

Analýza vybraných detailů obvodového pláště budovy pro školství pomocí termovizních metod

Petr Junga, Petr Trávníček, Tomáš Vítěz
Mendelova univerzita v Brně

Abstrakt

Cílem práce je analýza vybraných potencionálních problémových míst obvodového pláště novodobé občanské stavby – budovy pro školství, kde má zvýšený důraz na architektonické řešení a nedůsledné technické řešení detailů negativní dopad na tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí. Zkoumaný stavební objekt je budova určená pro vzdělávání, uvedená do provozu v roce 2004. Analýza indikuje, že nejproblematictějšími místy jsou ustupující konstrukce Pavilonu 2 a Pavilonu 3, kde přechází nosné konstrukce z vytápěného interiéru do exteriéru bez přerušení tepelného toku. Nevyhovující řešení je rovněž u detailů obvodového pláště – fasády a pochozích teras.

Klíčová slova: budova, stavební konstrukce, tepelný most, tepelný tok, termovize

Úvod

Energetická náročnost budov je v současné době oblastí, které je věnována zvýšená pozornost. Základním legislativním předpisem je směrnice 2010/31/EU o energetické náročnosti budov, jejímž cílem je zvýšení energetické účinnosti a úspor energie v oblasti provozování budov. Směrnice musí být členskými státy ve stanoveném časovém období implementována prostřednictvím příslušné národní legislativy. V České republice se jedná především o zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií ve znění pozdějších předpisů a vyhlášku č. 148/2007 Sb. o energetické náročnosti budov ve znění pozdějších předpisů. Energetická náročnost budov je reflektována i v rámci zákona č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu ve znění pozdějších předpisů a ve vyhlášce č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby. Z hlediska normativní legislativy je v České republice nejdůležitějším předpisem ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov. Theodosiou a Papadopoulos (2008) konstatují, že požadavků stanovených ve směrnici lze dosáhnout prostřednictvím zavedení vyšších standardů energetické náročnosti budov v oblasti navrhování a provádění novostaveb, stejně jako při

renovacích budov s cílem dosahování energetických úspor. Autoři rovněž uvádějí, že velmi důležitými environmentálními a ekonomickými aspekty tepelné ochrany budov jsou snížení emisí produkovaných při vytápění (resp. chlazení) budov a snížení provozních nákladů budov. Při výstavbě moderních občanských staveb se často vyskytuje koncepční přístup, kdy jsou uplatňovány architektonické výrazové detaily konstrukcí bez ohledu (nebo s minimálním ohledem) na jejich vliv na tepelné technické vlastnosti budov. Výtvarná, estetická stránka tedy často převládá nad stránkou technickou. V konstrukcích budov jsou potom uplatňovány tepelné technicky komplikované – obtížně řešitelné detaily, spojené se vznikem tzv. tepelných mostů. Vaverka et al. (2006) uvádí, že tepelným mostem nazýváme místa v konstrukci, která se v porovnání se stejnou konstrukcí bez tepelného mostu liší změnou hustoty tepelného toku a dále změnou vnitřní povrchové teploty. Vaverka et al. (2006) dále uvádí, že jedním z cílů správného tepelně technického návrhu je zajištění správné funkce (konstrukce, resp. objektu) z hlediska stavební tepelné techniky – např. omezením či vyloučením kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce nebo na jejím povrchu, vyloučením tepelných mostů apod. Z výše uvedeného plyne, že je velmi významné respektovat zákonitosti tepelné techniky a konstrukce navrhovat tak, aby došlo k eliminaci vad v podobě tepelných mostů.

Při tepelně technickém posuzování stavebních konstrukcí je nutné zohlednit vliv tepelného mostu a navýšit součinitel prostupu tepla souhrnným vlivem tepelných mostů. Toto navýšení se, dle části 4 ČSN 73 0540, stanoví buďto odborným odhadem z tabulky 6.2 normy. Druhou možností je provedení přibližného zpětného výpočtu z hodnot „U“ stanovených přibližnými vztahy z ČSN EN ISO 6946: 2008 (73 0558) nebo dle původního Fokinova vztahu uvedeného v části 4 ČSN 73 0540. Třetí možností je přesnější stanovení dle katalogu charakteristických tepelných mostů v opakovaných nebo typových konstrukcích, kde byly lineární a bodové činitele tepelných mostů stanoveny řešením teplotních polí. Čtvrtou možností je velmi přesné započtení konkrétních činitelů lineárních tepelných mostů Ψ_k o délce l_k ve stavební konstrukci o ploše A a bodových tepelných mostů χ_j v konstrukci o ploše A , stanovených výpočtem teplotních polí dle ČSN EN 10211-1: 1997 (73 0551), ČSN EN 10 211-2: 2002 (73 0551) a výpočetního vztahu uvedeného v části 4 ČSN 73 0540.

Tepelné toky mezi plochou zdiva stavby a okolním prostředím jsou z energetického hlediska velmi důležitým parametrem každé stavby. Ke sdílení tepla mezi plochou zdiva stavby a okolním prostředím dochází dvěma způsoby – prouděním a radiací. Přičemž při velkých rozdílech teplot zdroje a ohřívaného tělesa (případně ohřívaného plynu nebo kapaliny), přibližně nad 600 °C, roste poměr přenosu energie zářením oproti přenosu konvekcí (Brügel 1951; Deribere 1954). V případě stavebních objektů jsou tedy dominantní tepelné ztráty prouděním.

