



# **Výpočet typických tepelných mostů a jejich minimalizace**

**Sdružení Energy Consulting**

**Autor: Ing. Roman Šubrt**

Publikace je určena pro poradenskou činnost a je zpracována v rámci Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2003 - část A.

# **Výpočet typických tepelných mostů a jejich minimalizace**

## **1.část**

**ing. Roman Šubrt**  
**sdružení Energy Consulting**

**© 2003**

Tato publikace vznikla za použití dotace v části „A“ Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2003

## Obsah:

### 1. část

Poděkování a prosba o spolupráci	3
Úvod	3
Ekologie	5
Tepelné mosty	7
„Definice“ tepelného mostu	9
Výpočet tepelné ztráty objektu	11
Požadavky ČSN	12
Vlastnosti materiálů a anizotropie	15
Tepelný odpor vzduchové dutiny	17
Odpor při přestupu tepla	18
Prostup a přestup tepla	18
Vliv velikosti tepelných mostů na tepelné ztráty objektu	19
Graf 1	21
Infrakamera	22
Komentář k obrázkům z infrakamery	23
Obrázky z infrakamery	26

### 2. část

Seznam řešených detailů	3
Seznam materiálů a jejich vlastnosti použité ve výpočtu	4
Poznámky ke zpracování publikace	5
Detaily	7

## Poděkování a prosba o spolupráci

Vážení čtenáři, do rukou se vám dostává publikace Tepelné mosty a jejich minimalizace. Napsali jsme ji v rámci činnosti sdružení Energy Consulting. Tato publikace byla napsána v rámci části „A“ státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2003. Proto naše poděkování, a doufáme, že nejen naše, patří České energetické agentuře.

Rádi bychom neustále rozšiřovali databanku typických stavebních detailů s výpočty dvourozměrných teplotních polí, a proto Vás prosíme o spolupráci. Zasílejte nám, prosím, e-mailem, nejlépe v universálním formátu jako je např. dwg, vámi navrhované detaily s ústním popisem aby bylo zřetelné o jaký problém se jedná a popřípadě jaké materiály jsou použity. Pokud to bude možné, tak bychom všechny detaily s výpočty rádi uveřejňovali na našem webu na adrese [www.e-c.cz](http://www.e-c.cz). Kontaktní e-mail je [roman@e-c.cz](mailto:roman@e-c.cz).

## Úvod

Tato publikace se zabývá tepelnými mosty a tepelnými vazbami a navazuje na již dříve vydanou publikaci Stavební detaily – Tepelné mosty, kterou vydalo nakladatelství GRADA v roce 2002, a na její druhé doplněné vydání z roku 2003.

Tato kniha opět není jen návodem, jaké zvolit řešení, ale jde spíše o matematické vyjádření, jak velký vliv na tepelné ztráty má to které řešení. V publikaci jsou uvedeny i některé příklady z praxe, které jsme posuzovali

či pomáhali řešit. Zde bychom rádi upozornili na to, že jsme se, bohužel, setkali i s takovým řešením detailů, kde se vnitřní povrchová teplota pohybovala hluboko pod bodem mrazu. Nešlo přitom o nijak starou stavbu, její projekt byl vypracován a stavba realizována v polovině devadesátých let. V současné době se řeší náprava této chyby a její vyřešení bude stát pravděpodobně okolo 11 000 000 Kč! Bylo by proto vhodné, aby se tepelně technické řešení stalo běžnou součástí stavební dokumentace tak, jak je dnes zvykem u ostatních profesí, kdy projekt stavby obsahuje mimo stavební části elektro, TZB, vytápění i požární zprávu a statiku. Porovná-li se dnešní rozsáhlost stavební dokumentace s tou, podle které se stavělo před 100 lety, tak zjistíme, že se neustále zvětšuje s narůstající složitostí jednotlivých částí stavby.

Řešení tepelných mostů odborníky je nutné i proto, že z hlediska tepelných izolací často nejsou dodavatelé stavebních prací schopni tato problematická místa řešit a projektanti se jim málo věnují. Tyto problémy jsou pochopitelně neznámé i pro zadavatele stavebních prací, tedy obvykle pro laiky, a proto nemohou jejich řešení v rámci projektu vyžadovat. Řešení problémů tepelných mostů, pokud je včas provedeno, je obvykle jednoduché a na zvýšení ceny stavby se projeví v řádu promilí. Přitom odstranění následků špatně provedeného detailu je vysoce náročné a často se pohybuje v desítkách procent původní ceny, jak ilustroval výše uvedený případ z praxe.

Bohužel, v běžné každodenní praxi je možné se setkat i s tím, že vysoce erudované pracoviště jistý tepelný most řeší nevhodně, respektive při výpočtech provede takové zjednodušení, že výsledek je diametrálně odlišný od skutečnosti.

## Ekologie

K neustálému zvyšování nároků na tepelné izolace vede snaha o ochranu přírody. Lidstvo jako celek v posledních dvou stoletích neuvěřitelným způsobem zvýšilo svoje nároky na množství spotřebovávané energie. Dříve energie sloužila víceméně pouze k vytápění a k přípravě jídla. K dopravě byla používána energie tažných zvířat, lidí či větru. Výroba průmyslového zboží, jako byly kovy a sklo byla minimální, a proto i spotřeba energie byla nevýznamná. V současné době je však spotřeba energie velmi vysoká, navíc jsou obvykle spotřebovávány neobnovitelné zdroje energie, což vede ke zvyšování skleníkových i dalších nežádoucích plynů v ovzduší, proto je naší povinností šetřit tam, kde je to možné. Relativně jednoduché jsou pak právě tepelné izolace vytápěných i chlazených objektů. Ale není možné vyčíslení spotřeby energie na stavby zjednodušit na spotřebu tepla domů v zimním období, protože energie se nespotřebovává pouze v zimě na vytápění, ale celý rok na provoz budovy.

Typy ekologické zátěže způsobené budovami, pak můžeme rozdělit takto:

### 1. Spotřeba energie při stavbě na:

- § výrobu stavebních prvků;
- § dopravu stavebních prvků na staveniště;
- § výstavbu.

## 2. Spotřeba energie při provozu budovy na:

- § úniky tepla konstrukcemi;
- § úniky a zisky tepla okny, včetně nutnosti chlazení;
- § úniky tepla tepelnými mosty;
- § spotřebu energie na hygienickou výměnu vzduchu (větrání, klimatizace);
- § spotřebu energie na nadbytečnou výměnu vzduchu (netěsnost stavby);
- § spotřebu energie na údržbu;
- § zastavění půdního fondu a tím omezení přeměny CO<sub>2</sub> na kyslík rostlinami rostoucími na této ploše.

## 3. Spotřeba energie při likvidaci na:

- § bourání;
- § recyklaci;
- § likvidaci odpadu.

Všechny tyto vlivy je nutno vzít v úvahu a při návrhu stavby se jimi řídit. V této souvislosti je nutné poznamenat, že při poradenské činnosti se neustále setkáváme se lpěním na tradiční výstavbě, která již nemá v dnešní době logické opodstatnění. Je možné považovat za nevhodné a raciu odporující dvě tradice, které jsou u nás velmi hluboko zakořeněny. První je odpor k dřevostavbám. Ten vychází z nařízení císaře Františka II., který v roce 1815 vydal „Obnovené požární řády“ a v nich zakázal z požárních důvodů stavět v obytných aglomeracích dřevostavby kvůli riziku šíření požárů. Dnes toto nebezpečí je minimální nejen proto, že existují různé

protipožární nátěry, ale hlavně proto, že až na nepatrné výjimky není používán otevřený oheň, který dříve sloužil k vaření, vytápění i osvětlení.

Druhá u nás velmi dodržovaná tradice je stavba domů z cihel, nejlépe s tloušťkou zdiva 45 cm. I tato tradice vychází ještě z Rakousko – Uherska, kdy císař František Josef vydal stavební řády. V nich pak bylo stanoveno, že nosná zeď je silná 45 cm a na každé patro se o 7,5 cm rozšiřuje.

Obě tyto tradice vedou k odmítání moderních trendů, kdy u návrhu konstrukcí s velkými tepelně izolačními vlastnostmi je lépe zabezpečení těchto vlastností přenechat tepelně izolačním materiálům. Vlastní nosnou konstrukci domu je možné řešit buď skeletově (což jsou i některé dřevostavby) a nebo subtilními nosnými zdmi.

