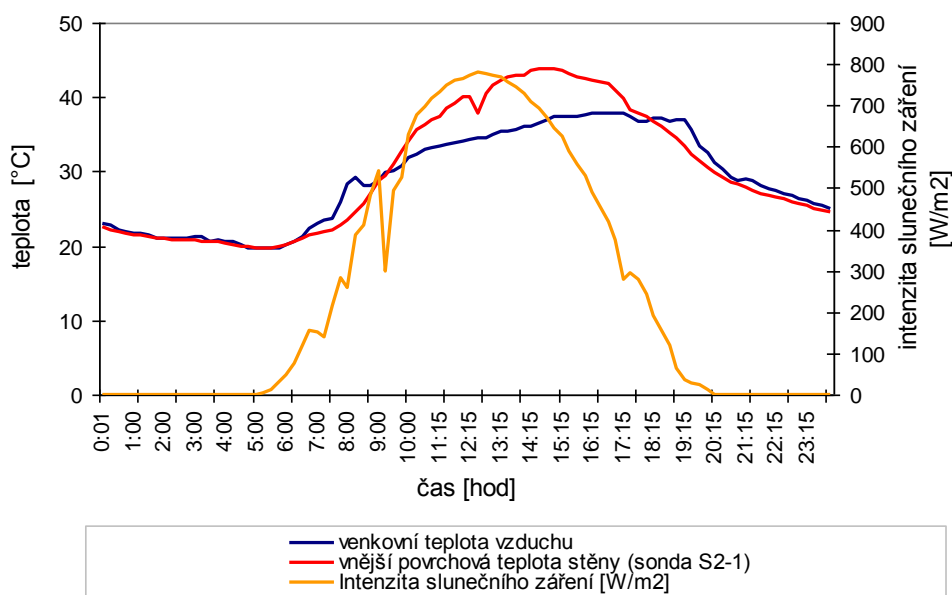
Z uvedených hodnot je zřejmé, že největšímu rozdílu teplot je vystavena východní fasáda objektu s odvětrávanou vzduchovou mezerou s dřevěným obkladem (sonda S2-10) a

západní fasáda s odvětrávanou vzduchovou mezerou s obkladem deskami Cetris (sonda S2-3). Západní fasáda je o něco lépe chráněna před přehříváním svým obkladem než východní fasáda. Jižní fasáda vykazuje nižší hodnoty povrchových teplot ve dne než východní a západní fasáda, v noci povrchová teplota vlivem sálání jasně chladnější oblohy ve svém minimu klesá až pod teplotu venkovního vzduchu.

Pro podrobnější analýzu byl vytvořen graf s 24 hodinovým průběhem povrchových teplot. Byl vybrán jeden z nejteplejších dnů v měsíci srpnu 2013, a to 8. srpen (obr. 1.18).



Obr. 1.18 Průběh venkovního vzduchu a vnějších povrchových teplot obvodových stěn na jednotlivých stranách objektu dne 8. 8. 2013 (jasná obloha)



Obr. 1.19 Průběh intenzity slunečního záření a venkovních teplot dne 8. srpna 2013

Na obr. 1.19 je znázorněn průběh intenzity vnější povrchové teploty na jižní fasádě objektu dne 8.8. 2013. Tato teplota je ovlivněna venkovní teplotou vzduchu a intenzitou slunečního záření. Další faktory ovlivňující povrchovou teplotu jsou emisivita povrchu a součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce, Časový posun mezi maximální hodnotou intenzity slunečního záření a maximální dosaženou vnější povrchovou teplotou je 2 hodiny.

V tab. 1.8 jsou znázorněny povrchové teploty a teplotní rozdíly na fasádě dřevostavby ve všech směrech v průběhu dne 8. srpna.

Tab. 1.8 Hodnoty povrchových teplot obvodových stěn během dne 8. srpna 2013

Hodnoty teplot	Teploty venkovního vzduchu ve °C	Hodnoty povrchových teplot obvodových stěn dne 8. srpna 2013 (jasná slunečná obloha) ve °C v místech měřících sond							
		S2-1	S2-3	S2-5	S2-6	S2-7	S2-9	S2-10	S2-11
		J	Z	SZ	S	S	SV	V	V
Průměr	29,1	30,1	32,5	30,3	30,3	30,5	30,5	32,9	32,7
Min.	19,6	19,7	23,5	20,8	21,2	21,5	21,7	21,8	21,8
Max.	37,8	43,9	48,0	39,7	39,4	39,5	38,4	47,7	47,1
Min-Max	18,2	24,2	24,5	18,9	18,2	18,0	16,7	25,9	25,3

Z výsledků obou grafů a tabulek lze odvodit dílčí závěry:

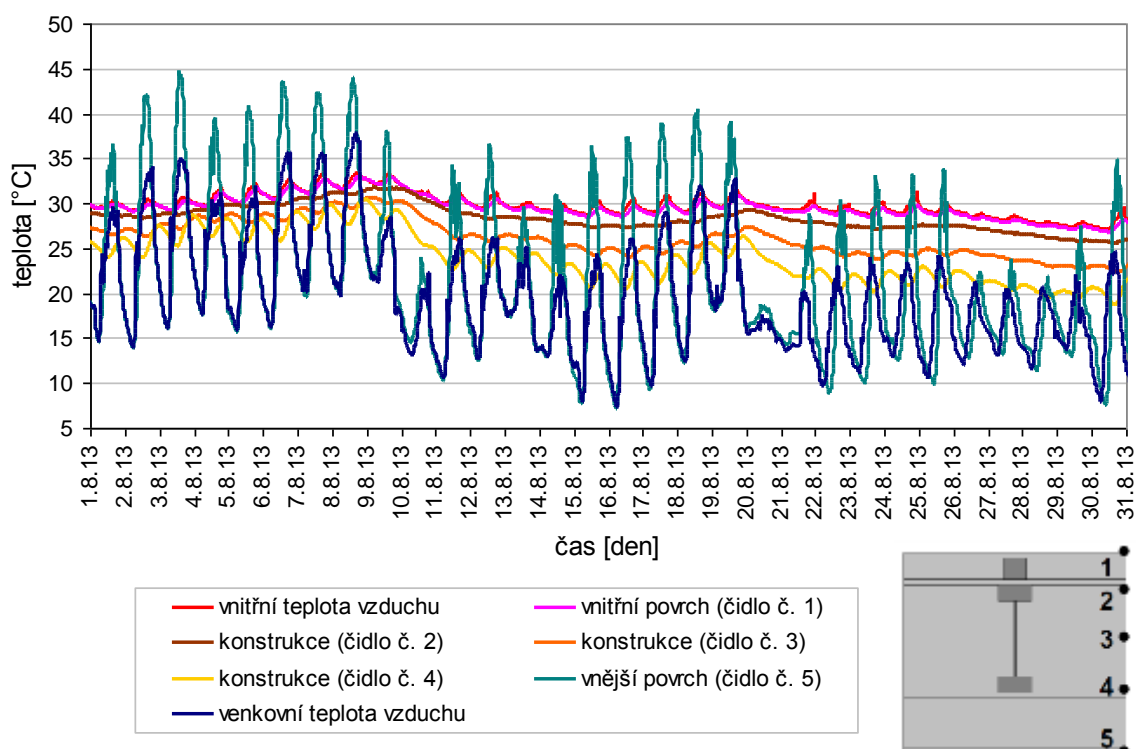
- Kontaktně zateplená jižní fasáda dosahuje během letního období povrchové teploty v průměru nižší než západní a východní fasáda s odvětrávanou vzduchovou mezerou,
- Fasáda s odvětrávanou vzduchovou mezerou na východní a západní straně objektu dosahuje nejvyšších rozdílů vnějších povrchových teplot obvodové stěny během dne a noci. Vliv na výkyvy teplot má i druh fasádního obkladu.

### 1.2.8 Průběh teplot uvnitř obvodových stěn v letním období

Na obr. 1.20 je znázorněn průběh teplot během měsíce srpna 2013 v sondě S2-1 orientované na jižní stranu a umístěné v ose mezi nosníky obvodové stěny s kontaktním zateplením. Jednotlivá čísla u křivek v legendě znázorňují průběhy teplot v měřeném místě příčného profilu obvodové stěny.

Naměřené průběhy teplot ukazují, jakým způsobem se konstrukce díky svým tepelně izolačním vlastnostem vyrovnává s tepelnou zátěží v letním období, Zatímco vnější povrch konstrukce je zatěžován velkým rozdílem povrchových teplot v průběhu měsíce srpna (od 44,7 °C do 7,1°C), vnitřní vrstvy konstrukce včetně povrchu vykazují velice malé výchylky v teplotách (32,9 °C až 26,8 °C).

Naměřené vyšší vnitřní teploty vzduchu byly ovlivněny provozním režimem, kdy v rámci zajištění stejných okrajových podmínek pro měření nebyl vnitřní prostor ochlazován větráním venkovního vzduchu v nočních hodinách ani nucenou výměnou vzduchu.



