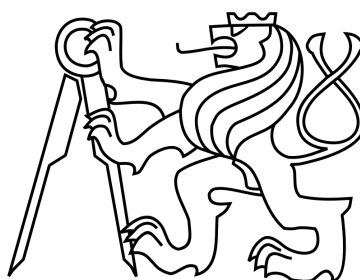


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra technologie staveb**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
Pasportizace rodinného domu v Podkrkonoší**

Vladimír Dobiáš

2017

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Hlava, PhD.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou bakalářskou práci vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze

.....

Vladimír Dobiáš

Poděkování

Děkuji Ing. Martinu Hlavovi, PhD. za odborné vedení bakalářské práce. Mé poděkování patří též Ing. Viktoru Zwienerovi, PhD. za spolupráci a pomoc při realizaci Blower Door testu.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Dobiáš Jméno: Vladimír Osobní číslo: 396420
Zadávací katedra: Katedra technologie staveb
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Pasportizace rodinného domu v Podkrkonoší

Název bakalářské práce anglicky: Pasportization of a family house in the Giant Mountains area

Pokyny pro vypracování:

seznámit se s problematikou budovy - konstrukce, použité materiály, historie výstavby, prostředí atd.; seznámit se s problematikou budovy z pohledu majitelů (obyvatelů) RD; zvolit vhodné metody pro provedení diagnostiky zjištěných problémů; provést a vyhodnotit diagnostiku pomocí zvolených metod; dle zjištění navrhnout opatření pro odstranění problémů a posoudit jeho proveditelnost; v případě více možností porovnat jednotlivé varianty

Seznam doporučené literatury:

KOLB, Josef. Dřevostavby - Systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. Grada. 2011

VAVŘÍČKA, Roman. Sešit projektanta 11 - Bezkontaktní způsoby měření teploty. STP. 2014

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Martin Hlava, PhD.

Datum zadání bakalářské práce: _____ Termín odevzdání bakalářské práce: 15.1.2018
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá využitím metod diagnostiky staveb k popisu skutečného stavu budovy. Práce popisuje vybrané diagnostické metody a jejich použití. Dále popisuje problematiku vybrané budovy a využití diagnostických metod k objasnění příčin zjištěných problémů. Práce navrhuje řešení pro zlepšení stavu vybrané budovy.

Klíčová slova

Diagnostika staveb, termografie, blower door test, vnitřní prostředí budovy, teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu

Annotation

This bachelor thesis is dealing with usage of methods of buildings diagnostics to describe the actual condition of the building. The thesis describes selected diagnostic methods and their usage. It also describes the problematics of the selected building and the usage of diagnostic methods to explain the causes of the identified problems. The thesis proposes solutions and ways for improving the condition of the selected building.

Key words

Building diagnostics, thermography, blower door test, indoor environment, air temperature, relative humidity

Obsah

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD..... | 9 |
| 1 Diagnostika staveb..... | 10 |
| 1.1 Kontrola těsnosti hydroizolace..... | 10 |
| 1.1.1 Orientační kontrola..... | 10 |
| 1.1.2 Objektivní namátková kontrola..... | 12 |
| 1.1.3 Objektivní plošná kontrola..... | 13 |
| 1.2 Termodiagnostika..... | 15 |
| 1.2.1 Přenos tepla..... | 15 |
| 1.2.2 Teorie termodiagnostiky..... | 16 |
| 1.2.3 IČ termokamery..... | 17 |
| 1.2.4 Stanovení termografických parametrů..... | 18 |
| 1.2.5 Termodiagnostické měření..... | 19 |
| 1.3 Blower Door test..... | 22 |
| 1.3.1 Metoda tlakového spádu s externím ventilátorem..... | 22 |
| 1.3.2 Požadavky..... | 24 |
| 1.3.3 Měřicí technika..... | 24 |
| 1.3.4 Průběh zkoušky..... | 25 |
| 1.3.5 Metody odhalování netěsností..... | 28 |
| 1.4 Sledování parametrů vnitřního klimatu..... | 31 |
| 1.4.1 Měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu..... | 31 |
| 2 Diagnostika vybraného objektu..... | 32 |
| 2.1 Zkoumaný objekt..... | 32 |
| 2.1.1 Popis a umístění objektu..... | 32 |
| 2.1.2 Problémy objektu..... | 38 |
| 2.2 Provedená diagnostika..... | 41 |
| 2.2.1 Termodiagnostika objektu..... | 41 |
| 2.2.2 Blower door test..... | 44 |
| 2.2.3 Dlouhodobé sledování vnitřního klimatu..... | 46 |
| 2.3 Vyhodnocení provedených měření..... | 50 |
| 2.3.1 Výsledky termodiagnostiky..... | 50 |
| 2.3.2 Výsledky Blower door testu..... | 51 |
| 2.3.3 Výsledky dlouhodobého sledování vnitřního klimatu..... | 52 |

| | |
|--|----|
| 2.4 Návrh opatření pro zlepšení stavu objektu..... | 54 |
| ZÁVĚR..... | 56 |
| SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ..... | 57 |
| PŘÍLOHA A | |
| PŘÍLOHA B | |
| PŘÍLOHA C | |

ÚVOD

Poznání skutečného stavu věci je nezbytné pro určení způsobu, jak se k dané věci chovat. Je nezbytné pro určení její hodnoty. A také je nezbytné pro určení možností, jak řešit problémy, které mohou u dané věci vyvstat.

Toto platí obecně a obzvlášť to platí, pokud tou danou věcí je dům.

Cílem této bakalářské práce je poznání skutečného stavu vybraného domu a nástin řešení, jak tento stav zlepšit.

Pro zjištění reálného stavu věci je nutné znát a umět používat nástroje, které k tomuto poznání slouží. Tuto práci jsem proto rozdělil na dvě části.

První část jsem věnoval některým diagnostickým metodám, které umožňují poznání skutečného stavu, jeho příčin a důsledků. Druhá část se zabývá samotným procesem poznávání skutečného stavu, pasportizací. Zjišťuji a popisuji vlastnosti, možnosti i limity vybraného domu. Dále za použití diagnostických metod zjišťuji příčiny problémů domu a navrhuji možnosti jejich odstranění.

1 Diagnostika staveb

Pasportizace stavby je proces zjišťování a popisování skutečného stavu stavby. Pro zjištění skutečného stavu se využívají různé popisovací, detekční a hodnotící metody, které se souhrnně označují **diagnostika staveb**.

Metod diagnostiky staveb existuje velké množství, což vyplývá z nepřehledného množství kritérií a parametrů, které se ve stavebnictví sledují. Pro tuto práci jsem vybral diagnostické metody, se kterými jsem se setkal při studiu nebo v praxi a měl jsem možnost si je osobně vyzkoušet.

1.1 Kontrola těsnosti hydroizolace

Hydroizolace je část stavby, která chrání stavební konstrukci nebo její část před nežádoucím vnikáním vody. [9]

Těsnost hydroizolační vrstvy je základním předpokladem pro splnění její funkce. Zde uváděné kontrolní metody patří mezi nejčastěji používané a slouží především ke zkoušení povlakových hydroizolací. Povlakové hydroizolace jsou hydroizolační vrstvy, které brání pronikání vody v kapalném a pevném skupenství. Jejich izolační vlastnosti vycházejí z vlastností použitých materiálů, jejich celistvosti a spojitosti. [14] Povlakové hydroizolace se nejčastěji realizují z asfaltových pásů nebo syntetických fólií (měkčené PVC).

1.1.1 Orientační kontrola

Metody orientační kontroly slouží k posouzení kvality provedení hydroizolační vrstvy a k odhalení zjevných závad. Těmito metodami nelze objektivně posoudit těsnost hydroizolace. [10]

1.1.1.1 Vizualní prohlídka

Jedná se o nejjednodušší možnost kontroly, kterou by měl ovšem provádět pouze zkušený pracovník. K jejímu provádění se nepoužívá žádná speciální technika.

Prohlídka spojů

V případě použití asfaltových pásů se u spojů posuzuje jejich přímost, velikost překrytí a rovnoměrnost provedení. [10] Dále se zkoumá výskyt poškození asfaltového pásů např.: obnažení vložky či vznik puchýřů. Pokud se jedná o vícevrstvou hydroizolaci kontroluje se spojení jednotlivých asfaltových pásů

mezi sebou. [14]

Pokud je použita fólie z měkčeného PVC, posuzuje se především tvar svaru a jednotnost jeho průběhu, způsob zaválečkování spoje a výskyt rýh ve svařeném spoji. Prohlídka se provádí po celé délce spoje. [14]

Prohlídka plochy

Vizuální kontrolou plochy se posuzuje, zda nedošlo k narušení povrchu hydroizolace. Pro usnadnění kontroly je vhodné použít tzv. signální fólie, která se skládá ze dvou různě barevných vrstev. V případě poškození vrchní vrstvy prosvítá zespodu barva spodní vrstvy. [14]

1.1.1.2 Jiskrová zkouška

Zkouška se provádí tažením elektrody s napětím 30 až 40 kV rychlostí cca 10 m/min těsně nad povrchem hydroizolace. Poruchy jsou indikovány přeskakujícími jiskrami mezi elektrodou a podkladem a doprovodným zvukovým efektem. Průkaznost zkoušky je závislá na kvalitě uzemnění podkladu pod hydroizolační vrstvou. Zkouškou se dají hodnotit pouze vybraná místa v ploše hydroizolace. [10]

1.1.1.3 Zkouška špachtlí

Jedná se kontrolní metodu určenou pro hydroizolace z asfaltových pásů. Zkouška se provádí tažením izolační špachtle, případně obdobným nástrojem, po spoji s mírným tlakem proti spoji. Průnik nástroje do spoje značí místo s vadným provedením spoje.

1.1.1.4 Zkouška jehlou

Jde o obdobu zkoušky špachtlí určenou pro PVC fólie. Kontrola se provádí tažením kovové kontrolní jehly po spoji. Všechna místa, kde hrot jehly pronikne do svaru, je nutné opravit.



Ilustrace 1: Zkouška spoje asfalt. pásů špachtlí resp. obdobným nástroje [4]

1.1.2 Objektivní namátková kontrola

Výsledky metod objektivní kontroly lze oproti vizuální kontrole popsat a zhodnotit pomocí fyzikálních veličin. Měření jsou prováděny kalibrovanými přístroji a pokud je třeba, lze je jednoduše opakovat.

Objektivní namátková kontrola se zaměřuje na ověření lokální těsnosti hydroizolace a to především v místech, která se jeví jako riziková. [14]

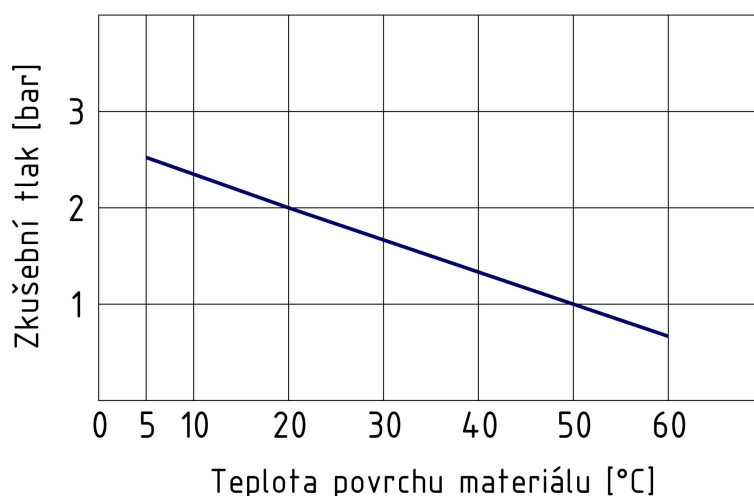
1.1.2.1 Podtlaková zkouška zvony

Podtlaková zkouška zvony je určena pro lokální kontrolu plochy i spojů. Před jejím zahájením se na povrch hydroizolace nanese indikační kapalina (zpravidla roztok saponátu ve vodě). Poté se na vybraná místa přikládá průhledný zvon, který je hadicí připojen k vakuovému čerpadlu s manometrem. Uvnitř zvonu se vytvoří podtlak cca 0,02 MPa, tento podtlak by měl být konstantní po dobu 10 s. Případné netěsnosti se projevují bublinami, které se tvoří v indikační kapalině. [10]

1.1.2.2 Tlaková zkouška těsnosti spojů

Spoje zkoušené touto metodou musí být dvojité či přeplátované. Zkouška je vhodná pro hydroizolaci ze syntetických fólií a umožňuje kontrolu spoje po celé jeho délce během jednoho měření. Provedení zkoušky je možné nejprve 1 hodinu po provedení svaru. Zkoušení se provádí pomocí zařízení s regulovatelným zdrojem stlačeného vzduchu, jehlou a manometrem.

