

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Metody zjišťování tepelných ztrát u dřevostaveb

2011

Jakub Milota

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Metody zjišťování tepelných ztrát u dřevostaveb zpracoval sám a uvedl všechny použité prameny.

V Praze dne:

Jakub Milota

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Janu Reisnerovi, Ph.D za pomoc při zpracování Diplomové práce.

Obsah

1 Cíl práce.....	6
2 Úvod.....	7
3 Dělení dřevostaveb.....	8
3.1 Rozdělení dle konstrukce a velikosti podílu tepelných ztrát.....	8
3.1.1 Rámové stavby.....	8
3.2 Rozdělení dle hospodaření s energií.....	12
3.2.1 Roční spotřeba tepla budov.....	13
4 Charakteristiky tepelných ztrát.....	14
4.1 Tepelná energie, teplo.....	14
4.2 Hlavní veličiny ovlivňující tepelné ztráty.....	17
4.2.1 Součinitel tepelné vodivosti.....	17
4.2.2 Součinitel prostupu tepla.....	20
4.3 Tepelná ztráta prostupem.....	21
4.4 Tepelná ztráta větráním.....	21
4.5 Celková tepelná ztráta objektu.....	22
5 Přehled tepelných ztrát objektů.....	25
5.1 Otvorové výplně (okna, dveře).....	27
5.2 Obvodové stěny.....	28
5.3 Stropy a střechy.....	29
5.4 Zemina, úniky do země.....	30
5.5 Další vlivy způsobující tepelné ztráty.....	31
5.5.1 Větrání.....	31
5.5.2 Vlhkost.....	31
6 Metody určení základních veličin pro výpočet tepelných ztrát.....	33
6.1 Postup při výpočetní metodě.....	33
6.1.1 Příklad výpočtu součinitele prostupu tepla.....	34
6.2 Kontrolní měření tepelných ztrát přístroji.....	35
6.2.1 Měření termokamerou.....	35
6.2.2 Měření neprůvzdušnosti pomocí Blower Door testu.....	43
7 Návrh kontrolní metody pro orientační stanovení součinitele prostupu tepla U pomocí termokamery.....	46
7.1 Nutné podmínky pro stanovení součinitele U pomocí kontrolní metody termokamerou.....	46
7.1.1 Princip a postup při měření termokamerou.....	47
7.2 Měření objektu.....	51
7.3 Návrh základů kontrolní metody.....	51
7.4 Postup při měření u navržené metody.....	55
7.5 Hodnocení.....	56
7.6 Návrh tabulek pro určení součinitele prostupu tepla U.....	57

7.7 Ověření nově navržené kontrolní metody s klasickou výpočtovou metodou	61
7.7.1 Zkušební měření č. 1	62
7.7.2 Zkušební měření č. 2	65
7.8 Závěr ověřovacích metod.....	67
8 Závěr.....	68
9 Literatura	70
9.1 Seznam tabulek	71
9.2 Seznam obrázků	72
9.3 Seznam příloh	73
10 Přílohy.....	74
10.1 Příklad měření Blower door testem č. 1, obec Knapovec	74
10.2 Příklad měření Blower door testem č. 2, obec Lochkov	82
10.3 Příklad měření krovu IR kamerou č. 3, Mnichovice okres Říčany	87
10.4 Příklad měření IR kamerou č. 4, Štíhllice, Praha 4	93

1 Cíl práce

Cílem této práce je:

Vypracování přehledu možností zjišťování úniku tepla (tepelných ztrát), a způsoby jejich následného řešení. Práce by měla uvést základní informace o problematice tepelné náročnosti interiérů, poukázat na nejdůležitější ztráty a vysvětlit charakteristiku rozdělení energetické náročnosti budov. Zejména ukázat podíl celkové tepelné ztráty jednotlivých stavebních částí budov (dřevostaveb), jako jsou např. obvodové stěny, okna, dveře, podlahy, stropy apod. Popsat reálné příklady a ukázat způsoby řešení minimalizace těchto ztrát.

Seznámit s metodami, jak lze tyto tepelné ztráty změřit a uvést příklady použití těchto měření v praxi.

Vypracovat novou metodu dalšího použití infračervené kamery (IR) ke kontrolnímu měření tepelných charakteristik obvodových plášťů budov. Využít takto naměřené teplotní mapy povrchu obvodového pláště a stanovit důležitou veličinu pro určení tepelné ztráty, takzvaný součinitel prostupu tepla U .

Podrobně popsat zmíněnou metodu a na skutečné konstrukci ověřit její funkčnost a přesnost. Porovnat zjištěný součinitel prostupu tepla U s normovanou početní metodou.

Vyvodit závěry z praktického užití této metody a zhodnotit její použitelnost v praxi.

Uvést příklady konkrétních měření tepelných ztrát budov.

2 Úvod

Klimatické podmínky ve středoevropském regionu jsou hlavním důvodem k tomu, že obytné budovy je nutno zásobovat dostatečným množstvím tepelné energie po dobu více než 6 měsíců v roce. Zvyšující se ceny energií, tak vyvolávají stále větší poptávku po bydlení s nízkými náklady na vytápění. Takové požadavky splňují nízkoenergetické, pasivní a nulové domy.

Hlavní pozornost je třeba věnovat akumulaci tepelné energie v objektu, tudíž největší požadavky klást na tepelnou izolaci a eliminaci tepelných mostů. Stále však při vysokých hodnotách tloušťky izolací dochází k únikům tepla (vzniklých přirozenou ztrátou, ale i nedbalostí technologického provedení). Tyto nedostatky se většinou projeví až při provedení testu termokamerou nebo testu průvzdušnosti (Blow Door testu). Při provádění výstavby je tak potřeba neustálá kontrola vedoucí ke zmenšení nákladů na případné opravy.

Nejrizikovějším místem všech staveb z hlediska teplotních úniků jsou otvorové výplně, a to jak dveře, tak především okna. Stále se opomíjí značný vliv na tepelnou pohodu. Dnešním standardem okenních výplní jsou trojskla, teplý rámeček a dostatečná tloušťka rámu, které představují svou hodnotou tepelného prostupu tepla U téměř 7x vyšší prostupnost než u obvodových zdí a střechy. Výsledná celková hodnota prostupu tepla se pak počítá dle nejslabšího článku, tedy většinou dle oken.

3 Dělení dřevostaveb

Dřevostavby se obecně rozdělují na několik druhů. Rozdělení většinou charakterizuje jejich konstrukce, tepelné hospodaření budovy, dispozice stavby apod.

3.1 Rozdělení dle konstrukce a velikosti podílu tepelných ztrát

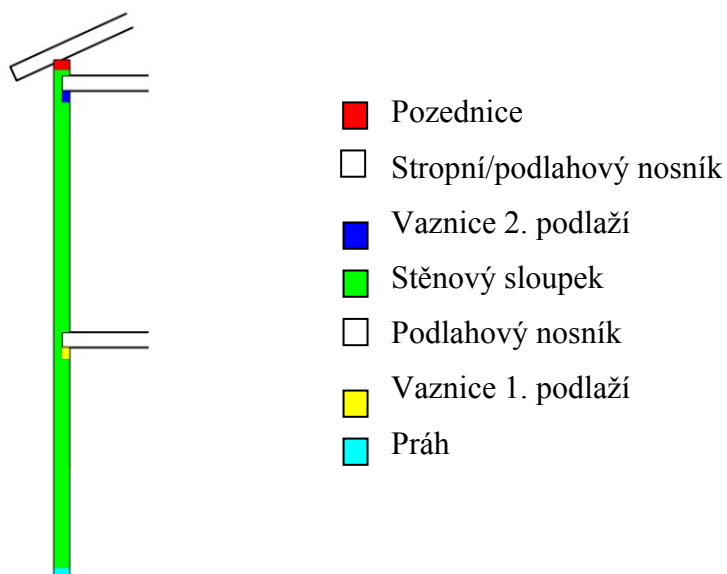
3.1.1 Rámové stavby

Systém rozšířený především v Severní Americe a Skandinávii. Základním prvkem je poměrně hustá kostra z řeziva (prkna, fošny, hranolky) zavětrovaná a zpevněná dřevěnými plošnými materiály tvořícími stěny. Dělí se na dva typy odlišné systémem a výstavbou.

Z hlediska tepelných ztrát jsou na předním místě vzhledem k velké možnosti vložení izolací do prostoru mezi konstrukčním rámem a vnějším opláštěním. Lze kombinovat s kontaktním zateplovacím systémem.

3.1.1.1 Provázaná konstrukce (Balloon – Frame)

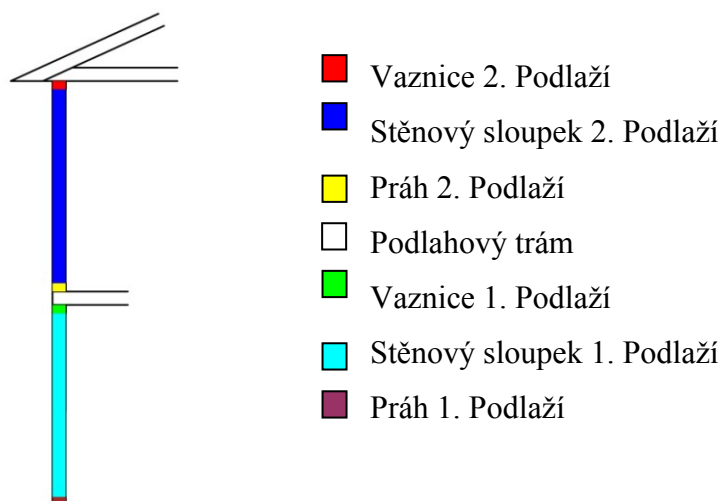
Systém vychází z průběžných svislých stěnových sloupků vedených i přes dvě podlaží. Do nich jsou čepovány vodorovné prvky jako např. podlahové a stropní nosníky. Svislé obvodové nosníky jsou u spodu a na vrcholu opatřeny vodorovnými fošnami (ve tvaru prahů a vaznic) spojujícími jednotlivé svislé sloupky.



Obr. 1 Systém provázané konstrukce

3.1.1.2 Plošinová konstrukce (Platform – Frame)

Oproti provázané konstrukci se jednotlivé podlaží staví zvlášť a uceleně. Každé podlaží je vlastně tvořeno systémem provázané konstrukce nastavené k sobě. Výhodou je větší možnost prefabrikace a snazší využití materiálu menších délkových dimenzí.

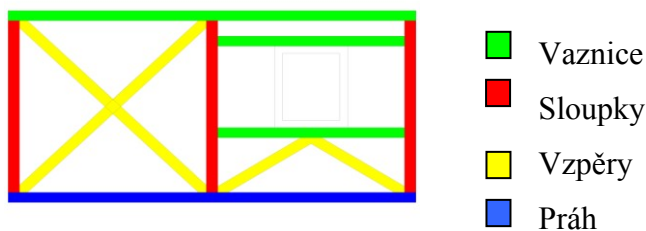


Obr. 2 Systém plošinové konstrukce

3.1.2 Skeletové stavby

Stavby, jejichž nosný systém je tvořen pomocí dřevěných sloupků tvořící samonosný skelet (kostru) stavby. Tato kostra je doplněna plošnými konstrukčními deskami tvořící základní povrchy stěn.

V dnešní době je spíše historickou záležitostí. Z hlediska vyhovění normě pro prostup tepla konstrukcemi je nutná izolace vnějšího opláštění budovy. Lze provádět formou kontaktního zateplovacího systému, případně obklady s vloženou izolací (minerální a skelná vata).



Obr. 3 Systém skeletové konstrukce

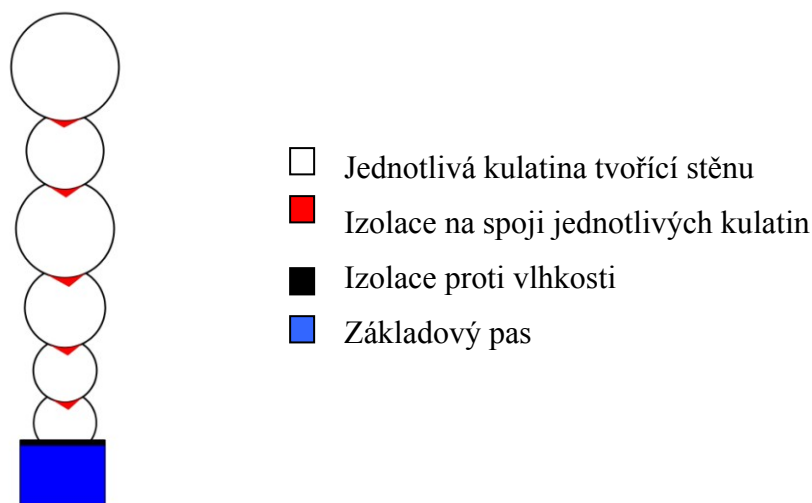
3.1.3 Stavby z masivního dřeva

Stavby jejichž systém tuhosti a nosnosti vycházejí přímo ze schopností rostlého dřeva, které je pouze upraveno na určité formáty a použito ke stavbě. Nevýhodou je vysoký požadavek na hmotu materiálu a tudíž i vyšší cena. Základní dělení je na stavby srubové a stavby z plošných masivních materiálů

3.1.3.1 Srubové stavby

Historicky nejstarší typy dřevostaveb. Jedná se o neopracované (a případně i opracované) hrubé kulatiny skládané vodorovně a na sebe tvořící ucelenou nosnou stěnu. Kulatiny mohou být průřezu kruhového (dnešní moderní sruby) nebo průřezu hranatého (klasické roubené stavby).

Spolu se skeletovými stavbami vychází stavby srubové, případně roubené nejhůře z porovnávaných staveb v tomto srovnání. Izolační vrstvy tvoří z většiny dřevní hmota, z menšiny pak vata, PUR pěna, apod. (spoje jednotlivých částí stavby). Dřevo pak při svém součiniteli tepelné vodivosti cca. $0,16 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ splňuje podmínky normy při tloušťce cca. 53cm. V praxi je tepelnou vodivost srubové stavby možno snižovat ještě přidáním vnitřní nebo vnější izolační vrstvy.



Obr. 4 Systém srubové konstrukce

3.1.3.2 Stavby z masivních plošných materiálů

Poměrně nový systém skládající se z lamel slepených do deskových materiálů různých rozměrů a tloušťek. Tyto deskové materiály jsou samonosné, takže nepotřebují žádnou kostru ani výztužný systém. Výhodou je jejich téměř stoprocentní prefabrikace a tedy poměrně rychlá montáž na stavbě, nevýhodou je vysoké procento masivního materiálu a tedy i vyšší cena oproti skeletovým nebo rámovým konstrukcím.

Z hlediska tepelné izolace mají stavby z plošných materiálů poměrně velkou variabilitu při opatřování následných izolací. Plošná konstrukce je poměrně slabá, a to dává možnosti pro potřebnou tloušťku izolačních vrstev i s potřebnými rošty. Většinou se opatřují kontaktními zateplovacími systémy.

3.2 Rozdělení dle hospodaření s energií

V dnešní době se všechny obytné domy, nejen dřevostavby rozdělují do energetických tříd, tj. podle toho, jak efektivně hospodaří s energiemi všeho druhu. Zpravidla se rozdělení omezují na potřebu tepla na vytápění. Tzn. spotřebovaná energie za jednotku času na 1 m^2 obytné plochy budovy. Uvádí se v kWh/m^2 za rok. Dle Evropských norem (EN) se uvádí roční průměrná spotřeba energie obytného domu a klasifikuje se dle následující tabulky (viz. níže). Čím menší je hodnota, tím lépe dům hospodaří s energií a má nižší tepelné ztráty. Objekty s nejnižší možnou potřebou energie $< 51 \text{ kWh/m}^2$ za rok pro vytápění se označují písmenem A a naopak objekty s vysokou energetickou spotřebou $> 286 \text{ kWh/m}^2$ za rok se označují písmenem G.

3.2.1 Roční spotřeba tepla budov

Závisí především na tepelně - izolačních vlastnostech stavby a na potřebě větrání. Vychází z rozdílu mezi vnitřní a vnější teplotou. Tabulka uvádí průměrné hodnoty kWh/m² za rok a jejich rozptyl pro danou kategorii A – G, pro různé druhy objektů.

Typové označení [kWh/m ²]	A	B	C	D	E	F	G
Druh budovy							
Rodinný dům	< 51	51 - 97	98 - 142	143 - 191	192 - 240	241 - 286	> 286
Bytový dům	< 43	43 - 82	83 - 120	121 - 162	163 - 205	206 - 245	> 245
Hotel a restaurace	< 102	102-200	201 - 294	295 - 389	390 - 488	489 - 590	> 590
Administrativní budova	< 62	62 - 123	124 - 179	180 - 236	237 - 293	294 - 345	> 345
Nemocnice	< 109	109-210	211 - 310	311 - 415	416 - 520	521 - 625	> 625
Budova pro vzdělávání	< 47	47 - 89	90 - 130	131 - 174	175 - 220	221 - 265	> 265
Sportovní zařízení	< 53	53 - 102	103 - 145	146 - 194	195 - 245	246 - 297	> 297
Budova pro velkoobchod a maloobchod	< 67	67 - 121	122-183	184 - 241	242 - 300	301 - 362	> 362

Tab. 1 Klasifikační třídy EN hodnocení energetické náročnosti budovy podle vyhlášky č. 148/2007 Sb.

Kategorie domu	Roční spotřeba tepla na vytápění v kWh/m ² za rok
Starší budovy D-G	Od 143 a výše
Novostavby C	83 – 142
Nízkoenergetické domy A	< 50
Pasivní domy A	< 15
Kategorie domu	< 5

Tab. 2 Podrobnější dělení pro rodinné a bytové domy

4 Charakteristiky tepelných ztrát

Dle ČSN ISO 13 789

Pro přehlednost jsou uvedeny základní pojmy a vztahy z oblasti tepelné energie, tepla a tepelných ztrát

4.1 Tepelná energie, teplo

Tepelná energie je nedílnou součástí planety Země. Je to míra celkové tepelné energie všech atomů a molekul tělesa nebo soustavy, součet kinetické a potenciální energie. Kinetická energie vzniká díky neustálému pohybu atomů, potenciální díky elektromagnetické síle mezi elektrony jednotlivých atomů. Přenos tepelné energie nazýváme teplo. Probíhá vždy ve směru od teplejšího tělesa směrem k tělesu chladnějšímu. Jako tepelné záření označujeme záření o vlnové délce $\lambda = 1 \cdot 10^{-4}$ až 0,1 mm

Pro přenos tepla platí první termodynamický zákon.

Tepelný tok (intenzita přenosu tepla za jednotku času)

$$q = Q/\tau \quad [\text{W}]$$

Kde:

Q...velikost předávaného tepla [J]

τ ...čas [s]

Teplo lze přenášet několika způsoby:

1. Přenos tepla sáláním (radiace)

Teplo je přenášeno díky elektromagnetickému vlnění, mezi dvěma povrchy s rozdílnou teplotou vzdálenými od sebe o určitou vzdálenost (jediná forma přenosu tepla ve vesmíru). Každé těleso (pokud nemá teplotu absolutní nuly) vyzařuje určité tepelné záření. Intenzitou vyzařování je zářivost (emisivita) ε . Nejvyšší zářivost mají černá tělesa, tmavé a hrubozrnné plochy, naopak nejnižší zářivost tělesa lesklá a hladká. Pro příklad: absolutně černé těleso $\varepsilon = 1$, hliníková leštěná fólie $\varepsilon = 0,05$.

