

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Termovizní měření dynamických jevů v konstrukcích  
budovy**

*Originál (kopie) zadání BP/DP*

## **Abstrakt**

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na termografické měření rodinného domu ze slámy a hliněných omítek a na návrh vylepšení jeho vytápění a regulace vytápění. V diplomové práci je řešeno riziko kondenzace vodní páry na povrchu konstrukce a vliv využití solárních a vnitřních zisků v budově.

## **Klíčová slova**

Dům ze slámy, energetická bilance domu, hliněné omítky, kondenzace vodní páry, povrchová teplota konstrukce, tepelné zisky, tepelné ztráty, teplotní faktor, termografie, termografické měření budovy, vlhkostně-teplotní pohoda.

**Abstract**

The master thesis is focused on thermographic measurement of the family house from straw and clay plaster and on the proposal of improvement of its heating and regulation of heating. The master thesis deals with the risk of condensation of water vapor on the surface of the construction and the influence of the use of solar and internal gains in the building.

**Key words**

Straw house, energy evaluation of the house, clay plaster, condensation of water vapor, surface temperature, heat gains, heat losses, temperature factor, thermography, thermographic measurement of the building, humidity-temperature comfort.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....  
podpis

V Plzni dne 29.5.2019

Bc. Hana Tóthová

## **Poděkování**

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce Ing. Milanovi Bělíkovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych chtěla poděkovat panu Václavovi Švábovi z občanského sdružení ENVIC Plzeň za velkou ochotu a trpělivost, se kterou se mi věnoval, za předání svých dlouholetých zkušeností a odborných rad.

# Obsah

ÚVOD .....	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	9
<b>1 TERMOGRAFIE .....</b>	<b>10</b>
1.1 VYUŽITÍ VE STAVEBNICTVÍ .....	13
<b>2 ENERGETICKÁ BILANCE BUDOVY .....</b>	<b>18</b>
2.1 TEPELNÉ ZTRÁTY .....	18
2.1.1 Tepelné ztráty větráním .....	19
2.1.2 Tepelné ztráty prostupem .....	20
2.2 TEPELNÉ ZISKY .....	21
2.2.1 Solární tepelné zisky .....	21
2.2.2 Vnitřní tepelné zisky .....	23
2.2.3 Využití zisků .....	24
<b>3 KONDENZACE VODNÍ PÁRY .....</b>	<b>26</b>
<b>4 MĚŘENÍ OBJEKTU .....</b>	<b>31</b>
4.1 POPIS OBJEKTU .....	31
4.1.1 Vlastnosti konstrukce .....	33
4.2 POSTUP MĚŘENÍ .....	35
4.3 NAMĚŘENÁ DATA .....	36
4.4 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT .....	37
4.4.1 Vlhkostně teplotní pohoda .....	38
4.4.2 Teplotní faktor vnitřního povrchu .....	39
4.4.3 Kritická povrchová teplota konstrukce .....	43
4.4.4 Vyhodnocení konstrukce přes software TEPLO 2015 .....	44
<b>5 NÁVRH VYTÁPĚNÍ DOMU .....</b>	<b>50</b>
ZÁVĚR .....	54
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ .....	55
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	57
SEZNAM GRAFŮ .....	58
SEZNAM TABULEK .....	59
<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>1</b>
PŘÍLOHA A – TERMOGRAFY DOMU PŘED ZAČÁTKEM MĚŘENÍ .....	1
PŘÍLOHA B – TERMOGRAFY DOMU PO SKONČENÍ MĚŘENÍ .....	2
PŘÍLOHA C – SNÍMKY Z TERMOKAMERY PO 15 MINUTÁCH .....	3
PŘÍLOHA D – TABULKA NAMĚŘENÝCH HODNOT TERMOKAMEROU .....	6
PŘÍLOHA E – TABULKA NAMĚŘENÝCH HODNOT V INTERIÉRU A EXTERIÉRU .....	13
PŘÍLOHA F – GRAF TEPLOT V KONSTRUKCI, INTERIÉRU A EXTERIÉRU .....	20
PŘÍLOHA G – ZJEDNODUŠENÝ GRAF PRŮBĚHŮ TEPLOT .....	21
PŘÍLOHA H – GRAF PRŮBĚHU TEPLoty, VLHKOSTI A CO <sub>2</sub> V INTERIÉRU .....	22
PŘÍLOHA I – GRAF PRŮBĚHU TEPLoty A VLHKOSTI V EXTERIÉRU .....	23
PŘÍLOHA J – SPOLEČNÝ GRAF PRŮBĚHŮ HODNOT V EXTERIÉRU A INTERIÉRU .....	24
PŘÍLOHA K – ODHAD DOBY CHLADNUTÍ KONSTRUKCE .....	25
PŘÍLOHA L – CD SE ZÁZNAMEM MĚŘENÍ .....	

## Úvod

Lidé s vidinou snížení ztrát vymýšlí stále nové a lepší stavební materiály. Dost často je výroba těchto materiálů náročná a neobejde se bez chemických příměsí. Pro tuto diplomovou práci však byl vybrán rodinný dům z ekologických přírodních materiálů (slámy a hlíny). Z těchto materiálů byly postaveny první domy a v současnosti se k nim lidé, kteří dbají na životní prostředí, opět vracejí.

Množství potřebné energie lze výrazně snížit, pokud je dům přizpůsobený k využívání tepelných zisků. V diplomové práci je rozebíráno, jaké druhy tepelných zisků rozlišujeme a jak je co nejlépe využívat. Dále je zde vysvětlena problematika kondenzace vodní páry na povrchu konstrukce, která negativně ovlivňuje stav konstrukce a výrazně podporuje růst plísní.

Cílem diplomové práce je za pomoci termovizního měření zhodnotit tuto přírodní konstrukci domu v závislosti na její dynamické odezvě a parametrech vnitřního prostředí. Následně navrhnout možná zlepšení na vytápění tohoto domu a jeho regulaci nebo možnost využívání většího množství tepelných zisků.



## Seznam symbolů a zkratk

$\rho_{v,sa}$	koncentrace vodní páry na mezi nasycení ( $\text{kg/m}^3$ )
$\rho_{va}$	koncentrace vodní páry ( $\text{kg/m}^3$ )
$c$	měrná tepelná kapacita ( $\text{J/kg}\cdot\text{K}$ ), (kapitola 2)
$c_1$	součinitel současnosti používání svítidel (-)
$c_2$	zbytkový součinitel (-)
$f_{Rsi}$	teplotní faktor vnitřního povrchu (-)
$f_{Rsi,cr}$	kritický teplotní faktor vnitřního povrchu (-)
$n_d$	počet dětí (-)
$n_i$	počet osob (-)
$n_m$	počet mužů (-)
$n_z$	počet žen (-)
r.h.	relativní vlhkost (%)
$R_e$	odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce ( $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$ )
$R_i$	odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce ( $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$ )
$R_T$	odpor konstrukce při prostupu tepla ( $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$ )
$R_{vi}$	plynová konstanta pro vodní páru ( $\text{J/kg}$ )
$U$	součinitel prostupu tepla ( $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ )
$\varepsilon$	emisivita (-)
$\lambda$	součinitelem tepelné vodivosti ( $\text{W/m}\cdot\text{K}$ ), (kapitola 2)
$\tau$	propustnost prostředí (-)

# 1 Termografie

Termodynamická teplota je stavová fyzikální veličina vyjadřující míru kinetické energie pohybujících se molekul. Nelze ji však měřit žádnou přímou metodou. V roce 1900 fyzik Max Planck zjistil, že existuje souvislost mezi teplotou tělesa  $T$  (K) a intenzitou vyzáření  $M_{e\lambda}$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) z tohoto tělesa. Tuto závislost popisuje rovnice 1, známá jako Planckův vyzařovací zákon.

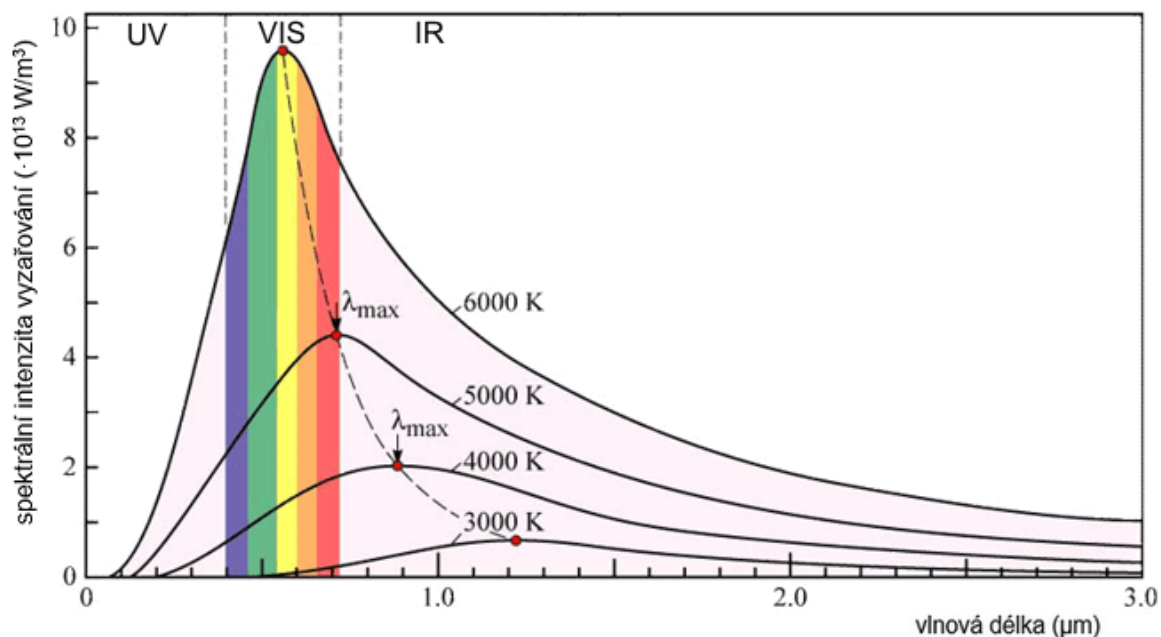
$$M_{e\lambda}^0(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1} \quad (\text{W}/\text{m}^2), \quad (1)$$

kde  $h$  (J·s) je Planckova konstanta,  $c$  (m/s) rychlost světla ve vakuu a  $k_B$  (J/K) Boltzmannova konstanta. Dokonalý model pro popis množství emitovaného záření představuje absolutně černé těleso, to znázorňuje horní index ,0'. Toto těleso dokáže pohltit veškeré záření dopadající na jeho povrch, ale také je schopné stejné množství energie emitovat prostřednictvím záření. Reálné objekty se mohou vlastnostem absolutně černého tělesa pouze více či méně blížit. Pokud jsou tělesa kolem nás idealizována jako absolutně černá, je možné odhadnout na jakých vlnových délkách nejvíce vyzařují, a to na základě Wienova zákona, viz rovnice 2. Wienův zákon je výsledkem derivování rovnice 1 dle vlnové délky a následným hledáním extrémů této funkce.

$$\lambda_{max} \cdot T = b \quad (\text{m} \cdot \text{K}), \quad (2)$$

kde  $T$  (K) představuje termodynamickou teplotu povrchu tělesa,  $\lambda_{max}$  (m) vlnovou délku, na které těleso vyzařuje s nejvyšší intenzitou a konstanta  $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$ .

Z Wienova zákona lze tedy snadno dopočítat, že povrchové teplotě Slunce (5800 K) odpovídá  $\lambda_{max} = 500 \text{ nm}$ , což je záření ve viditelné oblasti spektra. Běžné předměty kolem nás s teplotou kolem 300 K vyzařují na vlnových délkách okolo 10  $\mu\text{m}$ , to je v oblasti infračerveného záření. [19]



Graf 1: Závislost vyzařování absolutně černého tělesa [20]

Pro lidské oko nespátřitelné infračervené záření ( $\lambda = 0,75 \mu\text{m} - 1 \text{ mm}$ ) je vyzařováno z každého objektu, který má vyšší teplotu, než je absolutní nula, tj. 0 Kelvin. Tohoto objevu se využívá při termografickém měření. Termokamera snímá dlouhovlnné infračervené záření, nejčastěji v rozsahu 8–14  $\mu\text{m}$ , z kterého dále dopočítává teplotu s ohledem na další parametry, které měření ovlivňují. Teplota je poté barevně vyjádřena na snímku zvaném termogram. [3], [4], [5], [7]



Obrázek 1: Příklad termogramu

Při měření termokamera snímá záření z měřeného objektu, ale zároveň také záření z okolního prostředí, které se odráží od povrchu objektu. Obě tato záření cestou od objektu do detektoru procházejí atmosférou, která je zeslabuje. Za pomoci Stefan-Boltzmannova

zákona, viz rovnice 3, byla sestavena rovnice termografie, která zohledňuje všechny typy záření, které se do detektoru dostanou. Na základě rovnice termografie (rovnice 4) je výsledné snímání v termokameře vyhodnoceno a termogram již poté obsahuje jen složku teplotního rozložení zdroje bez rušivých teplot (odražené a atmosférické).

$$M_e(T) = \int_0^{\infty} M_{e\lambda}^0(\lambda, T) \cdot d\lambda = \frac{2 \cdot \pi^5 \cdot k^4}{15 \cdot c^2 \cdot h^3} \cdot T^4 = \sigma_e \cdot T^4 \quad (\text{W/m}^2), \quad (3)$$

kde  $\sigma_e \approx 5,67 \cdot 10^{-12} \text{ W/cm}^2 \cdot \text{K}^4$  je Stefan-Boltzmannova konstanta.

$$M = \varepsilon \cdot \sigma_e \cdot T_{zdr}^4 + (1 - \varepsilon) \cdot \sigma_e \cdot T_{odr}^4 + (1 - \tau_{atm}) \cdot \sigma_e \cdot T_{atm}^4 \quad (\text{W/m}^2), \quad (4)$$

kde  $\tau$  (-) vyjadřuje propustnost prostředí a  $\varepsilon$  (-) je emisivita.

Právě emisivita je jedním z hlavních parametrů, jež ovlivňují termografické měření. Emisivita je schopnost materiálu vyzařovat elektromagnetické záření. Tento bezrozměrný parametr může nabývat hodnot v rozmezí od nuly do jedné a je ovlivněn především charakterem povrchu materiálu, ale lehce také i jeho barvou. Obecně lze říci, že tmavší materiály mají vyšší emisivitu nežli materiály světlých barev, ne však nijak výrazně. Většina materiálů má emisivitu vysokou, výjimkou jsou zejména kovy, u kterých je naopak emisivita malá. Měření termografickou metodou u materiálů s nízkou emisivitou není zcela vhodné. U kovů totiž velikost odraženého záření převládá nad emitovanou částí. Preciznost musí být při umístění termokamery, jelikož emisivita je závislá na úhlu vyzařování. Je dána funkcí cosinus, tudíž kolmo na vyzařující povrch je rovna 1 a se vzrůstajícím odklonem od kolmice klesá. Na tuto vlastnost musíme myslet hlavně při měření dvou kolmých stěn nebo rohů. Aby hodnoty z obou stěn byly porovnatelné, měly by být měřeny pod stejným úhlem. [3], [4], [5], [7]

Při měření je tedy důležité nastavit do termokamery správnou hodnotu emisivity měřeného materiálu. Její hodnotu lze přesně vypočítat, ale v praxi se spíše využívá tabulek již známých hodnot emisivity pro běžné materiály. Je nutné také správně zadat vzdálenost termokamery od měřeného objektu. Ta má vliv na absolutní vyčíslení teploty měřeného předmětu, tzn. že se změnou zadané vzdálenosti se přepočítá hodnota povrchové teploty,

avšak rozdíl teplot mezi jednotlivými body zůstává stejný. Jak již bylo zmíněno, v potaz musí být brána také tzv. odražená teplota. Takto se nazývá okolní tepelné záření, které se odráží od povrchu měřeného objektu a dopadá na detektor termokamery. Ta poté není schopna rozlišit, zda jde o vlastní tepelné záření měřeného objektu anebo o odražené tepelné záření. Odražené tepelné záření tedy musí být stanoveno a zadáno do termokamery, aby mohla jeho vliv kompenzovat. Vlastní měření se provádí pomocí infračerveného odražeče dle normy ČSN EN 18434-1. Čím vyšší je emisivita, tím menší je vliv odražené teploty. V některých situacích, kdy je emisivita vyšší (0,9 a více), stačí odraženou teplotu stanovit přibližně odhadem a na základě zkušeností. [21]

Pro naměření co nejpřesnějších výsledků by mělo být zohledněno i počasí, kdy není vhodné slunce, déšť, vítr ani padající sněh.

## 1.1 Využití ve stavebnictví

Termovizi je možné ve stavebnictví použít všude tam, kde je vhodné snímat povrchovou teplotu a na jejím základě usuzovat, co se děje v konstrukci. Obvykle se měření provádí v souvislosti s těmito činnostmi:

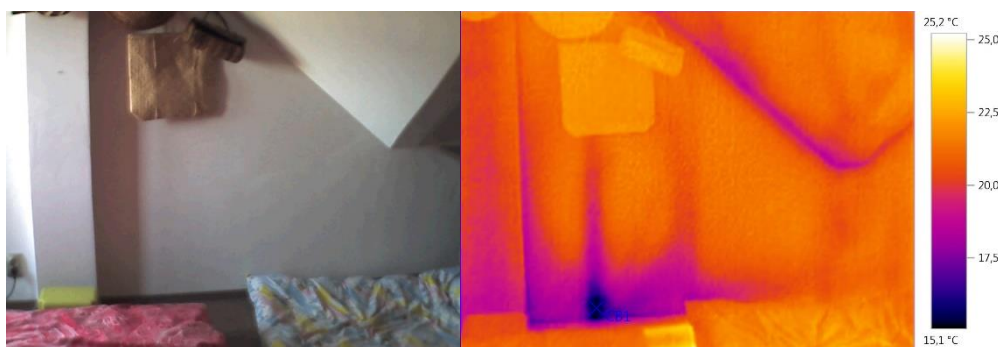
### *Detekce a lokalizace tepelných mostů*

Tepelný most je místo, kde v konstrukci dochází ke zvýšenému tepelnému toku. Není možné se tepelným mostům zcela vyhnout, ale je vynaložena snaha je minimalizovat, protože mají velice negativní vliv na budovu. Mají poměrně vysoký vliv na zvyšování tepelných ztrát a tím je zvýšena i potřeba tepla na vytápění. Ovlivňují mikroklima v interiéru, čímž je zvýšeno riziko bujení plísní. Zvyšují kondenzaci vodní páry v konstrukci a negativně také mohou ovlivňovat statiku stavby. Tepelný most lze snadno určit z termogramu, jelikož se toto místo vyznačuje výrazně jinou teplotou než okolní konstrukce. Pokud je v zimě snímán povrch vytápěného prostoru ze strany exteriéru, tepelný most bude teplejší než okolní konstrukce, viz obrázek 2. Na tomto snímku je tepelný most způsoben vodorovným stropním trámem. Pokud bude v zimě snímána konstrukce z interiéru, tak situace bude opačná. Tepelný most bude vyobrazen chladnější než okolní konstrukce, jelikož teplo bude více unikat v místě tepelného mostu - tepelný tok do exteriéru bude v tomto místě vyšší, viz

obrázek 3. V tomto případě je tepelný most způsoben svislým kovovým profilem, na kterém jsou upevněny sádkartonové desky.



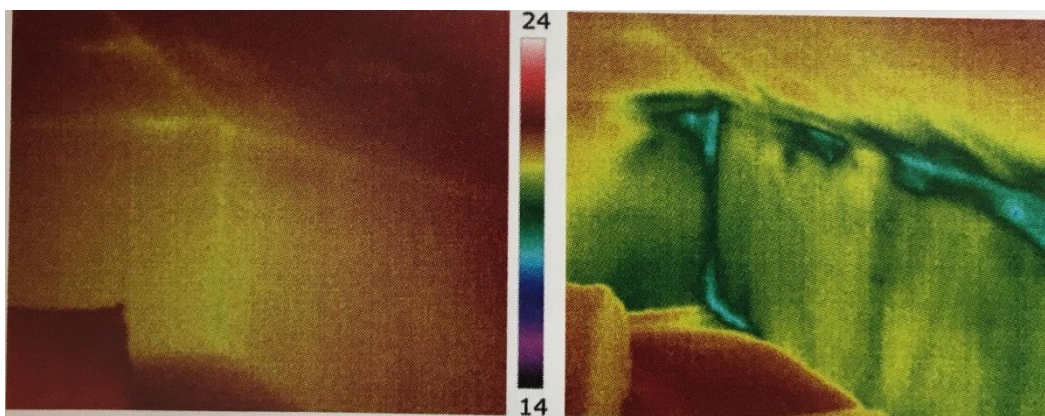
Obrázek 2: Příklad tepelného mostu měřeného objektu z exteriéru



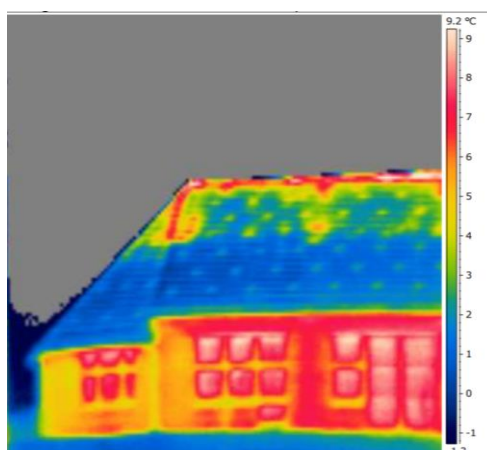
Obrázek 3: Příklad tepelného mostu měřeného objektu z interiéru

### ***Lokalizace netěsností vzduchotěsné obálky budov***

Tepelné ztráty vznikají také, pokud je špatně provedena vzduchotěsná vrstva konstrukce. To lze nejjednodušší zjišťovat pomocí tzv. Blower-door testu v kombinaci s termografií. Blower-door test je nedestruktivní diagnostická metoda a slouží k určení průvzdušnosti obálky budov nebo její části metodou tlakového spádu. Využívá se uměle vytvořeného tlakového rozdílu mezi interiérem a exteriérem. Pokud je v interiéru vytvořen podtlak, chladnější nebo teplejší vzduch je nasáván z exteriéru a místa která jsou špatně utěsněna, se projeví nižší či vyšší povrchovou teplotou. Termografy jsou zaznamenávány uvnitř budovy. Stejný princip lokalizace se využívá i při přetlaku v interiéru, rozdíl je pouze v tom, že detekce pomocí termokamery se provádí z exteriéru, jelikož vzduch je vytlačován z místnosti ven. [2]



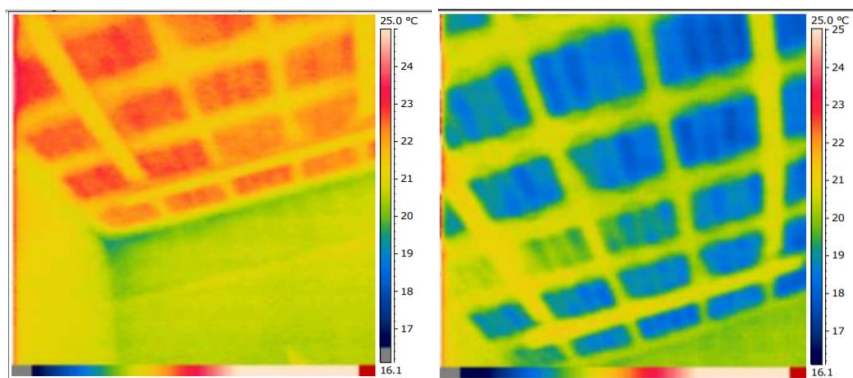
Obrázek 4: Příklad při normálním tlakovém rozdílu a podtlaku [2]



Obrázek 5: Příklad při přetlaku v podkrovní [5]

### *Průběh dějů souvisejících s teplotou*

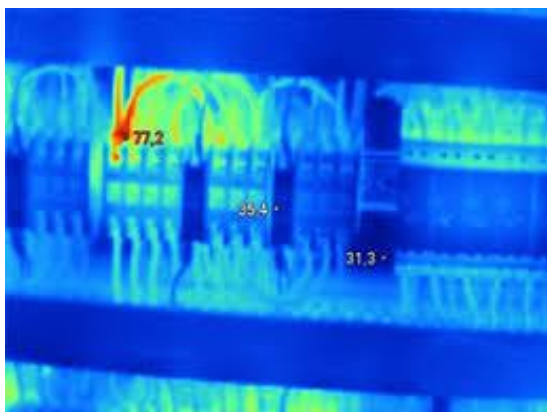
V některých případech nás zajímá průběh ochlazování konstrukce, např. při náběhu chladicího systému nebo naopak průběh ohřívání konstrukce, např. při požáru nebo při náběhu topného systému. Tyto měření jsou však časově náročnější a musí se pořídít větší množství termografických snímků.



Obrázek 6: Příklad průběhu ochlazování (nabíhání chladicího systému) [5]

### ***Vyhledávání zkratů v elektrickém vedení***

Ve stavebnictví se termovize používá pro sledování stavu elektroinstalace pouze v omezené míře, ovšem její používání je plně rozvinuté. Vlivem průběhu proudu dochází k postupnému opotřebení, tím se zvýší elektrický odpor při přestupu například z vodiče do jističe a dochází k jejímu zahřívání, viz obrázek 7. Podle velikosti zahřátí pak lze plánovat opravy jednotlivých komponentů tak, aby nedocházelo k jejich poruchám. [5]



Obrázek 7: Příklad vyhledávání poruch v el. vedení (jističe) [5]

### ***Lokalizace rozvodů chlazení či rozvodů tepla***

Pomocí termovize lze sledovat rozvody tepla a chladu (obrázek 8) a lze zhodnotit stav jejich izolace. To je možné všude tam, kde má rozváděné médium jinou teplotu než teplota okolí. Toho se například také využívá při detekci podlahového vytápění, viz obrázek 9.



Obrázek 8: Příklad snímání rozvodů [10]

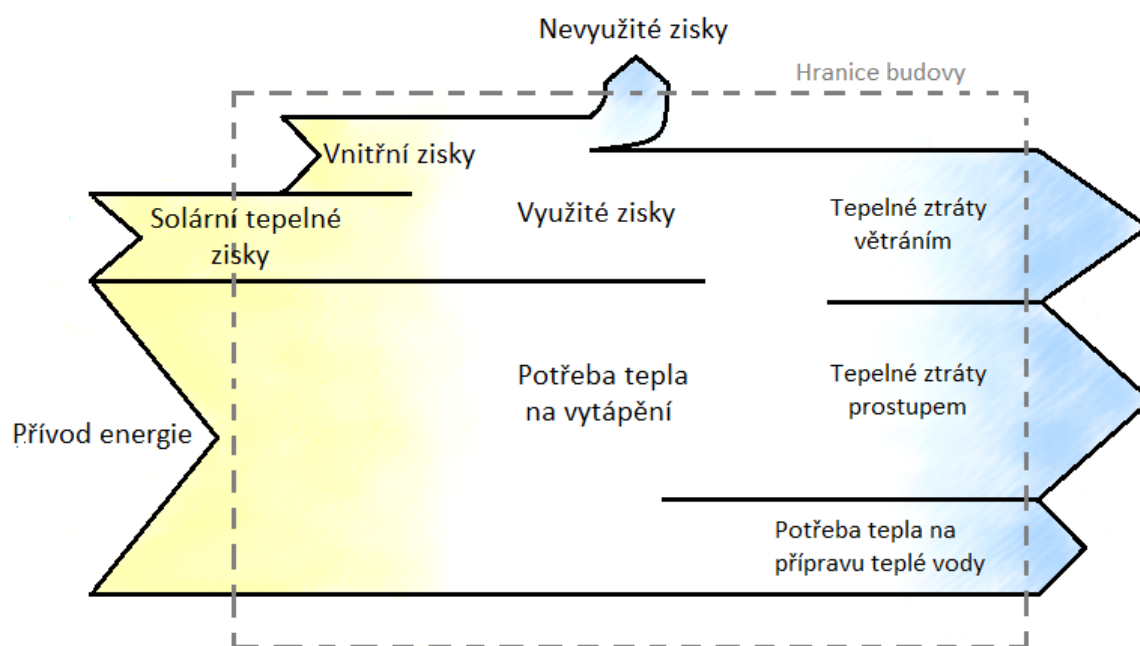




Obrázek 9: Příklad lokalizace podlahového topení [6]

V některých případech je možné použít termovizi při odhalování dutin v konstrukcích či k vyhledávání netěsností na komínu a k mnoha dalším účelům, kde hraje roli teplo, distribuce tepla, akumulace tepla apod. [5]

## 2 Energetická bilance budovy



Obrázek 10: Bilance energie budovy

Energetickou náročnost budovy charakterizuje, u již postavených budov, množství energie skutečně spotřebované zejména na vytápění, přípravu teplé vody, chlazení či větrání a osvětlení. Množství energie, které je nutné dodávat, je snaha minimalizovat a to z důvodů ekonomických i ekologických.

Při výpočtu potřebné energie musí být bráno v potaz, že v budově dochází k tepelným ztrátám, ale také k tepelným ziskům. Pocitovou teplotu nejvíce ovlivňují tepelné ztráty prostupem a větráním, využití množství tepla z vnitřních tepelných zdrojů, využití solární tepelné zisky a přívod energie do otopné soustavy. [11]

### 2.1 Tepelné ztráty

Tepelnou ztrátu lze definovat jako množství tepla, které objekt ztratí za hodinu při průměrné extrémní hodnotě, pro ČR  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tepelné ztráty vznikají na rozhraní dvou prostředí a lze je vypočítat dle normy ČSN EN 12831 (Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu). U budov počítáme s dvěma druhy tepelných ztrát, tj. větráním  $Q_V$  (W) a prostupem konstrukcí  $Q_P$  (W).