Oba konce zkoušeného spoje je nutné před zahájením zkoušky uzavřít, poté se zasune jehla zařízení mezi svary dvojitého spoje a zkušební kanálek se natlakuje vzduchem. Zkušební tlak je závislý na teplotě povrchu fólie (viz *Ilustrace 2*). Po nafouknutí kanálku následuje cca 5 minutová přestávka nutná pro dotvarování spoje. Potom se sleduje stálost tlaku po dobu 10 min. Pokud během zkušební doby nepoklesne tlak o více než o 10 %, je výsledek zkoušky kladný. Poté se otevře konec zkoušeného spoje vzdálenější od vstupu jehly a zkontroluje se, zda zkušební tlak klesne na nulu. Tak se ověří průchodnost spoje. [10]



Ilustrace 2: Závislost zkušebního tlaku na teplotě povrchu materiálu (převzato z [10])

1.1.3 Objektivní plošná kontrola

Zkoušky plošné kontroly umožňují ověření těsnosti hydroizolace v ploše i ve spojích. Rozsáhlejší konstrukce jsou rozděleny na menší zkušební části. [14]

1.1.3.1 Vakuové zkoušky spojů a plochy

Zkouška je vhodná pro dvojité hydroizolační vrstvy ze syntetických fólií propojených do sektorů. Zkoušení se provádí pomocí vývěvy a měřicí soupravy opatřené uzavíracím ventilem a manometrem s dělením maximálně 0,01 bar. Vakuovou zkoušku je možno provést nejdříve 1 hodinu po svaření spoje.

Ze zkušebního sektoru propojeného hadicí se zkušebním zařízením je odsáván vzduch a to na hodnotu 20% atmosférického tlaku a nižší. Během vysávání se kontroluje změna tlaku uzavíráním ventilu. Po ustálení tlaku se ventil zavře a

přístroj se vypne. Zkoušený sektor je těsný, pokud po 10 min od uzavření ventilu dojde k ustálení podtlaku a celkový nárůst tlaku není větší než 20 % dosaženého podtlaku. [10]

1.1.3.2 Zátopová zkouška

Zátopová zkouška je principiálně velice jednoduchá a umožňuje kontrolu těsnosti plochy, spojů i detailů hydroizolace zároveň. Spočívá v zatopení celého zkoušeného prostoru vodou (nejlépe obarvenou) a sledování průsaků. Zkouška je ovšem velmi riziková z hlediska možnosti poškození konstrukcí pod hydroizolační vrstvou a z tohoto důvodu se doporučuje provádět pouze případech, kdy není možné ověřit těsnost izolace jinou metodou.



Ilustrace 3: Zátopová zkouška ploché střechy (převzato z [28])

1.2 Termodiagnostika

Termodiagnostika (nebo také termografie či termovizní snímkování) je nedestruktivní metoda k určení povrchové teploty zkoumaných objektů. K provádění termodiagnostiky se používá různá měřicí technika, především pak infračervené (IČ) termovizní kamery. Výstupem termovizního měření je zpravidla termogram (termovizní snímek).

Termografie je metoda, při které se teplota povrchu neměří přímo. Teplota je dopočítána na základě změřené intenzity IČ záření a zadaných okrajových podmínek.

1.2.1 Přenos tepla

Teplota je forma energie, která se šíří nezávisle na daném prostředí, pokud v tomto prostředí existují místa s rozdílnými teplotami. Šíření tepla probíhá vždy od místa s vyšší teplotou k místu s nižší teplotou. [12]

Přenos tepla probíhá v závislosti na prostředí těmito způsoby:

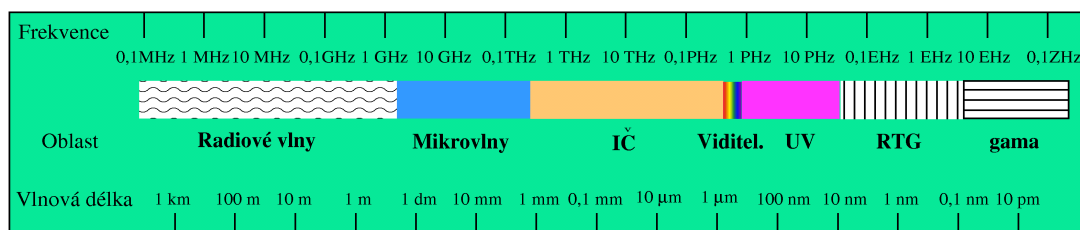
- vedením neboli **kondukcí**;
- prouděním neboli **konvekcí**;
- **sáláním** neboli **radiací**.

Přenos tepla zářením není vázán na žádné hmotné prostředí. Jakákoliv hmota, jejíž teplota je vyšší než absolutní nula ($0\text{ K} \approx -273,15\text{ °C}$) emituje do prostoru energii ve formě elektromagnetického záření.

Termografie využívá vlnové pásmo infračerveného záření. IČ pásmo se nachází mezi viditelným a mikrovlnným zářením (viz *Ilustrace 4*), je vymezeno rozsahem vlnových délek od $\lambda = 0,75\text{ }\mu\text{m}$ až $1,00\text{ mm}$. IČ se dále rozděluje na tyto oblasti:

- blízké IČ záření (NIR - Near IR), $0,75\text{ }\mu\text{m}$ až $1,40\text{ }\mu\text{m}$;
- IČ záření krátkých vlnových délek (SWIR - Short Wave IR), $1,40\text{ }\mu\text{m}$ až $3,00\text{ }\mu\text{m}$;
- IČ záření středních vlnových délek (MWIR - Medium Wave IR), $3,00\text{ }\mu\text{m}$ až $5,50\text{ }\mu\text{m}$;
- IČ záření dlouhých vlnových délek (LWIR - Long Wave IR), $5,50\text{ }\mu\text{m}$ až $15,00\text{ }\mu\text{m}$;
- IČ záření velmi dlouhých vlnových délek (FIR - Far IR), $15\text{ }\mu\text{m}$ až 1 mm .

Toto dělení se využívá pro označení pracovního pásma termografické techniky. [16]



Ilustrace 4: Elektromagnetické spektrum [26]

Zářivá energie v IČ spektru může být generována třemi typy zdrojů - luminiscenčními, radiovými a tepelnými. Pro termografii jsou nejdůležitější zdroje tepelné, proto je často IČ záření považováno za záření tepelné.

Objekty v běžných podmínkách emitují nejvíce dlouhovlnné záření o vlnové délce $\lambda = 8,0 \mu\text{m}$ až $12,0 \mu\text{m}$, čemuž je přizpůsobená stavební termovizní technika. [16]

1.2.2 Teorie termodiagnostiky

Termografie spočívá v zaznamenávání emitované energie ze sledovaných předmětů. Vzhledem k tomu, že je záznam ovlivňován dalšími fyzikálními vlivy, je nutné sledovat i další parametry. Tyto parametry jsou základem korekce změřeného infračerveného záření, která umožňuje určení povrchové teploty sledovaného předmětu.

1.2.2.1 Termografické parametry

Emisivita

Emisivita je poměr energie vyzařované z povrchu objektu k vyzařované energii absolutně černého tělesa (teoretický ideální zdroj a pohlcovač IČ záření všech délek) se stejnou teplotou jako má objekt. [16]

Součinitel emisivity povrchu ε [-] je jedním z nejdůležitějších parametrů termografie. Emisivita udává schopnost povrchu tělesa vyzařovat teplo ve formě IČ záření. Emisivita je závislá na mnoha faktorech, např.: typu materiálu; stavu, struktuře a barvě povrchu, vlnové délce záření.

Provádění termografického snímkování materiálu se součinitelem emisivity

$\varepsilon < 0,5$ je velmi komplikované. Mezi takovými materiály například leštěné kovy.

Zdánlivá odražená teplota

Zdánlivá odražená teplota nebo také teplota pozadí je teplota objektů (okolní stavební konstrukce, obloha), které se mohou odrážet v povrchu zkoumaného objektu. Vliv teploty pozadí stoupá s poklesem emisivity měřeného povrchu. [14]

Aktuální stav atmosféry

Vliv atmosféry při termografii je třeba zohlednit při každém prováděném měření. Při dešti, sněžení, mlze či vysoké prašnosti ovzduší je atmosféra pro IČ záření nepropustná a termodiagnostiku není možné provádět.

1.2.3 IČ termokamery

Termovizní kamery jsou velmi efektivním nástrojem pro provádění termodiagnostiky. Jejich velkou předností je zobrazování termogramu snímaného povrchu v reálném čase na obrazovce kamery.

Hlavní části termokamery jsou optický prvek (čočka kamery), detektor záření, vnitřní výpočetní technika pro zpracování naměřených dat, displej pro zobrazování snímaného tepelného obrazu. Dále jsou kamery vybavovány ovládacími prvky, digitálním fotoaparátem pro snadnější identifikaci měřených míst či mikrofonom pro záznam hlasových poznámek.

1.2.3.1 Optika termokamer

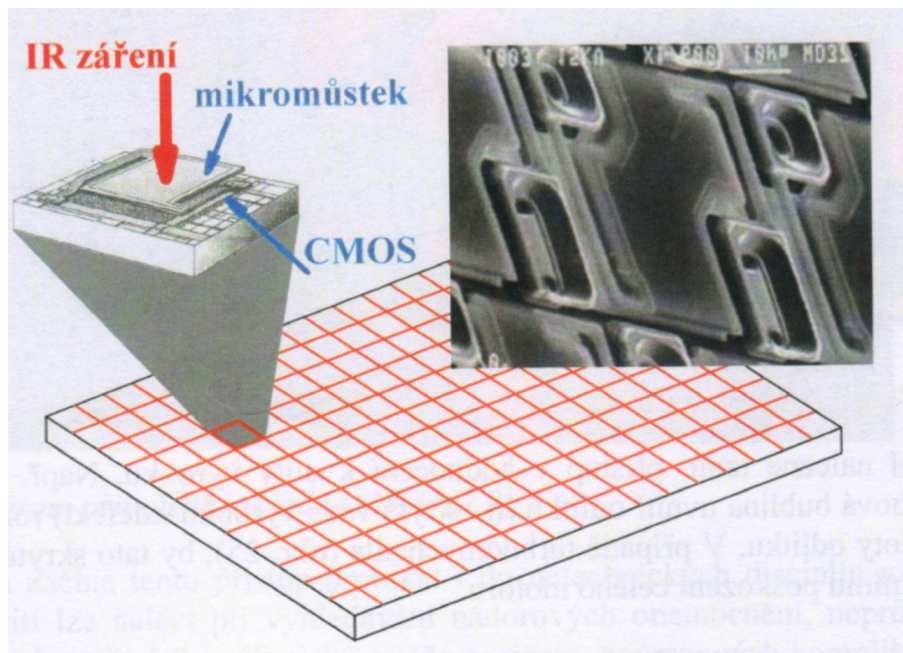
Optický prvek slouží k zaostření zářivého toku na detektor termokamery. Čočka termografických systémů pracujících v oblasti dlouhých vlnových délek (LWIR) je nejčastěji vyráběna z germania. U termografické techniky pracující ve MWIR a SWIR se nejčastěji používají optické prvky z křemíku. [14]

Povrch čoček infračervených objektivů je opatřen tenkým povlakem, který čočku chrání před poškrábáním a zároveň eliminuje pronikání nežádoucího záření k čočce.

1.2.3.2 Detektory termokamer

Detektory slouží k zachycení infračerveného záření, jeho zpracování na elektrický signál, který je odeslán do výpočetní části přístroje k přepočtu na teplotu. Ve stavební termovizní technice se nejčastěji používají maticové detektory FPA (Focal Plane Array), jedná se o detektory s dvourozměrným polem

složeným z jednotlivých miniaturních bolometrů (bolometr využívá změny elektrického odporu elementu detektoru vlivem změny teploty). Počet mikrobolometrů v poli určuje rozlišení přístroje.



Ilustrace 5: Ukázka maticového mikrobolometru (převzato z [16])

Rozlišení displeje je důležitým parametrem přístroje. Čím je rozlišení vyšší, tím jsou pořízené snímky kvalitnější, ovšem tím také stoupá cena termokamery.

Dalšími důležitými parametry detektoru jsou spektrální rozsah kamery a teplotní citlivost NETD. Spektrální rozsah určuje v jakém pásmu IČ spektra termografický systém pracuje. NETD (šumový ekvivalentní teplotní rozdíl) definuje nejmenší teplotní rozdíl, který je detektor schopný detekovat. Uvádí se v °C, K nebo mK při cílové teplotě (př.: 0,05 °C při 30 °C). Čím nižší NETD, tím je přístroj citlivější. [14] [16]

1.2.4 Stanovení termografických parametrů

Pro přesné termovizní snímkování je nutné co nejpřesněji určit parametry uvedené v 1.2.2.1

1.2.4.1 Součinitel emisivity materiálu

Součinitel emisivity lze převzít z příslušných tabulek. Je však nutné použít hodnotu pro IČ pásmo, ve kterém pracuje použitý přístroj.

Kontaktní metoda

Kontaktní metoda určení součinitele emisivity spočívá v určení teploty daného povrchu jiným způsobem měření (dotykovým či bezdotykovým teploměrem). Následně se zaměří termokamery na daný povrchu a postupně se upravuje součinitel emisivity, dokud se teplota stanovená kamerou neshoduje s teplotou určenou teploměrem. Po každém zadání nové hodnoty emisivity je třeba nechat kameru ustálit před případným zadáváním další hodnoty. Přesnějších výsledků se dosáhne provedení metody na několika místech zkoumaného povrchu.

Materiál s referenční emisivitou

Pro tuto metodu se využívají referenční vzorky materiálu o vysoké emisivitě ($\varepsilon > 0,95$) ve formě samolepky či spreje, které umístí (či nanesou) na zkoumaný povrch. Po teplotním ustálení se pořídí snímek referenčního vzorku a jeho okolí. Odečte se teplota z povrchu referenčního snímku. Následně se nastaví součinitel emisivity tak, aby teplota zkoumaného povrchu odpovídala teplotě odečtené z povrchu referenčního snímku.

