DIPLOMOVÁ PRÁCE

Univerzita Hradec Králové

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyziky

Experimentální měření tepelných ztrát domu pomocí elektrického přímotopu a termokamery

Diplomová práce

Autor: Jan Hájek

Studijní program: N1701

Studijní obor: Fyzikální měření a modelování

Vedoucí práce: doc. RNDr. Josef Hubeňák, CSc.

Hradec králové červen 2016

Univerzita Hradec Králové
Přírodovědecká fakulta

Zadání diplomové práce

Autor:	**Jan Hájek**
Studijní program:	N1701 Fyzika
Studijní obor:	Fyzikální měření a modelování
Název závěrečné práce:	Experimentální měření tepelných ztrát domu pomocí elektrického přímotopu a termokamery
Název závěrečné práce AJ:	Experimental measuring of warmth loss in houses by electric heaters and thermo-camera.
Garantující pracoviště:	Katedra fyziky, Přírodovědecká fakulta
Vedoucí práce:	Doc. RNDr. Josef Hubeňák, CSc.
Konzultant:	
Oponent:	Mgr. Pavel Kabrhel

Datum zadání závěrečné práce: 22. 10. 2015

Datum odevzdání závěrečné práce: 7. 1. 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

V Hradci Králové dne ……. …….

podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Přírodovědecké fakultě za umožnění zpracovat tuto diplomovou práci. Rád bych poděkoval Doc. RNDr. Josefovi Hubeňákovi, CSc., za jeho ochotu a pomoc při zpracování této práce. Chtěl bych poděkovat rodině za podporu a pochopení při studiu na Univerzitě Hradec Králové Přírodovědecké fakultě.

Anotace

V diplomové práci se zabývám experimentálním měřením tepelných ztrát domu pomocí elektrického přímotopu a termokamery. Na experiment jsem vybral čtyři domy: cihlový dům, hliněný dům, okálový dům a roubený dům.

Všechny se od sebe liší stavbou a materiálem. V každém domě jsem si vybral místnost, kterou jsem začal vytápět elektrickým přímotopem do konstantní teploty. Pak jsem měření ukončil a zpracoval v programu Excel s obálkovou metodou, kterou porovnávám s naměřenou průměrnou teplotou za posledních 10 let.

Annotation

In my Master thesis, I concentrate on the experimental measuring of warmth loss in houses which I intend to find by the use of electric heaters and thermo-camera.For the experiment, I have chosen four houses: a brick house, a mud house, a terraced house and a timbered house.

All houses differ in construction and material. I have chosen one room in each house which I began to heat by a electric heater to a constant temperature. After finishing the heating, I have processed the data found in Excel using the envelope method. I compared it to the average measured temperature in the last 10 years.

OBSAH

1. ÚVOD 8
2. CÍL PRÁCE 10
3. HISTORIE MĚŘENÍ TEPLOTY 11
4. ŠÍŘENÍ TEPLA 14
4.1. ŠTEFANŮV BOLTZMANŮV ZÁKON 14
4.2. SÁLÁNÍ TEPLA 16
4.3. PROUDĚNÍ TEPLA 19
4.4. VEDENÍ TEPLA 20
5. VLASTNÍ EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ TEPELNÉ ZTRÁTY MÍSTNOSTI ČTYŘ DOMŮ, POMOCÍ ELEKTRICKÉHO TOPNÉHO TĚLESA A TERMOKAMERY. 22
5.1. METODY 23
5.1.1. EXPERIMENTÁLNÍ METODA 23
5.1.2. OBÁLKOVÁ METODA 23
5.1.3. ORIENTAČNÍ METODA 26
5.2. CIHLOVÝ DŮM 26
5.2.1.EXPERIMENTÁLNÍ METODA 29
5.2.2.OBÁLKOVÁ METODA 29
5.2.3.Celková ztráta domu obálkovou metodou 37
5.2.4.ORIENTAČNÍ METODA 47
5.3. HLINĚNÝ DŮM 46
5.3.1. EXPERIMENTÁLNÍ METODA 52
5.3.2. OBÁLKOVÁ METODA 52
5.3.3. CELKOVÁ ZTRÁTA DOMU OBÁLKOVOU METODOU 59
5.3.4. ORIENTAČNÍ METODA 66
5.4. OKÁLOVÝ DŮM 67
5.4.1.EXPERIMENTÁLNÍ METODA 69
5.4.2.OBÁLKOVÁ METODA 69
5.5. ROUBENÝ DŮM 74
5.5.1.EXPERIMENTÁLNÍ METODA 76
6. BEZDOTYKOVÉ MĚŘENÍ 77
7. ZÁVĚR 78
7.1. CIHLOVÝ DŮM 78

7.2. HLINĚNÝ DŮM 79
7.3. OKÁLOVÝ DŮM 80
8. PŘÍLOHA FOTOGRAFIÍ 80
8.1. CIHLOVÝ DŮM 81
8.2. HLINĚNÝ DŮM 82
8.3. OKÁLOVÝ DŮM 84
8.4. ROUBENÝ DŮM 86
9. POUŽITÁ LITERATURA 87
10. POUŽITÁ LITERATURA 85

1. Úvod

V dávných dobách neměli lidé žádné nástroje pro měření teploty. Spoléhali se na své smysly vnímání tepla a zimy. Pozorováním polohy Slunce, vypozorovali letní a zimní slunovrat – kdy Slunce má vůči rovníku největší nebo nejmenší deklinaci. Žili jen v místech tak teplých, které jim umožňovalo přežití. Zásadním zdrojem tepla v chladných obdobích v dávných dobách stejně jako i dnes byl oheň Po té co lidé začali používat různé přírodní materiály jako je listí, suchá tráva a kožešiny aby udržely svá těla v teple, využívali těchto materiálů i k izolaci svých jednoduchých obydlí.

Nejstarším slovanským obydlím byly zemnice a polozemnice, které se vyznačující zahloubením pod úroveň terénu. Zahloubení zajišťovalo teplo země, podobně se tento princip využívá u sklepů. Vývoj materiálů přitom směřoval od materiálů hořlavých a "měkkých" (dřevěné trámy či šindel, sláma) k protipožárně odolným a tvrdým materiálům (kámen, pálené cihly, břidlice). K nejstarším stavebním materiálům užívaným dřevo od samého počátku tradičního vesnického stavitelství náleží dřevo kombinované s hliněnou mazaninou a sláma Velmi starého původu je rovněž používání stavebního kamene**,** zejména v rychle odlesněných oblastech. Staršího užití je přirozeně sbíraný kámen, posléze kámen lomový a s ohledem na vynaloženou práci nákladnější tesaný kámen. Mladšího použití jsou pálené cihly a pálená střešní krytina. Tento proces však znamenal přechod od materiálů "teplých" s dobrými tepelně-izolačními vlastnostmi ke stavebním materiálům studeným. To bylo ovšem možné teprve v souvislosti s vyspělejšími způsoby vytápění obytných místností domu.

Obecně nebyl tento materiálový přechod na českém venkově dobrovolný, nýbrž byl podmíněn vnitřním i vnějším tlakem. Jednak to byla snaha napodobit vzory velké slohové architektury**,** užívané již dříve v sociálně vyšším prostředí, a posléze zejména nástup školených projektantů, spojený s legislativním omezováním a nakonec i zákazem užívání spalných materiálů a konstrukcí.

V současné době je na trhu spoustu nových izolačních materiálů přírodního i umělého složení. Často se využívá skelná či čedičovou vata, pěny, polystyrénem nebo cihly, či betonové tvárnice se vzduchem v mezi prostorech.

Stavební trend domů je dnes zaměřen na co nejnižší spotřebu dodané energie.

Preferují se domy nízkoenergetické, nebo pasivní domy. Je tak nutné spočítat tepelnou ztrátu domu. K tomu se nejčastěji využívá obálková metoda a orientační výpočet.

2. Cíl práce

Cílem experimentu je ověřit, zda je možné měřit tepelnou ztrátu místnosti domu, pomocí elektrického přímotopu a termokamery. Výsledky vyhodnotím s dalšími používanými metodami: obálkové metody jak příliš se liší od průměrné teploty v dané lokalitě, orientační metody kterou porovnávám s obálkovou metodou tepelné ztráty celého domu.

3. Historie měření tepla

První historické měření teploty bylo zaznamenáno na základě zkušeností lidským okem například při vypalování hliněných nádob. V peci ve které se vypalovaly hliněné nádoby, se pozvolna zvyšovala teplota až na vysokou teplotu, kde ji udržovali po několik hodin. Po vypálení teplotu v peci pozvolna snižovali až do vychladnutí. Změnu teploty určovali orientačně podle barvy ohně, který se měnil od rudé barvy až po bílou (do modra) a podle barvy hliněných nádob.

Tabulka č. 1 – Zbarvení plamene podle teploty

ZBARVENÍ PLAMENE	TEPLOTA
Rudé	700°C
Třešňové	850°C
Světločervené	950°C
Žluté	1100°C
Bělavé	1300°C
Bílé (do modra)	1500°C

Tabulka platí při hoření běžných látek, v případě chemikálií bývá barva jiná.

První předchůdce teploměrů byl vzduchový termoskop zkonstruovaný fyzikem, matematikem a vynálezcem Filónem Byzantským, který žil ve 3. až 2. století př. n. l. Přístroj se skládal z nádoby naplněné tekutinou uzavřený například korkovou zátkou, ve které byla kapilára (tenká trubička) uzavřena na jednom konci baňkou a druhým koncem ponořena do kapaliny. Tento přístroj sloužil k indikaci tepelných stavů – neměřil, ale jen její změny a nebyl vybaven stupnicí. S termoskopem se pracovalo takto: nejdříve se například rukama zahřála baňka kapiláry a po té se vložila do kapaliny. Tak, jak se baňka ochlazovala, tak do kapiláry vnikala tekutina a naopak. Vzduchový termoskop byl nepřesný v tom, že reagoval i na změny tlaku.

Obr. č. 1 – Vzduchový termoskop

O 1500 let později Galileo Galilei (*1564 – †1642) navázal na práci Filóna Byzantského v rozvíjení termometrie za pomoci termoskopu. Tehdy ještě nikdo nerozlišoval pojmy teplo a teplota.

Obr. č. 2 - Galileo Galilei s termoskopem

První kapalinový dilatační teploměr založený na roztažnosti kapalin, byl sestaven francouzským lékařem Jean Rey roku 1631. Jako teploměrnou látku použil vodu. Její nevýhodou byla malá roztažnost, proto se hledaly další teploměrné látky. Nakonec jako nejvhodnější se ukázaly rtuť a líh.

První lihový teploměr sestrojil toskánský velkovévoda Ferdinand II. Lihový teploměr měří v rozmezí teplot od -170 °C až 70 °C. Má menší rozsah než rtuťový teploměr, který měří v rozmezí teplot od -30 °C do 300 °C. Rtuťový teploměr byl poprvé použit Fahrenheitem v roce 1714. Tyto teploměry měly už své stupnice, ale mezi sebou nebyli jednotné a nebylo možné je mezi sebou porovnávat.

Teploměry s první „normalizovanou“ stupnicí byli sestrojeny až roku 1650. V průběhu let byly používány různé teplotní stupnice. Některé postupem času zanikly, některé zůstaly.

Tabulka č. 2 – přehled teplotních stupnic

Teplotní stupnice	Jednotka	Značka	Převod na °C	Převod ze °C
Kelvinova	kelvin	K	$t_C = T - 273,15$	$T = t_C + 273,15$
Celsiova	stupeň Celsia	°C		
Fahrenheitova	stupeň Fahrenheita	°F	$t_C = 5/9 \cdot (t_F - 32)$	$t_F = 9/5 \cdot t_C + 32$
Réamurova	stupeň Réamura	°R	$t_C = 5/4 \cdot t_R$	$t_R = 4/5 \cdot t_C$
Rankinova	stupeň Rankina	°R	$t_C = 5/9 \cdot (t_R - 273,15)$	$t_R = 9/5 \cdot t_C + 273,15$

Vysvětlivky:

T, t – stavová veličina

t_c – teplota Celsia

t_f – teplota Fahrenheitova

t_{Re} – teplota Réamurova

t_{RA} – teplota Rankinova

4. Šíření tepla

Základní předpoklad pro šíření tepla je ten, že se musí nacházet v prostředí s nehomogenním teplotním polem. K přenosu tepla dochází mezi tělesy s různou tepelnou energií. Čím více se tepelnou energií liší, tím větší teplotní rozdíl mezi nimi v čase bude. Podle 2. Zákona termodynamiky platí, že teplo o teplotě vyšší vždy přechází do oblastí o teplotě nižší, jedná se o nevratný děj. Podle času lze rozdělit šíření tepla za stálý teplotní stav, který je neměnný tzv. stacionární (s časem se předaná energie nemění) a nestacionární, kdy teplo se mění za určitý čas (množství energie v čase klesá nebo stoupá). Šíření Tepla rozdělujeme do tří způsobů přenosu tepla:

- přenosem tepla zářením (radiace)
- přenos tepla prouděním (konvekcí)
- přenosem tepla vedením (kondukcí)

4.1. Stefanův Boltzmannův zákon

Zní: Intenzita záření tělesa je přímo úměrná čtvrté mocnině teploty povrchu tělesa.

Absolutně černý zářič je takový, který pohlcuje veškeré vlnové záření, které na zářič dopadá. Jeden takový si můžeme představit jako nádobu, s malým otvorem, které je vymazané sazemi. Do nádoby vyšleme elektromagnetický signál, který se odráží od stěn, až je zcela pohlcen. Ze všech těles o stejné teplotě nejvíce vyzáří možné množství energie. Kolik vlnových délek černý zářič vyzáří, záleží na jeho teplotě. Stefanův Boltzmannův zákon platí pro černé (šedé) zářiče a udává úhrnné množství energie, které dokonale černé těleso o ploše $1m^2$ vysálá za čas t.

$$E_0 = \sigma_0 . T^4$$

E_0 – hustota zářivého toku [W.m-^{2}]

σ_0 – konstanta sálání dokonale černého tělesa [W.m-^{2}.K^{-4}]

$\sigma_0 = 5{,}775.10^{-8}$ [W.m^2.K^{-4}]

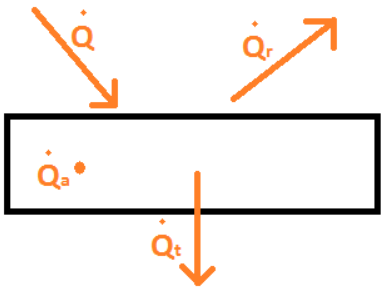
T^4 – absolutní teplota [K]

Tento vztah platí pro absolutně černé těleso, u kterého závisí zářivý tok pouze na teplotě jeho povrchu.

Pro šedá tělesa, která nejsou absolutně černá, musíme připočíst k výrazu hustoty zářivého toku hodnotu ε která je označována jako poměrná zářivost nebo emisivita.

$$E_0 = \varepsilon.\sigma_0.T^4$$

Obr.č. 3 –Tepelné záření dopadající na povrch tělesa



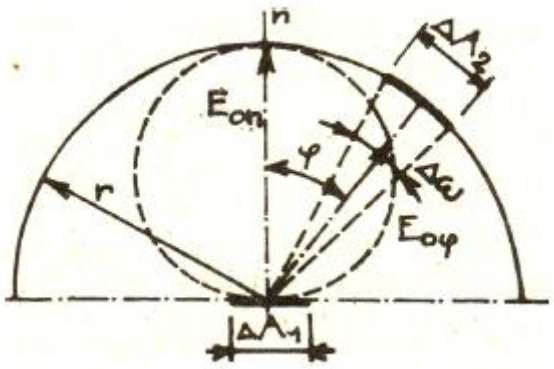
$\dot{Q}$ – tepelný tok dopadající na povrch tělesa

$\dot{Q}_r$ – část odrazu tepelného záření

$\dot{Q}_a$ – část tepelného záření těleso pohltí

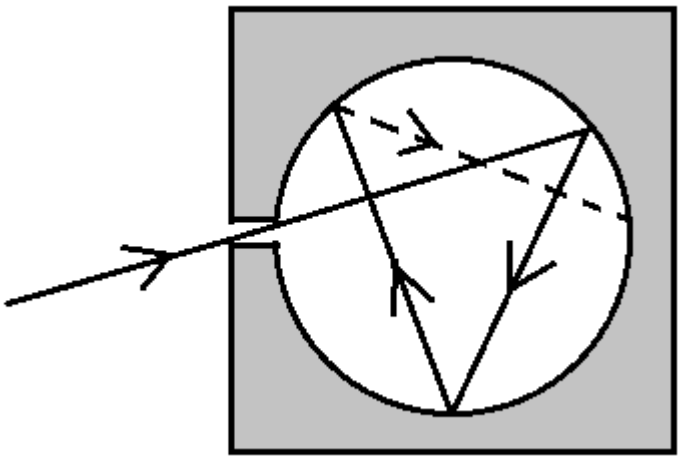
$\dot{Q}_t$ – část tepelného záření projde tělesem

Obr. č. 4- Vyzařování plošky absolutně černého zářiče



Ploška ΔA_1 vyzařuje ve směru na libovolně umístěnou plošku ΔA_2

Obr. č. 5 – Model absolutně černého tělesa



4.2. Sálání tepla

Energie, která vyzařuje z těles v podobě elektromagnetického vlnění, se přenáší pomocí vln různé délky. Jako taková může být přenášena i ve vakuu. Podle vlnové délky rozlišujeme rentgenové ultrafialové, světelné, infračervené a elektromagnetické záření. Největší význam v sálání tepla má infračervené záření vlnovou délkou cca 0,78 až 360 μm, které je pohlcováno tělesy a energie infračerveného záření se mění v tepelnou energii tzv. tepelné záření, rovněž se nazývá tepelným sáláním.