### 2.1.1 Tepelné ztráty větráním

Výměna vzduchu v místnostech je potřebná k udržení příjemného pocitu a dostatečného množství kyslíku. S výměnou vzduchu, avšak neodchází jen nepříjemný zápach, ale také množství tepla. Zvláště v případě, že v místnosti je vzduch teplejší než v přilehlém okolí. Tepelná ztráta větráním se stanoví ze vztahu 5.

$$Q_V = 1300 \cdot V_V \cdot (t_i - t_e) \quad (\text{W}), \quad (5)$$

kde  $V_V$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) představuje objemový tok vzduchu a  $t_i, t_e$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) jsou výpočtové teploty interiéru a exteriéru. Objemový tok větracího vzduchu musí vycházet z hygienických nebo technologických požadavků. Ty jsou popsány v ČSN EN 15 665 Větrání budov – změna 1. [13]

Výměna vzduchu může nastat přirozeně. Je tak nazvána situace, kdy budova pozvolna „dýchá“ sama. Přirozené větrání je způsobeno vlivem tlakového rozdílu, který je zapříčiněn přírodními silami, které vznikly rozdílem teplot nebo tlakem větru. Přirozené větrání je do určité míry žádoucí jev. Eliminují se jím základní škodliviny vyskytující se v budovách jako jsou oděry či oxid uhličitý. Avšak je-li výměna vzduchu větší než nutná, ztrácí budova zbytečné teplo. Přirozená výměna vzduchu může nastat průvzdušnými okny, netěsnostmi v konstrukci či cíleně otevřením oken nebo vytvořenou větrací šachtou zejména pro větrání hygienických místností. [14]

Znehodnocený vzduch lze odvádět také nuceně. Nucená výměna vzduchu je vyvolána mechanicky, tj. ventilátorem, který je součástí vzduchotechnického zařízení. Není závislá na vnějších klimatických podmínkách, je řízená. Ovlivnit lze dobu větrání, teplotu vzduchu či čistotu vzduchu. Nucené větrání je nezbytné hlavně pro budovy či místnosti, kde se zdržují osoby a nejsou přítomna okna (kina) nebo průtokový objem oken je nedostatečný (sportovní zařízení, průmyslové haly). Vzduchotechnické zařízení je instalováno také z důvodů bezpečnostních. Při mimořádných okolnostech jako je například požár a únik škodlivých látek je nutné co nejlépe odsát znečištěný vzduch, aby lidské zdraví bylo poškozeno v co nejmenší míře. Při nuceném větrání lze také využít zpětného získávání tepla z vypouštěného vzduchu a tím výrazně omezit tepelnou ztrátu větráním. [14]

### 2.1.2 Tepelné ztráty prostupem

Zvláště v zimním období se ztrácí teplo z teplých místností prostupem do chladného venkovního prostředí. Základní tepelná ztráta prostupem je rovna součtu tepelných toků v ustáleném tepelném stavu jednotlivými konstrukcemi, které ohraničují vytápěnou místnost od venkovního prostředí nebo od sousedních místností, viz vztah 6.

$$Q_P = \sum U \cdot A \cdot (t_i - t_e) \quad (\text{W}), \quad (6)$$

kde  $A$  ( $\text{m}^2$ ) značí plochu kterou prostupuje teplo a  $U$  ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ) je součinitel prostupu tepla a je dán vztahem 7.

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}), \quad (7)$$

kde  $R_T$  ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ) značí odpor konstrukce při prostupu tepla. Tepelný odpor udává, jaké množství tepla prochází jedním čtverečním metrem konstrukce určité tloušťky a z určitého materiálu, pokud jsou na obou stranách konstrukce jiné teploty. Vyjadřuje tedy tepelně-izolační vlastnosti konstrukce neboli její schopnost klást odpor průchodu tepla. A lze ho určit dle normy ČSN 73 0540.

$$R_T = R_i + R + R_e \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}), \quad (8)$$

kde  $R_i$  ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ) je odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce,  $R_e$  ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ) je odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce a  $R$  ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ) je tepelný odpor konstrukce, který je ovlivněn tloušťkou konstrukce  $d$  (m) a součinitelem tepelné vodivosti  $\lambda$  ( $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$ ).

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}) \quad (9)$$

Ze vztahu 9 vyplývá, že  $R_T$  je vyšší při větší tloušťce konstrukce a zároveň při menší hodnotě tepelné vodivosti. Jeho hodnota závisí také na objemové hmotnosti daného materiálu (čím je objemová hmotnost menší, tím je větší odpor), na pórovitosti daného

materiálu (čím je větší pórovitost, tím je větší odpor) a na vlhkosti daného materiálu (čím větší vlhkost, tím je menší odpor). Pokud se konstrukce skládá z více vrstev, jejich odpor se sčítá.

## 2.2 Tepelné zisky

Teplo však nemusíme pouze ztrácet, ale můžeme jej také získat. Zvláště v teplejších měsících, kdy se objeví sluneční paprsky. Tento jev nazýváme solárními zisky. Po celý rok je možné také získávat teplo ze zdrojů uvnitř budovy. Tyto hodnoty většinou nejsou zcela zanedbatelné, jelikož v některých případech mohou pokrývat i více než polovinu potřebného tepla na vytápění, jak lze vidět v tabulce 1. Tyto hodnoty byly vypočteny za pomoci programu Passive House Planning Package, přičemž jeden z domů splňuje standart pasivního domu a má o polovinu menší potřebu tepla nežli druhý, nízkoenergetický dům.

	<i>Pasivní dům</i>	<i>Nízkoenergetický dům</i>
<i>Potřeba tepla na vytápění</i>	<i>13 kWh/m<sup>2</sup> za rok</i>	<i>26 kWh/m<sup>2</sup> za rok</i>
<i>Poměr solárních zisků k celkové potřebě tepla za rok</i>	<i>56 %</i>	<i>33 %</i>
<i>Poměr vnitřních zisků k celkové potřebě tepla za rok</i>	<i>19 %</i>	<i>21 %</i>

Tabulka 1: Příklady zisků v domech

Tepelné zisky tedy lze definovat jako tepelné toky, které se dostanou do budovy a zvyšují její teplotu. Získané teplo se snažíme co nejlépe využít, a tím lze poté snížit množství potřebné energie k vytápění. Z toho vyplývá, že solární i vnitřní zisky jsou žádoucí v topné sezoně. Naopak mimo topnou sezonu jsou nežádoucí, jelikož vyvolávají potřebu chlazení a zvyšuje se tím tedy spotřeba energie na chlazení.

### 2.2.1 Solární tepelné zisky

Solární tepelné zisky jsou výsledkem působení slunečního záření. Je tedy jasné, že v letním období je hodnota solárních zisků větší, jelikož slunce září více a intenzivněji nežli v zimě. Míra ozáření je také závislá na orientaci domu či místnosti. Přímé záření na jižní stranu budovy bude tvořit největší zisky. Zatímco k severní straně se dostane pouze rozptýlené záření, které s sebou nese pouze zanedbatelnou hodnotu solárního zisku.

Sluneční paprsek zvyšuje povrchovou teplotu konstrukce budovy, ať už se jedná o ohřev vnější strany domu nebo přímo o podlahu či vnitřní stěnu v místnosti, v případě průchodu slunečních paprsků oknem. Od ohřáté vnitřní konstrukce se poté ohřívá vnitřní vzduch. Musí se tedy uvažovat také o propustnosti záření do místnosti. To znamená, že čím více zasklených otvorů dům obsahuje, tím více slunečních paprsků do místností pronikne. Míru prostupu sluneční energie přes zasklení udává solární faktor. Avšak při volbě zasklení musíme mít na paměti, že cílem není získat co nejvíce sluneční energie, ale snížit potřebu tepla na vytápění. Pokud zvolíme skla s vysokým solárním faktorem, tzn. solární zisky budou vyšší, může se v létě budova přehřívat. Naopak, když zvolíme okna s příliš nízkým solárním faktorem, solární zisky nebudou využity. Může pak nastat situace, že i v létě bude potřeba v místnosti přitápět. To hrozí hlavně v případě, že by byla místnost orientována na sever. Je tedy nutné i při volbě oken brát v potaz orientaci okna a míru zastínění od okolních budov či stromů. Obecně se doporučuje usadit na jižní stranu domu okna s vyšší propustností a na severní stranu okna s nižší propustností. Pro snížení solárních zisků v létě je také nutné používat přidavné stínění jako jsou venkovní žaluzie, rolety, markýzy či přesahy střechy.

Masivnější konstrukce jsou pro akumulaci povrchové teploty vhodnější, solární zisky však nikdy nevyužijeme všechny. Důležitým aspektem při stanovení míry využití je materiál podlahy či stěny, na který sluneční paprsek dopadá. Množství tepla, které lze v konstrukci akumulovat se v praxi obvykle počítá jako součin objemu použitého materiálu, objemové hmotnosti, měrné tepelné kapacity a času, po který se tepelný zisk do materiálu ukládá. Měrná tepelná kapacita materiálu, značíme ji  $c$ , je vyjádřena v  $J/(kg \cdot K)$  a představuje množství tepelné energie, kterou je třeba dodat 1 kg materiálu, aby se jeho teplota zvýšila o 1 K. Například hliněná omítka, která je použita v domě, na kterém bylo provedeno měření, má  $c = 1000 J/(kg \cdot K)$ . Hojně používaný sádrokarton má měrnou tepelnou kapacitu lehce vyšší a to  $1060 J/(kg \cdot K)$ . Hodnota pro tvárnice YTONG může klesnout až na  $760 J/(kg \cdot K)$  a pro slaměné balíky je  $c = 2000 J/(kg \cdot K)$ . Pokud bychom měli porovnat nejčastěji používané podlahové krytiny, tak nejméně tepla na ohřátí vyžaduje keramická dlažba a to  $840 J/(kg \cdot K)$ , koberec či linoleum mají  $c = 1880 J/(kg \cdot K)$ . Z těchto hodnot je zřejmé, že solární zisky budou lépe využity, pokud v místnosti bude umístěna dlažba a ne koberec. [15], [16], [17]

Výpočet tepelných zisků ze slunečního záření je uveden v ČSN 73 0542.

## 2.2.2 Vnitřní tepelné zisky

Vnitřní tepelné zisky představují všechno teplo, které bylo vyprodukováno ve vytápěném prostoru vnitřními zdroji. Do toho lze zahrnout teplo z přístrojů a osvětlovadel, metabolické teplo a také například teplo z rozvodů teplé vody. Největší vnitřní zisk v domácnostech představuje teplo vyprodukované vařením. Takto získané teplo ovlivňuje teplotu v interiéru, nikoli povrchovou teplotu, jak je tomu u solárních zisků.

### 2.2.2.1 Metabolické teplo

<b>Činnost</b>	<b>Metabolismus (W/m<sup>2</sup>)</b>
Bazální metabolismus	45
Sezení, odpočívání	58
Stání, odpočívání	65
Běžná kancelářská práce	75
Lehká práce na strojích	150
Těžká manuální práce	250
Chůze po rovině (4 km/h)	140
Chůze po rovině (6 km/h)	200
Chůze se stoupáním 5 % (4 km/h)	200
Chůze se stoupáním 15 % (4 km/h)	340

Tabulka 2: Hodnoty metabolického tepla pro různé činnosti [28]

Metabolické teplo  $Q_M$  (W) představuje teplo vyprodukované lidmi. Jeho hodnota závisí na činnosti člověka a také na teplotě v místnosti. Výchozí hodnotou pro odvození se považuje produkce citelného tepla muže 62 W při mírně aktivní práci při teplotě okolního vzduchu 20°C. Hodnota metabolického tepla ženy je stanovena na 85 % hodnoty tepla z muže a u dítěte se počítá se 75 % hodnoty. Celkový počet osob  $n_i$  se tedy vypočítá dle vztahu 10, kde  $n_z$ ,  $n_d$ ,  $n_m$  představuje počet žen, dětí a mužů. Pokud je teplota v místnosti jiná než 20 °C, přepočteme množství vyprodukovaného metabolického tepla lidí dle vztahu 11. [13], [14]

$$n_i = 0,85 \cdot n_z + 0,75 \cdot n_d + n_m \quad (-), \quad (10)$$

$$Q_M = n_i \cdot 6,2 \cdot (36 - t_i) \quad (W) \quad (11)$$

### 2.2.2.2 Tepelný zisk ze svítidel

Předpokládá se, že celý elektrický příkon svítidel  $P$  se přemění na teplo. Tepelný zisk od svítidel  $Q_{sv}$  (W) se vyčíslí ze vztahu 12.

$$Q_{sv} = P \cdot c_1 \cdot c_2 \quad (W), \quad (12)$$

kde  $c_1$  (-) představuje součinitel současnosti používání svítidel a zbytkový součinitel je vyjádřen jako  $c_2$  (-). Zbytkový součinitel  $c_2$  je roven 1, jestliže je místnost dobře provětrávána nebo jsou-li odsávací otvory u podlahy. Pokud je potřeba volit pro  $c_2$  jinou hodnotu, vychází se z normy ČSN 73 0548. Produkce tepla svítidel je významná hlavně v budovách, kde je požadována vyšší intenzita osvětlení nebo také v místnostech bez oken jako jsou například kina či divadla. [13]

### 2.2.2.3 Ostatní tepelné zisky

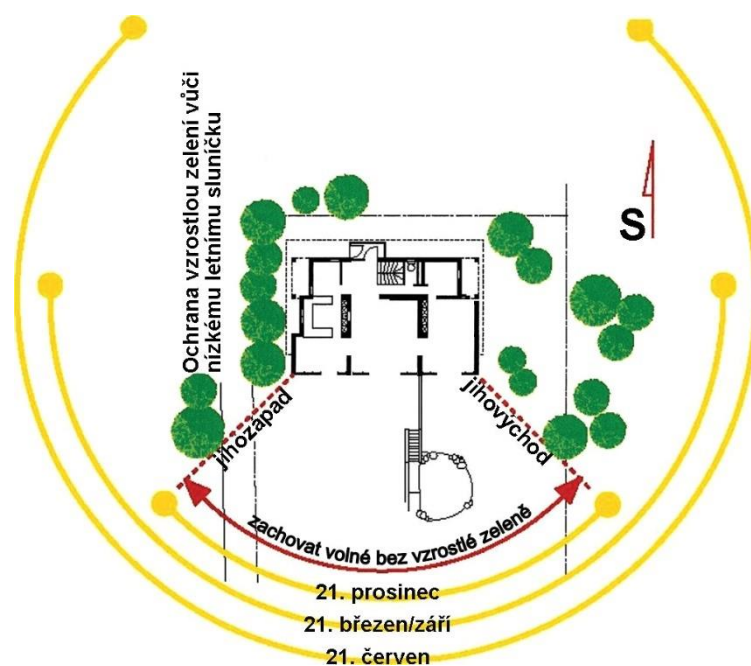
Stejně jako lze teplo ztratit prostupem, je možné naopak teplo získat, taktéž prostupem, konkrétně pak prostupem stěnami, podlahou nebo stropem z teplejších vedlejších místností, či jiných pater. Tomu je potřeba věnovat pozornost spíše u rozlehlých staveb např. průmyslových budov a u staveb bez oken. Teplo může být vyvíjeno také různými technologickými procesy, rozvod teplé vody či kanalizace, a také domácími přístroji a zařízeními. Toto teplo závisí na jednotlivých výkonech. Pokud jej neznáme přesně, doporučuje se dle ČSN EN 832 uvažovat tepelný zisk z vnitřních zdrojů  $5 \text{ W/m}^2$  vytápěné podlahové plochy. [13]

### 2.2.3 Využití zisků

Jak již bylo vidět na začátku kapitoly ne všechny zisky jsou zužitkovány. Zisky je zapotřebí využívat hlavně v topném období a naopak v letním období jim trochu zamezit. Vnitřní zisky nijak výrazně regulovat nelze, protože lidé se po budově pohybují neustále, využívají po



celý rok stejné spotřebiče a svítí, když potřebují, bez ohledu na to, jaká teplota v místnosti je. Správná skladba konstrukce napomůže ke vhodnému prostupu teplot a může v létě zabránit přílišnému přehřívání interiéru. Umístěním domu a mírou jeho zastínění lze ovlivnit optimální nakládání se zisky. Největší prosklená plocha domu by měla být orientována od jihovýchodu přes jih po jihozápad a neměla by být v topném období zastíněna. Západní část domu by naopak zastíněna být měla kvůli nízkému letnímu sluníčku. Vhodné je na tuto zastíněnou stranu, kde nevznikají solární zisky umístit kuchyň, neboť právě zde vznikají největší vnitřní zisky.

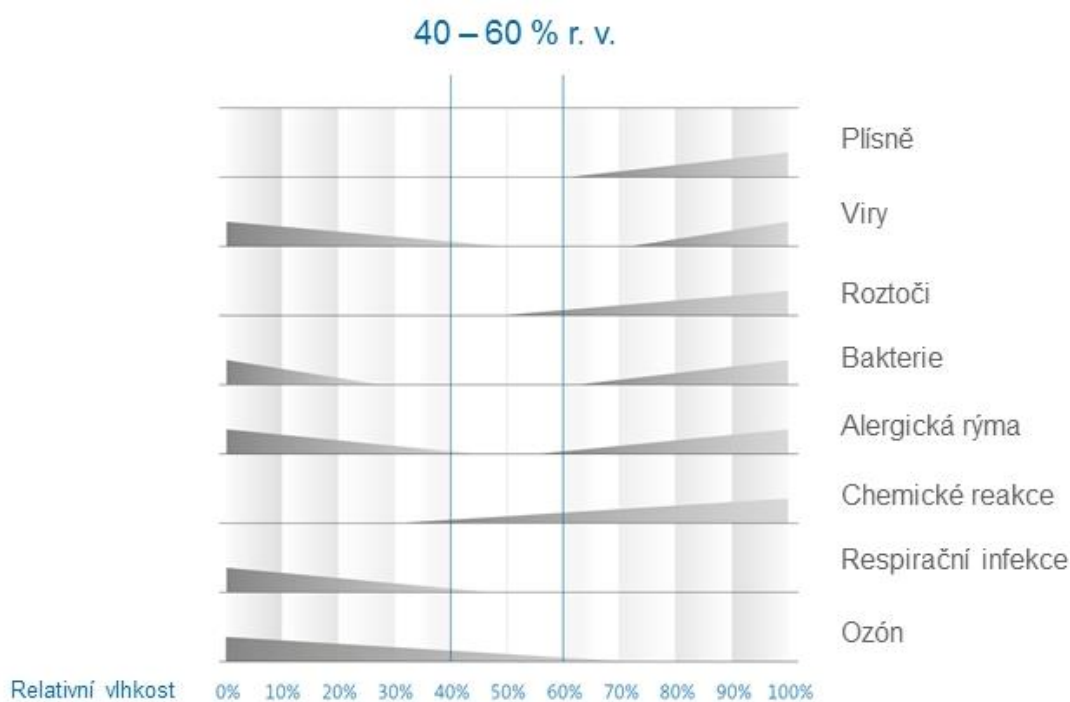


Obrázek 11: Ideální umístění domu [27]

Nejenom velikost plochy zasklenění a jeho umístění ovlivňuje množství solárních zisků ale také typ zvolených oken. Každé okno má svůj specifický solární faktor. Míra propustnosti slunečního záření může ovlivnit, jestli se místnost bude v létě přehřívát nebo ne a také zda v zimě nějaké teplo bude ze slunce získáno. Od přehřátí budovy či místnosti v letních měsících pomůže taky nainstalování přídatného zastínění, např. žaluzií, rolet nebo závěsů. K zastínění okna také pomáhá optimální přesah střechy. V letních měsících je slunce vysoko, a tudíž okno bude chráněno před přímými paprsky, avšak v zimě je slunce nízko a jeho paprsky do interiéru proniknou. Míru využití zisků ovlivňuje také způsob a rychlost regulace vytápění. Například pokud se zvýší teplota vzduchu v interiéru vnitřními zisky (například z vaření) mělo by to čidlo zaznamenat a ihned vypnout vytápění. Pokud je v domě podlahové topení, jeho regulace by měla být na základě doby, kdy na podlahu svítí slunce.

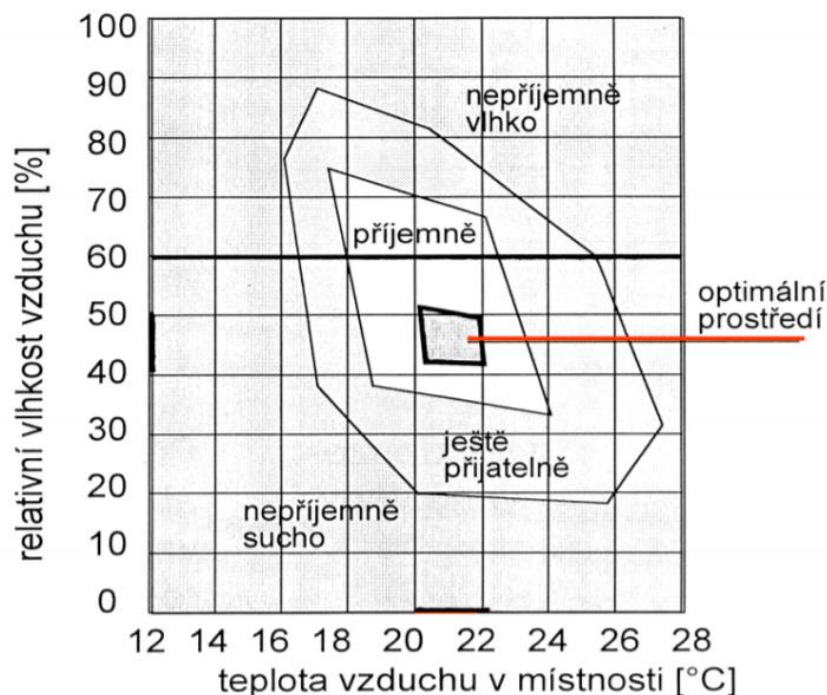
### 3 Kondenzace vodní páry

Hlavním zdrojem vodní páry v interiéru budov je člověk a jeho různé činnosti jako je například vaření, sušení prádla, koupel nebo pěstování květin. Produkce vodní páry a výměna vzduchu zvyšují relativní vlhkost v interiéru a jeho rosný bod. Vlhkost vzduchu působí na pocit pohody i na zdraví člověka. Při nízké vlhkosti se částice, např. prach obsahující roztoče, zvířecí chlupy či pyl, snadněji šíří a mohou být příčinou alergických reakcí. Nízká relativní vlhkost okolí také může zapříčinit dehydrataci, jelikož se z těla vypařuje větší množství vody. Dochází také k podráždění očí, vnímání pocitu sucha v krku nebo k praskání rtů. V malých částicích dochází ke krystalizaci solí, které vytvářejí na povrchu minerální krustu, pod kterou mohou bakterie a viry přežít dlouhou dobu. V kombinaci se schopností částic vznášet se v suchém prostředí delší dobu je riziko přenosu infekce v suchém prostředí vysoké. Z obrázku 12 lze soudit že při hodnotách relativní vlhkosti v rozmezí 40–60 % je negativní zátěž na lidský organismus nejmenší. [23]



Obrázek 12: Sterling-Scofieldův diagram [23]

Pocit pohody je zcela subjektivní, avšak po zkušenostech z praxe byl vytvořen vlhkostně-teplotní diagram, ze kterého lze odhadnout, zda prostředí bude pro člověka příjemné či ne. Optimální prostředí je stanoveno v teplotních mezích 20-22 °C při relativní vlhkosti přibližně 42-51 %, viz graf 2.



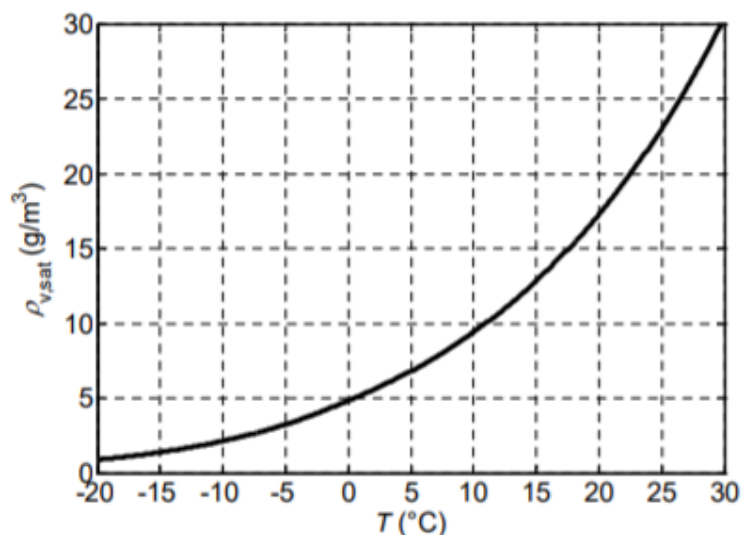
Graf 2: Vlhkostně – tepelná pohoda [22]

Zatímco absolutní vlhkost  $\phi$  ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) představuje váhové množství vodní páry obsažené v  $1 \text{ m}^3$ , vlhkost relativní  $\varphi$  (%) udává, do jaké míry je vzduchu nasycen vodní párou, viz rovnice 13. Pokud se vzduch zcela nasytí, tj. relativní vlhkost je rovna 100 %, je dosaženo tzv. rosného bodu a vodní pára kondenzuje na vodu. Rosný bod je hodnota závislá nejenom na vlhkosti, ale také na teplotě. Čím větší je teplota vzduchu, tím více vodní páry zvládne vzduch pojmout a naopak. Maximální množství definující fázové rozhraní mezi vodní parou a vodou v kapalném stavu se nazývá koncentrace vodní páry na mezi nasycení  $\rho_{v,sat}$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) a je nelineární funkcí teploty vzduchu a vypočte se dle rovnice 14.

$$\varphi = \frac{\rho_{va}}{\rho_{va,sat}} \cdot 100 \quad (-), \quad (13)$$

$$\rho_{v,sat} = \frac{a \cdot \left(b + \frac{T}{100}\right)^n}{R_v(T + 273,15)} \quad (\text{kg}/\text{m}^3), \quad (14)$$

kde  $\rho_{va}$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) představuje koncentraci vodní páry,  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) je teplota, plynová konstanta pro vodní páru  $R_v = 461,5 \text{ J}/\text{kg} \cdot \text{K}$ . Parametry  $a$ ,  $b$ ,  $n$  nabývají hodnot pro teplotní rozmezí  $0 \leq T \leq 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ :  $a = 288,68 \text{ Pa}$ ,  $b = 1,098$ ,  $n = 8,02$ . [30]



Graf 3: Koncentrace vodní páry na mezi nasycení [30]

Co se týče budov, vodní pára může kondenzovat na povrchu či uvnitř konstrukce. Pokud se teplota v exteriéru a interiéru liší, každé z prostředí dokáže pojmout rozdílné množství vodní páry. Odlišný obsah vodních par ve vzduchu vyvolá v každém prostředí částečný tlak o jiné hodnotě. Tyto částečné tlaky se snaží vyrovnat, a tak vodní páry prostupují zdí z teplejšího prostředí do chladnějšího. S klesající teplotou v konstrukci se vodní páry přibližují až k teplotě rosného bodu, a poté se již začnou srážet na vodu. Ke kondenzaci v konstrukcích budov dochází hlavně v zimním období, jelikož rozdíl teplot exteriéru a interiéru je značný. V letních měsících se zkondenzovaná vlhkost ze zdi může opět začít vypařovat. Norma ČSN 73 0540-2 však stanovuje, že množství zkondenzované páry v konstrukci za rok musí být nižší než množství vypařené vodní páry z konstrukce, aby se trvale nezvyšovala vlhkost konstrukce.

Kritickými místy pro kondenzaci ve stavbách jsou:

- *Výplně otvorů v obvodových stěnách (okna, venkovní dveře apod.),* jelikož jejich povrchová teplota bývá nižší než je teplota rosného bodu vnitřního vzduchu.
- *Svislé kouty, vodorovné kouty u obvodových stěn v místech kontaktu se stropy či podlahami, vodorovné kouty u vnitřních stěn, jestliže tyto oddělují místnosti s výrazně odlišnými vnitřními teplotami,* jelikož v těchto místech je teplo odváděno více směry, povrchová teplota zde bývá vždy nižší než povrchová teplota okolních konstrukcí a

může klesnout až pod teplotu rosného bodu.

– *Tepelné mosty* mají součinitel prostupu tepla vyšší než okolní konstrukce, a tudíž jejich povrchová teplota je výrazně nižší. Pokud tedy oddělují prostředí s výrazně odlišnou teplotou vzduchu může dojít ke kondenzaci velice snadno, pokud jejich teplota klesne až pod teplotu rosného bodu.

– *Ostění, nadpraží a parapety* u oken či venkovních dveří. V těchto místech nízká povrchová teplota může být zapříčiněna nedostatečnými tepelně technickými parametry těchto ploch a také nadměrným ochlazováním při výměně vzduchu netěsnostmi. [24]

Velice často se kondenzace vyskytuje v objektech s velice tlustými stěnami jako jsou například historické budovy. Tyto budovy mají velkou tepelnou setrvačnost, a tak i když se teplota v exteriéru zvýší, bude vnitřní povrchová teplota stále pod teplotou rosného bodu. Kondenzace také musí být řešena při výměně oken. Stará okna více infiltrovala vzduch. Nová okna mohou v místnosti více zadržovat relativní vlhkost a může docházet ke kondenzaci vodní páry na povrchu chladnějších konstrukcí.



Obrázek 13: Projevy kondenzace vodní páry – plíseň a orosené sklo [25]

V ČSN 73 0540-2 jsou stanoveny požadavky týkající se kondenzace vodní páry v budovách. V této normě je také zkoumána nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce. Teplota na povrchu má velký vliv na vznik kondenzace, a tedy i na růst plísní. Kritická místa v budově se posuzují přes teplotní faktor. Teplotní faktor  $f_{Rsi}$  je bezrozměrná hodnota vyjadřující stálou vlastnost konstrukce. Jeho hodnota by se neměla vyrovnat či klesnout pod hodnotu kritického teplotního faktoru  $f_{Rsi,cr}$ . Přesný výpočet bude použit a vysvětlen v kapitole 4.4.1.