Při současné výstavbě domů stavěných „klasicky“ není možno používat standardní technologie a stavební postupy, kde se pouze vymění starší materiál za novější s úplně jinými vlastnostmi a to bez ohledu na projekt či technologický postup daný výrobcem, k čemuž bohužel podobnost technologie svádí. Vzniká pak mnoho problematických míst, které by nemusely vzniknout při dodržení vhodného technologického postupu. Sendvičové či skeletové konstrukce jsou z hlediska tepelných izolací velmi podobné klasickým stavbám a obvykle umožňují lepší řešení mnoha tepelných mostů.

## **Tepelné mosty**

Tato publikace je věnována pouze únikům tepla tepelnými mosty, což je jedno z míst, na které je v poslední době kladen stále větší důraz. Zvyšování důrazu na tepelné mosty je dáno tím, že při realizaci staveb s relativně málo účinnými tepelnými izolacemi tvořily tepelné ztráty



tepelnými mosty malé procento veškerých ztrát. Pokud je však stavba tepelně izolována vysoce účinnou izolací, pak se každý tepelný most, kterým uniká teplo stává významnou dírou do tepelné obálky budovy.

Význam řešení tepelných mostů vzrůstá i snižováním výměny vzduchu v objektech, neboť tím vzrůstá relativní vlhkost vzduchu v místnostech a tedy i riziko povrchové kondenzace na chladném povrchu konstrukce. V důsledku toho pak dochází k bujení plísní, zvyšování množství spórů ve vzduchu, který dýcháme, a tím i k zvyšování rizik vzniku alergií. Když v dřívějších dobách sloužila pro vytápění lokální topidla docházelo k velmi intenzivní výměně vzduchu v interiéru, neboť ten byl netěsnostmi nasáván místností do kamen a odtud odváděn ve formě spalin komínem. Po zavedení centrálního, etážového či elektrického vytápění toto intenzivní provětrávání místností ustalo a začaly postupně vznikat problémy. Většina stavařů se například při rekonstrukcích starších objektů setkává s problémem uhnílých zhlaví stropních trámů. To je často jeden z důsledků neřešených tepelných mostů. Trámy se totiž osazují do kapes vynechaných ve zdivu. Zde je tedy horší tepelně izolační schopnost zdiva, neboť je zeslabeno. Navíc v těchto místech nemůže proudit vzduch, a tak dochází k jeho většímu ochlazení. Důsledkem je povrchová kondenzace vodní páry, což v mnoha případech vede ke vzniku živné půdy pro hnilobu dřeva, a tím vzniká problém. Možností, jak tomuto zabránit, je buď důsledné vyřešení tepelného mostu, například tepelnou izolací z exteriéru, nebo snížení vlhkosti vzduchu v interiéru (což se právě dříve dělo pomocí lokálního vytápění).

## „Definice“ tepelného mostu

Tepelný most je místo v konstrukci, kde dochází k větším tepelným tokům než v bezprostředním okolí tohoto místa. Jde tedy o místa, kudy uniká na jednotku plochy mnohem více tepelné energie než okolní konstrukcí při stejné ploše. Tepelné mosty mohou být **systémové**, **nahodilé** a nebo se může jednat o **tepelné vazby**. V praxi se tepelné mosty projevují chladnějším místem v interiéru a nebo naopak teplejším místem v exteriéru, pokud je pochopitelně interiér teplejší než exteriér.

Systémové tepelné mosty jsou ty, které se neustále pravidelně opakují a jejichž vliv musí být při výpočtech vždy zahrnut již do součinitele prostupu tepla konstrukcí. Jde například o krokve, mezi kterými je tepelná izolace v podkroví, o maltové lože u zděných staveb nebo o různé příčky u tepelně izolačních tvarovek, které jsou určeny pro prolití betonem. V Rakousku například vliv tepelných mostů krokvemi zahrnují do výpočtů tak, že součinitel tepelné vodivosti minerální vlny tvořící tepelnou izolaci mezi krokvemi zvýší z  $\lambda = 0,04 \text{ W/(m.K)}$  na  $\lambda = 0,05 \text{ W/(m.K)}$ . Vliv maltového lože na součinitel přestupu tepla je jistě všem známý a jasný. Proto je velmi důležité při stavbě domu kontrolovat, zda dodavatel skutečně provádí stavbu na tepelně izolační maltu tak, jak obvykle předepisuje stavební projekt, nebo zda šetří a používá ke zdění normální maltu.

Nahodilé tepelné mosty jsou takové, které se v konstrukci pravidelně neopakují. Ty je nutné do výpočtu zahrnout buď zvýšením součinitele prostupu tepla (dříve se zvyšoval součinitel prostupu tepla o 10%, nyní je vhodnější volit přírážku  $\Delta U = 0,1$  až  $0,25 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$ ) a nebo je nutné jej do výpočtu zahrnout přesně spočítáním lineárního součinitele prostupu tepla  $\psi$  a jeho vynásobením příslušnou délkou tepelného mostu. Mimo lineárních

tepelných mostů mohou být ještě tepelné mosty bodové. Ty se pak započítávají připočítáním bodového součinitele prostupu tepla  $\chi$  vynásobeného počtem prvků v konstrukci.

Mezi nahodilé tepelné mosty je možné počítat různé ztužující věnce a jiné nosné konstrukce, různé niky pro měření plynu či elektřiny, niky pro suchovody i hydranty, průchody konstrukcemi, kdy jimi prochází tepelně vodivý materiál, jako nosné ocelové tyčové prvky, trubky, průchodky, kotvy atd.

Tepelnými vazbami jsou myšleny styky dvou různých konstrukcí. Nejde tedy o klasický tepelný most, kdy je tepelná izolace zeslabena či přerušena jinou konstrukcí, ale kde dochází ke zvýšenému tepelnému toku díky styku dvou a více různých konstrukcí, jako je například napojení stropní konstrukce na obvodovou stěnu, napojení stěny na okno, napojení stěny na základy apod.

Tepelné mosty je pochopitelně možné rozdělit podle mnoha hledisek na různé skupiny, například na tepelné mosty:

- stavební (napojení dvou konstrukcí, např. základ a stěna, stěna a okno či dveře, prostup potrubí);
- geometrické (geometrické změny konstrukce, např. roh stěn, uskočení);
- systematické (v konstrukci se opakují místa s horšími tepelně izolačními vlastnostmi, např. spony, krokve mezi izolací ve střeše, maltové lože mezi cihlami);
- konvektivní (kde může docházet k přenosu energie přes tepelnou izolaci prouděním, např. v netěsných střešních konstrukcích).

## Výpočet tepelné ztráty objektu

Výpočet tepelné ztráty se děje podle ČSN EN ISO 13 789 a ČSN EN 832. Zde je definována potřeba tepla na pokrytí tepelné ztráty takto:

$$Q_l = H \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t$$

$$\text{kde } H = H_T + H_V$$

$$\text{přičemž platí, že: } H_T = L_D + L_S + H_U$$

$$L_D = \sum_j A_j U_j + \sum_k l_k \psi_k + \sum_j \chi_j$$

Z uvedeného vztahu je patrné, že při významných tepelných mostech a současně dobře izolovaných plošných konstrukcích bude tvořit tepelná ztráta tepelnými mosty významnou položku v celkové tepelné ztrátě.

V těchto vztazích je:

- A plocha prvku v  $\text{m}^2$ ;
- H měrný tepelný tok ve  $\text{W/K}$ ;
- $H_T$  měrná ztráta prostupem tepla ve  $\text{W/K}$ ;
- $H_U$  měrná ztráta prostupem tepla přes nevytápěné prostory ve  $\text{W/K}$ ;
- $H_V$  měrná tepelná ztráta větráním ve  $\text{W/K}$ ;
- l délka lineárního tepelného mostu v m;
- L tepelná propustnost ve  $\text{W/K}$ ;
- $L_D$  tepelná propustnost konstrukcemi mezi vytápěným a vnějším prostorem ve  $\text{W/K}$ ;
- $L_S$  tepelná propustnost zeminou ve  $\text{W/K}$ ;
- U součinitel prostupu tepla ve  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  [dříve označovaný „k“];
- $\psi$  lineární činitel prostupu tepla ve  $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ;

- $\chi$  bodový činitel prostupu tepla ve W/K;  
 $\theta_i$  požadovaná vnitřní teplota ve °C;  
 $\theta_e$  průměrná vnější teplota během časového úseku ve °C.