Energie vyzářená tělesem se nazývá emisivita. Při výpočtech se jedná o podíl tepelné energie vyzářené konkrétním reálným povrchem k energii vyzářené povrchem stejných rozměrů a teploty, uvažovaných jako absolutně černé těleso. Ovlivňující výpočet je také ovlivněn strukturou materiálu povrchu, vlnovou délkou, teplotou povrchu tělesa a směrovými podmínkami. Černé těleso pohlcuje veškerou energii, šedé jen určitou část. Přehled o vyzařování těles je v tabulce č. 3.

Emisivitu absolutně černého tělesa ε vyjadřujeme hodnotou $\varepsilon = 1$

Emisivita reálného šedého tělesa ε_T, nabývá hodnot $\varepsilon_T \leq 1$

Výpočet absolutně černého tělesa:

$$\varepsilon_T = \frac{H_E}{H_{OE}}$$

H_E – intenzita vyzařování reálného tělesa udává výkon vyzářený plochou reálného tělesa do celého poloprostoru

H_{OE} - intenzita absolutně černého tělesa udává výkon vyzářený plochou černého tělesa do celého poloprostoru

Výpočet spektrální emisivity na určité vlnové délce:

$$\varepsilon_{T\lambda} = \frac{H_{E\lambda}}{H_{E0\lambda}}$$

$H_{E\lambda}$ - je intenzita spektrálního vyzařování
$H_{E0\lambda}$ - je intenzita spektrálního vyzařování černého tělesa

Tabulka č. 3 – Přehled vyzařovaných těles

	materiál/povrh		**Emisivita ε**
technické povrchy	absolutně černé těleso		1
	ušlechtilý kov, vysokého lesku		0,02 - 0,05
	neušlechtilý kov, vysokého lesku		0,025 - 0,07
kovy	hliník	leštěný	0,05
	nikl		0,05
	chrom		0,07
	ocel	čistě leptaná	0,06
		pocínovaná, leštěná	0,06
		surová válcovaná s okujemi	0,75 - 0,80
		pocínovaná	0,25
	měď	tažená lesklá	0,03
		oxidovaná	0,76
	mosaz	leštěná	0,05
povrchové úpravy	hliníkový bronz		0,35 - 0,45
	emailový lak	bílá	0,86 - 0,97
	olejová barva		0,9 - 0,98
	lak	černý lesklý	0,89
		obecně	0,86 - 0,97
	lak na otopná tělesa	jakékoli barvy	0,92 - 0,94
Ostatní povrchy	obkladačky	bílé	0,88
	šamot		0,6 - 0,72
	papír		0,89
	tapety		0,89
	lidská kůže		0,83
	ostatní povrchy	saze	0,83
		Hliníkové nátěry	0,35
	nátěry hliníkových těles (na barvě nezáleží)		0,925
	voda, led, sklo		0,94
	omítka		0,95
	dřevo, papír		0,9
	beton		0,91

4.3. Proudění tepla

Proudění tepla je jeden z dalších způsobů šíření tepla. Využívá se v kapalinách a plynech, při kterém se přemisťují částice s větší energií. Přenos tepla prouděním je prakticky výměna tepelné energie mezi tělesem a okolní kapalinou nebo mezi tělesem a okolním vzduchem.

Proudění dělíme:

a) Proudění volné – kapalina proudí kolem tělesa pouze působením změny své hustoty, v závislosti na změnách tepla v kapalině. K samovolnému proudění kapaliny dochází, když část kapaliny má větší teplotu a nižší hustotu a stoupá vzhůru.

b) Proudění nucené – kapalina je poháněna vnějším zdrojem, jako je například čerpadlo, nebo pohyb vzduchu vyvolaný ventilátorem.

c) Proudění kombinované – současné působení vnějšího zdroje a přirozeného proudění

Rozlišujeme tři druhy samovolného proudění:

1) Laminární: je souběžné proudění vzduchu ve vrstvách rovnoběžných se směrem proudu.
2) Vírnaté
3) Turbulentní: kde části vzduchu přecházejí z jedné vrstvy do druhé.

O tom jaké vznikne proudění, rozhoduje vliv teplotního rozdílu Δt mezi pevnou stěnou a tekutinou. Pokud:

$$\Delta t > 15° \; převládá \; turbulentní \; proudění$$
$$\Delta t < 15° \; převládá \; laminární \; proudění$$

Obr. č. 6 – Proudění tekutiny v blízkosti povrchu

Pokud proudící kapalina má odlišnou teplotu od teploty povrchu, dochází mezi povrchem tělesa a proudící kapalinou k přenosu tepelné energie, která je představována hustotou tepelného toku, který můžeme vyjádřit Newtonovým ochlazovacím zákonem.

$$\dot{q} = \alpha.(T_w - T_H)$$

α – součinitel přestupu tepla (viz. Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy))
T_w – teplota stěny tělesa
T_∞ - teplota tekutiny v takové vzdálenosti, kde není ovlivněna teplotou tělesa

4.4. Vedení tepla

Dochází mezi tělesy a látky s rozdílnou energií. Vždy těleso s větší energií nebo látka předá energii chladnějšímu tělesu. Nikdy ne naopak. Při zvýšení teploty tělesa nebo látky částice začnou mít vyšší energii rychleji kmitat mezi sebou.

Příklad předání tepla:

Ponoříme-li, kovou lžičku do horkého čaje, tak částice horkého čaje začnou narážet do částic kovové lžičky a tím předají energii lžičce, která se zahřeje.

Tepelné vodiče: ocel, měď, rtuť, - obsahují volné částice a pomocí nich rychle dochází k předání energie.

Tepelné izolanty: plyn, dřevo, sklo, čedič, plasty – téměř nebo vůbec neobsahují volné částice, proto tepelná výměna probíhá pomaleji.

Metody vedení tepla:

- Exaktní řešení diferenciální rovnice – využívá se pro jednoduché výpočty například prostup tepla stěnou
- Analogové metody řešení diferenciální rovnice – používá se pro složitější úlohy skládáním jednoduchých úloh, musíme znát Fourierův zákon
- Přibližné řešení diferenciální rovnice – předpoklad teplotních profilů ve tvaru polynomu nebo spinu
- Numerické řešení diferenciální rovnice – využití u počítačů
- Grafické řešení diferenciální rovnice – je nepřesná metoda
- Experimentální řešení vedení tepla – přesná, složitá, drahá
- Teorie podobnosti pro řešení diferenciální rovnice
- Kapacitní metoda řešení diferenciální rovnice – je založena na tepelné bilanci, vhodná pro malé objekty

5. Vlastní experimentální měření tepelné ztráty místnosti u čtyř domů, pomocí elektrického topného tělesa a termokamery.

Cílem experimentu je ověřit, zda je možné měřit tepelnou ztrátu místnosti domu, pomocí elektrického přímotopu a termokamery. Výsledky zhodnotím s dalšími používanými metodami: obálkové metody a metoda hrubého odhadu. Pomocí těchto metod zjišťujeme tepelnou ztrátu.

Měření jsem provedl na čtyřech různých typech domů, které se liší stavbou a stavebním materiálem. Naměřené hodnoty jsem zpracoval a vypočítal v programu Excel.

Typy domů, na kterých proběhlo měření:

1. Cihlový dům stáří cca 50 let.
2. Hliněný dům ze slámy stáří 2 roky.
3. Dřevěný okál z dřevotřísky stáři 35 let.
4. Roubený dům stáří 7 let.

Postup, při experimentálním měření:

a) V domě jsem si vybral vhodnou místnost pro měření.
b) Před začátkem měření jsem změřil teplotu vzduchu digitálním teploměrem v místnosti a každou stěnu pomocí termokamery. Po té jsem změřil venkovní teplotu digitálním teploměrem a stěny termokamerou.
c) Po zapsání teplot do tabulky jsem zapnul elektrospotřebič v místnosti výkonem 2000W.
d) V pravidelných intervalech jsem měřil vnitřní a venkovní teplotu, kterou jsem zapisoval do tabulky.
e) Po ustálení teploty v místnosti, jsem měření ukončil.
f) Výsledky z měření jsem zpracoval a vypočítal.

5.1. Metody

5.1.1. Experimentální metoda

Do měřené místnosti umístíme elektrický přímotop s daným výkonem 2000W. Místnost uzavřeme a začneme přímotopem vytápět. Ve zvolených intervalech měříme teplotu, kterou zapisujeme do tabulky. Měření ukončíme při ustálení teploty v místnosti, kdy ztráta tepla se rovná výkonu spotřebiče. Tepelnou ztrátu stěn vypočítáme tak, že výkon elektrického spotřebiče vydělíme rozdílem teplot. Podle vzorce:

$$\phi = \frac{W}{t_1 - t_2} \qquad [W.K^{-1}]$$

$ø$ – tepelná ztráta

W – práce

t_1, t_2 - teplota

Při sečtení tepelných ztrát jednotlivých stěn dostaneme celkovou tepelnou ztrátu místnosti, která by se měla rovnat výkonu elektrospotřebiče.

5.1.2. Obálková metoda

Slouží pro potřeby stanovení předběžných tepelných ztrát a stanovení energetické náročnosti budov. Je jedna z nejvíce často používaných metod, na výpočet je časově náročná. Ke stanovení tepelné ztráty se užívají vnější rozměry vytápěné konstrukce.

Pro stanovení tepelných ztrát potřebujeme znát: odpor tepla jednotlivých částí konstrukce, vnitřní a venkovní teplotu, součinitel tepla, požadovanou normu součinitelů tepla, která se řídí normami ČSN EN ISO 13790; ČSN 73 0540-4; ČSN EN 13789…, obsah plochy jednotlivých stěn, objem vytápěné plochy, tepelné vazby a ztrátu větráním.

Použité vzorce:

Výpočet odporu jednotlivých složek stěny:

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j}` \qquad [m^2.k.w^{-1}]$$

R_j – tepelný odpor jednotlivých vrstev

D_j – tloušťka vrstvy v konstrukci

λ_j – tepelná vodivost materiálu

Výpočet tepelného odporu stěny:

$$R_t = R_{si} + \sum R_j + R_{se} \qquad [m^2.k.w^{-1}]$$

R_t – tepelný odpor konstrukce

R_{si} – tepelný odpor při přestupu tepla z vnitřního prostředí do konstrukce

R_{se} - tepelný odpor při přestupu tepla z konstrukce do vnějšího prostředí

$\sum$ - suma

Výpočet součinitele tepla U:

$$U = \frac{1}{R_t} \qquad [w.m^{-2}.k^{-1}]$$

U – součinitel prostupu tepla

Výpočet jednotlivých ploch místnosti S:

$$S = a.b \qquad [m^2]$$

S – Obsah plochy

a – obsah jedné strany

b – obsah protější strany

Výpočet objemu místnosti V:

$$V = a.b.c \qquad [m^3]$$

V – objem prostoru

c – obsah výšky stěny

Výpočet rozdílu teplot vně a uvnitř stěny t:

$$t = t_1 - t_2 \qquad [°C]$$

t – teplota

t_1 – vnější teplota stěny

t_2 – vnitřní teplota stěny

Součet jednotlivých konstrukcí *Ø*:

$$\phi = A.U.\theta_{ini,i} - \theta_e \qquad [W]$$

A – plocha

$\theta_{ini,i}$ – výpočtová teplota pro vytápěné místnosti

θ_e – venkovní výpočtová teplota

Výpočet tepelné vazby $Ø_t$:

$$\phi_t = A.U.\theta_{ini,i} - \theta_e \qquad [W]$$

$Ø_t$ – tepelná ztráta prostupem tepla

Výpočet ztráty větráním *Øv*:

$$\phi_v = H_{v,i}.(\theta_{ini,i} - (-\theta_e) \qquad [W]$$

$Ø_v$ – tepelná ztráta větráním

$H_{v,i}$ – měrná tepelná ztráta větráním

Výpočet množství vzduchu přirozeným větráním $V_{min,i:}$

$$V_{min,j} = V_m.N_{min} \qquad [m^3.h^{-1}]$$

$V_{min,j}$ – přirozené větrání

V_m – objem místnosti

N_{min} – minimální výměna vzduchu

Výpočet měrné tepelné ztráty větráním:

$$H_{v,i} = V_m.C.\rho \qquad [j.°C^{-1}]$$

C – měrná tepelná kapacita látky

P - hustota

Výpočet ztráty větráním:

$$\phi = H_{v,i}.(\theta_{ini,i} - (-\theta_e) \qquad [W]$$

5.1.3. Orientační metoda

Slouží k orientačnímu zjištění předběžných tepelných ztrát domu. Pro stanovení tepelné ztráty domu počítáme objem vytápěné části domu, kterou násobíme tepelnou ztrátou ϕ_p:

$$\phi_R = s.\phi_p \qquad [W]$$

ϕ_P – koeficient tepelné ztráty

Nové domy ϕ_P =14-16 $W.m^{-3}$

Starší domyϕ_P =18 $W.m^{-3}$

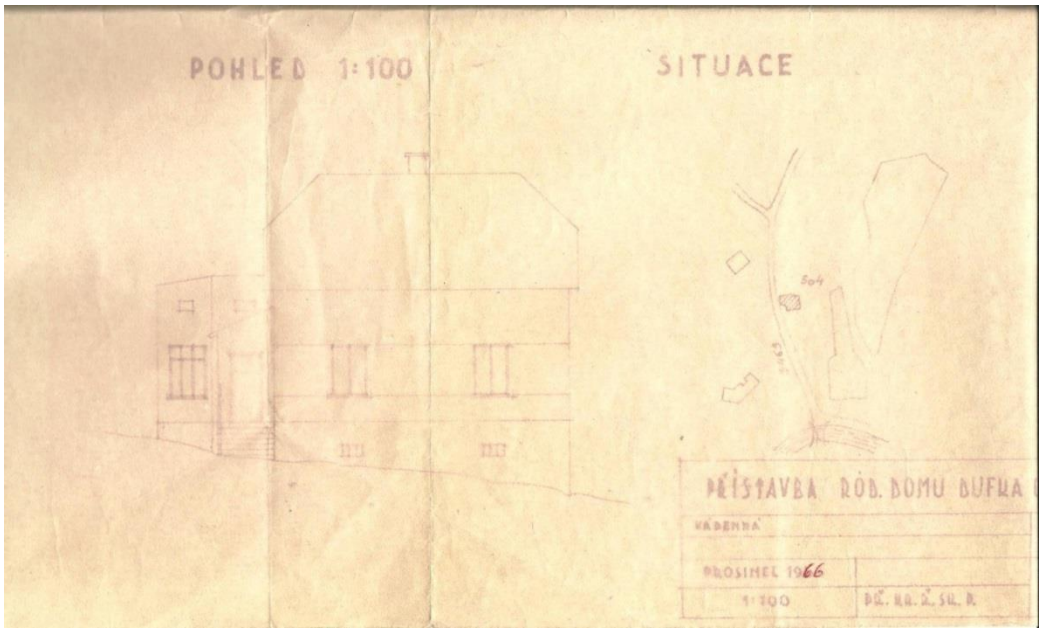
Staré domy ϕ_P = 45 $W.m^{-3}$

Tento způsob výpočtu je nejjednodušší. S porovnáním tepelné ztráty celého domu obálkovou metodou je rychlý a výsledky by se od sebe neměli téměř lišit.

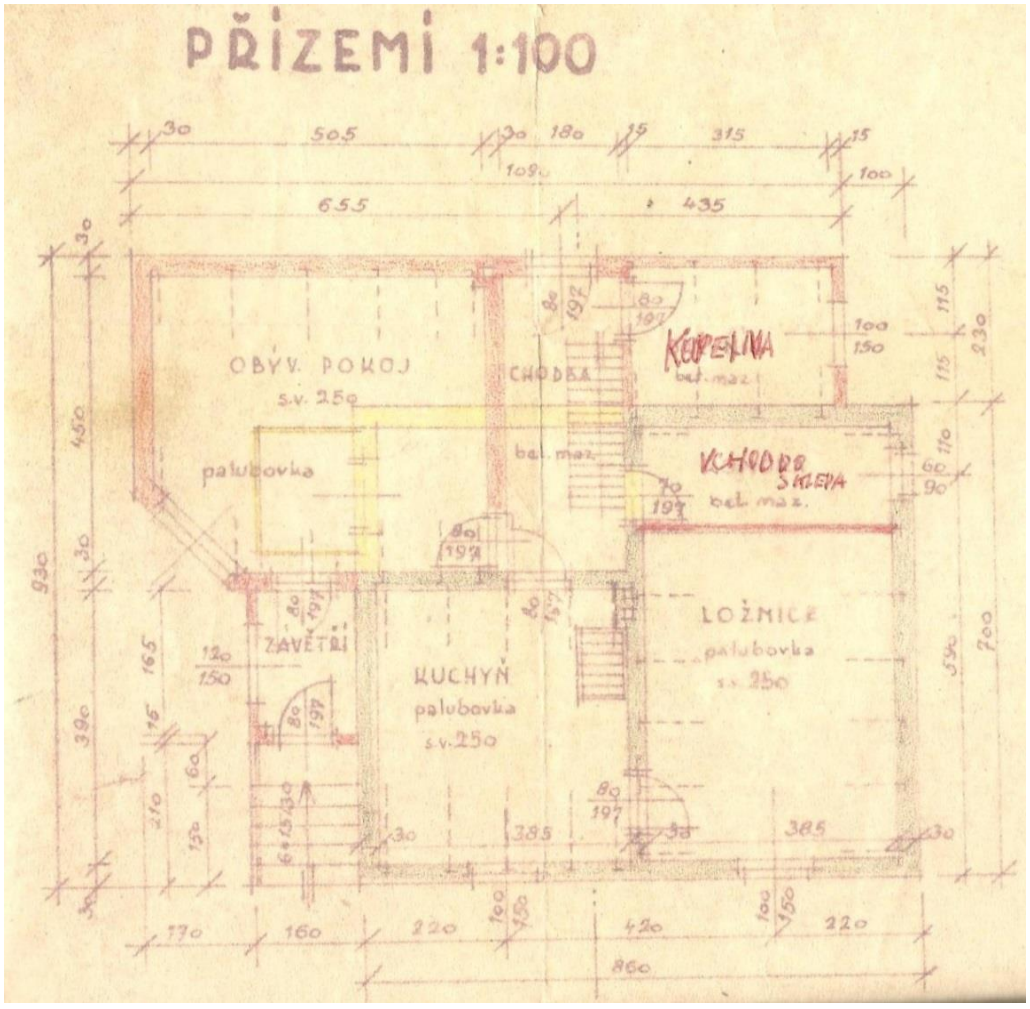
5.2. Cihlový dům:

Jde o rodinný dům, který je podsklepený se sedlovou střechou, postaven roku 1966. Za tu dobu byl několikrát přistaven a modernizován. Od původních plánů se liší. Dům se nalézá v pohraničí Jesenicka. K měření jsem si vybral ložnici tvaru obdélníku. Dvě stěny obývacího pokoje tvoří obvodové zdi se šířkou 630mm a délkou 5,9m, další dvě stěny jsou spojeny s ostatními pokoji se šířkou 350mm a délkou 4,7m . Nad stropem se šířkou stropu 150mm výškou 2,3m je další místnost a pod podlahou se šířkou 225mm je podsklepení.