Kondenzace vodních pár v budovách je nežádoucí jev. Pokud k němu trvale nastává, je zapotřebí učinit opatření, aby tomu zamezilo. Nejméně finančně nákladným opatřením je zvážit změnu užívání místnosti, ve které ke kondenzaci nastává. V této místnosti můžeme omezit činnosti spojené s produkcí vodní páry nebo je možné v místnosti zvýšit teplotu či zajistit větší výměnu vzduchu běžným způsobem. Pokud ani po těchto změnách teplotní faktor konstrukce nevyhovuje normě, je možné nainstalovat do budovy vzduchotechniku, která zajistí dostatečnou výměnu vzduchu i s požadovanou teplotou. Dalším opatření, jak zabránit kondenzaci, je provést úpravu obvodových konstrukcí. Pokud se kondenzace objevuje v budově ve větším rozsahu a je to možné, je nejlepší přistoupit k celkovému dodatečnému zateplení objektu. To totiž nejen zabráni kondenzaci, ale také bude mít příznivý vliv na celkovou tepelnou bilanci budovy. Dalším řešením je provést dodatečné tepelné izolace například pouze spodní stavby, podlahy od terénu či izolace soklu. Tím dojde k posunutí kondenzační zóny směrem k exteriéru, zvýší se teplota v interiéru a na vnitřním povrchu by již neměla vodní pára kondenzovat a zdivo by mělo rychleji vysychat.

[24]

## 4 Měření objektu

Cílem měření bylo provést termovizní měření chladnutí a ohřívání stěny a okna budovy při současném měření vlhkosti a teploty vzduchu. Z tohoto měření bude dále možné vyhodnotit dynamickou odezvu konstrukce budovy a parametry vnitřního prostředí. V závislosti na výsledku měření se zhodnotí možné úpravy ve vytápění a jeho regulace. Pro dobré vyhodnocování dynamických jevů v konstrukci byl objekt souvisle měřen 24 hodin. Aby bylo chladnutí konstrukce co nejnápadnější, bylo naměřeno přes noc, kdy jsou největší teplotní rozdíly mezi interiérem a exteriérem. Měření započalo dne 17.2.2019 v 17:22 hod a bylo ukončeno dne 18.2.2019 též v 17:22 hod.

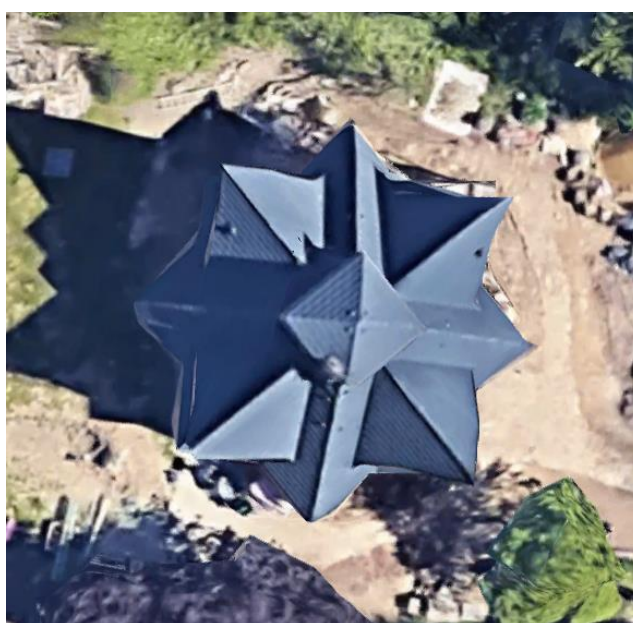
### 4.1 Popis objektu

Pro měření byl vybrán velice atypický rodinný dům, který se nachází v plzeňské části Bolevec. Dům je umístěn v mírné stráni pod silnicí, poblíž malého lesa, v obklopení dalších 3 rodinných domů a přes silnici umístěného panelového domu, viz obrázek 14. Dům je zastíňován pouze kolem poledne od panelového domu.



Obrázek 14: Poloha domu [18]

Vybraný rodinný dům má čtvercový půdorys se 4 výklenky, tudíž tvarem připomíná osmicípou hvězdu, viz obrázek 15. Dům je postaven na 73 m<sup>2</sup> zastavěné plochy a je tvořen 3 patry, které propojuje dřevěné schodiště uprostřed domu. Tento dům můžeme nazvat jako dvougenerační, jelikož v suterénu je zřízen samostatný malý byt pro maminku paní majitelky. Zbývá dvě patra obývá rodina skládající se ze 2 dospělých osob, 2 malých dětí a většího psa. Měření probíhalo v prostřední části domu, kde se nachází předsíň, záchod, koupelna, obývací pokoj, menší kuchyně, jídelna a malá pracovna. Tyto místnosti jsou rozloženy kolem schodiště a jsou mezi sebou zcela volně propojené. V patře se nachází ložnice a dětské pokoje.



Obrázek 15: Půdorys domu [18]

Všechna patra jsou od sebe dobře odizolována a výměna tepla prostupem mezi nimi je pouze minimální. Z tohoto důvodu budou nadále zanedbána a budeme se soustředit jen na prostřední patro, ve kterém probíhalo měření. Toto patro má dřevěnou konstrukci vyplněnou slaměnými lisovanými balíky. Zdi jsou pokryté hliněnými omítkami. Otvory v konstrukci tvoří vchodové dveře, dvě malá okna, do kuchyně a koupelny, a čtyři velká kastlová (dvojitá) okna s dřevěnými rámy. Podlaha je vybetonovaná a pokryta vrstvou pryskyřice. V podlaze je ukryto podlahové topení, které vytápí celé patro.



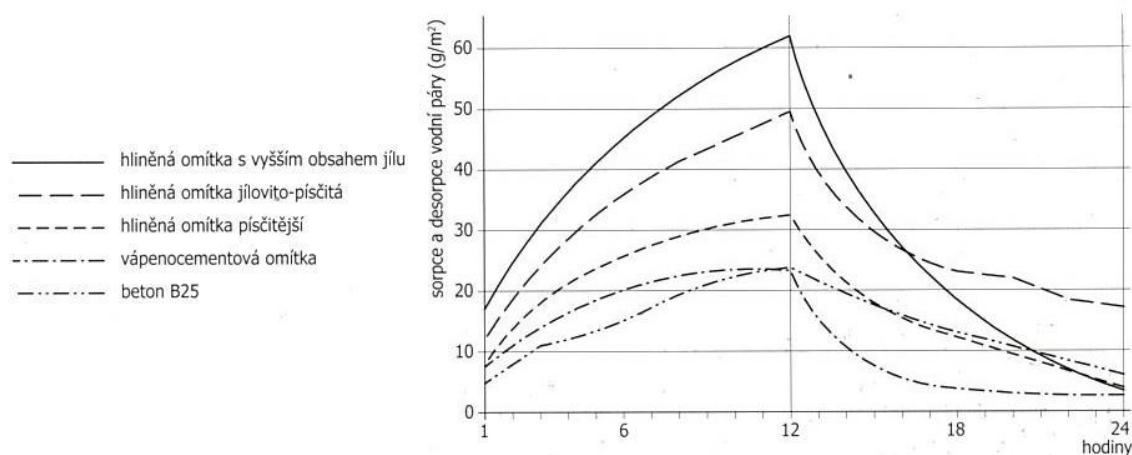


Obrázek 16: Měřený objekt

#### 4.1.1 Vlastnosti konstrukce

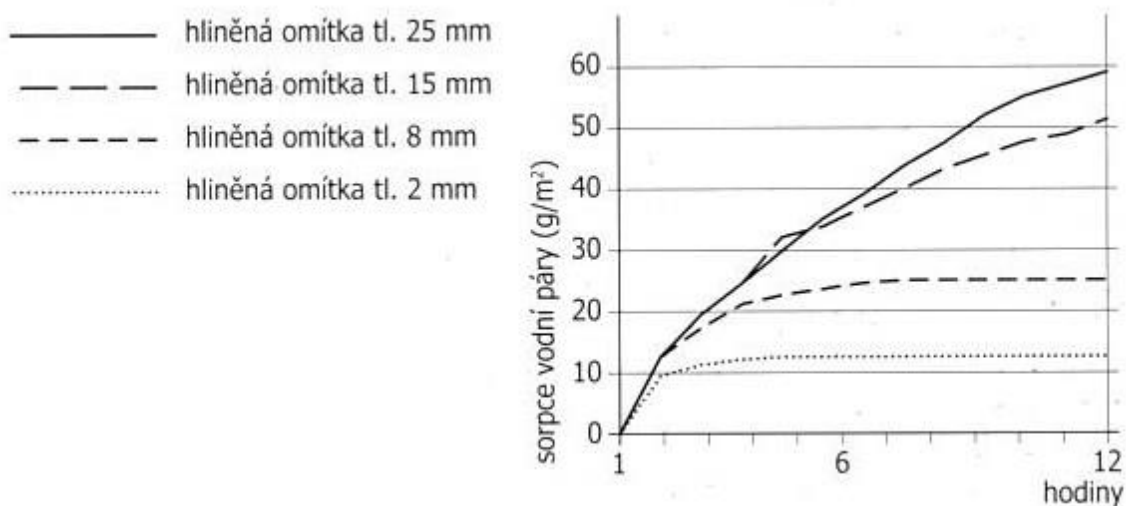
Kombinace dřeva, slámy a hliněných omítek je již po dlouhá léta ozkoušená a vykazuje velice příznivé vlastnosti. Navíc všechny tři materiály jsou přírodní, ekologické, energeticky nenáročné a snadno dostupné v ČR. Tyto materiály neznečišťují životní prostředí, jsou bezodpadové a snadno recyklovatelné. Slaměné balíky lze užívat jako náhradu za běžné izolační materiály, jelikož vykazují vynikající tepelně-izolační vlastnosti. Sláma a dřevo vykazují nízkou schopnost akumulace tepla, proto je ideální na stranu interiéru přidat hliněnou omítku, která zajistí tepelnou stabilitu domu. Hlína jako akumulací materiál dokáže sálat teplo. Další velice důležitou vlastností hliněných materiálů je schopnost regulace vlhkosti. Zvýšenou vlhkost okamžitě pohltí, a poté ji pozvolna navrací do okolního prostředí. Interiér s hliněnými omítkami se vysušuje pomalu a dochází k ořezávání vlhkostních extrémů. Člověk pobývající v takovémto interiéru nabývá pocitu, že vlhkost vzduchu je vyšší, než lze vyčíst na vlhkoměru. Dřevo sice také pohlcuje vlhkost, ale velmi pomalu se jí zbavuje. Tím se při větší frekvenci zvýšené vlhkosti stává, že se jí dřevo nestihá zbavovat a jeho vlhkost se zvyšuje, k tomu dochází například v koupelně. Hlína na rozdíl od dřeva má nejen výbornou absorpci vlhkosti, ale také se jí snadno zbavuje (desorpce). Navíc hlína chrání a konzervuje dřevěné konstrukce tím, že udržuje ve dřevu jeho stálou přirozenou vlhkost. Hliněné omítky mají velice dobré zvukově-izolační vlastnosti a také jsou schopny výrazně pohlcovat škodlivé látky, například pachy z kuchyně, cigaretový kouř

a obecně látky způsobující potíže alergikům. Hlína nepodporuje vznik plísní a je také dobrou ochranou proti požárům. [16], [26]



Graf 4: Absorpce a desorpce vodní páry [16]

Na grafu 4 je znázorněna sorpční a desorpční křivka pro 1,5 cm tlusté vrstvy různých stavebních materiálů při teplotě 21 °C. V době absorpce byla relativní vlhkost v interiéru zvýšena z 50 % na 80 % a po 12 hodinách došlo k opětovnému snížení na 50 % relativní vlhkosti (r.h.). U průběhu hliněných omítek je rozdíl dle obsahu písku či druhu jílu, avšak pořád tyto omítky pojmu více vodní páry nežli beton. Následně na grafu 5 Graf 5 je zobrazen průběh sorpce vodní páry pro rozdílné tloušťky hliněné omítky.



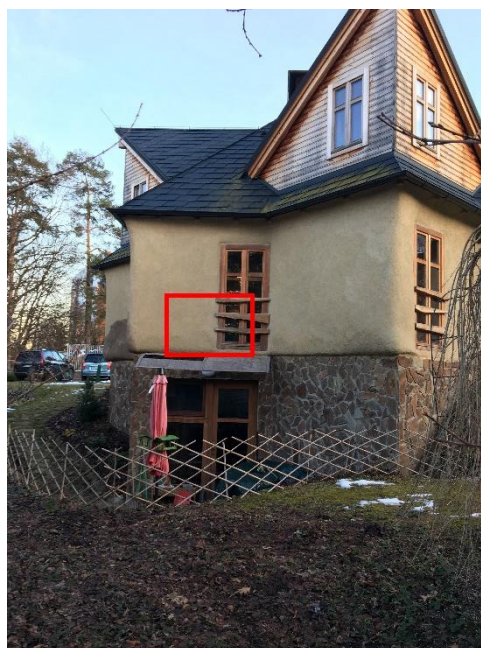
Graf 5: Sorpce vodní páry v hliněných omítkách [16]

## 4.2 Postup měření

K měření byla vybrána severní strana domu, na kterou po celý den nedopadají přímé sluneční paprsky a nachází se na ní skleněná výplň. Termokamera byla připevněna na stativ a umístěna přibližně 1,5 m od zdi v interiéru, viz obrázek 17. Snímala měřený prostor tak, aby bylo zaznamenáno současně chování stěny, okna i podlahy. Termokamera zaznamenávala data v 5minutovém intervalu po dobu 24 hodin. Celý tento záznam je přiložen na CD. Ve stejných intervalech probíhalo také měření prostorové teploty, vlhkosti a CO<sub>2</sub> v interiéru pomocí přístroje Testo 435-2, který byl umístěn přibližně 2 m od termokamery na komodě ve výšce přibližně 120 cm. Zároveň byla měřena teplota a vlhkost v exteriéru pomocí přístroje COMET Commeter D3631, který byl upevněn do výšky přibližně 180 cm nad zemí. Před zahájením měření byly pořízeny termogramy z vnější strany objektu po celém obvodu budovy. Tyto termogramy jsou umístěny v příloze A.



Obrázek 17: Měření v interiéru



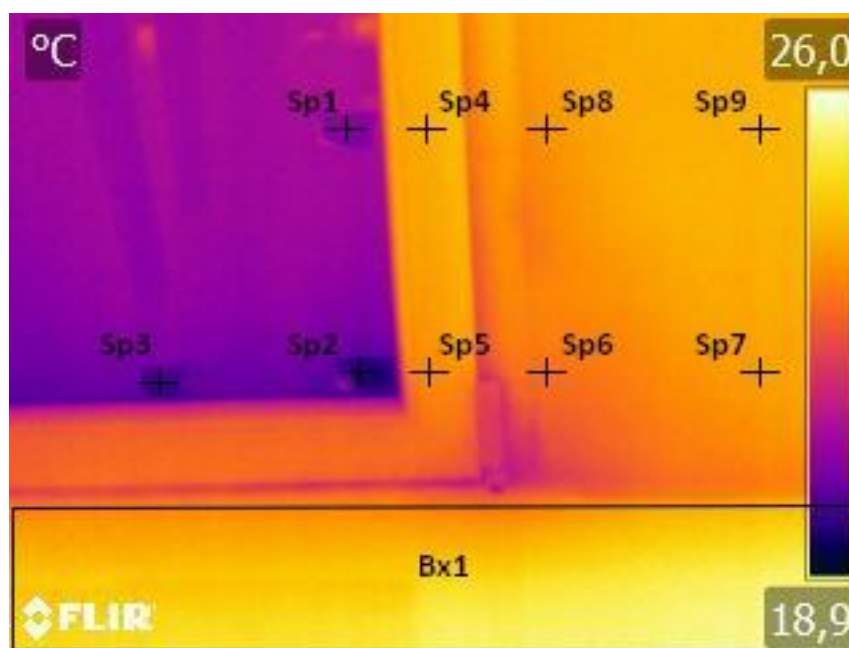
Obrázek 18: Měřený prostor z exteriéru

Měření na všech přístrojích bylo zahájeno v 17:22 hod. Přibližně 10 minut před zahájením měření bylo vypnuto vytápění domu. V této večerní době již začala teplota v exteriéru klesat a bylo měřeno ochlazování konstrukce po dobu 18 hodin. Následně se podlahové vytápění domu zapnulo a bylo měřeno 6 hodin ohřívání konstrukce. Po nepřetržitě naměřených 24 hodinách bylo měření na všech přístrojích ukončeno. A stejně jako před začátkem měření, tak i po ukončení měření byly pořízeny termogramy po obvodu objektu,

viz příloha B. V příloze C jsou umístěny termogramy z celého měření, jež rozdělují 15minutový interval.

### 4.3 Naměřená data

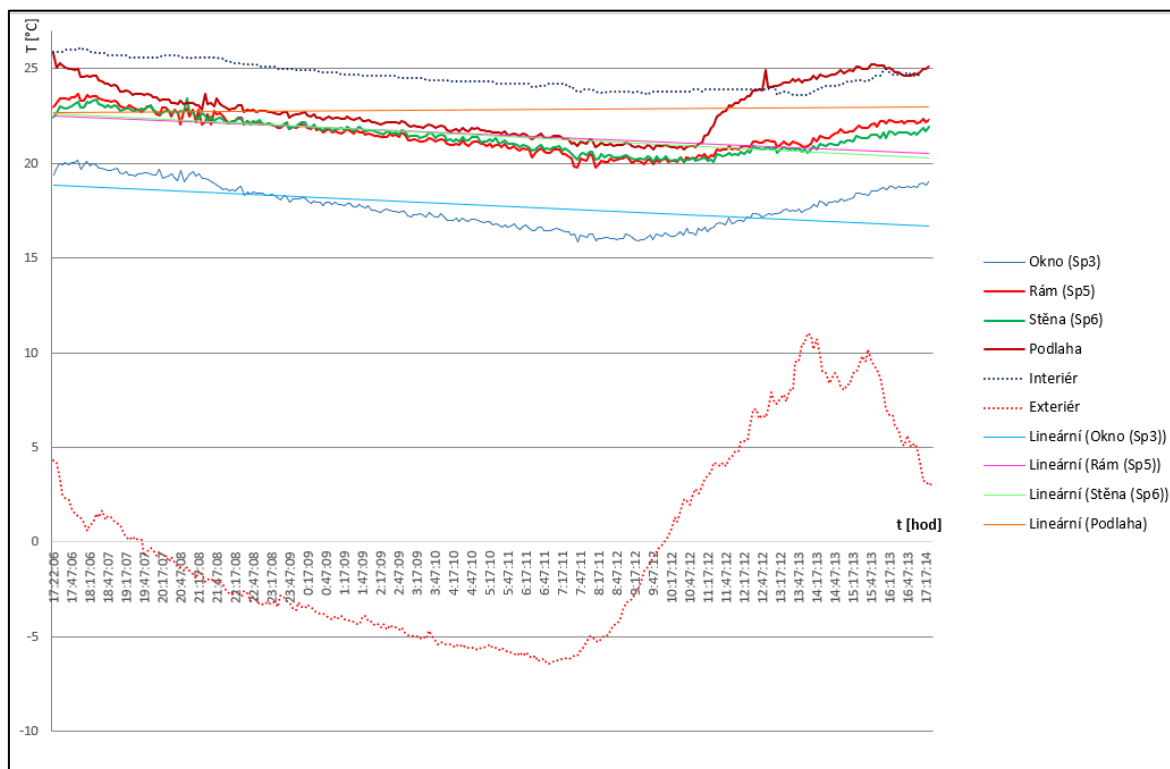
Všechna data byla měřena po dobu 24 hodin v 5minutových intervalech. Hodnoty vlhkosti, CO<sub>2</sub> a teploty z interiéru i exteriéru jsou vypsány v příloze E. Za pomoci softwaru byly odečteny hodnoty teploty ze snímků termokamery. Ty jsou detailně vypsány v příloze D. Pro sledování teploty konstrukce bylo zvoleno 9 bodů a jedna plocha, viz obrázek 19. Body byly rozmístěny ve dvou vodorovných liniích na všech zkoumaných typech konstrukce. Tři body (*Sp1*, *Sp2*, *Sp3*) jsou umístěny na skle, dva body (*Sp4*, *Sp5*) na dřevěném rámu okna a čtyři body (*Sp6*, *Sp7*, *Sp8*, *Sp9*) na stěně. Plocha *Bx1* zabírá teplotu podlahy a v tabulce je zaznamenána průměrná teplota této plochy.



Obrázek 19: Vyznačení zkoumaných bodů

Chování konstrukce se lépe vyhodnocuje z grafického zaznamenání naměřených hodnot. Proto byl vytvořen graf, který znázorňuje průběhy povrchových teplot ve všech bodech konstrukce, průběh teploty podlahy a také průběhy teploty v interiéru a exteriéru. Tento souhrnný graf je umístěn do přílohy F. Na tomto grafu je viditelné, že křivky všech bodů stejné konstrukce mají obdobný průběh a liší se pouze malým teplotním rozdílem. Proto je možné dále pracovat pouze se zjednodušeným a přehlednějším grafem 6, který obsahuje pouze jeden bod z každého typu konstrukce. Tento graf je také umístěn ve větším

formátu do přílohy G. V přílohách se také vyskytují grafy z naměřených hodnot v interiéru a exteriéru. Konkrétně v příloze H se nachází graf teploty, vlhkostí a CO<sub>2</sub> v interiéru, v příloze I graf teploty a vlhkostí v exteriéru a v příloze J společný graf hodnot z exteriéru a interiéru.



Graf 6: Průběhy teplot

#### 4.4 Vyhodnocení naměřených dat

Po dobu celého měření se teplota v interiéru pohybovala v rozmezí od 23,6 °C do 26,1 °C. Relativní vlhkost dosahovala hodnot od 21,4 % do 33,8 %. Teplota v exteriéru od začátku měření postupně během celé noci klesala až do 7 hodin ranních, kdy byla naměřena nejnižší teplota - 6,4 °C. Poté se teplota začala rychleji zvyšovat a svého maxima 11 °C dosáhla ve 14 hod. Následně prudce klesla a opět se zvýšila. Od 15:45 hod do ukončení měření se teplota již jen ochlazovala. Průměrná teplota exteriéru byla vypočtena na -0,3 °C a průměrná hodnota relativní vlhkosti v exteriéru na 85,6 %. Kdy od 18 hod se relativní vlhkost držela až do 10:30 hod na 100 %. Poté během 6 hodin došlo k rapidnímu poklesu o více než 70 % r.h. Po zbytek měření se relativní vlhkost pozvolna zvyšovala. Tyto průběhy lze graficky sledovat v přílohách H, I či J. Teplota podlahy během ochlazování klesla přibližně o 5 °C. Moment, kdy se podlahové vytápění opět zapnulo je z grafu rozpoznatelný, jelikož teplota podlahy začala prudce vzrůstat. V následujících 6 hodinách ohřívání vzrostla její

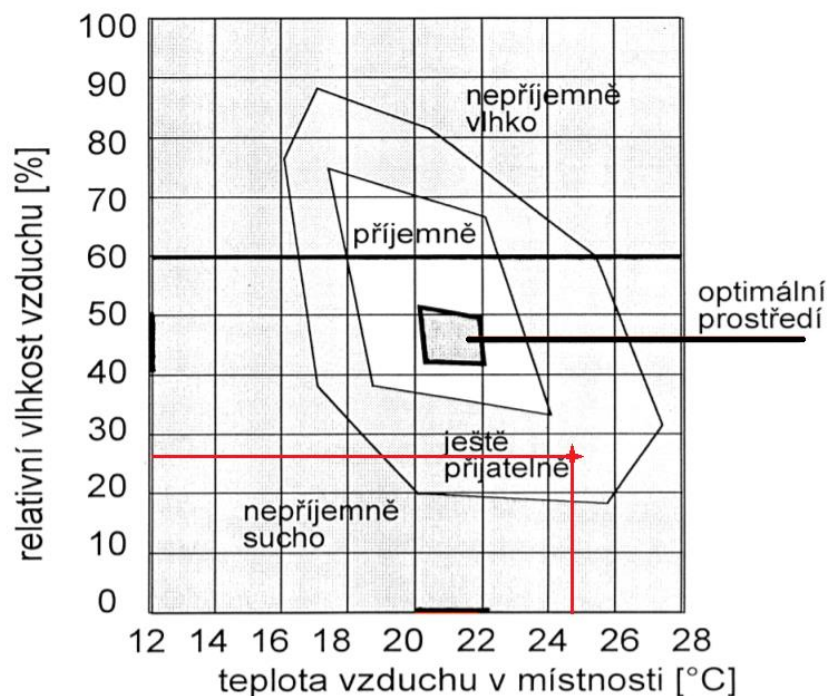
teplota přibližně o 4,5 °C na hodnotu 25,078 °C. Tato hodnota je jen o 0,74 °C nižší, nežli tomu bylo na začátku měření, kdy odečítaná plocha podlahy dosahovala průměrné teploty 25,817 °C. Z průběhů teplot konstrukce je vidět, že okenní sklo svou teplotu ztrácí nejrychleji. Na druhou stranu jeho teplota začne stoupat již po 9. hodině ranní. Reaguje tedy na zvýšení teploty v exteriéru, zatímco okenní rám a stěna se začnou opět ohřívat až po spuštění podlahového vytápění. V čase 9:47 byla naposledy teplota skla pod 16 °C. V tuto dobu rozdíl mezi teplotou skla a teplotou zbylé konstrukce (20 °C) činil 4 °C. Na konci měření teplota skla 19 °C byla už jen o 3 °C nižší nežli zbylá konstrukce (22 °C). Je tedy evidentní, že sklo sice mnohem rychleji teplotu ztrácí ale také ji mnohem rychleji získává. Průběh teploty okenního rámu a teploty stěny jsou si velice podobné a jejich průměrná teplota je kolem 21,5 °C. Zatímco průměrná teplota skla je o 4 °C nižší. Na začátku i na konci měření je teplota rámu vyšší nežli teplota stěny, avšak během ochlazování se křivka teploty rámu dostane pod křivku teploty stěny. Lze tedy usoudit, že stěna má o něco nižší součinitel prostupu tepla a také vyšší tepelně-izolační a tepelně-akumulační schopnost, jelikož pomaleji chladne a také se pomaleji ohřívá nežli okenní rám. Konstrukce na zapnutí vytápění začne reagovat téměř okamžitě, ale teplota interiéru se začala zvyšovat až po zhruba 3 hodinách. Je to dáno hlavně tím, že dům je vytápěn právě podlahovým topením a měřené body konstrukce byly blízko země, přičemž teplota interiéru byla měřena ve výšce 120 cm nad zemí. Teplo je tedy do měřících bodů na konstrukci přivedeno mnohem rychleji, nežli se teplo sáláním projeví ve velkém prostoru interiéru.

Do měření je zanesena jedna větší nepřesnost, kdy v čase kolem 21. hod se kamera na stativu uvolnila a pomalu se sklápěla k jedné straně. Zkoumané body na záznamu sice zůstaly viditelné, ale byly snímány z jiného úhlu, a proto jejich hodnota nemusí být zcela přesná. Tento jev je rozpoznatelný i z grafu měření. V této době je průběh hodnot více kolísavý nežli ve zbytku měření.

#### 4.4.1 Vlhkostně teplotní pohoda

Pro zhodnocení vlhkostně teplotní pohody v tomto domě, byly hodnoty průměrné teploty (24,6 °C) a průměrné relativní vlhkosti (26,4 %) zaneseny do grafu 7. Z tohoto grafu lze vidět, že prostředí je vyhodnoceno jako ještě přijatelné. Avšak aby bylo posouzeno jako optimální, musela by teplota v domě klesnout alespoň o 2,5 °C a relativní vlhkost se zvýšit alespoň o 16 %. Nízká relativní vlhkost je zapříčiněna hlavně velkým prostorem, kde se

nachází velký objem vzduchu, který snadno pojme množství vyprodukované vodní páry a také poměrně netěsnými okny, kterými probíhá neustálá výměna vzduchu. Netěsnost oken je také dokázána v příloze H z průběhu CO<sub>2</sub> a z průběhu relativní vlhkosti. Obě tyto křivky po celou dobu měření klesají. V případě těsných oken by s poklesem vnitřní teploty relativní vlhkost v místnosti spíše stoupala.



Graf 7: Vlhkostně teplotní stav interiéru

#### 4.4.2 Teplotní faktor vnitřního povrchu

Jak je již zmíněno v kapitole 3 norma ČSN 73 0540-2 stanovuje zhodnocení stavu konstrukce přes teplotní faktor. V této normě je udáno, že v zimním období musí konstrukce v prostorech s relativní vlhkostí nižší nebo rovno 60 % vykazovat v každém místě teplotní faktor vnitřního povrchu dle vztahu 15.

$$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N} \quad (15)$$

kde  $f_{Rsi,N}$  (-) představuje hodnotu požadovaného nejnižšího teplotního faktoru vnitřního povrchu, který je stanoven dle vztahu 16.

$$f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} \quad (16)$$

Kritický teplotní faktor vnitřního povrchu  $f_{Rsi,cr}$  (-) je stanoven dle vztahu 17.

$$f_{Rsi,cr} = 1 - \frac{237,3 + 2,1 \cdot \theta_{ai}}{\theta_{ai} - \theta_{ex}} \cdot \frac{1}{1,1 - \frac{17,269}{\ln\left(\frac{\varphi_{i,r}}{\varphi_{si,cr}}\right)}} \quad (-), \quad (17)$$

kde  $\theta_{ai}$  (°C) je teplota vnitřního vzduchu a  $\theta_{ex}$  (°C) je teplota prostředí přilehlého k vnější straně konstrukce v zimním období.  $\varphi_{si,cr}$  (%) je kritická vnitřní povrchová vlhkost. To je vlastně relativní vlhkost vzduchu v bezprostřední blízkosti vnitřního povrchu konstrukce, která nesmí být pro danou konstrukci překročena. Normou je tato hodnota stanovena pro výplně otvorů na 100 % (riziko orosování) a pro ostatní konstrukce na 80 % (riziko růstu plísní). Relativní vlhkost vnitřního vzduchu pro stanovení požadavku na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu konstrukce  $\varphi_{i,r}$  (%) se pro stavební konstrukce, ve kterých se prokazatelně neupravuje vzduch vzduchotechnikou, vypočítá dle vztahu 18.

$$\varphi_{i,r} = \varphi_i - 10 + \Delta\varphi_i \quad (%), \quad (18)$$

kde  $\varphi_i$  (%) je návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu v zimním období stanovená pro budovu nebo její ucelenou část pro požadované užívání dle ČSN 73 0540-3. Kromě prostorů s vlhkým, mokrým nebo suchým prostředím se uvažuje  $\varphi_i = 50$  %.  $\Delta\varphi_i$  (%) představuje bezpečnostní vlhkostní přírážku podle ČSN EN ISO 13788. Uvažuje se hodnota  $\Delta\varphi_i = 5$  %. Teplotní faktor vnitřního povrchu  $f_{Rsi}$  (-) se vypočítá podle vztahu 19.