Obr. 1.20 Průběh naměřených teplot v konstrukci obvodové stěny s kontaktním zateplením - orientace Jih (sonda S2-1)

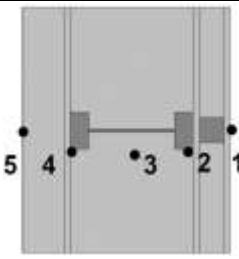
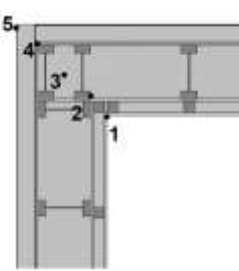
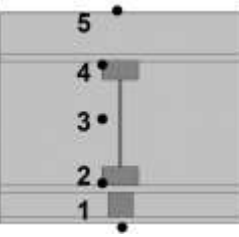
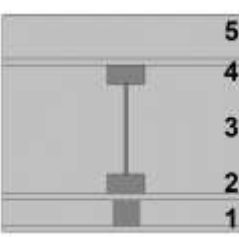
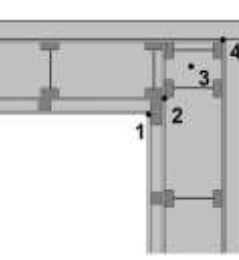
V tab. 1.9 jsou uvedeny pro srovnání naměřené hodinové teploty ve všech teplotních sondách pro vybraný letní den 8. srpen 2013 a v tab. 1.13 jsou uvedeny průměrné měsíční teploty ve všech teplotních sondách za celý měsíc srpen.

Tab. 1.9 Průběhy teplot v teplotních sondách dne 8.8. 2013

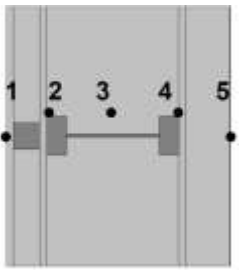
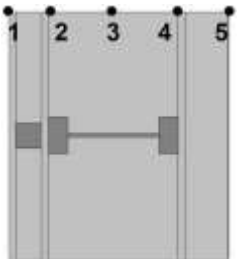
Umístění čidel v jednotlivých sondách v obvodových stěnách	Čas	Teplota venkovního vzduchu	Teploty v jednotlivých pozicích sondy					Teplota vnitřního vzduchu
	$t$ [hod]	$\theta_e$ [°C]	5 [°C]	4 [°C]	3 [°C]	2 [°C]	1 [°C]	$\theta_{ai}$ [°C]
Sonda S2-1 obvodová stěna_Jih								
	0:00	22,9	22,5	29,7	30,1	31,1	32,1	32,1
	5:00	19,8	19,7	28,8	30,0	31,1	31,7	31,7
	9:00	28,8	28,8	28,6	30,0	31,1	31,6	31,6
	12:00	34,3	40,1	27,6	29,5	31,0	31,8	32,4
	14:00	36,1	43,6	28,0	29,5	31,0	32,2	33,0
	16:00	37,6	42,2	28,7	29,6	31,1	32,6	33,3
	19:00	37,0	33,3	29,9	30,0	31,2	32,9	33,2
	23:00	26,4	25,3	30,4	30,5	31,4	32,7	32,8

Tab. 1.9 Průběhy teplot v teplotních sondách dne 8.8. 2013 – pokračování



Sonda S2-3 obvodová stěna_Západ								
	0:00	22,9	28,0	33,7	32,8	33,3	34,0	34,2
	5:00	19,8	23,8	31,6	32,9	33,4	33,8	34,1
	9:00	28,8	27,6	30,0	32,4	33,4	33,7	34,1
	12:00	34,3	32,9	29,6	32,1	33,3	33,8	34,2
	14:00	36,1	36,1	30,0	32,0	33,2	33,9	34,5
	16:00	37,6	44,2	30,9	32,0	33,3	34,3	34,8
	19:00	37,0	47,0	33,8	32,6	33,7	35,1	35,4
	23:00	26,4	29,6	35,8	34,0	34,3	35,0	35,1
Sonda S2-5 obvodová stěna_Severozápadní roh								
	0:00	22,9	24,6	30,4	29,5	31,1	33,2	34,2
	5:00	19,8	21,1	28,9	29,8	31,3	33,2	34,1
	9:00	28,8	30,2	27,8	29,6	31,4	33,2	34,1
	12:00	34,3	35,8	27,8	29,3	31,4	33,1	34,2
	14:00	36,1	37,7	28,2	29,2	31,4	33,1	34,5
	16:00	37,6	39,1	29,0	29,2	31,4	33,2	34,8
	19:00	37,0	37,6	30,4	29,5	31,4	33,4	35,4
	23:00	26,4	26,4	31,4	30,1	31,5	33,8	35,1
Sonda S2-6 obvodová stěna_Sever (tepelný most)								
	0:00	22,9	24,6	30,4	31,2	32,6	34,0	34,2
	5:00	19,8	21,4	29,7	31,4	32,8	33,9	34,1
	9:00	28,8	30,4	29,0	31,3	32,9	33,8	34,1
	12:00	34,3	35,8	29,0	31,1	32,8	33,7	34,2
	14:00	36,1	37,7	29,3	31,1	32,8	33,8	34,5
	16:00	37,6	39,0	29,8	31,1	32,8	34,0	34,8
	19:00	37,0	37,1	30,6	31,2	32,8	34,5	35,4
	23:00	26,4	26,6	31,2	31,7	33,1	34,8	35,1
Sonda S2-7 obvodová stěna_Sever								
	0:00	22,9	24,9	30,5	31,3	33,0	34,3	34,2
	5:00	19,8	21,7	29,4	31,2	33,1	34,1	34,1
	9:00	19,6	30,2	28,5	31,0	33,1	34,0	34,1
	12:00	34,3	36,0	28,5	30,8	33,0	34,0	34,2
	14:00	36,1	37,9	29,0	30,8	33,0	34,1	34,5
	16:00	37,6	39,2	29,7	30,9	33,0	34,3	34,8
	19:00	37,0	37,2	30,8	31,3	33,1	34,8	35,4
	23:00	26,4	26,8	31,4	31,8	33,4	35,1	35,1
Sonda S2-9 obvodová stěna_Severovýchodní roh								
	0:00	22,9	25,8	30,8	30,4	31,3	32,6	30,9
	5:00	19,8	21,9	29,3	30,6	31,5	32,5	30,5
	9:00	19,6	31,9	28,1	30,4	31,5	32,5	30,9
	12:00	34,3	36,1	28,9	30,1	31,5	33,0	31,4
	14:00	36,1	37,3	29,8	30,0	31,5	33,0	32,1
	16:00	37,6	38,3	30,5	30,1	31,5	33,0	32,1
	19:00	37,0	36,7	31,4	30,4	31,6	33,1	31,7
	23:00	26,4	26,6	31,6	30,9	31,7	33,0	31,6

Tab. 1.9 Průběhy teplot v teplotních sondách dne 8.8. 2013 – pokračování

Sonda S2-10 obvodová stěna_Východ (tepelný most)								
	0:00	22,9	25,5	32,9	32,4	32,4	32,9	30,9
	5:00	19,8	22,0	31,7	32,4	32,5	32,9	30,5
	9:00	19,6	47,7	30,7	32,0	32,4	32,9	30,9
	12:00	34,3	40,6	31,5	31,8	32,4	32,9	31,4
	14:00	36,1	38,0	32,2	31,8	32,4	33,0	32,1
	16:00	37,6	39,1	32,7	32,0	32,4	33,1	32,1
	19:00	37,0	37,8	33,2	32,3	32,5	33,3	31,7
	23:00	26,4	27,3	33,3	32,6	32,7	33,4	31,6
Sonda S2-11 obvodová stěna_Východ								
	0:00	22,9	25,4	33,1	32,4	32,2	32,6	30,9
	5:00	19,8	21,9	31,4	32,1	32,3	32,4	30,5
	9:00	19,6	47,1	30,3	31,6	32,2	32,4	30,9
	12:00	34,3	40,3	31,3	31,5	32,1	32,5	31,4
	14:00	36,1	37,9	32,3	31,7	32,1	32,6	32,1
	16:00	37,6	39,1	32,9	32,0	32,1	32,7	32,1
	19:00	37,0	37,7	33,4	32,3	32,2	32,9	31,7
	23:00	26,4	27,0	33,6	32,7	32,4	33,0	31,6

Tab. 1.10 Průměrné teploty v teplotních sondách v obvodových stěnách během měsíce srpna 2013