## Požadavky ČSN

Od listopadu 2002 platí nová ČSN 73 0540-2, kde jsou specifikovány požadavky na tepelnou ochranu budov. V České republice sice nejsou normy jako takové závazné, ale ve stavebním zákoně a jeho prováděcích vyhláškách se mluví o tom, že stavba má splňovat požadavky na nízkou energetickou náročnost, má umožňovat zdraví neškodlivé prostředí a další požadavky, ze kterých vyplývá, že stavba musí splňovat normou stanovené parametry. Z hlediska tepelných mostů je nutné dodržet dva požadavky. Jedním je minimální součinitel prostupu tepla, do kterého musí být zahrnuty i tepelné mosty. To je ve většině projektů novostaveb neřešené, protože při návrhu tepelných izolací obvykle projektanti s tepelnými mosty nepočítají. Toto se projevuje obzvláště u tepelných izolací podkroví.

Druhým požadavkem je požadavek na nejnižší povrchovou teplotu. Pro obytné místnosti je definována výpočtová relativní vlhkost vzduchu 50%, na rozdíl od předchozího znění normy, kde se uvažovala vnitřní relativní vlhkost vzduchu 60%. Opticky je tedy požadavek zmírněn. Na základě výzkumů je však dáno druhé kritérium, a sice že kritická vnitřní povrchová vlhkost stavebních konstrukcí může být 80%, na rozdíl od předchozích 100%. U výplní otvorů zůstává stejná kritická vnitřní povrchová vlhkost, tedy 100%. Kombinací těchto kritérií tak dochází k celkovému zpřísnění požadavků. Navíc jsou zvýšeny i hodnoty součinitelů přestupu tepla  $h_{si}$ . Dále norma definuje bezpečnostní přírážky pro různé druhy staveb

a pro různé způsoby vytápění. Protože otvory obecně představují obtížně řešitelné části staveb a protože u nich lze předpokládat vyšší odolnost proti působení kondenzované vodní páry, jsou požadavky na výplně otvorů mírnější než požadavky na konstrukce.

Pro praxi to znamená, že by každý projektant buď měl použít detail, který je již spočítán a u kterého má jistotu, že požadavek na nejnižší povrchovou teplotu je splněn, a nebo si tento detail spočítat či nechat spočítat alespoň v dvourozměrném teplotním poli.

**tabulka nejnižších přípustných povrchových teplot stavebních konstrukcí pro vnitřní teplotu  $q_{ai} = +21^{\circ}\text{C}$  a relativní vlhkost vzduchu  $j_i = 50\%$**

způsob vytápění	stavební konstrukce	
	těžká	lehká
nepřerušované	13,6 °C	14,1 °C
tlumené s poklesem výsledné teploty rovným a nebo menším než 7 °C	14,1 °C	14,6 °C
přerušované s poklesem výsled. teploty větším než 7°C	14,6 °C	15,1 °C

**tabulka nejnižších přípustných povrchových teplot výplní otvorů pro  
vnitřní teplotu  $t_{ai} = +21^{\circ}\text{C}$  a relativní vlhkost vzduchu  $j_i = 50\%$**

způsob vytápění	otopná tělesa pod výplněmi otvorů	
	ano	ne
nepřerušované	9,2 °C	10,2 °C
tlumené s poklesem výsledné teploty rovným a nebo menším než 7 °C	9,7 °C	10,7 °C
přerušované s poklesem výsledné teploty větším než 7 °C	10,2 °C	11,2 °C

**POZNÁMKY:**

1. Vnitřní povrchové teploty  $t_{si}$  se obvykle stanoví řešením teplotního pole pro kritické detaily stavebních konstrukcí, kterými jsou například tepelné mosty ve stavební konstrukci a tepelné vazby mezi stavebními konstrukcemi, např. okenní ostění poblíž koutu, pod střechou apod. Ověřuje se vždy nejnižší ze zjištěných teplot. V místě spojení více konstrukcí se uvažuje vyšší z bezpečnostních přírážek  $\Delta q_{si}$ , stanovených pro jednotlivé konstrukce.
2. Splnění požadavků podle tabulek je prevencí růstu plísní a rizika povrchové kondenzace.
3. Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně  $R_{si}$  se podle ČSN EN ISO 13788 uvažuje pro vnější výplně otvorů hodnotou  $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2.\text{K/W}$ , pro ostatní vnitřní povrchy konstrukcí zvýšenou hodnotou  $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2.\text{K/W}$  pro horní polovinu místností a  $R_{si} = 0,35 \text{ m}^2.\text{K/W}$  pro dolní polovinu místností.
4. Požadavek na výplně otvorů se vztahuje jak na rámy, tak na výplň mezi nimi. Pokud se na výplně otvorů vztahují požadavky jiných norem, uplatní se vždy přísnější z požadavků.
5. Nízkoteplotní velkoplošné podlahové či stěnové vytápění, sálavé vytápění a lokální vytápění vzdálené od vnějších výplní otvorů zpravidla zvyšují riziko orosování vnějších výplní otvorů na vnitřním povrchu. Vytápění s otopnými tělesy pod vnějšími výplněmi otvorů zaručuje vyšší bezpečnost, neboť způsobuje místní zvýšení teploty vnitřního vzduchu u vnější výplně otvoru.

## Vlastnosti materiálů a anizotropie

Při matematickém řešení tepelných mostů je nutné vycházet ze součinitelů tepelné vodivosti, jejichž přesné stanovení je v mnoha případech problematické. Většina staveních materiálů má tyto vlastnosti změřeny a jsou uvedeny v příslušné normě. U nových materiálů, které v normě uvedeny nejsou si tuto vlastnost obvykle nechá změřit výrobce či dovozce, a pak ji deklaruje v certifikátu či jinde. Zatím nám není znám případ, že by byl nějaký materiál reklamován proto, že nesplňuje tepelně izolační vlastnosti uváděné výrobcem. To je pochopitelně dáno i tím, že prokázání daných vlastností je finančně velmi nákladné. Potíže s určením vlastností nastávají u neznámých materiálů (např. již dříve do stavby zabudovaných) a u materiálů, které mají velký rozptyl vlastností, nebo tam, kde je nutné postupovat s větší přesností.

Problémem také bývá, že součinitel tepelné vodivosti je uváděn za určitých vlhkostních podmínek. Pokud však je materiál vlhčí, jeho tepelně izolační vlastnosti se zhoršují. Zvýšená vlhkost materiálu pochopitelně hrozí právě v místech tepelných mostů a vazeb, kde kondenzace vodní páry jejich záporný vliv ještě zhoršuje.

S dalším problémem při řešení tepelných mostů je možno se setkat u anizotropních materiálů, tedy u těch materiálů, které nemají ve všech směrech stejné vlastnosti. Typickým příkladem je dřevo, u kterého je i v normě uveden jiný součinitel tepelné vodivosti pro směr kolmý k vláknům i pro směr rovnoběžný s vlákny. Mnoho lidí si však neuvědomuje, že stejným materiálem jsou i dutinové cihelné tvarovky, ať se již jedná o starší CDm (cihly děrované metrického formátu), CD INA, CD IVA, ale i v současné době hojně používané tvarovky typu Therm. Proto jsme se tomuto



problému v této publikaci věnovali, abychom zjistili praktický význam anizotropie některých materiálů na velikost tepelného mostu či tepelné vazby.

Při praktickém provádění výpočtů dvourozměrných teplotních polí se mimo odlišných vlastností stavebních materiálů od normových hodnot či hodnot udávaných výrobcem nebo dovozcem naráží i na další dva podstatné problémy, které ovlivňují míru přiblížení se skutečnosti. A tím je přesné stanovení ekvivalentního součinitele tepelné vodivosti vzduchové mezery a dále pak stanovení okrajových podmínek, tedy zejména součinitele přestupu tepla mezi vzduchem a mezi konstrukcí.

Ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti  $\lambda_{ev}$  je možné buď dopočítat, popřípadě odhadnout a výpočtem ověřit, pokud známe vlastnosti celé konstrukce obsahující vzduchovou vrstvu (může se například jednat o zjištění vlastností vzduchových dutin u cihelných tvarovek, u kterých známe celkový tepelný odpor), a nebo je nutné postupovat podle výpočtových postupů nebo empirických vztahů uvedených v normách.