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_{ex}}{\theta_{ai} - \theta_{ex}} \quad (-), \quad (19)$$

kde  $\theta_{si}$  (°C) je vnitřní povrchová teplota.

Dle tohoto postupu jsou dopočteny do tabulky 3 hodnoty pro všechny veličiny v různých pěti stavech, jež budou dále vysvětleny.



		normovaná			reálná			změna teploty interiéru			změna vlhkosti			změna teploty konstrukce		
		stěna	rám	sklo	stěna	rám	sklo	stěna	rám	sklo	stěna	rám	sklo	stěna	rám	sklo
$\theta_{ai}$	(°C)	23,8	23,9	23,9	23,8	23,9	23,9	29,7	29,4	29	23,8	23,9	23,9	23,8	23,9	23,9
$\varphi_i$	(%)	50	50	50	25,2	25	25	50	50	50	69	68	66	50	50	50
$\theta_{si}$	(°C)	20,07	19,79	15,84	20,07	19,79	15,84	20,07	19,79	15,84	20,07	19,79	15,84	14,57	14,66	11,25
$\theta_{ex}$	(°C)	-6,4	-6,4	-6,4	-6,4	-6,4	-6,4	-6,4	-6,4	-6,4	-6,4	-6,4	-6,4	-6,4	-6,4	-6,4
$fr_{si}$	(-)	0,88	0,86	0,73	0,88	0,86	0,73	0,73	0,73	0,63	0,83	0,86	0,73	0,69	0,70	0,53
$fr_{si,cr}$	(-)	0,69	0,70	0,58	0,30	0,30	0,20	0,73	0,73	0,63	0,83	0,87	0,74	0,69	0,70	0,53
$\rho_{sat,ai}$	(kg/m <sup>3</sup> )	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
$\rho_{ai}$	(kg/m <sup>3</sup> )	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
$\Phi_{ai}$	(g/m <sup>3</sup> )	10,75	10,81	10,81	5,42	5,41	5,41	14,91	14,67	14,35	14,84	14,71	14,49	10,75	10,81	10,81
$\rho_{sat,si}$	(kg/m <sup>3</sup> )	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
$\varphi_{si}$	(%)	61,97	63,32	80,08	31,23	31,66	40,04	85,94	85,90	106,29	85,52	86,12	105,70	86,04	86,04	106,23
$\varphi_{ir}$	(%)	45	45	45	20,2	20	20	45	45	45	64	63	62	45	45	45
$\varphi_{si,cr}$	(%)	80	80	100	80	80	100	80	80	100	80	80	100	80	80	100
$\varphi_i$	(%)	50	50	50	25,2	25	25	50	50	50	69	68	66	50	50	50
$\Delta\varphi_i$	(%)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Tabulka 3: Stanovení teplotních faktorů

Při každém stavu je zkoumána situace na všech třech typech konstrukce budovy. Pokaždé je pro tyto konstrukce zadána kritická povrchová vlhkost ( $\varphi_{si,cr}$ ) dle normy, tj. pro sklo 100 % a pro dřevěný rám a stěnu 80 %. Normou stanovená bezpečnostní vlhkostní přírážka ( $\Delta\varphi_i$ ) se v žádné situaci také nemění. Neměnnou hodnotou pro všechny výpočetní stavy je také teplota v exteriéru ( $\theta_{ex}$ ). Teplota v interiéru ( $\theta_{ai}$ ), vlhkost vnitřního vzduchu ( $\varphi_i$ ) a vnitřní povrchová vlhkost ( $\theta_{si}$ ) je pozměňována. Z těchto hodnot jsou vždy vypočteny teplotní faktory ( $fr_{si}$ ,  $fr_{si,cr}$ ), které jsou pro přehlednost zvýrazněny žlutou barvou. Z porovnání těchto dvou teplotních faktorů je rozpoznatelné, zda dojde ke kondenzaci vodní páry či nedojde. Pro lepší názornost je pomocnými výpočty ( $\rho_{sat,ai}$ ,  $\rho_{ai}$ ,  $\Phi_{ai}$ ,  $\rho_{sat,si}$ ) dle vztahů 13 a 14 dopočtena relativní povrchová vlhkost ( $\varphi_{si}$ ), jež je zvýrazněna zelenou barvou. Přesněji jako první je vypočtena koncentrace vodní páry na mezi nasycení při teplotě interiéru  $\rho_{sat,ai}$  (rovnice 14). Dále je z rovnice 13 dopočtena koncentrace vodní páry v interiéru  $\rho_{ai}$ , z níž je dopočtena absolutní vlhkost interiéru  $\Phi_{ai}$ . Následně je opět dle vzorce 14 dopočtena koncentrace vodní páry na mezi nasycení při povrchové teplotě konstrukce  $\rho_{sat,si}$ . Podělením hodnot  $\rho_{ai}$  a  $\rho_{sat,si}$  dle rovnice 13 a vynásobením 100 je vypočtena výsledná relativní povrchová vlhkost  $\varphi_{si}$ .

Výchozí situace pro výpočet je nazvána jako „normovaná“. Jde o situaci, kdy všechny hodnoty jsou zadány úplně přesně podle normy. Z naměřených dat povrchové

teploty budovy byly vyhledány nejnižší hodnoty pro každý typ konstrukce. Dle času, kdy byly tyto hodnoty změřeny, byly doplněny jim příslušné teploty v interiéru. Teplota exteriéru byla stanovena jako nejnižší teplota, jež byla po dobu měření zaznamenána. V normě je stanoveno, že výpočtová vlhkost v interiéru je rovna 50 %, což je dvojnásobně vyšší vlhkost, než v objektu reálně je. Z tohoto důvodu byly také vypočteny hodnoty pro „reálnou“ situaci, jež se v domě vyskytuje. V obou těchto situacích teplotní faktor vnitřního povrchu splňuje normou danou podmínku a jeho hodnota je vyšší než kritický teplotní faktor. Kondenzace vodní páry na povrchu konstrukce tedy nenastane. Při normované situaci povrchová vlhkost konstrukce je přibližně o 20 % nižší, než je kritická povrchová vlhkost. Když je počítáno se skutečnou hodnotou vlhkosti v interiéru, tak povrchová vlhkost konstrukce je dokonce 2,5x nižší, než je kritická hodnota.

V dalších třech situacích byla pozměněna vždy jedna hodnota z výchozí situace tak, aby podmínka  $f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N}$  nebyla dodržena, a tím byla nalezena okrajová podmínka, při jakých hodnotách začne vodní pára kondenzovat. Při první simulaci bylo zjištěno, že při výpočtové vlhkosti v interiéru 50 %, skutečné teplotě v exteriéru a skutečné nejnižší povrchové teploty konstrukce, by teplota v interiéru musela dosahovat alespoň 29 °C, aby docházelo k prvotním projevům kondenzace. Přesněji jako první by vodní pára začala kondenzovat na skleněné výplni, a to při teplotě 29 °C, následně při zvýšení teploty na 29,4 °C by kondenzace nastala na okenním rámu a jako poslední by se kondenzace projevila na zdi při 29,7 °C. Pokud by v domě nastaly tyto podmínky z hlediska vlhkostně teplotní pohody (graf 2) by toto prostředí bylo pro člověka nepříjemně suché. Relativní vlhkost v domě by sice byla v mezích optimálních, avšak teplota přes 29 °C je příliš vysoká.

V další situaci by se naopak prostředí pro člověka jevilo jako nepříjemně vlhké. Při skutečně naměřené vnitřní teplotě kolem 24 °C by vnitřní relativní vlhkost musela stoupnout až na 69 %, aby se kondenzace projevila na všech třech konstrukcích budovy. Přesněji jako první by kondenzace propukla na okně při 66 % r.h., dále na okenním rámu při 68 % r.h. a až poté na stěně při 69 % r.h.

V poslední situaci, při výpočtové relativní vlhkosti 50 % a skutečně naměřené teploty v interiéru, je prostředí považováno za ještě příjemné. V tomto stavu je zkoumáno, jak moc by se konstrukce musela ochladit, aby došlo ke kondenzaci. Povrchová teplota stěny by musela klesnout o 5,5 °C, a to z naměřených 20,07 °C na 14,57 °C. U okenního rámu by

se povrchová teplota musela změnit z 19,79 °C na 14,66 °C, to je přesně o 5,13 °C. Skleněná výplň okna by se orosila, pokud by měla povrchovou teplotu 11,25 °C a nižší. Musela by být tedy ochlazena z 15,84 °C o 4,59 °C.

#### 4.4.3 Kritická povrchová teplota konstrukce

Z tabulky naměřených hodnot termokamerou (příloha D) byla stanovena nejnižší povrchová teplota konstrukce domu: *stěna* 20,07 °C, *okenní rám* 19,79 °C, *sklo* 15,84 °C. V kapitole 4.4.1. bylo dokázáno, že při těchto teplotách konstrukce nedochází ke kondenzaci vodní páry na jejím povrchu. Také bylo zmíněno, že je možné stanovit jakou povrchovou teplotu by musela mít konstrukce, aby ke kondenzaci došlo. Tento výpočet byl uskutečněn pro dva stavy interiéru (výpočtový a reálný) a zanesen do tabulky 4. Jediný rozdíl mezi těmito stavy je v uvažované relativní vlhkosti v interiéru.

		změna teploty konstrukce					
		výpočtová vlhkost			reálná vlhkost		
		stěna	rám	sklo	stěna	rám	sklo
$\theta_{ai}$	(°C)	23,8	23,9	23,9	23,8	23,9	23,9
$\varphi_i$	(%)	50	50	50	25,2	25	25
$\theta_{si}$	(°C)	14,57	14,66	11,25	2,74	2,70	-0,40
$\theta_{ex}$	(°C)	-6,4	-6,4	-6,4	-6,4	-6,4	-6,4
$f_{rsi}$	(-)	0,694	0,695	0,583	0,298	0,300	0,198
$f_{rsi,cr}$	(-)	0,694	0,695	0,583	0,298	0,300	0,198
$\rho_{sat,ai}$	(kg/m <sup>3</sup> )	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022
$\rho_{ai}$	(kg/m <sup>3</sup> )	0,011	0,011	0,011	0,005	0,005	0,005
$\Phi_{ai}$	(g/m <sup>3</sup> )	10,752	10,813	10,813	5,419	5,407	5,407
$\rho_{sat,si}$	(kg/m <sup>3</sup> )	0,012	0,013	0,010	0,006	0,006	0,005
$\varphi_{si}$	(%)	86,037	86,036	106,234	92,670	92,707	114,691
$\varphi_{ir}$	(%)	45	45	45	20	20	20
$\varphi_{si,cr}$	(%)	80	80	100	80	80	100
$\varphi_i$	(%)	50	50	50	25,2	25	25
$\Delta\varphi_i$	(%)	5	5	5	5	5	5

Tabulka 4: Stanovení teploty konstrukce

V případě, kdy se uvažuje normou stanovených 50 % r.h. by teplota konstrukce musela klesnout na: *stěna* 14,57 °C, *okenní rám* 14,66 °C, *sklo* 11,25 °C. To znamená, že konstrukce by musela být ochlazena o přibližně 5 °C. V druhém případě, kdy je uvažována skutečně naměřená relativní vlhkost v domě, by se konstrukce musela ochladit na: *stěna* 2,74 °C, *okenní rám* 2,7 °C, *sklo* -0,4 °C, tj přibližně o 17 °C. Na základě takto stanovených hodnot

byla graficky odhadnuta doba, za jakou by konstrukce dosáhla kritické povrchové teploty. Graf 8 je ve větším formátu vložen i do přílohy K.



Graf 8: Odhad chladnutí konstrukce

Do průběhů teploty konstrukce je v grafu 8 zohledněna pouze doba, kdy bylo topení vypnuto. V grafu jsou také znázorněny mezní teploty, kterých musí konstrukce dosáhnout, aby došlo ke kondenzaci. Trend chladnutí skla je nejstrmější a ke kondenzaci by na tomto povrchu došlo přibližně za 35 hodin. Trend chladnutí dřevěného okenního rámu se se svou mezní hodnotou prořal přibližně za 43 hodin. Vodní pára na zdi by začala kondenzovat asi za 48 hodin chladnutí stěny. Graficky je znázorněna pouze situace, kdy je uvažována výpočtová relativní vlhkost interiéru. Pokud tedy pokles o 5 °C trvá v průměru 42 hodin, pokles o 17 °C by trval 3,4x déle. V reálné situaci, která v domě je, by tedy sklo dosáhlo kritické teploty za 119 hodin, tj. za téměř 5 dní. Rám okna by musel chladnout 146 hodin (6 dní) a stěna budovy 163 hodin, tj. téměř 7 dní. Je možné tedy říci, že teplota klesá velice pozvolna a stěna budovy má velice dobrou akumulaci a tepelně-izolační schopnost.

#### 4.4.4 Vyhodnocení konstrukce přes software TEPLO 2015

Program TEPLO 2015 je určen pro základní tepelně technické posouzení skladby stavební konstrukce z hlediska prostupu tepla a vodní páry. Umožňuje detailní výpočet tepelného

odporu a součinitele prostupu tepla, vnitřní povrchové teploty, rozložení teplot a tlaků vodní páry v konstrukci a oblasti kondenzace a roční bilance zkondenzované vodní páry. Zohledňuje požadavky ČSN 730540-2 a STN 730540-2 a postupy ČSN 730540-4, EN ISO 6946 a EN ISO 13788.

#### 4.4.4.1 Postup vyhodnocování

##### ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

Typ hodnocené konstrukce : Stěna vnější jednoplášťová  
Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m<sup>2</sup>K

##### Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D [m]	Lambda [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	Ro [kg/m <sup>3</sup> ]	Mi [-]	Ma [kg/m <sup>2</sup> ]
1	Omítka jílová	0,0750	0,5700	800,0	1815,0	12,0	0.0000
2	Sláma kolmo k	0,5000	0,0800	2000,0	100,0	2,0	0.0000
3	Omítka jílová	0,1200	0,5700	800,0	1815,0	12,0	0.0000

Poznámka: D je tloušťka vrstvy, Lambda je návrhová hodnota tepelné vodivosti vrstvy, C je měrná tepelná kapacita vrstvy, Ro je objemová hmotnost vrstvy, Mi je faktor difúzního odporu vrstvy a Ma je počáteční zabudovaná vlhkost ve vrstvě.

##### Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi : 0.13 m<sup>2</sup>K/W  
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rsi : 0.25 m<sup>2</sup>K/W  
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse : 0.04 m<sup>2</sup>K/W  
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rse : 0.04 m<sup>2</sup>K/W

Návrhová venkovní teplota Te : -6.4 C  
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai : 23.8 C  
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe : 94.9 %  
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RHi : 50.0 %

##### VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :

##### Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 6.592 m<sup>2</sup>K/W  
Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.148 W/m<sup>2</sup>K

Součinitel prostupu zabudované koe U,ko : 0.17 / 0.20 / 0.25 / 0.35 W/m<sup>2</sup>K  
Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou podle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

##### Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor podle ČSN 730540 a EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách Tsi,p : 22.70 C  
Teplotní faktor v návrhových podmínkách f,Rsi,p : 0.964

##### Difúze vodní páry v návrh. podmínkách a bilance vodní páry podle ČSN 730540: (bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a částečných tlaků vodní páry v návrhových okrajových podmínkách:

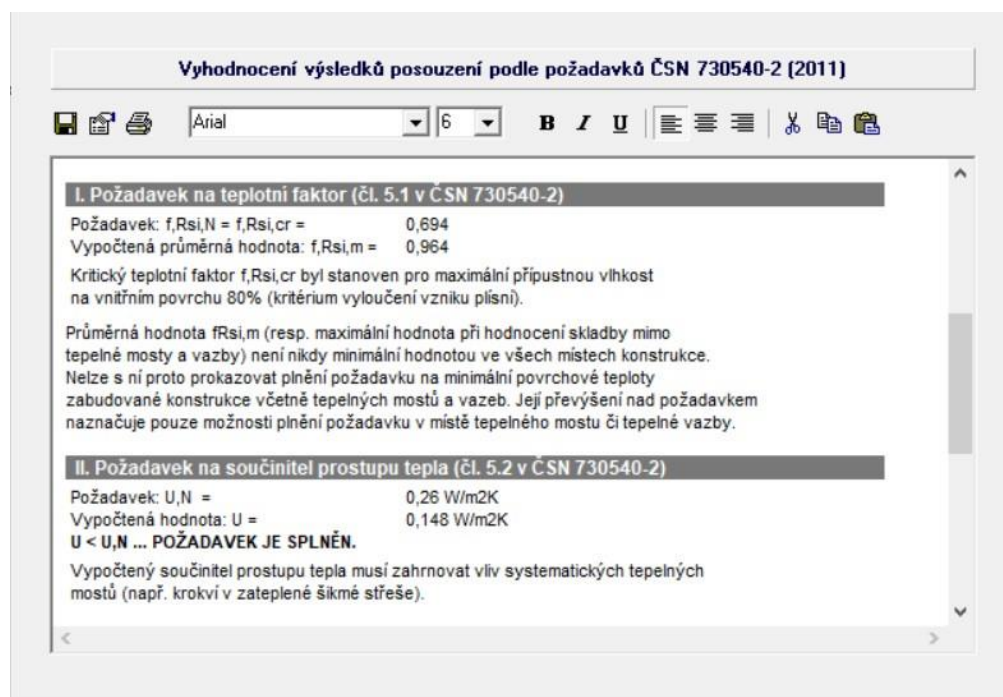
rozhraní:	i	1-2	2-3	e
theta [C]:	23.2	22.6	-5.3	-6.2
p [Pa]:	1473	1167	827	338
p,sat [Pa]:	2845	2746	392	361

Poznámka: theta je teplota na rozhraní vrstev, p je předpokládaný částečný tlak vodní páry na rozhraní vrstev a p,sat je částečný tlak nasycené vodní páry na rozhraní vrstev.

Obrázek 20: Vyhodnocení konstrukce programem TEPLO 2015

Vyhodnocení bylo uskutečněno pro stěnu domu a také pro okenní rám. Do programu byla zadána skladba zdi a to následovně: vnitřní omítka jílová 7,5 cm, slaměné balíky (stěbla kolmo k omítce) 0,5 m, vnější omítka jílová 12 cm a skladba okenního rámu: dřevo měkké 5 cm, slabě větraná vzduchová mezera 0,4 m, dřevo měkké 5 cm. Z dostupného katalogu byly automaticky doplněny hodnoty potřebné pro výpočty ( $\lambda$ ,  $c$ ,  $R_0$ ,  $M_i$ ). Následně byly zadány okrajové podmínky vnějšího a vnitřního prostředí. Program poté již mohl vyhodnotit odpor konstrukce a příslušný součinitel prostupu tepla. Následně je možné graficky zobrazit průběhy teploty (graf 9, graf 10) a vlhkosti v konstrukci (graf 11, graf 12).

Program TEPLO 2015 také vyhodnocuje dle ČSN 73 0540-2 požadavek na teplotní faktor a požadavek na součinitel prostupu tepla.



Obrázek 21: Vyhodnocení teplotního faktoru a součinitele prostupu tepla

#### 4.4.4.2 Zhodnocení výsledků

V kapitole 4.4 bylo z průběhů povrchových teplot konstrukce usouzeno, že zeď má součinitel prostupu tepla nižší nežli okenní rám. Software tento předpoklad potvrdil a podle skladby konstrukce vyhodnotil tepelný odpor a součinitel prostupu tepla následovně:

$$\text{Zeď: } R_T = 6,592 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad U = 0,148 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\text{Rám: } R_T = 0,646 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad U = 1,226 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

V tabulce 5 se nachází porovnání teplotních faktorů vypočtených ručně a softwarem. Pro obě konstrukce, stěnu i okenní rám, byly vypočteny dvě situace - výpočtová a reálná. V každé situaci je splněna podmínka že  $f_{Rsi} \geq f_{Rsi,cr}$ . Ve všech případech se kritický teplotní faktor shoduje, a tudíž je ověřeno, že je vypočten správně. Hodnotu teplotního faktoru vnitřního povrchu software vypočetl odlišně. Je to dáno tím, že software počítá s odlišnou povrchovou teplotou konstrukce. Do softwaru je zadávána pouze teplota interiéru a program si povrchovou teplotu dopočte sám. Pro stěnu ji stanovil vyšší, nežli byla ve skutečnosti naměřena. Teplota 23 °C by skutečně mohla odpovídat teplotě, která se na větší části stěny vyskytuje. Avšak na kritickém místě byla teplota naměřena nižší (20,066 °C) a tím se snížil i teplotní faktor. V programu je také upozorňováno, že vypočtené  $f_{Rsi}$  je průměrná, resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby a nikdy není minimální hodnotou ve všech místech konstrukce. Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na kondenzaci konstrukce včetně kritických míst.

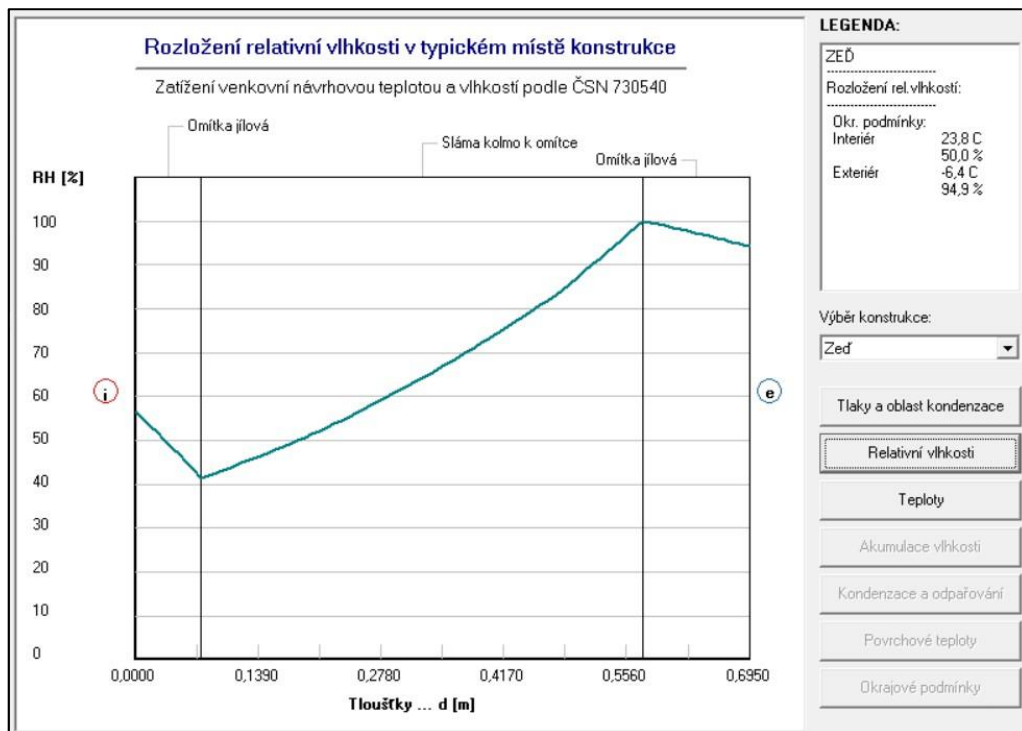
			stěna		okenní rám	
			výpočtová	reálná	výpočtová	reálná
Výpočet	frsi	(-)	0,876	0,876	0,864	0,864
	frsi,cr	(-)	0,694	0,303	0,695	0,300
	θsi	(°C)	20,066	20,066	19,794	19,794
SW	frsi	(-)	0,964	0,964	0,733	0,733
	frsi,cr	(-)	0,694	0,303	0,695	0,300
	θsi	(°C)	22,700	22,700	15,800	15,800

Tabulka 5: Porovnání teplotních faktorů

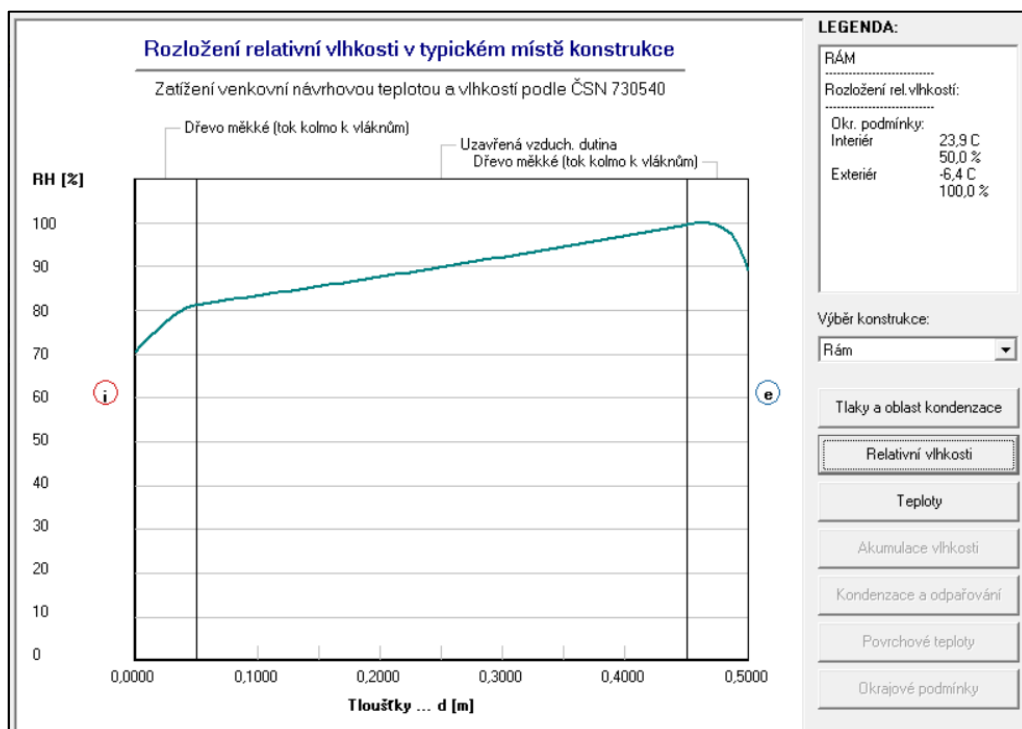
Přes software je tedy možné přesně spočítat teplotní faktor pro plochu konstrukce, ale kritická místa konstrukce je vhodnější naměřit termograficky a teplotní faktor dopočítat se skutečnou povrchovou hodnotou. V těchto místech se obvykle vyskytuje nižší povrchová teplota nežli ve zbytku konstrukce. Vypočtený teplotní faktor pro kritické místo by se tedy mohl snížit tak, že by už nebyla splněna podmínka pro vznik kondenzace. Výpočetním ekvivalentem je výpočet v 3D teplotním poli

Z grafu 9 lze vyčíst, že povrchová vlhkost v interiéru je softwarem stanovena pod hranici 60 %. Tato hodnota se neshoduje s vypočtenou hodnotou 61,97 % v kapitole 4.4.2. Povrchová teplota u okenního rámu se také neshoduje. Program ji stanovil nad hranici 70 % přičemž vypočteno bylo 63,32 %. Tyto neshody jsou zapříčiněny tím, že software stanovil

povrchovou teplotu stěny o 2,6 °C vyšší a povrchovou teplotu okenního rámu o téměř 4 °C nižší, než je skutečná povrchová teplota.