Tepelné ztráty způsobené prouděním jsou závislé na rozdílu teplot stěny a okolní teploty prostředí a součiniteli přestupu tepla. Součinitel přestupu tepla je závislý na teplotním rozdílu, druhu tekutiny, druhu konvekce (nucená, volná) nebo na tvaru plochy, z které je teplo sdíleno s okolním prostředím. Součinitel přestupu tepla se určuje prostřednictvím tzv. kritériálních rovnic za pomoci

bezrozměrných čísel (Corcione et al. 2009). Určování bezrozměrných čísel a podobnostních vztahů je ale experimentálně a výpočetně poměrně náročnou záležitostí (Corcione et al. 2009). Pro výpočet součinitele přestupu tepla při volné konvekci lze v různé literatuře (Bašta 2000; Sartori 2006) nalézt různé podobnostní vztahy, které výpočet kritériálních rovnic zjednodušují. V těchto podobnostních vztazích je většinou součinitel přestupu tepla konvekcí vyjádřen jako funkční závislost rozdílu teplot tekutiny mimo termokinetickou mezní vrstvu a povrchové teploty svislé stěny (Bašta 2000). Práce pro výpočet součinitele přestupu tepla využívá kvůli jednoduchosti a univerzální aplikovatelnosti tři zjednodušujících vztahů podle různých autorů. Tím se metoda určování celkových tepelných ztrát objektů značně zjednoduší a nabízí rychlé a operativní měření tepelných ztrát nejen budov, ale i různých tepelných zařízení a strojů.

Při radiaci se teplo šíří za pomoci elektromagnetických vln, a to především v oblasti infračerveného záření, které je rozděleno do třech pásem (krátkovlnné, střední a vzdálené infračervené pásmo), a to na vlnové délce v rozsahu 0,78 μm až 1000 μm (Sakai et al. 1994). S rostoucí teplotou zdroje roste i energie infračerveného záření a maxima záření se posouvají ke kratším vlnovým délkám. Např. vlnová délka maxima záření lidského těla činí 9,3 μm (Vaško 1963). Použitý termografický systém měří v rozsahu vlnových délek 7,5 až 13 μm a základním teplotním rozsahu -20 °C až 500 °C.

Podklady

Pro potřeby výzkumu byla vybrána budova pro školství, která byla uvedena do provozu roku 2004. Předmětná budova je moderní občanskou stavbou, určenou pro realizaci vzdělávacích činností. Jedná se o budovu složenou ze čtyř vzájemně propojených pavilonů, vytvářejících tvar obdélníku, který ohraničuje otevřené atrium s terasou. Jednotlivé pavilony budovy jsou vzájemně výškově diferencované, celá budova je podsklepená (v 1. PP jsou umístěny archivy a technické prostory, ve 2. PP jsou podzemní garážová stání). 1. NP je bezbariérově přístupné ze severozápadní strany. Nejvyšším objektem je Pavilon 1, který má šest nadzemních podlaží, následuje Pavilon 2 s pěti NP, Pavilon 4 se čtyřmi NP a Pavilon 3 s jedním NP. Nosný konstrukční systém je tvořen skeletem z monolitického železobetonu. Nosné sloupy jsou převážně železobetonové, kruhového průřezu, v pavilonu 3 jsou použity ocelové sloupy z profilu „I“. Stropní konstrukce jsou v jednotlivých pavilonech tvořeny železobetonovými monolitickými deskami se sníženým, zavěšeným sádkartonovým podhledem, nebo jsou opatřeny štukovou omítkou, případně lakovaným trapézovým plechem. Konstrukce obvodového pláště jsou v rámci jednotlivých pavilonů rozdílné. Pavilony 1, 2 a 4 mají obvodové zdi tvořeny výplňovým tepelně izolačním zdivem z cihel typu „therm“ P+D v tl. 400 mm (součinitel prostupu tepla konstrukce $U_N = 0,31 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$). Pavilon 3 má obvodový plášť tvořen lehkým fasádním systémem z hliníkových termoizolačních profilů – rámců s „ditherm“ zasklením, s absencí jakéhokoli výplňového zdiva. Izolační prosklení fasád i ostatní výplně okenních a dveřních otvorů jsou tvořeny prvky z hliníkových čtyřkomorových profilů se zasklením skly typu „ditherm“, s dorazovým

pryžovým těsněním otevíravých a sklopných částí oken (součinitel prostupu tepla otvoru $U_w = 1,4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$). Vjezdová vrata do garáží v 1. suterénu jsou sekční, elektronicky ovládaná, s průhlednou výplní z tepelně izolačního polykarbonátu s rámem z hliníkových tříkomorových profilů (součinitel prostupu tepla otvoru $U_w = 1,6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$). Stropní konstrukce jsou tvořeny železobetonovými monolitickými deskami se sníženým, zavěšeným sádkartonovým podhledem, nebo opatřené štukovou omítkou, případně povrchově upraveným trapézovým plechem. Střešní konstrukce jsou řešeny jako jednoplášťová střecha s hydroizolací tvořenou svařovanou fólií z PVC, s ochrannou vrstvou tvořenou říčním štěrkem. Tepelná izolace střech je tvořena spádovými deskami pro ploché střechy, vyrobenými z minerálních vláken (součinitel prostupu tepla konstrukce $U_N = 0,20 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$). Atrium je tvořené terasou nad 1. suterénem, se stropní konstrukcí s hydroizolací ze svařované PVC fólie. Tepelná izolace je tvořena deskami z extrudovaného polystyrénu, uloženými na hydroizolaci, s ochrannou vrstvou geotextilie (součinitel prostupu tepla konstrukce $U_N = 0,20 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$). Pochozí vrstva je tvořena žulovou dlažbou tl. 30 mm, uloženou na rohových roznášecích terčích z HDPE. Na obvodovém plášti budovy byla zvolena kritická místa, která byla následně podrobena termografické analýze a vyhodnocení.