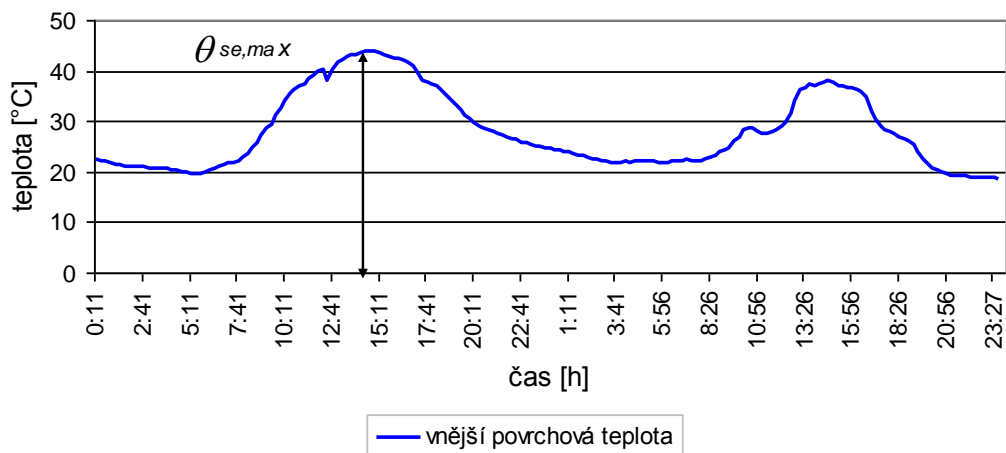
Označení teplotních sond v obvodových stěnách	Orientace stěny v místě sondy	Průměrná teplota venkovního vzduchu	Průměrné teploty v jednotlivých pozicích sond					Průměrná teplota vnitřního vzduchu		
			$\theta_e$	5	4	3	2		1	$\theta_{ai}$
			[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]		[°C]	[°C]
S2-1	Jih	19,7	21,4	23,8	26,0	28,3	29,5	29,7		
S2-3	Západ	19,7	23,2	26,0	29,6	32,3	33,5	34,0		
S2-5	SZ roh	19,7	20,8	22,5	24,4	28,8	32,4	34,0		
S2-6	Sever most	19,7	21,1	24,6	28,2	31,4	33,3	34,0		
S2-7	Sever	19,7	21,3	24,0	27,7	31,8	33,7	34,0		
S2-9	SV roh	19,7	21,1	23,3	25,2	27,8	29,7	30,3		
S2-10	Východ most	19,7	24,2	26,1	27,7	29,2	30,2	30,3		
S2-11	Východ	19,7	23,8	25,7	27,2	28,8	29,6	30,3		

Z uvedených průběhů naměřených teplot v jednotlivých místech teplotních sond obvodové stěny během 24 hodin a z průměrných teplot v jednotlivých místech teplotních sond během celého měsíce srpna (tab. 1.10) lze odvodit vliv různých faktorů na průběh teplot uvnitř konstrukce:

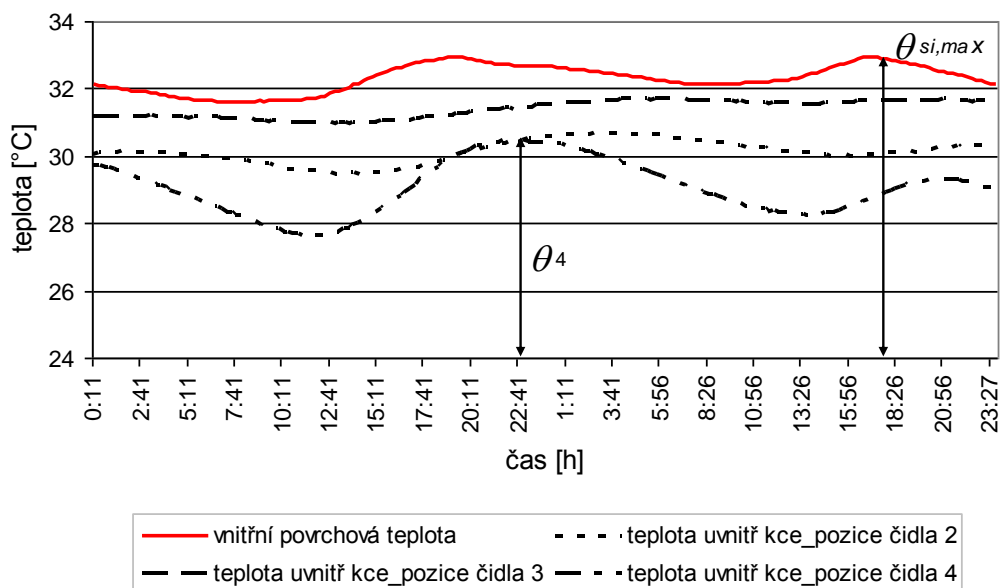
- vliv orientace na světové strany a vliv rozdílného typu fasády – projevuje se zejména ve vnější povrchové teplotě konstrukcí. Největšímu rozdílu teplot je vystavena východní fasáda objektu s odvětrávanou vzduchovou mezerou s dřevěným obkladem (sonda S2-10) a západní fasáda s odvětrávanou vzduchovou mezerou s obkladem deskami Cetriz (sonda S2-3). Přičemž obkladové desky Cetriz lépe eliminují přehřívání než dřevěný obklad.

- vliv tepelného mostu v obvodové stěně – v místě sondy S2-6 (sever) se vliv tepelného mostu projevuje nižší vnitřní povrchovou teplotou a nižší teplotou v místě čidla č. 2 a vyšší teplotou v místě čidel č. 3, 4 a 5 než je tomu v místě sondy S2-7 (měřeno v ose mezi stěnovými nosníky), V případě sondy S2-10 (východ) je v místě tepelného mostu naměřena vyšší teplota ve všech měřených pozicích než je tomu v místě sondy S2-11(měřeno v ose mezi stěnovými nosníky).

Na obr. 1.21 a 1.22 je znázorněn průběh teplot na povrchu a uvnitř konstrukce obvodové stěny v místě sondy S2-1 (jižní strana) v průběhu dvou nejteplejších dní v měsíci srpnu 2013 (8.8., 9.8.) s ohledem na časový posun dosažení maximálních teplot od vnějšího povrchu až na vnitřní povrch konstrukce.



Obr. 1.21 Průběh vnějších povrchových teplot v sondě S2-1 (jih) během 8.8. – 9.8. 2013

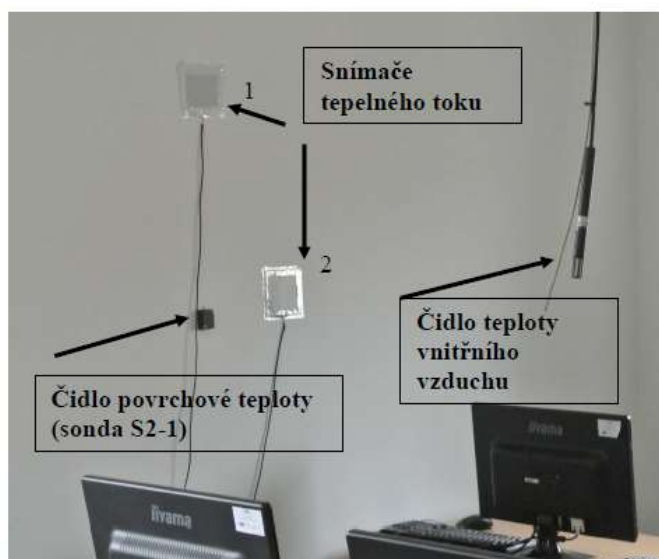


Obr. 1.22 Průběh vnitřních teplot v sondě S2-1 (jih) během 8.8. – 9.8. 2013

### 1.2.9 Analýza výsledků měření hustoty tepelného toku obvodovou stěnou

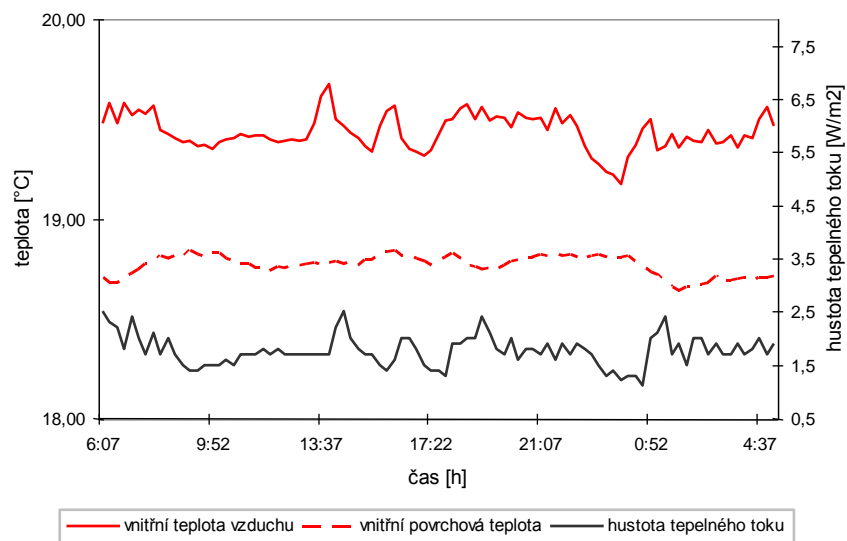
Prostup tepla obvodovou konstrukcí dřevostavby je další oblastí výzkumu prováděném na experimentálním objektu. Měřicí vybavení není součástí monitorovacího zařízení zaznamenávající dlouhodobě teplotní a vlhkostní parametry stavebních konstrukcí v objektu. Počet naměřených dat hustoty tepelného toku zatím není dostatečný k tomu, aby bylo možné odvodit závěry pro prostup tepla pro celou obvodovou stěnu. Proto v této zprávě jsou zmíněny pouze výsledky dosažené měřením lokální hustoty tepelného toku na obvodové stěně kontaktně zateplené s orientací Jih.