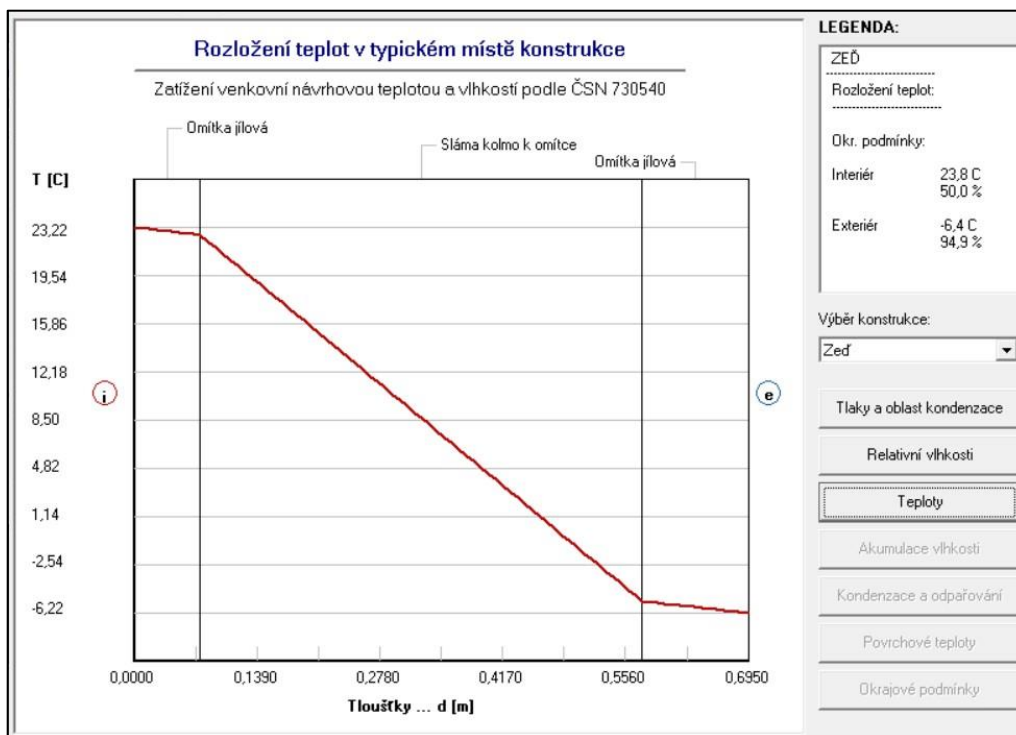
Graf 9: Rozložení vlhkosti ve zdi



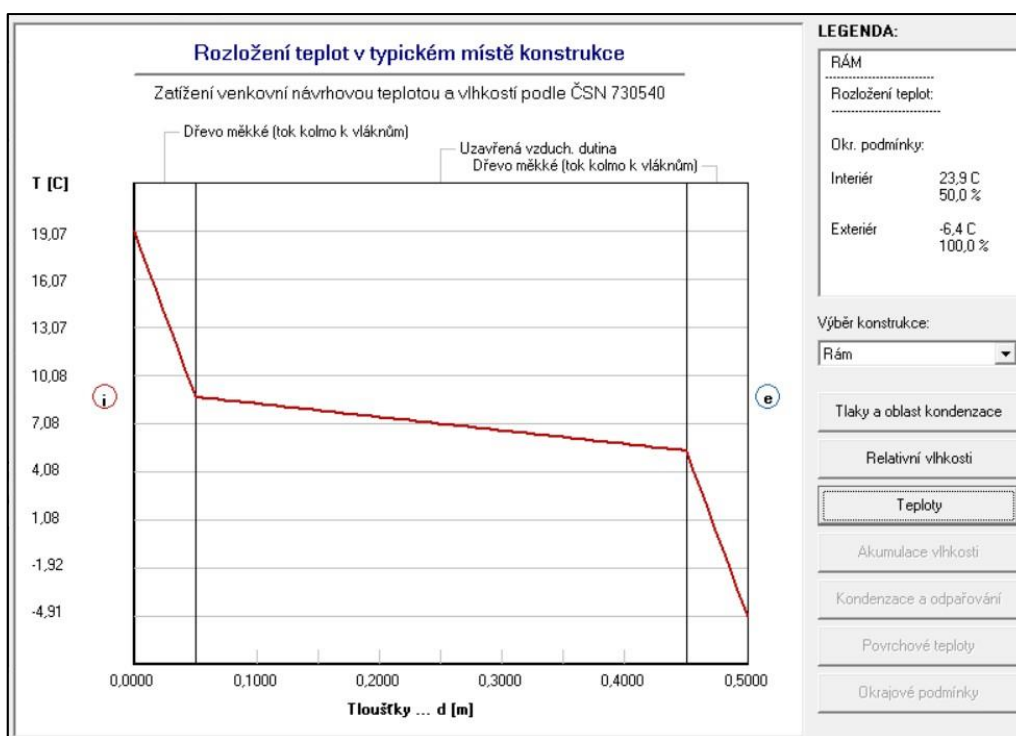
Graf 10: Rozložení vlhkosti v okenním rámu



Z grafu 11 je vidět, že hliněné omítky velice dobře akumulují teplo a po celé jejich šířce se teplota téměř nemění. Rozdíl teplot mezi interiérem a exteriérem se tedy vyrovnává pouze ve slamených balících. V případě okenního rámu je v dřevěných částech konstrukce teplotní rozdíl cca 10 °C, zatímco ve vzduchové mezeře teplota klesne pouze o 5 °C.



Graf 11: Rozložení teploty ve zdi



Graf 12: Rozložení teploty v okenním rámu

## 5 Návrh vytápění domu

Měření potvrdilo, že při dostatečně nízkém součiniteli prostupu tepla konstrukcí a určité akumulární schopnosti konstrukce dochází k velmi pomalému chladnutí. Takže i při výpočtové vlhkosti vzduchu 50 %, která je dvojnásobně vyšší než skutečná vlhkost v domě, by došlo k překročení povrchové vlhkosti (80 % / 100 %) po velmi dlouhé době, a to nejdříve po 35 hodinách.

Akumulární schopnost konstrukce představuje veličina nazvaná tepelná jímavost  $b$  ( $W^2 \cdot s/m^4 \cdot K^2$ ). Ta přesněji vyjadřuje schopnost materiálu o definované vlhkosti přijímat teplo. Je to součin součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  ( $W/m \cdot K$ ), měrné tepelné kapacity  $c$  ( $J/kg \cdot K$ ) a objemové hmotnosti materiálu  $\rho$  ( $kg/m^3$ ), viz rovnice 20. V tabulce 6 jsou uvedeny tyto hodnoty pro několik používaných materiálů z normy ČSN EN 73 0540. V této tabulce je také číselně dokázáno tvrzení, které bylo uskutečněno na základě grafu 11, že hliněné omítky mají mnohonásobně vyšší akumulární schopnost nežli slaměné balíky.

$$b = \lambda \cdot c \cdot \rho \quad (W^2 \cdot s/m^4 \cdot K^2) \quad (20)$$

	$\lambda$ ( $W/m \cdot K$ )	$c$ ( $J/kg \cdot K$ )	$\rho$ ( $kg/m^3$ )	$b$ ( $W^2 \cdot s/m^4 \cdot K^2$ )
Sláma-t.tok k vláknům	0,052	2000	100	10 400
Sláma-t.tok s vlákny	0,08	2000	100	16 000
Koberec	0,065	1880	160	19 552
Ytong Lambda	0,098	1000	350	34 300
Keramzitbeton	0,28	880	700	172 480
Sádrokarton	0,22	1060	750	174 900
Dřevo tvrdé	0,22	2510	600	331 320
Štuková struktura	0,49	850	1400	583 100
Omítka jílová	0,57	800	1815	827 640
Dlažba keramická	1,01	840	2000	1 696 800
Beton hutný	1,32	1020	2100	2 827 440

Tabulka 6: Tepelná jímavost materiálů [1]

Měření však zároveň ukázalo na velkou nevýhodu maximálního využívání akumulace tepla, v tomto případě hlavně v betonové podlaze. Tyto konstrukce vůbec neumožňují využívání solárních zisků. Přestože se topení po nárůstu teploty interiéru vypne, teplota konstrukce poklesne až po několika hodinách, a to přesněji za 14 hodin klesne:

- teplota skla o 3,4 °C
- teplota okenního rámu o 3,2 °C
- teplota stěny o 2,5 °C
- teplota podlahy o 2,5 °C.

Po takto dlouhé době s největší pravděpodobností slunce již zašlo a jeho paprsky dopadající převážně na betonovou podlahu a stěnu nebyly využity, protože tyto konstrukce byly ohřáté zdrojem tepla pro vytápění. Další nevýhodu může člověk pocítit například při návratu domů například z víkendu nebo dovolené, kdy je podlahové vytápění vypnuto a dům je vychladlý. Po zapnutí vytápění trvá několik hodin, než stoupne teplota vzduchu na požadovanou hodnotu.

Jako řešení se nabízí zachovat nebo mírně snížit akumulaci schopnosti použitých materiálů kvůli výše uvedeným pozitivním vlivům a vytápění oddělit od těchto akumulací konstrukcí například použitím radiátorů nebo sálavých elektrických panelů na zdech. Zachová se výhoda akumulace, a to pro využívání vnitřních i solárních zisků a pomalé chladnutí konstrukce a zároveň se nebude spotřebovávat energie na vytápění na ohřev těchto konstrukcí. V tabulce 6 je vidět, že hutný beton, z kterého je tvořena podlaha v domě má velice vysokou tepelnou jímavost. Akumulační schopnost podlahy by se dala snížit použitím tenčí vrstvy betonu v podlaze nebo zvolením lehčího betonu s nižší tepelnou jímavostí jako je například keramzitbeton.

Tento návrh může být ještě vylepšen volbou chytřejšího regulátoru. Pro sálavé panely se například vyrábějí PID regulátory, které reagují na trend nárůstu teploty od vnitřních a solárních zisků a vypínají topení s předstihem.

V případě tohoto konkrétního domu by bylo možné naprogramovat termostat tak, aby vytápění podlahy skončilo v odpoledních hodinách kolem 16. hodiny. Přes noc by podlaha chladla. Ráno po 8. hodině by měla přibližně o 5 °C méně a byla by připravena získávat teplo ze slunce. Za dobu chladnutí by se teplota v interiéru snížila dle měření o 2,5 °C, což je stále přijatelné, v tomto případě dokonce žádoucí, jelikož je v domě teplota příliš vysoká. Měření prokázalo, že podlahové topení je schopné za 5 hodin ohřát vzduch o 1,5 °C. Jelikož podlaha by byla vyhřátá od slunečních paprsků stačilo by vytápění zapnout kolem 11. hodiny a opět jej vypnout kolem 16. hodiny. Tímto by v interiéru nevznikaly

žádné teplotní výkyvy a zároveň by byly využity solární zisky. Průměrná teplota v interiéru by lehce klesla, a to je v tomto domě žádoucí.

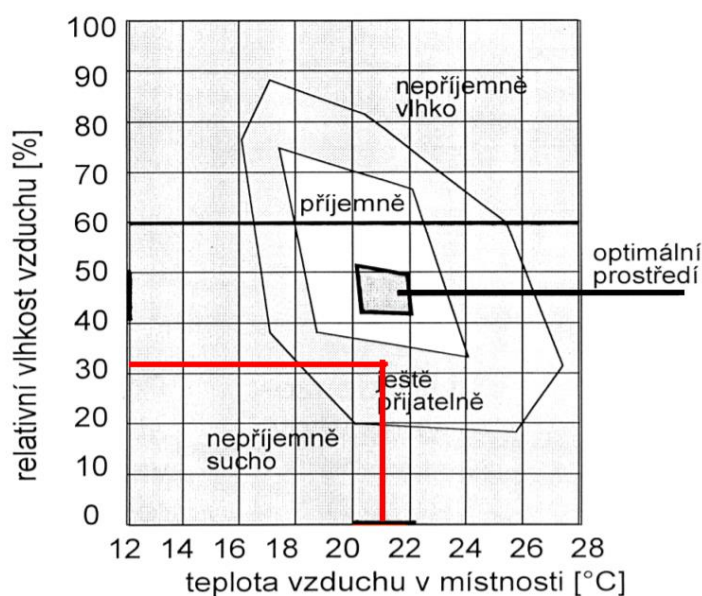
$$\rho_{sat,T} = \frac{a \cdot (b + \frac{T}{100})^n}{R_v(T + 273,15)} = \frac{288,68 \cdot (1,098 + \frac{24,6}{100})^{8,02}}{461,5(24,6 + 273,15)} = 0,0225 \text{ kg/m}^3 \quad (21)$$

$$\varphi = \frac{\rho_T}{\rho_{sat,T}} \cdot 100 \rightarrow \rho_T = \frac{\varphi \cdot \rho_{sat,T}}{100} = \frac{26,4 \cdot 0,0225}{100} = 0,00594 \text{ kg/m}^3 \quad (22)$$

$$\rho_{sat,21} = \frac{a \cdot (b + \frac{T}{100})^n}{R_v(T + 273,15)} = \frac{288,68 \cdot (1,098 + \frac{21}{100})^{8,02}}{461,5(21 + 273,15)} = 0,0183 \text{ kg/m}^3 \quad (23)$$

$$\varphi_{21} = \frac{\rho_T}{\rho_{sat,21}} \cdot 100 = \frac{0,00594}{0,0183} \cdot 100 = 32,46 \% \quad (24)$$

Dále by bylo vhodné nastavit na termostatu nižší teplotu. Výše uvedený výpočet (rovnice 21, 22, 23 a 24) stanovuje, že pokud by teplota interiéru dosahovala optimálních 21 °C, relativní vlhkost vzduchu v interiéru by se zvýšila na 32,46 %. Při výpočtech byla použita průměrná hodnota teploty interiéru 24,6 °C a průměrná hodnota relativní vlhkosti 26,4 % z dostupných naměřených dat. Avšak ani toto snížení by nepomohlo k dosažení optimálního prostředí, jak lze vidět z grafu 13.



Graf 13: Vlhkostně teplotní stav interiéru při 21 °C

Vhodné by tedy bylo přidat do domu další zdroj vlhkosti. V dnešní pokročilé době je na trhu spousta elektrických zvlhčovačů vzduchu. Levnější a menší verze zvlhčovačů obvykle konstantně vypařují vodu do prostředí, dokud v jejich nádržce voda nedojde. V tomto případě vlhkost v interiéru není zcela pod kontrolou. Dražší zvlhčovače již obsahují digitální hygromet, díky kterému dokáží udržovat žádanou relativní vlhkost. Toto řešení se zdá velice elegantní, avšak nese s sebou také nevýhody. První z nich jsou pořizovací náklady a také spotřeba elektrické energie. Další nevýhodou může být hlučnost při provozu. Řešením, jak zvlhčit vzduch a vyhnout se těmto nevýhodám je například umístění více květin do interiéru nebo postavit do prostoru misku s vodou, ze které by se voda samovolně odpařovala. Udává se, že větší pokojová rostlina vypaří až 8 g vodní páry za hodinu. Pokud by tato hodnota byla brána v potaz, pomocí výpočtů za použití vzorců 13 a 14, lze dopočítat množství květin, které je nutné do domu přidat. Aby se průměrná relativní vlhkost interiéru zvýšila na ideálních 50 % bylo by zapotřebí pořídit 5 větších pokojových květin.

Pokud by se vlhkost v domě vyšplhala až na optimální hodnoty kolem 50 %, tak by hliněné omítky v domě začaly fungovat dle předpokladu z kapitoly 4.4.1. Začaly by zvýšenou vlhkost pohlcovat a pozvolna ji navracet do okolního prostředí. Tím by se relativní vlhkost v domě lépe udržovala a nedocházelo by k vysoušení interiéru ani k vlhkostním extrémům. Momentálně jsou omítky v domě příliš vysušené a nemohou tedy ovlivňovat vlhkost v domě.

## Závěr

Cílem této diplomové práce bylo za pomoci termovizního měření zhodnotit konstrukci domu v závislosti na její dynamické odezvě a parametrech vnitřního prostředí. Následně navrhnout možná zlepšení na vytápění tohoto domu a jeho regulaci nebo na možnost využívání většího množství tepelných zisků.

Vybraný dům za podmínek, které v něm jsou nepodléhá riziku kondenzace vodní páry a s ním tvorbě plísní. Naopak je prostředí v domě příliš suché a teplé. Bylo by tedy vhodné v tomto domě snížit teplotu, se kterou by se také zvýšila relativní vlhkost.

Množství energie potřebné na vytápění domu by se mohlo snížit, pokud by v domě byly provedeny možné změny vedoucí k lepšímu využívání solárních zisků. Momentálně jsou v domě solární zisky zcela nevyužity.

V práci je poukázáno na to, že dům z ekologických přírodních materiálů slámy a hlíny dokáže velice dobře udržet v interiéru teplo a pokud by podmínky v domě byly lépe nastaveny vlhkost v domě by se snadno udržela v optimálních mezích. Proto by tato konstrukce, která byla vymyšlena již před mnoha lety neměla být ani v dnešní době plně velkým množstvím stavebních materiálů zavrhována.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov. Část 2: Funkční požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [2] PEŠTA, J., TESAŘ, D., ZWIENER, V. *Diagnostika staveb*. 2. vyd. Praha: DEK, 2014. ISBN 978-80-87215-15-9.
- [3] TESTO. *Kapesní průvodce termografii*. [online]. Dostupné z: <https://www.testo.com/cz-CZ/services/ke-stazeni>
- [4] POČINKOVÁ, M., RUBINOVÁ, O. *Infračervená termografie ve stavebnictví*. [online]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/5891-infracervena-termografie-ve-stavebnictvi>
- [5] ENERGY CONSULTING SERVICE. *Využití infrakamery a bezdotykových teploměrů ve stavebnictví – chyby a omyly* [online]. Dostupné z: [https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595e4e1fa66875530f33e8a/Efekt\\_infrakamera\\_final.pdf](https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595e4e1fa66875530f33e8a/Efekt_infrakamera_final.pdf)
- [6] TERMOKAMERA FLIR [online]. Dostupné z: <https://www.termokamera-flir.cz>
- [7] FLIR. *Thermal imaging guidebook for building and renewable energy applications*. [online]. Dostupné z: [http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820325/T820325\\_EN.pdf](http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820325/T820325_EN.pdf)
- [8] ŠUBRT, R., ZVÁNOVCOVÁ, P., ŠKOPEK, M. *Katalog tepelných mostů*. České Budějovice: Energy Consulting, 2008. ISBN 978-80-254-2715-6.
- [9] ŠUBRT, R. *Kontaktní zateplení z pohledu tepelných mostů hmoždinkami a jejich prokreslování*. [online]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/8325-kontaktni-zatepleni-z-pohledu-tepelnych-mostu-hmozdinkami-a-jejich-prokreslovani>
- [10] PETERTAUS. *Energetický audit rozvodov tepla*. [online]. Dostupné z: <https://www.petertaus.com/energeticky-audit-rozvodov-tepla/>
- [11] DAHLSVEEN, T., PETRÁŠ, D., HIRŠ, J. *Energetický audit budov*. Bratislava: Jaga, 2003. ISBN 80-88905-86-9.
- [12] PETRÁŠ, D. *Vytápění rodinných a bytových domů*. Bratislava: Jaga, 2005. ISBN 80-8076-020-9.
- [13] ŘEHÁNEK, J. *Tepelně-technické a energetické vlastnosti budov*. Praha: Grada, 2002. ISBN 80-7169-582-3.
- [14] GEBAUER, G., RUBINOVÁ, O., HORKÁ, H. *Vzduchotechnika*. Brno: ERA, 2005. ISBN 80-7366-027-X.
- [15] TZB-info. *Hodnoty fyzikálních veličin vybraných stavebních materiálů*. [online]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/58-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybranych-stavebnich-materialu>
- [16] MÁRTON, J. *Stavby ze slaměných balíků: slaměné izolace v nízkoenergetických a pasivních domech, návrh staveb šetrných k životnímu prostředí, hliněné omítky, ozeleněné střechy*. 2. dopl. a aktualiz. vyd. Liberec: J. Márton, 2014. ISBN 978-80-260-5713-0.
- [17] TADELEKT. *Tierrafino Base*. [online]. Dostupné z: <https://www.tadelakt.cz/clanek/12/technologie/Base-hruba-hlinena-omitka.html>
- [18] GOOGLE. *Mapy*. [online]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps>
- [19] KÁCOVSKÝ, P. *Experimentujeme s termovizní kamerou*. [online]. Dostupné z: [https://physicstasks.eu/media/01584/Experimentujeme\\_s\\_termovizni\\_kamerou.pdf](https://physicstasks.eu/media/01584/Experimentujeme_s_termovizni_kamerou.pdf)
- [20] ALDEBARAN. *Planckova konstanta*. [online]. Dostupné z: [https://www.aldebaran.cz/lab/planck/2\\_cteni\\_2.php](https://www.aldebaran.cz/lab/planck/2_cteni_2.php)
- [21] TERMOKAMERA. *Chyby a omyly měření*. [online]. Dostupné z:

- <http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/chyby-a-omyly-pri-mereni-termokamerou/>
- [22] ŠÁLA, J., KEIM, L., SVOBODA, Z., TYWONIAK, J. *Tepelná ochrana budov: komentář k ČSN 73 0540*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2008. ISBN 978-80-87093-30-6.
- [23] ANDREAS, P. *Vlhkost vzduchu a hygiena prostředí*. [online]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/18142-vlhkost-vzduchu-a-hygiena-prostredi>
- [24] SOLAŘ, J. *Řešení problematiky povrchové kondenzace vodní páry*. [online]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/6541-reseni-problematiky-povrchove-kondenzace-vodni-pary>
- [25] FACESTAR. *Vlhkost a plísně*. [online]. Dostupné z: <https://www.facestar.cz/vlhkost-a-plisne-zautoci-vzdy-kdyz-to-nejmin-cekate/>
- [26] EKOSTAVIVO. *Vlhkosti hlíny a hliněné produkty současnosti – 2. část*. [online]. Dostupné z: <http://www.ekostavivo.cz/vlastnosti-hliny-a-hlinene-produkty-soucasnosti-2-cast/>
- [27] HRUBÝ, L. *Umístění, tvar a rozvržení místností pasivního domu*. [online]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/13877-umisteni-tvar-a-rozvrzeni-mistnosti-pasivniho-domu>
- [28] CENTNEROVÁ, L. *Hodnota metabolismu*. [online]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/569-hodnota-metabolismu>
- [29] ŘEHÁNEK, J. *Tepelná akumulace budov*. Praha: ČKAIT, 2002. ISBN 80-86364-59-3.
- [30] KOPECKÝ, P. *Šíření tepla a vlhkosti ve větrané dutině*. [online]. Dostupné z: [http://tzb2.fsv.cvut.cz/vyucujici/16/oppa/124st2b\\_02\\_kopecky.pdf](http://tzb2.fsv.cvut.cz/vyucujici/16/oppa/124st2b_02_kopecky.pdf)
- [31] CHYBÍK, J. *Přírodní stavební materiály*. Praha: Grada Publishing, 2009. ISBN 978-80-247-2532-1.



## Seznam obrázků

OBRÁZEK 1: PŘÍKLAD TERMOGRAMU .....	11
OBRÁZEK 2: PŘÍKLAD TEPELNÉHO MOSTU MĚŘENÉHO OBJEKTU Z EXTERIÉRU.....	14
OBRÁZEK 3: PŘÍKLAD TEPELNÉHO MOSTU MĚŘENÉHO OBJEKTU Z INTERIÉRU.....	14
OBRÁZEK 4: PŘÍKLAD PŘI NORMÁLNÍM TLAKOVÉM ROZDÍLU A PODTLAKU [2] .....	15
OBRÁZEK 5: PŘÍKLAD PŘI PŘETLAKU V PODKROVÍ [5] .....	15
OBRÁZEK 6: PŘÍKLAD PRŮBĚHU OCHLAZOVÁNÍ (NABÍHÁNÍ CHLADICÍHO SYSTÉMU) [5] .....	15
OBRÁZEK 7: PŘÍKLAD VYHLEDÁVÁNÍ PORUCH V EL. VEDENÍ (JISTIČE) [5] .....	16
OBRÁZEK 8: PŘÍKLAD SNÍMÁNÍ ROZVODŮ [10] .....	16
OBRÁZEK 9: PŘÍKLAD LOKALIZACE PODLAHOVÉHO TOPENÍ [6] .....	17
OBRÁZEK 10: BILANCE ENERGIE BUDOVY .....	18
OBRÁZEK 11: IDEÁLNÍ UMÍSTĚNÍ DOMU [27].....	25
OBRÁZEK 12: STERLING-SCOFIELDŮV DIAGRAM [23].....	26
OBRÁZEK 13: PROJEVY KONDENZACE VODNÍ PÁRY – PLÍSEŇ A OROSENÉ SKLO [25] .....	29
OBRÁZEK 14: POLOHA DOMU [18] .....	31
OBRÁZEK 15: PŮDORYS DOMU [18] .....	32
OBRÁZEK 16: MĚŘENÝ OBJEKT .....	33
OBRÁZEK 17: MĚŘENÍ V INTERIÉRU .....	35
OBRÁZEK 18: MĚŘENÝ PROSTOR Z EXTERIÉRU .....	35
OBRÁZEK 19: VYZNAČENÍ ZKOUMANÝCH BODŮ .....	36
OBRÁZEK 20: VYHODNOCENÍ KONSTRUKCE PROGRAMEM TEPLŮ 2015 .....	45
OBRÁZEK 21: VYHODNOCENÍ TEPLŮTNÍHO FAKTORU A SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA .....	46

## Seznam grafů

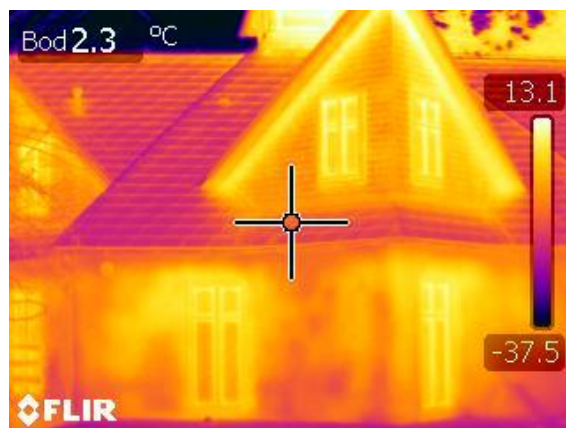
GRAF 1: ZÁVISLOST VYZAŘOVÁNÍ ABSOLUTNĚ ČERNÉHO TĚLESA [20].....	11
GRAF 2: VLHKOSTNĚ – TEPELNÁ POHODA [22] .....	27
GRAF 3: KONCENTRACE VODNÍ PÁRY NA MEZI NASYCENÍ [30] .....	28
GRAF 4: ABSORPCE A DESORPCE VODNÍ PÁRY [16] .....	34
GRAF 5: SORPCE VODNÍ PÁRY V HLINĚNÝCH OMÍTKÁCH [16] .....	34
GRAF 6: PRŮBĚHY TEPLOT .....	37
GRAF 7: VLHKOSTNĚ TEPLOTNÍ STAV INTERIÉRU .....	39
GRAF 8: ODHAD CHLADNUTÍ KONSTRUKCE.....	44
GRAF 9: ROZLOŽENÍ VLHKOSTI VE ZDI.....	48
GRAF 10: ROZLOŽENÍ VLHKOSTI V OKENNÍM RÁMU .....	48
GRAF 11: ROZLOŽENÍ TEPLoty VE ZDI.....	49
GRAF 12: ROZLOŽENÍ TEPLoty V OKENNÍM RÁMU.....	49
GRAF 13: VLHKOSTNĚ TEPLOTNÍ STAV INTERIÉRU PŘI 21 °C .....	52

## Seznam tabulek

TABULKA 1: PŘÍKLADY ZISKŮ V DOMECH .....	21
TABULKA 2: HODNOTY METABOLICKÉHO TEPLA PRO RŮZNÉ ČINNOSTI [28] .....	23
TABULKA 3: STANOVENÍ TEPLOTNÍCH FAKTORŮ .....	41
TABULKA 4: STANOVENÍ TEPLoty KONSTRUKCE .....	43
TABULKA 5: POROVNÁNÍ TEPLOTNÍCH FAKTORŮ .....	47
TABULKA 6: TEPELNÁ JÍMAVOST MATERIÁLŮ [1] .....	50

## Přílohy

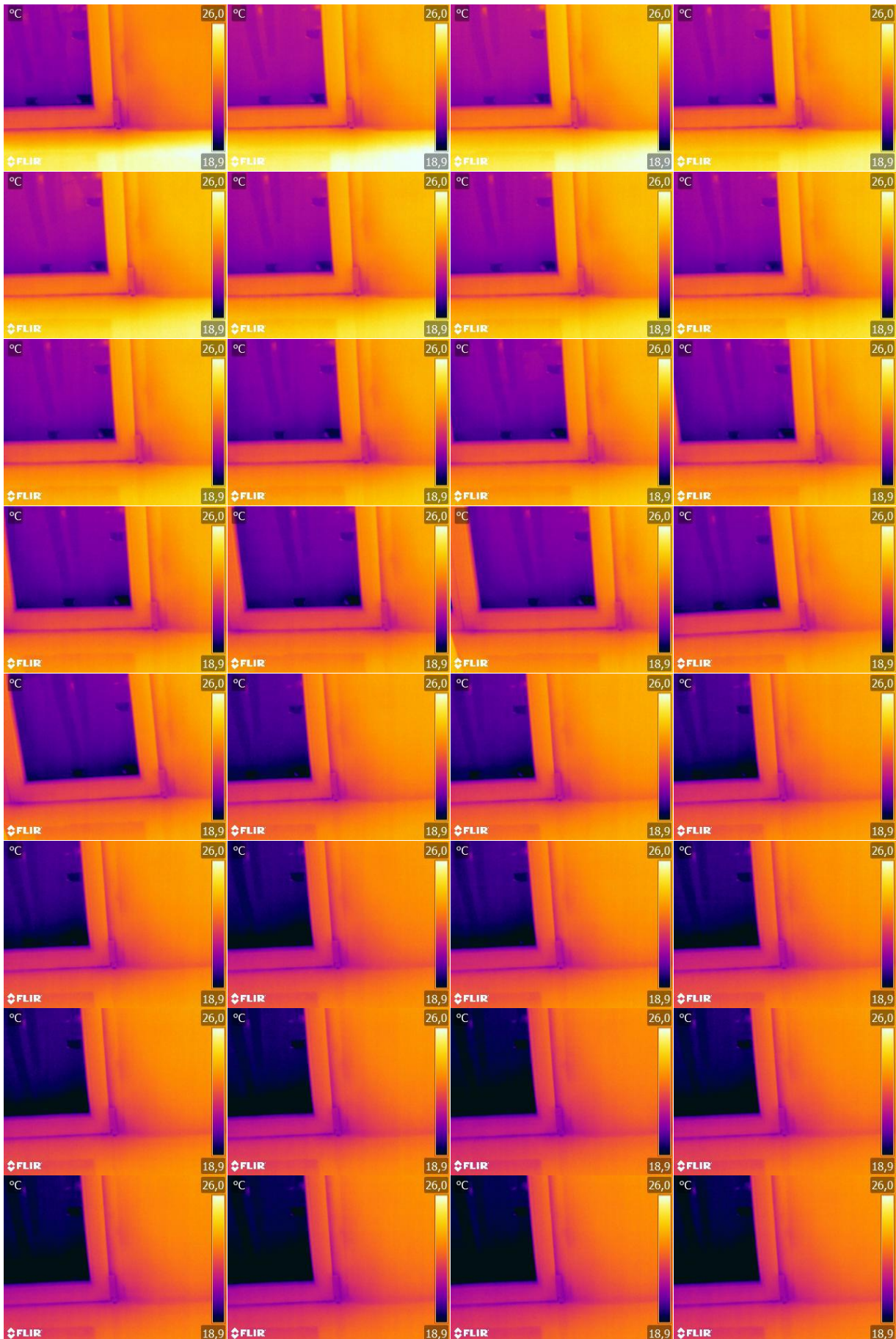
### Příloha A – Termografy domu před začátkem měření