Stanovení skutečného součinitele přestupu tepla je ještě problematičtější, neboť nezáleží pouze na umístění, tvaru a druhu konstrukce a celého objektu. Tento součinitel je velmi ovlivnitelný rozmístěním zdrojů tepla i rozmístěním nábytku a dalšího zařízení. Při měření infrakamerou jsme se například v praxi setkali s tím, že v některých místech byla konstrukce v interiéru výrazně chladnější než jinde. Přitom se jednalo o relativně homogenní konstrukci a nic nenasvědčovalo tomu, že by v inkriminovaném místě mohl být tepelný most či konstrukce výrazně horší kvality. Často se jednalo právě o takováto místa, kde bylo proudění vzduchu výrazně omezeno, tím došlo k nárůstu součinitele přestupu tepla

$h_{si}$  (dle starších českých norem je doposud používané označení  $\alpha_i$ ), a tudíž došlo ke snížení povrchové teploty konstrukce.

## Tepelný odpor vzduchové dutiny

Pro stanovení tepelného odporu vzduchové dutiny je možné podle tvaru této dutiny vycházet ze dvou zdrojů. Oba jsou uvedeny v ČSN EN ISO 6946. Pro vzduchovou dutinu, kde dva z rozměrů výrazně převládají nad třetím rozměrem, je v této normě uvedena tabulka tepelného odporu nevětrané vzduchové dutiny. Obdobná tabulka je uvedena i v ČSN 73 0540-3.

Pro nevětrané vzduchové dutiny, kde jeden rozměr výrazně převažuje nad dalšími, je pak v ČSN EN ISO 6946 uveden výpočtový postup. Ten je dán vztahem:

$$R_g = 1 / \{ h_a + 0,5 E h_{ro} [ 1 + ( 1 + d^2 / b^2 )^{0,5} - d / b ] \}$$

V tomto vztahu je:

$R_g$  tepelný odpor vzduchové dutiny

$d$  rozměr vzduchové dutiny rovnoběžný se směrem tepelného toku

$b$  druhý malý rozměr

$E$  součinitel vzájemného osálávání (u stejných materiálů je roven 1)

$h_a$  součinitel přestupu tepla vedením (prouděním)

$h_{ro}$  součinitel přestupu tepla sáláním černého tělesa

Tento přesnější výpočet je pak v ČSN EN ISO 10211-1 rozveden do tabulkové podoby, kde je možné na základě rozměrů dutiny odečíst ekvivalentní tepelnou vodivost.

## Odpor při přestupu tepla

Odpor při přestupu tepla je možné buď stanovit výpočtem podle ČSN EN ISO 6946 a nebo je možné použít výpočtový postup uvedený v ČSN EN ISO 10211-1. Pro výpočet tepelných mostů je vhodnější použít tabulkových hodnot uvedených v této normě. Zde se doporučuje použít hodnoty  $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$  pro přestup na vnější straně,  $R_{si} = 0,013 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$  pro přestup na vnitřní straně na okně,  $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$  pro přestup na vnitřní straně v horní polovině místnosti a  $R_{si} = 0,35 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$  pro přestup na vnitřní straně v dolní polovině místnosti.

## Prostup a přestup tepla

Tato publikace se zabývá přestupem tepla danou konstrukcí, i když se zde velmi často hovoří o prostupu tepla. Prostup tepla se děje totiž nejenom vedením tepla, ale i prouděním. Ve všech námi počítaných konstrukcích uvažujeme s tím, že veškeré konstrukce jsou velmi těsné, a proto zde nedochází k prostupu tepla prouděním. To však může být v mnoha případech zavádějící, zejména ve střešních konstrukcích s odvětrávanou mezerou nad tepelnou izolací.

V konstrukcích může docházet k infiltraci vzduchu z interiéru do exteriéru, ke které může docházet nejen ve spárách mezi okenním rámem a okenním křídlem, ale i rozvody elektroinstalace, netěsnostmi mezi jednotlivými konstrukcemi a podobně.

Velmi problematické na zjištění i na vyčíslení tepelných ztrát je proudění vzduchu v konstrukcích, kdy nedochází k výměně vzduchu mezi exteriérem a interiérem, ale vzduch proudí skrz tepelnou izolaci, případně netěsnostmi mezi tepelně izolačními deskami. Tím dochází k ochlazování konstrukcí blíže k interiéru, tepelná izolace je tedy podstatně méně účinná než kdyby k tomuto nedocházelo.

## **Vliv velikosti tepelných mostů na tepelné ztráty objektu**

Vliv tepelných mostů na celkovou tepelnou ztrátu je u dobře tepelně izolovaných staveb velký, což je možné dokumentovat na grafu, kde tepelné mosty do výpočtu zavedeme zvýšením součinitele tepelné vodivosti a přírážku  $\Delta U$ . Zvýšení tepelných ztrát objektu vlivem této přírážky je patrné z grafu 1. Na svislé ose grafu jsou tepelné ztráty z 1 m<sup>2</sup> konstrukce při rozdílu teplot 35 °C. Na vodorovné ose je vynesena tloušťka pěnového polystyrenu. Jakoukoli konstrukci je možné dosadit spočítáním ekvivalentu tepelného odporu této konstrukce. (Jako součinitel tepelné vodivosti pěnového polystyrenu byla uvažována  $\lambda = 0,044 \text{ W/(m.K)}$ .) Jednotlivé grafy pak značí hodnoty pro příslušný součinitel prostupu tepla  $U \text{ (W/(m}^2\text{.K))}$ . Nejspodnější křivka odpovídá spočítanému součiniteli prostupu tepla, křivka nad ním odpovídá součiniteli prostupu tepla zvětšenému o 0,1 W/(m<sup>2</sup>.K) a konečně poslední křivka odpovídá součiniteli prostupu tepla zvětšenému o 0,25 W/(m<sup>2</sup>.K).

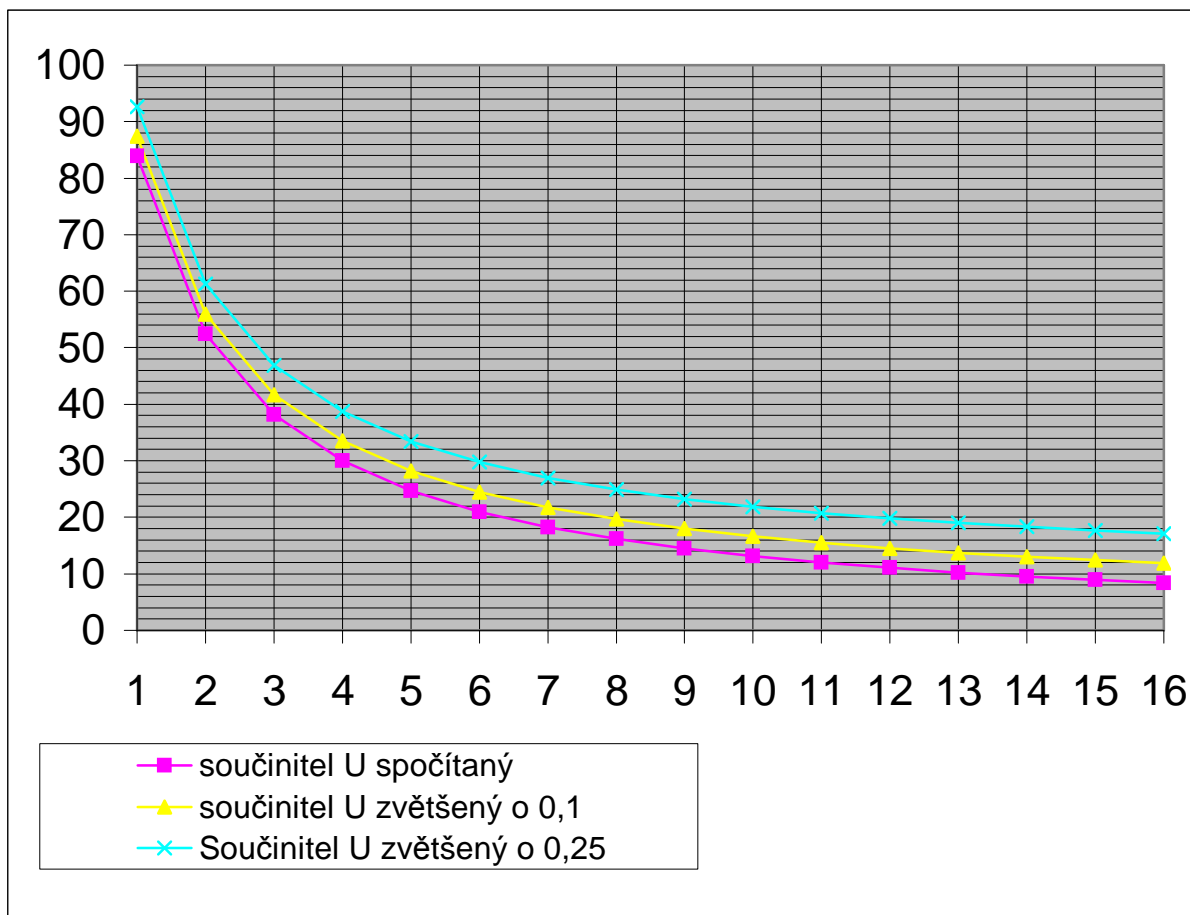
Na tomto grafu je patrné, že dobře izolovaný dům s tepelnou izolací z pěnového polystyrenu tloušťky 16 cm, ale bez vyřešení tepelných mostů způsobujících zhoršení součinitele prostupu tepla  $U$  o 0,25 W/(m<sup>2</sup>.K), může