Na obr. 1.23 je ukázka připevnění čidel hustoty tepelného toku na vnitřní povrch obvodové stěny dřevostavby. Čidla jsou umístěna ve dvou pozicích a umožňují měření lokálního tepelného toku v daných místech. Výše umístěné čidlo hustoty tepelného toku (č. 1) je umístěno v ose stěnového dřevěného panelu mezi nosíky, stejně jako čidlo povrchové teploty v místě sondy S2-1. Druhé čidlo hustoty tepelného toku (č. 2) je umístěno v blízkosti (ne v jeho ose) tepelného mostu vytvářeného dřevěným sloupkem v dřevěném panelu, Pro účely této zprávy je analyzována pouze lokální hustota tepelného toku v místě osy stěnového panelu (č. 1).



Obr. 1.23 Umístění čidel pro měření hustoty tepelného toku

Současně s měřením hustoty tepelného toku jsou zaznamenávány další veličiny: vnější povrchová teplota, teplota vnitřního vzduchu ve vnitřním prostředí, vnější povrchová teplota konstrukce a teplota venkovního vzduchu. Všechny tyto veličiny ovlivňují přestup tepla z vnitřního prostředí do konstrukce, prostup tepla konstrukcí a také přestup z vnější strany konstrukce do venkovního prostředí. Na základě naměřených všech veličin je možné orientačně odvodit součinitel prostupu tepla v měřeném místě stavební konstrukce. V tab. 1.11 a na obr. 1.24 je znázorněn průběh naměřených hodnot hustoty tepelného toku na vnitřním povrchu konstrukce a dalších měřených veličin ve dvou vybraných zimních dnech s nejvýraznějším poklesem venkovní teploty vzduchu (26. – 27. 1. 2013).



Obr. 1.24 Průběh hustoty tepelného toku na vnitřním povrchu ve dnech 26. – 27. 1. 2013

Tab. 1.11 Měřené veličiny hustoty tepelného toku obvodovou stěnou dne 26.- 27.1.2013

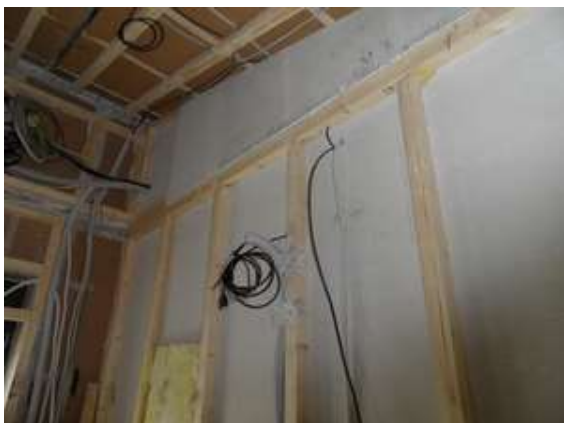
Měřené veličiny	Vnější povrchová teplota	Venkovní teplota vzduchu	Hustota tepelného toku	Vnitřní teplota vzduchu	Vnitřní povrchová teplota
čas [hod]	$\theta_{se}$ [°C]	$\theta_e$ [°C]	$q$ [W/m <sup>2</sup> ]	$\theta_i$ [°C]	$\theta_{si}$ [°C]
6:07	-7,3	-7,7	2,5	19,5	18,7
8:07	-7,3	-7,7	1,7	19,4	18,8
9:07	-7,4	-7,5	1,4	19,4	18,8
10:07	-7,0	-6,4	1,5	19,4	18,8
12:07	-4,1	-5,8	1,8	19,4	18,8
13:07	-3,4	-5,3	1,7	19,4	18,8
14:07	-3,2	-4,7	2,2	19,5	18,8
15:07	-3,2	-5,6	1,7	19,4	18,8
16:07	-4,0	-6,2	1,6	19,6	18,8
17:07	-5,4	-7,7	1,5	19,3	18,8
18:07	-7,6	-9,4	1,9	19,5	18,8
19:07	-9,8	-10,9	2,4	19,6	18,7
20:07	-11,3	-11,8	2	19,5	18,8
21:07	-12,3	-12,6	1,7	19,5	18,8
22:07	-12,9	-13,1	1,7	19,5	18,8
23:07	-13,4	-12,4	1,5	19,3	18,8
1:07	-13,8	-12,6	2,1	19,3	18,7
2:07	-13,0	-11,3	1,5	19,4	18,7
3:07	-11,7	-10,3	1,9	19,4	18,7
4:07	-10,6	-9,8	1,7	19,4	18,7
5:07	-10,1	-9,4	1,9	19,5	18,7
<b>průměr</b>	<b>-8,7</b>	<b>-9,2</b>	<b>1,8</b>	<b>19,4</b>	<b>18,8</b>

Z tab. 1.11 vyplývá výsledná průměrná hustota tepelného toku měřeného pouze lokálně v jednom místě konstrukce obvodové stěny (mimo tepelný most), která má hodnotu  $q = 1,8 \text{ W/m}^2$ . Zcela orientačně pro naměřené okrajové podmínky je možné odvodit součinitel prostupu tepla obvodové stěny  $U$  ve  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  na základě naměřených průměrných hodnot dle rovnice:

$$q = \frac{\theta_i - \theta_e}{R_T} = U \cdot (\theta_i - \theta_e) \Rightarrow U = \frac{q}{(\theta_i - \theta_e)} = \frac{1,8}{19,4 + 9,2} = 0,06 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

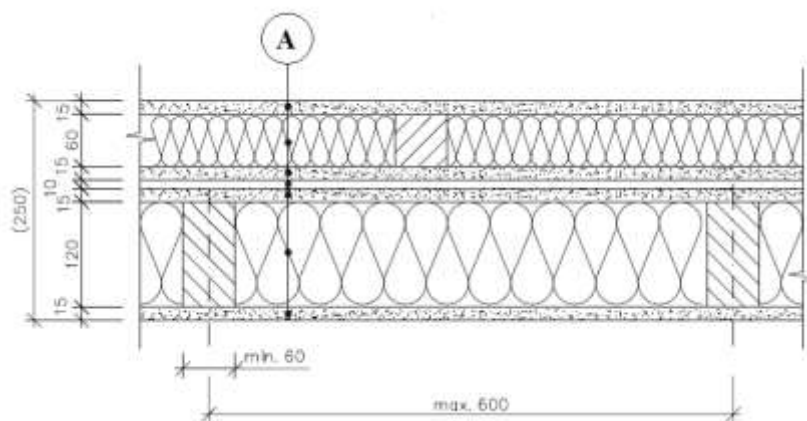
### 1.2.10 Analýza výsledků měření akustických vlastností dělicích příček

Pro zjištění akustických vlastností dělicí konstrukce byla zvolena diagnostika nedestruktivní metodou, spočívající ve zjištění parametru vzduchové neprůzvučnosti výpočtem (laboratorní hodnota  $R_w$ ) a následné porovnání s měřením přímo na místě (stavební hodnota  $R'w$ ) aparaturou od firmy Brüel & Kjær. Měření a hodnocení provedli doktorandi Fakulty stavební VŠB-TU Ostrava – Ing. Jiří Winkler, Ing. Naďa Zdražilová a Ing. Pavel Oravec, Ph.D.



Obr. 1.25 - Měřená dělicí konstrukce v průběhu výstavby Obr. 1.26 - Posuzovaná dělicí příčka

Vzduchová neprůzvučnost - jedná se o přenos zvuku vzduchem prostřednictvím konstrukce z jedné místnosti (vysílací neboli zdrojové) do sousední místnosti (chráněné). Vzduchová neprůzvučnost konstrukcí závisí zejména na jejich plošné hmotnosti, ohybové tuhosti stěn, pohltivé výplni mezery a její tloušťce a vzájemném mechanickém spojení stěn s ostatními konstrukcemi. Akustickou kvalitu stěn dále ovlivňují instalační rozvody a jejich implementace do konstrukce.