Pro přenos tepla radiací platí dle Stefanova – Boltzmannova zákona následující rovnice pro tepelný tok:

$$q = \sigma_0 \cdot \varepsilon \cdot S \cdot T^4 \text{ [W.m}^2\text{.K]}$$

Kde:

σ_0 ...Stefanova – Boltzmannova konstanta

ε ...zářivost

S...plocha tělesa [m²]

T...teplota povrchu tělesa [K]

2. Přenos tepla prouděním (konvekce)

Přenos tepla na základě proudění vzduchu nebo kapaliny okolo exponovaného tělesa vlivem rozdílných hustot obtékaného vzduchu s rozdílnou teplotou. Tekutina se od tepelného zdroje ohřívá a ve standardních případech se zmenšuje její hustota. Ohřátá, specificky lehčí tekutina vlivem Archimédových vztahových sil, např. v zemském tíhovém poli stoupá a odnáší s sebou získanou tepelnou energii. Na její místo přitéká chladnější a těžší tekutina z okolí, čímž vznikne konvekční proudění. Dochází k němu v tekutinách, které konají makroskopický pohyb (proudí). Za svého pohybu přijímají od tepelných zdrojů teplo a unášejí je s sebou jako tepelné formy energie. Množství přenesené energie je závislé na tepelné kapacitě dané látky a na rychlosti proudění. Dělí se na přirozené (venkovní prostory) a nucené (chlazení, využití tepla pro rekuperaci apod.)

Tepelný tok q je zde definován pomocí Newtonova ochlazovacího zákona:

$$q = \alpha \cdot S \cdot (T_w - T_\omega) \text{ [W.m}^2\text{.K]}$$

Kde:

α ...součinitel přestupu tepla, závislý na místě, tvaru obtékaného tělesa, rychlosti proudění a vlastnostech obtékajícího media (podrobně rozebírán v kapitole č.7)

S...plocha tělesa [m²]

T_w ...teplota povrchu tělesa [K]

T_ω ...teplota kapaliny, vzduchu [K]

3. Přenos tepla vedením (kondukcí)

„Vedení tepla je šíření mechanických forem energie mikroskopického pohybu částic hmoty (atomů, molekul) v prostředí s teplotním gradientem. Je typickým způsobem šíření tepla v látkách pevných, existuje však i v tekutinách (kapalinách a plynech), jenže zde bývá šíření energie mikroskopickým pohybem často zastřeno šířením pohybem makroskopickým (prouděním). Znatelně se v tekutinách projevuje, je-li makroskopický pohyb potlačen. Příkladem může být vedení v tekutinách uzavřených v úzkých kanálech, dutinách porézního materiálu apod.

Ve teoretickém pojetí vedení tepla pokládáme látku za kontinuum, v němž se vytvoří teplotní pole. To lze mapovat soustavou izotermických ploch, které jsou v stacionárním poli nepohyblivé, v nestacionárním poli se pohybují. Vektorovými čarami teplotního pole jsou tepelné proudnice, což jsou čáry, k nimž je gradient teploty tečným vektorem. Soustava sousedních proudnic k proudnici řídící umožní definovat proudovou trubici o určitém průřezu. Východiskem k odvození rovnice teplotního pole je empirický Fourierův zákon.“ [4]

Přenos tepla vedením je ve stavebnictví asi nejčastějším a nejuvažovanějším případem, díky tuhým konstrukcím vhodným pro vedení tepla, ať již lépe nebo hůře. Přímo závislé na součiniteli tepelné vodivosti materiálu λ , viz dále.

Pro přenos tepla vedením platí Fourierův zákon

$$q = -\lambda \cdot S \cdot \Delta T \text{ [W.m}^2\text{.K]}$$

Kde:

ΔT ...rozdíl povrchových teplot tělesa při přenosu vedením [K]

S ...plocha, kde dochází k přenosu [m²]

λ ...součinitel tepelné vodivosti

4.2 Hlavní veličiny ovlivňující tepelné ztráty

4.2.1 Součinitel tepelné vodivosti

„Součinitel tepelné vodivosti λ pro daný materiál, stanoven empiricky, obecně závisí na teplotě (u většiny materiálů s rostoucí teplotou klesá, u polovodičů roste), tlaku a složení látky. Určuje se většinou měřením hustoty tepelného toku, gradientu teploty a poté výpočtem ze vztahu:

$$\lambda = -dQ / \text{grad } t \cdot dS \cdot d\tau \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Kde:

Q...množství tepelné energie

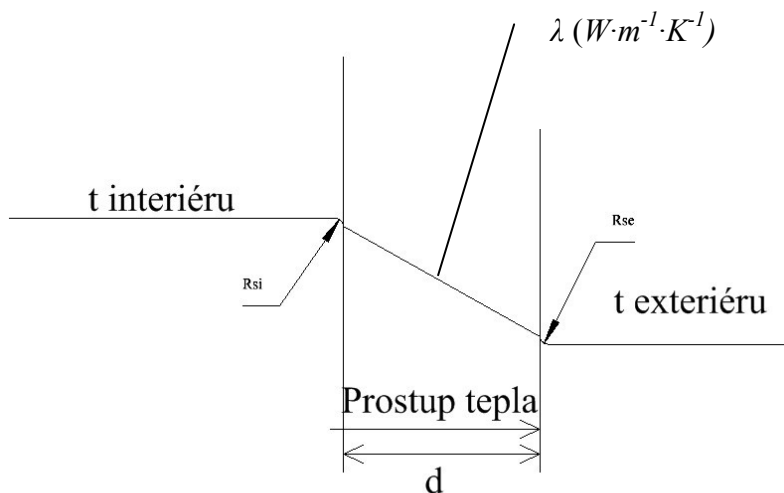
grad t...rozdíl teplot

S...plocha

τ ...čas

Je tedy množství tepla, které projde za jednotku času jednotkovou plochou izotermického povrchu, přičemž v tělese je jednotkový teplotní gradient.“[4]

„Součinitel tepelné vodivosti je materiálová vlastnost tepelně vodivého prostředí. V idealizovaném homogenním a izotropním prostředí se často pokládá za konstantní, u některých materiálů však výrazně závisí na teplotě, v nehomogenním prostředí je funkcí polohy, v neizotropním materiálu je λ různý v různých směrech.“[4]



Obr. 5 Prostup tepla v závislosti na součiniteli tepelné vodivosti λ

Látka	λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
železo	73
dřevo kolmo	0,12-0,18
dřevo rovnoběžně	0,25-0,45
beton	1,5
voda	1,0
cihla	0,28-1,2
sklo	0,6-1,0
polystyren fasádní	0,038
skelná vata	0,04

Tab. 3 Tepelné vodivosti u vybraných materiálů při teplotě 20°C

Výpočet součinitele tepelné vodivosti pro dřevo

„Tepelná vodivost λ dřeva závisí především na hustotě a vlhkosti dřeva. MacLean (1941) navrhl empirickou rovnici pro stanovení součinitele tepelné vodivosti λ v příčném a podélném směru vláken ve tvaru:

$$\lambda_{\text{kolmo k vláknům}} = \rho_k \cdot (0,217 + a \cdot w) + 0,024 P_w \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$$

$$\lambda_{\text{podél s vlákny}} = 2,5 \cdot \lambda_{\text{kolmo}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Kde:

ρ_k konvenční hustota [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

wvlhkost dřeva [%]

P_wpórovitost [%]

akoeficient $a = 0,0040$ pro $w < 40\%$ a $a = 0,0055$ pro $w > 40\%$.“

Zdroj: www.wood.mendelu.cz

4.2.2 Součinitel prostupu tepla

Každý materiál zabudovaný ve stavbě má určité tepelně-izolační vlastnosti. Aby byly tyto vlastnosti určitým způsobem hodnoceny, respektive porovnávány, je zaveden součinitel prostupu tepla U , který na základě součinitele tepelné vodivosti λ určuje tepelný průstup tepla materiálem.

- a) **Výpočet součinitele prostupu tepla U_i pro skladbu stěny z jednoho materiálu při uvažování odporu proudění vzduchu [8]:**

$$U_i = \frac{1}{\frac{d_i}{\lambda_i} + R_{si} + R_{se}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Kde:

d_i ...tloušťka materiálu [m]

R_{si} ...tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$] (dle ČSN 0,13 $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)

R_{se} ...tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$] (dle ČSN 0,04 $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)

λ_i ...tepelná vodivost materiálu [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

- b) **Výpočet součinitele prostupu tepla U_i pro vícevrstvou skladbu materiálů**

Jedná se o součet jednotlivých součinitelů prostupu tepla pro každou část skladby stavební konstrukce.

$$U_i = \frac{1}{\frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{d_k}{\lambda_k} + R_{si} + R_{se}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Kde:

d_i, d_j, d_k ...tloušťka jednotlivých materiálů skladby [m]

$\lambda_i, \lambda_j, \lambda_k$...tepelné vodivosti jednotlivých materiálů [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

R_{si} ...tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$] (dle ČSN 0,13 $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)

R_{se} ...tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$] (dle ČSN 0,04 $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)

4.3 Tepelná ztráta prostupem

Množství tepla, které prostoupí přes jiná tělesa (okolní zemina, obvodové stěny). Skládá se z prostupu tepla obvodovým pláštěm, prostupu tepla přes zeminu, prostupu tepla do nevytápěných prostor a prostupu tepla do prostor vytápěných na odlišnou nižší teplotu. Určuje se na základě součinitele tepelného prostupu tepla stanoveným pro jednotlivé konstrukce.[10]

Tepelná ztráta prostupem:

$$H_T = L_D + L_S + H_u + H_{T1} \text{ [W/K]}$$

Kde:

L_D ...tepelná propustnost obvodového pláště mezi vnějším a vnitřním prostředím [W/K]

L_S ...tepelná propustnost přes zeminu [W/K]

H_u ...tepelná ztráta prostupem tepla přes nevytápěné prostory [W/K]

H_{T1} ...tepelná ztráta prostupem tepla přes prostory vytápěné na odlišné teploty [W/K]

4.4 Tepelná ztráta větráním

Tepelná ztráta, zahrnující v sobě množství vzduchu, nasávaného z venkovního prostředí při infiltraci a pro nutnou výměnu vzduchu. [10]

Tepelná ztráta větráním:

$$H_V = V_{\text{tok}} \cdot \rho \cdot c \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}$$

Kde:

V_{tok} ...objemový tok vzduchu v budově (kolikrát se za 1h vymění v dané místnosti objem vzduchu)

ρ ...hustota vzduchu [kg/m³]

c ...měrná tepelná kapacita vzduchu [J/kg . K]

Po zjednodušení, při předpokladu konstantního ρ a c je $H_V = 0,34 \cdot V_{\text{tok}}$

4.5 Celková tepelná ztráta objektu

Součet tepelné ztráty prostupem a tepelné ztráty větráním v závislosti na rozdílu teplot mezi vnitřním a vnějším prostředím. Teplota interiéru t_i je dle normy pro obytné a neobytné vnitřní prostory, teplota exteriéru t_e je dle normy v závislosti na nadmořské výšce objektu.

Rozdělení, tab. viz níže.

$$Q = (H_T + H_W) \cdot (t_i - t_e) \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Kde:

H_T ...celková tepelná ztráta prostupem [W/m² . K]

H_V ...celková tepelná ztráta větráním [W/m² . K]

t_i ...teplota v interiéru [K, °C]

t_e ...teplota v exteriéru (výpočtová, dle teplotní oblasti) [K, °C]

Lokalita (místo měření)	Nadmořská výška h [m]	Venkovní výpočtová teplota t_e [°C]	Otopné období pro $t_{em} = 13^\circ\text{C}$ t_{es} [°C]	Otopné období pro $t_{em} = 13^\circ\text{C}$ d [dny]
Brno	227	-12 _v	4	232
České Budějovice	384	-15	3,8	244
Děčín	141	-12	4,2	236
Karlovy Vary	379	-15 _v	3,8	254
Liberec	357	-18	3,6	256
Olomouc	226	-15	3,8	231
Ostrava	217	-15	4,0	229
Pardubice	223	-12 _v	4,1	234
Plzeň	311	-12	3,6	242
Praha(Karlov)	181	-12	4,3	225
Ústí nad Labem	145	-12 _v	3,9	229

Tab. 4 Venkovní výpočtová teplota a otopné období dle lokality [11]

Vysvětlivky:

t_{em} [°C] - střední denní venkovní teplota pro začátek a konec otopného období

t_{es} [°C] - střední venkovní teplota za otopné období

d [dny] - počet dnů otopného období

v - značí větrnou oblast

Druh místnosti	Vnitřní výpočtová teplota t_i
obývací místnosti	20°C
kuchyně	20°C
koupelny	24°C
vytápěné vedlejší místnosti	15°C
vytápěná schodiště	10°C

Tab. 5 Vybrané výpočtové vnitřní teploty [11]

5 Přehled tepelných ztrát objektů

Tepelné ztráty jsou jako každé jiné ztráty způsobené nedokonalým systémem konstrukcí. Vyskytují se u všech dnes známých typů staveb, buď v menší míře (nulový dům) nebo v míře větší (starší a stará zástavba). V dnešním světě snižování energetické náročnosti obyvatelstva se hlavní požadavky kladou na snižování energií pro bydlení a pro činnosti s ním spojené, neboť tato část představuje jednu z největších zastoupení spotřebovávané energie lidskou populací, a to až 40%. Na základě toho pak vznikají nové koncepce a nové systémy se stále rostoucí efektivitou udržení tepla nebo chladu v zimním, respektive v letním období.

Tepelné ztráty se obecně rozdělují do několika rovin ztrát. Ztráty otvorovými výplněmi, ztráty obvodovými stěnami, ztráty stropem nebo střechou a ztráty zemí. Všechny tyto ztráty jsou z hlediska tepelné pohody staveb významné a jejich eliminováním podstatně snižujeme náklady na bydlení.

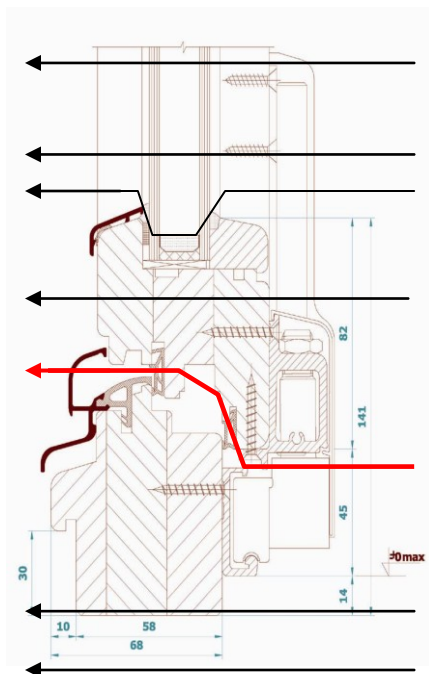
Tabulka (viz níže) uvádí hodnoty uvedené v normě pro standardní novostavby. Pro novostavby nízko-energetické, pasivní a nulové jsou hodnoty požadovány daleko nižší. Norma zatím tyto přesné hodnoty neudává, doporučuje pro vyhovění nižší energetické náročnosti u nízko-energetických domů dosáhnout min. 2/3 doporučených hodnot u standardních novostaveb. U staveb pasivních pak ještě méně, součinitel prostupu tepla U pro obvodové stěny by neměl překročit hodnotu $0,15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Popis konstrukce	U_N [W/m ² .K]	
	Požadované	Doporučené
Střecha plochá a šikmá do 45° včetně Podlaha nad venkovním prostorem	0,24	0,16
Strop pod nevytápěnou půdou (střecha bez tepelné izolace) Podlaha a stěna s vytápěním (vnější vrstvy od vytápění)	0,30	0,20
Stěna vnější	lehká 0,30	0,20
Střecha strmá se sklonem nad 45°	těžká 0,38	0,25
Podlaha/stěna přilehlá k zemině Strop/stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40
Strop/stěna vnitřní z vytápěného k částečně vytápěnému prostoru Strop/stěna vnější z částečně vytápěného k nevytápěnému prost.	0,75	0,50
Stěna mezi sousedními budovami Strop s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,05	0,70
Stěna s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,30	0,90
Strop vnitřní s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,2	1,45
Stěna vnitřní s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,7	1,80
Okno, dveře aj. výplň otvoru, ve vnější stěně a strmé střeše z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	nová 1,70	1,20
Pro rámy nových výplň otvorů platí: $U_f \leq 2,0 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$	uprav. 2,00	
Dtto, z vytápěného do částečně vytápěného prostoru nebo z částečně vytápěného prostoru do venkovního prostředí	3,5	2,3
Šikmé střešní okno, aj. výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,50	1,10
Pro jejich rámy včetně izolačního obkladu platí: $U_f \leq 2,0 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$		
Dtto, z vytápěného do částečně vytápěného prostoru nebo z částečně vytápěného prostoru do venkovního prostředí	2,6	1,70

Tab. 6 Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla U_N pro stavební konstrukce dle ČSN EN 73 0540

5.1 Otvorové výplně (okna, dveře)

Úniky tepelné energie okny a dveřmi jsou považovány za nejvýznamnější tepelné ztráty vzhledem k celé konstrukci skladby. Únik tepla oknem nebo dveřmi je 4x – 10x větší než u stěny, stropu nebo střechy v přepočtu na uvažovanou plochu. Proto by se na otvorové výplně mělo dbát nejvyšší pozornosti, s hlavním zaměřením právě na okna, díky jejich množství a nutnosti potřeby téměř v každé místnosti. V současnosti je normou dán minimální součinitel prostupu tepla U , a to $1,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ pro okno jako celek. Platí pro všechny novostavby a objekty s vnitřní teplotou $18 - 24^\circ\text{C}$. Základními podmínkami pro splnění minimálních hodnot je dodržení dostatečné tloušťky rámu (záleží na druhu použitého materiálu). Důležité je také použití izolačních skel (trojskel) a v neposlední řadě zajištění správné montáže. Velmi záleží na konstrukci zasklívacích a připojovacích spár, které při nedokonalém provedení velmi citelně zhoršují celkový tepelný prostup otvorovou výplní. Příkladnou ukázkou je dnes již běžná situace, kdy objekt výpočetně splňuje podmínky pro tepelné ztráty, ve skutečnosti jim však neodpovídá. Na vině je pak především neodborná montáž osazování oken a dveří.