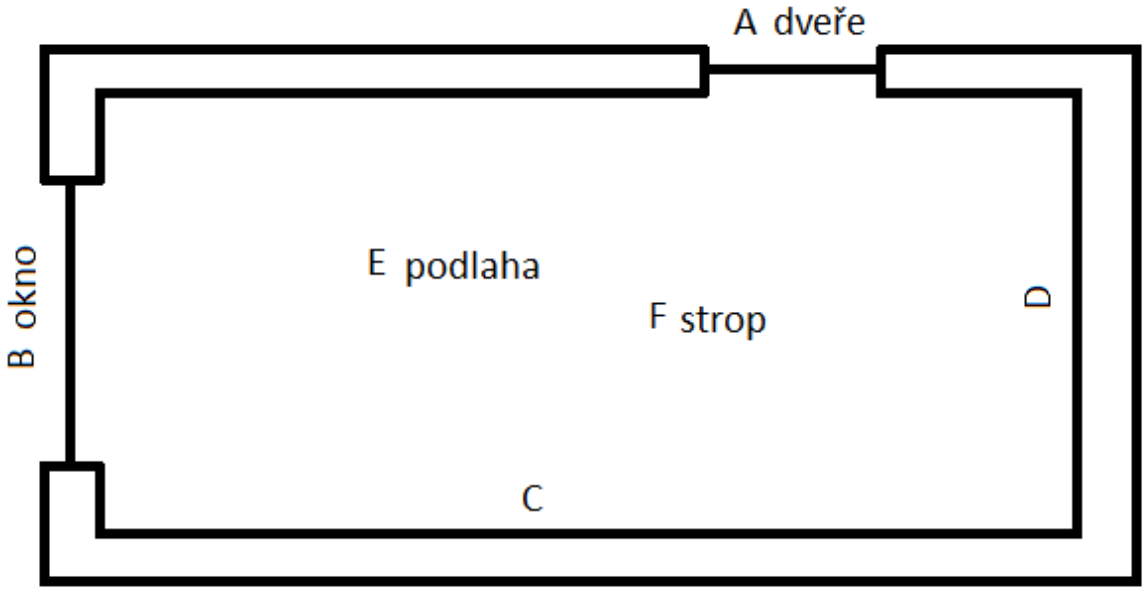
Obrázek č. 7 – technický výkres



Obrázek č. 8 – technický výkres přízemí



Obrázek č. 9 – Označení jednotlivých stěn



Pro lepší orientaci jsou stěny, podlaha, strop označeny velkými písmeny.

Tabulka č. 4 - měřené hodnoty teplot uvnitř místnosti

Měření teploty uvnitř v místnosti °C										
měření	čas	A		B		C	D	E	F	
		dveře	zeď	okno	zeď	zeď	zeď	podlaha	strop	teplota v místnosti
1	7:53	21,5	21,5	15,2	18,5	18,6	20,5	21,0	21,0	21,0
2	8:15	21,5	21,1	17,9	19,0	19,8	21,5	21,1	22,0	22,0
3	8:40	23,4	23,0	19,1	20,8	20,8	23,2	22,5	23,5	25,0
4	9:05	23,8	23,0	20,2	21,0	21,0	23,4	23,0	24,4	25,0

Před prvním měřením domu, jsem zvolil měření teplot po 10 minutách. Při reálném měření jsem zjistil, že není možné, stihnout naměřit všechny hodnoty do 10 minut. Proto jsem zvolil měření, po 25 minutách.

Tabulka č. 5 - měřené hodnoty teplot vně místnosti.

Měření teploty vně v místnosti °C										
měření	čas	A		B		C	D	E	F	
		dveře	zeď	okno	zeď	zeď	zeď	podlaha	strop	teplota venku
1	7:53	22,0	21,8	2,00	1,30	1,40	21,0	17,4	19,2	2,20
2	8:15	23,1	21,4	5,20	1,40	1,40	21,0	16,4	19,1	4,30
3	8:40	23,5	21,5	6,20	2,30	2,30	21,0	17,4	19,0	6,00
4	9:05	22,8	20,7	6,70	2,40	2,60	21,0	16,9	19,1	6,00

Teplotu vzduchu jsem měřil elektrickým multimetrem přes odporový drát. Teplotu stěn termokamerou. Výsledky jsem zapisoval do předem připravených tabulek.

5.2.1. Experimentální metoda

Tabulka č. 6 – Výsledek experimentálního výpočtu tepelných ztrát místnosti.

Označení jednotlivých stěn	[w.K^{-1}]
A	870
B	108
C	109
D	833
E	328
F	377
celkem:	2624

Výsledek měření vykazuje velký rozptyl z důvodu proměnlivého počasí. Metodu lze použít, kdy venkovní teplota je alespoň 3 dny konstantní bez povětrnostních výkyvů. Z důvodu proměnlivého počasí a různě naakumulovaného tepla ve stěnách měření vykazuje velký rozptyl.

5.2.2. Obálková metoda

Postup při obálkové metodě:

a) Naměříme jednotlivé teploty stěn. Tabulka č. 4. a 5.

b) Zjistíme složení měřených stěn.

c) Zjistíme odpor Rj stropu, stěny, podlahy, přestupu tepla z budovy značíme R_{si} a odpor přestupu tepla zvenčí značíme R_{se}. Viz. tabulky č. 9. – 14. Hodnoty použijeme ve výpočtu tepelného odporu celé stěny.

Tabulka č. 7 – Odpor stěny při přestupu tepla

Odpor při přestupu tepla Rsi, Rse				
Odpor	**Strop**	**Stěny**	**podlaha**	**styk se zeminou**
Rsi	0,10	0,13	0,17	0
Rse	0,04	0,04	0,04	
Hodnoty označené vodorovně platí pro tepelný tok směřující ± 30° od vodorovné roviny.				

d) Vypočítáme tepelný odpor jednotlivých stěn. Stěny jsem v tabulkách pro lepší orientaci označil velkými písmeny A, B, C, D, E, F. Tabulka č. 15 a 16

e) Vypočítáme obsah plochy *A* jednotlivých stěn, podlahy, stropu. Pomocí vzorce:

$$S = a.b \qquad [m^2]$$

f) Vypočítáme součinitel *U* pomocí vzorce:

$$U = \frac{1}{R_t} \qquad [w.m^{-2}.k^{-1}]$$

g) Najdeme požadovaný součinitel U_n podle norem:

ČSN EN ISO 13790; ČSN 73 0540-4; ČSN EN 13789

Tabulka č. 8. – Tepelná vodivost jednotlivých materiálu

materiál	Součinitel tepelné vodivosti λ [$W.m^{-1}.K^{-1}$]
cementová omítka	0,99
cihla pálená	3,58
vápenná omítka	0,044
omítka ORSIL	0,044
plovoucí podlaha	0,056
mirelon	0,038
odlehčený beton	0,16
beton	1,40
dřevo smrkové	0,18
škvára	0,27
mramor	3,50
lepená izolace	1,50
hlína	1,50
Skelná vata	0,035
Plechová střecha	17,0

h) Vypočítáme rozdíl teplot:

$$\Delta t = \theta ini, i - \theta e \qquad [°C]$$

i) Vypočítáme ztráty prostupem jednotlivých stěn.

j) Vypočítáme tepelné vazby

$$\phi t = A.U.(\theta ini, i - \theta e) \qquad [W]$$

k) Vypočítáme ztráty prostupem tepla. Sečtením tepelných vazeb a sumou ztráty prostupem tepla

l) Vypočítáme množství vzduchu přirozeným větráním $V_{min,i}$

$$V_{min.i} = V_m.n_{min} \qquad [m^3]$$

m) Vypočítáme měrné tepelné ztráty větráním $H_{v,i}$

$$H_{v,i} = V_i.C.\rho \qquad [j.°C^{-1}]$$

n) Vypočítáme ztráty větráním:

$$\phi = H_{v,i}.(\theta ini, i\ -(-\theta e) \qquad [W]$$

o) Vypočítáme celkové ztráty místnosti sečtením ztráty prostupem tepla a ztráty větráním.

$$\phi_c = \phi_t + \phi \qquad [W]$$

Tabulka č. 9 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stěny		
Stěna: A	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$	
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, omítka	0,03
	R_j, zdivo	0,08
	R_j, omítka	0,02
	U, dveře	2,00
Tepelný odpor celé stěny A: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		0,304

Tloušťka jednotlivých vrstev: omítka 30mm, zdivo 30mm, omítka 20mm.

Tabulka č. 10 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stěny			
Stěna: B	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$		
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, omítka		0,03
	R_j, zdivo		0,15
	R_j, ORSIL		1,14
	U, okno	$U=1/R_j$	2,80
Tepelný odpor celé stěny B: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$			1,49

Tloušťka jednotlivých vrstev: omítka 30mm, zdivo 550mm, orsil 50mm.

Tabulka č. 11 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stěny:		
Stěna: C	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$	
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, omítka	0,03
	R_j, zdivo	0,15
	R_j, omítka	1,14
Tepelný odpor celé stěny C: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		1,49

Tloušťka jednotlivých vrstev: omítka 30mm, zdivo 550mm, omítka 50mm.

Tabulka č. 12 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stěny		
Stěna: D	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$	
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, omítka	0,02
	R_j, zdivo	0,08
	R_j, omítka	0,03
Tepelný odpor celé stěny D: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		0,31

Tloušťka jednotlivých vrstev: omítka 20mm, zdivo 300mm, omítka 30mm.

Tabulka č. 13 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev podlahy:		
Podlaha: E		λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, plovoucí podlaha	0,10
	R_j, mirelon 2mm	0,05
	R_j, odlehčený beton	0,63
	R_j, beton	0,07
Tepelný odpor podlahy E: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		0,99

jednotlivých vrstev: plovoucí podlaha 5,5mm, mirelon 2mm. Odlehčený beton 100mm, beton 100mm.

Tabulka č. 14 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stropu:		
Strop: F		λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, omítka	0,01
	R_j, dřevo	0,11
	R_j, škvára	0,37
	R_j, dřevěná podlaha	0,11
Tepelný odpor stropu F: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		0,63

Tloušťka jednotlivých vrstev: omítka 10mm, dřevo 20mm, škvára 100mm, dřevěná podlaha 20mm.

Tabulka č. 15 – Výpočet celkové ztráty místnosti při experimentálním měření

Výpočet tepelné ztráty místnosti obálkovou metodou						
konstrukce		Plocha A [m^2]	Součinitel U [$W.(m^{-2}.k^{-1})$]	Požadovaný součinitel U_N [$W.(m^{-2}.k^{-1})$]	Rozdíl teplot $\theta_{ini,\,i} - \theta_e$ [°C]	Ztráta prostupem $\varphi_{T.i}$ [W]
Okno kastlové		2,34	2,80	1,50	13,5	88,5
Dveře		1,08	2,00	1,70	1,00	2,16
Stěna A		12,5	3,29	0,30	1,00	41,0
Stěna B		8,47	0,67	0,30	20,0	114
Stěna C		13,6	0,62	0,30	20,0	169
Stěna D		10,8	3,29	0,30	2,00	71,0
Podlaha nad suterénem E		27,	1,01	0,60	6,10	172
Strop F		27,7	1,58	1,60	5,30	233
celkem		104				889
Tepelné vazby		$\varphi_t = A.U.(\theta_{ini,\,i} - \theta_e)$		104.0,05.29,4		70,3
Ztráty prostupem celkem					$\varphi_t =$	960
Množství vzduchu přirozeným větráním $V_{min,i}$						
V_m	n_{min}	$V_{min,i}$	$V_{min,i} = n_{min}.V_m$	$H_{v,i}$	$H_{v,i} = V_m.C.\rho$	
27,7	0,5	13,9		14726		
Ztráta větrání		$\varphi = H_{v,i}.(\theta_{ini},\, i - (\,-\theta_e\,))$			$\varphi =$	27,6
Celková ztráta místnosti					$\varphi_c =$	**987**

Celková tepelná ztráta místnosti, při pokojové teplotě 25°C a venkovní 6°C je 987,145W. Při změně teplot bude tepelná ztráta místnosti jiná. Největší ztrátu má podlaha nad suterénem 171,582 W.

Tabulka č. 16 – Výpočet celkové ztráty místnosti s průměrnou teplotou za posledních 10 let

Výpočet tepelné ztráty místnosti obálkovou metodou s průměrnou teplotou za posledních 10 let.						
konstrukce		Plocha A [m^2]	Součinitel U [$W.(m^{-2}.k^{-1})$]	Požadovaný součinitel U_N [$W.(m^{-2}.k^{-1})$]	Rozdíl teplot $\theta_{ini,\,i}$ -θ_e [°C]	Ztráta prostupem $\varphi_{T.i}$ [W]
Okno kastlové		2,34	2,80	1,50	29,4	193
Dveře		1,08	2,00	1,70	1,00	2,16
Stěna A		12,5	3,29	0,30	1,00	41,0
Stěna B		8,47	0,67	0,30	29,4	167
Stěna C		13,6	0,67	0,30	29,4	268
Stěna D		10,8	3,29	0,30	2,00	71,0
Podlaha nad suterénem E		27,7	1,01	0,60	8,00	225
Strop F		27,7	1,58	1,60	5,00	220
celkem		104				1187
Tepelné vazby		φt=A.U.(θini, i -θe)		104.0,05.29,4		153
Ztráty prostupem celkem					φt=	1340
Množství vzduchu přirozeným větráním $V_{min,i}$						
V_m	n_{min}	$V_{min,i}$	$V_{min,i}=n_{min}.V_m$	$H_{v,i}$	$H_{v,i}$=Vm.C.ρ	
27,7	0,5	13,9		14726		
Ztráta větrání		φ=Hv,i.(θini, i-(-θe)			φ=	40,9
Celková ztráta místnosti					φc=	**1381**

Celková tepelná ztráta místnosti vypočítaná s průměrnou teplotou v Jeseníkách -9,44 °C za posledních 10 let je 1381 W. Největší tepelnou ztrátu má stěna C 268 W. Rozdíl tepelné ztráty mezi naměřenou teplotou a teplotou a průměrnou teplotou je 394 W.

Tabulka č. 17 – Průměrná teplota za posledních 10 let v Jesenickém regionu.

Měsíce v topné sezóně	[°C]
Listopad	-5,70
Prosinec	-10,7
leden	-14,8
únor	-10,1
březen	-5,90
Průměr:	**-9,44**

Průměrné teploty jsem získal z meteorologického ústavu v Ostravě. Měsíce jsou vybrány v plné topné sezóně od listopadu do března.

5.2.3. Celková ztráta domu Obálkovou metodou

Pro názornost jsem spočítal celkovou ztrátu celého domu. Postup je zcela stejný jako při výpočtu obálkové metody jedné místnosti. Kterou porovnávám s orientační metodou, kterou nelze použít na výpočet jedné místnosti, ale v praxi se využívá . Při výpočtu jsem použil průměrnou teplotu za posledních 10 let s teplotou -9,44°C. viz. Tabulka č. 17.

Z důvodu malé průměrné teploty je lepší brát nejnižší možnou hodnotu teploty v dané lokalitě -15°C. V jesenickém regionu je v lednu průměrná teplota – 14,8°C.