Obr.

měřené dělicí konstrukce

1.27 Řez

Skladba měřené dělicí konstrukce (Obr. 1.27):

- Gypsum fibreboard	(1150 kg/m <sup>3</sup> )	15 mm
- Frame structure (440 kg/m <sup>3</sup> ) + Glass silk insulated (16 kg/m <sup>3</sup> )		60 mm
- Gypsum fibreboard	(1150 kg/m <sup>3</sup> )	15 mm
- Air gap (-)		10 mm
- Gypsum fibreboard	(1150 kg/m <sup>3</sup> )	15 mm
- Frame structure (440 kg/m <sup>3</sup> ) + Glass silk insulated (40 kg/m <sup>3</sup> )		120 mm
- Gypsum fibreboard	(1150 kg/m <sup>3</sup> )	15 mm

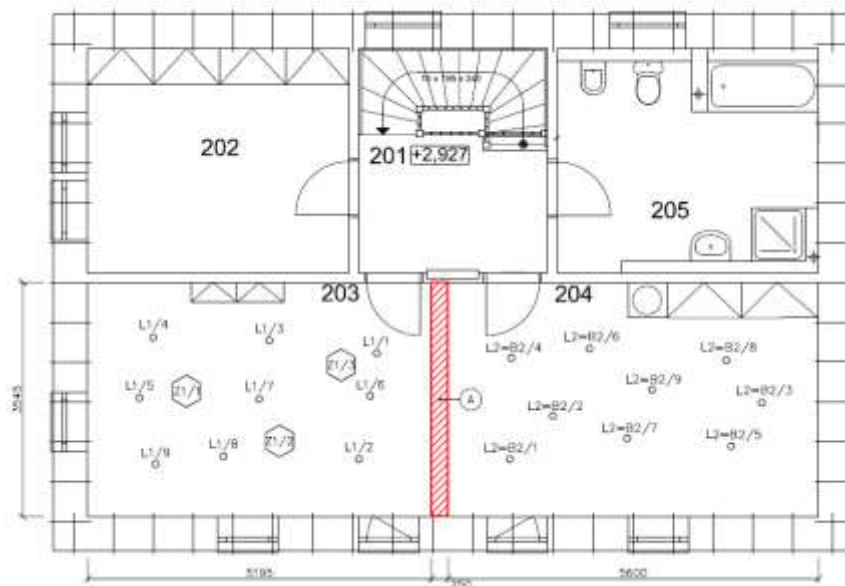
Výpočet laboratorní hodnoty vzduchové neprůzvučnosti  $R_w$  (dB) řešené dělicí konstrukce byl proveden pomocí programu NEPrůzvučnost 2011. Metodika výpočtu umožňuje zohlednit boční cesty šíření zvuku a vedení instalací v dělicí stěně pouze odečtem korekcí od vypočítané laboratorní hodnoty. Omezení programu spočívá v možnosti vložení maximálně pěti dílčích vrstev dané složené konstrukce. Proto byla skladba při zadávání do programu upravena a některé vrstvy o shodných objemových hmotnostech sloučeny.

Výsledná hodnota vzduchové neprůzvučnosti skladby byla stanovena výpočtem na  $R_w = 40$  dB. Po odečtení korekcí na boční cesty šíření hluku by výsledná hodnota byla  $R'_w = R_w - k = 40 - 4 = 36$  dB.

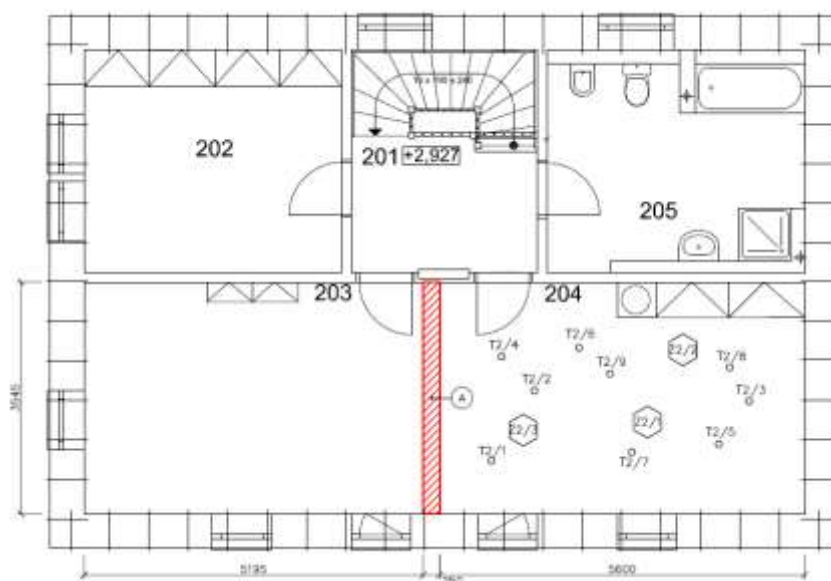
Postup měření stavební vzduchové neprůzvučnosti  $R'_w$  byl proveden dle normy ČSN EN ISO 140 - 4 Akustika - Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách - Část 4: Měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi v budovách. Požadavky pro polohy mikrofonů a všesměrného zdroje zvuku byly dodrženy následovně: 0,7 m mezi dvěma polohami mikrofonu, 0,5 m mezi polohou mikrofonu a obvodovými stěnami místnosti a 1,0 m mezi polohou mikrofonu a zdrojem zvuku.

Byla provedena dvě samostatná měření. Pro první měření byla zvolena vysílací místnost 203 a přijímací místnost 204. Ve druhém měření byla vysílací místnost 204 a přijímací místnost 203. Důvodem bylo porovnání výsledků měření z obou stran dělicí konstrukce

proto, že se vysílací a přijímací místnost mohou střídat dle závislosti na využívání obou místností během provozu budovy.



Obr. 1.28 - Schéma poloh mikrofonu a zdroje pro měření parametrů L1, L2, B2



Obr. 1.29 Schéma poloh mikrofonu a zdroje pro měření parametru T2



Obr. 1.28 a 1.29 znázorňují polohy mikrofону a zdroje v přijímací a vysílací místnosti během měření. Jednotlivé polohy pro:

- snímání hladiny hluku ve vysílací místnosti: L1/1 až L1/9,
- všesměrový zdroj zvuku: Z1/1 až Z1/3,
- snímání hladiny hluku v přijímací místnosti a pro snímání hladiny hluku pozadí: L2=B2/1 až L2=B2/9,
- snímání doby dozvuku v přijímací místnosti: T2/1 až T2/9,
- všesměrový zdroj zvuku pro snímání doby dozvuku v přijímací místnosti: Z2/1 až Z2/3.

Hodnocení bylo provedeno dle normy ČSN EN ISO 717 Akustika - Hodnocení zvukové izolace stavebních konstrukcí v budovách - Část 1: Vzduchová neprůzvučnost.

### Vyhodnocení výsledků měření

V prvním měření byla dosažena hodnota stavební vzduchové neprůzvučnosti  $R'w = 36$  dB. Ve druhém inverzním měření bylo zjištěno  $R'w = 37$  dB. Výsledek oboustranného měření je srovnatelný, což dokazuje i výsledný průběh znázorňující dobré tlumicí schopnosti na kmitočtech od 1000 Hz (obr. 1.30 a obr. 1.31).

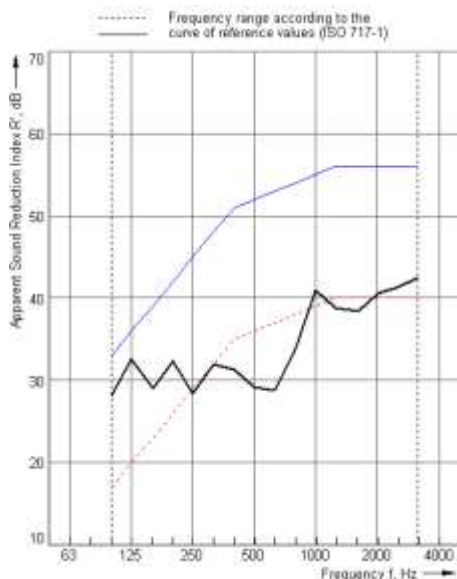
Podle požadavků normy ČSN 73 0532 (tabulka 1.12) je konstrukce pro výstavbu dělicí stěny ve výukovém prostředí oddělující chráněnou místnost z akustického hlediska hodnocena jako vhodná, pokud dosáhne parametru  $R'w \geq 47$  dB.

Tabulka 1.12 - Srovnání normového požadavku vzduchové neprůzvučnosti ( $R'w$ , N) se stavební neprůzvučnosti dělicí konstrukce ( $R'w$ )

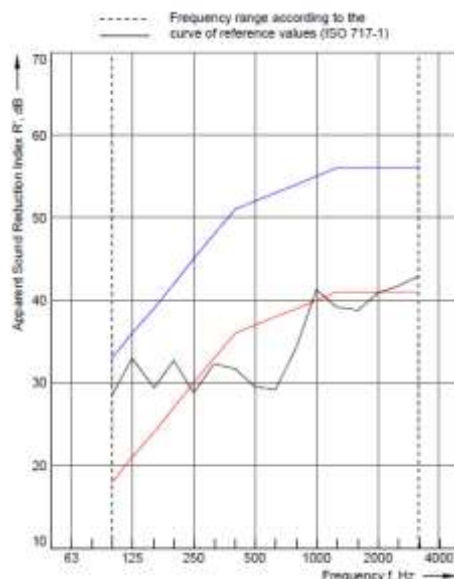
Chráněný prostor (místnost příjmu zvuku)				
Hlučný prostor (místnosti zdroje zvuku)		Požadavek	Naměřená	
		ČSN 73 0532 $R'_{w,N}$ (dB)	neprůzvučnost $R'w$ (dB)	
		Stěny	Dělicí stěna	
Školská zařízení			Měření č. 1	Měření č. 2
1	učebny	47	36	37

Řešená zdvojená stěna je z pohledu konstrukčních zvyklostí obdobných staveb nadstandardní, neboť obsahuje dvě vzájemně akusticky oddělené a samostatně kmitající části. Při výstavbě bylo pečlivě hlídáno rovněž napojení stěny pro zamezení bočních cest šíření zvuku. Sníženou výslednou hodnotu neprůzvučnosti lze zdůvodnit velkým množstvím elektroinstalačních vedení a souvisejících prostupů, které jsou v konstrukcích zabudována.