Únik tepla prostupem skla, vedení tepla

Únik tepla tepelným mostem rámečkem izolačního skla

Únik tepla prostupem rámu nebo křídla, vedení tepla

Únik tepla infiltrací funkční spárou mezi okenním rámem a okenním křídlem

Únik tepla infiltrací skrz připojovací spáru

Únik tepla radiací, sálání tepla

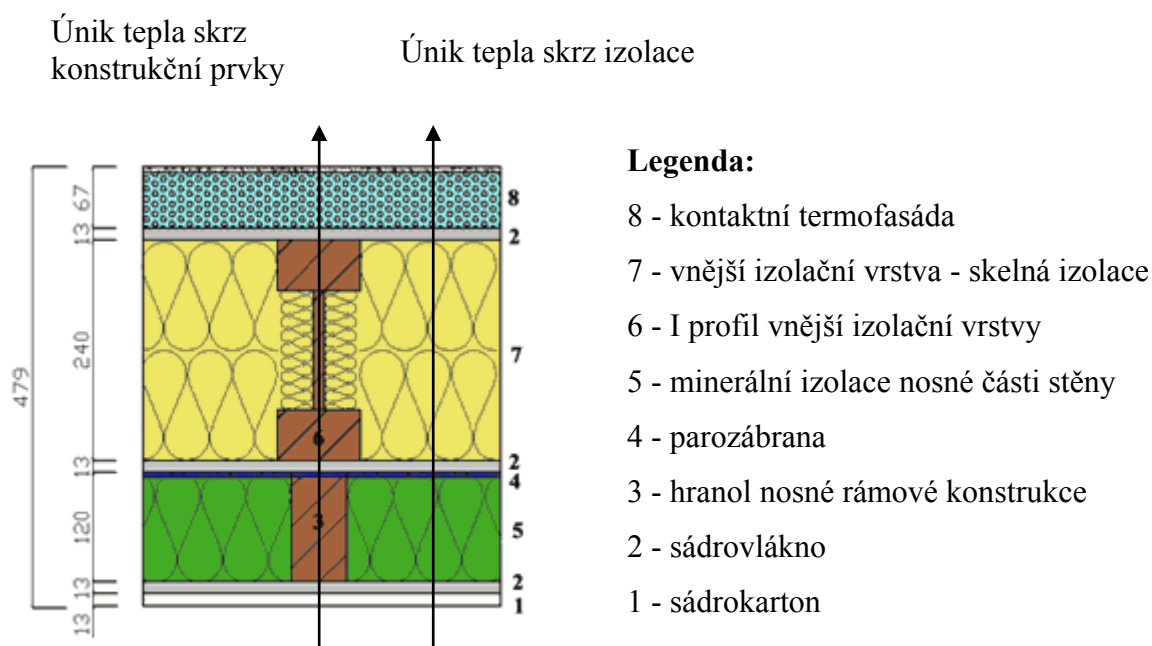
Únik tepla tepelným mostem skrz ostění okna

Obr. 6 Typy úniků tepla u okna [9]

5.2 Obvodové stěny

Ztráty obvodovými stěnami představují co do konstrukce staveb největší tepelné ztráty hned po oknech a vzhledem k funkční ploše mají až čtvrtinový podíl na celkové tepelné ztrátě objektu. Hlavní a téměř jedinou složkou prostupu tepla je zde prostup tepla vedením. Díky němu se zde v hlavní míře uplatňuje struktura materiálu, především součinitel prostupu tepla U . Ten je závislý na součiniteli tepelné vodivosti λ , který je pro každý materiál charakteristický. Čím nižší λ tím samozřejmě lepší vlastnosti materiálu vzhledem k tepelně izolačním vlastnostem.

V dnešních stavbách a hlavně v dřevostavbách se pak uplatňuje tzv. složený (sandwichový) typ konstrukce obvodových stěn. Tedy jsou použity materiály o různé tepelné vodivosti a většinou tuhý konstrukční materiál o vyšší λ je pak doprovázen materiálem o velmi nízké až nízké tepelné vodivosti λ . Dosavadní platná norma uvádí minimální součinitel prostupu tepla: u těžkých konstrukcí (např. beton, cihla) $0,38 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. K doporučená pak $0,25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. U lehkých konstrukcí pak minimální součinitel je $0,30 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ a doporučená hodnota pak $0,20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.



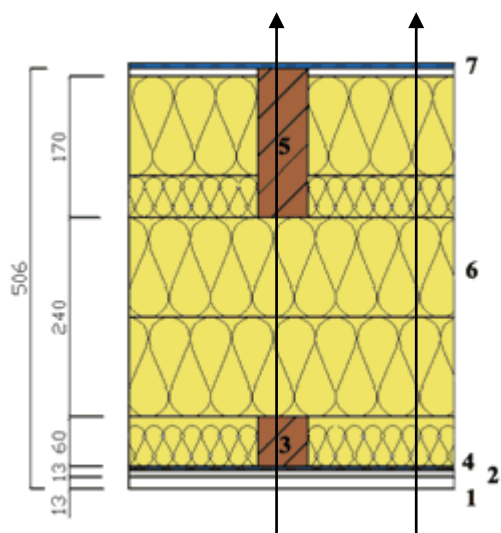
Obr. 7 Příklad skladby obvodové stěny dřevostavby

5.3 Stropy a střechy

Z hlediska fyzikálních vlastností, kdy teplejší vzduch stoupá vzhůru a z hlediska požadavků normy jsou zejména na střechy kladeny nejvyšší požadavky pro tepelnou izolaci. Běžně dosahují dvojnásobných hodnot oproti standardním hodnotám obvodových stěn. Skladba je téměř podobná, avšak z větší části zesílená. Pro střechy o sklonu do 45° je minimální hodnota součinitele tepelného odporu $0,24 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, doporučená pak $0,16 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Pro střechy se sklonem 45° nebo vyšším jsou hodnoty o něco vyšší, a to $0,30 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, doporučená pak $0,20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. U stropů požadavky normy nejsou tak jednoznačné díky velké variabilitě možností, např. strop pod nevytápěnou půdou, strop mezi vytápěnými prostory, půdní strop apod. Zde se vychází z minimálních hodnot od $0,24 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ do $3,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Únik tepla skrz stropní trámy a krokve

Únik tepla skrz střešní izolace



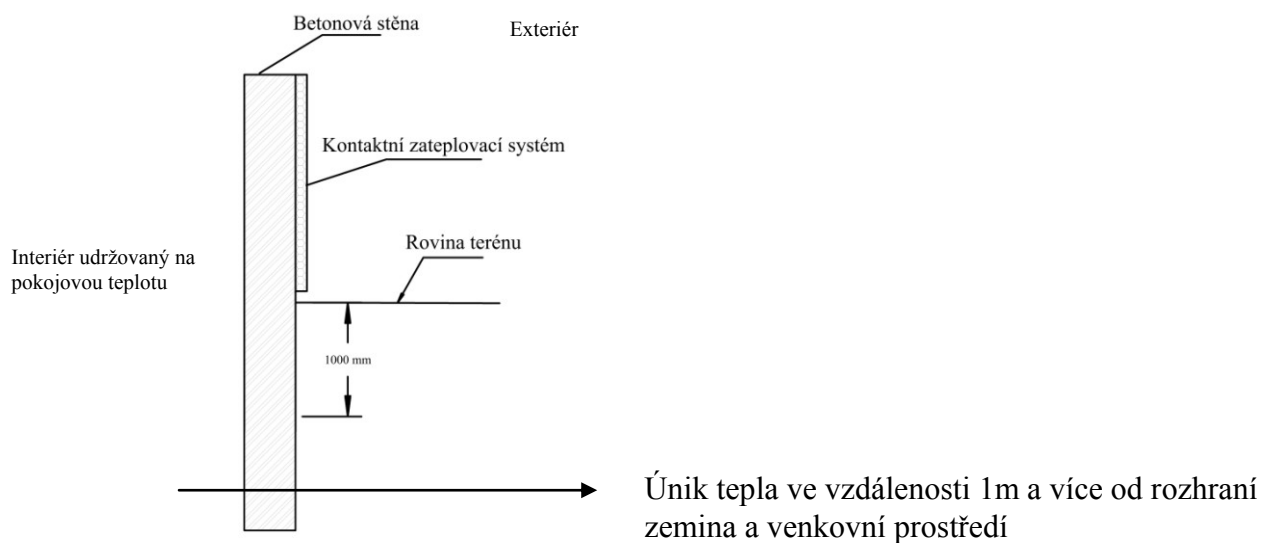
Legenda:

- 7 - difusní folie
- 6 - skelná izolace
- 5 - krokve
- 4 - parozábrana
- 3 - hranol samonosné konstrukce šikmého stropu
- 2 - sádrovlákno
- 1 - sádkarton

Obr. 8 Příklad skladby střešní konstrukce

5.4 Zemina, úniky do země

Pro vzdálenosti 1 m od rozhraní zeminy a vzduchu platí pro stěnu dotýkající se zeminy stejné požadavky pro prostup tepla jako pro normální obvodovou stěnu stavby. Pro části stěn vzdálených dále než 1 m od rozhraní zeminy a vzduchu a zejména pro podlahové konstrukce suterénu pak platí hodnoty mírně upravené, tj. minimální hodnota $0,60 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ a doporučená pak $0,40 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.



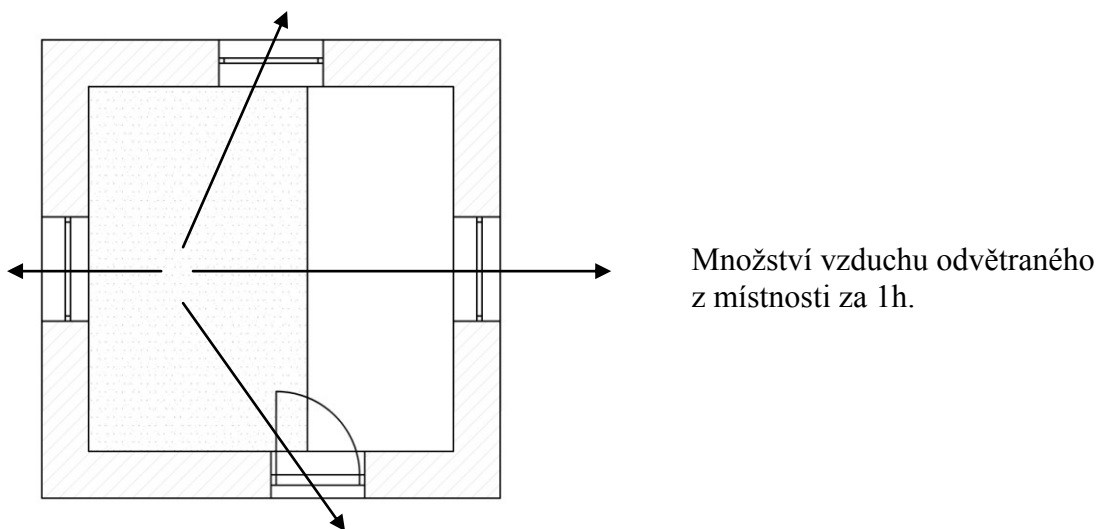
Obr. 9 Náčrtek konstrukce stěny s tepelným únikem do přilehlé zeminy

5.5 Další vlivy způsobující tepelné ztráty

5.5.1 Větrání

Poměrně výrazná složka celkových ztrát objektů, závislá na nutné potřebě výměny vzduchu. V dnešní době snižování tepelné náročnosti budov je však bezpodmínečně nutné snižovat i tepelnou ztrátu větráním, nejenom zvyšovat tepelné izolace staveb. Proto vesměs u všech nízko-energetických a pasivních domů je větrání zabezpečeno způsobem co možná nejšetnějším ke ztrátě tepla. Většinou bývá doprovázeno systémem rekuperace tepla, čili využití tepla z odváděného vzduchu a tímto teplem přehřívání vzduchu čerstvého, aby byla tepelná ztráta co nejmenší. Účinnost zpětné rekuperace tepla je dle typu výměníku od 50% do 85%.

Pro kategorie nízkoenergetických domů je větrání započítáno do celkové ztráty objektu koeficientem max 0,6. Tzn. za 1 h se objem vzduchu v místnosti vymění 0,6 krát.



Obr. 10 Znárodnění množství vzduchu odvětraného za 1h.

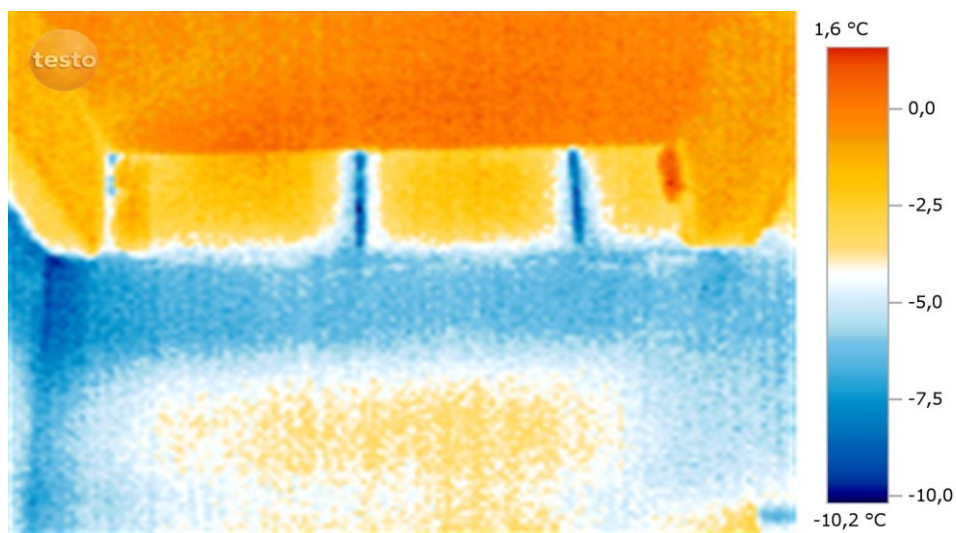
5.5.2 Vlhkost

Vlhkost s uvažováním pro tepelně izolační schopnosti je vlastnost materiálu, která ho určitým způsobem ovlivňuje. Záleží na vlastnostech materiálu, pokud vede teplo lépe nebo hůře než voda. Pokud stavební materiál vede teplo hůře než voda, bude vlhkost jeho izolační schopnosti zhoršovat, pokud naopak vede teplo lépe než voda, bude jeho izolační schopnosti zlepšovat. V praxi se obecně používají materiály se špatnou tepelnou vodivostí (horší než

voda) voda proto působí velmi nepříznivě a je v konstrukcích nežádoucí. Druhým velmi nepříznivým jevem, který způsobuje voda, je její srážlivost (kondenzace) na chladnějších místech v kombinaci s vytápěným prostorem. Je to důsledek špatné izolace nebo vliv tepelného mostu. Vlhkost u dřevostaveb představuje zvlášť nebezpečný faktor, neboť působení vlhkosti v dřevěné konstrukci velmi výrazně snižuje její trvanlivost a izolační schopnosti.



Obr. 11 Vlhký věnec u cihlové novostavby



Obr. 12 Vliv vlhkého věnce u cihlové novostavby na součinitel prostupu tepla

6 Metody určení základních veličin pro výpočet tepelných ztrát

Zjistit tepelné ztráty objektu lze několika možnými způsoby. Nelze říci, které metody jsou obecně nejspolehlivější a nejpřesnější, každá však má své výhody a nevýhody. Základem pro výpočet tepelných ztrát je nutná znalost součinitelů prostupu tepla všech odlišných částí obvodových konstrukcí vystavených vnějším podmínkám nebo podmínkám s odlišnou okolní teplotou od interiéru (schodiště, chodby, apod.). Součinitel prostupu tepla lze stanovit početní metodou ze znalostí charakteristik materiálů tvořících obvodové konstrukce, tj. vlastnosti jako homogenita, tloušťka, atd. nebo jak navrhuji v kap. 7 ho lze změřit pomocí povrchových teplot konstrukce při měření termokamerou. Znalost tohoto součinitele je přímo závislá na dalších výpočtech pro určení tepelných ztrát celého objektu.

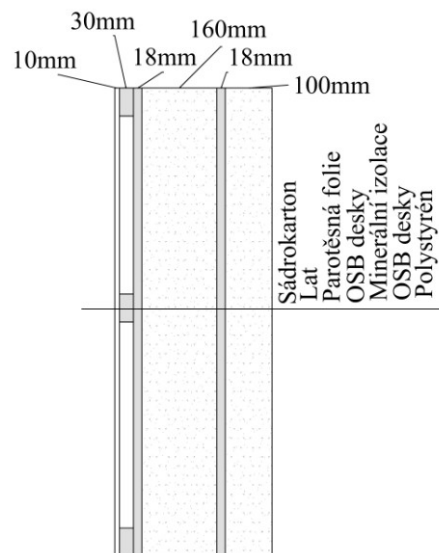
6.1 Postup při výpočetní metodě

U novostaveb probíhá před realizací stavby ve fázi projektu tak, aby daný objekt splňoval normové požadavky. U stávajících staveb lze provést pouze při znalosti konstrukce a složení obvodového pláště.

1. Určení součinitele prostupu tepla U pomocí definovaných vzorců dle ČSN EN 12 831.
2. Určení skladby stěny $d_1 - d_n$ (sádkartón – vzduch. mezera – OSB desky – minerální izolace – dřevěný nosný rám – OSB desky – polystyrén. izolace – vrchní omítka).
3. Určení tlouštěk jednotlivých částí skladby $d_1 - d_n$ [m].
4. Dle tabulek určit tepelné vodivosti materiálů λ_n skladby $d_1 - d_n$ [W/m . K].
5. Výpočet dílčích odporů $R_1 - R_n$, dle vzorce $R_n = d_n / \lambda_n$ [m² . K/W].
6. Součet celkového odporu uvažované stěny R s přihlédnutím odporů při přestupu na vnitřní a vnější straně R_{si} a R_{se} , $R = R_1 + \dots + R_n + R_{si} + R_{se}$ [m² . K/W].
7. Výpočet součinitele prostupu tepla U , $U = 1 / R$ [W/m² . K]

6.1.1 Příklad výpočtu součinitele prostupu tepla

Skladba stěny: Rámová konstrukce izolovaná minerální vatou, z vnitřní strany sádrokarton, z vnější fasádní polystyren tloušťky 100mm.



Obr. 16 Řez řešenou konstrukcí

1 Tloušťka materiálů

$$d_1 = 0,010\text{m}, d_2 = 0,030\text{m}, d_3 = 0,018\text{m}, d_4 = 0,160\text{m}, d_5 = 0,018\text{m}, d_6 = 0,100\text{m}$$

2 Tepelná vodivost materiálů

$$\lambda_1 = 0,350\text{W/m.K}, \lambda_2 = 0,170\text{W/m.K}, \lambda_3 = 0,130\text{W/m.K}, \lambda_4 = 0,040\text{W/m.K},$$

$$\lambda_5 = 0,130\text{W/m.K}, \lambda_6 = 0,038\text{W/m.K}.$$

3 Dílčí odpory jednotlivých materiálů

$$R_1 = 0,028\text{m}^2.\text{K/W}, R_2 = 0,176\text{m}^2.\text{K/W}, R_3 = 0,138\text{m}^2.\text{K/W}, R_4 = 4,000\text{m}^2.\text{K/W},$$

$$R_5 = 0,138\text{m}^2.\text{K/W}, R_6 = 2,631\text{m}^2.\text{K/W}.$$

4 Celkový odpor

$$R = 7,281 \text{ m}^2.\text{K/W}.$$

5 Výsledný součinitel prostupu tepla $U = 0,137\text{W/m}^2.\text{K}$

6.2 Kontrolní měření tepelných ztrát přístroji

Aktuální měření ztrát na již dokončeném (případně rozestavěném) objektu je možno rychle provádět také kontroly úniků tepla pomocí měřících přístrojů.