Postup při měření celkové tepelné ztráty domu:

a) Zjistíme průměrnou venkovní teplotu v okolí měřeného domu meteorologický ústav Ostrava
b) Zjistíme složení jednotlivých částí stěn
c) Spočítáme tepelný odpor stěn
d) Spočteme obvod měřeného domu. Tabulka č. 18

Tabulka č. 18 – Výpočet obvodu domu v [m^2]

Výpočet obvodu domu v [m^2]	Okna	Dveře	Obvodové stěny	Střecha	Strop pod půdou	Podlaha nad suterénem	Podlaha na terénu
obývák	2,34		31,6			27,7	
kuchyň	2,34		33,9			15,0	
veranda	0,90 0,90	1,84	16		10,0		10,0
1 pokoj v podlaží	1,50				8,37	11,9	
2 pokoj v podlaží	1,50		11,5		12,6	15,6	
balk. okno	1,35		11,5				
herna	2,34		26,0		20,3		20,3
koupelna					5,50		5,50
chodba			7,80		13,8		9,23
celkem	13,2	1,84	138	200	70,6	70,3	45,1

e) Sečteme objem vytápěných místností domu tabulka č. 18

Tabulka č. 19 – Výpočet obsahu domu v [m^3]

Výpočet objemu V_m v [m^3]	
obývák	63,8
kuchyň	26,1
veranda	22,0
1 pokoj v podlaží	24,2
2 pokoj v podlaží	30,7
herna	33,8
koupelna	13,6
chodba	40,9
celkem	**255**

f) Vypočteme součinitel tepla jednotlivých stěn *U*

Dohledáme požadovaný součinitel tepla podle norem ČSN EN ISO 13790; ČSN 73 0540-4; ČSN EN 13789

g) Spočítáme rozdíl venkovní a vnitřní teploty
h) Spočítáme ztrátu prostupem tepla u jednotlivých stěn
i) Spočteme tepelné vazby ϕ_t
j) Spočteme množství vzduchu přirozeným větráním ϕ
k) Spočteme celkovou ztrátu domu ϕ_c sečtením ztráty domu a ztráty větráním

Tabulka č. 20 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stěny		
Stěna: A		λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, omítka	0,04
	R_j, zdivo	0,11
	R_j, omítka	0,23
	U, okno	2,35
Tepelný odpor celé stěny A: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		0,55

Tloušťka jednotlivých vrstev: omítka 40mm, zdivo 400mm, omítka 10mm.

Tabulka č. 21 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stěny		
Stěna: B		λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, omítka	0,04
	R_j, zdivo	0,11
	R_j, omítka	0,23
Tepelný odpor celé stěny B: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		0,54

Tloušťka jednotlivých vrstev: omítka 40mm, zdivo 400mm, omítka 10mm.

Tabulka č. 22 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stěny		
Stěna: C		λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, omítka	0,04
	R_j, zdivo	0,11
	R_j, omítka	0,23
Tepelný odpor celé stěny C: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		0,55

Tloušťka jednotlivých vrstev: omítka 40mm, zdivo 400mm, omítka 10mm.

Tabulka č. 23 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stěny		
Stěna: D		λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, omítka	0,03
	R_j, zdivo	0,08
	R_j, omítka	1,14
	U, okno	1,30
Tepelný odpor celé stěny D: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		1,42

Tloušťka jednotlivých vrstev: omítka 30mm, zdivo 300mm, omítka 50mm.

Tabulka č. 24 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stěny		
Stěna: E - vchod		λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, omítka	0,03
	R_j, zdivo	0,08
	R_j, omítka	1,14
	U, dveře	2,60
Tepelný odpor celé stěny E: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		1,42

Tloušťka jednotlivých vrstev: omítka 30mm, zdivo 300mm, omítka 50mm.

Tabulka č. 25 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stěny		
Stěna: F		λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, omítka	0,03
	R_j, zdivo	0,06
	R_j, omítka	0,46
Tepelný odpor celé stěny F: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		0,71

Tloušťka jednotlivých vrstev: omítka 30mm, zdivo 200mm, omítka 20mm.

Tabulka č. 26 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stěny		
Stěna: G		λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, omítka	0,03
	R_j, zdivo	0,10
	R_j, omítka	0,46
Tepelný odpor celé stěny G: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		0,75

Tloušťka jednotlivých vrstev: omítka 30mm, zdivo 350mm, omítka 20mm.

Tabulka č. 27 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stěny		
Stěna: H		λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, omítka	0,03
	R_j, zdivo	0,10
	R_j, omítka	0,46
	U, okno	2,35
Tepelný odpor celé stěny H: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		0,75

Tloušťka jednotlivých vrstev: omítka 30mm, zdivo 350mm, omítka 20mm.

Tabulka č. 28 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stěny		
Stěna: I - spižírna	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$	
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, omítka	0,03
	R_j, zdivo	0,13
	R_j, omítka	0,46
	U, dveře	2,33
Tepelný odpor celé stěny I: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		0,78

Tloušťka jednotlivých vrstev: omítka 30mm, zdivo 450mm, omítka 20mm.

Tabulka č. 29 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev podlahy		
Podlaha: j - bez styku se zemí	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$	
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, plovoucí podlaha	0,98
	R_j, mirelon 2mm	0,05
	R_j, odlehčený beton	0,63
	R_j, beton	0,07
Tepelný odpor podlahy j: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		1,90

Tloušťka jednotlivých vrstev podlahy: plovoucí podlaha 5,5mm, mirelon 2mm, odlehčený beton 100mm, beton 100mm.

Tabulka č. 30 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev podlahy		
Podlaha: K - bez styku se zemí	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$	
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, omítka	0,01
	R_j, dřevo	0,22
	R_j, škvára	0,37
	R_j, dřevěná podlaha	0,11
Tepelný odpor podlahy K: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		0,88

Tloušťka jednotlivých vrstev podlahy: omítka 10mm, dřevo 40mm, škvára 100mm, dřevěná podlaha 20mm.

Tabulka č. 31 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev podlahy		
Podlaha: L - se stykem se zemí	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$	
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, mramor	0,006
	R_j, beton	0,21
	R_j, izolace	0,001
	R_j, hlína	0,60
Tepelný odpor podlahy L: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		0,99

Tloušťka jednotlivých vrstev podlahy: mramor 20mm, beton 300mm, izolace 1mm, hlína 900mm.

Tabulka č. 32 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev podlahy		
Podlaha: M - se stykem se zemí	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$	
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, dlaždice	1,00
	R_j, beton	0,71
	R_j, izolace	0,67
	R_j, hlína	0,60
Tepelný odpor podlahy M: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		3,15

Tloušťka jednotlivých vrstev podlahy: dlaždice 3mm, beton 300mm, izolace 1mm, hlína 900mm

Tabulka č. 33 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stropu		
Strop: N - bez styku se střechou	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$	
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, omítka	0,01
	R_j, dřevo	0,11
	R_j, skelná vata	2,86
	R_j, dřevěná podlaha	0,11
Tepelný odpor stropu N: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		3,26

Tloušťka jednotlivých vrstev stropu: omítka 10mm, dřevo 20mm, skelná vata 100mm, dřevěná podlaha 20mm.

Tabulka č. 34 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stropu		
Strop: O - se stykem se střechou	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$	
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, omítka	0,01
	R_j, dřevo	0,22
	R_j, skelná vata	4,29
	R_j, plechová střecha	0,00
Tepelný odpor stropu O: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		4,69

Tloušťka jednotlivých vrstev stropu: omítka 10mm, dřevo 40mm, skelná vata 150mm, dřevěná podlaha 20mm, plechová střecha 1mm.

Tabulka č. 35 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stropu		
Strop: P - se stykem se střechou	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$	
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, omítka	0,01
	R_j, dřevo	0,22
	R_j, plechová střecha	0,00
Tepelný odpor stropu P: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		0,40

Tloušťka jednotlivých vrstev stropu: omítka 10mm, dřevo 40mm, plechová střecha 1mm.

Při výpočtu obvodu stěn domu měříme vnější stěny domu. Nesmíme při tom zapomenout od spočítaného obsahu stěn, odečíst obsah oken a dveří.

Tabulka č. 36 – Výpočet celkové ztráty místnosti z průměrných teplot za posledních 10 let

konstrukce	Plocha A [m^2]	Součinitel U [$W.(m^{-2}.k^{-1})$]	Požadovaný součinitel U_N [$W.(m^{-2}.k^{-1})$]	Rozdíl teplot $\theta_{ini,i} - \theta_e$ [°C]	Ztráta prostupem $\varphi_{T.i}$ [W]
Okna plastová	6,15	1,30	1,50	29,4	235
Okna kastlová	7,02	2,35	1,50	29,4	486
Dveře	1,84	2,47	1,70	29,4	134
Stěny obvodové	138	0,83	0,30	29,4	3385
Strop pod půdou	70,6	2,78	0,30	15,0	2947
Podlaha nad suterénem	70,3	1,39	0,60	8,00	782
Podlaha na terénu	45,1	2,07	0,45	17,0	1586
celkem	339				9555
Tepelné vazby	φt=A.U.(θini, i -θe)		539.0,05.29,5		499
Ztráty prostupem celkem				φt=	10054
Množství vzduchu přirozeným větráním $V_{min,i}$					
V_m	n_{min}	$V_{min,i}$	$V_{min,i}=n_{min}.V_m$	$H_{v,i}$	$H_{v,i}$=Vm.C.ρ
255	0,5	128		309250	
Ztráta větrání	φ=Hv,i.(θini, i-(-θe)				1265
Celková ztráta budovy				φc=	**11319**

Celková ztráta budovy je 11319 W. V porovnání s orientační metodou je rozdíl 1634 W. Viz tabulka č. 37

5.2.4. Orientační metoda

Tabulka č. 37 – Rozdíl celkové ztráty domu v praxi a obálkovou metodou

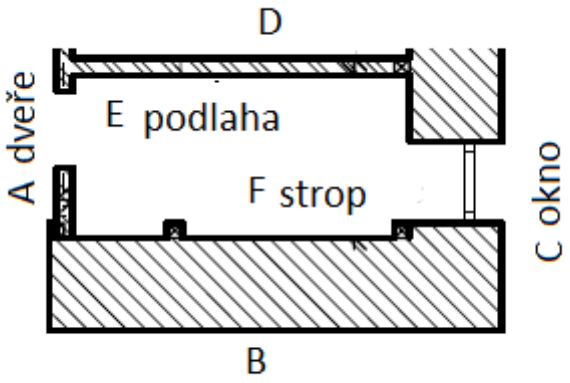
Rozdíl celkové ztráty domu v praxi a obálkovou metodou.		[W]
Celková ztráta měřením pomocí obálkové metody:		11319
Výpočet orientační metody:	$\varphi_R = m^3.\varphi_p$	
	$\varphi_R = 255,157.45$	11482
Rozdíl:		164

5.3. Hliněný dům:

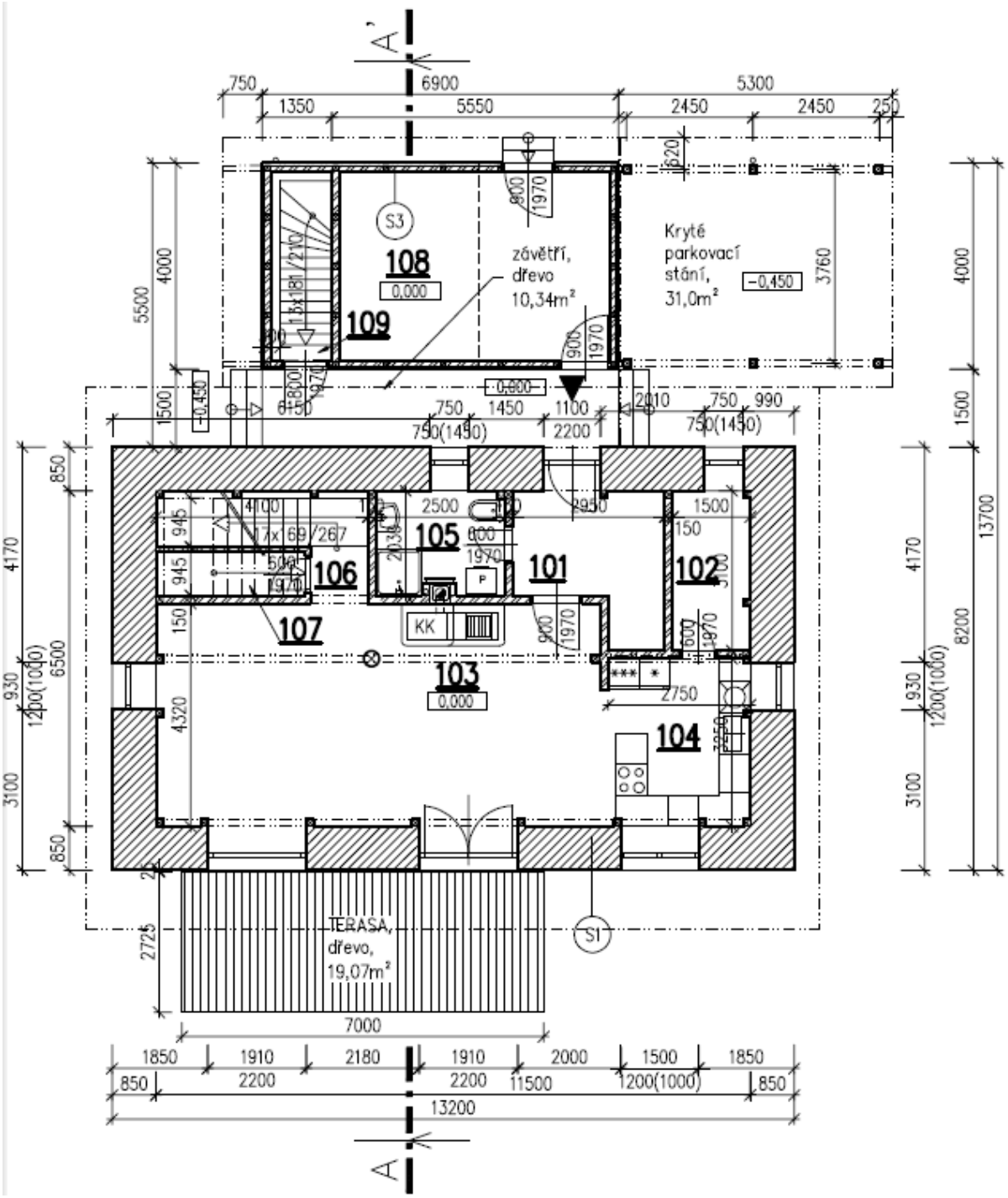
Hliněný dům je postavený převážně z přírodních materiálů. Konstrukce je dřevěná na betonových pilířích, ve výšce kolem půl metru. Výplň obvodových zdí je ze slámových balíků o rozměru 800x500x1500mm, na kterých je nanesena hliněná omítka složená z jílu, kousky slámy a kravího trusu. Na vrch je nanesena jemná omítka z jílu. Podlahy a strop jsou dřevěné zatepleny konopným pazdeří.

Hliněný dům byl postaven před dvěma roky se dvěma podlažími a s devíti místnostmi. Stavěn byl jeden rok. Obvodové stěny mají tloušťku 850mm. S celkovou cenou 850 tisíc korun.

Obrázek č. 10 – Označení jednotlivých stěn hliněného domu

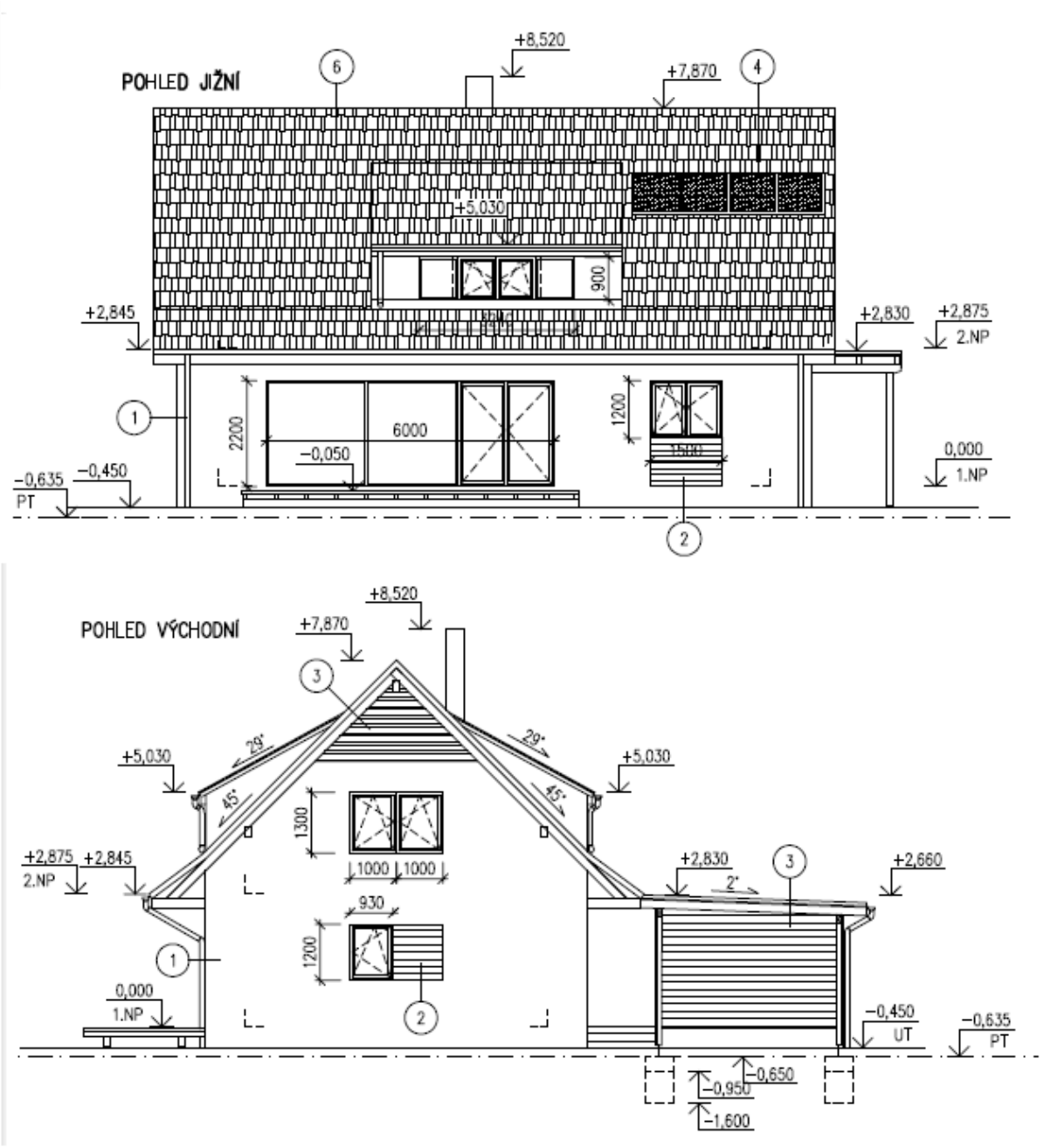


Obrázek č. 11 – Řez spodním patrem hliněného domu



K experimentálnímu měření jsem si zvolil místnost s označením 102 viz. obrázek 10. S rozměry 1500x3100x2500mm.