1.2.4.2 Odražená teplota pozadí

Přímá metoda

Spočívá v přímém změření teploty pozadí odražené od zkoumaného povrchu. Při použití této metody se nastaví součinitel emisivity $\varepsilon = 1,0$ a odhadne nejvhodnější úhel pro zachycení odrazu záření od okolních objektů či oblohy. Při použití této metody se musí dbát na to, aby se při určování emisivity neodrážely od povrchu extrémně teplé nebo studené objekty, které by znemožnily správné určení odražené teploty pozadí.

Metoda odrazu

Pro tuto metodu se využívá IČ reflektor. Jedná se o desku ideálně formátu A4, která je obalena zmačkanou hliníkovou fólií. Zmačkaná hliníková odráží IČ záření od okolních objektů či oblohy a při nastavení emisivity $\varepsilon = 1,0$ z ní lze odečíst průměrnou zdánlivou odraženou teplotu.

1.2.5 Termodiagnostické měření

1.2.5.1 Metody termovizního měření

Absolutní měření povrchových teplot

Tato metoda se používá k přesnému určení povrchové teploty. Jedná se o metodu velice náročnou, a proto se v praxi používá spíše výjimečně.

Srovnávací termografie

Tato metoda využívá porovnávání povrchové teploty na jednom či více termosnímčích, které byly pořízeny za stejných nebo různých podmínek. Ve stavební praxi se jedná o nejpoužívanější metody. Srovnávací termografie se dělí na kvalitativní a kvantitativní.

Kvalitativní termografie se využívá pro porovnání rozložení teplot, absolutní hodnoty teploty zde nejsou podstatné (často se u termogramů pořízených kvalitativní termografií neuvádí teplotní stupnice). Pomocí této metody lze detekovat problematické místa konstrukce, nelze ovšem stanovit míru jejich závažnosti.

Pro vyhodnocení míry závažnosti problematických míst se využívá kvantitativní termografie, která stanovuje povrchové teploty s určitou mírou nejistoty. [14]

1.2.5.2 Průběh měření

Klimatické podmínky

Hlavním předpokladem pro provedení termodiagnostiky je dostatečný teplotní rozdíl mezi exteriérem a interiérem (min. 10 °C). Tento rozdíl musí být ustálený a dlouhodobý, proto je vhodné měření provádět v zimním období během topné sezóny.

Dalším předpokladem je eliminace nežádoucího IČ záření. Z tohoto důvodu se měření v exteriéru provádí před východem slunce při zatažené obloze, aby se vyloučil vliv slunečního záření a jasné oblohy. Jasná obloha je velmi studená (< -40 °C) a pro některé termografické přístroje je mimo jejich měřicí rozsah. [14]

Aklimatizace kamery

Před zahájením měření je nutné nechat termokameru v daném, prostředí nechat aklimatizovat, aby nedošlo k nepřesnosti měření.

Zaostření kamery

Každý jednotlivý termosnímek je třeba dobře zaostřit, aby teplotní rozdíly na snímku byly dobře patrné. Nedoostřený snímek znemožňuje detekci problematických míst.

1.2.5.3 Výstup měření - termogram

Termogram (nebo také termovizní snímek) je teplotní mapa, ve které je každé teplotě přiřazena barva. Pro správné čtení termogramu je nezbytné uvádět u každého snímku teplotní stupnici, ze které je patrné přiřazení barev k jednotlivým teplotám.

Termovizní snímky lze v závislosti na použité technice prezentovat v různých barevných paletách. Volba palety je důležitá pro dobré čtení snímku. Na přiložených ilustracích je jeden termogram prezentovaný v různých barevných paletách.

Termogramy jsou hlavním materiálem pro detekci a popis vad a poruch zkoumaných stavebních konstrukcí.



Ilustrace 6: Stupně šedi [4]



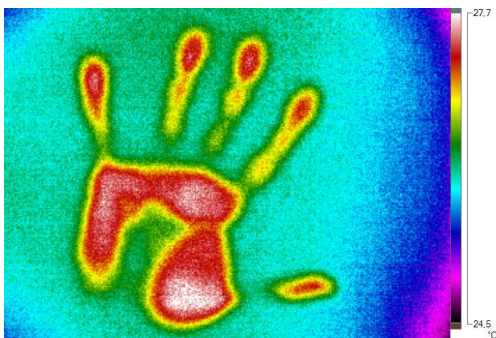
Ilustrace 7: Stupně šedi, invertované [4]



Ilustrace 8: Žlutá [4]



Ilustrace 9: Žlutá, invertovaná [4]



Ilustrace 10: Duha (rain) [4]



Ilustrace 11: Teplý kov [4]

1.2.5.4 Termografický protokol

Termografický protokol je dokument, ve kterém jsou dostupny všechny informace o průběhu termodiagnostiky a jejích výsledků. Jedná se o hlavní komunikační prostředek mezi technikem a zákazníkem. Jeho obsah je stanoven ČSN EN 13187 [5].

1.3 Blower Door test

Blower Door test je nedestruktivní metoda měření vzduchotěsnosti obálky budovy. Blower Door test využívá metodu tlakového spádu s použitím externího ventilátoru. Jedná se o nejpoužívanější způsob určení vzduchotěsnosti, která se v ČR řídí ČSN EN 13829 [6]. [13]

V případě použití během výstavby se doporučuje provést Blower Door test dvakrát. První měření se provádí po dokončení vzduchotěsné vrstvy a zároveň před jejím zakrytím. Díky tomu je možné detekované netěsnosti snadno opravit. Druhé měření se provádí po úplném dokončení stavby k určení vlastní vzduchotěsnosti budovy.

1.3.1 Metoda tlakového spádu

1.3.1.1 Teorie metody

Metoda tlakového spádu vychází z poznatku, že tlakový rozdíl způsobuje proudění vzduchu. Pro účely Blower Door testu se používá empirická rovnice proudění:

$$V = C * \Delta p^n \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (1)$$

V objemový tok vzduchu obálkou budovy [m^3/h]

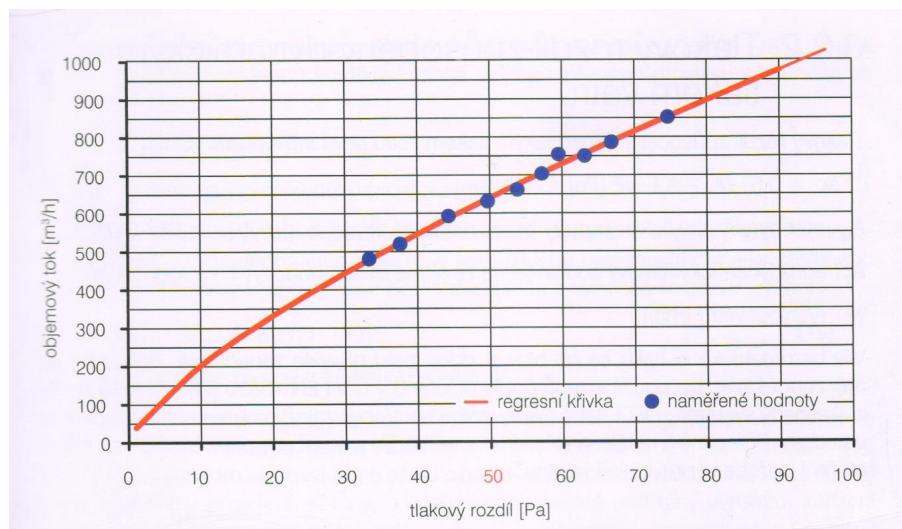
C součinitel proudění [$\text{m}^3(\text{h} \cdot \text{Pa})$]

- Δp rozdíl tlaků [Pa]
 n exponent proudění [-], který popisuje způsob proudění
 (laminární $n = 1,0$; turbulentní $n = 0,5$; reálné $0,5 < n < 1,0$)

Tlakový rozdíl mohou být vyvolány přirozeně či uměle. Mezi přirození zdroje tlakového rozdílu patří dynamický tlak větru a rozdíl teplot. Umělými zdroji jsou například systémy VZT či kamna nebo krby s odtahem do komína. [14]

Metoda tlakového spádu spočívá v opakovaném měření objemového toku vzduchu obálkou budovy při známém tlakovém rozdílu, který se vyvolává pomocí externího ventilátoru s proměnnými otáčkami. [13]

Měřený prostor je vystaven sérii (obvykle se jedná o 6 až 10 kroků) tlakových rozdílů v rozmezí 10 až 60 Pa oproti exteriéru. Pro každou hodnotu tlakového rozdílu je zaznamenána hodnota objemového toku, který je potřebný pro udržení tohoto tlakového rozdílu. Takto zaznamenané hodnoty se vynesou jako body do grafu závislosti objemového toku na tlakovém rozdílu. Mezi tyto body se proloží regresivní křivka (viz *Ilustrace 12*), pomocí které se odečte hodnota objemového toku při tlakovém rozdílu 50 Pa (V_{50}).



Ilustrace 12: Graf závislosti objemového toku na tlakovém rozdílu (převzato z [14])

1.3.1.2 Vzduchotěsnost obálky budovy

Pro vyjádření vzduchotěsnosti obálky budovy se nejčastěji využívá intenzita výměny vzduchu při referenčním tlakovém rozdílu 50 Pa (n_{50}), která se vztahuje

k vnitřnímu objemu a určí se dle vztahu:

$$n_{50} = V_{50} / V \text{ [h}^{-1}\text{]} \quad (2)$$

V_{50} objemový tok při tlakovém rozdílu 50 Pa [m^3/h]

V objem měřeného prostoru [m^3]

[14]

1.3.2 Požadavky

Dle ČSN 73 0540-2 [7] se celková průvzdušnost obálky budovy hodnotí pomocí celkové intenzity výměny vzduchu (n_{50}) při tlakovém rozdílu 50 Pa. Doporučuje se splnění podmínky:

$$n_{50} \leq n_{50,N} \quad (3)$$

$n_{50,N}$ doporučená hodnota celkové intenzity výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa, v h^{-1}

Tabulka 1: Doporučené hodnoty celkové intenzity výměny vzduchu $n_{50,N}$

| Větrání v budově | Doporučená hodnota celkové intenzity výměny vzduchu $n_{50,N}$ [h^{-1}] | |
|---|--|-----------|
| | Úroveň I | Úroveň II |
| Přirozené nebo kombinované | 4,5 | 3,0 |
| Nucené | 1,5 | 1,2 |
| Nucené se zpětným získáváním tepla | 1,0 | 0,8 |
| Nucené se zpětným získáváním tepla v budovách se zvláště nízkou potřebou tepla na vytápění (pasivní budovy) | 0,6 | 0,4 |

Hodnoty úrovně I se doporučuje splnit vždy, hodnoty úrovně II se doporučuje splnit přednostně.

ČSN EN 13829 [6] rozlišuje dvě metody provedení blower door testu:

Metoda A (měření v provozní stavu): provedou se základní opatření např.: uzavření výplní otvorů, větracích klapek atd. Tyto konstrukce se nezalepují.

Metoda B (měření obálky prostoru): provede se vzduchotěsné utěsnění všech otvorů v obálce budovy, kterými může proudit vzduch a které nemají ovlivnit průběh a výsledky měření. Jedná se především o větrací klapky, komíny či klapky vzduchotechnickým systémem.

Požadované hodnoty v tabulce 1 se vztahují k metodě B.

1.3.3 Měřicí technika

Zařízení pro provádění Blower Door testu se skládá z těchto základních částí:

- ventilátor s plynule měnitelnými otáčkami;
- teleskopický rám;
- vzduchotěsná plachta s otvorem pro ventilátor;
- regulátor otáček;
- zařízení pro měření objemového toku vzduchu a tlakového rozdílu.

Ventilátory pro Blower Door test se vyrábí v několika výkonových kategoriích, pro měření rodinných domů se obvykle používají ventilátory o maximálním výkonu 1 000 až 15 000 m³/h.

Teleskopický rám a plachta slouží k osazení ventilátory do stavebního otvoru (viz *Ilustrace 13*).



Ilustrace 13: Osazení ventilátoru pomocí teleskopického rámu a plachty [4]



Ilustrace 14: Vlevo přístroj pro měření tlaků a objemových toků, vpravo regulátor otáček ventilátoru [4]

1.3.4 Průběh zkoušky

1.3.4.1 Příprava měření

Stanovení objemu a ploch

Před samotným je nutné určit vnitřní objem měřeného prostoru V [m³].