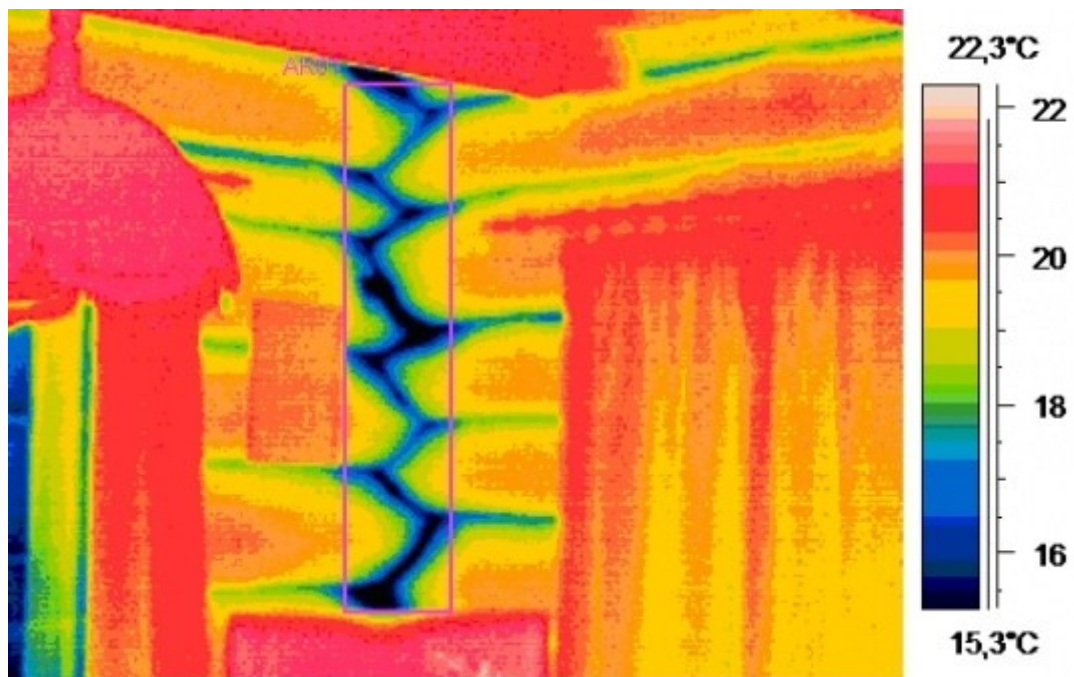
Dělí se na měření pomocí termokamery (měření povrchových teplot) a měření pomocí testu průvzdušnosti (měření celkové „těsnosti“ objektu).

6.2.1 Měření termokamerou

Infrakamera nekontaktním způsobem snímá infračervené záření vyzařované z povrchu měřeného objektu a transformuje ho na viditelný reliéf teplotního pole (znázornění na obrazovce). Základními částmi termokamer je objektiv a detektor. Objektiv je soustava čoček vhodných pro dané spektrum záření, která přenáší záření z každého bodu měřeného tělesa do roviny každého bodu detektoru. Detektor je tedy soustava bodů (pixelů) které převádí zářivou energii na analogový signál.

Kamery vyšších kategorií vedle zpracování snímaného signálu umožňují i provedení jeho dílčího vyhodnocení (včetně nezbytné kompenzace některých vnějších faktorů); signál je následně ve formě termogramu (případně doplněného i reálnými obrazy – fotografiemi měřeného objektu) uložen na záznamové médium pro další zpracování. To probíhá za pomoci softwaru, který většinou umožňuje podrobný rozbor sejmutých a zaznamenaných termogramů, včetně kompenzace vnějších vlivů a vyhodnocení a tvorbu výsledných protokolů.

Výše uvedené řádky kromě základních informací o principech metody mají ještě jeden důležitý význam – zdůraznit skutečnost, že termokamery teplotu povrchu snímaného objektu neměří, ale vypočítávají na základě nekontaktně snímané intenzity infračerveného záření, vyzařovaného ze snímaného povrchu, a zadaných hodnot, vyjadřujících vliv vnějších faktorů, vstupujících do nekontaktního procesu snímání teploty, na kterých závisí velikost infračerveného signálového radiačního toku, emitovaného z povrchu konstrukce a detekovaného infrakamerou.



Obr. 13 Příkladná ukázka využití termografie v praxi, tepelné mosty v rohovém spoji sruhu



Obr. 14 Termokamera Testo 880

6.2.1.1 Základní veličiny

Zářivost (emisivita) ε

Schopnost tělesa pohlcovat a tedy i vyzařovat infračervené záření. Kovy, skla a látky s hladkým a lesklým povrchem mají obecně nižší zářivost, naopak látky na bázi organických sloučenin, plasty a stavební materiály (beton, cihly) mají zářivost vyšší.

Odrazivost (reflexe) r

Udává schopnost materiálu odrážet záření, závisí hlavně na povrchu materiálu a jeho schopnosti odrážet záření.

Měření je založeno na systému měření infračerveného záření těles. Kamera převádí hodnoty různých povrchových teplot materiálů do obrazových grafů s barevným vyobrazením zón stejných povrchových teplot.

Kamera zachycuje záření o vlnové délce $1 \cdot 10^{-4}$ - 0,1 mm neboli záření dlouhovlnné infračervené. Tyto hodnoty vycházejí z konstrukce dané kamery, záleží na její specifikaci a zaměření. Kamera nikdy nezachycuje celé tepelné záření tělesa, ale jeho podstatnou část.

Reálná tělesa vykazují tři druhy reakcí s tepelným zářením. Tepelné záření odrazí, pohltí, a nebo nechají prostoupit. Tyto tři složky se poměrově liší v závislosti na vlastnostech tělesa.

Platí:

$$a + r + t = 1$$

Kde:

a...pohltivost (absorpce) záření tělesem (pro absolutně černé těleso je $a = 1$)

r...odrazivost (reflexe) záření tělesem ($r = 1$, pro dokonale bílé těleso)

t...průteplivost (transmitace) tělesa ($t = 1$, pro dokonale tepelnému záření prostupné těleso)

Pro potřeby měření je důležitá pohltivost, tj. těleso je schopno vyzářit takové množství tepelné energie, kolik je ho schopno samo přijmout, tedy hodnota pohltivosti je rovna hodnotě zářivosti.

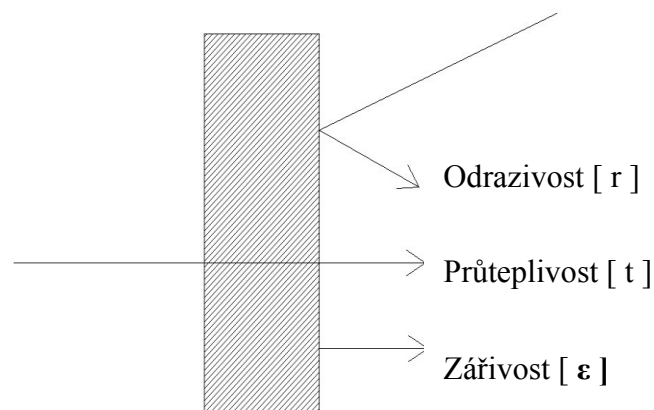
Jak už bylo řečeno, termokamera zaznamenává infračervené záření tělesa a toto záření přepočítává na teplotu povrchu objektu. Toto jednoznačné určení je založeno na dvou vlastnostech materiálu významně ovlivňujícím reakci s tepelným zářením. Jedná se o

zářivost a kompenzaci odražené teploty. Platí, že čím je nižší zářivost, tím je vyšší podíl odraženého záření a tím je důležitější nastavení přesné kompenzace odražené teploty*.

Důležitým faktorem ovlivňující zobrazení teplotního pole měřeného materiálu je vliv okolního infračerveného záření, tedy například záření slunce, oblohy, okolních těles nebo třeba i vzduchu. Takto vytvořené soustavy s měřeným tělesem vytvářejí velmi nepřesná data a výrazně tak zkreslují měření.

Zářivost a kompenzace odražené teploty jsou vlastnosti, které se nastavují při každém měření termokamerou v závislosti na materiálu. Nežádoucími druhy záření pro potřebu termovize je záření odražené, čili reflexe. Při např. zcela osluněné měřené stěně je odrazivost (reflexe) tak vysoká, že termovizní měření je zcela zkreslené.

**Lesklá tělesa, například kovy, plasty, skla se vyznačují poměrně vysokým podílem odraženého záření, tudíž se na kameře zdají jako extrémně teplá nebo chladná. Kompenzace odražené teploty s pomocí zářivosti tělesa tyto rozdíly vyrovná.*



Obr.15 Druhy reakcí tělesa při styku s tepelným zářením

6.2.1.2 Zásady měření termokamerou

- **Čím je nižší zářivost, tím je přesné měření náročnější**

1. Objekty, nebo tělesa, které mají povrch s vysokou zářivostí, $\epsilon > 0,8$, měření takovýchto objektů/těles je z hlediska přesnosti nejefektivnější z důvodu velmi malé složky odraženého záření (reflexe).
2. Objekty, nebo tělesa se střední zářivostí $0,6 < \epsilon < 0,8$. Měření se ještě dá považovat za téměř přesné.
3. Objekty nebo tělesa s nízkou zářivostí $\epsilon < 0,6$, mají vysokou odrazivost a tím pádem vysokou nepřesnost naměřené povrchové teploty, měření je možné, ale spíše pouze orientační.

- **Nastavení zářivosti (emisivity)**

Důležité je nastavení dle tabulek podle měřeného materiálu a jeho vlastností, případně srovnávací metodou pomocí zjištění teploty měřeného povrchu kontaktním teploměrem (po shodě teploty naměřené termokamerou a teploty zjištěné z kontaktního teploměru je zářivost měřeného povrchu správná). Při zvětšujícím se rozdílu teplot mezi měřeným tělesem a prostředím je toto nastavení důležitější díky změně vlnové délky tepelného záření (s větší teplotou klesá vlnová délka maximální hustoty infračerveného záření, Wienův zákon).

Druh materiálu	Zářivost (emisivita)
Bukové hoblované dřevo	0,94
Dubové hoblované dřevo	0,91
Smrkové dřevo	0,89
Beton	0,94
Pálené cihly	0,93
Sklo	0,92
Voda	0,92
Hliník leštěný	0,05
Pozinkový plech	0,23

Tab. 7 Příklady zářivosti materiálů ϵ při 20°C [11]

- **Nastavení odrazivosti (reflexe) teploty**

Má velký význam v přesnosti termokamery při určování teploty povrchu. V největší míře záleží na okolním prostředí při měření, je-li obloha jasná, zatažená, či svítí-li na plno slunce. Pokud jsou zajištěny podmínky pro odstínění všech ostatních neměřených infračervených zářičů, je nastavení reflexe (odražené teploty) stejné jako je venkovní teplota. Pokud tyto podmínky splněny nejsou, nezbyvá než změřit teplotu tohoto záření a od výsledku ji následně odečíst. Provádí se pomocí tzv. Lambertova zářiče*. U většiny případů je hodnota zjišťována pomocí radiačního teploměru.

**Přístroj, který dokonale rozptýlí dopadající infračervené záření do všech směrů, pomocí termokamery lze poté jednoduše změřit jeho teplotu.*

6.2.1.3 Veličiny ovlivňující měření

1. Teplota okolí

Je popsána výše v odstavci Nastavení odrazivosti.

2. Infračervené záření okolních těles v měřené soustavě (viz nastavení odrazivosti)

Při termografickém měření je obvykle přítomno záření, které poměrně výrazně ovlivňuje naměřené hodnoty (převážně u těles s nízkou zářivostí). Jedná se především o sluneční záření a záření čisté oblohy. Infračervená složka slunečního záření odpovídá až 5500°C, naopak infračervená složka čisté oblohy odpovídá -50°C až -60°C.

Toto záření se nejvíce projeví při měření materiálů s vysokou a velmi vysokou zářivostí (emisivitou), které nejvíce odráží okolní záření (okenní tabule, klempířské prvky, parapety, apod.). Po změření termokamerou se pak zdají příliš teplá (ozáření sluncem), nebo naopak příliš studená (odraz záření čisté oblohy). Pro odstranění lze použít Lambertova zářiče (viz výše).

3. Meteorologické jevy a počasí

Počasí a meteorologické jevy jsou velmi nevyzpytatelnou přírodní silou, ovlivňující měření ve veliké míře. Při jeho průběhu a současné výrazné změně počasí většinou naměřené hodnoty ztrácí svůj smysl a charakter a je třeba měření opakovat.

Mezi nejvýznamnější meteorologické jevy a činitele patří zejména

- Jasná obloha
Má velký vliv chladné infračervené záření oblohy.
- Zataženo s deštěm nebo se sněžením
Voda v podobě deště a sněhu má obecně vysokou zářivost a nízkou propustnost pro infračervené záření, měření tak výrazně zkresluje.
- Vysoká vlhkost vzduchu, mlha
V podstatě tentýž problém, jako u deště, avšak vlivem kondenzace vlhkosti na povrchu měřených objektů dochází k smáčení povrchu a poté k odparu kondenzátu a tím zkreslení povrchové teploty.
- Špatné povětrnostní podmínky, silné proudění vzduchu
Silné proudění okolo měřeného povrchu materiálu způsobuje jeho ochlazování nebo oteplování a tím i zkreslení naměřených hodnot.

4. Ostatní faktory

- Znečištění vzduchu
Při výraznějším znečištění vzduchu okolo měřeného objektu jemnými pevnými částicemi (prach, saze, kouř) dochází k zkreslení naměřených hodnot díky vysoké zářivosti a nízké prostupnosti pro infračervené záření těchto jemných částic.

6.2.1.4 Souhrn

Z předchozích úvah tedy vyplývá že měření by nemělo být prováděno v následujících podmínkách:

1. Neměřit při plném slunečním záření
2. Neměřit v mlze ani ve vodní páře
3. Neměřit v průvanu, nebo za větru
4. Neměřit v příliš prašném prostředí
5. Pokud je to možné, vždy měřit z nejmenší možné vzdálenosti (zabránění ostatním vlivům)

Ideální podmínky pro měření

Důležité pro měření je především stabilita počasí. To jest nepřilíšné výkyvy povětrnosti, teplot a oslunění.

- Zatažená obloha, beze srážek
- Bezvětrí, nebo lehký vánek
- Suché povrchy měřených materiálů
- Co možná nejvyšší přesně známá zářivost měřeného materiálu
- Rozdíl teplot mezi interiérem a exteriérem min. 15°C

6.2.2 Měření neprůvzdušnosti pomocí Blower Door testu

Při měření Blower-door testem se měří výměna vzduchu v objektu s venkovním prostředím.

Vlastnost poměrně důležitá, neboť nám udává, jaké ztráty objekt dosahuje při proudění vzduchu. A to jak při proudění vnitřním, tj. stoupající teplé proudy, pohyb vzduchu větráky, apod., tak při proudění venkovním (výraznější) tj. především vítr. Samotné proudění vzduchu způsobuje podtlak a na základě něho je do objektu nebo naopak z něj přisáván respektive odsáván vzduch.

V moderních novostavbách, kde se využívá řízené větrání a kde jakákoliv ztráta vnitřního vzduchu, nebo přisávání venkovního vzduchu působí podstatné změny tepelného a vlhkostního charakteru vnitřního prostředí je test neprůvzdušnosti součástí kontroly stavby.

Skladba měřicího systému

- Stěžejním zařízením pro měření je podtlak/přetlak systém (větrák) řízený počítačem. Jeho hlavním úkolem je při různém chodu zvýšit, nebo snížit tlak oproti okolí (rozpětí 20 – 100Pa).
- Další částí je zařízení pro uchycení podtlak/přetlak systému do otvorové výplně – okna, dveře.
- Poslední částí je tester pro zkoušení úniku vzduchové hmoty z objektu (aerosol v stříkací lahvičce, mikroanemometr).

6.2.2.1 Hodnoty

System měří výměnu vzduchu v objektu vzniklou infiltrací přes stavební materiály a otvory mezi jednotlivými konstrukčními spoji. Výměna vzduchu by měla být co nejmenší, neboť v moderních stavbách se uplatňuje již tzv. řízená výměna, kdy je vzduch do objektu přiváděn a odváděn řízeně.

Stávající stavby	Současné novostavby	Nízkoenergetické domy s nuceným větráním	Nízkoenergetické domy s rekuperací tepla	Pasivní domy s rekuperací tepla
$< 7h^{-1}$	$< 4.5h^{-1}$	$< 1.5h^{-1}$	$< 1h^{-1}$	$< 0.6h^{-1}$

Tab. 8 Hodnoty udávající množství vzduchu . vnitřní objem budovy, který se vymění za 1h při přetlaku/podtlaku 50Pa v prostoru domu dle ČSN EN 73 0540.

6.2.2.2 Typy měření

Test A

Provádí se v dokončené budově, osazené všemi technologickými celky (vytápění), které však musí umožňovat uzavření (komínové klapky, utěsnění odpadů, apod.). Dochází pouze k ověření výsledků. Výsledky již téměř nelze ovlivnit díky nemožnosti provedení stavebních úprav. Měření výhradně pro certifikační účely, měla by předcházet vždy metoda B.

Test B

Provádí se v rozestavěné budově, osazené okny, dveřmi a parotěsnou fólií. Výsledky testu lze ovlivňovat přímo při měření kontrolou a zabezpečením únikových otvorů. Pro provádění testu je nezbytná příprava (zabezpečení technologických otvorů – vytápění, kanalizace).

6.2.2.3 Postup měření

- Najde se vhodná otvorová výplň pro umístění podtlak/přetlak zařízení (vstupní dveře, okna)
- Umístěný přetlak/podtlak systém se dokonale utěsní v zárubni nebo rámu.
- Zabezpečí se všechny ostatní otvory (uzavřená okna, dveře, průduchy, komínové otvory, kanalizace, apod.)
- Vytvoří se zkušební přetlak v objektu oproti venkovnímu prostředí a pomocí testeru se zkoušejí možná riziková místa v objektu (tyto místa jsou stanovena na základě zkušeností provádějícího, popřípadě znalostí stavitele).
- Tato místa se vyhledají a utěsní tmelem nebo parotěsnou páskou.
- Po utěsnění všech únikových míst se provede ostré měření jak pro přetlak, tak pro podtlak.

Výsledky měření

Měření se provádí pro oba typy (podtlak a přetlak), přičemž jako výsledná hodnota se používá průměrná hodnota z obou měření.

7 Návrh kontrolní metody pro orientační stanovení součinitele prostupu tepla U pomocí termokamery

Jak již bylo uvedeno v předchozích kapitolách, součinitel prostupu tepla U je základním činitelem ovlivňujícím tepelnou pohodu staveb a domů. Jeho propočet a stanovení u stavby (popřípadě u konstrukčních materiálů) nám určuje mnoho budoucích kroků. A to jak v průběhu samotné realizace novostavby, tak hlavně při hledání tepelných úniků a při následném zateplování starších staveb.