Obrázek č. 12 – Technický výkres hliněného domu



Při měření domu a porovnání s technickým výkresem se některé hodnoty liší.

Tabulka č. 38 – Naměřená teplota v místnosti

Měření teploty uvnitř v místnosti °C										
měření	Čas	A		B	C		D	E	F	
		dveře	zeď	Zeď	okno	zeď	zeď	podlaha	strop	teplota v místnosti
1	14:30	21,0	20,5	18,3	16,0	17,5	17	17,5	21,0	17,0
2	15:00	24,8	23,5	19,1	20,5	18,2	20,2	19,0	25,0	21,2
3	15:30	25,0	24,0	22,1	22,0	23,0	20,0	20,5	27,5	23,1
4	16:00	27,0	25,3	23,3	24,4	23,8	21,4	21,0	29,5	25,5
5	16:30	28,3	26,3	22,6	26,1	26,8	25,0	22,4	30,7	26,0
6	17:00	28,4	26,7	22,7	26,0	27,4	25,4	23,0	31,0	28,0

U měření hliněného domu jsem zvolil měření po půl hodině. Po umístění elektrického přímotopu se teplota v místnosti ustálila na 28 °C s počáteční teplotou 17°C. tabulka č. 38

Tabulka č. 39 – Měřené hodnoty teplot vně místnosti

Měření vně v místnosti °C										
měření	Čas	A		B	C		D	E	F	
		dveře	zeď	Zeď	okno	zeď	zeď	podlaha	strop	teplota venku
1	14:30	23,0	23,0	4,50	1,00	2,00	20,5	1,20	22,5	3,00
2	15:00	24,7	22,7	4,50	1,00	2,30	21,0	1,00	22,5	3,00
3	15:30	26,5	23,5	3,80	1,00	2,80	21,0	0,80	23,1	2,50
4	16:00	26,4	23,3	2,90	0,80	2,20	20,0	0,80	23,6	2,00
5	16:30	26,7	23,4	2,60	1,00	2,80	20,7	1,00	24,3	2,00
6	17:00	26,4	22,6	2,70	0,70	2,60	20,4	1,00	23,8	2,00

K měření teploty jsem použil digitální multimetr, k měření teploty stěn termokamery značky FLIR.

5.3.1. Experimentální metoda

Tabulka č. 40 – výsledek experimentálního výpočtu tepelných ztrát místnosti.

Označení jednotlivých stěn	[w.K^{-1}]
A	488
B	100
C	80,7
D	400
E	90,9
F	278
celkem:	1437

Při výpočtu tepelné ztráty místnosti vytápěnou pomocí elektrického spotřebiče mi vyšla hodnota 1437,137W. Opět z důvodu proměnlivého počasí a různě naakumulovaného tepla ve stěnách vykazuje měření velký rozptyl.

5.3.2. Obálková metoda

Při měření tepelné ztráty místnosti jsem postupoval:

a. změříme teplotu místnosti, stěn, podlahy, stropu, dveří, oken uvnitř a vně. Tabulka č. 38 a 39
b. Zjistíme složení měřených stěn. Tabulky č. 43 - 48.
c. Zjistíme odpor R_j stropu, stěny, podlahy. Přestup tepla z budovy značíme R_{si} a odpor při přestupu tepla zvenčí značíme R_{se}. Tabulka č. 41

Tabulka č. 41 – Odpor stěny při přestupu tepla

Odpor při přestupu tepla Rsi, Rse				
Odpor	**Strop**	**Stěny**	**podlaha**	**styk se zeminou**
Rsi	0,10	0,13	0,17	0
Rse	0,04	0,04	0,04	
Hodnoty označené vodorovně platí pro tepelný tok směřující ± 30° od vodorovné roviny.				

d. Vypočítáme tepelný odpor jednotlivých stěn. Stěny v tabulkách jsou označeny velkými písmeny A, B, C, D, E, F. Tabulka č. 49 a 50
e. Vypočítáme obsah plochy A jednotlivých stěn, podlahy, stropu.
f. Vypočteme součinitel U
g. Najdeme požadovaný součinitel U_n podle norem:

   ČSN EN ISO 13790; ČSN 73 0540-4; ČSN EN 13789

   Tabulka č. 42 - Tepelná vodivost jednotlivých materiálu

materiál	Součinitel tepelné vodivosti λ [$W.m^{-1}.K^{-1}$]
hliněná omítka	1,50
pálené cihly	0,60
zdivo - sláma	0,06
dřevěná podlaha smrková	0,18
dřevovláknitá izolace	0,05
lněné konopné pazdeří	0,07
sádrokarton	0,22
minerální vata	0,05
hliněná omítka směs	0,80

h. Spočítáme rozdíl teplot $\theta_{ini,\,i} - \theta_e$
i. Spočteme ztráty prostupem jednotlivých stěn
j. Sečteme tepelné vazby
k. Spočteme ztráty prostupem tepla. Sečtením tepelných vazeb a sumou ztráty prostupem tepla
l. Spočteme množství vzduchu přirozeným větráním $V_{min,i}$
m. Spočteme tepelnou ztrátu větráním $H_{v,i}$
n. Výpočet celkové ztráty místnosti sečtením ztráty prostupem tepla a ztráty větráním.

Tabulka č. 43 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stěny		
Stěna: A		λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, hliněná omítka	0,06
	R_j, zdivo	0,25
	U, dveře	2,00
Tepelný odpor celé stěny A: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		0,48

Tloušťka jednotlivých vrstev stěny: hliněná omítka 90mm, zdivo 150mm,

Tabulka č. 44 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stěny		
Stěna: B		λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$
Rj=dj/λj	R_j, omítka hliněná	0,06
	R_j, zdivo - sláma	13,1
	R_j, omítka hliněná	0,03
Tepelný odpor celé stěny B: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		13,4

Tloušťka jednotlivých vrstev stěny: hliněná omítka 90mm, Zdivo – sláma 800mm, omítka hliněná 45mm

Tabulka č. 45 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stěny		
Stěna: C		λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, omítka hliněná	0,06
	R_j, zdivo - sláma	13,1
	R_j, omítka hliněná	0,03
	U, okno	1,20
Tepelný odpor celé stěny C: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		13,4

Tloušťka jednotlivých vrstev stěny: hliněná omítka 90mm, Zdivo – sláma 800mm, omítka hliněná 45mm

Tabulka č. 46 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stěny		
Stěna: D		λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, zdivo	0,25
	R_j, omítka	0,06
Tepelný odpor celé stěny D: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		0,48

Tloušťka jednotlivých vrstev stěny: zdivo 150mm, omítka 90mm

Tabulka č. 47 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev podlahy		
Podlaha: E	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$	
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, dřevěná podlaha	0,11
	R_j, dřevo vláknina izocel	0,22
	R_j, smrkové prkno	1,11
	R_j, lněné konopné pazdeří	3,86
	R_j, smrkové prkno	1,11
Tepelný odpor podlahy E: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		6,55

Tloušťka jednotlivých vrstev podlahy: dřevěná podlaha 20mm, dřevovláknitá izolace 1mm, smrkové prkno 200mm, lněné konopné pazdeří 270mm

Tabulka č. 48 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stropu		
Strop: F	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$	
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, smrkové dřevo	0,17
	R_j, sádrokarton	0,05
	R_j, smrkové dřevo	0,17
	R_j, minerální vlna	0,80
Tepelný odpor stropu F: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		1,32

Tloušťka jednotlivých vrstev stropu: dřevěná podlaha 20mm, sádrokarton 10mm, minerální vlna 40mm

Tabulka č. 49 – Výpočet celkové ztráty místnosti při experimentálním měření

Výpočet tepelné ztráty místnosti obálkovou metodou při experimentálním měření.								
Konstrukce			Plocha A [m^2]	Součinitel U [$W.(m^{-2}.k^{-1})$]	Požadovaný součinitel U_N [$W.(m^{-2}.k^{-1})$]	Rozdíl teplot $\theta_{ini,\,i} - \theta_e$ [°C]	Ztráta prostupem $\varphi_{T.i}$ [W]	
Okno plastové			0,32	1,20	1,50	25,30	9,69	
Dveře			1,18	5,70	1,70	2,00	13,5	
Stěna A			2,57	0,30	0,30	4,10	3,16	
Stěna B			7,75	0,04	0,30	20,00	5,59	
Stěna C			3,43	0,04	0,30	29,44	3,64	
Stěna D			7,75	0,30	0,30	5,00	11,6	
Podlaha nad suterénem E			4,65	0,15	0,60	22,0	15,6	
Strop F			4,65	0,76	1,60	7,20	25,4	
Celkem			27,7				88,2	
Tepelné vazby			φt=A.U.(θini, i -θe)		29,2.0,02.29,4		14,0	
Ztráty prostupem celkem						φt=	102	
Množství vzduchu přirozeným větráním $V_{min,i}$								
V_m	n_{min}		$V_{min,i}$	$V_{min,i}=n_{min}.V_m$	$H_{v,i}$	$H_{v,i}$=Vm.C.ρ		
27,7	0,50		13,82		14726			
Ztráta větrání			φ=Hv,i.(θini, i-(-θe)			φ=	51,8	
Celková ztráta místnosti						φc=	**154**	

Tepelná ztráta místnosti je 154 W. Nejvíce ztrátový je strop s prostupem 25,4 W, kde izolace není tak velká. Nejméně ztrátová stěna je A s pouze s prostupem 3,16 W.

Tabulka č. 50 – Výpočet celkové ztráty místnosti z průměrných teplot za posledních 10 let

Výpočet tepelné ztráty místnosti při průměrné teplotě za posledních 10 let.						
konstrukce			Plocha A [m^2]	Součinitel U [$W.(m^{-2}.k^{-1})$]	Požadovaný součinitel U_N [$W.(m^{-2}.k^{-1})$]	Rozdíl teplot $\theta_{ini,\,i}$ -θ_e [°C]	Ztráta prostupem $\varphi_{T.i}$ [W]
Okno plastové			0,32	1,20	1,50	29,44	11,3
Dveře			1,18	5,70	1,70	18,00	121
Stěna A			2,57	0,30	0,30	16,00	12,3
Stěna B			7,75	0,04	0,30	29,44	8,23
Stěna C			3,43	0,04	0,30	29,44	3,64
Stěna D			7,75	0,30	0,30	15,00	34,9
Podlaha nad suterénem E			4,65	0,15	0,60	29,44	20,9
Strop F			4,65	0,76	1,60	14,00	49,4
celkem			27,7				262
Tepelné vazby			φt=A.U.(θini, i -θe)		29,2.0,02.29,4		16,3
Ztráty prostupem celkem						φt=	278
Množství vzduchu přirozeným větráním $V_{min,i}$							
V_m	n_{min}		$V_{min,i}$	$V_{min,i}=n_{min}.V_m$	$H_{v,i}$	$H_{v,i}=Vm.C.\rho$	
27,7	0,5		13,8		14726		
Ztráta větrání			φ=Hv,i.(θini, i-(-θe)				40,9
Celková ztráta místnosti						φc=	**319**

Při průměrné teplotě – 9,44°C v topné sezóně za posledních 10 let je 319 W. Rozdíl mého měření od průměrné teploty je 165 W.

5.3.3. Celková ztráta domu obálkovou metodou

Zde počítám celkovou tepelnou ztrátu hliněného domu, kterou můžu porovnat s vypracovanými plány tepelné ztráty domu a porovnat své výpočty s protokolem tepelné ztráty hliněného domu vypracované Janem Vontrobou. Přesnost celkové tepelné ztráty porovnám s orientační metodou. Přesnost výpočtu je v tabulce č.

Postup při měření celkové tepelné ztráty domu:

Postup tepelné ztráty domu, je zcela stejný jako při výpočtu obálkové metody u celkové tepelné ztráty cihlového domu na straně 34.

Tabulka č. 51 – Výpočet obvodu domu v [m^2]

Výpočet obvodu domu v [m^2]	Okna	Dveře	Obvodové stěny	Střecha nad suterénem	Strop pod půdou	Podlaha nad suterénem
1.NP						
Obvodová stěna A	10,2		38,0			108
Obvodová stěna B	1,12		23,6			
Obvodová stěna C	0,56	1,98	38,0			
Obvodová stěna D	1,12		23,6			
2.NP						
Obvodová stěna A	2,90		4,62	15,2	4,70	
Obvodová stěna B	2,60		16,2		24,9	
Obvodová stěna C	0,67		14,7	18,4	2,00	
Obvodová stěna D	2,60		16,2		24,9	
celkem	21,8	1,98	174,7	33,6	56,4	108

Celková plocha obvodových zdí s okny a dveřmi je 175 m^2. Podlaha pod suterénem

108 m^2. Střecha nad suterénem se stropem pod půdou tvoří 90 m^2.

Tabulka č. 52 – Výpočet obsahu domu v [m^3]

Výpočet domu V_m	[m^3]
1NP	124
2NP	103
celkem	**227**

Výpočet obsahu vytápěných místností domu slouží k výpočtu množství vzduchu přirozeným větráním, které se připočte ke ztrátě prostupem tepla. Tabulka č. 61

Tabulka č. 53 – Průměrná teplota za posledních 10 let v Jesenickém regionu.

Měsíce v topné sezóně	[°C]
Listopad	-5,70
Prosinec	-10,7
leden	-14,8
únor	-10,1
březen	-5,90
Průměr:	**-9,44**

Průměrnou teplotu za posledních 10 let, jsem získal z meteorologického ústavu v Ostravě. Teplotu jsem použil na výpočet celkové ztráty domu.

Tabulka č. 54 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stěn		
Stěna: A	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$	
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, omítka hliněná	0,06
	R_j, zdivo - sláma	11,4
	R_j, omítka hliněná	0,05
	U, okno	1,20
Tepelný odpor celé stěny A: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		11,7

Tloušťka jednotlivých vrstev stěny: hliněná omítka 50mm, zdivo – sláma 800mm, hliněná omítka 45mm

Tabulka č. 55 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stěn		
Stěna: B	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$	
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, omítka hliněná	0,06
	R_j, zdivo - sláma	11,4
	R_j, omítka hliněná	0,05
	U, okno	1,20
Tepelný odpor celé stěny B: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		11,7

Tloušťka jednotlivých vrstev stěny: hliněná omítka 50mm, zdivo – sláma 800mm, hliněná omítka 45mm

Tabulka č. 56 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stěn		
Stěna: C	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$	
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, omítka hliněná	0,06
	R_j, zdivo - sláma	11,4
	R_j, omítka hliněná	0,05
	U, dveře	1,50
Tepelný odpor celé stěny C: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		11,7

Tloušťka jednotlivých vrstev stěny: hliněná omítka 50mm, zdivo – sláma 800mm, hliněná omítka 45mm

Tabulka č. 57 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stěn		
Stěna: D	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$	
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, omítka hliněná	0,06
	R_j, zdivo - sláma	11,4
	R_j, omítka hliněná	0,05
	U, okno	1,30
Tepelný odpor celé stěny D: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		11,7

Tloušťka jednotlivých vrstev stěny: hliněná omítka 50mm, zdivo – sláma 800mm, hliněná omítka 45mm

Tabulka č. 58 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stěn		
Podlaha: F - bez styku se zemí	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$	
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, dřevěná podlaha	0,11
	R_j, dřevo vláknina izocel	0,22
	R_j, smrkové prkno	0,11
	R_j, lněné konopné pazdeří	3,86
	R_j, prkno	1,11
Tepelný odpor podlahy F: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		4,55

Tloušťka jednotlivých vrstev podlahy: dřevěná podlaha 20mm, dřevo vláknina izocel 10mm, smrkové prkno 20mm, lněné konopné pazdeří 270mm. Smrkové prkno 20mm

Tabulka č. 59 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stropu		
Strop: G - bez styku se střechou	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$	
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, smrková podlaha	0,17
	R_j, sádrokarton	0,05
	R_j, dřevo smrk	0,17
	R_j, minerální vlna	0,80
Tepelný odpor podlahy G: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		1,35

Tloušťka jednotlivých vrstev stropu: smrková podlaha 30mm, sádrokarton 10mm, smrkové prkno 30mm, minerální vata 40mm

Tabulka č. 60 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stropu		
Strop: H - se stykem se střechou	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$	
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, omítka hliněná	0,06
	R_j, dřevo smrk	0,17
	R_j, lněné pazdeří	7,83
	R_j, parobrzdná folie	0,00
Tepelný odpor podlahy H: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		8,23

Tloušťka jednotlivých vrstev stropu: hliněná omítka 50mm, smrkové dřevo 30mm, lněné pazdeří 360mm, parobrzdná folie 0,01mm

Tabulka č. 61 – Výpočet celkové ztráty místnosti s průměrnou teplotou za posledních 10 let

konstrukce	Plocha A [m^2]	Součinitel U [$W.(m^{-2}.k^{-1})$]	Požadovaný součinitel U_N [$W.(m^{-2}.k^{-1})$]	Rozdíl teplot $\theta_{ini,\,i} - \theta_e$ [°C]	Ztráta prostupem $\varphi_{T.i}$ [W]
Okna plastová	21,8	1,30	1,50	29,44	833
Dveře	1,98	2,60	1,70	29,44	152
Stěny obvodové	151	0,19	0,30	29,44	855
Střecha	33,6	0,12	0,24	15,0	61,3
Strop pod půdou	56,4	0,74	0,30	15,0	627
Podlaha nad suterénem	108	0,22	0,60	8,00	190
celkem	373				2718
Tepelné vazby	φt=A.U.(θini, i -θe)		397.0,02.29,5		220
Ztráty prostupem celkem				φt=	2938
Množství vzduchu přirozeným větráním $V_{min,i}$					
V_m	n_{min}		$V_{min,i}$	$V_{min,i}=n_{min}*V_m$	$H_{v,i}$	$H_{v,i}=Vm.C.\rho$	
227	0,5		113		1,71		
Ztráta větrání	φ=Hv,i.(θini, i-(-θe)			φ=	50,4
Celková ztráta budovy				φc=	**2988**

Celková ztráta budovy hliněného domu mi vyšla 2988 W. Největší tepelnou ztrátu měli obvodové stěny s 855 W. Podle tepelné ztráty domu můžeme zhodnotit, že dům je velmi dobře zateplen.