Pro účely Blower Door testu se uvažuje vnitřní jako součin čisté podlahové plochy (neodečítají se vnitřní dělicí konstrukce) a průměrné výšky prostoru. Dále se určuje plocha obálky A_E [m²] a čistá podlahová plocha A_F [m²]. [14]

Klimatické podmínky

Působení dynamického tlaku větru na obálku zkoumaného objektu může zásadně ovlivnit výsledky měření. Z tohoto důvodu se měření neprovádí při rychlosti větru 6 m/s a více nebo při dosažení 3° na Beaufortově stupnici. Posouzení rychlosti větru je vhodné provádět v průběhu celého měření.

| Stupeň | Rychlost větru [m/s] | Slovně | Znaky na souši |
|--------|----------------------|--------------------|--|
| 0 | 0 - 0,2 | bezvětří | kouř stoupá svisle vzhůru |
| 1 | 0,3 - 1,5 | vánek | kouř nestoupá svisle vzhůru, korouhev nereaguje |
| 2 | 1,6 - 3,3 | slabý vítr | korouhev v pohybu, listí šelestí, vítr je cítit na tváři |
| 3 | 3,4 - 5,4 | mírný vítr | listy a větvičky v pohybu, vítr napíná prapory |
| 4 | 5,5 - 7,9 | dosti čerstvý vítr | vítr zvedá prach, pohybuje slabšími větvemi |
| 5 | 8,0 - 10,7 | čerstvý vítr | vítr hýbe listnatými keři, malé stromky se ohýbají |
| 6 | 10,8 - 13,8 | silný vítr | vítr pohybuje silnějšími větvemi, používání deštníku se stává obtížnější |
| 7 | 13,9 - 17,1 | prudký vítr | vítr pohybuje celými stromy, chůze proti větru je obtížná |
| 8 | 17,2 - 20,7 | bouřlivý vítr | vítr láme větve, vzpřímená chůze proti větru je nemožná |
| 9 | 20,8 - 24,4 | vichřice | vítr působí menší škody na stavbách, strhává tašky ze střechy |
| 10 | 24,5 - 28,4 | silná vichřice | vítr vyvrací stromy a ničí domy |
| 11 | 28,5 - 32,6 | mohutná vichřice | rozsáhlé zpustošení plochy |
| 12 | 32,7 a více | orkán | ničivé účinky, vítr odnáší střechy a pohybuje těžkými předměty |

Tabulka 2: Beaufortova stupnice síly větru

Příprava objektu

S ohledem na zvolenou metodu (A či B viz 1.3.2) se provedou vhodná přípravná opatření. Pokud se používá metoda A, otevřou se všechny vnitřní dveře, vypnou se spalovací spotřebiče (např.: sporáky či kamna) a systémy vzduchotechniky. Při použití metody B se provedou stejná opatření jako v případě

metody A a navíc se uzavřou všechna okna a vnější dveře a utěsní se vstupy do kanalizačního potrubí, podlahové vpusti apod.

1.3.4.2 Osazení zařízení Blower Door

Pro osazení zařízení se vybere vhodný stavební otvor. V rodinných domech se volí zpravidla vstupní dveře. Pokud je vybrán stavební otvor mezi dvěma interiérovými prostory, je nutné zajistit přístup vzduchu z exteriéru do neměřeného interiéru např.: otevřením oken.

Dále se umístí externí čidlo (hadička) zařízení pro měření tlakových rozdílů. Hadička nesmí být vedena svisle, nesmí být vystavena razantním změnám teplot a slunečního záření a její konec nesmí být umístěn v blízkosti překážky.

Měřicí a výpočetní technika se umísťuje mimo proud vzduchu z ventilátoru, aby nedošlo k ovlivnění výsledků měření. [14]

1.3.4.3 Měření

Pro každou budovu se provádí měření při podtlaku a přetlaku. V obou případech probíhá měření stejně.

1. Tlakový rozdíl při nulovém objemovém toku vzduchu na začátku měření

Stanoví se tlakový rozdíl při vypnutém a zakrytém ventilátoru, tedy přirozený tlakový rozdíl, který je dán účinky větru a rozdílu teplot. Probíhá ve třech fázích. V první se po dobu 30 s zaznamenává 10 hodnot kladných tlakových rozdílů. V druhé se stejnou dobu zaznamená 10 hodnot záporných tlakových rozdílů. V případě, že je jedna ze změřených absolutní hodnot větší než 5, není možné v měření pokračovat a je nutné vyčkat na lepší podmínky. V poslední fázi se po dobu 30 s zaznamenává minimálně 10 hodnot všech tlakových rozdílů pro účely konečného vyhodnocení.

2. Tlakový rozdíl při nenulovém objemovém toku vzduchu (samotné měření)

Pomocí odkrytého ventilátoru se vyvolávají různé tlakové rozdíly a zároveň se zapisuje objemový tlak potřebný k udržení vyvolaného tlakového rozdílu. Nejmenší tlakový rozdíl je 10 Pa. Pro dobré vyhodnocení měření je nutné vytvořit minimálně 6 dvojic hodnot (optimálně 10 dvojic) tlakový rozdíl, objemový tok. Alespoň jeden z tlakových rozdílů musí být nižší než 50 Pa a zároveň jeden musí být vyšší než 50 Pa.

3. *Tlakový rozdíl při nulovém objemovém toku vzduchu na konci měření*

Tato část probíhá obdobně jako na začátku měření. Znovu se určí 10 kladných, 10 záporných a 10 všech hodnot tlakových rozdílů při vypnutém a zakrytém ventilátoru. Pro platnost měření je nutné splnit stejnou podmínku jako v 1. bodě pro zahájení měření. [14]

1.3.4.4 Vyhodnocení měření

Vyhodnocení probíhá nejčastěji zadáním naměřených hodnot do příslušného softwaru, který dopočítá požadované hodnoty pro určení vzduchotěsnosti. Další možností je využít vztahy a postupy v ČSN EN 13829 [6].

Přesnost měření je dána korelačním součinitelem. Při korektním průběhu zkoušky by měl být korelační součinitel větší než 0,95, v případě dobrých podmínek větší než 0,99.

Výstupem Blower Door testu je zkušební protokol, jehož obsah je dán ČSN EN 13829 [6].

1.3.5 Metody odhalování netěsností

Detekce netěsných míst v obálce budov je důležitou součástí Blower Door testu. Lokalizované netěsnosti je možné následně opravit a přispět tak ke zlepšení vzduchotěsnosti budovy.

1.3.5.1 Holá ruka

Metoda holé ruky je nejjednodušším způsob odhalování netěsností. Používá se při podtlaku v interiéru a je možné ji využít po celý rok. Riziková místa konstrukce se hodnotí přiložením holé ruky, netěsnost indikuje proud vzduchu. Pro zvýšení citlivosti "detektoru" je vhodné ruku navlhčit.

1.3.5.2 Dým v interiéru

Metoda dýmu v interiéru je velmi názorná metoda, kterou lze využít celoročně při podtlaku i přetlaku v interiéru. K jejímu provádění se používají zdroje dýmu (kouřozdroje, kouřové trubice). Dým je v blízkosti netěsnosti stržen proudem vzduchu, čímž se možné danou netěsnost lokalizovat.

1.3.5.3 Detekce anemometrem

Anemometr je přístroj pro měření rychlosti proudění vzduchu.

Vyhledávání netěsností pomocí anemometru je nejběžnější metodou detekce netěsností. Tato metoda se provádí zpravidla v interiéru při podtlaku a lze s ní vhodně doplnit metodu holé ruky, kdy se pomocí anemometru přesněji lokalizuje místo netěsnosti. [13]

Provádí se měřením proudění vzduchu v blízkosti míst s předpokládanou netěsností. Při měření se sledují pouze dva stavy. První stav, kdy vzduch v blízkosti anemometru neproudí (0,0 m/s), značí že zkoumané místo je vzduchotěsné. Druhý stavby, kdy je zaznamenán proud vzduchu ($> 0,00$ m/s), indikuje netěsnost. [14]



Ilustrace 15: Použití anemometru pro detekci netěsností (převzato z [27])

1.3.5.4 Termovizní snímkování

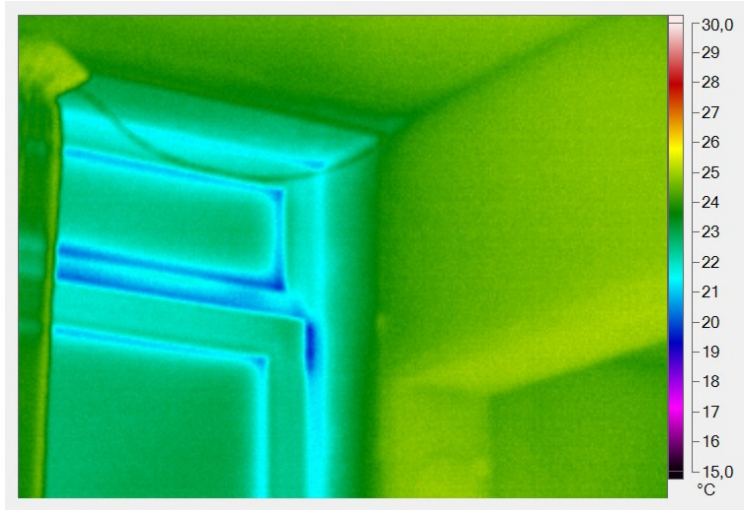
Použití termografie při Blower Door testu je velmi účinná metoda detekce netěsností. Oproti výše zmíněným metodám ji lze provádět pouze při dostatečném teplotním rozdílu, proto je vhodné ji provádět v průběhu topné sezóny. Tuto metody lze využít při podtlaku i přetlaku v exteriéru.

Při podtlaku v interiéru se termografie provádí uvnitř zkoumaného objektu. Podtlakem přiváděný studených vzduch z exteriéru (při provádění v zimním období) ochlazuje konstrukce v blízkosti netěsnosti. Ochlazené místo konstrukce je patrné na termogramu. Pro dobré vyhodnocení této metody je vhodné pořídít termogram před provedením Blower Door testu za normálního tlaku a poté za podtlaku. Srovnáním takto pořízených termosnímků lze velmi přesně určit místa netěsností. Tento postup je dobře patrný na Ilustraci 17 a 18.

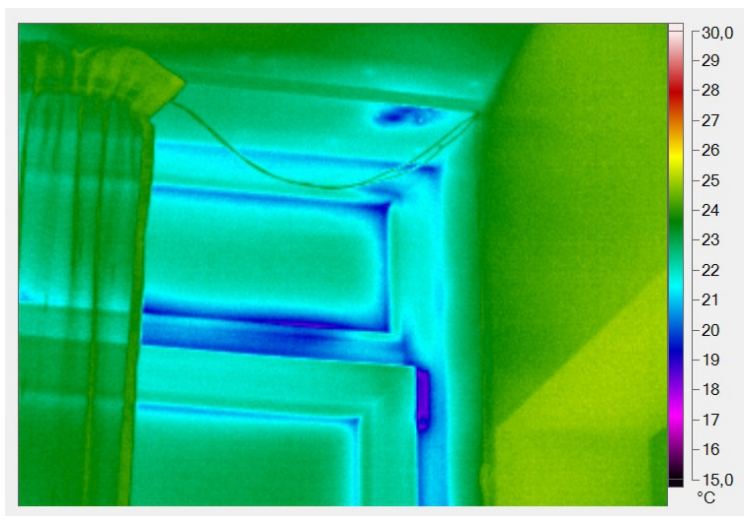
Při přetlaku v interiéru se termografické měření provádí z exteriéru, kde jsou netěsná místa ohřívány vzduchem z vnitřního prostředí. Detekce netěsností probíhá analogicky jako případě podtlaku v interiéru.



Ilustrace 16: Fotografie zkoumaného detailu při termovizním měření za podtlaku, [4]



Ilustrace 17: Termogram zkoumaného detailu za normálního tlaku [4]



Ilustrace 18: Termogram zkoumaného detailu při podtlaku [4]

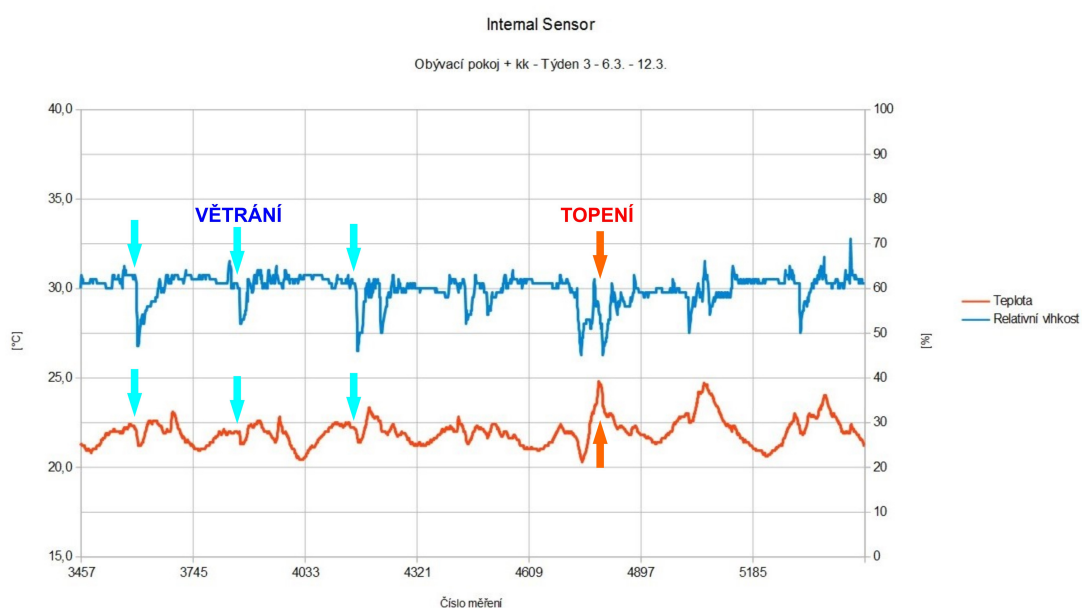
1.4 Sledování parametrů vnitřního klimatu

Pomocí parametrů vnitřního klimatu lze objektivně hodnotit kvalitu vnitřního prostředí. Ve vztahu k problematice daného prostoru je vždy třeba vybrat vhodné hodnotící parametry a dobu sledování. Mezi nejčastěji sledované parametry patří teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu a koncentrace oxidu uhličitého.