Vybraná kritická místa obvodového pláště:

- nosný ŽB sloup u vjezdu do garáží v 1. PP,
- ŽB sloup a sekční vrata u vjezdu do garáže v 1. PP,
- střešní světlíky a nosný ŽB sloup na pochozí terase nad posluchárnami 1. NP,
- nosné ŽB sloupky v 1. suterénu pod pochozí terasou atria,
- průběžný ocelový nosník profilu "I" v čelní, ustoupené fasádě 2. NP,
- průběžný ocelový nosník profilu "I" ve fasádě 2. NP směrem do atria,
- meziokenní pilíř ve fasádě 2. NP,
- ŽB sloup a stropní konstrukce pod terasou atria (1. PP),
- světlík do terasy atria (1. PP),
- fasáda v 2. NP směrem do atria.

Určení emisivity materiálů

Na různých druzích použitých stavebních materiálů byl označen měřicí bod, kde byla snímána teplota pomocí dotykového teploměru OMEGA HH11 (přesnost měření teploty $\pm 0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Důležitým předpokladem bylo, aby teplota daného bodu v průběhu času nekolísala. Tento stejný bod byl poté snímán termokamerou FLIR E320. Hodnoty teplot se vzájemně od sebe lišily, proto byla na termokameře teplota kalibrována změnou nastavení emisivity v uživatelském rozhraní tohoto zařízení. Výsledná hodnota emisivity byla určena, až když se hodnoty teplot na obou zařízeních vyrovnaly.

Termovizní měření

Mimo emisivity snímaného materiálu je důležité pro účely termovizního měření změřit atmosférickou teplotu, atmosférickou vlhkost a vzdálenost od měřeného objektu. Atmosférická teplota a vlhkost byla změřena pomocí thermohygrometru OMEGA RH81 s přesností měření teploty $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a přesností měření vlhkosti $\pm 4\text{ }\%$ (při teplotě $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a rozsahu relativní vlhkosti $10 - 90\text{ }\%$). Teplota i vlhkost byly změřeny v blízkém okolí termokamery a snímaného objektu, z těchto hodnot byl poté vypočítán aritmetický průměr.

Termovizní měření probíhalo v konstantní vzdálenosti od snímaného objektu. V průběhu jedné hodiny byly pořízeny tři fotografie. Fotografie byly pořizovány v pozdních odpoledních hodinách za zvětšené oblačnosti, kdy nemohlo dojít k nepříznivému ovlivnění termovizního měření způsobenému slunečním zářením. Vzdálenost kamery od snímaného objektu byla určena laserovým dálkoměrem Leica DISTOtm A5 (s přesností měření $\pm 1,5\text{ mm}$ ve vzdálenosti od $0,2$ do 200 m). Samotné termovizní měření proběhlo s termokamerou FLIR ThermoCAM E320, objektiv s úhlem záběru (FOV) 25° .

Průměrná teplota dané plochy byla vypočítána pomocí softwaru ThermoCAM QuickReport, kdy každému pixelu obrazového záznamu byla přiřazena právě jedna hodnota teploty. Ze všech hodnot byl poté vytvořen aritmetický průměr.

Výpočet tepelných ztrát způsobených konvekcí

Pro potřeby výpočtu tepelných ztrát způsobených konvekcí byl součinitel volné konvekce podél svislé stěny určen podle Mc Adamse, podle C. Kinga a podle F. Michejeva (Bašta 2000). Výsledky podle jednotlivých autorů byly poté porovnány:

Součinitel volné konvekce podél svislé stěny podle Mc Adamse:

$$\alpha_k = 1,78 \cdot \Delta t^{0,12} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (1)$$

Podle C. Kinga

$$\alpha_k = 1,51 \cdot \Delta t^{0,33} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (2)$$

Podle F. Michejeva

$$\alpha_k = 1,55 \cdot \Delta t^{0,33} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (3)$$