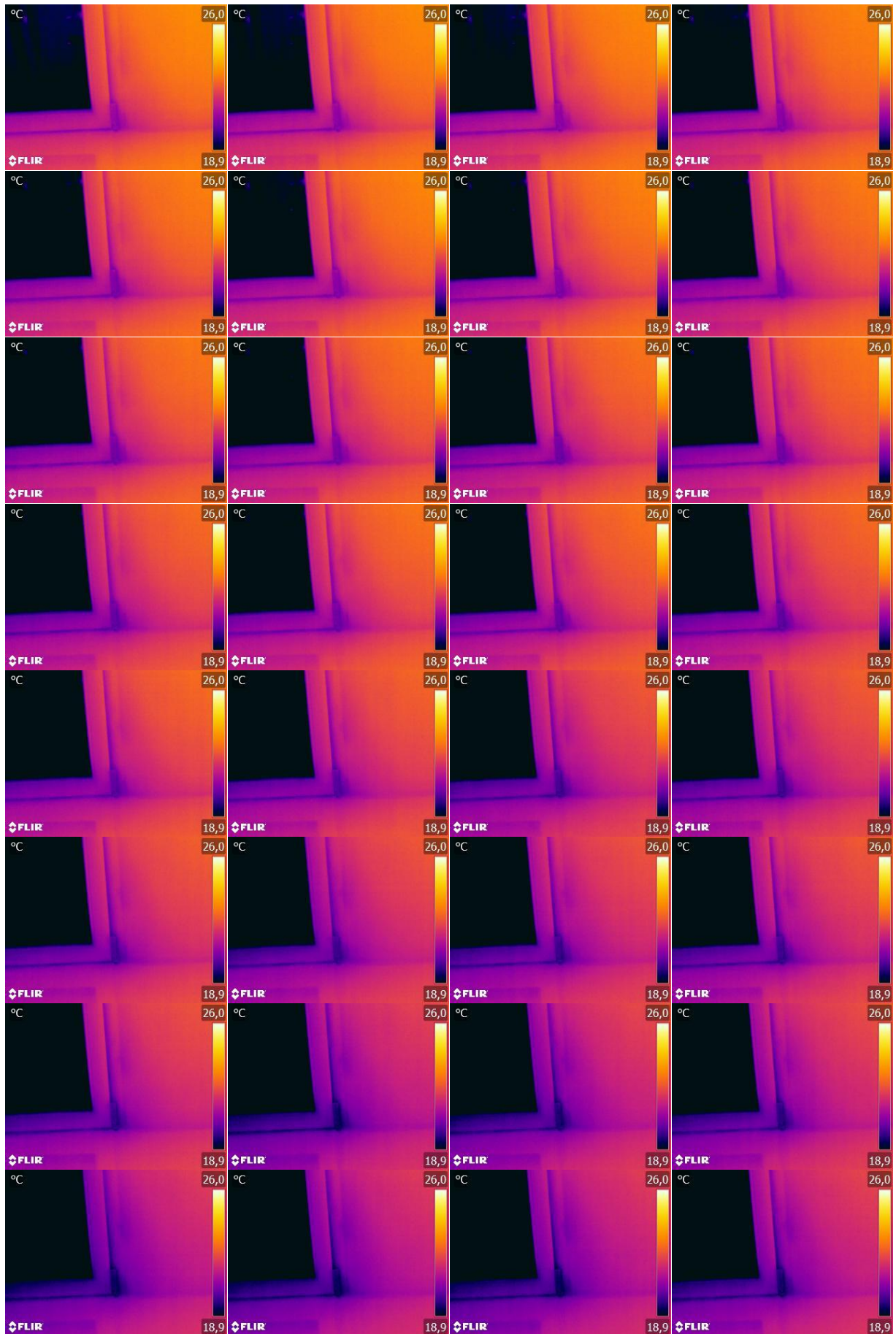


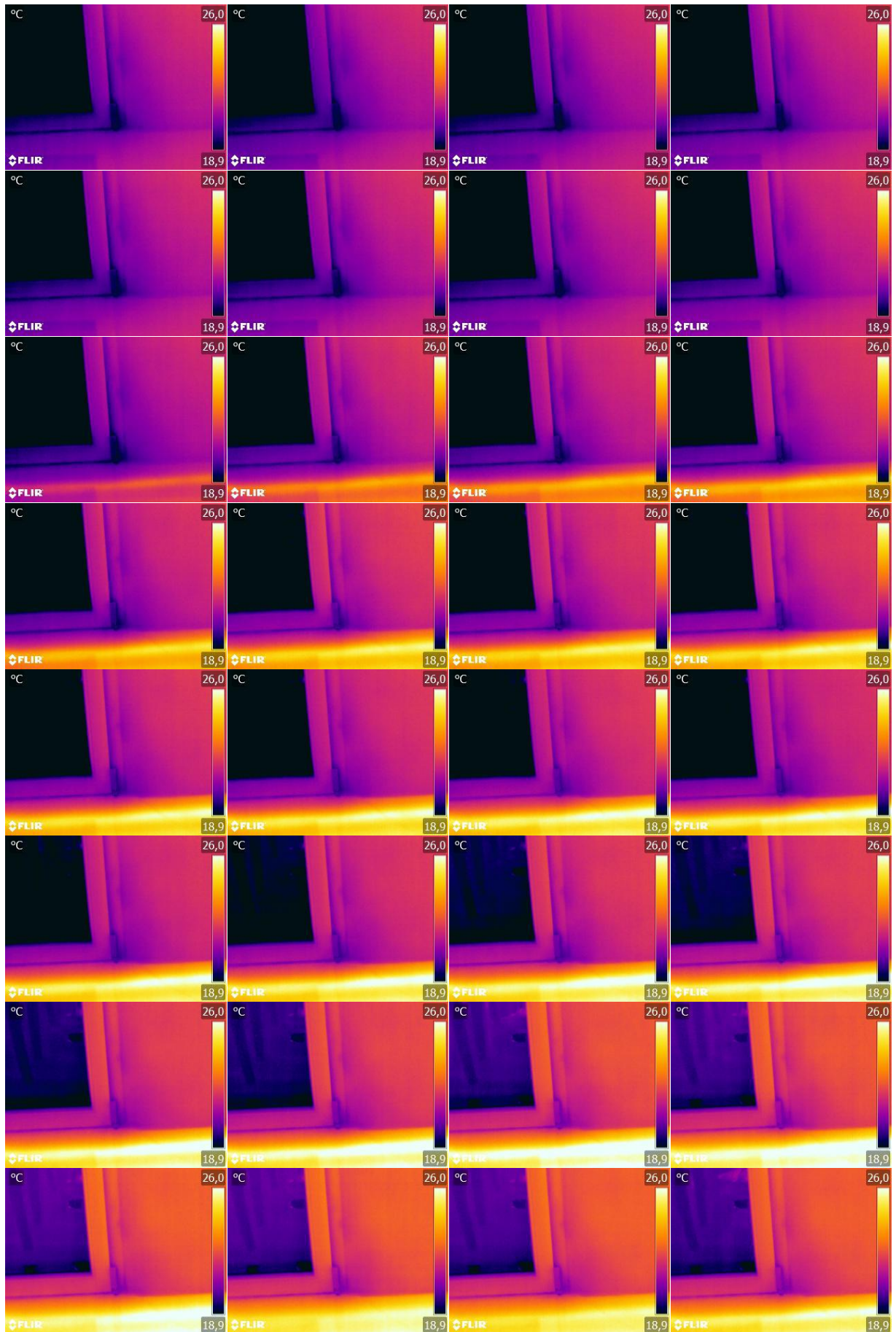
### Příloha B – Termografy domu po skončení měření



**Příloha C – Snímky z termokamery po 15 minutách**









## Příloha D – Tabulka naměřených hodnot termokamerou

Datum	Čas	sklo			rám		stěna				podlaha
		Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	Sp6	Sp7	Sp8	Sp9	Bx1
17.02.2019	17:22:06	20,32	19,146	19,391	23,389	22,968	22,397	23,31	23,026	23,457	25,817
	17:22:06	20,374	19,359	19,702	23,63	23,168	22,667	23,32	23,194	23,614	25,059
	17:27:06	20,752	19,615	19,952	23,959	23,404	22,984	23,729	23,509	23,965	25,262
	17:32:06	20,682	19,56	19,903	23,949	23,446	22,936	23,693	23,588	23,928	25,166
	17:37:06	20,714	19,571	20,033	23,918	23,404	22,873	23,756	23,499	23,944	25,055
	17:42:06	20,714	19,484	19,898	23,954	23,383	22,936	23,688	23,604	24,006	24,986
	17:47:06	20,709	19,609	20,028	24,064	23,478	23,021	23,881	23,724	24,184	24,978
	17:52:06	20,741	19,686	20,012	23,944	23,488	23,1	23,881	23,604	24,189	24,929
	17:57:06	20,854	19,903	20,131	24,137	23,693	23,231	23,975	23,818	24,251	24,959
	18:02:06	20,639	19,713	19,691	23,897	23,32	22,926	23,766	23,509	24,1	24,593
	18:07:06	20,649	19,735	19,843	23,944	23,294	22,952	23,756	23,488	24,152	24,567
	18:12:06	20,811	19,555	20,115	24,21	23,593	23,257	24,043	23,907	24,267	24,65
	18:17:06	20,66	19,696	19,876	24,132	23,494	23,168	23,923	23,844	24,21	24,563
	18:22:06	20,79	19,735	19,957	24,152	23,536	23,336	24,163	23,949	24,465	24,606
	18:27:06	20,816	19,724	19,903	24,215	23,567	23,383	24,085	23,985	24,553	24,608
	18:32:07	20,639	19,506	19,713	23,818	23,452	23,105	23,902	23,672	24,246	24,361
	18:37:07	20,633	19,55	19,729	23,897	23,389	23,068	23,944	23,808	24,319	24,348
	18:42:07	20,52	19,462	19,669	23,703	23,331	22,936	23,86	23,578	24,22	24,191
	18:47:07	20,428	19,451	19,648	23,829	23,336	23,042	23,886	23,729	24,283	24,181
	18:52:07	20,439	19,43	19,615	23,771	23,257	22,968	23,865	23,776	24,309	24,111
	18:57:07	20,493	19,359	19,707	23,824	23,336	23,094	23,881	23,724	24,35	24,12
	19:02:07	20,39	19,364	19,756	23,782	23,273	23,036	23,803	23,677	24,241	24,074
	19:07:07	20,223	19,184	19,484	23,467	22,994	22,746	23,661	23,373	23,991	23,8
	19:12:07	20,234	19,348	19,468	23,52	22,942	22,799	23,661	23,546	23,939	23,804
	19:17:07	20,32	19,49	19,588	23,708	22,905	22,905	23,719	23,598	24,152	23,839
	19:22:07	20,18	19,085	19,391	23,677	23,057	22,91	23,646	23,593	24,137	23,763
	19:27:07	20,18	18,943	19,375	23,467	22,952	22,778	23,593	23,515	24,095	23,627
	19:32:07	20,217	19,063	19,342	23,457	22,889	22,757	23,588	23,536	24,1	23,643
	19:37:07	20,169	19,359	19,435	23,494	22,857	22,841	23,646	23,583	24,053	23,655
	19:42:07	20,174	19,495	19,451	23,478	22,715	22,894	23,53	23,619	24,105	23,657
	19:47:07	20,093	19,762	19,473	23,494	22,831	22,836	23,672	23,609	24,137	23,622
	19:52:07	20,201	18,976	19,517	23,766	23,015	22,973	23,865	23,562	24,189	23,649
	19:57:07	20,207	19,08	19,419	23,735	23,031	23,068	23,677	23,588	24,152	23,6
	20:02:07	20,06	19,053	19,391	23,536	22,831	22,857	23,635	23,473	24,152	23,498
	20:07:07	20,044	19,266	19,402	23,572	22,572	22,72	23,667	23,436	24,027	23,457
	20:12:07	19,865	19,359	19,675	23,336	22,498	22,646	23,525	23,273	23,918	23,325
	20:17:07	19,936	18,866	19,217	23,583	22,926	22,656	23,415	23,41	24,027	23,346
	20:22:07	20,017	18,861	19,238	23,567	22,92	22,757	23,425	23,436	24,053	23,363
	20:27:07	20,044	19,178	19,304	23,546	22,783	22,773	23,515	23,509	24,105	23,366
	20:32:07	20,174	19,566	19,435	23,173	22,471	22,656	23,289	23,336	23,949	23,196
	20:37:07	19,957	18,745	19,26	23,389	22,857	22,783	23,268	23,41	24,006	23,213
	20:42:07	19,794	18,861	19,107	23,257	22,672	22,656	23,173	23,273	23,808	23,111
	20:47:08	20,612	19,517	19,648	23,326	22,031	22,757	23,331	23,441	24,079	23,286
	20:52:08	19,936	18,833	19,031	23,378	22,678	22,725	23,179	23,315	24,001	23,147
	20:57:08	20,383	19,604	19,2	23,693	22,873	23,431	23,536	23,803	23,939	23,187

Datum	Čas	sklo			rám		stěna				podlaha
		Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	Sp6	Sp7	Sp8	Sp9	Bx1
17.02.2019	21:02:08	20,115	19,762	19,419	23,189	22,455	22,693	23,598	23,52	24,059	23,207
	21:07:08	20,38	19,38	19,55	23,385	22,811	22,699	23,661	23,399	24,022	23,217
	21:12:08	20,158	19,118	19,315	23,226	22,16	22,402	23,525	23,168	23,939	23,082
	21:17:08	20,293	19,206	19,413	23,968	22,833	22,36	23,331	23,378	23,876	23,04
	21:22:08	20,082	19,26	19,222	23,152	22,042	22,625	23,598	23,609	23,63	22,824
	21:27:08	20,052	19,27	19,209	23,25	22,156	22,511	23,501	23,705	23,733	23,65
	21:32:08	20,132	19,203	19,125	23,371	22,587	22,201	23,447	23,698	23,726	23,114
	21:37:08	19,961	19,425	19,021	23,116	22,056	22,471	23,263	23,412	23,871	23,205
	21:42:08	20,06	19,025	18,934	23,205	22,745	22,224	23,475	23,299	23,811	23,015
	21:47:08	19,721	18,966	18,856	23,168	22,572	22,376	23,021	23,178	23,703	23,402
	21:52:08	19,631	18,745	18,734	23,215	22,619	22,392	23,457	23,157	23,86	23,114
	21:57:08	19,473	18,734	18,625	23,126	22,477	22,318	23,294	23,057	23,724	23,029
	22:02:08	19,397	18,691	18,647	23,047	22,286	22,185	23,221	23,079	23,64	22,927
	22:07:08	19,206	18,636	18,537	22,862	22,116	22,137	23,157	23,015	23,504	22,809
	22:12:08	19,238	18,74	18,625	23,015	22,249	22,206	23,189	22,942	23,661	22,884
	22:17:08	19,277	18,85	18,542	22,873	22,249	22,217	23,389	22,905	23,682	22,874
	22:22:08	19,435	19,009	18,745	23,084	22,397	22,376	23,504	23,163	23,829	23,052
	22:27:08	19,375	18,927	18,784	22,994	22,381	22,349	23,499	23,136	23,797	23,049
	22:32:08	19,102	18,564	18,283	22,646	22,063	22,041	23	22,667	23,478	22,68
	22:37:08	19,277	18,74	18,465	22,841	22,238	22,201	23,21	22,942	23,703	22,856
	22:42:08	19,206	18,713	18,388	22,672	22,126	22,047	23,205	22,847	23,383	22,756
	22:47:08	19,299	18,85	18,504	22,746	22,18	22,238	23,179	22,889	23,619	22,842
	22:52:08	19,129	18,548	18,393	22,704	22,105	22,153	23,105	22,746	23,562	22,737
	22:57:08	19,167	18,669	18,449	22,704	22,137	22,28	23,126	22,72	23,651	22,788
	23:02:08	19,047	18,52	18,438	22,72	22,073	22,105	23,179	22,847	23,609	22,744
	23:07:08	19,063	18,625	18,3	22,683	22,041	22,057	23,215	22,836	23,583	22,754
	23:12:08	19,025	18,625	18,316	22,688	22,105	22,089	23,142	22,857	23,661	22,706
	23:17:08	18,937	18,767	18,355	22,799	22,047	22,063	23,179	22,852	23,656	22,716
	23:22:08	18,981	18,647	18,289	22,561	21,983	22,01	23,1	22,799	23,609	22,632
	23:27:08	18,916	18,597	18,162	22,582	21,898	21,962	23,11	22,73	23,452	22,609
	23:32:08	18,894	18,509	18,046	22,519	21,855	21,924	22,889	22,646	23,336	22,57
	23:37:08	19,036	18,685	18,294	22,625	22,015	22,036	23,057	22,873	23,567	22,691
	23:42:09	19,069	18,718	18,25	22,773	22,047	22,174	23,179	22,947	23,588	22,728
	23:47:09	18,68	18,289	17,963	22,339	21,791	21,807	22,767	22,519	23,299	22,416
	23:52:09	18,844	18,3	18,112	22,492	21,919	21,919	22,973	22,593	23,31	22,515
	23:57:09	18,85	18,388	18,106	22,567	21,892	21,93	22,963	22,704	23,473	22,558
18.02.2019	0:02:09	18,976	18,581	18,112	22,72	21,935	22,057	23,11	22,72	23,525	22,603
	0:07:09	19,042	18,663	18,211	22,73	22,025	22,148	23,126	22,825	23,593	22,67
	0:12:09	18,97	18,751	18,195	22,656	21,962	22,142	23,105	22,762	23,462	22,68
	0:17:09	18,795	18,438	17,99	22,514	21,86	21,914	22,92	22,709	23,352	22,507
	0:22:09	18,756	18,438	17,896	22,429	21,807	21,844	22,847	22,582	23,42	22,465
	0:27:09	18,844	18,504	18,029	22,466	21,988	22,057	22,957	22,767	23,478	22,59
	0:32:09	18,74	18,344	17,941	22,318	21,727	21,876	22,889	22,54	23,326	22,436
	0:37:09	18,713	18,36	17,952	22,402	21,812	21,812	22,852	22,598	23,236	22,437
	0:42:09	18,564	18,129	17,78	22,19	21,604	21,738	22,778	22,455	23,157	22,294
	0:47:09	18,663	18,338	17,968	22,349	21,759	21,839	22,884	22,503	23,389	22,421
	0:52:09	18,784	18,399	17,918	22,397	21,786	21,866	22,815	22,572	23,473	22,454

Datum	Čas	sklo			rám		stěna				podlaha
		Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	Sp6	Sp7	Sp8	Sp9	Bx1
18.02.2019	0:57:09	18,603	18,316	17,824	22,227	21,652	21,711	22,741	22,418	23,289	22,344
	1:02:09	18,696	18,388	17,957	22,371	21,685	21,812	22,884	22,508	23,31	22,434
	1:07:09	18,597	18,316	17,835	22,259	21,642	21,823	22,862	22,471	23,273	22,379
	1:12:09	18,487	18,195	17,819	22,307	21,588	21,876	22,757	22,434	23,257	22,354
	1:17:09	18,575	18,101	17,763	22,137	21,706	21,754	22,804	22,424	23,278	22,337
	1:22:09	18,685	18,233	17,869	22,328	21,834	21,919	22,942	22,577	23,467	22,463
	1:27:09	18,548	18,184	17,891	22,238	21,663	21,807	22,847	22,514	23,404	22,377
	1:32:09	18,404	18,118	17,713	22,121	21,583	21,679	22,715	22,386	23,226	22,268
	1:37:09	18,581	18,195	17,724	22,222	21,738	21,823	22,82	22,471	23,247	22,359
	1:42:09	18,625	18,217	17,819	22,302	21,658	21,914	22,894	22,498	23,31	22,391
	1:47:09	18,487	18,084	17,697	22,211	21,604	21,743	22,693	22,328	23,11	22,243
	1:52:09	18,349	18,046	17,669	22,1	21,503	21,674	22,593	22,307	23,121	22,2
	1:57:09	18,388	18,129	17,774	22,132	21,588	21,733	22,609	22,434	23,131	22,268
	2:02:09	18,3	18,035	17,541	21,988	21,524	21,727	22,662	22,238	23,021	22,162
	2:07:09	18,25	18,09	17,525	22,105	21,46	21,706	22,667	22,206	23,226	22,174
	2:12:09	18,294	17,99	17,441	22,084	21,423	21,631	22,614	22,19	23,031	22,11
	2:17:09	18,178	18,123	17,43	21,887	21,375	21,578	22,529	22,201	23,068	22,069
	2:22:09	18,206	17,963	17,497	22,025	21,407	21,535	22,577	22,233	23,094	22,115
	2:27:09	18,261	18,09	17,586	21,994	21,396	21,717	22,619	22,376	23,126	22,198
	2:32:09	18,256	18,029	17,513	22,036	21,594	21,642	22,651	22,243	23,194	22,17
	2:37:09	18,239	18,073	17,441	22,047	21,476	21,578	22,635	22,302	23,242	22,183
	2:42:09	18,25	17,968	17,469	22,073	21,498	21,62	22,604	22,302	23,163	22,167
	2:47:09	18,211	17,996	17,385	22,068	21,364	21,524	22,439	22,27	23,021	22,108
	2:52:09	18,371	18,046	17,48	22,073	21,615	21,727	22,582	22,296	23,168	22,199
	2:57:09	18,338	17,929	17,452	22,025	21,498	21,685	22,556	22,318	23,126	22,171
	3:02:09	18,106	17,769	17,252	21,914	21,219	21,407	22,45	22,047	22,963	22
	3:07:09	17,946	17,641	17,146	21,695	21,182	21,46	22,386	22,031	22,868	21,906
	3:12:09	18,079	17,708	17,302	21,765	21,267	21,455	22,487	22,1	22,868	21,987
	3:17:09	17,99	17,636	17,313	21,791	21,209	21,466	22,386	22,036	23,068	21,945
	3:22:10	17,874	17,625	17,335	21,711	21,155	21,353	22,386	21,94	22,873	21,905
	3:27:10	17,963	17,597	17,263	21,818	21,123	21,369	22,392	21,972	22,926	21,875
	3:32:10	17,929	17,819	17,163	21,828	21,23	21,444	22,434	21,892	22,868	21,961
	3:37:10	18,14	17,802	17,419	21,962	21,342	21,604	22,519	22,243	23,1	22,073
	3:42:10	18,106	17,752	17,274	21,999	21,294	21,54	22,445	22,063	23,01	22,015
	3:47:10	17,957	17,613	17,185	21,797	21,15	21,337	22,286	22,063	22,857	21,888
	3:52:10	18,007	17,686	17,19	21,834	21,214	21,433	22,445	22,057	22,91	21,954
	3:57:10	18,123	17,697	17,335	21,887	21,273	21,482	22,424	22,089	22,942	21,989
	4:02:10	18,046	17,702	17,163	21,738	21,235	21,423	22,392	22,047	22,815	21,935
	4:07:10	17,736	17,452	17,012	21,642	21,037	21,23	22,28	21,882	22,736	21,778
	4:12:10	17,78	17,402	17,001	21,54	20,978	21,246	22,185	21,786	22,672	21,717
	4:17:10	17,785	17,563	17,001	21,636	20,967	21,15	22,185	21,802	22,72	21,73
	4:22:10	17,852	17,552	17,124	21,679	21,048	21,246	22,275	21,887	22,804	21,787
	4:27:10	17,602	17,458	16,917	21,562	20,978	21,15	22,121	21,706	22,54	21,705
	4:32:10	17,896	17,608	17,09	21,765	21,198	21,364	22,402	21,978	22,862	21,884
	4:37:10	17,708	17,513	16,956	21,594	21,037	21,203	22,211	21,828	22,635	21,744
	4:42:10	17,719	17,447	16,9	21,556	20,908	21,182	22,137	21,701	22,651	21,711
	4:47:10	17,863	17,508	17,023	21,701	21,101	21,396	22,323	21,876	22,778	21,844

Datum	Čas	sklo			rám		stěna				podlaha
		Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	Sp6	Sp7	Sp8	Sp9	Bx1
18.02.2019	4:52:10	17,797	17,586	17,057	21,631	21,15	21,369	22,28	21,844	22,789	21,827
	4:57:10	17,952	17,497	16,984	21,695	21,123	21,385	22,307	21,85	22,82	21,842
	5:02:10	17,819	17,441	16,95	21,546	21,058	21,069	22,19	21,733	22,699	21,723
	5:07:10	17,885	17,391	16,878	21,498	21,005	21,123	22,164	21,77	22,662	21,724
	5:12:10	17,691	17,246	16,906	21,562	20,886	21,123	22,126	21,812	22,641	21,684
	5:17:10	17,736	17,458	16,939	21,562	21,037	21,273	22,169	21,828	22,683	21,713
	5:22:10	17,73	17,374	16,766	21,498	20,876	21,15	22,095	21,738	22,508	21,634
	5:27:10	17,736	17,508	16,822	21,498	20,983	21,3	22,079	21,727	22,593	21,649
	5:32:10	17,697	17,324	16,766	21,658	20,94	21,053	22,015	21,685	22,598	21,628
	5:37:10	17,58	17,296	16,609	21,546	20,854	21,069	22,111	21,626	22,519	21,583
	5:42:10	17,669	17,341	16,766	21,626	21,005	21,182	22,137	21,711	22,688	21,683
	5:47:11	17,391	17,202	16,609	21,305	20,763	21,015	21,946	21,337	22,498	21,447
	5:52:11	17,58	17,235	16,665	21,439	20,795	21,026	21,892	21,567	22,471	21,517
	5:57:11	17,486	17,218	16,805	21,187	20,881	21,053	22,025	21,471	22,582	21,572
	6:02:11	17,424	17,179	16,626	21,337	20,73	20,956	21,951	21,61	22,371	21,495
	6:07:11	17,424	17,174	16,508	21,278	20,687	20,876	21,892	21,514	22,333	21,466
	6:12:11	17,597	17,196	16,71	21,401	20,806	20,972	21,999	21,498	22,402	21,5488
	6:17:11	17,424	17,068	16,715	21,342	20,73	20,892	21,962	21,46	22,365	21,486
	6:22:11	17,38	17,029	16,558	21,257	20,763	20,859	21,866	21,369	22,296	21,407
	6:27:11	17,218	16,822	16,446	20,978	20,293	20,698	21,733	21,219	22,164	21,29
	6:32:11	17,207	16,978	16,468	21,107	20,569	20,725	21,839	21,273	22,233	21,399
	6:37:11	17,347	17,068	16,648	21,316	20,682	20,827	21,94	21,375	22,318	21,477
	6:42:11	17,502	17,112	16,626	21,385	20,811	20,978	21,956	21,482	22,434	21,55
	6:47:11	17,341	16,956	16,463	21,225	20,601	20,736	21,679	21,3	22,222	21,357
	6:52:11	17,207	16,962	16,463	21,225	20,536	20,816	21,701	21,417	22,196	21,348
	6:57:11	17,241	17,084	16,457	21,235	20,569	20,73	21,77	21,332	22,217	21,344
	7:02:11	17,352	16,956	16,519	21,278	20,736	20,833	21,781	21,401	22,249	21,425
	7:07:11	17,358	17,14	16,57	21,332	20,725	20,876	21,802	21,444	22,312	21,433
	7:12:11	17,313	17,224	16,53	21,385	20,736	20,919	21,807	21,498	22,286	21,424
	7:17:11	17,241	16,922	16,468	21,203	20,509	20,693	21,738	21,316	22,201	21,316
	7:22:11	17,296	16,928	16,356	21,203	20,515	20,773	21,695	21,284	22,254	21,287
	7:27:11	17,068	16,855	16,39	20,967	20,374	20,671	21,626	21,225	22,105	21,272
	7:32:11	16,911	16,575	16,176	20,838	20,25	20,477	21,439	20,972	21,999	21,027
	7:37:11	17,135	16,558	16,266	20,498	19,816	20,347	21,476	20,854	22,116	21,117
	7:42:11	16,626	16,429	15,843	20,369	19,794	20,185	21,251	20,698	21,844	20,924
	7:47:11	16,872	16,894	16,232	20,779	20,223	20,482	21,498	21,058	22,079	21,153
	7:52:11	16,766	16,687	16,153	20,822	20,169	20,525	21,514	21,005	21,999	21,106
	7:57:11	16,894	16,598	16,08	20,806	20,142	20,401	21,455	20,924	21,93	21,045
	8:02:11	17,084	16,967	16,272	20,988	20,461	20,639	21,701	21,096	22,142	21,255
	8:07:11	17,023	16,839	16,266	20,972	20,423	20,612	21,658	20,962	22,116	21,199
	8:12:11	16,637	16,373	15,933	20,234	19,8	20,212	21,133	20,552	21,685	20,862
	8:17:11	16,794	16,452	16,029	20,671	19,979	20,255	21,396	20,66	21,871	20,987
	8:22:12	16,833	16,62	16,029	20,73	20,158	20,52	21,449	20,854	21,983	21,065
	8:27:12	16,811	16,508	16,074	20,73	20,06	20,315	21,294	20,822	21,876	20,965
	8:32:12	16,783	16,53	16,114	20,736	20,077	20,412	21,348	20,8	21,86	20,961
	8:37:12	16,917	16,637	16,046	20,714	20,266	20,407	21,38	20,822	21,828	21
	8:42:12	16,811	16,699	16,012	20,644	20,142	20,32	21,305	20,725	21,802	20,912