Možnost jak zjistit (vyprojektovat) konstrukci s požadovaným součinitelem prostupu tepla není složitou otázkou, složitější je pak skutečné ověření po následné realizaci. Při práci s termokamerou se nabízí možnost tento součinitel hned určovat pomocí naměřených údajů (povrchových teplot) bez dalších znalostí charakteristik měřené konstrukce. V dalším textu je uveden princip a postup jak tento součinitel stanovit a ověřit.

V následující části této kapitoly je podrobně zpracován návrh metody pro rychlé orientační stanovení součinitele prostupu tepla U pomocí termokamery,

7.1 Nutné podmínky pro stanovení součinitele U pomocí kontrolní metody termokamerou

Pro metodu termografického zjišťování součinitele prostupu tepla U jsou nutné znát následující teploty:

- Vnitřní teplota ve °C
- Vnitřní povrchová teplota měřené části objektu ve °C
- Vnější teplota ve °C
- Vnější povrchová teplota ve °C

7.1.1 Princip a postup při měření termokamerou

Základem pro stanovení součinitele prostupu tepla U je zjištění tepelného toku procházejícího měřenou částí objektu, určeného z rozdílu povrchové teploty (exteriér/interiér) a teploty okolí (exteriér/interiér). Na základě velikosti rozdílu příslušných teplot, zjištěného proudění vzduchu, velikosti měřené plochy a umístění měřené plochy se jednoduše vypočte tepelný tok vzniklý prouděním vzduchu prostupující do stěny. A to z tekutiny do pevné stěny (na exteriérové straně je tomu naopak). Tepelný tok je veličina pro celou konstrukci stejná (v ideálním případě) avšak ztráty zde nehrají roli, neboť se ji snažíme spočítat z rozdílu vnitřní okolní a vnitřní povrchové teploty. Tedy prioritou pro tepelné ztráty je odebrání vnitřního tepla obvodovou stěnou. Ztráty tepelného toku při průchodu stěnou jsou proto zanedbávány. Podmínkou je měření a určování hodnot vždy na rovinné stěně.

„Isaac Newton celou problematiku sdílení tepla prouděním mezi teplosměnnou plochou a tekutinou zahrnul do součinitele přestupu tepla α [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$] a sdělený tepelný tok vyjádřil snadno měřitelnými veličinami:

- teplotou teplosměnné plochy t_s
- teplotou tekutiny mimo termokinetickou mezní vrstvu t_k
- velikostí teplosměnné plochy S [m^2]

V případě ochlazování tekutiny ($t_k > t_s$) je tepelný tok sdělený prouděním teplosměnné ploše vyjádřený vztahem $q = \alpha \cdot S \cdot (t_k - t_s)$.“ [3]

- Metoda tedy přímo vychází z poznatků Isaaca Newtona.

Nejdůležitějšími vlivy majícími zásadní podíl na přesnost metody je správné změření teplot t_s a t_k . Dále pak správné určení součinitele přestupu tepla α . Tento součinitel udává množství tepla, sděleného za 1s jednotkou povrchu $1m^2$ při rozdílu teplot 1K mezi tekutinou t_k a teplosměnnou plochou t_s . Stanovení součinitele výpočetní metodou je velmi obtížné a pouze za předpokladu neměnnosti termokinetických veličin s teplotou. V technické praxi se proto používají matematicko experimentální metody, kdy se využívá teorie podobnosti.

Pro jednoduché stanovení součinitele v terénu se vychází z hodnot stanovených při výpočtu a návrhu součinitele prostupu tepla. Výpočet součinitele přestupu tepla pro každý

případ měření je obtížný a z hlediska orientačního stanovení i zbytečný. Vychází se proto z podmínek normy, kde se přibližně určí hodnota součinitele přestupu z vnitřního vzduchu (teplejší) do vnitřního povrchu obvodové stěny. Protože jde o orientační metodu, drobné nepřesnosti při stanovení nebudou hrát významnější roli. Použity mohou být stejné hodnoty velikosti součinitelů aplikovaných při výpočtové metodě zjišťování součinitele prostupu tepla (záleží na podmínkách měření).

Součinitel přestupu tepla se obecně skládá ze složky konvekční (dané prouděním) α_k a složky sálavé α_s . Z hlediska zjednodušení zápisu, tedy při podmínkách měření (malý teplotní rozdíl – několik desetin až jednotky stupně) lze vzhledem k poměrné velikosti obou složek složku sálavou zanedbat. Velikost součinitele přestupu tepla bude tedy určovat pouze složka konvekční stanovená normou vycházející s hodnoty Nusseltova kritéria, délky přestupné vrstvy a součinitele tepelné vodivosti vzduchu.

$$\alpha_k + \alpha_s \sim \alpha_k$$

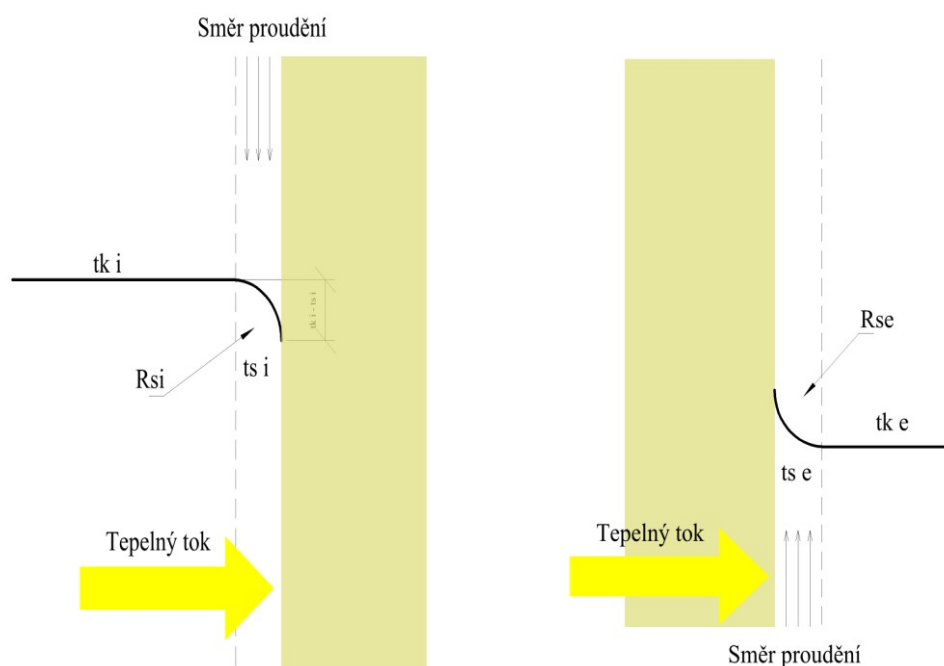
$$\alpha_k = \text{Nu} \cdot \lambda / l \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Kde:

Nu...Nusseltovo kritérium (Bezrozměrné podobnostní číslo závislé na rozměru tělesa a součiniteli tepelné vodivosti)

λ ...součinitel tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

l ...tloušťka proudící vrstvy [m]



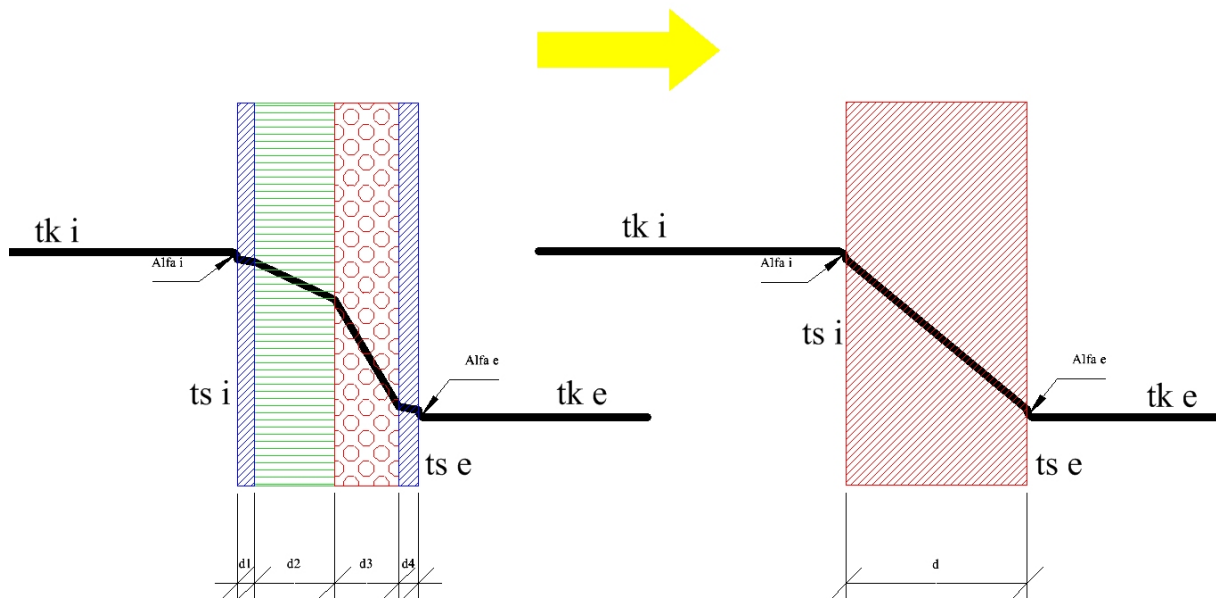
Obr.17 Znáornění závislosti součinitele přestupu tepla α na vlastnostech okolí

Typ konstrukce	R_{si} [$m^2 \cdot K / W$]	α_i ($1 / R_{si}$) [$W / m^2 \cdot K$]
Svislá	0,13	7,692
Vodorovná	Tepelný tok nahoru	0,10
	Tepelný tok dolů	0,17

Tab. 9 Hodnoty pro odpor proudící vzduchové vrstvy R_{si} – interiér dle ČSN EN 73 0540

Typ konstrukce	R_{se} [$m^2 \cdot K / W$]	α_e ($1 / R_{se}$) [$W / m^2 \cdot K$]
Zimní období	0,04	25,000
Zimní období (výše než 1000 m n.m.)	0,03	33,333
Letní období	0,07	14,285

Tab. 10 Hodnoty pro odpor proudící vzduchové vrstvy R_{se} – exteriér dle ČSN EN 73 0540



Obr.18 Náhrada standardního složení stěny za složení výpočtové (určující) pro stanovení a měření součinitele prostupu tepla U .

Tuto náhradu je možno provést za následujících podmínek:

- Homogenita materiálů neměnicí své vlastnosti
- Shodnost vnější a vnitřní místní a povrchové teploty
- Součet délek $d_1 + d_2 + d_3 + d_4 = d$

Tepelný tok procházející (v zimním období) z interiérové strany (vytápěné) do venkovního prostoru je v metodě zohledňován způsobem idealizovaným, čili jeho hodnota je neměnná po celém průřezu stěny. Nejsou uvažovány žádné ztráty ve stěně a v okolí stěny. Tepelný tok pro celou stěnu je určován na základě hodnot z vnitřní teploty vzduchu a z vnitřní povrchové teploty. Je tedy celkem nevýznamné kam se následně teplo ztratí, důležitá je ztráta z interiéru. K výpočtu je proto důležité určit správně vnitřní povrchovou teplotu (infraszonem, termokamerou) a vnitřní teplotu vzduchu (postačí klasický teploměr).

Celkový součinitel prostupu tepla stěnou, stropem, střechou, apod. je pak jednoduše určen s pomocí předchozích změřených veličin, tj. povrchové vnitřní a vnější teploty a teploty okolí v interiéru a v exteriéru.

7.2 Měření objektu

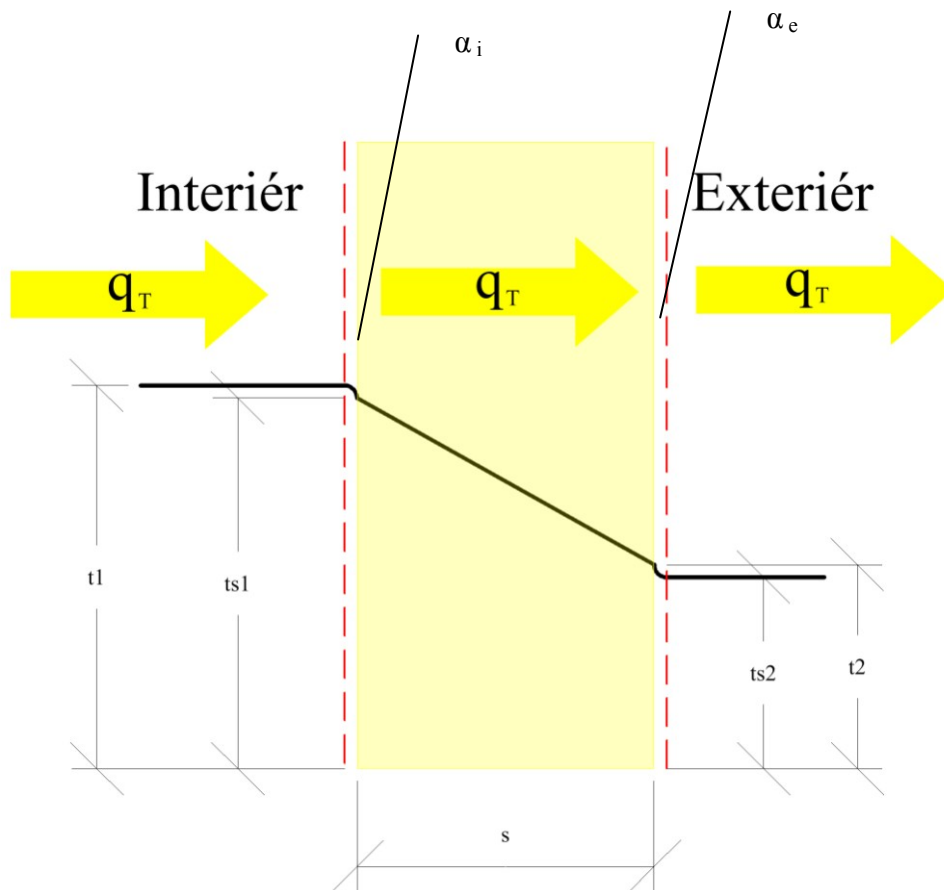
Při každém měření určitého objektu známe dva druhy veličin dle charakteru jejich získání. A to jak veličiny změřené termokamerou, tak veličiny dané vlastnostmi stavby. Veličiny změřené jsou dle typu termokamery především teplota okolí, povrchová teplota a případně vlhkost. Veličiny vycházející z charakteru stavby znamenají hlavně složení konstrukcí, tloušťka, součinitel tepelné vodivosti, akumulace, a tepelný odpor. Z těchto vlastností a veličin se vychází při projektování a výpočtech nové stavby. Při jednotlivých výpočtech (uvedeno v kapitole 1) jsou dány minimální požadavky na tloušťku konstrukcí, izolace, velikosti oken apod. Tyto hodnoty jsou pak stěžejní pro následná řešení jednotlivých požadavků stavby.

Základem termografických měření je zjistit nedostatky, které jsou u početního řešení nestanovitelné. To jest nedostatky ze špatného a nedůsledného provedení nebo u starších budov, kde projekty nebyly prováděny, popřípadě jsou ztracené.

7.3 Návrh základů kontrolní metody

Metoda využívá pouze vnější charakteristiky měřené konstrukce, tj. každá měřená konstrukce je zjednodušena dle následujícího obrázku, aby bylo možné matematicky určit tepelný tok (který přímo ovlivňuje součinitel prostupu tepla U), aniž známe tloušťky jednotlivých částí skladby stěny.

Tepelný tok, který do stěny vstupuje je pak shodný s tepelným tokem stěnou procházející a s tepelným tokem stěnu opouštějící.



Obr. 19 Důležité veličiny pro metodu

- Základem výpočtu je vztah pro vyjádření tepelného toku q_{τ} pomocí rozdílu teplot.

$$q_{\tau} = k \cdot (t_1 - t_2) \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2}\text{]}$$

Kde:

k ...součinitel (při přestupu, či prostupu tepla)

t_1 ...teplota vzduchu v interiéru

t_2 ...teplota vzduchu v exteriéru

Z podmínky rovnosti tepelného toku se určí součinitelé přestupu a prostupu tepla, tj. přestup z teplejšího prostředí do stěny, vedení tepla stěnou a přestup ze stěny do chladnějšího prostředí.

$$t_1 - t_{s1} = q_\tau / \alpha_i \text{ [K]}$$

$$t_{s1} - t_{s2} = q_\tau \cdot s / \lambda \text{ [K]}$$

$$t_{s2} - t_2 = q_\tau / \alpha_e \text{ [K]}$$

Pro výpočet tepelného toku se použije vzorec $t_1 - t_{s1} = q_\tau / \alpha_i$ (interiérová strana) z důvodu vlastního vstupu tepla do stěny. Za t_1 a t_{s1} dosadíme teploty námi změřené na objektu a za α_i stanovené tabulkové hodnoty součinitele. Tepelný tok je pak přímo závislý na rozdílu teplot v místnosti a povrchové teploty v místnosti. Čím větší je teplotní rozdíl, tím větší tepelný tok vzniká.

$$q_\tau = \alpha_i \cdot (t_1 - t_{s1}) \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2}\text{]}$$

Při známém tepelném toku je už samotný výpočet součinitele prostupu tepla U jednoduchou záležitostí. Je třeba změřit venkovní povrchovou teplotu t_{s2} (vnitřní již známe) a v tabulkách dohledat součinitele přestupu tepla pro dané podmínky.

Vychází se ze základního výpočtu součinitele prostupu tepla:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}}$$

za s/λ dosadíme vyjádření z předchozích rovnic

$$t_{s1} - t_{s2} = q_\tau \cdot s / \lambda, \text{ tedy } s / \lambda = \frac{t_{s1} - t_{s2}}{q_\tau}$$

Pak:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{t_{s1} - t_{s2}}{q_\tau} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Takto získaný součinitel prostupu tepla lze ještě upravit zohledněním tepelných mostů a dalších ovlivňujících vlastností pomocí koeficientů.

7.4 Postup při měření u navržené metody

1. Změření všech důležitých hodnot, tedy: vnitřní povrchová teplota, vnitřní teplota vzduchu, vnější povrchová teplota, vnější povrchová teplota vzduchu. Měření by se mělo řídit podmínkami stanovenými v předešlé kapitole Měření termokamerou. Lze měřit i infrateploměry, popřípadě kontaktními teploměry.
2. Na základě podmínek určit odpor přestupu tepla v povrchových vrstvách vzduchu u stěn, respektive určit součinitele přestupu tepla u vnitřní stěny (tab.11). Zjišťuje se pomocí normovaných hodnot, v případě odlišného proudění vzduchu (nucené) lze pro součinitele dosadit i jiné hodnoty nabízené v tabulce.
 - Dle daného rozdílu teplot a vybraného součinitele přestupu na vnitřní straně určit tepelný tok (tab.11).
 - Součinitel přepočtený na tepelný odpor se již započítává do výsledného tepelného odporu stěny jako odpor při vnitřním přestupu tepla.
3. Určit odpor, respektive součinitele přestupu tepla u vnější stěny (tab.12).
 - Určuje se na základě zjištěného tepelného toku z bodu 2.
 - Jeho hodnota je naměřená, neodpovídá hodnotě tabulkové.
 - Součinitel přepočtený na tepelný odpor se již započítává do výsledného tepelného odporu stěny jako odpor při vnějším přestupu tepla.
4. Dle tabulek pro zjištěné hodnoty nalézt tepelný odpor při prostupu tepla stěnou (tab.13).
 - Určuje se na základě zjištěného tepelného toku z bodu 2.
5. Jednoduchým propočtem určit výsledný součinitel prostupu tepla.
 - Jedná se o součet všech tří zjištěných tepelných odporů z tabulek a výpočet jejich převrácené hodnoty.