S porovnáním s tepelnými ztrátami z protokolu pana Vontroby se tepelná ztráta liší o 2983 W. V protokolu pan Vontroba počítá s jinou teplotou v každé místností s venkovní teplotou na -15°C.

Obrázek č. 13 – protokol tepelných ztrát pana Vontroby

Rekapitulace tepelných ztrát místností

		vytápění				větrání				
číslo	popis	vnitřní teplota (°C)	ztráta (kW)	poznámka	přípočet ztráty z jiné místnosti	č. místn., odkud je přiváděn vzduch	tep. přiváděného vzduchu (°C)	množství vzduchu (m3/h)	ztráta (kW)	celková ztráta (kW)
101	zádveří	19	0,012			103	21	-10	-0,007	0,010
102	koupelna, WC	24	0,279			101	19	-30	0,050	0,330
103	jídelna, OP	21	1,070		0,650			60	0,719	2,450
104	kuchyně	21	0,331	přičteno ke 103	-	103	21	-30	0,000	
105	spíž	20,5	-0,032			103	21	-10	-0,002	-0,040
106	schodiště	21	0,157	přičteno ke 103	-	103	21		0,000	
107	sklad	20	-0,028			106	21		0,000	-0,030
108	tech. místn.	19	0,197	kryto ztrátou ohřívače		101	19	-10	0,000	0,200
201	schodiště	21	0,157	přičteno ke 103	-				0,000	
202	chodba	21	0,006	přičteno ke 103	-				0,000	
203	koupelna, WC	24	0,279					-30	0,240	0,520
204	šatna	19	0,018			202	21	-5	-0,003	0,020
205	šatna	19	0,018			202	21	-5	-0,003	0,020
206	ložnice	21	0,352					30	0,360	0,720
207	pokoj	21	0,284					20	0,240	0,530
208	pracovna	21	0,238					20	0,240	0,480
								0		
e	exteriér	-15								5,210
z	zemina	4								

větrání		
účinnost rekuperace	0%	
teplota odváděného vzduchu	21	(°C)
teplota přívodního vzduchu	-15	(°C)

5.3.4. Orientační metoda:

Tabulka č. 62 – Rozdíl celkové ztráty domu v praxi a obálkovou metodou

Rozdíl celkové ztráty domu v praxi a obálkovou metodou.		[W]
Celková ztráta měřením pomocí obálkové metody:		2988
Výpočet orientační metody:	$\varphi_R = m^3 . \varphi_p$	
	$\varphi_R = 224.14$	3175
Rozdíl:		187

Při Porovnání orientační metody s obálkovou metodou hliněného domu mi vyšel rozdíl 187 W.

5.4. Okálový dům:

Je postaven zhruba před 35 lety ze dřeva s dřevotřískovými podlahy a stěny. Dřevotříska je uprostřed děrovaná. Je to odlehčená verze plné dřevotřísky, která však vykazuje vyšší pevnost než voština / medová plástev. V roce 2012 byly stěny okálu zatepleny 150mm polystyrenem a strop okálu byl zateplen 300mm čediče.

U okálu jsem měřil tepelnou ztrátu místnosti pomocí experimentální metody a obálkovou metodou.

Tabulka č. 62 – měřené hodnoty teplot uvnitř místnosti

Měření uvnitř v místnosti °C										
měření	čas	A		B	C		D	E	F	
		dveře	zeď	zeď	okno	zeď	zeď	podlaha	strop	teplota v místnosti
1	17:18	21,0	20,5	20,0	17,5	20,0	20,5	20,0	20,5	21,0
2	17:48	25,0	26,0	24,2	25,0	24,5	24,5	24,0	27,0	23,0
3	18:15	26,8	25,5	25,8	25,0	25,8	24,5	24,5	28,5	24,0
4	18:45	29,0	29,0	28,5	28,5	29,0	28,0	26,5	30,5	26,0
5	19:15	29,5	30,0	29,0	29,0	30,0	29,0	27,6	31,0	26,0

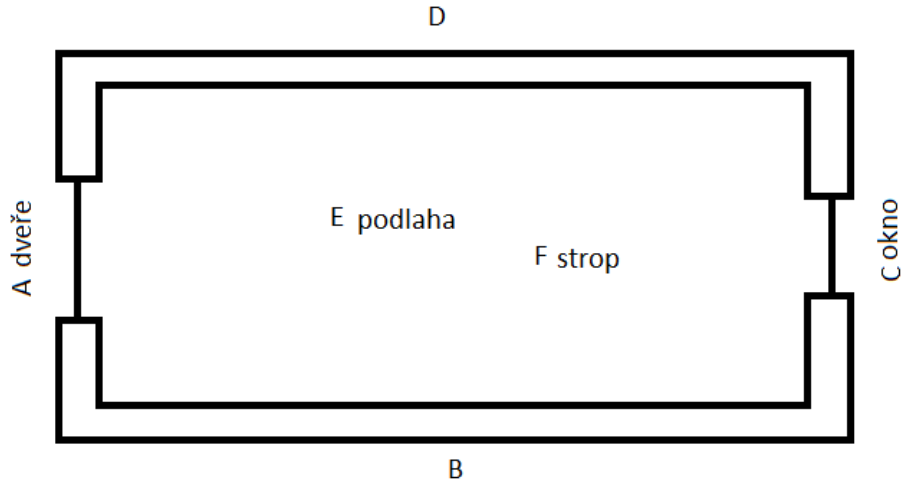
Pří měření teploty v okálu jsem zvolil půlhodinový interval mezi měřeními. Uvnitř místnosti, se teplota zastavila na 26°C.

Tabulka č. 63 – měřené hodnoty teplot vně místnosti.

Měření vně v místnosti °C										
měření	čas	A		B	C		D	E	F	
		dveře	zeď	zeď	okno	zeď	zeď	podlaha	strop	teplota venku
1	17:18	22,0	22,5	18,5	-0,20	-3,50	21,0	26,0	0,50	-2,00
2	17:48	23,5	23,0	20,7	-0,30	-3,90	19,3	24,7	0,70	-2,30
3	18:15	26,5	23,8	20,7	0,00	-3,50	20,5	24,0	0,07	-2,10
4	18:45	28,5	25,0	20,5	1,10	-2,90	20,5	24,4	0,03	-2,00
5	19:15	29,0	26,0	20,5	0,40	-3,10	21,0	24,5	0,03	-2,50

Při měření venkovní teploty se teplota ustálila z -2°C na -2,5°C. Nejvyšší teplota byla naměřena pod podlahou, kde se nacházel další byt. Před začátkem měření pan soused měl teplotu v místnosti 26°C. Při prováděném experimentu ač, jsem místnost vytápěl, teplota v místnosti klesala, místo aby stoupala. Při sdělení sousedovi záhadného jevu jsem se dozvěděl proč: Soused po prvním mém měření si v místnosti vyplul topení a před posledním měření topení opět zapnul. Proto teplota podlahy klesala a při posledním měření stoupla.

Obrázek č. 14 – Označení jednotlivých stěn okálového domu



5.4.1. Experimentální metoda

Tabulka č. 64 – Výsledek experimentálního výpočtu tepelných ztrát místnosti.

Označení jednotlivých stěn	[w.K^{-1}]
A	500
B	235
C	60,4
D	250
E	645
F	64,6
celkem:	1756

Výsledek měření vykazuje značný rozptyl jako u předchozích experimentálních měření z důvodu proměnlivého počasí.

5.4.2. Obálková metoda:

Tabulka č. 65 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stěn		
Stěna: A	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$	
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, dřevotříska	0,46
	U, dveře prosklené	2,00
Tepelný odpor celé stěny A: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		0,63

Tloušťka jednotlivých vrstev stěny: dřevotříska 60mm

Tabulka č. 66 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stěn		
Stěna: B	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$	
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, dřevotříska 60mm	0,46
Tepelný odpor celé stěny B: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		0,63

Tloušťka jednotlivých vrstev stěny: dřevotříska 60mm

Tabulka č. 67 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stěn		
Stěna: C	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$	
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, vápenná omítka	0,01
	R_j, dřevotříska	0,04
	R_j, čedičová vata	0,87
	R_j, dřevotříska	0,04
	R_j, polystyren	3,75
	U, okno	0,60
Tepelný odpor celé stěny C: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		4,88

Tloušťka jednotlivých vrstev stěny: vápenná omýtka10mm, dřevotříska 60mm, čedičová vata 40mm, polystyren 150mm

Tabulka č. 68 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stěn		
Stěna: D	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$	
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, dřevotříska 60mm	0,46
Tepelný odpor celé stěny D: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		0,63

Tloušťka jednotlivých vrstev stěny: dřevotříska 60mm

Tabulka č. 69 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev stropu		
Strop: E	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$	
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, dřevotříska	0,34
	R_j, čedičová vata	0,44
	R_j, dřevotříska=	0,34
Tepelný odpor stropu E: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		1,26

Tloušťka jednotlivých vrstev stěny: dřevotříska 150mm, čedičová vata 20mm

Tabulka č. 70 – Složení tepelného odporu stěny

Výpočet tepelného odporu jednotlivých vrstev podlahy		
Podlaha: F	λ $[W.m^{-1}.°C^{-1}]$	
$R_j=d_j/\lambda_j$	R_j, dřevotříska	0,34
	R_j, čedičová vata	0,44
	R_j, dřevotříska	0,34
Tepelný odpor podlahy F: $R_t=R_{si}+\sum R_j+R_{se}$		1,33

Tloušťka jednotlivých vrstev stěny: dřevotříska 150mm, čedičová vata 20mm

Tabulka č. 71 – Výpočet celkové ztráty místnosti při experimentálním měření

Výpočet tepelné ztráty místnosti obálkovou metodou při experimentálním měření.							
konstrukce			Plocha A [m^2]	Součinitel U [$W.(m^{-2}.k^{-1})$]	Požadovaný součinitel U_N [$W.(m^{-2}.k^{-1})$]	Rozdíl teplot $\theta_{ini,\ i} - \theta_e$ [°C]	Ztráta prostupem $\varphi_{T.i}$ [W]
Okno Plastové Slovaktual PASIV OL			1,21	0,60	1,50	28,6	20,8
Dveře			1,58	2,00	1,70	0,50	1,58
Stěna A			6,10	1,58	0,30	4,00	38,7
Stěna B			7,92	1,58	0,30	8,50	107
Stěna C			6,47	0,21	0,30	33,1	43,9
Stěna D			7,92	1,58	0,30	8,00	100
Podlaha nad suterénem			10,6	0,75	0,60	3,10	24,7
Strop			10,6	0,80	1,60	31,0	260
celkem			52,3				595
Tepelné vazby			φt=A.U.(θini, i -θe)		52,320.0,05.28,6		74,8
Ztráty prostupem celkem						φt=	672
Množství vzduchu přirozeným větráním $V_{min,i}$							
V_m	n_{min}		$V_{min,i}$	$V_{min,i}=n_{min}.V_m$	$H_{v,i}$	$H_{v,i}=Vm.C.\rho$	
25,3	0,5		12,7		30717	Vi - objem místnosti	
Ztráta větrání			φ=Hv,i.(θini, i-(-θe)			φ=	122
Celková ztráta místnosti						φc=	**794**

Celková ztráta místnosti experimentálním měření je 792 W. Nejvyšší tepelnou ztrátu má strop 260 W. Nejnižší tepelnou ztrátu mají dveře s 1,58 W.

Tabulka č. 72 – Výpočet celkové ztráty místnosti s průměrnou teplotou za posledních 10 let

Výpočet tepelné ztráty místnosti obálkovou metodou při experimentálním měření z průměrných teplot za posledních 10 let							
konstrukce			Plocha A [m^2]	Součinitel U [$W.(m^{-2}.k^{-1})$]	Požadovaný součinitel U_N [$W.(m^{-2}.k^{-1})$]	Rozdíl teplot $\theta_{ini,\,i}$ -θ_e [°C]	Ztráta prostupem $\varphi_{T.i}$ [W]
Okno Plastové Slovaktual PASIV OL			1,21	0,60	1,50	29,44	21,4
Dveře			1,58	2,00	1,70	1,00	3,15
Stěna A			6,10	1,58	0,30	1,00	9,67
Stěna B			7,92	1,58	0,30	2,00	25,1
Stěna C			6,47	0,21	0,30	29,44	39,0
Stěna D			7,92	1,59	0,30	3,00	37,6
Podlaha nad suterénem			10,6	0,75	0,60	0,00	0,00
Strop			10,6	0,80	1,60	19,0	160
celkem			52,3				292
Tepelné vazby			φt=A.U.(θini, i -θe)		52,3.0,05.29,4		77,0
Ztráty prostupem celkem						φt=	373
Množství vzduchu přirozeným větráním $V_{min,i}$							
V_m	n_{min}		$V_{min,i}$	$V_{min,i}=n_{min}.V_m$	$H_{v,i}$	$H_{v,i}$=Vm.C.ρ	
25,3	0,5		12,7		30717	Vi - objem místnosti	
Ztráta větrání			φ=Hv,i.(θini, i-(-θe)			φ=	85,3
Celková ztráta místnosti						φc=	**458**

Celková ztráta místnosti s průměrnou teplotou je 458 W. Největší tepelnou ztrátu má strop 160 W. Nejmenší tepelnou ztrátu má podlaha nad suterénem z důvodu dalšího bytu, který má stejnou teplotu jakou měřená místnost proto tepelná ztráta podlahy nad suterénem je nulová.

Tabulka č. 73 – Průměrná teplota za posledních 10 let v Jesenickém regionu.

Měsíce v topné sezóně	[°C]
Listopad	-5,70
Prosinec	-10,7
leden	-14,8
únor	-10,1
březen	-5,90
Průměr:	**-9,44**

Průměrnou teplotu -9,44°C jsem použil v tabulce č. 72

5.4. Roubený dům:

Roubený dům byl postavený před 5 lety na skále. Je postavený z robustných dřevěných trámů, stěny ze sádrokartonu střecha sedlová. Dům je dvoupatrový, s kachlovými kamny.

U tohoto domu jsem provedl první měření tepelných ztrát. Při měření jsem zjistil několik nevyhovujících podmínek pro měření, ze kterých jsem se poučil při dalších měření.

Nedostatky:

- Vybraná místnost byla vytápěna podlahovým topením z kachlových kamen.
- Strop byl z části zešikmený, nemožnost změřit teplotu stropu zvenčí.
- Podlaha byla pevně spojena se skálou a tudíž nezměřitelná zvenčí.

Z těchto důvodů jsem v měření nepokračoval dál a ukončil jsem ho.