1.4.1 Měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu

Pro získání dobrého přehledu o režimu vnitřního prostředí se používá dlouhodobé sledování teploty a relativní vlhkosti vzduchu. Doba měření se pohybuje v řádech dnů až týdnů, aby bylo možné získat dostatek dat pro vyhodnocení. K tomuto měření je vhodné využít kombinované zařízení pro měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu, které disponuje možností zaznamenávat a ukládat naměřené hodnoty v daném časovém intervalu (datalogery).

Z takto získaných dat lze následně zpracovat grafy, ve kterých je možné posuzovat režim užívání měřeného prostoru.



Ilustrace 19: Příklad grafu - teplota a relativní vlhkost vzduchu v čase [4]

Na *Ilustraci 19* je zobrazen způsob posuzování režimu vnitřního prostředí. Pokud křivka teploty a křivka relativní vlhkosti v jednom časovém úseku klesají, probíhalo v daném čase v měřeném prostoru větrání. Pokud teplota stoupá a vlhkost klesá, probíhalo topení.

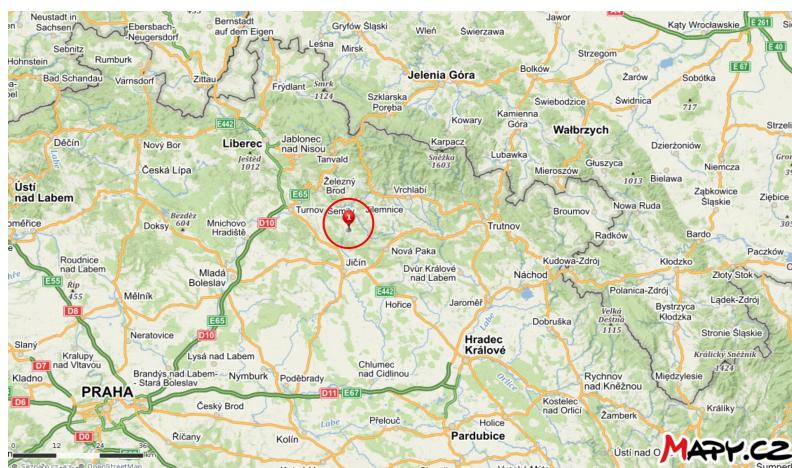
2 Diagnostika vybraného objektu

2.1 Zkoumaný objekt

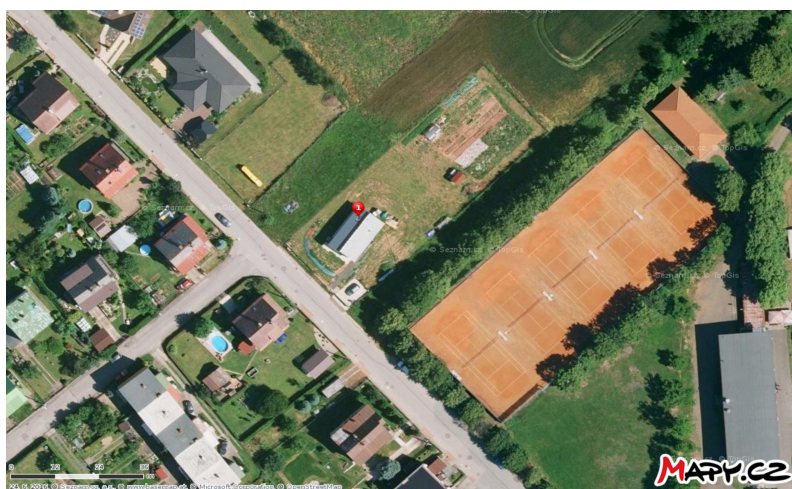
2.1.1 Popis a umístění objektu

2.1.1.1 Umístění objektu

Stavba se nachází v obci Lomnice nad Popelkou (Liberecký kraj) v Podkrkonoší. Dům je umístěn na okraji města cca 495 m. n. m. v mírném svahu těsně pod hřebenem. Objekt je z větší části obklopen zástavbou rodinných domů, dále sousedí s areálem letního sportovního stadionu, jehož hranici lemuje souvislá řada vzrostlých listnatých stromů. Směrem na sever od objektu (směrem k hřebeni) se nachází otevřená plocha využívaná jako pole. Umístění objektu je dobře patrné z přiložené mapy a satelitního snímku.



Ilustrace 20: Umístění objektu - mapa (převzato z [24])



Ilustrace 21: Umístění objektu - satelit (převzato z [24])

2.1.1.2 Vybrané informace o stavbě z katastru nemovitostí

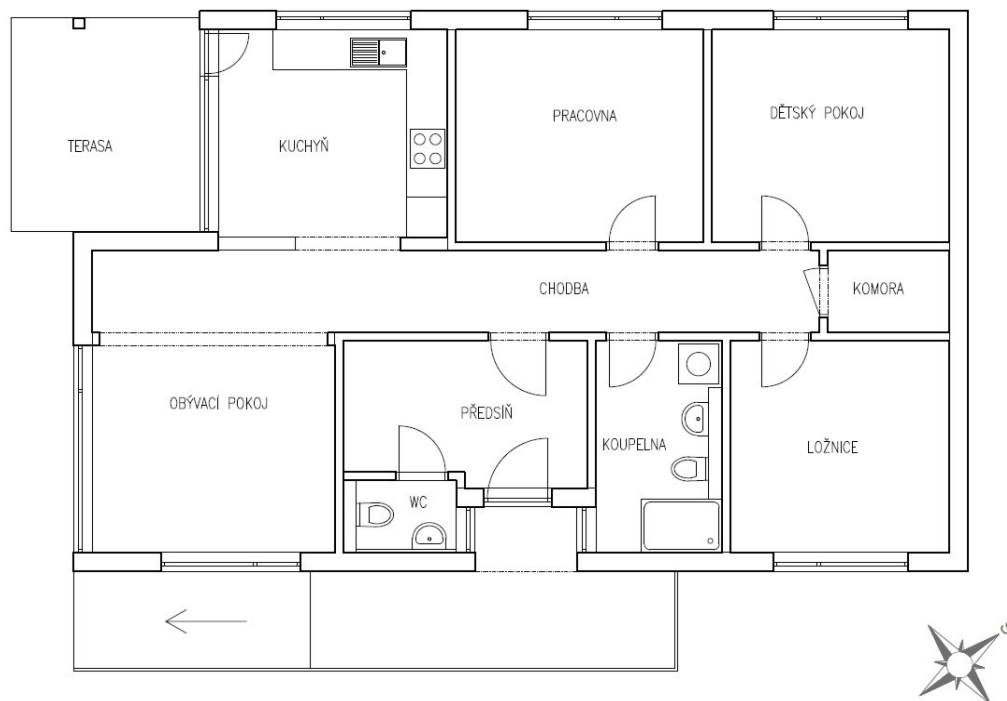
| | |
|--------------------------|--------------------------|
| Stavba: | č. p. 1440 |
| Katastrální území: | Lomnice nad Popelkou |
| Stavba stojí na pozemku: | p. č. st. 2721 |
| Typ stavby: | budova s číslem popisným |
| Způsob využití: | rodinný dům |
| Ulice: | gen. Ludvíka Svobody |

2.1.1.3 Popis objektu

Jedná se o jednopodlažní rodinný dům vycházející z typového domu MYSET maximal o jedné bytové jednotce a dispozici 4+kk.

Objekt je řešen jako energeticky úsporná (nízkoenergetická) dřevostavba z konstrukčního systému K-Kontrol[®] založená na zemních vrutech. Tvar stavby připomíná podlouhlý kvádr. Zastřešení tvoří dvě pultové střechy. Dům je orientován prosklenou částí směrem k jihozápadu, aby byly maximalizovány solární zisky.

Celková zastavěná plocha domu je 110,5 m².



Ilustrace 22: Půdorysné schéma objektu [4]

| Místnost | Podlahová plocha místnosti [m ²] | Světlá výška místnosti [m] | Objem místnosti [m ³] |
|--------------------|--|----------------------------|-----------------------------------|
| Obývací pokoj + kk | 28,31 | 2,75 (2,55 kuchyň) | 73,87 |
| Pracovna | 11,45 | 2,55 | 29,19 |
| Dětský pokoj | 10,97 | 2,55 | 27,97 |
| Komora | 2,22 | 2,45 | 5,43 |
| Ložnice | 11,20 | 2,55 | 28,55 |
| Koupelna | 5,55 | 2,55 | 14,16 |
| Chodba | 7,72 | 2,45 | 18,81 |
| Předsíň | 7,42 | 2,55 | 18,92 |
| WC | 1,67 | 2,55 | 4,25 |
| Celkem | 86,51 | - | 221,15 |

Tabulka 3: Geometrické rozměry místností [4]

Tabulka 3 uvádí geometrické rozměry místností ve zkoumaném objektu.

Zde je nutné podotknout, že ložnice, která je vybavena dvoulůžkovou postelí a disponuje plochou 11,20 m², nesplňuje požadavky ČSN 73 4301 - Obytné budovy [8]. Tato norma požaduje pro ložnici se dvěma lůžky minimální podlahovou plochu 12 m².

Rozdíl mezi požadovanou a reálnou hodnotou místnosti se může jevit jako malý a zanedbatelný, nicméně je třeba přihlídnout ke skutečnosti, že v ložnici je umístěna velká vestavěná šatní skříň přes celou délku a výšku jedné stěny, která ubírá místnosti další podlahovou plochu, potažmo objem.



Ilustrace 23: Pohled na objekt ze západu, [4]



Ilustrace 24: Pohled na objekt z jihu, [4]



Ilustrace 25: Pohled na objekt ze severovýchodu, [4]

2.1.1.4 Technické řešení objektu

Konstrukční řešení objektu vychází ze systému K-Kontrol®. Tento univerzální systém pro svislé i vodorovné konstrukce využívá jako základní prvek samonosný sendvičový, který se skládá ze dvou OSB desek a výplně ze samozhášivého EPS. Panel tak kombinuje funkci nosnou a tepelně izolační. Výhodou tohoto systému je jeho velká variabilita a jednoduché použití. [22]

Založení objektu

Objekt je založen na zemních vrutech, na kterých jsou uloženy lepené konstrukční hranoly DUO 160/200. Hranoly jsou k zemním vrutům připevněny pomocí vrutů.

Svislé konstrukce

Obvodové stěny tvoří nosné panely K-Kontrol tl. 210 mm (15 mm OSB, 180 mm EPS, 15 mm OSB).

Vnitřní nosné stěny tvoří panely stejného systému tl. 170 mm. Vnitřní nenosné dělicí stěny jsou řešeny SDK příčkami tl. 125 mm.

Vodorovné konstrukce

Základní vodorovnou konstrukci tvoří výše zmíněné hranoly DUO 160/200. Na tyto hranoly je umístěna nosná konstrukce podlahy z panelů tl. 230 mm systému K-Kontrol, které jsou kladeny kolmo na hranoly. Mezi podlahovým panelem a terénem je ponechána provětrávaná mezera o výšce cca 350 mm.

Stropní nosná konstrukce je tvořena panely K-Kontrol tl. 230 mm, stropní rovina se svažuje směrem k severovýchodnímu štítu.

Střechy

Nosnou konstrukci střechy tvoří z větší části sbíjené dřevěné vazníky. Část konstrukce je řešena trámovou konstrukcí, kvůli uvolnění dispozice pro vytvoření úložného prostoru. Skladbu střešního pláště tvoří od interiéru pojistná hydroizolační fólie, latě, kontralatě a střešní krytina z pozinkovaného ocelového plechu s plastovou ochranou vrstvou.

Izolace

Parotěsnící izolaci resp. parotěsnou vrstvu tvoří vnitřní OSB deska panelu systému K-Kontrol, spoje panelů jsou pro přelepeny speciální těsnící páskou.

Obvodové stěny domu jsou zatepleny pomocí kontaktního zateplovacího

systému Baumit Open, tloušťka izolační desky je 80 mm.

Výplně otvorů

Okna a balkonové dveře jsou plastové, zasklené izolačním trojsklem. Většina oken je vybavena venkovními protislunečními žaluziemi pro snížení rizika letního přehřívání. Žaluzie jsou ovládány elektronicky pomocí ovladače, který je umístěn u každého okna s žaluziemi.

Vstupní dveře jsou plastové s bezpečnostním kováním.

Vnitřní dveře jsou laminované uložené v laminovaných obložkových zárubních.

Truhlářské a tesařské konstrukce

Konstrukce terasy je řešena KVH hranoly, podlaha terasy je tvořena terasovými prkny ze sibiřského modřínu.

Konstrukce venkovního zápraží s rampou tvoří KVH hranoly. Zápraží je založeno částečně na vlastních zemních vrstech a částečně je připojeno ke spodní konstrukci domu. Podlaha terasy je řešena terasovými prkny ze sibiřského modřínu.

Úprava povrchů

Vnější povrch obvodových stěn tvoří fasádní stěrka ze systému Baumit Open. Vnitřní povrch obvodových stěn a povrch všech vnitřních nosných stěn tvoří SDK obklad připevněný přímo k OSB desce konstrukčního panelu. Podhledy jsou řešeny SDK konstrukcí. Všechny SDK povrchy jsou opatřeny bílou malbou.

V koupelně je proveden keramický obklad do výšky cca 2 m od podlahy.

Nášlapnou vrstvu v obytných místnostech a na chodbě tvoří laminátová podlaha. V koupelně, předsíni a na WC je nášlapná vrstva podlahy řešena keramickou dlažbou.

Technická infrastruktura

Dům je zásobován pitnou vodou z uličního vodovodního řadu. Teplou vodu zajišťuje elektrický bojler umístěný v půdním prostoru.