Tepelná ztráta způsobená konvekcí byla poté vypočítána podle podobnostního vztahu:

$$q_t = \alpha_k(t_1 - t_2) \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (4)$$

kde

α_k – součinitel konvekce podél svislé stěny $[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$

t_1 – teplota vzduchu $[^{\circ}\text{C}, \text{K}]$

t_2 – teplota povrchu stěny $[^{\circ}\text{C}, \text{K}]$

Tab. I: Změřené okrajové podmínky pro správné vyhodnocení termovizního měření

Č. objektu	Popis objektu	Emissivita [-]	Atmosférická teplota [°C]	Relativní vlhkost [%]	Vzdálenost z měřícího místa [m]
1	ŽB sloup z exteriérového prostředí	0,89	1,4	83,0	4,47
2	ŽB sloup mezi vjezdovými vraty	0,89	1,4	83,5	8,70
3	Konstrukce pochozí terasy se světlíky	0,89	0,7	83,0	3,80
4	ŽB sloup pod pochozí terasou	0,89	1,4	69,3	6,05
5	Průběžný ocelový nosník profilu „I“ v čelní, ustoupené fasádě 2. NP	0,91	1,3	83,0	4,30
6	Průběžný ocelový nosník profilu „I“ ve fasádě 2. NP směrem do atria	0,91	1,3	83,0	5,20
7	Meziokenní pilíř ve fasádě 2. NP	0,89	1,3	83,0	3,40
8	Fasáda v 2. NP směrem do atria	0,84	1,2	83,5	1,00
9	Detail světlíku v exteriéru	0,89	1,3	83,5	4,34
10	ŽB sloup a stropní konstrukce pod terasou atria (1. PP)	0,89	1,1	83,0	3,80

Tab. II: Hodnoty tepelných výkonů vybraných prvků stavební konstrukce objektu

Popis objektu	Podle Mc Adamse		Podle Kinga		Podle Michejeva	
	Tepelný tok [W·m ⁻²]	Tepelný výkon [W]	Tepelný tok [W·m ⁻²]	Tepelný výkon [W]	Tepelný tok [W·m ⁻²]	Tepelný výkon [W]
ŽB sloup z exteriérového prostředí	1,99	1,91	2,04	1,96	2,10	2,01
ŽB sloup mezi vjezdovými vraty	2,00	2,40	2,07	2,48	2,12	2,55
Konstrukce pochozí terasy se světlíky	2,13	12,79	2,48	14,88	2,55	15,28
ŽB sloup pod pochozí terasou	2,08	8,33	2,33	9,30	2,39	9,55
Průběžný ocelový nosník profilu „I“ v čelní, ustoupené fasádě 2. NP	2,24	1,57	2,83	1,98	2,90	2,03
Průběžný ocelový nosník profilu „I“ ve fasádě 2. NP směrem do atria	2,19	1,54	2,68	1,88	2,75	1,93
Meziokenní pilíř ve fasádě 2. NP	2,01	0,80	2,10	0,84	2,15	0,86
Fasáda v 2. NP směrem do atria	2,01	2,42	2,12	2,55	2,18	2,61
Světlík do terasy atria (1. PP)	2,01	5,78	2,10	6,04	2,15	6,20
ŽB sloup a stropní konstrukce pod terasou atria (1. PP)	1,98	9,49	2,02	9,68	2,07	9,93
Celkem	47,01		51,58		52,95	

Výpočet tepelných ztrát způsobených radiací

Celková intenzita záření šedého tělesa byla vypočtena dle Stefan-Boltzmannova zákona, přičemž od celkové intenzity záření šedého tělesa byla odečtena celková intenzita záření okolí. Výpočtový vztah pro určení tepelných ztrát způsobených radiací je tedy následující:

$$I = (\sigma \cdot \varepsilon_s \cdot T_s^4) - (\sigma \cdot \varepsilon_t \cdot T_t^4) \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (5)$$

kde

ε_s – emisivita šedého tělesa [-]

ε_t – emisivita okolního prostředí [-]

T_s – termodynamická teplota šedého tělesa [K]

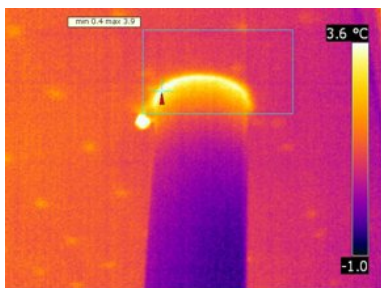
T_t – termodynamická teplota okolního prostředí [K]

σ – Stefan-Boltzmannova konstanta [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

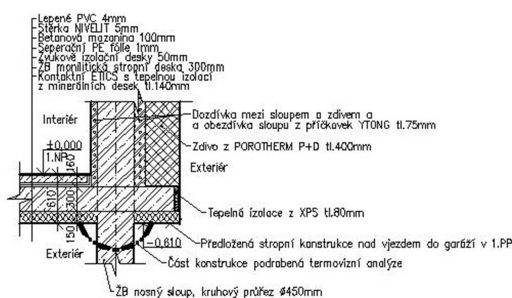
Výsledek termovizního měření

Prvním analyzovaným kritickým místem jsou nosné železobetonové sloupy v exteriéru u vjezdu do 1. PP (krytého předsunutým 1. NP), kde jsou situována garážová stání výukové techniky. Jedná se o termomechanicky nedokonale řešený detail napojení prvku svislé nosné konstrukce (ŽB sloupu) a vodorovné nosné konstrukce (ŽB monolitické desky), bez přerušení tepelného toku. Na Obr. 1 je znázorněn termovizní snímek ŽB sloupu z exteriérového prostředí, který dokladuje existenci významného tepelného mostu, kdy vlivem intenzivního přenosu tepla dochází k zvýšení teploty horní třetiny sloupu. Schematický náčrtek detailu je na Obr. 2.