7.5 Hodnocení

Výhody metody

- Snadné určení reálného součinitele prostupu tepla a ověření s výpočtem.
- Rychlost a názornost.
- Jednoduchost metody, není potřeba znalostí o složení stěny, tloušťce, apod.

Nevýhody metody

- Výsledky nejsou úplně přesné.
- Nutnost měřit vnitřní i vnější teploty vzduchu.
- Nutnost měřit vnitřní a vnější povrchovou teplotu stěny (provádí se velmi rychle termokamerou).
- Velký vliv nepřesností měření.
- Při měření nutnost optimálních podmínek proudění vzduchu, případně dle odlišných podmínek stanovit příslušný součinitel přestupu tepla.

7.6 Návrh tabulek pro určení součinitele prostupu tepla U

Pro rychlé stanovení součinitele U a dalších důležitých hodnot jsou sestaveny tabulky 11, 12, 13.

		R_{si} [$m^2 \cdot K/W$]								
		0,50	0,35	0,25	0,17	0,13	0,10	0,07	0,04	0,03
TAB 11	α_i [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	2,00	2,86	4,00	5,88	7,69	10,00	14,29	23,00	33,33
Δt vnitřní [°C]	q_τ [$W \cdot m^{-2}$]									
0,10		0,20	0,29	0,40	0,59	0,77	1,00	1,43	2,30	3,33
0,20		0,40	0,57	0,80	1,18	1,54	2,00	2,86	4,60	6,67
0,30		0,60	0,86	1,20	1,76	2,31	3,00	4,29	6,90	10,00
0,40		0,80	1,14	1,60	2,35	3,08	4,00	5,72	9,20	13,33
0,50		1,00	1,43	2,00	2,94	3,85	5,00	7,15	11,50	16,67
0,60		1,20	1,72	2,40	3,53	4,62	6,00	8,57	13,80	20,00
0,70		1,40	2,00	2,80	4,12	5,38	7,00	10,00	16,10	23,33
0,80		1,60	2,29	3,20	4,70	6,15	8,00	11,43	18,40	26,66
0,90		1,80	2,57	3,60	5,29	6,92	9,00	12,86	20,70	30,00
1,00		2,00	2,86	4,00	5,88	7,69	10,00	14,29	23,00	33,33
2,00		4,00	5,72	8,00	11,76	15,38	20,00	28,58	46,00	66,66
3,00		6,00	8,58	12,00	17,64	23,08	30,00	42,87	69,00	99,99
4,00		8,00	11,44	16,00	23,52	30,77	40,00	57,16	92,00	133,32
5,00		10,00	14,30	20,00	29,40	38,46	50,00	71,45	115,00	166,65

Tab. 11 Pro určení tepelného toku q_τ dle vnitřního rozdílu povrchové teploty stěny a vnitřní teploty vzduchu s orientací podle určeného tepelného odporu prostupu tepla ze vzduchu do stěny.

Vysvětlivky

Tabulkové hodnoty jsou pro:

q_τ ... Tepelný tok s vnitřního prostředí do stěny [$W \cdot m^{-2}$]

R_{si} ... Odpor při přestupu tepla z vnitřního vzduchu do vnitřního povrchu stěny. [$m^2 \cdot K/W$].

α_i ... Odpor při přestupu tepla z vnitřního vzduchu do vnitřního povrchu stěny vyjádřený formou součinitele. [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$].

Δt vnitřní... Rozdíl povrchové teploty vnitřní stěny t_{s1} a vnitřní teploty t_1 . Při odlišném rozdílu lze použít interpolaci. [°C].

TAB 12	Δt vnější [°C]	1	TAB 12	Δt vnější [°C]	1
Tepelný tok q_τ [W . m ⁻²]	R_{se} [m ² .K/W]		Tepelný tok q_τ [W . m ⁻²]	R_{se} [m ² .K/W]	
1,000		1,000	26,000		0,038
2,000		0,500	27,000		0,037
3,000		0,333	28,000		0,036
4,000		0,250	29,000		0,034
5,000		0,200	30,000		0,033
6,000		0,167	35,000		0,029
7,000		0,143	40,000		0,025
8,000		0,125	45,000		0,022
9,000		0,111	50,000		0,020
10,000		0,100	55,000		0,018
11,000		0,091	60,000		0,017
12,000		0,083	65,000		0,015
13,000		0,077	70,000		0,014
14,000		0,071	75,000		0,013
15,000		0,067	80,000		0,013
16,000		0,063	85,000		0,012
17,000		0,059	90,000		0,011
18,000		0,056	95,000		0,011
19,000		0,053	100,000		0,010
20,000		0,050	110,000		0,009
21,000		0,048	120,000		0,008
22,000		0,045	130,000		0,008
23,000		0,043	140,000		0,007
24,000		0,042	150,000		0,007
25,000		0,040	160,000		0,006

Tab. 12 Pro určení odporu při přestupu tepla R_{se} z venkovní strany stěny do venkovního prostoru podle předem určeného tepelného toku z tab. 11.

Vysvětlivky

Tabulkové hodnoty jsou pro:

R_{se} ... odpor při přestupu tepla z venkovní strany stěny do venkovního prostoru [m².K/W]

q_τ ... Tepelný tok určený z tab. 1 vyjádřený pro ideální prostředí beze ztrát. [W . m⁻²]

Δt vnější...Rozdíl povrchové teploty vnější stěny t_{s2} a vnější teploty t_2 .

Při odlišném rozdílu Δt vnější oproti 1°C je třeba použít násobení koeficientem pro rozdíl 1°C uvedený v tabulce. [°C]

TAB 13	Δt povrchové [°C]	1	TAB 13	Δt povrchové [°C]	1
Tepelný tok q_τ [W . m ⁻²]	R [m ² .K/W]		Tepelný tok q_τ [W . m ⁻²]	R [m ² .K/W]	
1,000		1,000	26,000		0,038
2,000		0,500	27,000		0,037
3,000		0,333	28,000		0,036
4,000		0,250	29,000		0,034
5,000		0,200	30,000		0,033
6,000		0,167	35,000		0,029
7,000		0,143	40,000		0,025
8,000		0,125	45,000		0,022
9,000		0,111	50,000		0,020
10,000		0,100	55,000		0,018
11,000		0,091	60,000		0,017
12,000		0,083	65,000		0,015
13,000		0,077	70,000		0,014
14,000		0,071	75,000		0,013
15,000		0,067	80,000		0,013
16,000		0,063	85,000		0,012
17,000		0,059	90,000		0,011
18,000		0,056	95,000		0,011
19,000		0,053	100,000		0,010
20,000		0,050	110,000		0,009
21,000		0,048	120,000		0,008
22,000		0,045	130,000		0,008
23,000		0,043	140,000		0,007
24,000		0,042	150,000		0,007
25,000		0,040	160,000		0,006

Tab. 13 Pro určení odporu při prostupu tepla R danou konstrukční skladbou stěny podle předem určeného tepelného toku z tab. 11.

Vysvětlivky

Tabulkové hodnoty jsou pro:

R... odpor při prostupu tepla danou konstrukční skladbou stěny [m².K/W]

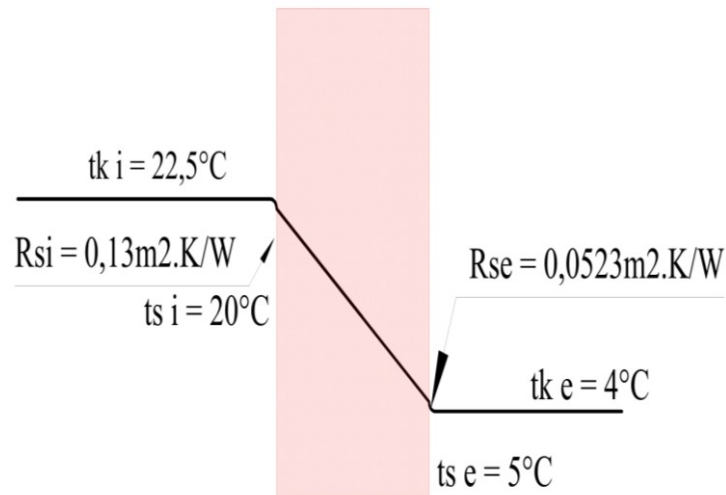
q_τ ...Tepelný tok určený z tab. 1 vyjádřený pro ideální prostředí beze ztrát. [W . m⁻²]

Δt povrchové...Rozdíl povrchové teploty vnější stěny t_{s2} a povrchové teploty vnitřní stěny t_{s1} .

Při odlišném rozdílu Δt povrchové oproti 1°C je třeba použít násobení koeficientem pro rozdíl 1°C uvedený v tabulce. [°C]

Výsledný součinitel prostupu tepla U je získán následovně. Ze všech tří tabulek se sečtou odpovídající hodnoty (modrá pole) a jejich výsledná převrácená hodnota je součinitel prostupu tepla dané konstrukce.

Příklad



1. Naměříme rozdíl vnitřní teploty vzduchu a vnitřní teploty povrchu stěny $2,5^{\circ}\text{C}$
2. Z tabulky č. 11 vybereme normovanou hodnotu pro $R_{s i}$, tedy $0,13\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$.
3. Dle těchto dvou hodnot určíme tepelný tok (tab. 11), tedy $19,225\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$.
4. Z tabulky č. 12 určíme pomocí tepelného toku z tab. 11 a rozdílu vnější teploty vzduchu a vnější teploty povrchu stěny (v tabulce uvedeny hodnoty jen pro 1°C)
5. Vnější rozdíl teplot je 1°C
6. Z tab. č. 12 pomocí interpolace zjistíme hodnotu pro $R_{s e}$ pro tepelný tok
7. $19,225\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ a rozdíl 1°C , tedy $R_{s e}$ je $0,0523\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$.
8. Rozdíl povrchových teplot interiér/exteriér 15°C .
9. Z tab. č. 13 použijeme hodnotu pro tepelný tok $19,225\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, jako v bodě 6, přepočítáme na hodnotu pro rozdíl 15°C , hodnota pro R je $0,7845\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$.
10. Výsledný součinitel U je převrácená hodnota součtu $R_{s i}$, $R_{s e}$ a R , tedy $0,13 + 0,0523 + 0,7845 = 1,034\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

7.7 Ověření nově navržené kontrolní metody s klasickou výpočtovou metodou

Pro kontrolu a správnost navržené metody je nutné ověření v praxi na známých konstrukčních složení obvodových stěn staveb. Pomocí infračerveného teploměru byla měřena síť bodů určujících teplotní profil povrchu stěny (vnitřní i vnější), určen tepelný tok a součinitel prostupu tepla a porovnán s klasickou výpočtovou hodnotou součinitele prostupu tepla vypočteného z tabulkových hodnot jednotlivých materiálů, které tvoří skladbu stěny.

Technika měření

Vzhledem k tomu, že nebyla pro autora práce dostupná termokamera Testo AG 880, byl na potřeby ověření navržené kontrolní metody použit infračervený teploměr Voltcraft IR-364.

Technická data teploměru:

- Přesnost: $\pm 2^{\circ}\text{C}$
- Optika 30:1
- Emisivita: 0,1 až 1,0 nastavitelná
- Odezva: $< 1\text{ s}$
- Měřitelný rozsah teploty: -50°C do $+900^{\circ}\text{C}$
- Rozlišení teploty: $0,1^{\circ}\text{C}$



Obr. 20 IR teploměr použitý k měření

7.7.1 Zkušební měření č. 1

Měřený objekt

Ověření navržené metody probíhalo na klasickém zděném obytném domě s cihlovou konstrukcí o tloušťce 580mm. Měření probíhalo na přibližně stejném místě (protilehlé z vnitřní a vnější strany) v různou časovou dobu. Tento objekt byl zvolen jako vzorový, protože byla známa podrobná skladba stěny.

Charakteristika stavby

Zdivo: celková tloušťka 580mm, plná cihla spojovaná vápenocementovou maltou, tepelná vodivost zdiva dle normy ČSN 73 0540 je 0,860W/m.K. Normovaná hodnota pro odpor při přestupu tepla na vnitřní straně $R_{si} = 0,13\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$. Pro výpočet je zvolena ještě hodnota pro odpor při přestupu tepla na vnitřní straně $R_{si} = 0,17\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ pro názornost vlivu na celkový součinitel prostupu tepla U. Normovaná hodnota pro odpor při přestupu tepla na vnější straně $R_{se} = 0,04\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$.

7.7.1.1 Určení součinitele prostupu tepla klasickou výpočtovou metodou

Dle normy se stanoví příslušné součinitele obou přestupů tepla, vypočte se celkový součinitel tepelného prostupu tepla pro zdivo.

Výpočet součinitele prostupu tepla dle ČSN EN 73 0540:

$$U_{R_{si} 0,13} = \frac{1}{0,13 + 0,04 + \frac{0,58}{0,86}} = \mathbf{1,184 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$U_{R_{si} 0,17} = \frac{1}{0,17 + 0,04 + \frac{0,58}{0,86}} = \mathbf{1,130 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$$

7.7.1.2 Určení součinitele prostupu tepla navrženou kontrolní metodou naměřených teplot pomocí termokamery

Postupuje se dle kroků z předchozích kapitol počínaje určením vstupního tepelného toku, poté určením odporu při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně a konče jednoduchým výpočtem a orientačním stanovením součinitele tepelného prostupu U .

Z důvodu přibližného určení součinitele při přestupu tepla na vnitřní straně (má velký vliv na celkové hodnoty součinitele prostupu tepla) je zde porovnávána hodnota s dvěma různými součiniteli přestupu tepla na vnitřní straně objektu. Součinitel přestupu tepla je charakteristická veličina, v podmínkách měření jen těžko zcela přesně stanovitelná, proto se vychází z normovaných hodnot.

Měření	1	2	3	4	5	6	7
Teplota vnitřní t_i [°C]	22.1	22.2	22.3	22.8	22.3	22.0	22.1
Teplota vnější t_e [°C]	-5.5	-1.7	-1.0	-2.7	-0.5	-0.3	-0.5
Teplota vnitřního povrchu stěny t_{si} [°C]	17.1	17.5	17.6	18.7	17.7	18.8	17.8
Teplota vnějšího povrchu stěny t_{se} [°C]	-3.0	-1.4	0.2	-2.0	0.0	0.1	0.4

Tab. 14 Naměřené teplotní skupiny u zkušebních měření č.1

Měření	1	2	3	4	5	6	7
Δt vnitřní [°C]	5,0	4,7	4,7	4,1	4,6	3,2	4,3
Tepelný tok [W . m ⁻²]	38,46	36,15	36,15	31,54	35,39	24,62	33,08
Δt vnější [°C]	1,5	0,3	0,8	0,7	0,5	0,4	0,9
R _{se} [m ² . K/W]	0,039	0,0084	0,022	0,022	0,014	0,016	0,027
Δt povrchové [°C]	20,1	18,9		20,7	17,7	18,7	17,4
R [m ² . K/W]	0,5226	0,5292	0,4872	0,6624	0,4956	0,7667	0,522
Součet R _{si} +R _{se} +R [m ² . K/W]	0,6962	0,6676	0,6392	0,8144	0,6396	0,9127	0,679
U [W/m ² . K]	1,436	1,497	1,564	1,227	1,563	1,095	1,472

Tab. 15 Vypočtené hodnoty pro skupinu zkušebních měření č.1 pro R_{si} = 0,13 m².K/W

Měření	1	2	3	4	5	6	7
Δt vnitřní [°C]	5,0	4,7	4,7	4,1	4,6	3,2	4,3
Tepelný tok [W . m ⁻²]	29,40	27,64	27,64	24,11	27,05	18,82	25,28
Δt vnější [°C]	1,5	0,3	0,8	0,7	0,5	0,4	0,9
R _{se} [m ² . K/W]	0,051	0,011	0,029	0,029	0,018	0,021	0,036
Δt povrchové [°C]	20,1	18,9	17,4	20,7	17,7	18,7	17,4
R [m ² . K/W]	0,6834	0,6804	0,6264	0,8487	0,6549	0,9911	0,6960
Součet R _{si} +R _{se} +R [m ² . K/W]	0,9044	0,8614	0,8254	1,0477	0,8429	1,1821	0,902
U [W/m ² . K]	1,105	1,160	1,211	0,954	1,186	0,845	1,108

Tab. 16 Vypočtené hodnoty pro skupinu zkušebních měření č.1 pro R_{si} = 0,17 m².K/W

Závěr ze zkušebních měření č.1

Klasickou výpočtovou metodou byl zjištěn pro R_{si} = 0,13m².K/W součinitel prostupu tepla U = 1,184W.m²/K. Stanovení navrženou kontrolní metodou pomocí naměřených teplot byl zjištěn součinitel prostupu tepla od 1,095W.m²/K po hodnotu 1,564W.m²/K průměrná tedy 1,407W.m²/K při předpokládaném vnitřním odporu při přestupu tepla 0,13m².K/W. Tento vysoký rozptyl je dán jak tolerancí v nepřesnosti měření, tak technickými dispozicemi IR-teploměru. Svoji úlohu zde hraje i rozdíl ve stejnorodosti materiálu a zkreslení výpočetní metody.

Při předpokládaném vnitřním odporu při přestupu tepla R_{si} = 0,17m².K/W se hodnoty součinitele prostupu tepla U určené metodou naměřených teplot pohybují v rozmezí 0,845W.m²/K po hodnotu 1,211W.m²/K, průměrná pak 1,081W.m²/K.

U klasické výpočetní metody je výsledek součinitele prostupu tepla 1,130W.m²/K Hodnoty z obou metod se tak velmi podobají a z hlediska vysoké pravděpodobnosti nepřesností při měření je lze považovat za shodné a využitelné v praxi.

7.7.2 Zkušební měření č. 2

Měřený objekt

Zkušební měření č. 2 je řešeno mírně odlišnou metodou oproti zkušebním měření č.1. Je naměřena síť bodů na vnitřní ploše a síť bodů na protilehlé vnější ploše. Z obou naměřených skupin jsou vytvořené průměrné hodnoty a pomocí nich je určena metoda naměřených teplot.

Opět je porovnáváno s klasickou výpočtovou metodou pro daný materiál měřeného objektu.

Charakteristika stavby

Zdivo z klasických plných pálených cihel o celkové šířce 340mm spojované vápenocementovou maltou, tepelná vodivost zdiva dle normy ČSN 73 0540 je 0,860W/m.K. Normovaná hodnota pro součinitel přestupu tepla na vnitřní straně $R_{si} = 0,13$ a $0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$. Normovaná hodnota pro součinitel přestupu tepla na vnější straně $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.