Datum	Čas	sklo			rám		stěna				podlaha
		Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	Sp6	Sp7	Sp8	Sp9	Bx1
18.02.2019	8:47:12	16,911	16,474	15,99	20,693	20,185	20,336	21,433	20,779	21,828	20,942
	8:52:12	16,95	16,457	16,018	20,73	20,239	20,331	21,321	20,795	21,834	20,956
	8:57:12	17,04	16,598	16,046	20,843	20,277	20,39	21,321	20,833	21,898	20,99
	9:02:12	17,09	16,654	16,294	20,94	20,374	20,45	21,62	21,01	21,999	21,095
	9:07:12	17,04	16,57	16,221	20,838	20,212	20,315	21,466	20,929	21,903	21,002
	9:12:12	16,867	16,44	16,086	20,655	19,995	20,234	21,476	20,725	21,759	20,886
	9:17:12	16,839	16,407	15,962	20,644	20,142	20,212	21,278	20,671	21,754	20,825
	9:22:12	16,889	16,592	15,933	20,752	20,125	20,228	21,257	20,639	21,701	20,903
	9:27:12	16,783	16,474	15,939	20,623	20,098	20,223	21,251	20,633	21,604	20,837
	9:32:12	16,783	16,547	15,973	20,396	19,968	20,169	21,23	20,574	21,583	20,803
	9:37:12	17,012	16,704	16,114	20,709	20,196	20,369	21,428	20,79	21,797	20,968
	9:42:12	16,95	16,648	16,187	20,703	20,207	20,288	21,305	20,741	21,738	20,921
	9:47:12	16,822	16,452	15,956	20,574	19,979	20,082	21,112	20,488	21,578	20,755
	9:52:12	17,151	16,749	16,272	20,795	20,217	20,385	21,364	20,736	21,812	20,985
	9:57:12	17,112	16,67	16,193	20,827	20,055	20,196	21,348	20,703	21,775	20,92
	10:02:12	17,068	16,648	16,125	20,746	20,169	20,18	21,176	20,714	21,775	20,908
	10:07:12	17,246	16,811	16,322	20,919	20,255	20,374	21,332	20,725	21,844	20,985
	10:12:12	17,09	16,704	16,221	20,903	20,093	20,217	21,257	20,639	21,765	20,893
	10:17:12	17,045	16,699	16,125	20,773	20,125	20,125	21,139	20,574	21,685	20,845
	10:22:12	17,084	16,727	16,165	20,66	20,125	20,18	21,182	20,612	21,717	20,821
	10:27:12	17,068	16,822	16,238	20,752	20,082	20,125	21,091	20,498	21,61	20,799
	10:32:12	17,235	16,984	16,356	20,854	20,326	20,282	21,305	20,768	21,722	20,928
	10:37:12	17,057	16,598	16,215	20,816	20,071	20,066	21,021	20,623	21,492	20,708
	10:42:12	17,213	16,878	16,592	20,924	20,282	20,174	21,123	20,72	21,717	20,871
	10:47:12	17,23	16,861	16,317	20,897	20,228	20,185	21,235	20,644	21,663	20,901
	10:52:12	17,28	17,04	16,339	20,865	20,234	20,304	21,251	20,666	21,663	20,911
	10:57:12	17,185	16,95	16,193	20,865	20,244	20,104	21,144	20,569	21,519	20,841
	11:02:12	17,397	17,112	16,581	20,962	20,407	20,217	21,257	20,811	21,802	21,034
	11:07:12	17,385	17,051	16,44	20,962	20,342	20,223	21,257	20,725	21,711	21,095
	11:12:12	17,463	17,068	16,626	21,031	20,482	20,32	21,278	20,806	21,797	21,451
	11:17:12	17,263	16,816	16,362	20,784	20,223	20,12	21,171	20,676	21,546	21,489
	11:22:12	17,413	16,956	16,586	20,946	20,407	20,201	21,321	20,736	21,738	21,888
	11:27:12	17,269	16,945	16,654	20,897	20,39	20,093	21,219	20,687	21,562	21,986
	11:32:12	17,708	17,436	16,788	21,246	20,709	20,461	21,412	21,01	21,892	22,442
	11:37:12	17,63	17,352	16,872	21,3	20,698	20,423	21,369	20,892	21,876	22,577
	11:42:12	17,63	17,319	16,811	21,241	20,73	20,39	21,364	20,876	21,86	22,683
	11:47:12	17,602	17,363	16,738	21,273	20,709	20,412	21,385	20,79	21,743	22,788
	11:52:12	17,763	17,424	17,079	21,487	20,897	20,542	21,476	20,929	21,946	23,057
	11:57:12	17,569	17,402	16,805	21,278	20,741	20,417	21,401	20,779	21,743	23,002
	12:02:12	17,747	17,347	16,878	21,316	20,768	20,504	21,364	20,816	21,765	23,159
	12:07:12	17,774	17,352	16,978	21,305	20,714	20,423	21,407	20,773	21,765	23,213
	12:12:12	17,857	17,519	16,973	21,375	20,843	20,639	21,524	20,892	21,882	23,369
	12:17:12	17,78	17,424	16,95	21,332	20,903	20,493	21,466	20,854	21,685	23,366
	12:22:12	17,907	17,613	17,14	21,476	20,886	20,666	21,396	20,988	21,85	23,553
	12:27:12	17,83	17,48	17,09	21,498	20,87	20,552	21,428	20,908	21,749	23,529
	12:32:12	18,134	17,774	17,341	21,706	21,176	20,903	21,855	21,155	22,105	23,848
	12:37:12	18,051	17,769	17,369	21,583	21,155	20,8	21,786	21,128	22,095	23,867

Datum	Čas	sklo			rám		stěna				podlaha
		Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	Sp6	Sp7	Sp8	Sp9	Bx1
18.02.2019	12:42:12	18,118	17,819	17,285	21,663	21,091	20,811	21,749	21,187	22,031	23,906
	12:47:12	18,057	17,602	17,151	21,604	21,085	20,703	21,674	21,042	21,994	23,848
	12:52:12	18,106	17,73	17,23	21,706	21,182	20,768	21,797	21,021	21,988	24,93
	12:57:12	18,233	17,924	17,324	21,711	21,209	20,849	21,834	21,123	21,935	24,009
	13:02:12	18,068	17,918	17,302	21,647	21,15	20,736	21,717	21,096	22,095	24,022
	13:07:12	18,195	17,957	17,341	21,717	21,133	20,827	21,69	21,155	22,057	24,06
	13:12:12	18,184	17,741	17,341	21,16	20,843	20,579	21,572	20,962	21,908	24,116
	13:17:12	18,129	17,791	17,43	21,466	20,988	20,752	21,535	21,026	21,887	24,13
	13:22:12	18,195	17,907	17,552	21,572	21,144	20,859	21,695	21,203	22,063	24,239
	13:27:13	18,211	17,902	17,575	21,455	21,058	20,763	21,62	21,08	22,01	24,258
	13:32:13	18,217	17,902	17,463	21,401	20,962	20,746	21,61	20,962	21,882	24,251
	13:37:13	18,349	17,99	17,547	21,492	21,128	20,768	21,658	21,091	21,978	24,419
	13:42:13	18,278	17,835	17,491	21,391	21,069	20,714	21,679	20,988	21,882	24,352
	13:47:13	18,25	18,007	17,608	21,439	21,015	20,768	21,717	21,155	22,068	24,448
	13:52:13	18,09	17,752	17,43	21,123	20,919	20,623	21,471	20,903	21,743	24,289
	13:57:13	18,151	17,885	17,519	21,225	20,87	20,714	21,562	20,978	21,818	24,391
	14:02:13	18,228	17,929	17,602	21,3	20,935	20,563	21,572	20,881	21,85	24,389
	14:07:13	18,25	17,929	17,63	21,375	21,026	20,736	21,604	20,913	21,866	24,45
	14:12:13	18,553	18,256	17,797	21,679	21,316	20,897	21,86	21,203	22,126	24,611
	14:17:13	18,454	18,062	17,675	21,482	21,176	20,752	21,738	20,999	21,924	24,47
	14:22:13	18,636	18,228	17,985	21,717	21,449	21,015	21,967	21,267	22,068	24,684
	14:27:13	18,734	18,267	17,946	21,754	21,412	20,962	21,924	21,182	22,02	24,633
	14:32:13	18,575	18,14	17,752	21,636	21,316	20,919	21,802	21,176	21,754	24,557
	14:37:13	18,663	18,338	17,941	21,722	21,337	21,015	21,86	21,257	21,924	24,648
	14:42:13	18,789	18,344	17,918	21,781	21,46	21,042	21,935	21,321	21,978	24,689
	14:47:13	18,745	18,46	17,974	21,876	21,546	20,962	21,871	21,284	22,01	24,687
	14:52:13	18,795	18,52	17,952	21,983	21,636	20,978	21,914	21,364	22,185	24,797
	14:57:13	18,998	18,641	18,129	22,105	21,834	21,16	22,164	21,417	22,206	24,911
	15:02:13	18,844	18,564	18,012	21,914	21,604	21,117	21,994	21,332	22,079	24,755
	15:07:13	18,866	18,652	18,073	22,105	21,642	21,235	21,999	21,466	22,164	24,859
	15:12:13	18,954	18,625	18,101	22,185	21,663	21,235	22,095	21,514	22,217	24,924
	15:17:13	19,003	18,592	18,2	22,089	21,685	21,171	21,999	21,519	22,105	24,884
	15:22:13	19,228	18,844	18,421	22,381	21,892	21,423	22,265	21,706	22,344	25,089
	15:27:13	19,249	18,899	18,426	22,392	21,962	21,401	22,18	21,775	22,318	25,092
	15:32:13	19,151	18,696	18,338	22,227	21,86	21,3	22,116	21,615	22,27	24,982
	15:37:13	19,091	18,652	18,366	22,227	21,871	21,359	22,004	21,588	22,132	24,983
	15:42:13	19,162	18,762	18,305	22,158	21,844	21,316	22,148	21,599	22,27	25,008
	15:47:13	19,282	18,998	18,548	22,45	22,025	21,508	22,254	21,775	22,487	25,2
	15:52:13	19,255	19,091	18,564	22,418	22,1	21,498	22,254	21,765	22,498	25,231
	15:57:13	19,326	19,02	18,537	22,424	21,919	21,487	22,217	21,781	22,355	25,172
	16:02:13	19,435	19,014	18,669	22,402	22,206	21,359	22,402	21,743	22,545	25,171
	16:07:13	19,517	19,167	18,745	22,63	22,227	21,604	22,487	21,951	22,651	25,193
	16:12:13	19,462	19,014	18,614	22,413	22,111	21,353	22,355	21,743	22,477	24,995
	16:17:13	19,588	19,184	18,789	22,693	22,275	21,701	22,471	22,036	22,582	25,055
	16:22:13	19,56	19,08	18,762	22,63	22,233	21,658	22,482	22,02	22,556	24,929
	16:27:13	19,55	19,222	18,641	22,561	22,185	21,535	22,439	21,951	22,63	24,826
	16:32:13	19,599	19,178	18,756	22,683	22,148	21,626	22,392	22,047	22,593	24,824

Datum	Čas	sklo			rám		stěna				podlaha
		Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	Sp6	Sp7	Sp8	Sp9	Bx1
18.02.2019	16:37:13	19,528	19,036	18,734	22,619	22,211	21,604	22,328	21,983	22,551	24,695
	16:42:13	19,539	19,063	18,729	22,604	22,084	21,647	22,424	21,999	22,625	24,627
	16:47:13	19,402	19,08	18,778	22,641	22,211	21,599	22,508	21,956	22,625	24,633
	16:52:13	19,462	19,053	18,734	22,588	22,233	21,514	22,424	21,903	22,604	24,641
	16:57:13	19,533	19,113	18,789	22,535	22,211	21,615	22,392	21,983	22,556	24,739
	17:02:13	19,479	19,113	18,718	22,524	22,089	21,535	22,344	21,85	22,667	24,712
	17:07:14	19,528	19,178	18,894	22,672	22,185	21,679	22,529	21,994	22,619	24,832
	17:12:14	19,593	19,402	18,943	22,741	22,371	21,839	22,635	22,111	22,81	25,004
	17:17:14	19,599	19,315	18,866	22,752	22,142	21,711	22,582	22,169	22,63	24,963
	17:22:14	19,653	19,37	19,003	22,91	22,27	21,914	22,683	22,249	22,862	25,078

## Příloha E – Tabulka naměřených hodnot v interiéru a exteriéru

datum	čas	interiér				exteriér		
		CO2 [ppm]	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%rH]	Absolutní vlhkost [g/m3]	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%rH]	Absolutní vlhkost [g/m3]
17.02.2019	17:23:22	752	25,9	27,8	6,727	4,3	67,2	4,364
	17:28:22	745	25,9	27,9	6,751	4,2	67,7	4,367
	17:33:22	760	25,9	27,9	6,751	3,3	74,6	4,530
	17:38:22	758	25,9	27,9	6,751	2,5	81,6	4,695
	17:43:22	778	26	33,8	8,225	2,3	86,4	4,904
	17:48:22	770	26	30,1	7,325	2,2	91,8	5,175
	17:53:22	796	26	29,6	7,203	1,8	99,8	5,475
	17:58:22	814	26	29,5	7,179	1,5	100,0	5,375
	18:03:22	829	26	29,1	7,081	1,4	100,0	5,338
	18:08:22	835	26,1	29,2	7,145	1,3	100,0	5,302
	18:13:22	812	26	28,4	6,911	1,0	100,0	5,194
	18:18:22	813	26	29,2	7,106	0,6	100,0	5,052
	18:23:22	801	25,9	29	7,018	0,9	100,0	5,158
	18:28:22	798	25,9	28,9	6,993	1,0	100,0	5,194
	18:33:22	776	25,8	29	6,979	1,5	93,9	5,047
	18:38:22	772	25,8	28,9	6,955	1,3	98,9	5,243
	18:43:22	760	25,8	29,4	7,075	1,7	90,2	4,915
	18:48:22	762	25,8	29,2	7,027	1,2	98,8	5,202
	18:53:22	752	25,7	29,3	7,012	1,4	93,7	5,002
	18:58:22	747	25,7	29,2	6,988	1,3	92,1	4,883
	19:03:22	742	25,7	29,1	6,964	1,1	93,7	4,900
	19:08:22	729	25,7	28,8	6,892	1,0	98,6	5,121
	19:13:22	730	25,7	28,7	6,868	0,9	100,0	5,158
	19:18:22	714	25,7	28,7	6,868	0,5	100,0	5,018
	19:23:22	724	25,7	29,1	6,964	0,3	100,0	4,949
	19:28:22	720	25,6	28,6	6,806	0,1	100,0	4,881
	19:33:22	709	25,6	28,5	6,782	0,3	100,0	4,949
	19:38:22	703	25,6	28,5	6,782	0,1	100,0	4,881
	19:43:22	698	25,6	28,4	6,758	0,2	100,0	4,915
	19:48:22	691	25,6	28,2	6,711	0,1	100,0	4,881
	19:53:22	682	25,6	28,4	6,758	-0,7	100,0	4,616
	19:58:22	686	25,6	28,1	6,687	-0,5	100,0	4,681
	20:03:22	702	25,6	28,2	6,711	-0,3	100,0	4,747
	20:08:22	715	25,6	28,3	6,734	-0,4	100,0	4,714
	20:13:22	717	25,6	28,8	6,853	-0,7	100,0	4,616
	20:18:22	720	25,6	28,9	6,877	-0,5	100,0	4,681
	20:23:22	725	25,7	28,9	6,916	-0,7	100,0	4,616
	20:28:22	733	25,7	28,9	6,916	-0,7	100,0	4,616
	20:33:22	736	25,7	28,9	6,916	-1,0	100,0	4,521
	20:38:22	746	25,7	28,8	6,892	-0,8	100,0	4,584
	20:43:22	760	25,7	28,8	6,892	-1,1	100,0	4,489
	20:48:22	753	25,7	29	6,940	-1,3	100,0	4,427
	20:53:22	751	25,6	28,6	6,806	-1,3	100,0	4,427
	20:58:22	762	25,6	28,9	6,877	-1,5	100,0	4,365
	21:03:22	757	25,6	28,9	6,877	-1,3	100,0	4,427



datum	čas	CO2 [ppm]	Teplota [°C]	interiér		Teplota [°C]	exteriér	
				Relativní vlhkost [%rH]	Absolutní vlhkost [g/m3]		Relativní vlhkost [%rH]	Absolutní vlhkost [g/m3]
17.02.2019	21:08:22	755	25,5	27,9	6,602	-1,5	100,0	4,365
	21:13:22	763	25,6	28,9	6,877	-1,7	100,0	4,304
	21:18:22	766	25,6	29,1	6,925	-1,9	100,0	4,243
	21:23:22	771	25,6	28,9	6,877	-1,5	100,0	4,365
	21:28:22	780	25,6	28,8	6,853	-1,7	100,0	4,304
	21:33:22	782	25,6	28,7	6,830	-2,1	100,0	4,184
	21:38:22	782	25,6	28,9	6,877	-2,0	100,0	4,213
	21:43:22	775	25,6	28,7	6,830	-1,9	100,0	4,243
	21:48:22	790	25,6	28,9	6,877	-2,1	100,0	4,184
	21:53:22	876	25,6	29,6	7,044	-2,1	100,0	4,184
	21:58:22	800	25,5	28,9	6,839	-2,1	100,0	4,184
	22:03:22	798	25,5	28,9	6,839	-2,3	100,0	4,125
	22:08:22	786	25,4	28,8	6,777	-2,5	100,0	4,067
	22:13:22	765	25,4	29	6,824	-2,7	100,0	4,009
	22:18:22	745	25,3	28,7	6,716	-2,7	100,0	4,009
	22:23:22	732	25,3	28,7	6,716	-2,7	100,0	4,009
	22:28:22	711	25,3	28,4	6,646	-2,6	100,0	4,038
	22:33:22	699	25,3	28,5	6,669	-2,9	100,0	3,953
	22:38:22	683	25,2	28,5	6,632	-2,6	100,0	4,038
	22:43:22	670	25,2	28,4	6,609	-2,7	100,0	4,009
	22:48:22	656	25,2	28,3	6,585	-3,1	100,0	3,897
	22:53:22	642	25,2	28,1	6,539	-2,9	100,0	3,953
	22:58:22	625	25,2	28,2	6,562	-3,0	100,0	3,924
	23:03:22	614	25,1	28,2	6,525	-3,3	100,0	3,841
	23:08:22	609	25,1	28	6,479	-3,3	100,0	3,841
	23:13:22	597	25,1	27,9	6,456	-3,2	100,0	3,869
	23:18:22	579	25,1	27,8	6,433	-3,3	100,0	3,841
	23:23:22	573	25,1	27,8	6,433	-3,2	100,0	3,869
	23:28:22	565	25,1	27,6	6,387	-3,2	100,0	3,869
	23:33:22	559	25	27,5	6,328	-3,4	100,0	3,814
	23:38:22	546	25	27,4	6,305	-2,8	100,0	3,981
	23:43:22	543	25	27,4	6,305	-2,9	100,0	3,953
	23:48:22	539	25	27,3	6,282	-3,1	100,0	3,897
	23:53:22	527	25	27,3	6,282	-3,2	100,0	3,869
	23:58:22	523	25	27,2	6,259	-3,5	100,0	3,787
	0:03:22	513	24,9	27,1	6,201	-3,6	100,0	3,759
18.02.2019	0:08:22	515	24,9	27,1	6,201	-3,2	100,0	3,869
	0:13:22	510	24,9	27	6,178	-3,4	100,0	3,814
	0:18:22	505	24,9	26,9	6,155	-3,5	100,0	3,787
	0:23:22	500	24,9	26,9	6,155	-3,3	100,0	3,841
	0:28:22	498	24,9	26,9	6,155	-3,4	100,0	3,814
	0:33:22	490	24,9	26,7	6,109	-3,6	100,0	3,759
	0:38:22	487	24,9	26,8	6,132	-3,7	100,0	3,733
	0:43:22	485	24,8	26,7	6,075	-3,8	100,0	3,706
	0:48:22	484	24,8	26,7	6,075	-3,8	100,0	3,706
	0:53:22	481	24,8	26,5	6,030	-3,9	100,0	3,679
	0:58:22	481	24,8	26,5	6,030	-4,0	100,0	3,653

datum	čas	interiér				exteriér			
		CO2 [ppm]	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%rH]	Absolutní vlhkost [g/m <sup>3</sup> ]	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%rH]	Absolutní vlhkost [g/m <sup>3</sup> ]	
18.02.2019	1:03:22	476	24,8	26,4	6,007	-4,1	100,0	3,627	
	1:08:22	473	24,8	26,5	6,030	-3,9	100,0	3,679	
	1:13:22	468	24,8	26,3	5,984	-4,0	100,0	3,653	
	1:18:22	469	24,7	26,3	5,951	-3,9	100,0	3,679	
	1:23:22	462	24,7	26,2	5,928	-4,1	100,0	3,627	
	1:28:22	464	24,7	26,2	5,928	-4,1	100,0	3,627	
	1:33:22	461	24,7	26,2	5,928	-4,2	100,0	3,600	
	1:38:22	462	24,7	26,2	5,928	-4,2	100,0	3,600	
	1:43:22	459	24,7	26,1	5,905	-4,3	100,0	3,575	
	1:48:22	460	24,7	26	5,883	-4,3	100,0	3,575	
	1:53:22	456	24,6	26	5,850	-3,9	100,0	3,679	
	1:58:22	456	24,6	26,2	5,895	-3,9	100,0	3,679	
	2:03:22	452	24,6	26	5,850	-4,2	100,0	3,600	
	2:08:22	453	24,6	26	5,850	-4,2	100,0	3,600	
	2:13:22	451	24,6	26,1	5,872	-4,4	100,0	3,549	
	2:18:22	449	24,6	26	5,850	-4,3	100,0	3,575	
	2:23:22	452	24,6	25,8	5,805	-4,5	100,0	3,523	
	2:28:22	446	24,6	25,9	5,827	-4,3	100,0	3,575	
	2:33:22	451	24,6	25,8	5,805	-4,6	100,0	3,498	
	2:38:22	448	24,6	25,8	5,805	-4,4	100,0	3,549	
	2:43:22	444	24,6	25,7	5,782	-4,5	100,0	3,523	
	2:48:22	447	24,6	25,8	5,805	-4,5	100,0	3,523	
	2:53:22	446	24,5	25,6	5,727	-4,6	100,0	3,498	
	2:58:22	443	24,5	25,6	5,727	-4,5	100,0	3,523	
	3:03:22	445	24,5	25,6	5,727	-4,8	100,0	3,447	
	3:08:22	446	24,5	25,6	5,727	-4,9	100,0	3,422	
	3:13:22	443	24,5	25,5	5,705	-4,9	100,0	3,422	
	3:18:22	444	24,5	25,6	5,727	-5,0	100,0	3,398	
	3:23:22	439	24,5	25,4	5,683	-5,0	100,0	3,398	
	3:28:22	440	24,5	25,5	5,705	-5,1	100,0	3,373	
	3:33:22	438	24,5	25,5	5,705	-5,0	100,0	3,398	
	3:38:22	439	24,4	25,4	5,651	-5,1	100,0	3,373	
	3:43:22	437	24,4	25,5	5,673	-4,7	100,0	3,472	
	3:48:22	440	24,4	25,4	5,651	-5,0	100,0	3,398	
	3:53:22	439	24,4	25,4	5,651	-5,2	100,0	3,348	
	3:58:22	437	24,4	25,4	5,651	-5,4	100,0	3,300	
	4:03:22	437	24,4	25,3	5,628	-5,3	100,0	3,324	
	4:08:22	442	24,4	25,3	5,628	-5,4	100,0	3,300	
	4:13:22	437	24,4	25,3	5,628	-5,4	100,0	3,300	
	4:18:22	437	24,3	25,3	5,597	-5,4	100,0	3,300	
	4:23:22	434	24,3	25,3	5,597	-5,5	100,0	3,276	
	4:28:22	435	24,3	25,3	5,597	-5,4	100,0	3,300	
	4:33:22	434	24,3	25,4	5,619	-5,5	100,0	3,276	
	4:38:22	437	24,3	25,4	5,619	-5,4	100,0	3,300	
	4:43:22	432	24,3	25,2	5,575	-5,6	100,0	3,252	
	4:48:22	435	24,3	25,1	5,552	-5,6	100,0	3,252	
	4:53:22	442	24,3	25,4	5,619	-5,6	100,0	3,252	

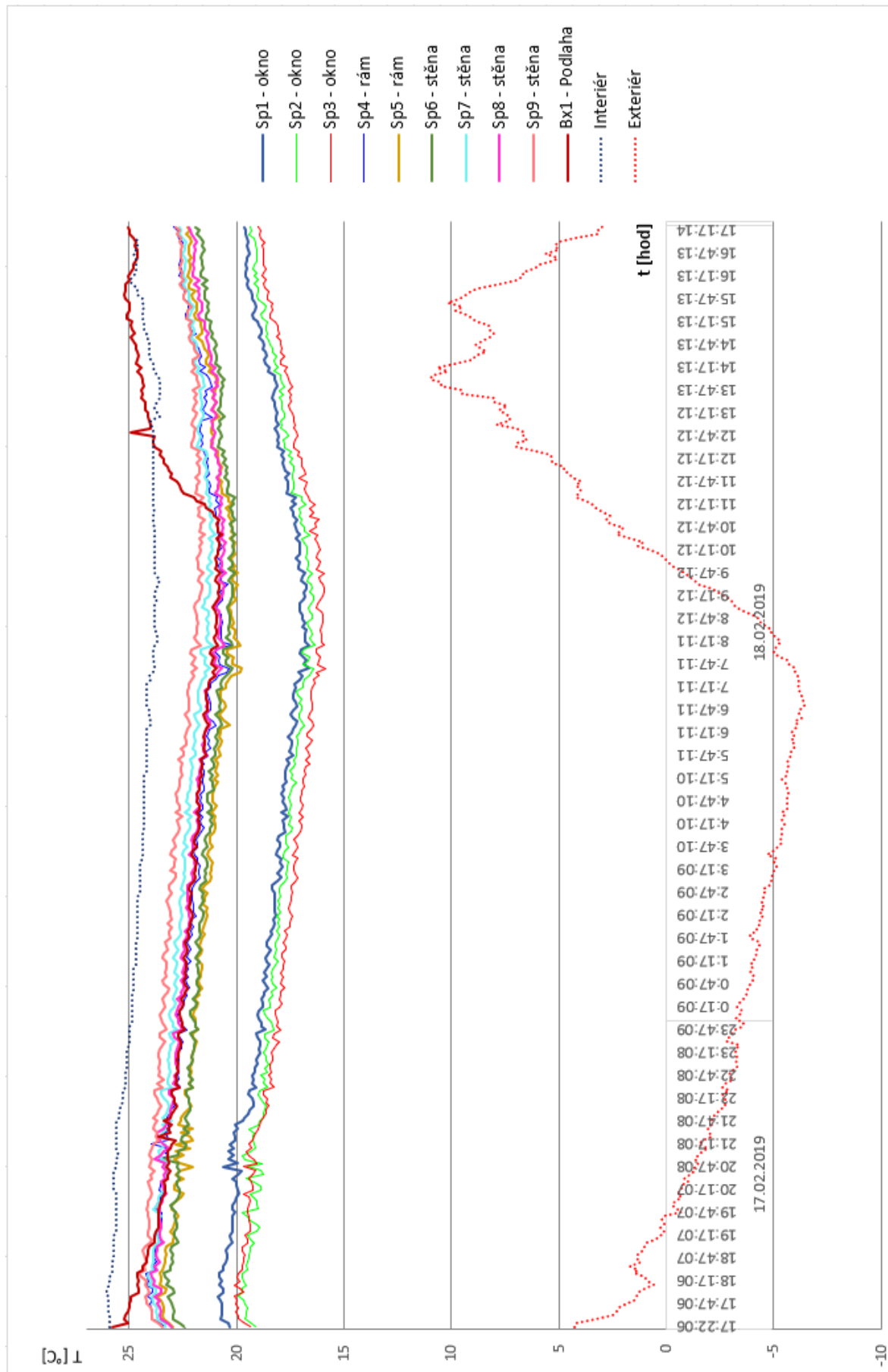
datum	čas	CO2 [ppm]	interiér			exteriér		
			Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%rH]	Absolutní vlhkost [g/m <sup>3</sup> ]	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%rH]	Absolutní vlhkost [g/m <sup>3</sup> ]
18.02.2019	4:58:22	442	24,3	25,4	5,619	-5,6	100,0	3,252
	5:03:22	447	24,3	25,5	5,641	-5,7	100,0	3,228
	5:08:22	448	24,3	25,3	5,597	-5,6	100,0	3,252
	5:13:22	454	24,3	25,1	5,552	-5,6	100,0	3,252
	5:18:22	456	24,3	25,2	5,575	-5,5	100,0	3,276
	5:23:22	458	24,3	25,4	5,619	-5,4	100,0	3,300
	5:28:22	462	24,3	25,4	5,619	-5,6	100,0	3,252
	5:33:22	466	24,2	25,3	5,565	-5,6	100,0	3,252
	5:38:22	463	24,2	25,4	5,587	-5,7	100,0	3,228
	5:43:22	467	24,2	25,2	5,543	-5,6	100,0	3,252
	5:48:22	472	24,2	25,6	5,631	-5,7	100,0	3,228
	5:53:22	471	24,2	25,3	5,565	-5,8	100,0	3,205
	5:58:22	477	24,2	25,4	5,587	-5,8	100,0	3,205
	6:03:22	479	24,2	25,2	5,543	-5,9	100,0	3,181
	6:08:22	478	24,2	25	5,499	-6,0	100,0	3,158
	6:13:22	478	24,2	25,1	5,521	-5,8	100,0	3,205
	6:18:22	518	24,2	26,1	5,741	-6,0	100,0	3,158
	6:23:22	514	24,2	25,5	5,609	-5,8	100,0	3,205
	6:28:22	504	24,2	25,3	5,565	-6,0	100,0	3,158
	6:33:22	518	24	24,9	5,416	-6,1	100,0	3,135
	6:38:22	538	24	25,3	5,503	-6,0	100,0	3,158
	6:43:22	549	24,1	26,3	5,753	-6,3	100,0	3,089
	6:48:22	561	24,1	26,3	5,753	-6,2	100,0	3,112
	6:53:22	565	24,1	26,3	5,753	-6,2	100,0	3,112
	6:58:22	570	24,2	26,5	5,829	-6,4	100,0	3,066
	7:03:22	583	24,2	25,9	5,697	-6,4	100,0	3,066
	7:08:22	574	24,2	26,7	5,873	-6,3	100,0	3,089
	7:13:22	601	24,2	26,1	5,741	-6,3	100,0	3,089
	7:18:22	593	24,2	26,3	5,785	-6,2	100,0	3,112
	7:23:22	599	24,2	26,8	5,895	-6,2	100,0	3,112
	7:28:22	603	24,2	26,6	5,851	-6,1	100,0	3,135
	7:33:22	621	24	25,6	5,568	-6,2	100,0	3,112
	7:38:22	623	24,1	25,6	5,599	-6,1	100,0	3,135
	7:43:22	611	23,9	25	5,407	-6,0	100,0	3,158
	7:48:22	563	23,8	24,6	5,290	-6,0	100,0	3,158
	7:53:22	556	23,8	24,6	5,290	-5,7	100,0	3,228
	7:58:22	558	23,9	24,9	5,385	-5,6	100,0	3,252
	8:03:22	554	23,9	25,2	5,450	-5,3	100,0	3,324
	8:08:22	550	23,9	25,6	5,536	-5,0	100,0	3,398
	8:13:22	538	23,9	25,5	5,515	-5,0	100,0	3,398
	8:18:22	521	23,8	23,7	5,097	-5,2	100,0	3,348
	8:23:22	513	23,7	24,7	5,282	-5,3	100,0	3,324
	8:28:22	510	23,7	25,2	5,389	-5,1	100,0	3,373
	8:33:22	502	23,7	24,7	5,282	-4,9	100,0	3,422
	8:38:22	501	23,8	24,8	5,333	-4,9	100,0	3,422
	8:43:22	504	23,8	25	5,376	-4,7	100,0	3,472
	8:48:22	494	23,8	25,1	5,398	-4,4	100,0	3,549