V případě návrhu pasivního domu s inteligentními prvky řízení a regulace je nezbytné eliminovat take zvýšené úniky zvuku šířeného vzduchem přes stavební konstrukce.



Obr. 1.30 - Výsledný průběh měření č. 1



Obr. 1.31 - Výsledný průběh měření č. 2

## 2 ROZBOR A POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ TEORETICKÝCH ANALÝZ A EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ

Cílem výzkumné zprávy je porovnání výsledků provedených teoretických a experimentálních analýz teplotního pole za účelem ověření vhodnosti použité teoretické predikce tepelného chování lehkých stavebních konstrukcí.

Porovnání výsledků bylo provedeno na obvodové stěně experimentální pasivní dřevostavby.

### 2.1 Analýza výsledků měření a výpočtů teplotního pole v obvodové stěně dřevostavby v zimním období

V tab. 2.1 jsou uvedeny výsledky experimentálního měření a teoretického výpočtu teplot na povrchu a uvnitř konstrukce obvodové stěny dřevostavby s orientací na jižní stranu. Výsledky experimentálního měření teplot za 24 hodin byly zvoleny pro vybraný zimní den 26.1. 2013, kdy venkovní teploty vzduchu dosahovaly v noci nízkých teplot blízkých se teplotám normovým.

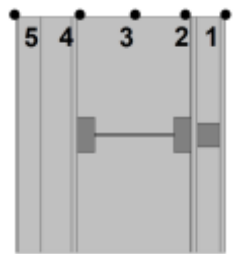
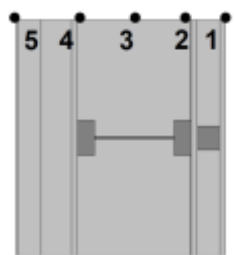
Výsledky teoretického řešení teplotního pole byly získány numerickým výpočtem pomocí programu ANSYS. Analýza výpočtu byla řešena jako dvourozměrná stacionární a nestacionární úloha. Nestacionární úloha vyžaduje zadání času a časového kroku. Pro výpočet byl použit minimální časový krok 100 s a maximální časový krok shodný s časovým krokem měření (3600 s). Celková délka hodnoceného časového úseku byla zvolena 24 hodin.

Počáteční podmínka výpočtu, která popisuje rozložení teploty v tělese na počátku děje v čase  $t_0$ , byla do výpočtu pro zimní období nejdříve nastavena pomocí simulačního výpočtu teplotního pole za stacionárních podmínek ( $\theta_{se} = -5,1 \text{ °C}$ ,  $\theta_{si} = 18,8 \text{ °C}$ ) a tento stav byl dále použit jako počáteční podmínka pro nestacionární výpočet. Počáteční podmínka rozložení teplotního pole byla ověřována simulačními výpočty, aby počáteční teplotní stav konstrukce v čase  $t_0$  odpovídal skutečným naměřeným teplotám.

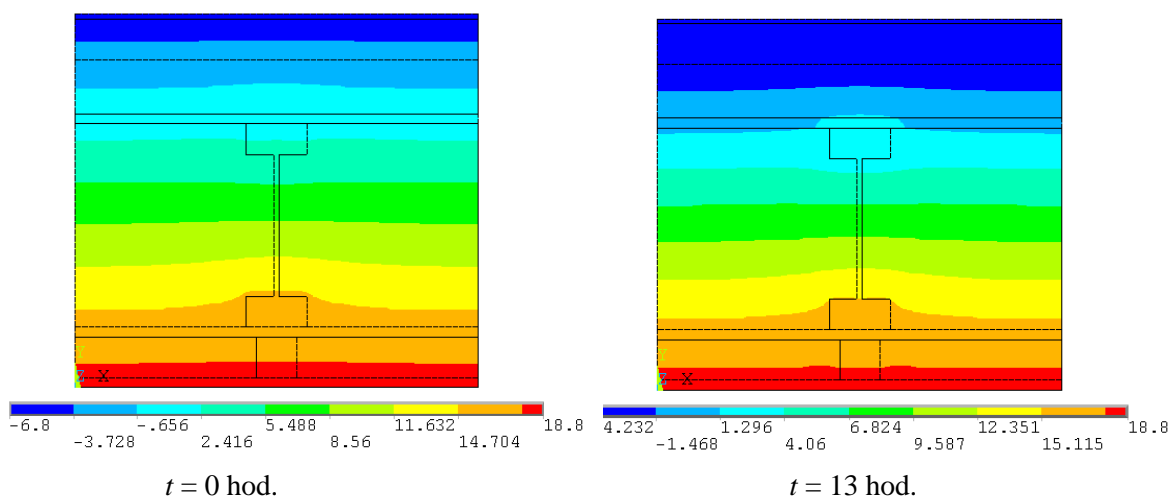
Na vytvořeném modelu konstrukce byly pro nestacionární výpočet nastaveny okrajové podmínky na základě reálně naměřených hodnot. Okrajové podmínky nestacionárního výpočtu pro zimní období byly definovány pro vnější stranu konstrukce pomocí podmínky 1. druhu Dirichletovy - vnější povrchové teploty konstrukce byly dosazeny z reálných naměřených hodinových hodnot v časovém úseku 24 hod dne 26.1. 2013. Pro vnitřní stranu konstrukce byla nastavena okrajová podmínka 1. druhu Dirichletova – průměrná vnitřní povrchová teplota konstrukce  $\theta_{sim} = 18,8 \text{ °C}$ , která byla uvažována konstantní v celém časovém úseku 24 hodin.

V tab. 2.1 jsou uvedeny naměřené a teoreticky stanovené teploty uvnitř obvodové stěny v jednotlivých měřicích pozicích sondy ve vybraných časových krocích.

Tab. 5.1 Průběhy teplot v obvodové stěně

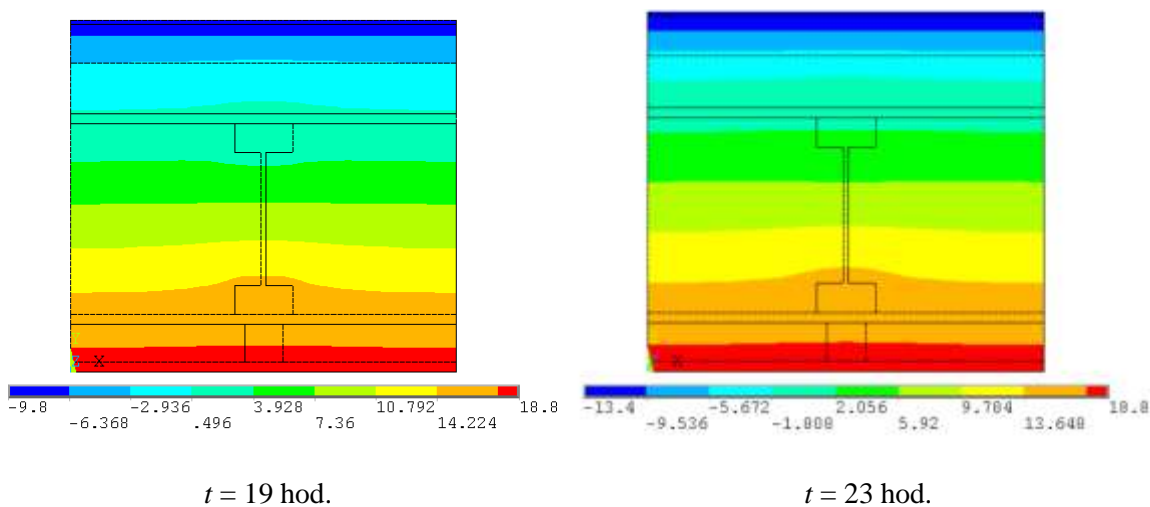
Umístění čidel v jednotlivých sondách v obvodových stěnách	Čas	Teploty v jednotlivých pozicích sondy ve °C				
	$t$ (hod)	5 $\theta_{se}$	4	3	2	1 $\theta_{si}$
Výsledky experimentálního měření						
	0:00	-6,8	1,3	8,5	15,6	18,8
	3:00	-7,1	1,3	8,5	15,6	18,8
	6:00	-7,3	1,2	8,4	15,6	18,7
	9:00	-7,4	1,1	8,4	15,6	18,8
	13:00	-3,4	1,0	8,4	15,6	18,8
	16:00	-4,0	1,0	8,3	15,6	18,8
	19:00	-9,8	1,2	8,3	15,6	18,7
	23:00	-13,4	1,2	8,4	15,6	18,8
Výsledky výpočtu programem ANSYS						
	0:00	-6,8	1,1	8,6	15,9	18,8
	3:00	-7,1	1,1	8,6	15,9	18,8
	6:00	-7,3	1,1	8,6	15,9	18,8
	9:00	-7,4	1,0	8,6	15,9	18,8
	13:00	-3,4	0,8	8,6	15,9	18,8
	16:00	-4,0	0,8	8,5	15,9	18,8
	19:00	-9,8	0,8	8,5	15,9	18,8
	23:00	-13,4	0,8	8,5	15,9	18,8

Na obr. 2.1 a 2.2 jsou uvedeny grafické výstupy z programu ANSYS rozložení teplotního pole uvnitř konstrukce obvodové stěny ve vybraných časových krocích.