7.7.2.1 Určení součinitele prostupu tepla klasickou výpočtovou metodou

Dle normy se stanoví příslušné součinitele obou přestupů tepla, vypočte se celkový součinitel tepelného prostupu tepla pro zdivo.

Výpočet součinitele prostupu tepla dle ČSN EN 73 0540:

$$U = \frac{1}{0,13 + 0,04 + \frac{0,34}{0,86}} = \mathbf{1,768 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$U = \frac{1}{0,17 + 0,04 + \frac{0,34}{0,86}} = \mathbf{1,651 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$$

Měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr
Teplota vnitřní t_i [°C]						16,7					
Teplota vnější t_e [°C]						-0,9					
Teplota vnitřního povrchu stěny t_{si} [°C]	11,2	10,5	10,5	10,1	10,2	10,6	10,8	11,1	11,0	11,0	10,7
Teplota vnějšího povrchu stěny t_{se} [°C]	0,0	0,5	0,4	1,0	1,1	0,1	0,5	0,8	0,2	0,9	0,55

Tab. 17 Naměřené teplotní skupiny u zkušebních měření č.2

7.7.2.2 Určení součinitele prostupu tepla navrženou kontrolní metodou naměřených teplot

viz 7.7.1.2

Měření pro $R_{si} = 0.13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$		Měření pro $R_{si} = 0.17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	
Δt vnitřní [°C]	6,0	Δt vnitřní [°C]	6,0
Tepelný tok [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]	46,14	Tepelný tok [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]	35,28
Δt vnější [°C]	1,45	Δt vnější [°C]	1,45
R_{si} [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]	0,13	R_{si} [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]	0,17
R_{se} [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]	0,0319	R_{se} [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]	0,0406
Δt povrchové [°C]	10,15	Δt povrchové [°C]	10,15
R [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]	0,2233	R [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]	0,2842
Součet $R_{si}+R_{se}+R$ [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]	0,3852	Součet $R_{si}+R_{se}+R$ [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]	0,4948
U [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]	2,596	U [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]	2,021

Tab. 18 Vypočtené hodnoty pro skupinu zkušebních měření č.2 pro $R_{si} = 0,13 / 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

7.7.2.3 Závěr ze zkušebního měření č.2

Výpočtová metoda a metoda naměřených teplot jsou srovnatelné, bohužel rozdíly jsou větší díky patrně odlišnému součiniteli při přestupu tepla na vnitřní straně (měření probíhalo v promrzlé budově s rychlým ohřátím vnitřního vzduchu, tudíž proudění u stěn bylo tím pádem vyšší než uvádí norma).

7.8 Závěr ověřovacích metod

Výsledky z klasické výpočtové metody jsou srovnatelné s výsledky navržené metody pomocí hodnot naměřených infrateploměrem, případně termokamerou. Je však třeba podotknout, že jak u výpočtové, tak u naměřené metody vzniká mnoho nepřesností daných například ne zcela přesnou znalostí struktury materiálu a jeho tepelné vodivosti (hlavní viník nepřesnosti u výpočtové metody). U metody naměřených teplot je (jak dokazují tabulky výše) hlavním viníkem nepřesnosti nesprávné určení součinitele přestupu tepla z vnitřní strany do konstrukce, což přímo ovlivňuje součinitele prostupu tepla.

Vznik dalších chyb ovlivňuje i odchylka naměřené a reálné povrchové teploty způsobené především nepřesností přístroje, nebo při nepřesném nastavení zářivosti. Podle těchto parametrů je pak velmi důležité správně vybrat součinitele přestupu tepla nejvíce podobný realitě (dle dalších kritérií). Výsledkem je poté poměrně přesné určení součinitele prostupu tepla. Někdy se výsledné hodnoty můžou zcela rozcházet i díky tomu, že metoda výpočtová slouží k ideálnímu určení součinitele prostupu tepla U avšak u metody naměřené se určuje aktuální součinitel prostupu tepla U v daném místě, tedy tzv. reálná hodnota součinitele U , která je proměnná i na stejné skladbě konstrukce.

Rekapitulace důležitých parametrů při stanovování součinitele prostupu tepla pomocí naměřených hodnot

- Správně naměřit teploty.
- Dle parametrů co nejpřesněji určit součinitele při přestupu tepla z interiéru do konstrukce.

8 Závěr

Práce ukazuje zásadní problémy řešení tepelné pohody v interiérech, respektive ukazuje na jejich nedostatky a snaží se zjednodušit postup a systém jejich vyhledávání. Hlavní cíl vytyčený v první kapitole, tedy ukázka co možná nejvíce možností vyhledání částí se sníženým tepelným odporem (s vyšší tepelnou ztrátou), je v práci splněn. Práce si osvojila pro odbornou veřejnost již známé prvky v konstrukcích objektů považované za kritické z hlediska tepelného prostupu a podrobně je rozebírá a klasifikuje. Čtenář tak dostane základní informace, které lze využívat v praxi při provádění rekonstrukcí, novostaveb, zateplování, apod. Informace zde použité jsou sice proměnné (hlavně číselné hodnoty součinitelů prostupu) ,ale určitým způsobem ukazují charakteristiku stavebních prvků, konstrukcí a materiálů.

Kapitola 7 charakterizuje novou kontrolní metodu pro měření veličin důležitých k výpočtu tepelných ztrát, tedy k určení součinitele prostupu tepla pomocí hodnot získaných termokamerou (povrchové teploty). Tato kontrolní metoda je v práci navržena, jsou poskytnuty důležité tabulky pro praktické měření a závěrem je metoda ověřena na předem známé konstrukci. O navržené kontrolní metodě se obecně dá říci, že s její pomocí lze změřit orientační součinitel prostupu tepla v libovolném místě a poskytnout ho přímo podle potřeby a aktuální situace.

Přínos této práce je v tom, že na základě teoretických rozborů i praktických měření autora přináší nový, jednodušší a dosud neužitý postup sloužící k určení velmi důležitých a obtížně určovatelných základních tepelných parametrů staveb. Lze ji s výhodou použít jak pro stanovení tepelných ztrát a úniků tepla u dřevostaveb, tak i u klasických zděných stavebních konstrukcí.

Informace k přílohám

Pro rozšíření informací o problematice tepelných ztrát u dřevostaveb jsou v příloze uvedeny příklady měření průvzdušnosti u dvou staveb, kde bylo provedeno měření Blower Door testem a měření dvou staveb pomocí termokamery. Autor diplomové práce se všech měření zúčastnil v rámci odborné praxe.

Abstrakt

Jméno: Jakub Milota
Název diplomové práce: Metody zjišťování tepelných ztrát u dřevostaveb

Souhrn

Práce ukazuje možnosti tepelných ztrát budov, určuje jejich rozdělení. Kategorizuje energetické náročnosti staveb a především se zabývá možnostmi kontroly tepelných úniků. Navrhuje metodu pro jednoduché kontrolní změření součinitele prostupu tepla pomocí termokamery.

Klíčová slova

Součinitel prostupu tepla, tepelné ztráty, energetická náročnost, měření termokamerou, test průvzdušnosti

Summary

This work shows the possibility of any heat losses, classifies their distribution. Categorizes the energy performance of buildings, especially focuses on possibilities of control heat leakage. Proposes a simple method for measuring heat transfer coefficient with thermal imagers.

Key words

Heat passage coefficient, heat losses, energy intensity, thermal imagers measurement, blower door test

9 Literatura

- [1] Bárta, J. Hazucha, J.: Pasivní domy 2008, Centrum pasivního domu, Brno 2008
- [2] Kulhánek, F.: Stavební fyzika II, stavební tepelná technika, ČVUT, Praha 2006
- [3] Neuberger, P. a kol.: Termomechanika, ČZU, Praha 2007
- [4] Nožička, J.: Sdílení tepla, ČVUT, Praha 1997
- [5] Příhoda, M. Rédr, M.: Sdílení tepla a proudění, Ostrava 2008
- [6] Požgaj, A. a kol.: Struktúra a vlastnosti dreva, Příroda a.s., Bratislava 1997
- [7] Šubrt, R.: Tepelné izolace, BEN, Praha 2005
- [8] Šubrt, R.: Zateplování, ERA, Praha 2008
- [9] Tywoniak, J.: Nízkoenergetické domy, principy a příklady, GRADA, Praha 2005
- [10] ČSN EN 13 789
- [11] ČSN EN 73 0540
- [12] ČSN 12 831

9.1 Seznam tabulek

Tab. 1 Klasifikační třídy EN hodnocení energetické náročnosti budovy podle vyhlášky č. 148/2007 Sb.....	13
Tab. 2 Podrobnější dělení pro rodinné a bytové domy	13
Tab. 3 Tepelné vodivosti u vybraných materiálů při teplotě 20°C	18
Tab. 4 Venkovní výpočtová teplota a otopné období dle lokality [11].....	23
Tab. 5 Vybrané výpočtové vnitřní teploty [11].....	24
Tab. 6 Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla U_N pro stavební konstrukce dle ČSN EN 73 0540	26
Tab. 7 Příklady zářivosti materiálů ϵ při 20°C [11]	39
Tab. 8 Hodnoty udávající množství vzduchu . vnitřní objem budovy, který se vymění za 1h při přetlaku/podtlaku 50Pa v prostoru domu dle ČSN EN 73 0540.....	44
Tab. 9 Hodnoty pro odpor proudící vzduchové vrstvy R_{si} – interiér dle ČSN EN 73 0540	49
Tab. 10 Hodnoty pro odpor proudící vzduchové vrstvy R_{se} – exteriér dle ČSN EN 73 0540 .	49
Tab. 14 Naměřené teplotní skupiny u zkušebních měření č.1	63
Tab. 15 Vypočtené hodnoty pro skupinu zkušebních měření č.1 pro $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	63
Tab. 16 Vypočtené hodnoty pro skupinu zkušebních měření č.1 pro $R_{si} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	64
Tab. 17 Naměřené teplotní skupiny u zkušebních měření č.2	66
Tab. 18 Vypočtené hodnoty pro skupinu zkušebních měření č.2 pro $R_{si} = 0,13 / 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	66

9.2 Seznam obrázků

Obr. 1 Systém provázané konstrukce	8
Obr. 2 Systém plošinové konstrukce	9
Obr. 4 Systém srubové konstrukce	10
Obr. 5 Prostup tepla v závislosti na součiniteli tepelné vodivosti λ	18
Obr. 6 Typy úniků tepla u okna [9]	27
Obr. 7 Příklad skladby obvodové stěny dřevostavby	28
Obr. 8 Příklad skladby střešní konstrukce	29
Obr. 9 Náčrtek konstrukce stěny s tepelným únikem do přilehlé zeminy	30
Obr. 10 Znázornění množství vzduchu odvětraného za 1h.	31
Obr. 11 Vlhký věnec u cihlové novostavby	32
Obr. 12 Vliv vlhkého věnce u cihlové novostavby na součinitel prostupu tepla	32
Obr. 16 Řez řešenou konstrukcí	34
Obr. 13 Příkladná ukázka využití termografie v praxi, tepelné mosty v rohovém spoji srubu	36
Obr. 14 Termokamera Testo 880	36
Obr. 15 Druhy reakcí tělesa při styku s tepelným zářením	38
Obr. 17 Znázornění závislosti součinitele přestupu tepla α na vlastnostech okolí	49
Obr. 18 Náhrada standardního složení stěny za složení výpočtové (určující) pro stanovení a měření součinitele prostupu tepla U	50
Obr. 19 Důležité veličiny pro metodu	52
Obr. 20 IR teploměr použitý k měření	61

9.3 Seznam příloh

1. Měření Blower door testu, Knapovec
2. Měření Blower door testu, Lochkov
3. Měření krovu IR – kamerou, Mnichovice
4. Měření objektu IR – kamerou, Štíhlice

10 Přílohy

10.1 Příklad měření Blower door testem č. 1, obec Knapovec

Zkušební metoda: ČSN EN 13829

Tepelné chování budov – Stanovení průvzdušnosti – Tlaková metoda

Měření průvzdušnosti stavby tlakovou metodou probíhalo v rozestavěném pasivním domě v obci Knapovec u Ústí nad Orlicí, kde se týkalo pouze pro test průvzdušnosti. Účelem měření bylo zjištění hodnot pro průvzdušnost k zařazení objektu do kategorie pasivních, případně nízkoenergetických domů (stanovené normou).

Normová hodnota průměrné výměny vzduchu pro zařazení do kategorie pasivních domů je $n_{50} < 0,6h^{-1}$.

10.1.1 Měření:

Datum měření: 26.11.2009

Místo měření: Knapovec

Druh měření: Test průvzdušnosti, Blowtest B

Počet měření: max. 2 pro každý typ (přetlak, podtlak)

10.1.2 Charakteristika objektu:

Vnitřní zastavěná plocha: 132m²

Plocha pláště budovy: 143m²

Obestavěný prostor: 362m³

Druh stavby: Lehký ocelový skelet sandwichového typu s krycími deskami na bázi dřeva (OSB)

Typ vytápění: Rekuperace tepla (Atrea)

10.1.3 Hodnoty pro měření přetlak/podtlak:

	Přetlak	Podtlak
Vnitřní teplota [°C]	9	11,6
Vnější teplota [°C]	11	13,3
Tlak vzduchu [mbar]	969	970
Vítr [°Beaufortovy stupnice]	1	1

10.1.4 Výsledky měření:

Pro dosažení stanovených hodnot pro kritériální zařazení stavby mezi pasivní domy nesmí naměřené hodnoty přesáhnout $0,6 \text{ h}^{-1}$.

10.1.4.1 Měření pro přetlak vzduchu v objektu:

Tabulka průtoku vzduchu v m^3

Tlakový rozdíl [Pa]	61	50	41	29	20	10
Průtok vzduchu [m^3/h]	361	308	263	255	175	116

- průtok úniku vzduchu V_{50} při 50 Pa : $318 \text{ m}^3/\text{h}$
- průvzdušnost q_{50} při 50 Pa : $2,22 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$
- specifická rychlost úniku W_{50} při 50 Pa : $2,41 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$
- rychlost výměny vzduchu n_{50} při 50 Pa : $0,88 \text{ h}^{-1}$

10.1.4.2 Měření pro podtlak vzduchu v objektu

Tabulka průtoku vzduchu v m^3

Tlakový rozdíl [Pa]	60	50	39	29	19	9
Průtok vzduchu [m^3/h]	236	206	187	149	111	70

- průtok úniku vzduchu V_{50} při 50 Pa : $204 \text{ m}^3/\text{h}$
- průvzdušnost q_{50} při 50 Pa : $1,43 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$
- specifická rychlost úniku W_{50} při 50 Pa : $1,55 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$
- rychlost výměny vzduchu n_{50} při 50 Pa : $0,56 \text{ h}^{-1}$

10.1.4.3 Výsledné hodnoty:

Průměrná výsledná hodnota výměny vzduchu n_{50} při 50 Pa byla $0,70 \text{ h}^{-1}$.

10.1.5 Závěr

Při prvním měření (protokol nebyl vytvořen) byly zjištěny nedostatky hned u několika míst v objektu metodou

viditelného úniku rozprašujícího prostředku. Vyskytovaly se především v očekávaných místech jako byly spoje konstrukčních desek, rohové spoje u stropů a stěn, výtokové otvory u okenních profilů a funkční spáry okenních profilů (způsobeno především neseřízením okenních zámků). Po prvním ostrém měření byla většina těchto nedostatků odstraněna zatmelením, popřípadě přelepením, následná měření odpovídala požadavkům normy pro nízkoenergetické stavby.

Obr. 1 JV pohled. Dominantou objektu jsou velká okna opatřená trojsklem.



Obr. 2 SV pohled, polystyrén připravený pro vnější fasádu.



Obr. 3 Z pohled ukazuje velmi malou plochou otvorových výplní.



Obr. 4 Vnější pohled vstupních zárubní opatřených Blower-door systémem pro vytvoření přetlaku/podtlaku.



Obr. 5 Měření choulostivých míst – průchod u elektroinstalace.



Obr. 6 Zjišťování průvzdušnosti u funkční spáry oken.



Obr.7 Zjišťování průvzdušnosti v rohovém spojení stěnového a stropního systému.



Obr. 8 Zjišťování propustnosti pláště u podlahové izolace.



Obr. 9 Vnitřní pohled na Blower-door systém.



Obr.10 Jištění parotěsné fólie při provádění testu – podtlak.



10.2 Příklad měření Blower door testem č. 2, obec Lochkov

Zkušební metoda: ČSN EN 13829

Tepelné chování budov – Stanovení průvzdušnosti – Tlaková metoda

Měření probíhalo v rozestavěném domě v obci Lochkov jihozápadně od Prahy. Účelem měření bylo provedení testu typu B a zjištění hodnot pro výměnu vzduchu n_{50} za 1 h.

10.2.1 Měření:

Datum měření: 24.11.2008

Místo měření: Lochkov

Druh měření: Test průvzdušnosti, Blowtest B

Počet měření: max. 1 pro každý typ (přetlak, podtlak)

10.2.2 Charakteristika objektu:

Vnitřní zastavěná plocha: 170m²

Plocha pláště budovy: neuvedeno

Obestavěný prostor: 427m³

Druh stavby: Dřevěná rámová konstrukce sandwichového typu s krycími deskami na bázi dřeva (OSB)

Typ vytápění: Teplovzdušné vytápění s rekuperací tepla

10.2.3 Hodnoty pro měření přetlak/podtlak:

	Přetlak	Podtlak
Vnitřní teplota [°C]	5,4	5,4
Vnější teplota [°C]	1,9	1,9
Tlak vzduchu [mbar]	958	970
Vítr [°Beaufortovy stupnice]	1	1

10.2.4 Výsledky měření:

10.2.4.1 Měření pro přetlak vzduchu v objektu:

Tabulka průtoku vzduchu v m³

Tlakový rozdíl [Pa]	60	49	39	30	19	9
Průtok vzduchu [m ³ /h]	805	712	622	516	404	271

- průtok úniku vzduchu V_{50} při 50 Pa : 720 m³/h
- průvzdušnost q_{50} při 50 Pa : neuváděno m³/(h.m²)
- specifická rychlost úniku W_{50} při 50 Pa : 4,24 m³/(h.m²)

- rychlost výměny vzduchu n_{50} při 50 Pa : 1,69 h⁻¹

10.2.4.2 Měření pro podtlak vzduchu v objektu

Tabulka průtoku vzduchu v m³

Tlakový rozdíl [Pa]	60	48	39	29	19	9
Průtok vzduchu [m ³ /h]	952	836	719	618	481	336

- průtok úniku vzduchu V_{50} při 50 Pa : 825 m³/h
- průvzdušnost q_{50} při 50 Pa : neuváděno m³/(h.m²)
- specifická rychlost úniku W_{50} při 50 Pa : 4,85 m³/(h.m²)

- rychlost výměny vzduchu n_{50} při 50 Pa : 1,93 h⁻¹

10.2.4.3 Výsledné hodnoty:

Průměrná výsledná hodnota výměny vzduchu **n_{50} při 50 Pa byla 1,81 h⁻¹**

10.2.5 Závěr

Při měření byly zjištěny silné úniky především u prostupu kolem vodovodních a odpadních trubek, dále pak u posuvných dveří. Menší úniky byly zejména u fukčních a přípojovacích spár oken, spojích podlahových a obvodových konstrukcí a u spojů OSB desek na rámu konstrukce.