datum	čas	CO2 [ppm]	Teplota [°C]	interiér		Teplota [°C]	exteriér	
				Relativní vlhkost [%rH]	Absolutní vlhkost [g/m3]		Relativní vlhkost [%rH]	Absolutní vlhkost [g/m3]
18.02.2019	8:53:22	494	23,8	24,9	5,355	-4,3	100,0	3,575
	8:58:22	488	23,8	24,9	5,355	-4,0	100,0	3,653
	9:03:22	486	23,8	25	5,376	-3,6	100,0	3,759
	9:08:22	482	23,8	25,1	5,398	-3,2	100,0	3,869
	9:13:22	486	23,8	24,8	5,333	-3,1	100,0	3,897
	9:18:22	483	23,7	24,9	5,324	-3,0	100,0	3,924
	9:23:22	484	23,8	25,3	5,441	-2,7	100,0	4,009
	9:28:22	486	23,8	25,1	5,398	-2,4	100,0	4,096
	9:33:22	490	23,7	24,8	5,303	-2,1	100,0	4,184
	9:38:22	489	23,7	24,7	5,282	-1,5	100,0	4,365
	9:43:22	506	23,6	25,3	5,379	-1,3	100,0	4,427
	9:48:22	515	23,7	25,4	5,431	-1,1	100,0	4,489
	9:53:22	518	23,8	25,2	5,419	-0,8	100,0	4,584
	9:58:22	514	23,8	25,4	5,462	-0,5	100,0	4,681
	10:03:22	517	23,8	25,3	5,441	-0,3	100,0	4,747
	10:08:22	520	23,8	25,7	5,527	-0,1	100,0	4,813
	10:13:22	523	23,8	25,6	5,505	0,1	100,0	4,881
	10:18:22	530	23,8	25,6	5,505	0,3	100,0	4,949
	10:23:22	537	23,8	25,3	5,441	0,7	100,0	5,087
	10:28:22	545	23,8	25,5	5,484	1,3	100,0	5,302
	10:33:22	549	23,8	25,7	5,527	1,1	100,0	5,229
	10:38:22	552	23,8	25,2	5,419	1,7	94,9	5,171
	10:43:22	553	23,8	25,7	5,527	2,3	81,7	4,637
	10:48:22	558	23,8	25,8	5,548	2,2	100,0	5,638
	10:53:22	560	23,8	25,8	5,548	2,0	100,0	5,561
	10:58:22	561	23,9	25,9	5,601	2,6	85,4	4,947
	11:03:22	570	23,9	25,9	5,601	2,8	91,7	5,384
	11:08:22	576	23,9	26,2	5,666	2,6	94,8	5,491
	11:13:22	570	23,8	26,3	5,656	3,0	83,4	4,963
	11:18:22	574	23,9	26,2	5,666	3,3	74,4	4,518
	11:23:22	573	23,9	26,3	5,688	3,5	79,3	4,881
	11:28:22	573	23,9	26,3	5,688	3,7	71,7	4,473
	11:33:22	577	23,9	26,4	5,709	4,2	68,6	4,425
	11:38:22	580	23,9	26,5	5,731	4,1	69,3	4,440
	11:43:22	582	23,9	26,4	5,709	4,0	67,9	4,322
	11:48:22	587	23,9	26,3	5,688	4,2	66,0	4,257
	11:53:22	575	23,9	26	5,623	4,0	68,5	4,360
	11:58:22	569	23,9	26,2	5,666	4,4	66,3	4,334
	12:03:22	567	23,9	26	5,623	4,5	66,5	4,376
	12:08:22	558	23,9	26,1	5,645	4,8	62,3	4,182
	12:13:22	550	23,9	26	5,623	4,8	62,3	4,182
	12:18:22	540	23,9	26,2	5,666	5,3	55,3	3,837
	12:23:22	529	23,9	26,2	5,666	5,3	57,8	4,011
	12:28:22	523	23,9	26,1	5,645	5,4	56,6	3,954
	12:33:22	521	23,9	26,2	5,666	6,1	54,3	3,972
	12:38:22	517	23,9	26,3	5,688	7,0	49,1	3,809
	12:43:22	508	23,9	26,3	5,688	7,0	50,8	3,941

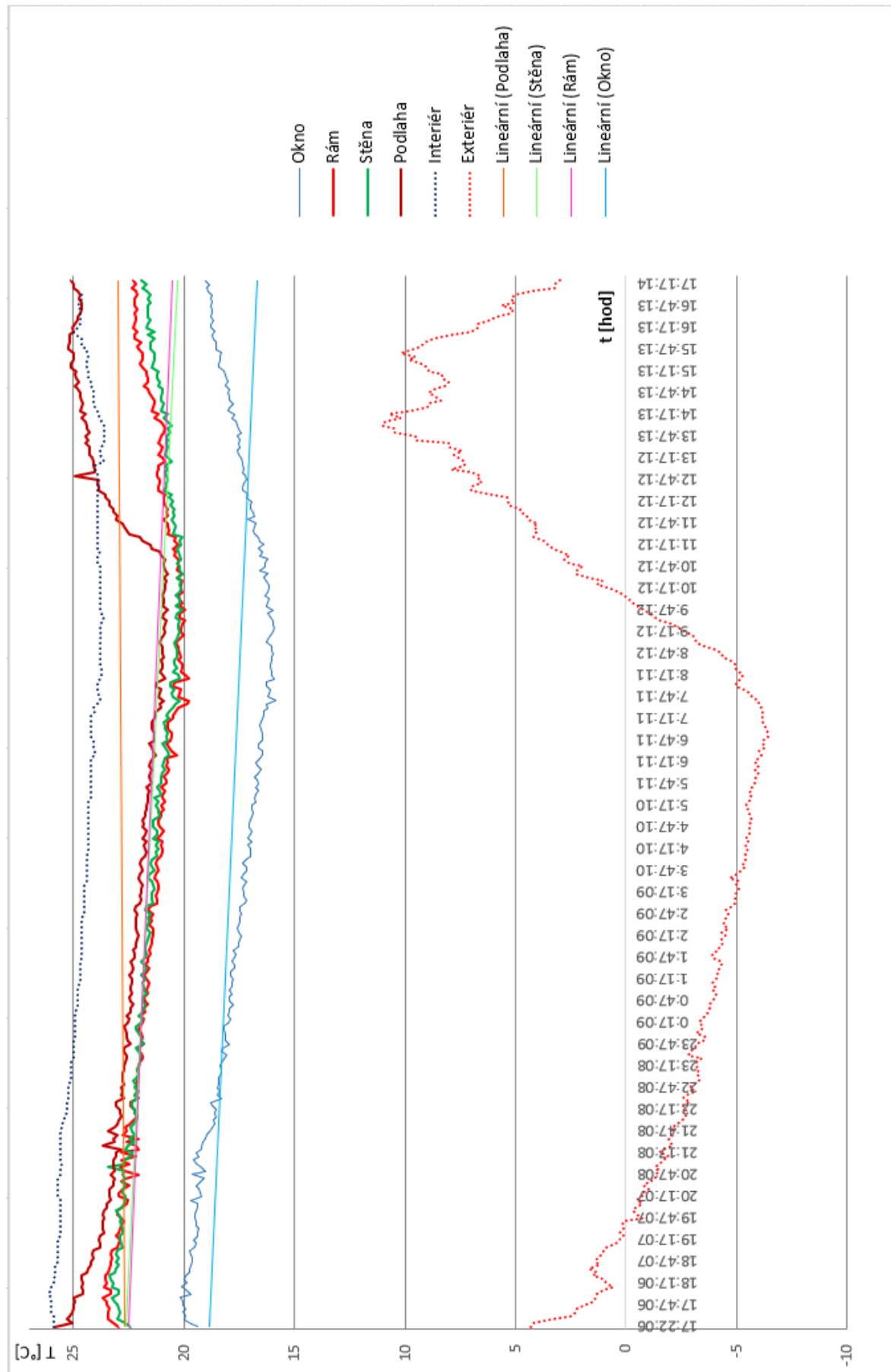
datum	čas	CO2 [ppm]	Teplota [°C]	interiér		Teplota [°C]	exteriér	
				Relativní vlhkost [%rH]	Absolutní vlhkost [g/m <sup>3</sup> ]		Relativní vlhkost [%rH]	Absolutní vlhkost [g/m <sup>3</sup> ]
18.02.2019	12:48:22	503	23,9	26	5,623	6,5	51,8	3,890
	12:53:22	503	23,9	26,2	5,666	6,7	50,8	3,865
	12:58:22	497	23,9	26,2	5,666	6,6	51,7	3,908
	13:03:22	496	23,9	26,4	5,709	7,0	47,4	3,677
	13:08:22	491	24	26,1	5,677	7,9	46,0	3,783
	13:13:22	491	24	26,1	5,677	7,3	45,0	3,560
	13:18:22	467	23,6	24,9	5,294	7,3	43,7	3,457
	13:23:22	484	23,7	25,6	5,474	7,6	44,8	3,614
	13:28:22	505	23,8	25,6	5,505	7,8	44,9	3,669
	13:33:22	482	23,8	24	5,161	7,4	46,7	3,718
	13:38:22	477	23,7	23,9	5,111	8,0	38,8	3,212
	13:43:22	469	23,6	23,1	4,912	8,0	37,7	3,121
	13:48:22	466	23,6	22,6	4,805	9,5	31,4	2,861
	13:53:22	460	23,6	22,3	4,741	9,5	31,4	2,861
	13:58:22	457	23,6	21,8	4,635	10,5	27,0	2,622
	14:03:22	464	23,6	21,9	4,656	10,5	29,5	2,864
	14:08:22	455	23,6	21,4	4,550	11,0	28,2	2,826
	14:13:22	455	23,7	21,4	4,576	10,9	28,6	2,848
	14:18:22	472	23,8	23,1	4,968	10,2	32,6	3,106
	14:23:22	490	23,9	22,8	4,931	10,7	30,3	2,979
	14:28:22	503	23,9	23,6	5,104	9,8	33,6	3,121
	14:33:22	516	24	24	5,220	9,0	37,8	3,336
	14:38:22	529	24,1	24,1	5,271	8,9	36,8	3,227
	14:43:22	538	24,1	24,4	5,337	8,4	38,5	3,270
	14:48:22	554	24,1	24,8	5,424	8,6	37,0	3,183
	14:53:22	565	24,1	24,8	5,424	8,9	36,7	3,219
	14:58:22	568	24,1	25,1	5,490	8,6	38,5	3,312
	15:03:22	593	24,2	25,2	5,543	8,2	39,1	3,278
	15:08:22	592	24,2	24,9	5,477	8,0	40,5	3,352
	15:13:22	606	24,3	25,1	5,552	8,3	40,2	3,392
	15:18:22	634	24,3	25,3	5,597	8,3	40,5	3,418
	15:23:22	628	24,3	25,4	5,619	8,9	39,5	3,464
	15:28:22	632	24,4	25,3	5,628	9,0	38,5	3,398
	15:33:22	638	24,4	25,5	5,673	9,3	38,5	3,464
	15:38:22	633	24,4	25,7	5,717	9,8	37,3	3,465
	15:43:22	637	24,3	25,6	5,663	9,5	37,6	3,426
	15:48:22	648	24,4	25,5	5,673	10,2	35,7	3,401
	15:53:22	668	24,4	26	5,784	9,6	38,3	3,512
	15:58:22	696	24,6	25,8	5,805	9,3	38,8	3,491
	16:03:22	704	24,6	25,7	5,782	9,1	39,4	3,500
	16:08:22	702	24,6	25,7	5,782	8,7	38,9	3,368
	16:13:22	713	24,9	25,8	5,903	7,8	42,9	3,505
	16:18:22	711	25	25,6	5,891	7,0	45,2	3,507
	16:23:22	722	24,8	26,1	5,939	6,7	44,4	3,378
	16:28:22	720	24,7	26,3	5,951	6,7	43,9	3,340
	16:33:22	713	24,7	26,4	5,973	6,1	47,9	3,504
	16:38:22	719	24,7	26,4	5,973	5,9	46,1	3,328

datum	čas	interiér				exteriér		
		CO2 [ppm]	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%rH]	Absolutní vlhkost [g/m3]	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%rH]	Absolutní vlhkost [g/m3]
18.02.2019	16:43:22	721	24,7	26,7	6,041	5,2	50,3	3,468
	16:48:22	745	24,7	27	6,109	5,1	52,5	3,595
	16:53:22	768	24,8	27	6,143	5,6	52,4	3,709
	16:58:22	750	24,7	27,1	6,132	5,0	56,4	3,837
	17:03:22	756	24,6	26,7	6,007	5,2	55,5	3,826
	17:08:22	804	24,6	28,4	6,390	5,0	56,0	3,810
	17:13:22	799	24,7	27,3	6,177	4,2	60,9	3,928
	17:18:22	763	24,7	27,6	6,247	3,2	66,5	4,011
	17:23:22	784	24,6	28,1	6,108	3,2	64,9	3,915

**Příloha F – Graf teplot v konstrukci, interiéru a exteriéru**

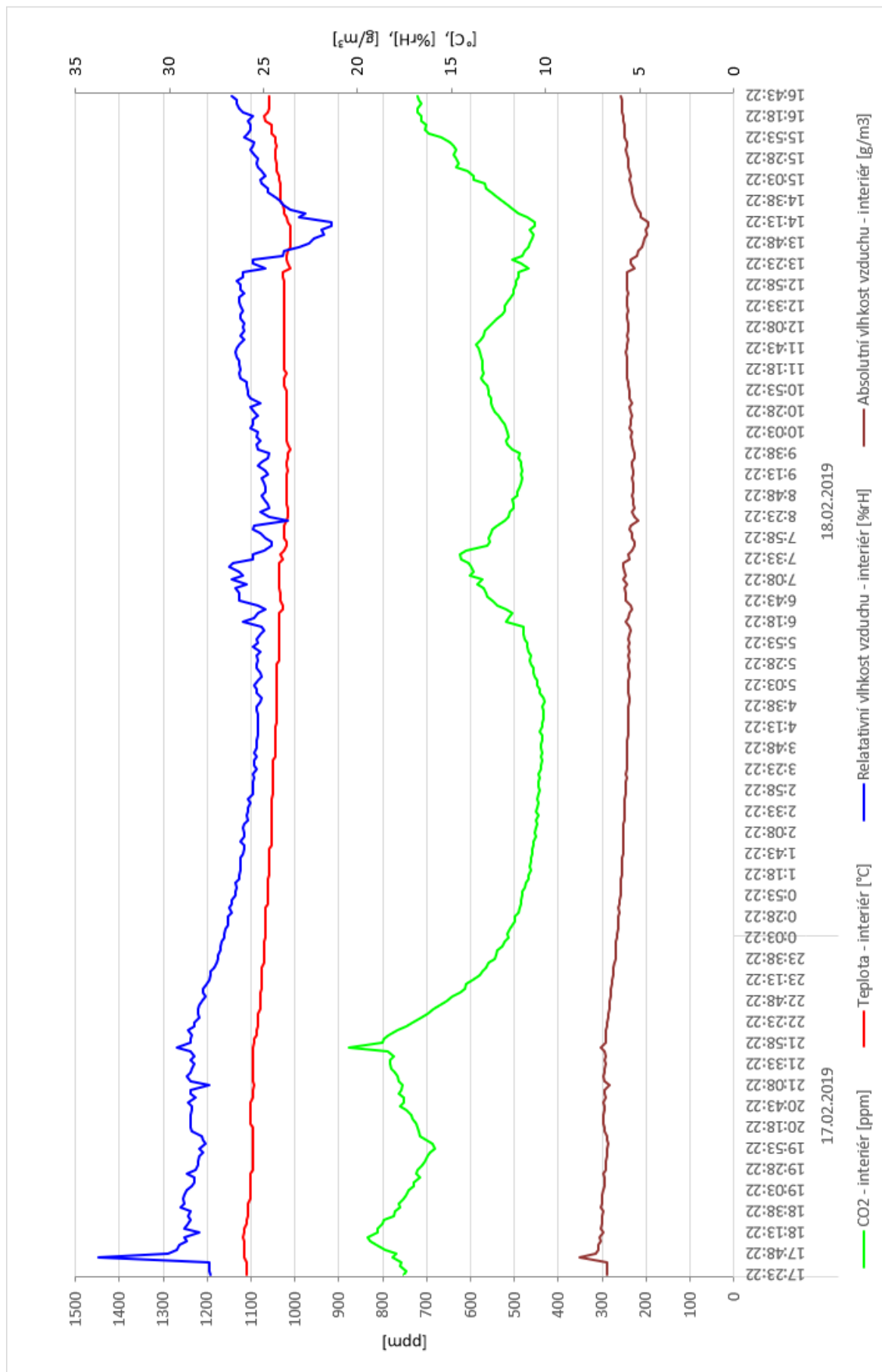


**Příloha G – Zjednodušený graf průběhů teplot**

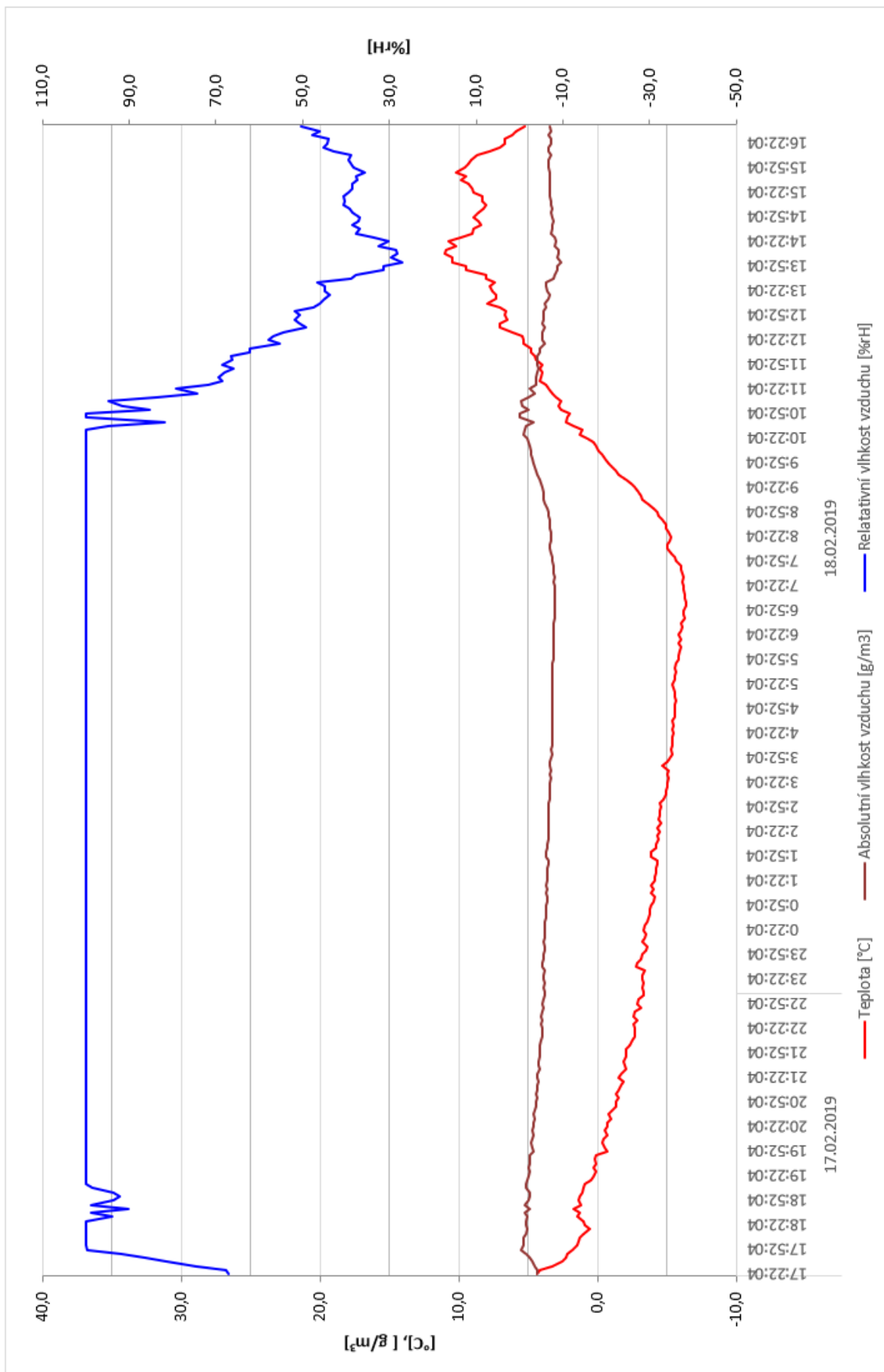




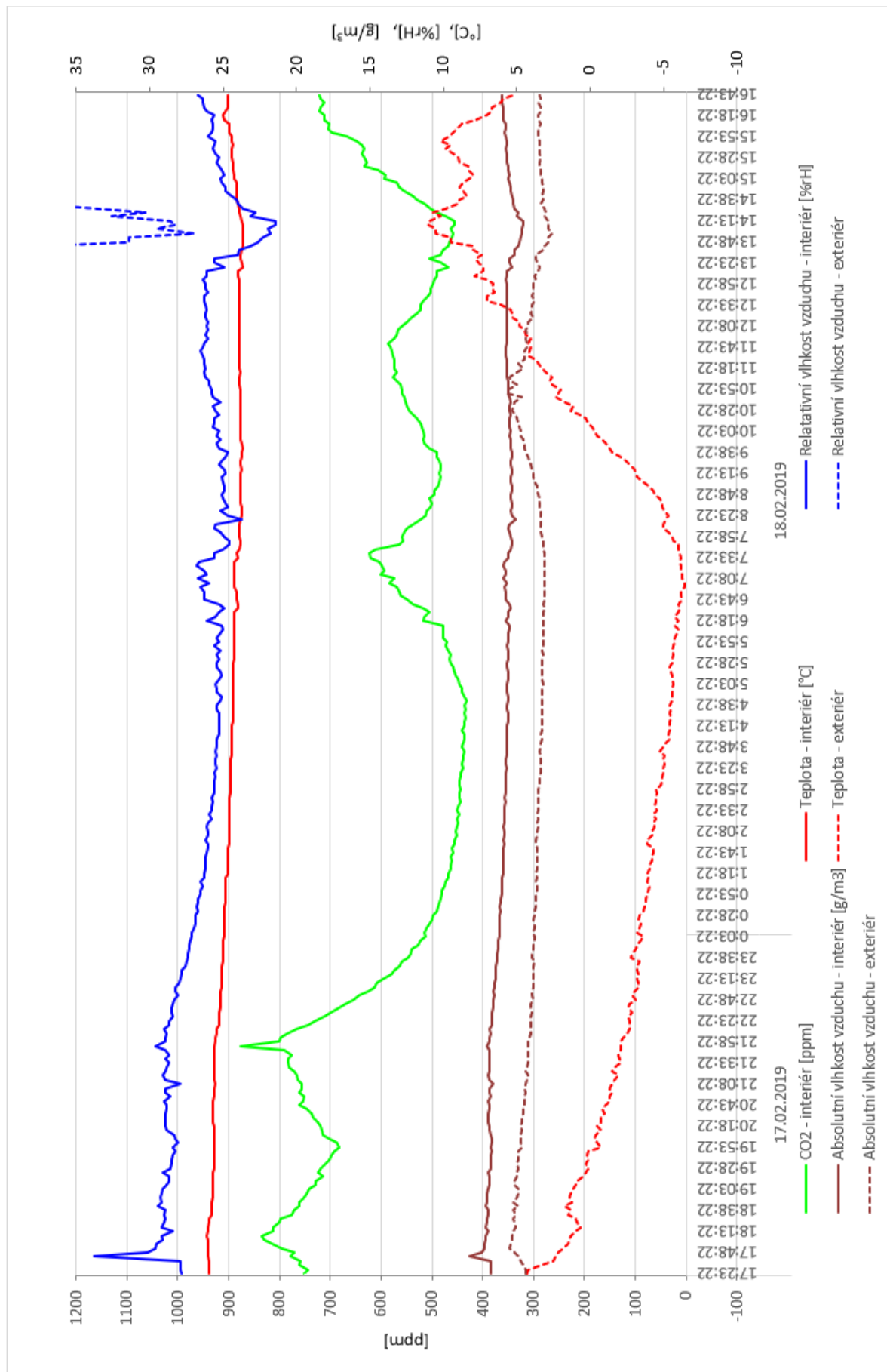
**Příloha H – Graf průběhu teploty, vlhkosti a CO2 v interiéru**



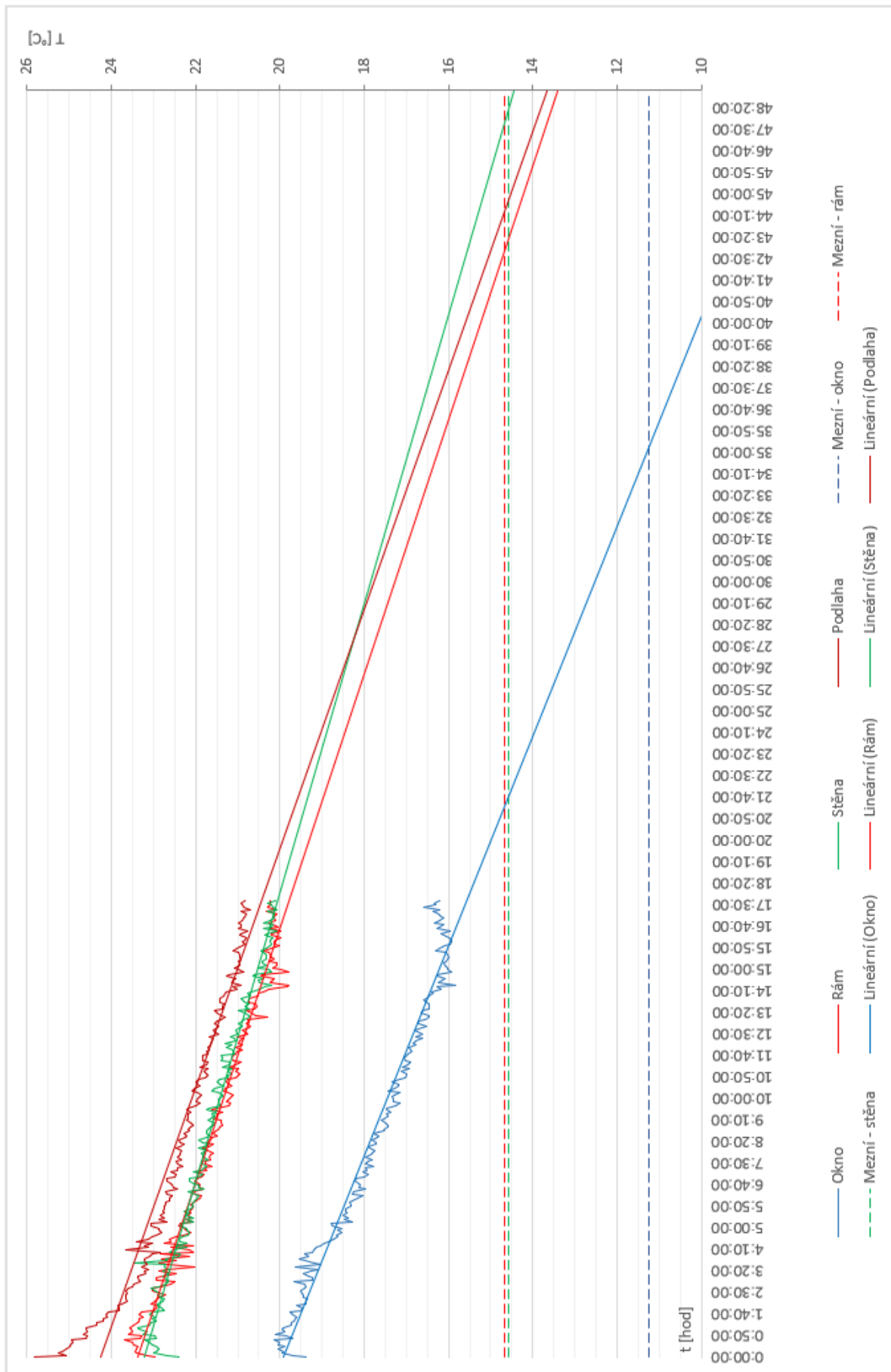
**Příloha I – Graf průběhu teploty a vlhkosti v exteriéru**



**Příloha J – Společný graf průběhů hodnot v exteriéru a interiéru**



**Příloha K – Odhad doby chladnutí konstrukce**



## **Příloha L – CD se záznamem měření**