Obr. 1 ŽB sloup z exteriérového prostředí



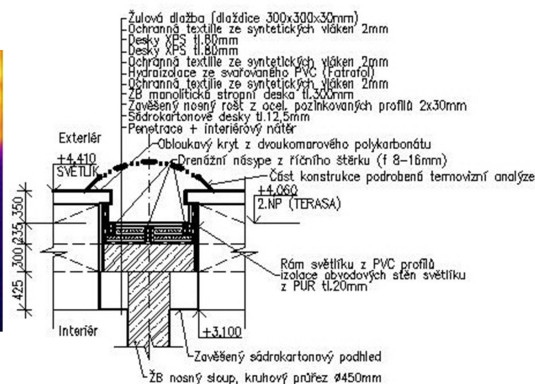
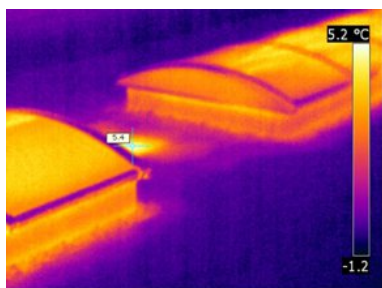
Obr. 2 Schematický řez k Obr. 1



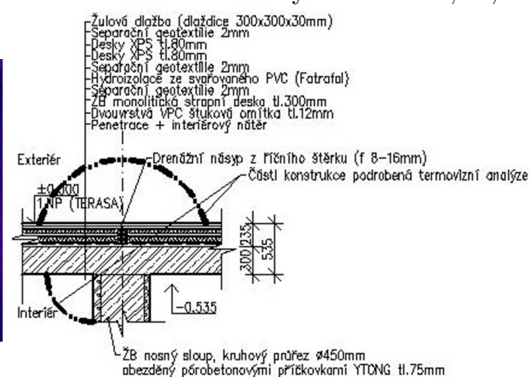
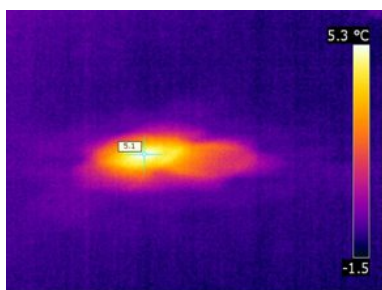
Mezi analyzovaná místa dále patří konstrukce pochozí terasy a světlíky nad chodbou v 1. NP, předsunutou směrem k otevřenému atriu. Předmětné světlíky jsou kompletizovány výrobky tvořenými jednak nosnými prvky z hliníkových termoizolačních profilů, dále pak tepelně izolačními deskami z průsvitného polykarbonátu. Světlíky procházejí skrze ŽB stropní desku a další vrstvy střešního pláště pochozí terasy (tvořené hydroizolačním souvrstvím ze svařované

PVC fólie, separačními vrstvami, tepelně izolační vrstvou z extrudovaného polystyrénu XPS tl. 160 mm, pochozí kamennou dlažbou na rohových roznášecích tercích z PVC, obsyp okolo světlíků je tvořen přírodním šterkem). Analyzované místo je prezentováno na termovizním snímku Obr. 3 a schematickým nákresem Obr. 4. Na snímku je patrný špatně tepelně-technicky řešený detail napojení nosného ŽB sloupu na stropní konstrukci pod terasou, v jehož důsledku zde vzniká výrazný tepelný most a dochází zde k intenzivnímu tepelnému toku. Rovněž samotné provedení konstrukce světlíků vykazuje v kritických místech (především v rozích rámu a v místech propojení světlíků s okolními konstrukcemi) výskyt četných tepelných mostů.

Obr. 3 Konstrukce pochozí terasy se světlíky Obr. 4 Schematický řez k Obr. 3



Obr. 5 ŽB sloup pod pochozí terasou Obr. 6 Schematický řez k Obr. 5, 13, 16



Protože ŽB nosné sloupky jsou v rastru 6,0 m×6,0 m, je výskyt špatně řešeného detailu těchto sloupů patrný v celé ploše terasy nad chodbou (resp. i nad vestibulem u poslucháren v 1. NP a v prostoru pochozí terasy otevřeného atria). Příklad je demonstrován na Obr. 4 a schematický nákras pak na Obr. 6, kde

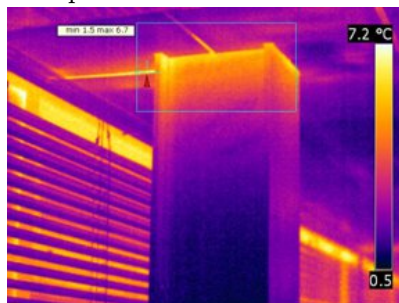
je opět patrný tepelně-technicky chybný detail ŽB sloupu, který je situován v prostoru vestibulu v 1. NP pod pochozí terasou.

Část 2. NP u Pavilonu 3 je z architektonických důvodů po celém obvodu ustoupena o cca 1,0 m oproti půdorysu ostatních podlaží. Vlivem této skutečnosti prochází svislé nosné konstrukce (tvořené v tomto případě ocelovými sloupy tvaru „I“) z vytápěného interiéru (učebny) do exteriéru. Kritický detail přechodu nosného ocelového sloupu je prezentován na termovizním snímku Obr. 7. Na snímku je patrný výrazný tepelný most, a to nejen v místě prostupu ocelového sloupu přes stropní konstrukci, ale i v jeho okolí, kde byl nedokonale řešen i detail tepelně-izolačního podhledu ustoupené části. Obdobný kritický detail se vyskytuje u všech nosných ocelových sloupů po obvodu pavilonu, jak je patrné na Obr. 8, který dokumentuje nosný sloup na opačné straně pavilonu. Schematický náčrtes předmětného detailu je na Obr. 9.