Obr. 1 Umístění Blow-door systému ve francouzském okně



Obr. 2 Viditelný únik u posuvných dveří



Obr. 3 Viditelný únik u funkční spáry balkonových dveří



Obr. 4 Zjišťování úniků ve spojení podlahové a obvodové konstrukce



Obr. 5 Zjišťování úniků kolem prostupu odpadních trubek



Obr. 6 Zjišťování úniků u připojovací spáry oken



10.3 Příklad měření krovu IR kamerou č. 3, Mnichovice okres Říčany

Měření krovu probíhalo ve vnitřním prostředí půdního prostoru v přestavovaném rodinném domě v Mnichovicích nedaleko Říčan. Jednalo se o měření střešní krovové konstrukce zateplené pomocí foukané pěnové izolace umístěné mezi jednotlivými krokevními trámy. Měřením se mělo prokázat, zda nehrozí riziko kondenzace vlhkosti u nejslabších míst foukané izolace díky nižší povrchové teplotě.

10.3.1 Měření

Datum měření: 12.1.2010, počátek přípravných prací v 18.00

Místo měření: Mnichovice

Druh měření: Termovize

Venkovní teplota při příjezdu: -6°C

Vnitřní teplota v objektu: $10 - 14^{\circ}\text{C}$

Rozdíl teplot interiér/exteriér: $16 - 20^{\circ}\text{C}$

Vítr: bezvětří

10.3.2 Charakteristika objektu

Druh stavby: Zděná stavba z plných pálených cihel, měřená část: krokrový systém vyplněn pěnovou izolační hmotou

Stanovený stupeň emisivity: 0,72 (nastavená pomocí jednoduchého Lambertova přístroje)

10.3.3 Výsledky měření

Nebyly zjištěny výrazně chladnější místa (tepelné mosty) teplota povrchu tepelné izolace je v normálních hodnotách. Rozdíl mezi nejchladnějším a nejteplejším místem na měřené konstrukci je $4 - 5^{\circ}\text{C}$ (nejsilnější místo izolace a na povrchu krokve).

Rozdíl teplot mezi „boulemi“ a „dírami“ v izolaci je max. $1 - 2^{\circ}\text{C}$. Výsledky „měření“ byly zpracovány v Programu Testo IR soft.

Měřená konstrukce splňuje požadavky pro tepelnou izolaci. Při kontrolní metodě nebyly změřeny výraznější místa vykazující výrazně nižší povrchovou teplotu oproti okolí. Nepatrný

rozdíl v povrchové teplotě byl zaznamenán na střešní konstrukci (krokevní trámy). Lze řešit dodatečnou izolací např. z minerální vlny. Tepelné mosty nebyly zaznamenány.

Obr. 1 Pohled na krokevní systém měřené části objektu, mezi jednotlivými krokvemi umístěná foukaná pěnová izolace



Obr. 2 Detailnější pohled na pěnovou izolaci



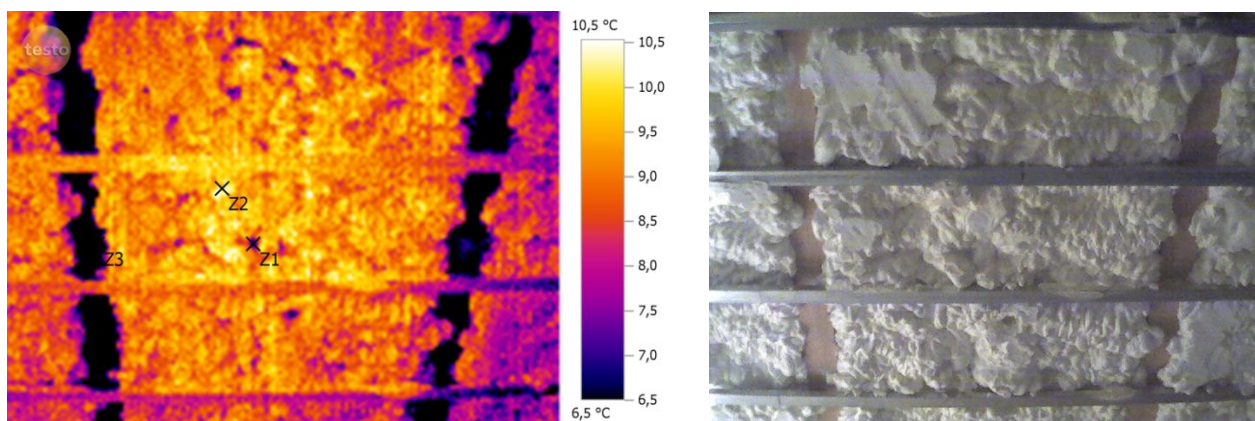
Obr. 3 Měření teploty povrchu pomocí termokamery



Obr. 4 Vnější pohled na měřenou střešní konstrukci



Obr. 5, 6, 7, 8 Zpracování údajů v programu Testo IR soft + fotografický výstup kamery

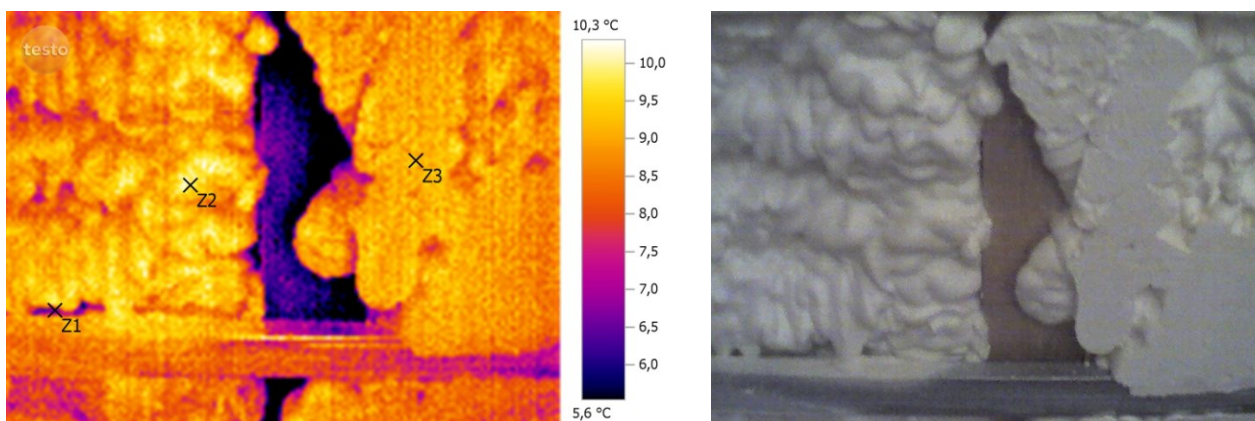


Parametry obrázku:

Stupeň emisivity: 0,70
 Odražená teplota 8,0 [°C]

Body měření:

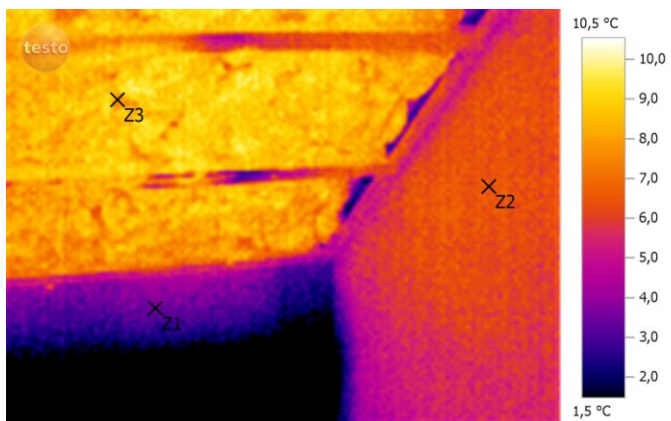
Č.	Teplota [°C]	Emisivita	Odražená teplota [°C]	Poznámka
Z3	6,1	0,70	8,0	
Z2	10,0	0,70	8,0	
Z1	6,8	0,70	8,0	



Parametry obrázku:

Stupeň emisivity: 0,72
 Odražená teplota 10,0 [°C]

Č.	Teplota [°C]	Emisivita	Odražená teplota [°C]	Poznámka
Z1	6,6	0,72	10,0	
Z2	9,8	0,72	10,0	
Z3	9,2	0,72	10,0	

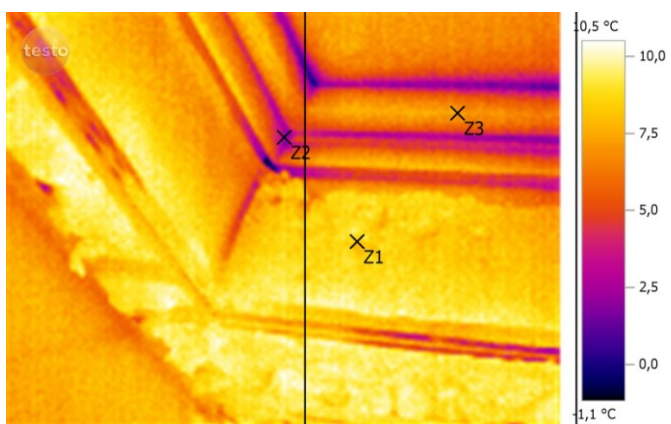


Parametry obrázku:

Stupeň emisivity: 0,72

Odražená teplota 10,0 [°C]

Č.	Teplota [°C]	Emisivita	Odražená teplota [°C]	Poznámka
Z1	3,3	0,72	10,0	
Z2	6,4	0,72	10,0	
Z3	7,9	0,72	10,0	



Parametry obrázku:

Stupeň emisivity: 0,72

Odražená teplota 10,0 [°C]

Č.	Teplota [°C]	Emisivita	Odražená teplota [°C]	Poznámka
Z1	8,2	0,72	10,0	
Z2	2,0	0,72	10,0	
Z3	7,1	0,72	10,0	

10.4 Příklad měření IR kamerou č. 4, Štíhlice, Praha 4

Měření se týkalo termografické analýzy vnějšího pláště objektu. Měřený objekt se nacházel v zastavěné oblasti s rodinnými domky v ulici Zdislavecká v Praze 4. Cílem bylo nalézt nejslabší místa obvodové zdi objektu s nejvyššími tepelnými úniky.

10.4.1 Měření

Datum měření: 19.2.2010

Místo měření: Zdislavecká ul. , Praha 4, Štíhlice

Druh měření: Termovize

Venkovní teplota při příjezdu: - 2°C

Vnitřní teplota v objektu: 16 - 20°C

Rozdíl teplot interiér/exteriér: 18 - 22°C

Vítr: 1 – 2 Beauforta

10.4.2 Charakteristika objektu

Druh stavby: Úplný stupeň prefabrikace, bungalov

Stanovený stupeň emisivity: 1

10.4.3 Výsledky měření

Byly zjištěny místa s vyšší povrchovou teplotou oproti normálu v okolí. Slabší místa objektu tvoří především svislé konstrukce obvodové zdi. Detailní rozbor ve fotodokumentaci.

Nejslabším místem z hlediska tepelné izolace stavby je konstrukce svislých obvodových stěn, které při kontrolním měření termokamerou vykazují zvýšený prostup tepelného záření. Při ohledu na měření se jedná především o západní a východní strany objektu. Na zmíněné východní straně se objevují nepatrné známky tepelných mostů díky kotvicím materiálům pro izolaci. Řešení by spočívalo v přidání následné izolační vrstvy např. z polystyrenu (max tl. 50mm) kontaktní formou na stávající povrch fasády.

Obr. 1 Jiho-západní pohled na objekt



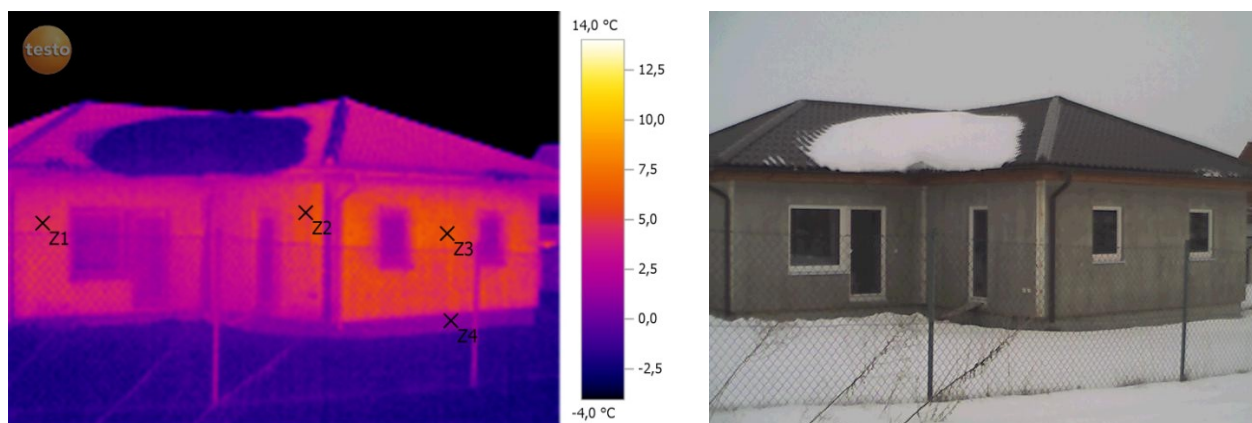
Obr. 2 Západní pohled na objekt



Obr. 3 Detail provedení podhledů



Obr. 4, 5, 6, 7, 8 Zpracování údajů v programu Testo IR soft + fotografický výstup kamery

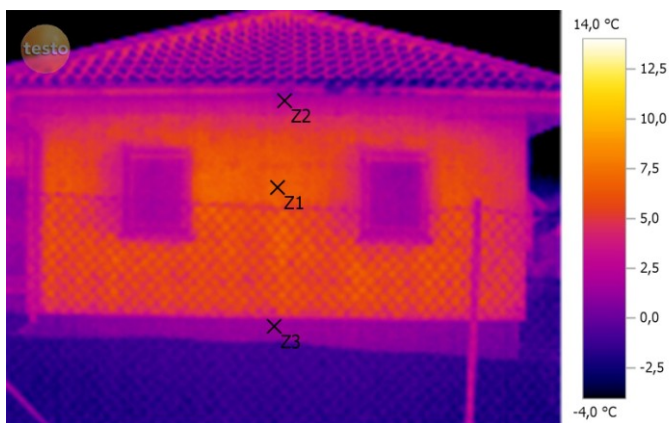


Parametry obrázku:

Stupeň emisivity: 1

Odražená teplota -5,0 [°C]

Č.	Teplota [°C]	Emisivita	Odražená teplota [°C]	Poznámka
Z1	4,9	1,00	-5,0	
Z2	5,2	1,00	-5,0	
Z3	6,0	1,00	-5,0	
Z4	0,8	1,00	-5,0	

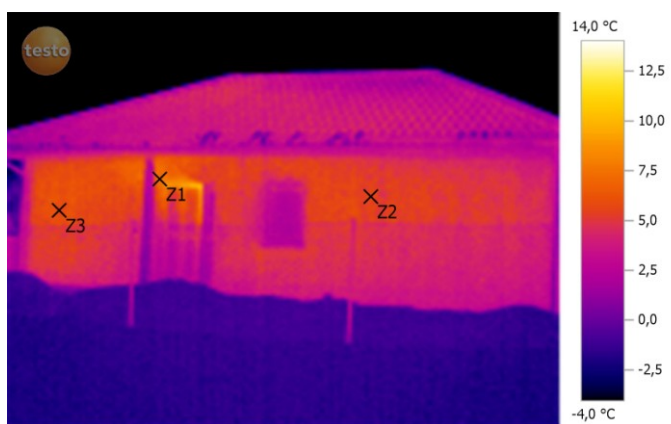


Parametry obrázku:

Stupeň emisivity: 1

Odražená teplota -5,0 [°C]

Č.	Teplota [°C]	Emisivita	Odražená teplota [°C]	Poznámka
Z1	6,3	1,00	-5,0	
Z2	2,3	1,00	-5,0	
Z3	1,1	1,00	-5,0	

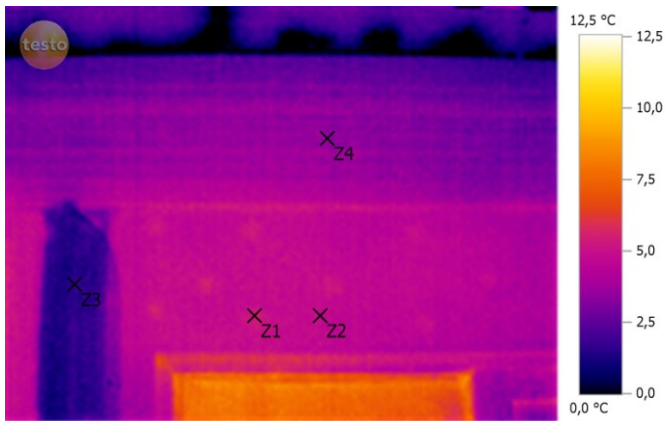


Parametry obrázku:

Stupeň emisivity: 1

Odražená teplota -5,0 [°C]

Č.	Teplota [°C]	Emisivita	Odražená teplota [°C]	Poznámka
Z1	7,3	1,00	-5,0	
Z2	5,5	1,00	-5,0	
Z3	5,9	1,00	-5,0	

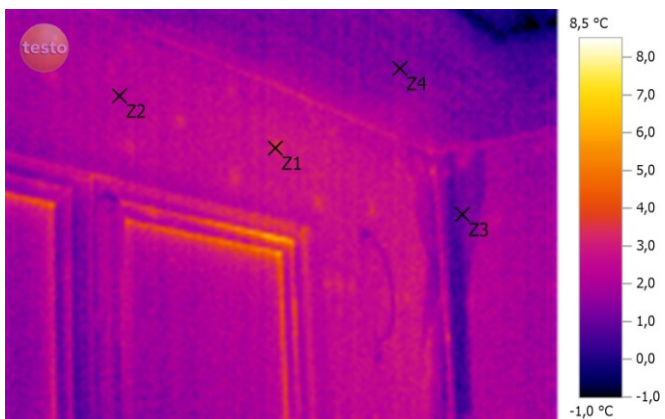


Parametry obrázku:

Stupeň emisivity: 1

Odražená teplota -5,0 [°C]

Č.	Teplota [°C]	Emisivita	Odražená teplota [°C]	Poznámka
Z1	5,5	1,00	-5,0	
Z2	5,0	1,00	-5,0	
Z3	1,7	1,00	-5,0	
Z4	3,5	1,00	-5,0	



Parametry obrázku:

Stupeň emisivity: 1

Odražená teplota -5,0 [°C]

Č.	Teplota [°C]	Emisivita	Odražená teplota [°C]	Poznámka
Z1	3,4	1,00	-5,0	
Z2	2,4	1,00	-5,0	
Z3	1,0	1,00	-5,0	
Z4	1,2	1,00	-5,0	