Splaškové vody jsou svedeny PVC potrubím do uliční jednotné kanalizace. Dešťová voda se likviduje zasakováním na pozemku investora.

Elektroinstalace objektu je řešena CYKY rozvody v připravených dutinách konstrukční panelů z domovního rozvaděče v předsíni domu, který je napojen na přípojně místo v předsíni.

Vytápění

Dům je vytápěn elektrickými podlahovými fóliovými rohožemi, jejichž výkon je možné regulovat pomocí programovatelných ovladačů umístěných v každé místnosti. Koupelně je umístěn topný žebřík.

Větrání

Pro výměnu vzduchu v domě je uvažováno přirozené větrání. V koupelně a na záchodě jsou umístěny větrací ventilátory, v kuchyni je umístěna digestoř.

2.1.1.5 Využití objektu

Stavba je využívána dle původního záměru k trvalému bydlení. Uživatelé domu jsou zároveň jeho majiteli. Změna užívání nastala pouze v případě místnosti WC, která se oproti původnímu záměru využívá jako úložný prostor.

Dům obývá mladá rodina, manželé s dítětem v batolecím věku a s velkým psem. Muž (investor stavby) dojíždí do zaměstnání se směnným provozem. Žena je na rodičovské dovolené. Z těchto faktů vyplývá režim využívání bytu.

V topné sezóně jsou obytné místnosti vytápěny na 20 až 22 °C. Koupelna je vytápěna přibližně na 25°C.

2.1.2 Problémy objektu

2.1.2.1 Historie výstavby

Projektová dokumentace stavby byla zpracována v první polovině roku 2013. Investor zažádal současně žádost o územní souhlas a ohlášení stavebního záměru na začátku srpna 2013, v druhé polovině měsíce uděluje příslušný úřad společný souhlas k oběma žádostem. Následně započala vybraná stavební firma výstavbu.

Vzhledem k nespokojenosti investora s průběhem prací a jejich kvalitou došlo v polovině roku 2014 ke změně dodavatel stavby. Nová stavební firma zajistila dodání a provedení střešní pláště včetně bleskosvodu, vnitřní SDK příčkování a obklady včetně výmalby, elektroinstalace, vodovodních a kanalizačních rozvodů, montáže zařizovacích předmětů, podlah včetně elektrické topné rohože, obkladů koupelny a WC, výplní otvorů, venkovní rampy ke vstupu do domu, kompletní skladby kontaktního zateplovacího systému a všechny revizní zprávy, proplachové a tlakové zkoušky.

Po změně dodavatele došlo také ke změnám řešení stavby oproti PD. Původní

provětrávaný dřevěný obklad fasády byl nahrazen kontaktním zateplovacím systémem Baumit Open. Zde je nutné podotknout, že obklad byl navržen se svislými obkladovými palubkami na jednoduchém vodorovném roštu, který neumožňuje proudění vzduchu. Takto provedený fasádní obklad nelze označit za provětrávaný.

Původně navržené vytápění elektrickými přímotopy bylo nahrazeno elektrickými topnými podlahovými rohožemi. Změněna byla skladba hrubé podlahy, kde byl betonový potěr nahrazen suchou skladbou.

Původní dřevěné schody do závětrí domu byly nahrazeny rozsáhlým dřevěným zápražím s rampou pro usnadnění manipulace s dětským kočárkem.

Dům byl dokončen a zkolaudován na podzim roku 2014.

2.1.2.2 Problémy objektu

Po prohlídce objektu a diskuzi s uživateli domu byly zjištěny tyto problematické skutečnosti:

- vysoká relativní vlhkost vzduchu v interiéru (70 %);
- i přes maximální výkon topení v předsíni, lze v této místnosti dosáhnout maximální teplotu vzduchu 12 °C;
- obtížné zavírání vstupních dveří;
- tvorba plísně na rámu oken a přilehlém ostění ve všech místnostech;
- tvorba plísně v ložnici, dětském pokoji a komoře na severovýchodní stěně domu;
- kondenzace vody na skle okna v místě uložení skla do rámu;
- kondenzace vody na záchodové míse v koupelně a tvorba louže pod mísou,

které se projevují především v zimním období.

Všechny zjištěné problémy snižují uživatelský komfort objektu. Kondenzace vody na stavebních konstrukcích může vést k jejich degradaci a rapidnímu snížení jejich životnosti. Výskyt plísní v interiéru představuje zdravotní rizika. Mimoto se jedná o zásadní estetickou závadu.



Ilustrace 26: Tvorba plísně okolo pantu balkonových dveří [4]



Ilustrace 27: Kondenzát na skle okna [4]



Ilustrace 28: Kondenzát pod záchodovou mísou[4]

2.2 Provedená diagnostika

Pro pasportizaci budovy jsem zvolil nedestruktivní metody, které hodnotí stav a kvalitu tepelné obálky, vzduchotěsné vrstvy a vnitřního klimatu objektu. Tyto oblasti problematiky budovy jsem zvolil, protože mají zásadní význam ve vztahu k zjištěným problémům objektu a jejich diagnostika by měla určit příčiny těchto problémů.

2.2.1 Termodiagnostika objektu

2.2.1.1 Použitá měřící technika

Termodiagnostické měření jsem provedl pomocí **termokamery Fluke Ti32**. Jedná se o ruční termovizní kameru, která je určena pro preventivní údržbu, inspekci budov, energetické audity atp.

Kamera je vybavena LCD displejem a ovládacími prvky, díky kterým je možné kontrolovat a zaostřovat pořizovaný snímek a upravovat její nastavení. Kromě infračerveného objektivu je termokamera vybavená také optickým fotoaparátem.

Každý uložený soubor se skládá z termogramu a fotografie se záběrem stejného místa. To umožňuje dobrou orientaci při následném zpracování dat. Oba snímky lze díky technologii IR-Fusion[®] libovolně prolínat či zobrazit termosnímek jako obraz v obraze (PIP).

Dále je přístroj vybaven zvukovým mikrofonem, který poskytuje možnost ke každému snímku nahrát hlasový komentář o délce až 60 sekund.

Termokamera nabízí několik barevných palet, ve kterých lze termogramy zobrazovat. Všechny tyto palety jsou vybaveny funkcí Ultra Contrast[™], která nabízí velmi výrazné a přehledné podání termosnímku. Při využití této funkce je ovšem nutné brát v potaz, že barvy na snímku neodpovídají teplotní stupnici a odečítání teplot je zavádějící.

Kamerou zaznamenaná data jsou ukládána na vyměnitelnou paměťovou SD kartu, odkud se data mohou přesunout do počítače k dalšímu zpracování. K tomu slouží software SmartView[®], který umožňuje analýzu, úpravu a export snímků a tvorbu výstupních zpráv z měření. V programu je možné dodatečně upravovat okrajové podmínky a teplotní stupnice, měnit barevné palety termosnímku,

nastavovat prolínání s optický snímkem, procházet nahrané poznámky. [19]

K zjištění potřebných parametrů před zahájením samotného termovizní měření jsem použil **měřič teploty a vlhkosti vzduchu Fluke 971**. Tento přístroj disponuje interní pamětí pro uložení až 99 naměřených hodnot, kterou jsem ovšem vzhledem k účelu použití nevyužil.



Ilustrace 29: Termokamera Fluke Ti32, (převzato z [4])



Ilustrace 30: Měřič teploty a vlhkosti Fluke 971, (převzato z [4])

Termovizní kamera Fluke Ti32 - Vybrané technické údaje [19]:

Měření teplot (není kalibrováno pod -10 °C)

Rozsah: -20 °C až $+600\text{ °C}$

Přesnost: $\pm 2\text{ °C}$ nebo 2% , platí větší hodnota
(při nominální teplotě 25 °C)

Zobrazovací výkon

Typ detektoru: Čip FPA (ohniskový rovinný svazek),
320 x 240 bodů, nechlazený mikrobolometr

Tepelná citlivost (NETD): $\leq 0,05\text{ °C}$ při cílové teplotě 30 °C (50 mK)

IČ spektrální rozsah: $8,0\text{ }\mu\text{m}$ až $14\text{ }\mu\text{m}$

Mechanismus zaostřování: ruční

Zorný úhel IR objektivu: 23 ° x 17 °

Prostorové rozlišení (IFOV): 1,25mRad

Min. zaostřovací vzd.: 15 cm

Optická kamera

Rozlišení: 2Mpx

Min. zaostřovací vzd.: 46 cm

Měřič Fluke 971 - Vybrané technické údaje [21]:

Teplota

Rozsah: - 20 °C až + 40 °C s rozlišením 0,1 °C

Přesnost: ± 0,5 °C (při 0 °C do 45 °C, jinak ± 1,0 °C)

Relativní vlhkost

Rozsah: 5 % až 95 % RV

Přesnost: ± 2,5 % RV (při 10 % až 90% RV, jinak ± 5,0 %)
(při nominální teplotě 23 °C)

2.2.1.2 Průběh měření

Termovizní měření jsem provedl 27. února 2017. Na místo jsem dostavil krátce po šesté hodině ranní, abych mohl měření v exteriéru provést před východem slunce a eliminovat tak působení slunečního záření.

Zvolil jsem metodu srovnávací kvantitativní termografie.

S dostatečným předstihem jsem požádal uživatele domu o to, aby během noci před termodiagnostikou nevětrali a to ani pomocí mikroventilace. Toto opatření zajistilo ustálený teplotní rozdíl mezi interiérem a exteriérem.

Klimatické podmínky byly vhodné, obloha byla oblačná, vítr slabý. Rozdíl teplot mezi exteriérem a interiérem byl dostatečný (exteriér -1,2°C, interiér v závislosti na místnosti 18,8 až 21,9 °C).

Před zahájením samotného měření jsem nechal termokameru aklimatizovat a stanovil jsem termografické parametry, které jsem posléze zadal do termokamery. Teploty a relativní vlhkost jsem určil pomocí teploměru a vlhkoměru Fluke 971. Tyto údaje jsem později zpětně ověřil srovnáním hodnot s údaji ze senzoru pro sledování režimu vnitřního prostředí umístěným v exteriéru a potvrdil jsem si tak jejich správnost. Odraženou zdánlivou teplotu jsem stanovil pomocí *Metody odrazu*

(1.2.4.2) pomocí IČ reflektoru. Součinitel emisivity jsem nastavil na hodnotu $\varepsilon = 0,95$.

Postupně jsem obešel celý dům a pomocí kamery zhodnotil celou jeho obvodovou plochu. Z každé strany domu jsem pořídil termosnímek budovy, v případě detekce tepelného úniku jsem pořídil jeho detail. Zvláště jsem se zaměřil na výplně stavebních otvorů.

Před zahájením termodiagnostiky v interiéru jsem nechal kameru aklimatizovat na vnitřní prostředí a opět jsem jsem termografické parametry.

Následně jsem provedl termovizní snímkování uvnitř domu. Opět jsem se zvláště zaměřil na výplně otvorů a na záchodovou mísu v koupelně, na kterém dochází ke kondenzaci vody. Všechna odhalené tepelné průniky jsem nasnímal pro následné vyhodnocení.

2.2.2 Blower door test

Pro provedení Blower door testu jsem požádal o spolupráci pana Ing. Viktora Zwienera, PhD. ze společnosti DEK, který ke zkoušce poskytl měřící techniku a odborné know how.

Blower door test jsme provedli 2.3.2017 v ranních hodinách. Klimatické podmínky byly vyhovující, vítr dosahoval 2° Beaufortovy stupnice. Teplotu vzduchu v interiéru a exteriéru pro účely měření jsme zjistili pomocí zařízení na sledování vnitřního klimatu.

Před přípravou měření jsem provedl termodiagnostické měření objektu, abych získal snímky pro porovnání s termografií za podtlaku.

2.2.2.1 Příprava měření

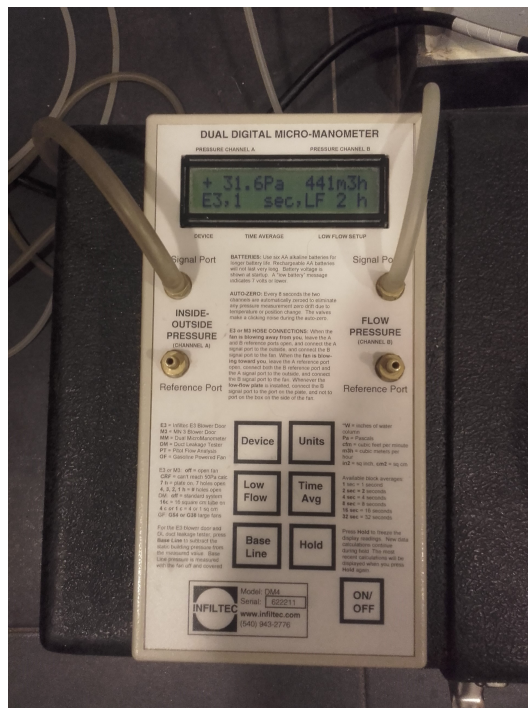
Provedení Blower Door testu odpovídalo metodě B (měření obálky budovy), tudíž bylo nutné před zahájením měření otevřít všechny vnitřní dveře a utěsnit otvory, které nemají ovlivnit měření. V tomto případě šlo o ventilátory v koupelně a na záchodě, které jsme přelepili lepicí páskou. Okna byly zavřena již od předcházející dne vzhledem k požadavkům prováděné termodiagnostiky na ustálení teplot mezi interiérem a exteriérem.