Tabulka č. 74 – měřené hodnoty teplot uvnitř místnosti

Měření uvnitř v místnosti °C								
měření	čas	A	B	C	D	E	F	
		zeď	zeď	zeď	zeď	podlaha	strop	teplota v místnosti
1	17:00	21,0	21,0	21,0	21,0	26,5	21,0	23,0
2	17:20	24,5	26,5	24,0	23,5	28,0	25,5	28,0
3	17:40	26,5	29,5	26,5	27,0	28,0	29,0	28,0

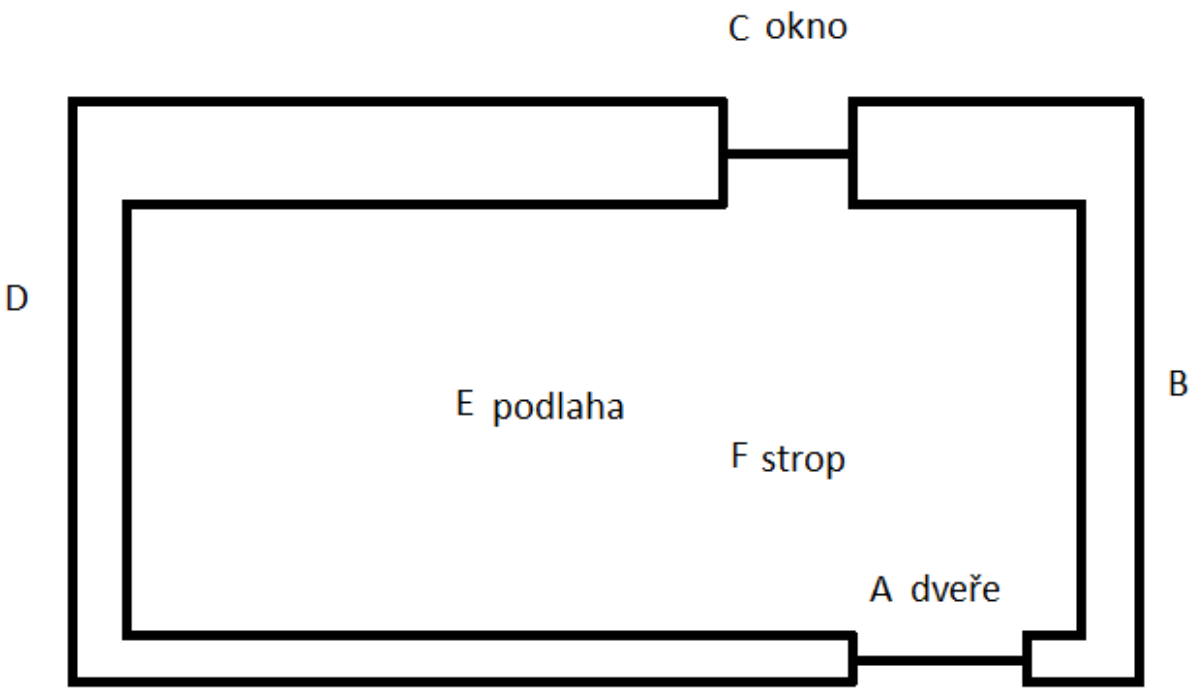
Měření v místnosti jsem začal s počáteční teplotou 23 °C s teplotou stěn 21°C. Podlaha měla teplotu 26,5 °C.

Tabulka č. 75 – měřené hodnoty teplot vně místnosti.

Měření vně v místnosti °C								
měření	čas	A	B	C	D	E	F	
		zeď	zeď	zeď	zeď	strop	podlaha	teplota venku
1	17:00	20,0	20,0	5,00	20,0			3,00
2	17:20	24,0	23,0	-0,70	18,0	0,00	0,00	-1,00
3	17:40	24,8	24,9	-1,30	18,2			-1,80

Při měření teplot z venku byla teplota zdí 20°C s venkovní teplotou 3°C. Strop s podlahou nešlo změřit, protože podlaha byla spojena se skálou a nad stropem byl pudní prostor ke kterému nebyl přístup.

Obrázek č. 15 – Označení jednotlivých stěn roubeného domu



5.5.1. Experimentální metoda

Tabulka č. 76 – Výsledek experimentálního výpočtu tepelných ztrát místnosti.

Označení jednotlivých stěn	[w.K^{-1}]
A	1177
B	435
C	71,9
D	227
E	71,4
F	69,0
celkem:	2051

Při vytápění elektrickým přímotopem o výkonu 2000W vyšla tepelná ztráta 2051 W.

6. Bezdotykové měření:

K měření teploty stěn jsem si zapůjčil z katedry fyziky bezdotykovou termokameru FLIR T335 spadající do střední profesionální třídy. Jde o flexibilní kameru s maticovým mikro bolometrem o rozlišení 320x240 bodů a vestavěnou optikou 25°x19°. Spektrální rozsah této termokamery je 7,5 až 13 μm, teplotní citlivost < 0,05 °C.

V kameře je vestavěná digitální videokamera (3,1 Mpix), která umožňuje automatické prolínání termovizního obrazu spolu s video obrazem přímo v kameře.

Obrázek č. 16 – termokamera FLIR T335

Termokamera pracuje na přenosu energie zářením, které se uskutečňuje pomocí fotonů. Jejich vznik při záření lze vysvětlit na základě neustálého pohybu atomů a molekul v látce. Jestliže při vzájemných nárazech získá atom nebo molekula přebytek energie, přejde elektron na vyšší energetickou hladinu. Při návratu na nižší hladinu vyzáří foton s energií

$$hf = E_n - E_m$$

kde E_n je energie elektronu na vyšší a E_m na nižší energetické hladině. Jestliže je energie volného elektronu v klidu nulová, pak energie elektronu vázaného v obalu atomu je záporná.

7. Závěr:

Experimentální metodu tepelné ztráty místnosti, která je vytápěna pomocí topného elektrického tělesa, jsem porovnal s obálkovou metodou s průměrnou teplotou za posledních 10 let. Oba výsledky jsem převedl na jednotku $W.°C^{-1}$.

7.1. Cihlový dům:

Tabulka č. 77 – přehled

Cihlový dům	Mezi výpočet	°C	$W.°C^{-1}$	%
rozdíl teplot u experimentálního měření	Δ_t=25-6	19	-	-
rozdíl teplot za posledních 10 let	Δ_t=20-(-9,44)	29,4	-	-
tepelná ztráta místnosti experimentálním měřením dělená naměřenou teplotou termokamerou	φ_c=987:19		51,9	-
tepelná ztráta místnosti dělená z průměrné teploty za posledních 10 let	φ_c=1381:29,4		46,9	-
rozdíl v obálkových metodách	**Δ_φ=51,9-46,9**		**5**	**0,3**

Rozdíl mezi metodami je 5 $W.°C^{-1}$. Procentuálně je to 0,3%.

7.2. Hliněný dům ze slámy:

Tabulka č. 78 – přehled

Hliněný dům	Mezi výpočet	°C	$W.°C^{-1}$	%
rozdíl teplot u experimentálního měření	Δ_t=28-2	26	-	-
rozdíl teplot za posledních 10 let	Δ_t=20-(-9,44)	29,4	-	-
tepelná ztráta místnosti experimentálním měřením dělená naměřenou teplotou termokamerou	φ_c=153:26		5,88	-
tepelná ztráta místnosti dělená z průměrné teploty za posledních 10 let	φ_c=319:29,4		10,8	-
rozdíl v obálkových metodách	**Δ_φ=10,8-5,88**		**4,92**	**2**

Rozdíl mezi metodami je 4,92 $W.°C^{-1}$. Procentuálně je to 2%.

7.3. Okálový dům:

Tabulka č. 79 – přehled

Okálový dům	Mezi výpočet	°C	$W.°C^{-1}$	%
rozdíl teplot u experimentálního měření	Δ_t=26-(-2,50)	28,5	-	-
rozdíl teplot za posledních 10 let	Δ_t=20-(-9,44)	29,4	-	-
tepelná ztráta místnosti experimentálním měřením dělená naměřenou teplotou termokamerou	φ_c=794:28,5		27,9	-
tepelná ztráta místnosti dělená z průměrné teploty za posledních 10 let	φ_c=459:29,4		15,6	-
rozdíl v obálkových metodách	**Δ_φ=27,9- 15,6**		**12,3**	**2**

Rozdíl mezi metodami je 12,3 $W.°C^{-1}$. Procentuálně je to 2,%.

Výpočet pomocí obálkové metody s naměřenými hodnotami termokamerou, je stejně spolehlivý jako výpočet obálkové metody s průměrnou teplotou za posledních 10 let.

Rozdíl u cihlového domu: 0,03%

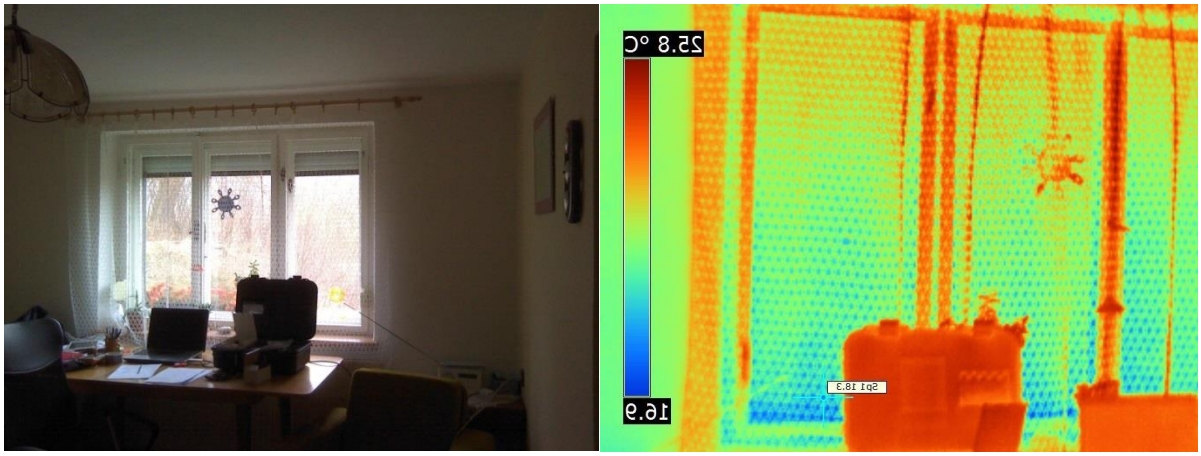
Rozdíl hliněný dům: 2%

Rozdíl okálová dům 2%

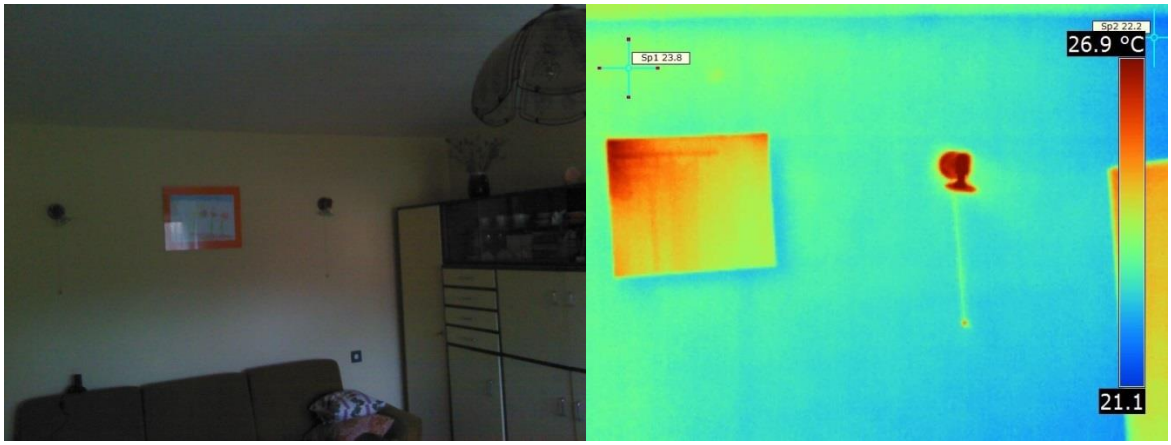
8. Příloha fotografií z měření:

8.1. Cihlový dům:

Obrázek č. 17 a 18 – Okno měřené místnosti vyfoceno bez a s termovizí

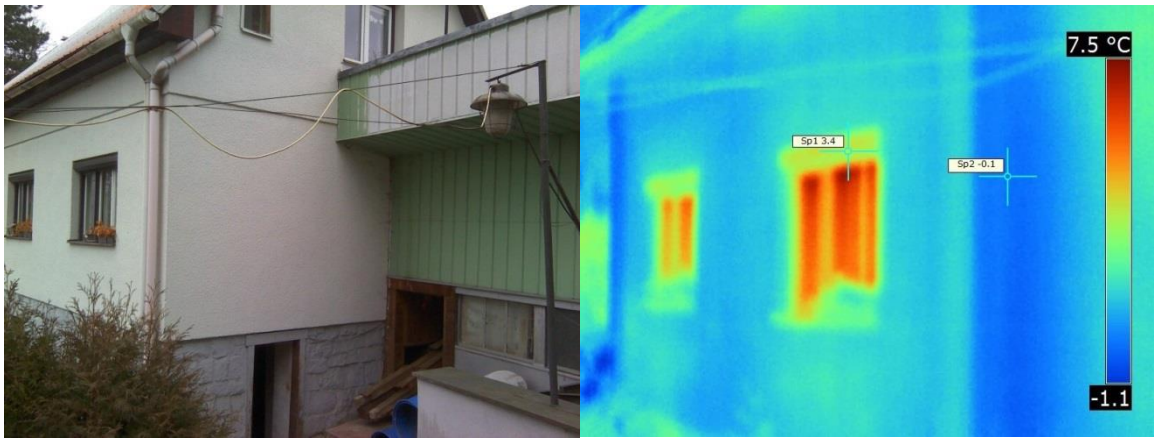


Obrázek č. 19 a 20 – zadní stěna místnosti vyfoceno bez a s termovizí



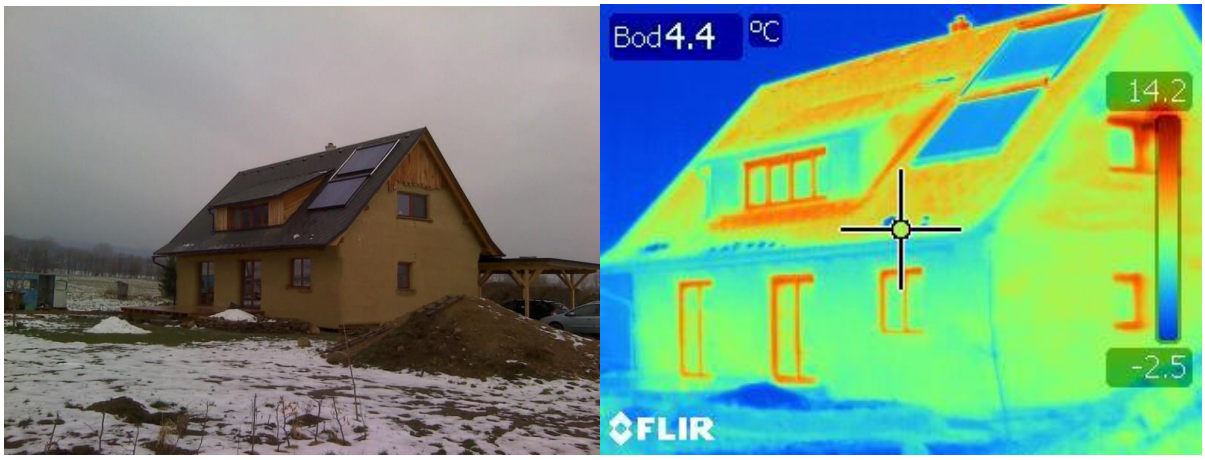
Obrázek č. 21 a 22 – přímotop v místnosti vyfoceno bez a s termovizí

Obrázek č. 23 a 24 – Měřená místnost z venku vyfoceno bez a s termovizí



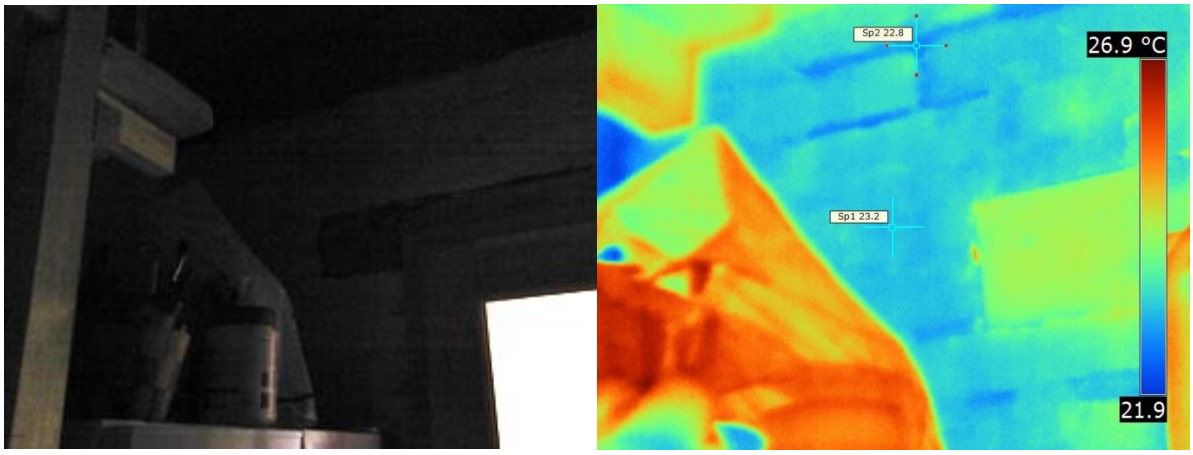
8.2. Hliněný dům:

Obrázek č. 25 a 26 – hliněný dům vyfoceno bez a s termovizí

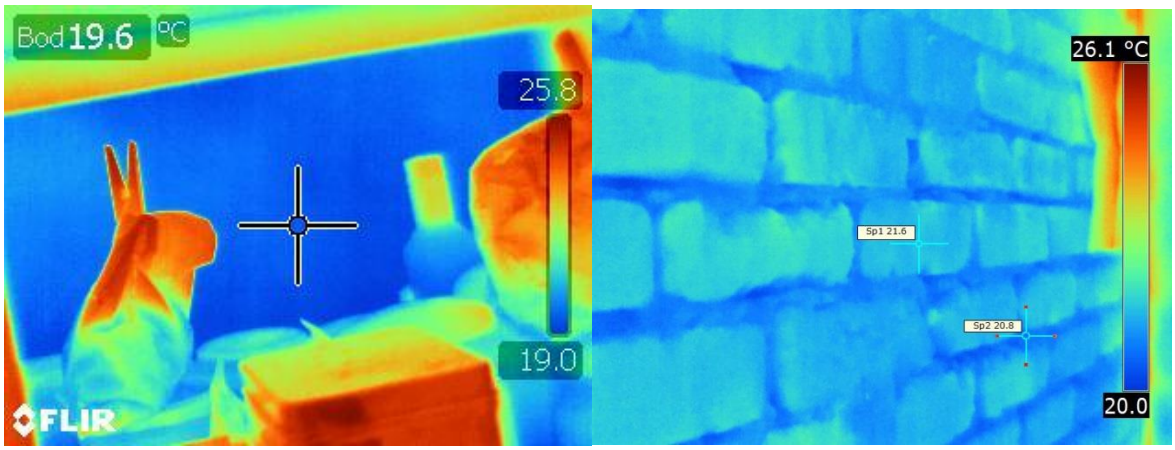


Obrázek č. 27 a 28 – Měřená místnost s dveřmi vyfoceno bez a s termovizí

Obrázek č. 29 a 30 – stěna A vyfocena bez a s termovizí



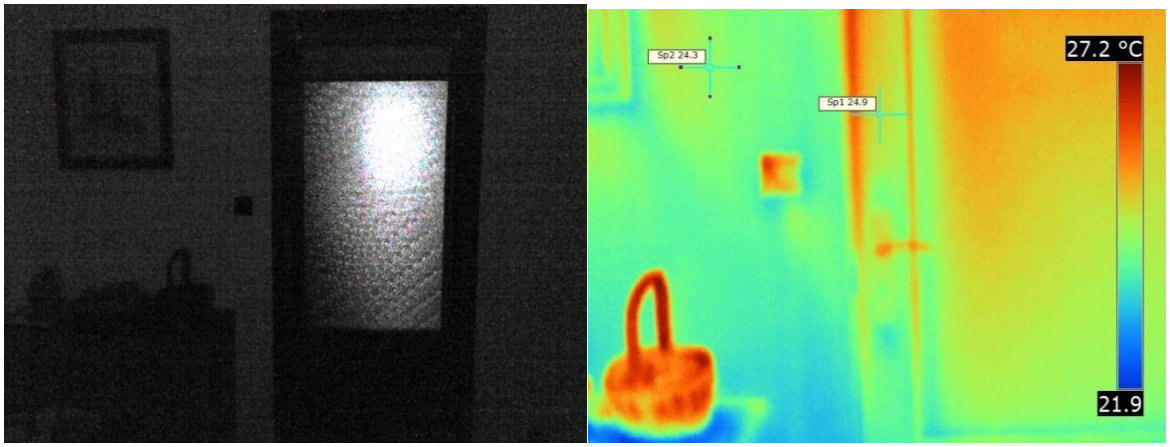
Obrázek č. 31 a 32 – stěna B a D vyfoceny s termovizí



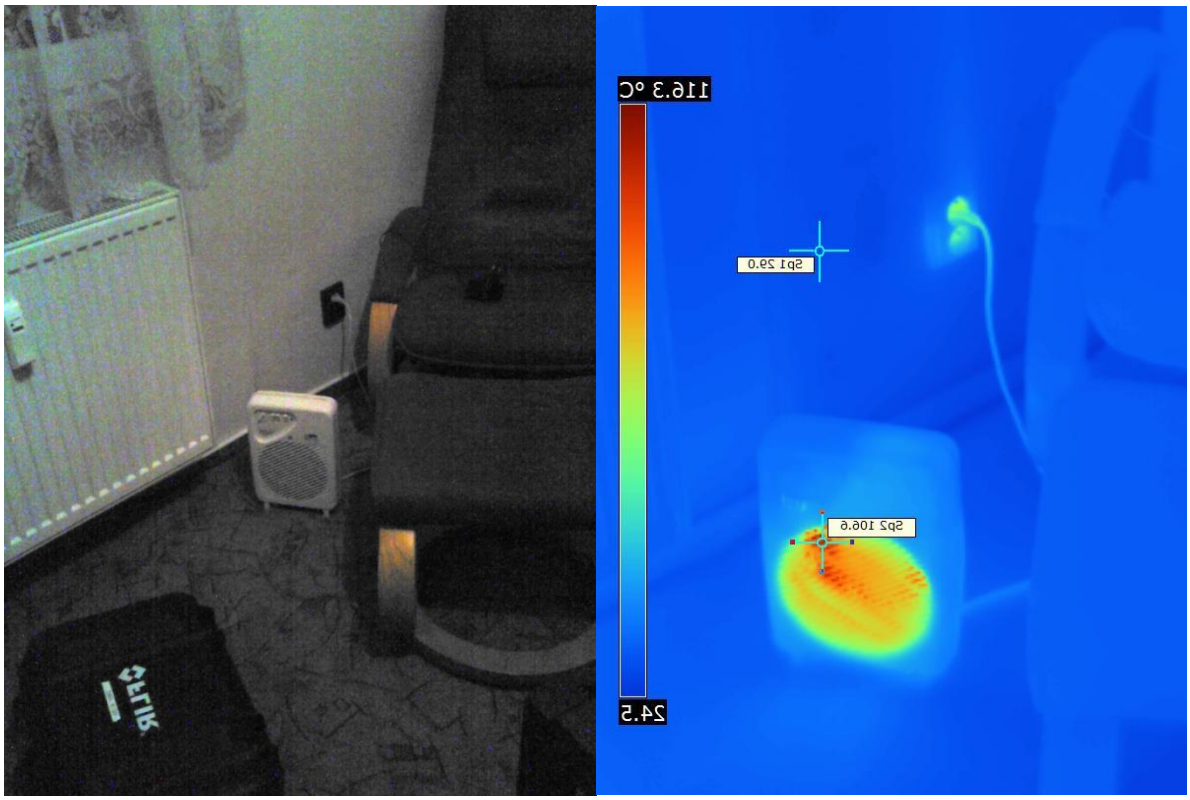
Obrázek č. 33 a 34 – okno do zdi domu s tepelným mostem vyfoceny bez a s termovizí

8.3. Okálový dům:

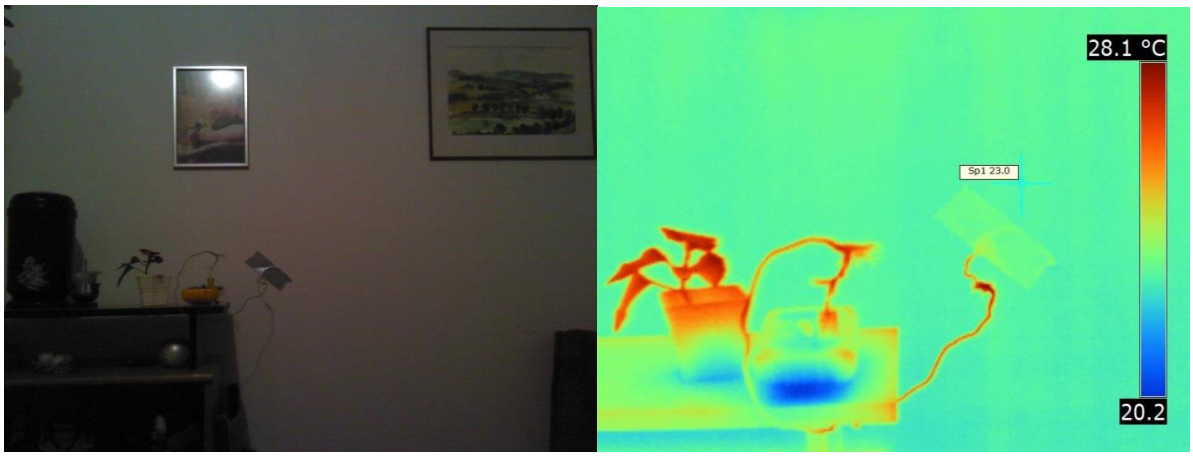
Obrázek č. 35 a 36 – stěna A vyfocena bez a s termovizí



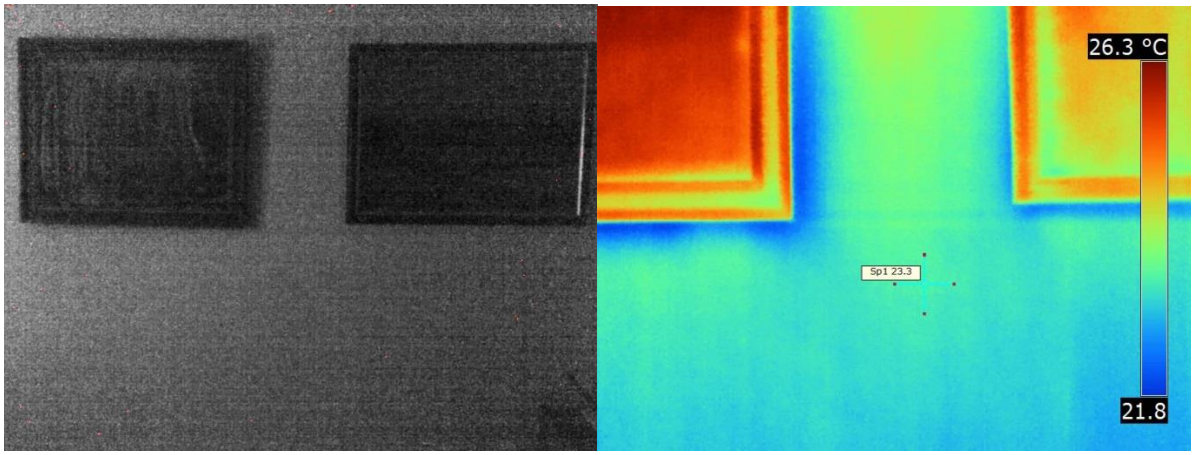
Obrázek č. 374 a 38 – stěna C s elektrickým přímotopem vyfocena bez a s termovizí



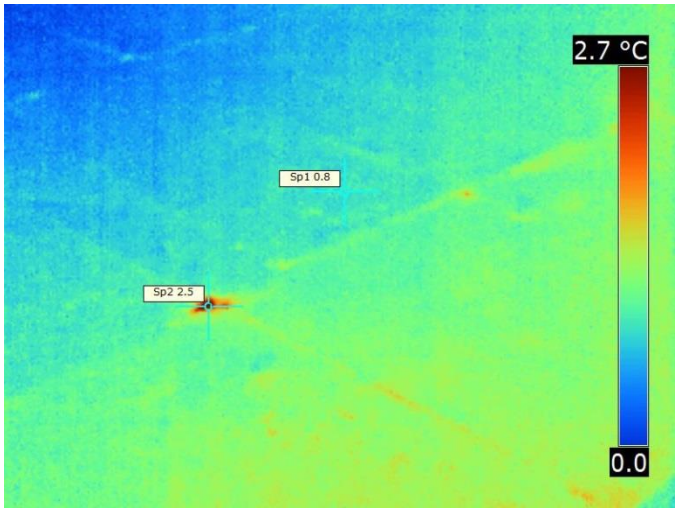
Obrázek č. 39 a 40 – stěna B vyfocena bez a s termovizí



Obrázek č. 41 a 42 – stěna D vyfocena bez a s termovizí



Obrázek č. 43 – strop vně měřené místnosti vyfocen s termovizí



8.4. Roubený dům

Obrázek č. 44 a 45 – roubený dům

Obrázek č. 46 a 47 – venkovní stěna měřené místnosti vyfocen bez a s termovizí

Obrázek č. 48 a 49 – roubený dům vyfocený s termovizí

9. POUŽÍTÁ LITERATURA

Martin Čerňanský. Materiál, práce a řemesla Získávání, zpracování a použití materiálu. *Lidová architektura.* [online]. 2000 – 2013 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: *http://www.lidova-architektura.cz/architektura-historie/stavby-material/material-prace-remesla.htm*

HALAHYJA, Martin, Ivan CHMÚRNY a Zuzana STERNOVÁ. *Stavebná tepelná technika: tepelná ochrana budov*. Bratislava: Jaga, 1998. ISBN 80-88905-04-4.

SDH Olešník. *Teplota hoření a barva plamene.* [online]. 12. února 2011 v 19:26 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: *http://sdh-olesnik.blog.cz/1102/teplota-horeni-a-barva-plamene*

Měření tepla. *E Správa.* [online]. 2008 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: *http://www.esprava.cz/files/Mereni%20tepla.pdf*

MATEMATIKA–FYZIKA–INFORMATIKA. *Úlohy z termiky pro fyzikální olympioniky (3).* [online]. 2015 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: *http://mfi.upol.cz/files/24/2401/mfi_2401_042_051.pdf*

Ivo Volf – Miroslava Jarešová – Miroslav Ouhrabka. Fyzikální olympiády. *Přenos tepla.* [online]. 15. září 2016 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: *http://fyzikalniolympiada.cz/texty/texttz.pdf*

IPEES-ELEKTRO s.r.o . *HISTORIE MĚŘENÍ TEPLOTY.* [online]. 2011 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: *http://www.ipees-elektro.cz/termovize/historie-mereni-teploty/*

Jana Kuklová. FAKULTA DOPRAVNÍ. *Historie bezdotykového měření teplot.* [online]. 2008/2009 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: *https://www.fd.cvut.cz/projects/k611x1s/doc/works/termo_historie.pdf*

Wikipedie. *Kapalinový teploměr.* [online]. 3. 2. 2016 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: *https://cs.wikipedia.org/wiki/Kapalinov%C3%BD_teplom%C4%9Br*

Marek Soukeník. PŘEVOD FYZIKÁLNÍCH JEDNOTEK. *PŘEHLED TEPLOTNÍCH STUPNIC.* [online]. 2000 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: *http://www.prevod.cz/popis.php?str=220&parent=y*

Ing. Marek Pokorný. SÁLÁNÍ TEPLA – RADIACE. *FAKULTA STAVEBNÍ.* [online]. 10. 11. 2006 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: *http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/e-text/specialiste/1/1-4_Salani_tepla.pdf*

kratochvil. TERMOMECHANIKA. *Sdílení tepla sáláním.* [online]. 10-May-2011 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: *http://www.sps-ko.cz/documents/MEC_kratochvil/TERMOMECHANIKA_INTERNET_DOC/17_Sdileni_tepla_salanim.pdf*

prof. Ing. Milan Pavelek, CSc.. Přenos tepla zářením. *ENERGETICKÝ ÚSTAV Odbor termomechaniky a techniky prostředi.* [online]. 2011-2016 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: *http://ottp.fme.vutbr.cz/users/pavelek/termo/19_Zareni.pdf*

Emisivita. *Nové technologie – výzkumné centrum Západočeská univerzita v Plzni.* [online]. 2000-2015 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: *http://ttp.zcu.cz/cz/laboratore/opticke-vlastnosti/opticke-vlastnosti/emisivita*

Tabulka č. 3. Karel Laboutka, Tomáš Suchánek. Součinitelé sálání a poměrné tepelné pohltivosti. *tzbinfo.* [online]. 2001 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: *http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/56-soucinitele-salani-a-pomerne-tepelne-pohltivosti*

Ing. Miroslav Urban, PhD. . Analýza měřené spotřeby energie na vytápění ve vazbě na výpočet energetické náročnosti budov podle vyhlášky 78/2013 Sb.. *ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE* . [online]. 08/2014 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: *http://www.fenix.sk/sites/default/files/2014090103.pdf*

Tepelný odpor R. *tzbinfo.* [online]. 2001-2016 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: *http://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/312-tepelny-odpor-r*

Hodnoty fyzikálních veličin vybraných stavebních materiálů. *tzbinfo.* [online]. 2001-2016 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: *http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/58-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybranych-stavebnich-materialu*

Ing. Daniel Grmela, Ing. Danuše Čuprová, CSc.. Tepelný odpor slaměných konstrukcí. *iMaterialy.* [online]. 5. 2. 2010 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: *http://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/technologie/tepelny-odpor-slamenych-konstrukci_101398.html*

TEPELNÉ ZTRÁTY OBJEKTU. *Fakulta stavební Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.* [online]. 3.2.15 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: *http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/tzb-fbi/6.html*

Energetické výpočty. *Katedra technických zařízení budov K11125.* [online]. 2011-2012 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: *http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/2011_12/125esb1,125esbb-02.pdf*

Obr. č . 1 a 2 – Disttutur. *Изобретение термометра.* [online]. 2008 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: *http://dist-tutor.info/mod/resource/view.php?id=40728*

Obr.č. 3 – Foto autora

Obr č. 4 - Ing. Marek Pokorný. SÁLÁNÍ TEPLA – RADIACE. *FAKULTA STAVEBNÍ.* [online]. 10. 11. 2006 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: *http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/e-text/specialiste/1/1-4_Salani_tepla.pdf*

Obr. č. 5 – Foto autora

Obr. č. 6 – Foto autora

Obrázek č. 7 – Foto autora

Obrázek č. 8 – Foto autora

Obrázek č. 9 – Foto autora

Obrázek č. 10 – Foto autora

Obrázek č. 11 – Foto autora

Obrázek č. 12 – Foto autora

Obrázek č. 13 – Foto autora

Obrázek č. 14 – Foto autora

Obrázek č. 15 – Foto autora

Obrázek č. 16 – Termokamera FLIR T335. *Trinstruments spol. s.r.o.*. [online]. 1.1.2017 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: *http://www.trinstruments.cz/t335-1344856455*

Obrázek č. 17- 49 – Foto autora