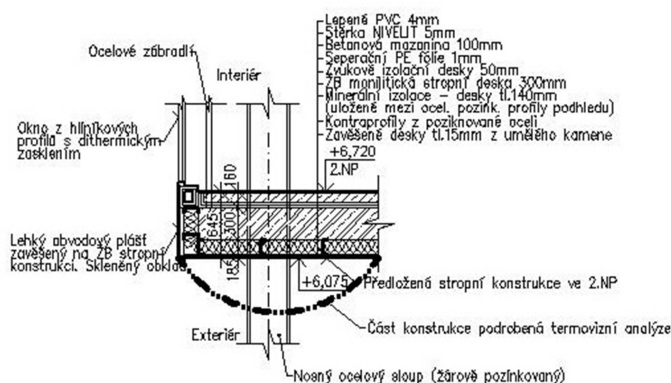
Obr. 7 Přechod nosného ocelového sloupu



Obr. 8 Nosný ocelový sloup v jiném místě pavilonu



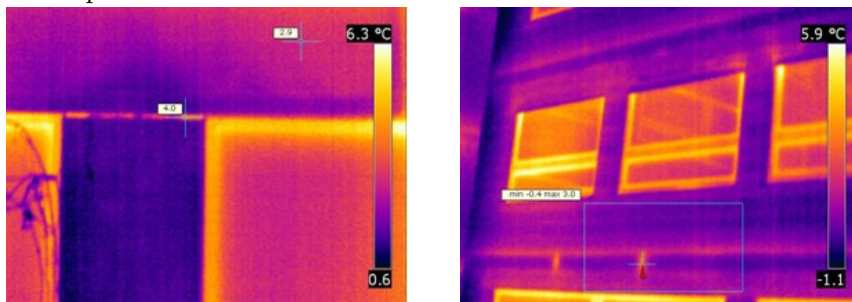
Obr. 9 Schematický řez k Obr. 7



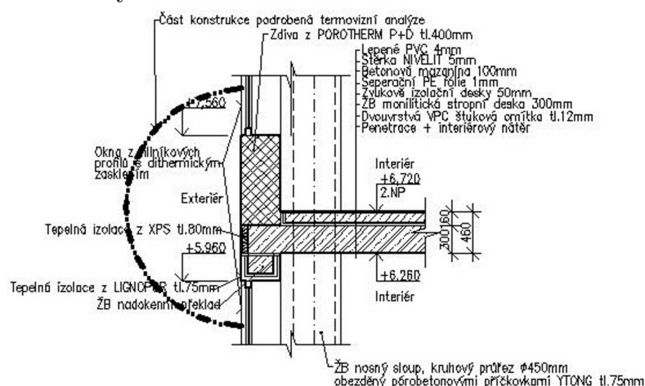
Mezi další analyzovaná místa patří detail fasády Pavilonu č. 2, prezentované na Obr. 10. Obvodový plášť je u Pavilonu 2 tvořen tepelně-izolačním cihelným zděvem typu „therm“ P+D v tl. 400 mm, nadotvorové překlady jsou z monolitického ŽB opatřeny tepelnou izolací z extrudovaného polystyrénu. Vnější úprava obvodového pláště je tvořena hladkou omítkou opatřenou penetrací a fasád-

ním nátěrem. Termovizní snímek dokumentuje problematický detail přechodu meziokenního pilíře a nadotvorových monolitických překladů, jejichž tepelná izolace je navíc rovněž nedostatečná, a dochází zde proto k vyšším tepelným ztrátám. Větší plochu analyzované fasády prezentuje Obr. 11, kde je rovněž patrný problematický detail nadotvorových monolitických překladů s intenzivnějším tepelným tokem. Schematický nákres prezentuje Obr. 12.