mít stejné tepelně izolační vlastnosti jako dům s podstatně slabší tepelnou izolací tloušťky necelých 7 cm, ale s vyřešenými tepelnými mosty.

Z grafu 1 je možné také odečíst, že při malých tepelných odporech konstrukce je vliv tepelných mostů procentuálně zanedbatelný, ale při masivních tepelných izolacích (o které se současné stavebnictví snaží) může být vliv tepelných mostů na tepelnou ztrátu prostupem více než 100%.

### Graf 1

Vliv závislosti tepelných ztrát objektu při zaizolování domu tepelnou izolací o tepelném odporu odpovídající síle pěnového polystyrenu v cm. V grafu jsou uvedeny hodnoty jednak pro odpovídající součinitel prostupu tepla  $U$  a pak pro součinitel prostupu tepla  $U$  zvětšený o přírážku na tepelné mosty. Přírážka má velikost  $\Delta U = 0,1 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$  a  $\Delta U = 0,25 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ .



## Infrakamera

Tepelné mosty v konstrukci se projevují chladnějším (v interiéru) či teplejším (v exteriéru) povrchem než je okolní konstrukce. To umožňuje vyšetřovat tepelné mosty infrakamerou, kdy lze získat okamžitě představu, kde, jak velká a jakého tvaru je teplotní anomálie na povrchu konstrukce. V této souvislosti je nutné upozornit na to, že používání infrakamery má svá přísná pravidla a výsledky měření, neprovedeného odborníkem – stavařem se specializací pro práci s tímto zařízením může vést k velkým omylům při měření. Při měření je totiž nutné nejen dobře odečíst teplotu z displeje, ale uvědomit si veškeré souvislosti, které toto měření má. Vlivů, které mohou ovlivnit měření, je skutečně mnoho. Patří sem kvalita povrchu a jeho emisivita, směrovost emisivity, povětrnostní podmínky jako oslunění, zvlhnutí, silný vítr a podobně, dále pak emisivita okolních povrchů, zdroje sálavého tepla, překážky zabraňující proudění vzduchu, tepelná kapacita jednotlivých materiálů a mnoho dalšího. Tyto vlivy je pochopitelně nutné do posuzování konstrukce zahrnout, i když není snaha o získání hodnot absolutních povrchových teplot, ale stačí nám pouze relativní povrchové teploty vztažené k některému bodu na termogramu.

Na obrázcích 1 až 18 jsou termogramy a některé fotografie snímaných míst. Zde je dokumentován vliv tepelných mostů. K většině z těchto případů jsme se dostali tak, že si majitel stěžoval na problémy a požádal nás buď o radu, jak při opravě postupovat, nebo potřeboval posouzení pro další jednání s dodavatelem o odstranění vad stavby.

## **Komentář k obrázkům z infракamery:**

### **obrázek 1**

Termogram novostavby rodinného domu – na obrázku je patrný tepelný most obvodovým ztužujícím věncem a rohem stavby. (V rohu stavby se tepelný most projevuje z exteriéru chladnějším povrchem.) Důsledkem tohoto tepelného mostu byl vznik plísní v interiéru v rohu místnosti. Řešením zabránění plesnivění se stalo obložení rohu domu vnějším kontaktním zateplovacím systémem v šířce 1,5 m na každou stranu od rohu po výšce celého domu. Cena dodatečných úprav byla cca 18 000 Kč.

### **obrázek 2**

Termogram novostavby rodinného domu snímáný z interiéru. Na obrázku je patrný tepelný most ztužujícím věncem a dále nosnou konstrukcí stropu.

### **obrázek 3**

Termogram fasády staršího rodinného domu. Šipka ukazuje na lineární tepelný most u základů. V interiéru se v tomto místě tvořila plíseň.

### **obrázek 4**

Termogram stavby z poloviny devadesátých let. Na obrázku jsou patrné tepelné mosty ztužujícím obvodovým věncem a zejména maltovými loži mezi tvárnicemi.

### **obrázek 5**

Termogram novostavby rodinného domu. Na obrázku jsou opět patrné tepelné mosty ztužujícím obvodovým věncem a maltovými loži mezi cihlami. V bodě 1 je patrný tepelný most způsobený dozdívkou z jiného materiálu.

### **obrázek 6**

Termogram podkroví novostavby rodinného domu. Obrázek představuje pohled na podhled a jeho styk s vnější obvodovou stěnou. Jsou zde patrné tepelné mosty mezi obvodovým zdívkem a podhledem a dále v místě kleštiny, vazného trámu a



krokve cca 1 m od obvodového zdiva. Zde byla patrně vynechána část tepelné izolace.

#### **obrázek 7**

Termogram novostavby rodinného domu. Na tomto termogramu jsou patrné klasické tepelné mosty, které se nacházejí na většině současných novostaveb. Především se jedná o tepelné mosty obvodovými ztužujícími věnci, dále překlady nad okny. Při detailnějším snímku by byly vidět i tepelné mosty maltovým ložem mezi cihelnými tvarovkami.

#### **obrázek 8**

Termogram podkroví novostavby rodinného domu. Jsou patrné tepelné mosty krokvemi a nosným roštem podhledu. Dále je patrná studenější stěna za sedací soupravou – zde je chladnější povrch způsoben i pomalejším prouděním vzduchu. Nepravidelnost tepelných mostů svědčí o tom, že zde je tepelná izolace položena nerovnoměrně a pravděpodobně zde dochází i k přenosu tepla prouděním uvnitř tepelné izolace či okolo ní.

#### **obrázek 9**

Termogram podkroví novostavby rodinného domu. Opět jsou zde patrné tepelné mosty krokvemi a nosným roštem podhledu. Nepravidelnost tepelných mostů svědčí o nepravidelném položení tepelné izolace.

#### **obrázek 10**

Termogram podkroví novostavby. Jsou zde patrné tepelné mosty mezi kazetami podkroví. V tomto případě je snímek pořizován při větrném počasí a přenos tepla se děje i prouděním.

#### **obrázek 11**

Fotografie podkroví novostavby rodinného domu. Termogram je na obrázku č. 12.

#### **obrázek 12**

Termogram podkroví novostavby rodinného domu zobrazeného na obrázku 11. Jsou patrné tepelné mosty v rohu domu a dále ve styku krokve a pozednice.

### **obrázek 13**

Fotografie novostavby rodinného domu v podkroví v koupelně. Termogram je na obrázku č. 14.

### **obrázek 14**

Termogram stejného místa jako je na obrázku 13. Tepelné mosty opět nepotřebují komentář.

### **obrázek 15**

Fotografie podkroví novostavby rodinného domu. Termogram je na obrázku č. 16.

### **obrázek 16**

Termogram podkroví z fotografie na obrázku 15. Opět je patrný lineární tepelný most u styku podhledu s obvodovou stěnou. Mírně jsou patrné i lineární tepelné mosty nosným roštem podhledu a krokví.