Měřící sestavu tvořil ventilátor s plynule regulovatelným výkonem, teleskopický rám, plachta s otvorem pro ventilátor, regulátor výkonu ventilátoru a

zařízení pro měření objemového toku a tlakových rozdílů s čidly. Příprava sestavy spočívala v osazení ventilátory do vstupních dveří pomocí teleskopického rámu a plachty, umístění čidel měřicího zařízení a propojení všech komponentů sestavy. Zároveň jsme připravili notebook s nainstalovaným softwarem pro provádění Blower door testu.



Ilustrace 31: Osazení otvoru vstupních dveří ventilátorem [4]



Ilustrace 32: Odečítání dat z měřicího přístroje [4]

2.2.2.2 Průběh testu

Výkon ventilátoru jsme přizpůsobili objemu domu použitím krytek výdechů.

Měření jsme provedli dle daného schématu (viz 1.3.4.3) tzn. nejprve jsme odečetly hodnoty při nulovém objemovém toku na začátku měření pro posouzení podmínek zkoušky. Dále jsme provedli samotné měření při nenulovém objemovém toku vzduchu. A nakonec jsme provedli měření s vypnutým a uzavřeným ventilátorem pro potvrzení platnosti měření.

Zjištěné hodnoty jsme přímo zadávali do vyhodnocovacího softwaru.

Měření jsme provedli dvakrát za podtlaku a dvakrát za přetlaku.

2.2.2.3 Detekce netěsností

Podtlak resp. přetlak v interiéru jsme využili k detekci netěsností v obálce

budovy pomocí anemometru a termografie

Anemometr při podtlaku

Tento způsob detekce jsme využili pro posouzení vzduchotěsnosti zásuvek a vypínačů, ovládání splachování WC, digestoře a dalších míst v budově.

Termografie za podtlaku v interiéru

Termografii za podtlaku jsem využil k detekci netěsností v obálce budovy, zejména pak k posouzení těsnosti oken. Pořízené termosnímký jsem uložil pro porovnání s termogramy z měření za normálního tlaku.

Termografie za přetlaku v interiéru

Termovizní měření jsem použil při detekci netěsností v exteriéru a na půdě budovy, kam jsem byl nasměřován odhalenou netěsností ve stropě budovy při termovizním snímkování za podtlaku v interiéru.

2.2.3 Dlouhodobé sledování vnitřního klimatu

2.2.3.1 Sledované parametry

Vzhledem k problémům budovy jsem jako sledované parametry určil teplotu a relativní vlhkost vzduchu. Sledování těchto parametrů nabízelo popsání režimu užívání bytu zejména z hlediska topení a větrání.

2.2.3.2 Použitá měřící technika

Pro sledování vnitřního klimatu jsem použil sestavu teploměru a vlhkoměru se záznamníkem dat s externími senzory.

Klíčovou část sady tvořila hlavní jednotka KlimaLogg Pro TFA 30.3039.IT se záznamníkem dat (tzv. DataLogger). Tato jednotka měří, zobrazuje a ukládá teplotu a vlhkost vzduchu ve zvoleném časovém intervalu. Interval lze nastavit na 1, 5, 10 a 30 minut nebo 1, 2, 3 a 6 hodin. Dále zaznamenává i hodnotu rosného bodu.

Jednotka umožňuje bezdrátové spojení s počítačem pomocí USB přijímače pro přenos, zpracování a uchování naměřených dat.

Sestavu dále tvořilo šest externích bezdrátových senzorů TFA 30.3180.IT, které jsou určeny pro využití v interiéru i v exteriéru.



Ilustrace 33: Použitá měřicí technika TFA [4]

KlimaLogg Pro TFA 30.3039.IT - Vybrané technické údaje [20]:

Teplota

Přesnost: $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$

Rozsah měření: $0 \text{ }^\circ\text{C}$ až $+ 50 \text{ }^\circ\text{C}$ s rozlišením $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$

Vlhkost

Přesnost: $\pm 3\text{ }^\circ\text{C}$ (při 35 až 75 % vlhkosti, jinak $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$)

Rozsah měření: 1 % až 99 % s rozlišením 1 %

Kontrolní intervaly

Pokojeová teplota: každých 15 s

Pokojeová vlhkost: každých 15 s

Venkovní vysílač: každých 10 s

Další

Přenosový dosah vysílače: až 100 m v otevřeném prostoru

Max. počet datových sad: 50 000

Max. počet připojených vysílačů: 8

Bezdrátový senzor TFA 30.3180.IT - Vybrané technické údaje [20]:

Teplota

Rozsah měření: – 40 °C až + 60 °C s rozlišením 0.1 °C

Vlhkost

Přesnost: ± 3°C (při 35 až 75 % vlhkosti, jinak ± 5 °C)

Rozsah měření: 1 % až 99 % s rozlišením 1 %

Další

Přenosový dosah vysílače: až 100 m v otevřeném prostoru

2.2.3.3 Rozmístění senzorů

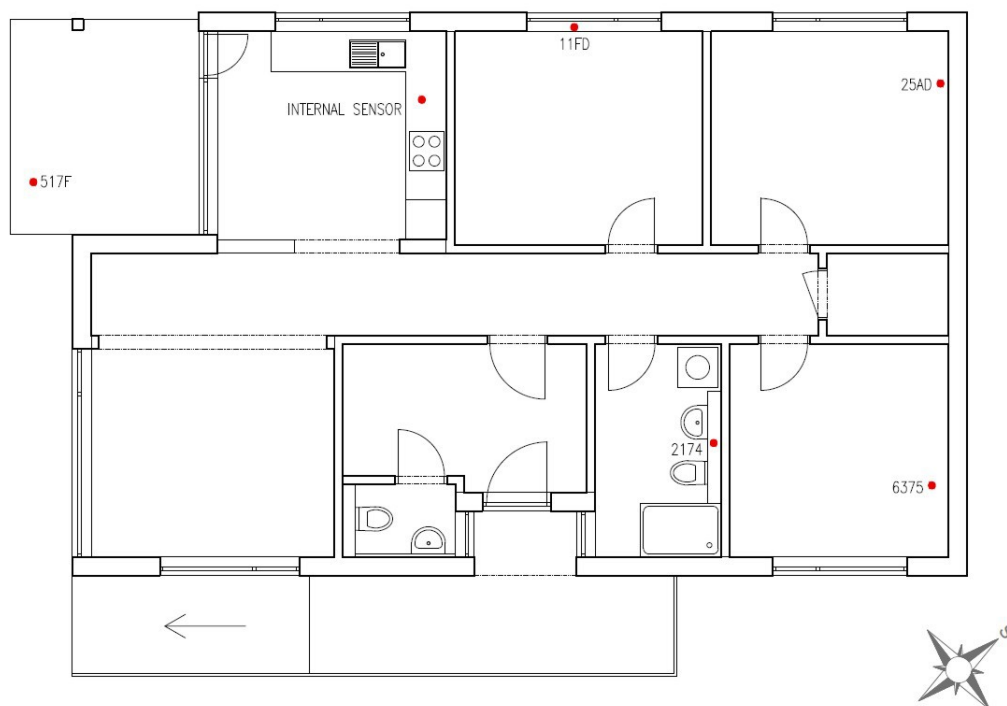
Rozmístění senzorů jsem zvolil tak, aby získaná data co nejlépe popisovala stav vnitřního prostředí.

Hlavní jednotku jsem umístil do kuchyně, která je součástí obývacího pokoje, na vrchní kuchyňskou skříňku. Jedná se o velmi frekventované místo v domě, kde jsou značné vlhkostní zisky z vaření. Jeden z externích senzorů jsem umístil v exteriéru pod podlahu terasy, abych získal data z venkovního prostředí k porovnání s daty z interiéru. Místo v zákrytu jsem volil proto, abych zabránil ovlivňování měření přímým slunečním zářením či poryvy větru.

Rozmístění senzorů je dobře patrné z *Tabulky 4* a z *Ilustrace 34*.

| Označení senzoru | Umístění |
|------------------|---|
| Internal Sensor | Obývací pokoj + kk - vrchní kuchyňská skříňka |
| 215B | Půda - nevytápěný prostor |
| 25AD | Dětský pokoj - obvodová stěna bez okna |
| 11FD | Pracovna - parapet okna |
| 6375 | Ložnice - obvodová stěna bez okna |
| 517F | Exteriér - pod podlahou terasy |
| 2174 | Koupelna - skříňka nad umyvadlem |

Tabulka 4: Rozmístění měřících senzorů v interiéru [4]



Ilustrace 34: Rozmístění měřících senzorů v objektu [4]

2.2.3.4 Rozsah měření

Měření jsem zahájil umístěním senzorů v objektu v úterý 21. února 2017 odpoledne a ukončil v pondělí 20. března 2017 rovněž odpoledne. Z důvodů aklimatizace senzorů a vhodného ohraničení datového výstupu jsem z tohoto období vybral časový úsek od 22.2.2017 00:00:00 do 20.3.2017 00:00:00.

Hlavní sběrnou jednotkou jsem nastavil tak, aby zaznamenávala data ze všech senzorů každých pět minut. Tím jsem docílil podrobného zaznamenání sledovaných veličin. Z každého dne měření jsem získal 288 záznamů, kde každý záznam obsahoval hodnoty teploty a relativní vlhkosti vzduchu ze všech sedmi senzorů. Z celého měření jsem pak získal celkem 7 489 záznamů.

Během období, kdy v objektu probíhalo měření, jsem několikrát provedl kontrolu senzorů a zálohu dat.

2.3 Vyhodnocení provedených měření

2.3.1 Výsledky termodiagnostiky

Vybrané termogramy z provedeného měření jsou umístěny v Příloze A.

2.3.1.1 Termodiagnostika v exteriéru

Termovizní snímkování v exteriéru odhalilo zásadní únik tepla vstupními dveřmi. Vzhledem k obtížnému zavírání je patrné, že křídlo dveří nedoléhá k zárubni. To může být způsobeno špatným seřízením dveří či jejich deformací.

Dalšími slabými místy jsou vývody digestoře a ventilátorů z koupelny a záchodu. Zde je nutné podotknout, že se jedná o opodstatněné narušení obálky budovy.

Dále termosnímky naznačovaly možný únik tepla při rámu oken, který se posléze potvrdil v interiéru.

2.3.1.2 Termodiagnostika v interiéru

Termodiagnostika v interiéru potvrdila problém špatně doléhajících dveří, jenž se projevil již při měření v exteriéru.

Měření v interiéru dále odhalilo prochládání konstrukcí v místě prostupů vodovodu a kanalizace do objektu. Byla nalezena dvě takováto místa. Jedno se nachází v kuchyni pod kuchyňskou linkou, kde dochází ke kondenzaci vody na povrchu kolene přírodního vedení pitné vody (kolenu chybí izolace). Druhé se nachází v koupelně v místě zavěšení toalety, na které byl avizován problém s kondenzací vody. Toto prochládání je patrně způsobeno nedostatečným nebo nekvalitně provedeným zateplením betonových obezdívek prostupů.

Dále byl z pořízených termogramů patrný únik tepla na většině oken v domě a to nejen v rámci otevírací části okna mezi křídlem a rámem okna (funkční spára), ale i v místě usazení skla v okenním profilu a také v přípojovací spáře.

Dalším detekovaným místem byly oblasti nad horními rohy okenních otvorů. Zde nebyly teplotní rozdíly tak vysoké, nicméně se lehce ochlazené oblasti opakovaly u většiny oken, což naznačuje, že se jedná o systémovou záležitost. Vzhledem k umístění jde pravděpodobně o prostup pro napájecí a ovládací kabel k venkovním žaluziím.

2.3.2 Výsledky Blower door testu

Snímky z vyhodnocovacího programu, fotografie detekce netěsností a vybrané termosnímký z termografie za podtlaku a přetlaku jsou umístěny v Příloze B

2.3.2.1 Posouzení celkové průvzdušnosti obálky budovy

Měření byla zjištěna hodnota celkové intenzity výměny vzduchu $n_{50} = 2,6 \text{ h}^{-1}$.

Tato hodnota **splňuje** podmínku $n_{50} \leq n_{50,N}$ dle ČSN 73 0450-2 pro budovy s přirozeným větráním na upřednostňované úrovni II.

Zde je ovšem nutné podotknout, že z hlediska větrání se jedná o jakousi hraniční hodnotu, kdy takto vzduchotěsný objekt nemá možnost větrat skrze netěsnosti v obálce (netěsností je málo), ale zároveň není dostatečně těsný na to, aby bylo možné použít vzduchotechniku pro řízené větrání (netěsností je moc). Tato skutečnost v kombinaci s poměrně malým objem budovy vzhledem k produkci vodní páry (která je přirozená) klade velmi vysoké nároky na režim větrání v objektu a jeho dodržování uživateli. Pokud by tyto nároky větracího režimu, kterou mohou být za hranicí uživatelské komfortu, nejsou splněny, hrozí hromadění vlhkosti v interiéru a s ním spojená rizika (kondenzace vodních par na ochlazovaných konstrukcích, růst plísní).

Dle mého názoru se v případě tohoto objektu jedná o tuto situaci.

2.3.2.2 Detekce netěsností

Detekce anemometrem při podtlaku

Pomocí anemometru byly detekovány netěsnosti některých vypínačů a ovládání splachování toalety. Měření anemometrem potvrdilo funkčnost zpětné klapky digestoře.

Termografie

Při přetlaku v interiéru byla na půdě detekována netěsnost při prostupu elektroinstalace stropem.