Obr. 10 Detail fasády – meziokenní ŽB sloup
Obr. 11 Plocha fasády

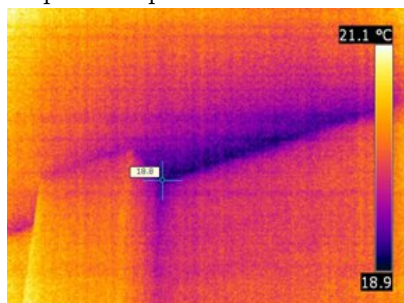


Obr. 12 Schematický řez k Obr. 10 a 11

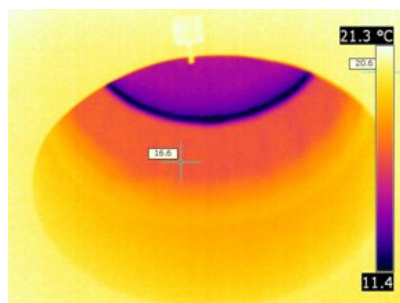


V rámci prostor 1. PP byly analyzovány konstrukce nad vytápěným prostorem laboratoře, nad kterými se nachází pochozí terasa atria. Na Obr. 13 je prezentován kritický detail rohu – napojení ŽB sloupu, dělicího zdiva a stropní konstrukce. Strop vykazuje významné ochlazení způsobené špatně řešeným detailem tepelné izolace pochozí terasy nad tímto prostorem. Mezi další problematická místa patří kruhové světlíky (provedené opět v kombinaci hliníkových profilů a průhledného polykarbonátu), vyúsťující rovněž na pochozí terasu v 1. NP. Kritický detail světlíku prezentuje termovizní snímek z interiéru na Obr. 14, snímek světlíků z exteriéru Obr. 15 a schematický nákres detailu Obr. 17. Na obou snímcích je patrný intenzivní tepelný tok především stěnami světlíku a navazujícími konstrukcemi v okolí světlíku. Další snímek (Obr. 16) dokumentuje chybně řešený detail ŽB sloupu v prostoru laboratoří v 1. PP (pod pochozí terasou atria).

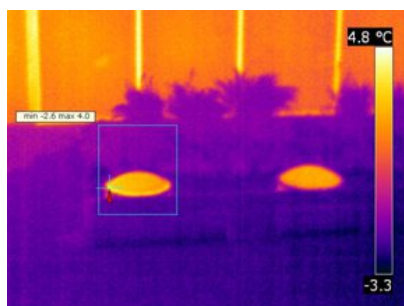
Obr. 13 Detail napojení ŽB nosného sloupu a stropní konstrukce



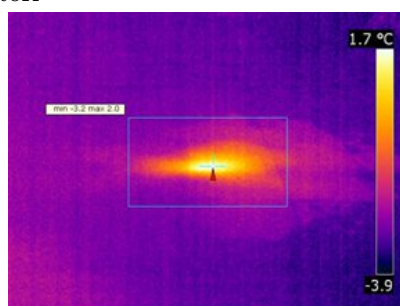
Obr. 14 Detail světlíku z interiéru



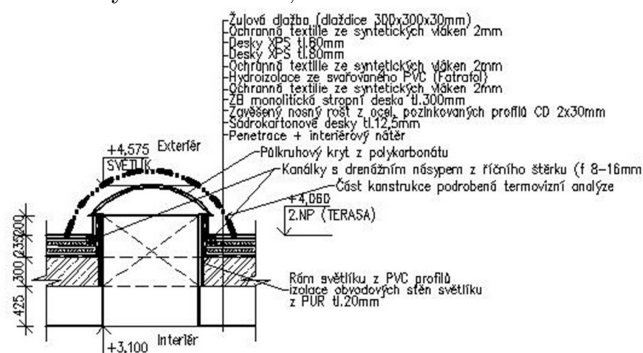
Obr. 15 Detail světlíku z exteriéru



Obr. 16 Detail ŽB sloupu v laboratoři



Obr. 17 Schematický řez k Obr. 14, 15



V Tab. II jsou vypočtené hodnoty celkových tepelných toků vybranými problémovými stavebními prvky administrativní budovy podle zvolených výpočetních postupů. Díky poměrně malým rozdílům mezi teplotou povrchu měřeného objektu a teplotou okolního prostředí lze tepelný tok při sdílení tepla způsobeného zářením zanedbat. Zcela dominantní tedy bude sdílení tepla způsobené konvekcí. Vzhledem k malým teplotním rozdílům jsou také hodnoty tepelných

toků u jednotlivých stavebních prvků velmi podobné a v závislosti na zvoleném přístupu výpočtu tepelných toků způsobených konvekcí se pohybují v intervalu $1,98 - 2,90 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Tepelný výkon je dán plochou tepelného mostu. Nejvyšší hodnotu tepelného výkonu poté vykazují železobetonové sloupky umístěné pod konstrukcí pochozí terasy se světlíky (viz Obr. 4). Souhrnný tepelný výkon analyzovaných tepelných mostů (suma tepelných výkonů jednotlivých problematických stavebních prvků) se poté pohybuje v intervalu $47,01 - 52,95 \text{ W}$. Celková hodnota tepelného výkonu bude však ve skutečnosti vyšší. Důvodem je, že byly analyzovány pouze nejproblematictější prvky stavební konstrukce.

Ve výsledných hodnotách tepelných výkonů podle jednotlivých autorů (viz Tab. II) jsou velmi malé rozdíly. Pro zjednodušený výpočet tepelných toků lze tedy využít jakýkoliv z uvedených vztahů.

Závěr

Existence tzv. tepelného mostu významně ovlivňuje tepelně-technické vlastnosti stavební konstrukce, a proto musí být vliv tepelného mostu zohledněn při posuzování vlastností konstrukce (při výpočtu tepelného odporu a součinitele prostupu tepla). Rovněž při výpočtu tepelných ztrát budovy se do výpočtu zahrnují vlivy tepelných vazeb mezi konstrukcemi (tepelných mostů). V rámci posuzování energetické náročnosti budov je nutné ve výpočtech správně provést vhodné korekce tak, aby nebyl zanedbán (nebo podhodnocen) vliv existujících tepelných mostů na celkovou energetickou efektivitu budovy. Vývoj normativní legislativy indikuje, že se postupně zvyšuje důraz na posuzování detailů, což prezentuje např. ČSN EN ISO 13788:2002 (73 0544), která klade důraz na hodnocení detailů nejen z hlediska celkového tepelného toku, ale i s ohledem na negativní důsledky existence tepelného mostu.