### **obrázek 17**

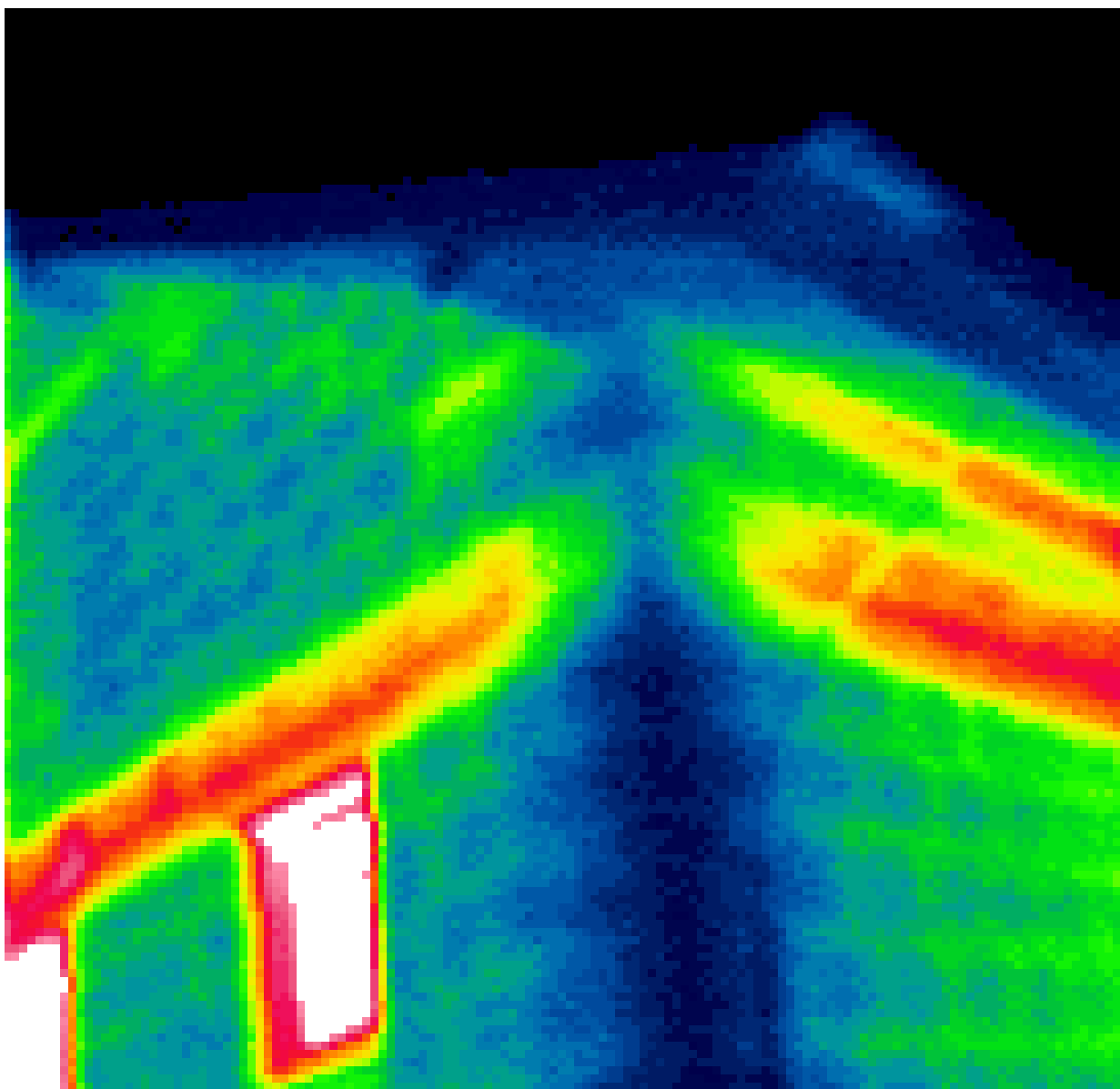
Fotografie podkroví novostavby rodinného domu. Termogram je na obrázku č. 18.

### **obrázek 18**

Termogram podkroví z fotografie na obrázku 17. Jsou patrné tepelné mosty okolo krokví a částečně i krokvemi. Opět se jedná o lineární tepelný most krokvemi a dále o nahodilé tepelné mosty nerovnoměrným položením tepelné izolace.

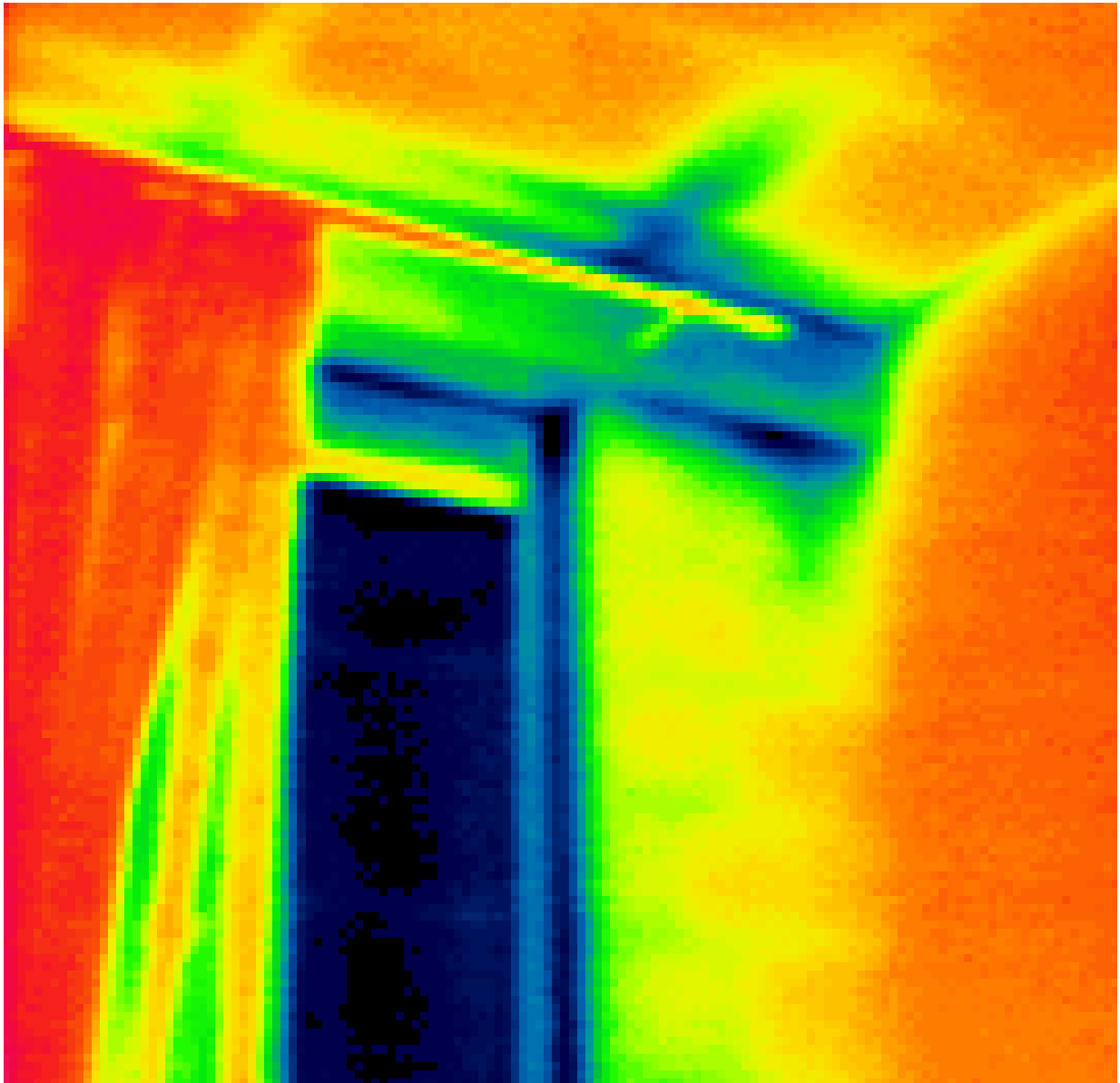
### obrázek 1

Termogram novostavby rodinného domu – na obrázku je patrný tepelný most obvodovým ztužujícím věncem a rohem stavby. Důsledkem byl vznik plísní v interiéru v tomto místě. Řešením zabránění plesnivění se stalo obložit část rohu domu vnějším kontaktním zateplovacím systémem v šířce 1,5 m na každou stranu od rohu. Cena dodatečných úprav byla cca 18 000 Kč.