Při podtlaku v interiéru byly odhaleny významné netěsnosti většiny oken. Netěsnosti se vyskytovaly v přípojovací a funkční spáře a dále v místě usazení skla do rámu křídla resp. okna.

Dále se znatelně projevíly ochlazované oblasti nad horními rohy okenních otvorů. Oproti měření za normálního tlaku došlo k výraznému prokreslení

na termosnímku, což poukazuje na významné narušení vzduchotěsné vrstvy v těchto místech.

2.3.3 Výsledky dlouhodobého sledování vnitřního klimatu

Zaznamenaná data jsem zpracoval v programu OpenOffice Calc (obdoba MS Excel). Průběh naměřených hodnot jsem zpravoval do grafů, vybrané grafy jsou umístěny v Příloze C.

Vypracované grafy odhalují problematiku vysoké relativní vlhkosti. Z grafů je patrné, že relativní vlhkost vzduchu krátce po vyvětrání často vystoupá téměř na původní hodnotu. To poukazuje na významnou produkci vodní páry v interiéru. Během měření však nebyly zjištěny jiné než přirozené zdroje vlhkosti. Vlhkost v interiéru pochází z jeho užívání - pobyt osob, vaření, praní či sprchování. Toto zjištění poukazuje na dvě skutečnosti. První udává, že vnitřní objem objektu není dostatečně velký, aby se v něm přirozeně produkovaná vodní pára rozptýlila a relativní vlhkost se ustálila na hodnotám blízkým normálu v jiných budovách. Druhá udává, že větrání není prováděno dostatečně intenzivně resp. často. Zvětšování vnitřního objemu budovy se nejeví jako rozumné řešení dané situace, proto je třeba hledat řešení ve změně způsobu větrání. Nabízí se ještě možnost použití odvlhčovačů, tato alternativa se ovšem nejeví jako technicky či uživatelsky vhodná.

Přehled naměřených extrémů a jejich rozdílů jsem shrnul pro přehlednost do *tabulky 5 a 6*.

Maximální teplota v koupelně (přes 30 °C) byla způsobena nesprávným používáním sušičky prádla. Nejedná se tedy o důsledek záměrného či nechtěného přetápění místnosti.

| Označení senzoru | Umístění | Max. T [°C] | Min. T [°C] | Rozdíl min. a max. T [°C] |
|------------------|--------------------|----------------|----------------|------------------------------|
| Internal Sensor | Obývací pokoj + kk | 25,0 | 20,2 | 4,8 |
| 215B | Půda | 13,7 | -3,4 | 17,1 |
| 25AD | Dětský pokoj | 22,0 | 15,3 | 6,7 |
| 11FD | Pracovna | 22,8 | 15,2 | 7,6 |
| 6375 | Ložnice | 21,6 | 16,4 | 5,2 |
| 517F | Exteriér | 13,4 | -2,9 | 16,3 |
| 2174 | Koupelna | 30,7 | 18,7 | 12,0 |

Tabulka 5: Zjištěné extrémní teploty [4]

| Označení senzoru | Umístění | Max. RV [%] | Min. RV [%] | Rozdíl min. a max. RV [%] |
|------------------|--------------------|----------------|----------------|------------------------------|
| Internal Sensor | Obývací pokoj + kk | 71 | 40 | 31 |
| 215B | Půda | 87 | 56 | 31 |
| 25AD | Dětský pokoj | 66 | 52 | 14 |
| 11FD | Pracovna | 75 | 52 | 23 |
| 6375 | Ložnice | 78 | 50 | 28 |
| 517F | Exteriér | 99 | 38 | 61 |
| 2174 | Koupelna | 84 | 45 | 39 |

Tabulka 6: Zjištěné extrémní relativní vlhkosti [4]

2.4 Návrh opatření pro zlepšení stavu objektu

Vysoká relativní vlhkost v interiéru

1. návrh: změna větracího režimu

Toto řešení spočívá v častějším a intenzivnějším větráním, tak aby byla zajištěna dostatečná výměna vzduchu. Pro dodržování režimu by bylo vhodné umístit v objektu měřiče relativní vlhkosti s integrovaným alarmem, které by při dosažení určité hodnoty relativní vlhkosti (navrhují 50 % RV při 22 °C) uživatele upozornil na potřebu větrání. Ze všech navrhovaných možností se jedná o variantu nejlevnější a nejrychleji a nejsnadněji proveditelnou. Její značnou nevýhodou je uživatelský diskomfort a pravděpodobné zvýšení nákladů na vytápění.

2. návrh: náhrada ventilátoru v koupelně bodovou VZT rekuperační jednotkou

Tímto opatřením by se zajistila dostatečná výměna vzduchu v místě největšího zdroje vlhkosti bez citelného poklesu vnitřní teploty. Opatření by patrně vedlo ke snížení relativní vlhkosti v celém objektu. Rekuperační jednotku by bylo vhodné opatřit vlhkostním spínačem, který by zajistil výměnu vzduchu při překročení nastavené hodnoty nezávisle na aktuálním provozu místnosti. Před instalací jednotky je nutné eliminovat netěsnosti v koupelně. Oproti prvním návrhům se jedná o finančně nákladnější, která vyžaduje zásah do konstrukce. Je však podstatně uživatelsky přívětivější. Další výhodou je možnost postupného zavedení těchto jednotek do dalších místností.

3. návrh: instalace systému nuceného větrání

Tento návrh je finančně i technicky nejnáročnější. Vyžadoval by eliminaci netěsností obálky a další nemalé zásahy do konstrukce, nutná by byla kvalitní projekční příprava. Jeho výhodou by byla téměř úplná kontrola nad vnitřním prostředím.

Netěsnost a úniky tepla

1. návrh: oprava stávajících oken

Seřízení oken, výměna těsnění a případně doplnění izolace v místě usazení skla do rámu jsou možnosti, jak zlepšit současný stav oken. Oproti výměně oken jde levnější variantu a snadněji proveditelnou alternativu. Nevýhodou je, že nelze

odhadnout, zda zlepšení stavu bude dostatečné, aby se předešlo ochlazování vnitřního povrchu oken.

2. návrh: *výměna oken*

Tato možnost je nákladná a vyžadovala by velký zásah do konstrukce. Výhodou návrhu je vysoká míra jistoty, při výběru kvalitního a spolehlivého dodavatele, že dojde k dostatečnému zlepšení stavu.

Vstupní dveře

Řešení stavu vstupních dveří je analogické k řešení stavu oken.

Prochládání konstrukce v místě prostupu vodovodu a kanalizace

Zde je řešením nové a kvalitně provedené zateplení obezdívky prostupu.

Netěsné vypínače, zásuvky, ovladač splachování

Zde se nabízí jednoduché řešení tohoto stavu, výměna stávajících prvků za prvky vzduchotěsné. K tomuto opatření bych se uchýlil v případě instalace centrální nebo bodového nuceného větrání.

Ventilátor WC

Místnost toalety se využívá jako skladovací prostor, tudíž zde nejsou zvýšené požadavky na výměnu vzduchu. Z tohoto důvodu by bylo vhodné odstranit ventilátor a vzniklý otvor utěsnit, protože nyní zbytečně narušuje obálku budovy.

Netěsnost při prostupu elektrických na půdu

Zde se jako řešení nabízí očistění otvoru prostupu a jeho zalepením těsnící páskou.

Plíseň kolem oken a v některých místnostech

Růst plísní je možný pouze v určitém prostředí. Odstranění vysoké relativní vlhkosti v interiéru a eliminaci ochlazování vnitřních povrchů konstrukcí se zamezí vzniku tohoto prostředí a tím i růstu plísně.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo poznání skutečného stavu vybraného objektu, objasnění příčin jeho problémů a návrh opatření k odstranění těchto problémů.

V první části jsem představil několik diagnostických metod, které slouží k zjišťování skutečného stavu, ověřování předpokládaných vlastností, popisování a posuzování stavebních konstrukcí, prvků či prostředí uvnitř staveb.

V druhé části jsem se věnoval samotnému zjišťování stavu budovy. Od základních vlastností a charakteristik, jakými jsou například její umístění a popis použitých stavebních konstrukcí, jsem se propracoval k problémům, které znemožňují kvalitní užívání domu. Pomocí metod diagnostiky staveb jsem vyhledával a popisoval příčiny těchto problémů. Následně jsem popsal opatření, jak tyto problémy odstranit a zlepšit tak aktuální stav domu.

Výsledky provedených zkoušek, testů a šetření ukazují, že nynější problematický stav domu je důsledkem souhry nedostatků ve všech etapách vývoje stavby. Pochybnosti lze najít v návrhu - nedodržení minimální plochy ložnice, v realizaci - nedostatečné zateplení obezdívky prostupu vodovodu a kanalizace, v užívání - nedostatečná výměna vzduchu v objektu.

Pozitivním zjištěním je skutečnost, že řešené problémy zkoumaného objektu je možné odstranit, případně minimalizovat.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ

- [1] Konzultace s panem Ing. Martinem Hlavou, PhD.
- [2] Konzultace s panem Ing. Viktorem Zwienerem, PhD.
- [3] Konzultace s panem Ivanem Dobiášem
- [4] Archiv fotografií, termosnímku a obrázků autora
- [5] ČSN EN 13187. *Tepelné chování budov - Kvalitativní určení tepelných nepravidelností v pláštích budov - Infračervená metoda*. ČSI, 1999
- [6] ČSN EN 13829. *Tepelné chování budov - Stanovení průvzdušnosti budov - Tlaková metoda*. ČSI, 2001
- [7] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. ČSI, 2011
- [8] ČSN 73 4301. *Obytné budovy*. ČSI, 2004
- [9] ČSN P 73 0600. *Hydroizolace staveb - Základní ustanovení*. ČSI, 2000
- [10] HŮLKA, Ing. Ctibor, KÁNĚ, Ing. Luboš, MATIČKA, Ing. Jan, ŽÁK, PhD., Ing. Antonín. *KUTNAR - Izolace spodní stavby, Hydroizolační koncepce, hydroizolační konstrukce - návrh a posouzení 2014*. DEKTRADE a.s., 2014.
- [11] KOLB, Josef. *Dřevostavby: Systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště* [Holzbau mit System]. 2. aktual. vydání. Praha: Grada Publishing, a.s., 2011. ISBN 978-80-247-4071-3
- [12] KULHÁNEK, CSs., Ing. František. *STAVEBNÍ FYZIKA II: Stavební tepelná technika*. Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03408-9
- [13] NOVÁK, Jiří. *VZDUCHOTĚSNOST OBVODOVÝCH PLÁŠŤŮ BUDOV*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2008. ISBN 978-80-247-6217-3
- [14] PEŠTA, Ing. Jan, TESAŘ, Ing. David, ZWIENER, PhD., Ing. Viktor. *Diagnostika staveb: Hydroizolace, Termografie, Blower door test, Akustika*. Vyd. 2 DEK a.s., 2014. ISBN 978-80-87215-15-9
- [15] SMOLA, Ing. arch. Josef. *Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů*. 1. vydání. Grada Publishing, a.s., 2011. ISBN 978-80-247-2995-4
- [16] VAVŘIČKA, PhD., Ing. Roman. *Bezkontaktní způsoby měření teploty*. 1. vydání. Společnost pro techniku prostředí, 2013. ISBN 978-80-02-02515-3

- [17] VOLLMER, Prof. Michael, MÖLLMAN, Prof. Dr. Klaus-Peter. *Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications*. WILEY-VCH, 2010. ISBN 978-3-527-40717-0
- [18] *Typový RD MYSET MAXIMAL, Lomnice nad Popelkou - Dokumentace pro ohlášení stavby*. červenec 2013
- [19] *Thermal Imagers Ti32 & TiR 32 - uživatelská příručka*. Fluke Corporation, 2009
- [20] *Návod k obsluze - TFA Teploměr a vlhkoměr s USB 30.3039.IT KlimaLogg Pro*
- [21] FLUKE. *Specifikace Fluke 971* [online] [cit. leden 2018] Dostupné z: <http://www.fluke.com/fluke/czcs/klimatizace/mereni-ovzdusi/testery-vzduchu/fluke-971.htm?pid=56155>
- [22] CZECH PAN. *Stavební systém K-KONTROL©* [online] [cit. leden 2018] Dostupné z: <http://www.czechpan.cz/k-kontrol/cz/>
- [23] CUZK. *Informace z katastru nemovitostí*. [online] [cit. leden 2018] Dostupné z: <http://nahlizenidokn.cuzk.cz>
- [24] MAPY.CZ. *Mapy a satelitní snímky*. [online] [cit. leden 2018] Dostupné z: <https://mapy.cz>
- [25] WIKIPEDIA. *Tabulka: Beaufortova stupnice* [online] [cit. leden 2018] Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Beaufortova_stupnice
- [26] WIKIPEDIA. *Obrázek: Spektrum elektromagnetického záření*. [online] [cit. leden 2018] Dostupné z: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e3/ElmgSpektrum.png>
- [27] KONTROLA DŘEVOSTAVEB. *Obrázek: Anemometr pro test* [online] [cit. leden 2018] Dostupné z: <http://www.kontroladrevostaveb.cz/images/kontrola/anemometr-blowerdoor.jpg>
- [28] GREY s.r.o. *Obrázek: Zátopová zkouška*. [online] [cit. leden 2018] Dostupné z: <http://www.isolace-grey.cz/wp-content/gallery/fotogalerie/a12-zatopova-zkouska.jpg>