Obr. 2.1 Teplotní pole v konstrukci obvodové stěny v časovém kroku  $t = 0$  hod. a  $t = 13$  hod.

Na základě porovnání teoretických a experimentálně naměřených hodnot lze konstatovat odpovídající shodu výsledků. Použitá numerická metoda je vhodným nástrojem pro stanovení průběhu teplotního pole uvnitř konstrukcí za nestacionárních podmínek.



Obr. 2.2 Teplotní pole v konstrukci obvodové stěny v časovém kroku  $t = 19$  hod. a  $t = 23$  hod.

## 2.2 Analýza výsledků měření a výpočtu tepelného toku v obvodové stěně dřevostavby v zimním období

Experimentální měření hustoty tepelného toku probíhá na obvodové stěně pouze lokálně (v místě měřicího čidla umístěného v ose mezi sloupky), proto nelze na základě měření vyhodnotit množství tepelného toku prostupujícího celým charakteristickým výsekem stěny. Toto hodnocení je možné provést teoretickým numerickým výpočtem.

V tab. 2.2 jsou uvedeny pro srovnání výsledky výpočtu tepelného toku a hustoty tepelného toku provedené pomocí programu ANSYS pro normové okrajové podmínky a pro okrajové podmínky stanovené z průměrných hodnot z naměřených veličin.

Analýza výpočtu byla řešena jako dvourozměrná stacionární úloha. Okrajové podmínky výpočtu byly zvoleny III. druhu Newtonovy s odpovídajícími normovými hodnotami pro daný typ výpočtu:

### 1) Normové okrajové podmínky:

Vnitřní okrajové podmínky:  $\theta_{ai} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $h_{si} = 7,7 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}) \Rightarrow R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ .

Vnější okrajové podmínky:  $\theta_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $h_{se} = 25 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}) \Rightarrow R_{se} = 0,04(\text{m}^2\cdot\text{K)/W}$ .

A pro výpočet na základě průměrných naměřených povrchových teplot za vybraný zimní den (viz tab. 4.16) byly do výpočtu zavedeny okrajové podmínky I. druhu Dirichletovy:

### 2) Naměřené okrajové podmínky:

Vnitřní okrajové podmínky:  $\theta_{si} = 18,8 \text{ }^\circ\text{C}$ . Vnější okrajové podmínky:  $\theta_{se} = -8,7 \text{ }^\circ\text{C}$ .

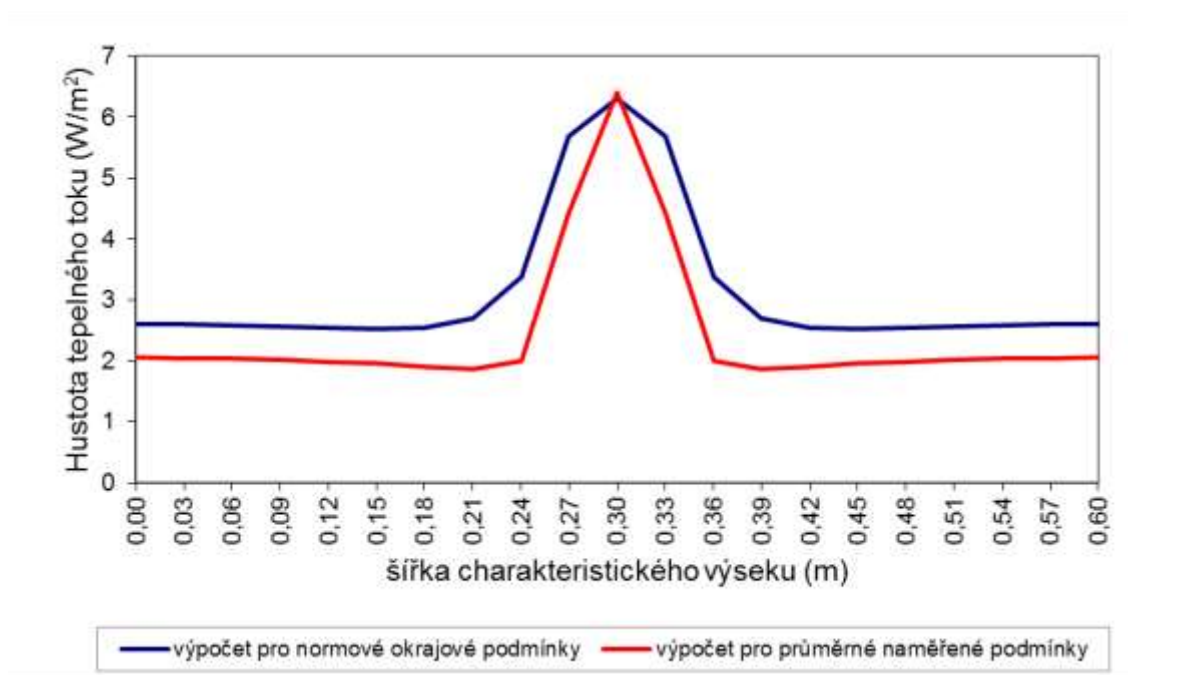
Tab. 2.2 Výsledky výpočtu hustoty tepelného toku obvodovou stěnou pro různé okrajové podmínky

Šířka výseku konstrukce	Vypočtený tepelný tok pro normové okrajové podmínky		Vypočtený tepelný tok pro průměrné naměřené okrajové podmínky	
	(m)	$q \text{ (W/m}^2\text{)}$	$Q \text{ (W/m)}$	$q \text{ (W/m}^2\text{)}$
0,00	2,596	0,039	2,051	0,031
0,03	2,593	0,078	2,047	0,061
0,06	2,583	0,077	2,036	0,061
0,09	2,566	0,077	2,017	0,060
0,12	2,546	0,076	1,989	0,060
0,15	2,531	0,076	1,952	0,059
0,18	2,547	0,076	1,908	0,057
0,21	2,690	0,081	1,870	0,056
0,24	3,377	0,101	1,995	0,060
0,27	5,694	0,171	4,420	0,133
0,30	6,307	0,189	6,405	0,192
0,33	5,694	0,171	4,420	0,133
0,36	3,377	0,101	1,995	0,060
0,39	2,690	0,081	1,870	0,056
0,42	2,547	0,076	1,908	0,057
0,45	2,531	0,076	1,952	0,059
0,48	2,547	0,076	1,989	0,060
0,51	2,566	0,077	2,017	0,060
0,54	2,583	0,077	2,036	0,061
0,57	2,593	0,078	2,047	0,061
0,60	2,596	0,039	2,051	0,031
Celkový tepelný tok $Q \text{ (W/m)}$		<b><math>\Sigma 1,895</math></b>		<b><math>\Sigma 1,468</math></b>
Hustota tepelného toku $q \text{ (W/m}^2\text{)}$		<b>3,16</b>	<b>2,45</b>	

V tab. 2.2 jsou uvedeny výstupy z programu ANSYS, které zahrnují vypočtené hodnoty hustoty tepelného toku  $q$  ( $\text{W/m}^2$ ) v jednotlivých výpočtových uzlech na vnitřním povrchu konstrukce v celé šířce charakteristického výseku obvodové stěny (šířka výseku je 0,6 m). Pokud potřebujeme získat celkovou hodnotu tepelného toku na celou šířku výseku, musí se jednotlivé hodnoty v uzlech vynásobit vzdáleností mezi uzly. Tím se získá hodnota tepelného toku  $Q$  ve  $\text{W/m}$ . Sečtením všech hodnot získáme celkový tepelný tok na vnitřní straně charakteristického výseku konstrukce, po vydělení této hodnoty šířkou výseku se získá celková hustota tepelného toku  $q$  ve  $\text{W/m}^2$ .

Experimentálně naměřená hodnota lokální hustoty tepelného toku obvodovou stěnou (viz tab. 1.11) v místě osy stěnového panelu mezi dřevěnými sloupky (začátek charakteristického výseku) za vybrané období měla hodnotu 1,8  $\text{W/m}^2$ .