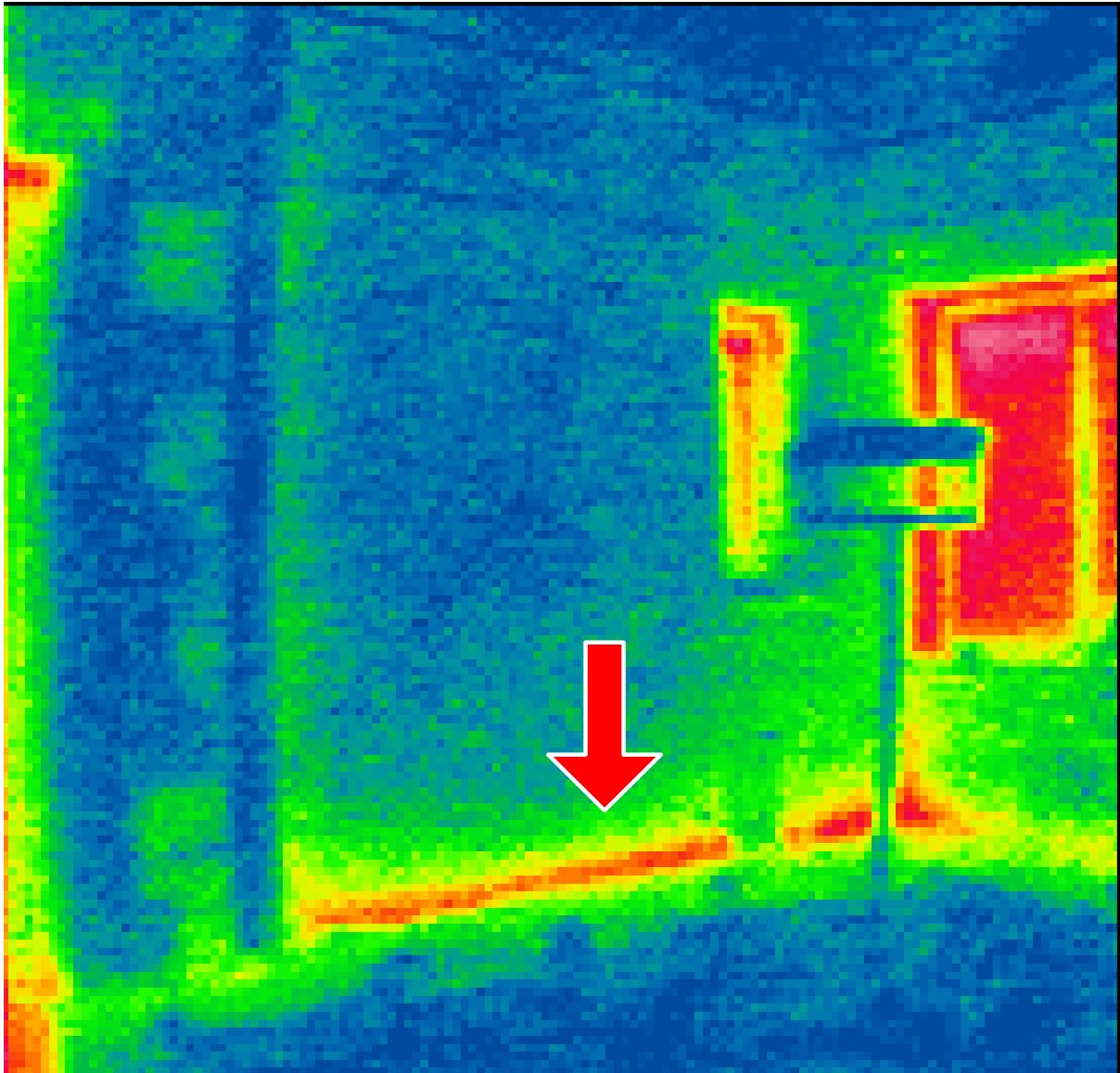
**obrázek 2**

Termogram novostavby rodinného domu. Na obrázku je patrný tepelný most ztužujícím věncem a nosnou konstrukcí stropu.



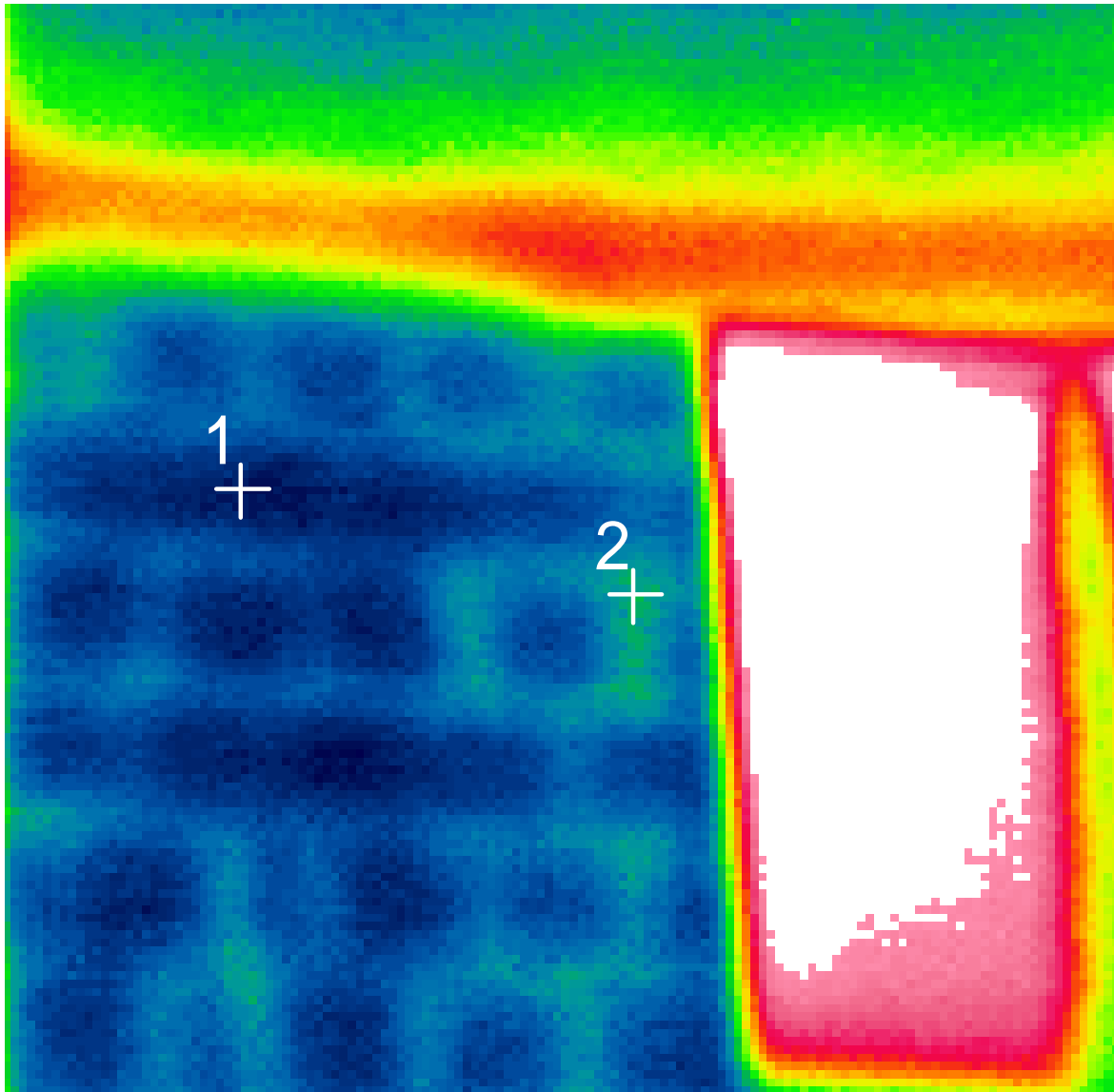
**obrázek 3**

Termogram fasády rodinného domu. Šipka opět ukazuje na lineární tepelný most u základů. V interiéru se v tomto místě tvořila plíseň.