Jak je v tomto článku dokumentováno reálnými příklady, není ani současná novostavba moderní budovy občanské výstavby bez existence tepelně-technických nedostatků v podobě značného množství tepelných mostů (kterým se mohlo předejít už ve fázi návrhu budovy). Většina z předmětných tepelných mostů vznikla nedůsledným řešením kritických detailů (typickým příkladem je např. chybné řešení návaznosti ŽB sloupů na ochlazované stropní konstrukce teras nebo nedokonalé řešení nadotvorových monolitických překladů a jejich napojení na výplňové zdivo obvodového pláště či nedůsledné tepelné izolační provedení světlíků včetně jejich napojení na okolní konstrukce). Nutno podotknout, že se mohou vyskytnout případy, u kterých je technické řešení obtížné a jejichž pečlivé řešení může vyvodit vyšší rozpočtové náklady, díky čemuž jsou často projektantem (který je ovlivněn důrazem investora na rozpočtové náklady) volena technická řešení kvalitativně horší (na samé hranici technické použitelnosti), ale investičně výhodnější. Řada problémových detailů vznikla rovněž díky preferenci architektonického ztvárnění na úkor bezvadného tepelně-technického návrhu konstrukce (příkladem budiž např. ustoupení fasády Pavilonu č. 3 nebo ustoupení 1. PP u Pavilonu č. 2, které vede k tepelně-technickým problémům nejen s průchodem nosných prvků z interiéru do ex-

teriéru, ale i s provedením napojení tepelně izolačního podhledu ochlazované části konstrukce).

Z výše uvedeného vyplývá, že při navrhování stavebních konstrukcí moderních budov s ohledem na jejich tepelně-technické vlastnosti jsou v současné době ve vzájemné kolizi zájmy architekta (jehož snahou je především originální architektonické ztvárnění, často bez ohledu na konstrukční řešení a výslednou technickou hodnotu stavby), zájmy projektanta-konstruktéra (jehož snahou je zajištění požadované funkčnosti i u nejkomplicovanějších architektonických řešení), zájmy projektanta tepelné techniky (jehož snahou je dosažení co nejlepšího tepelně-technického řešení budovy) a zájmy investora (jehož hlavní snahou jsou především co nejnižší investiční náklady, přičemž uvědoměných investorů sledujících i technické vlastnosti objektu s ohledem na provozní náklady je zatím stále menšina).

Reference

- BAŠTA, J., 2000. *Otopná tělesa*. [Praha]: STP, 38–39. ISBN 80-02-01351-4.
- BRÜGEL, W., 1951. *Physik und Technik der Ultrarotstrahlung*. Hannover: Curt R. Vincentz Verlag, 31–42.
- CORCIONE, M. and E. HABIB, 2009. Multi-Prandtl Correlating Equations For Free Convection Heat Transfer From a Horizontal Tube of Elliptic Cross-section. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. **52**, 1353–1364. ISSN 0017-9310.
- DERIBERE, M., 1954. *Les Applications Pratiques des Rayons Infrarouges*. Paris: Dunod, 20–28.
- SAKAI, N. and T. HANZAWA, 1994. Applications and Advances in Far-infrared Heating in Japan. *Trends in Food Science & Technology*. **5**(11), 357–362. ISSN 0924-2244.
- SARTORI, E., 2006. Convection Coefficient Equations for Forced Air Flow over Flat Surfaces. *Solar Energy*. **80**(9), 1063–1071. ISSN 0038-092X.
- THEODOSIOU, T. G. and A. M. PAPADOPOULOS, 2008. The Impact of Thermal Bridges on the Energy Demand of Buildings with Double Brick Wall Constructions. *Energy and Buildings*. **40**(11), 2083–2089. ISSN 0378-7788.
- VAVERKA, J. et al., 2006. *Stavební tepelná technika a energetika budov*. Brno: VUTIUM, 257–258. ISBN 80-214-2910-0.
- VAŠKO, A., 1963. *Infračervené záření a jeho užití*. Praha: SNTL, 25–271.

Analysis of Selected Details of the External Cladding of the Building for Education with Use of Thermovision Methods

The aim of the work was analysis of selected problematic places of a new building cladding (building for education and office work). Here the intense emphasis on the architectonic solution and inconsistent technical solution of details had a negative impact to thermal properties of the building structure. This building is designed for education and administration and was constructed in 2004. One of the most problematic parts are places with recessive constructions of Pavilion 2 and Pavilion 3. Here supporting structures crossing from heated interior to exterior without cutting of a heat flux. Inadequate solutions of details of building cladding (facades and walkable terraces) cause commencement of thermal bridges, too.

Keywords: building, construction, thermal bridge, heat flux, thermovision

Kontaktní adresa:

Ing. Petr Junga, Ph.D., Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00, Brno, e-mail: petr.junga@mendelu.cz

JUNGA, P., P. TRÁVNÍČEK a T. VÍTĚZ. Analýza vybraných detailů obvodového pláště budovy pro školství pomocí termovizních metod. *Littera Scripta*. 2012, 5(2), 219–232. ISSN 1802-503X.