Na obr. 2.3 je uveden grafický výstup průběhů tepelného toku pro řešené dva druhy okrajových podmínek. V obou případech je zřejmý výrazný nárůst tepelného toku v místě osy charakteristického výseku stěny, kde se nachází nosný sloupek (tepelný most).



Obr. 2.3 Grafický průběh tepelného toku na vnitřním povrchu konstrukce

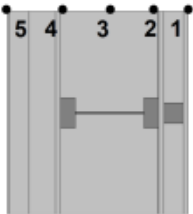
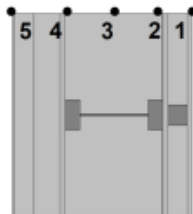
### 2.3 Analýza výsledků měření a výpočtů teplotního pole v obvodové stěně dřevostavby v letním období

V tab. 2.3 jsou uvedeny výsledky experimentálního měření a teoretického výpočtu teplot na povrchu a uvnitř konstrukce obvodové stěny dřevostavby s orientací na jižní stranu. Výsledky experimentálního měření teplot za 24 hodin byly zvoleny pro vybraný letní den 8.8. 2013, kdy venkovní teploty vzduchu dosahovaly ve dne teplot blízkých se teplotám normovým.

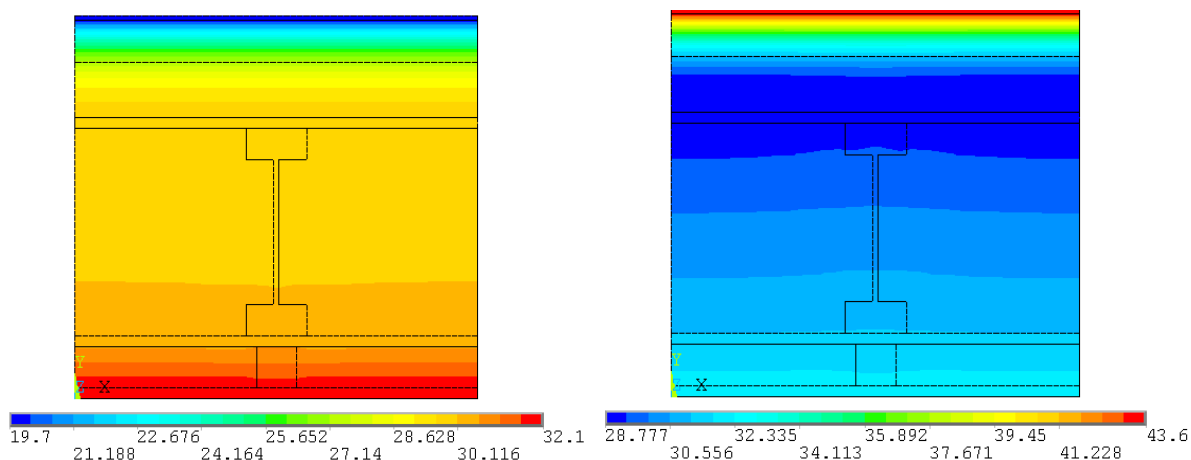
Výsledky teoretického řešení teplotního pole byly získány numerickým výpočtem pomocí programu ANSYS. Analýza výpočtu byla řešena jako dvourozměrná nestacionární úloha podobně jako pro zimní období. Pro výpočet byl použit minimální časový krok 100 s a maximální časový krok shodný s časovým krokem měření (3600 s). Celková délka hodnoceného časového úseku byla zvolena 24 hodin. Okrajová podmínka výpočtu, která popisuje rozložení teploty v tělese na počátku děje v čase  $t_0$ , byla do výpočtu pro letní období nastavena pomocí referenční teploty ( $\theta = 30\text{ °C}$ ), tento stav byl dále použit pro nestacionární výpočet.

Na vytvořeném modelu konstrukce byly pro nestacionární výpočet nastaveny okrajové podmínky na základě reálně naměřených hodnot. Okrajové podmínky nestacionárního výpočtu pro letní období byly definovány pro vnější stranu konstrukce pomocí podmínky 1. druhu Dirichletovy - vnější povrchové teploty konstrukce byly dosazeny z reálných naměřených hodinových hodnot v časovém úseku 24 hod. dne 8.8. 2013. Pro vnitřní stranu konstrukce byla nastavena okrajová podmínka 1. druhu Dirichletova – průměrná vnitřní povrchová teplota konstrukce  $\theta_{sim} = 32,1\text{ °C}$ , která byla uvažována konstantní v celém časovém úseku 24 hodin. V tab. 2.3 jsou uvedeny naměřené a teoreticky stanovené teploty uvnitř obvodové stěny v jednotlivých měřicích pozicích sondy ve vybraných časových krocích. Opět je možné konstatovat shodu ve výsledcích teoretického výpočtu numerickou metodou a experimentálního měření.

Tab. 2.3 Výsledky experimentálního měření a numerického výpočtu teplotního pole v obvodové stěně v letním období (8.8. 2013)

Umístění čidel v jednotlivých sondách v obvodových stěnách	Čas	Teploty v jednotlivých pozicích sondy ve °C				
	t (hod)	5 $\theta_{se}$	4	3	2	1 $\theta_{si}$
Výsledky experimentálního měření						
	0:00	22,5	29,7	30,1	31,1	32,1
	5:00	19,7	28,8	30,0	31,1	31,7
	9:00	28,8	28,6	30,0	31,1	31,6
	12:00	40,1	27,6	29,5	31,0	31,8
	14:00	43,6	28,0	29,5	31,0	32,2
	16:00	42,2	28,7	29,6	31,1	32,6
	19:00	33,3	29,9	30,0	31,2	32,9
	23:00	25,3	30,4	30,5	31,4	32,7
Výsledky výpočtu programem ANSYS						
	0:00	22,5	30,0	30,0	30,0	32,1
	5:00	19,7	29,9	30,0	30,5	32,1
	9:00	28,8	29,4	30,1	30,9	32,1
	12:00	40,1	29,0	30,1	31,0	32,1
	14:00	43,6	28,9	30,1	31,2	32,1
	16:00	42,2	29,0	30,1	31,2	32,1
	19:00	33,3	29,7	30,1	31,3	32,1
	23:00	25,3	30,7	30,4	31,4	32,1

Na obr. 2.4 jsou uvedeny grafické výstupy z programu ANSYS rozložení teplotního pole uvnitř konstrukce obvodové stěny ve vybraných časových krocích.



Obr. 2.4 Simulační výpočet teplotního pole v obvodové stěně v 5,00 hodin a ve 13,00 hodin dne 8.8. 2014

### 3 ZÁVĚR

Výsledky experimentálních měření tepelného chování lehkých stavebních konstrukcí za uplynulé období přinesla řadu poznatků. Za ty nejdůležitější lze považovat ověření, že v průběhu celého roku nenastaly v žádné z hodnocených konstrukcí podmínky pro vznik kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce. Což vzhledem k navrženému otevřeně difúznímu systému konstrukcí je důležitý výsledek. Monitorování průběhů teplot v jednotlivých konstrukcích prokázalo předpokládané vlivy různých faktorů, jako jsou: vliv tepelných mostů a tepelných vazeb na zvýšený prostup tepla, vliv orientace světových stran na přehřívání (nebo) prochlazování konstrukcí, vliv odvětrávané vzduchové mezery a druhu fasády na přehřívání nebo prochlazování konstrukcí.

Experimentální analýza průběhů teplot v zemině pod základem pasivní dřevostavby přinesla také zajímavé výsledky. Naměřené teploty v zemině v průběhu roku se ve hloubce 0,7 m pod podlahou pohybovaly v rozmezí 7,7 až 16,2 °C (na okraji základové desky) a v rozmezí 12,5 až 15,7 °C (v místě středu základové desky). Výzkum teplotního pole v zemině pod základovou deskou a tepelnou izolací podlahové konstrukce je zajímavý také s ohledem na možnosti využití horizontálního zemního výměníku tepla, který je položen právě v hloubce 0,7 m pod celou plochou základové desky a zatím není zapojen do systému. Vzhledem k naměřeným teplotám v podzákladí dřevostavby v průběhu celého roku by využití zemního výměníku tepla mohlo přinést další energetické úspory objektu.

Výsledky experimentálních měření tepelně technických veličin jsou průběžně porovnávány s teoretickými výpočty. V případě dřevěných konstrukcí se právě numerické metody výpočtu jeví jako nejvýhodnějším a nejpresnějším nástrojem řešení pro predikci tepelného chování. Přesnost výsledků tepelných výpočtů pomocí numerických metod



---

(MKP) je ovlivněna ovšem řadou faktorů, mezi které patří – správný tvar a velikost modelu konstrukce, tvar konečného prvku (elementu), hustota a tvar sítě výpočtových uzlů, materiálové charakteristiky, správně zadané počáteční a okrajové podmínky výpočtu apod.

V Ostravě 20.5. 2017

doc. Ing. Iveta Skotnicová, Ph.D.