**obrázek 4**

Termogram stavby z poloviny devadesátých let. Na obrázku jsou patrné tepelné mosty ztužujícím obvodovým věncem a maltovými loži mezi tvárnicemi.

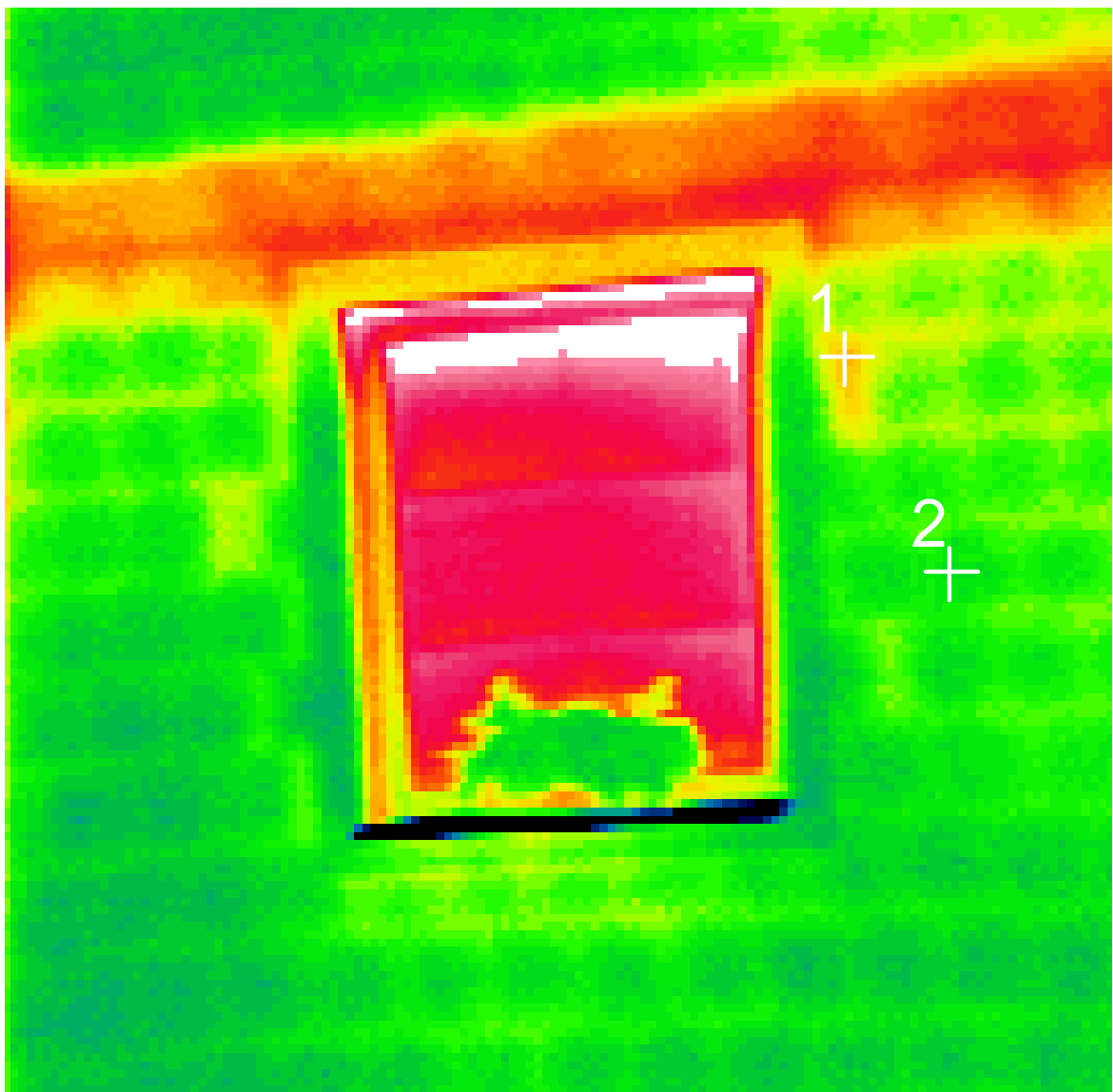


### obrázek 5

Termogram novostavby. Na obrázku jsou opět patrné tepelné mosty ztužujícím obvodovým věncem a maltovými loži mezi tvárnicemi. V bodě 1 je patrný tepelný most způsobený dozdívkou z jiného materiálu.

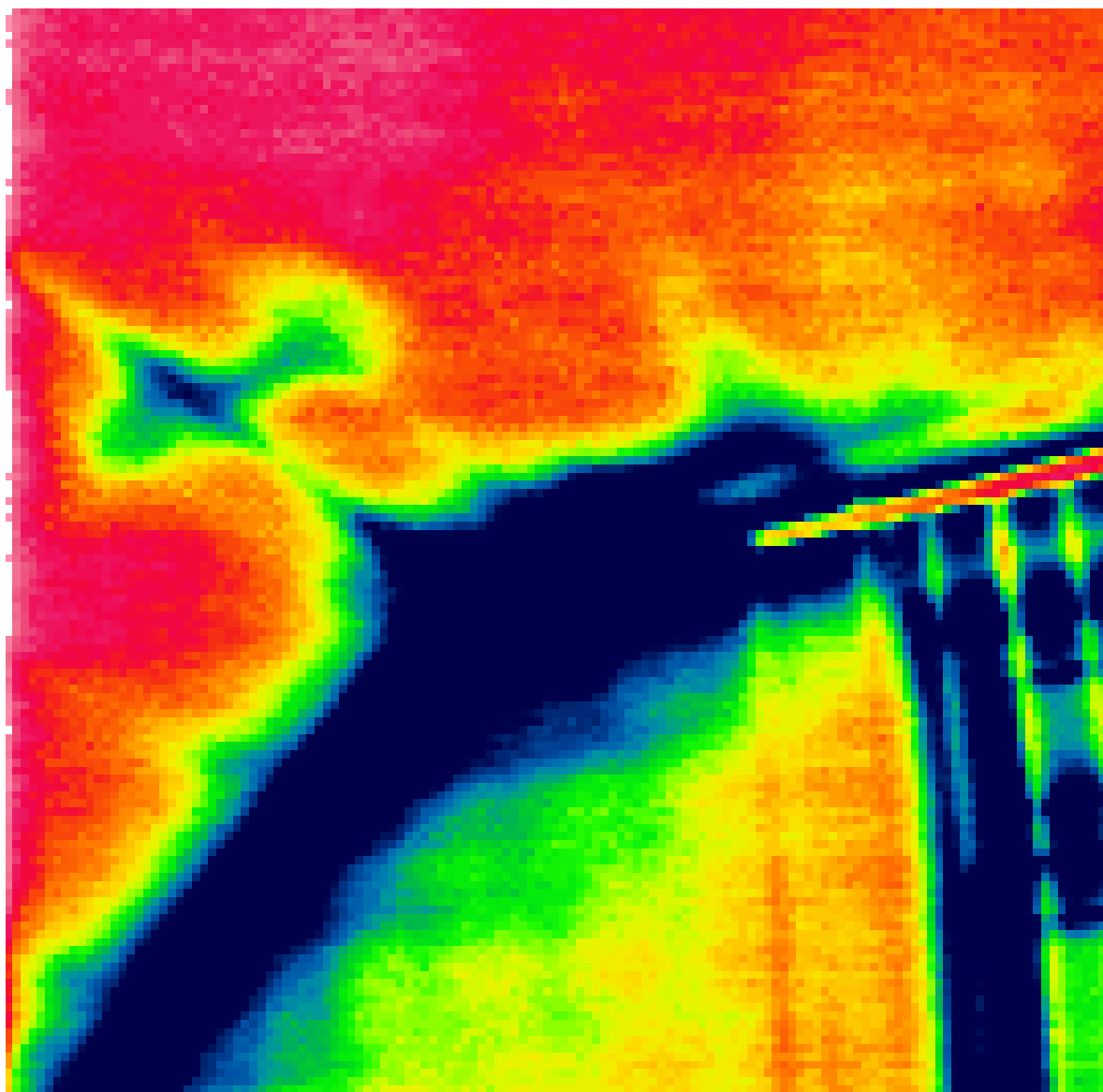
Teplota v bodě 1 je  $-1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Teplota v bodě 2 je  $-3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



### obrázek 6

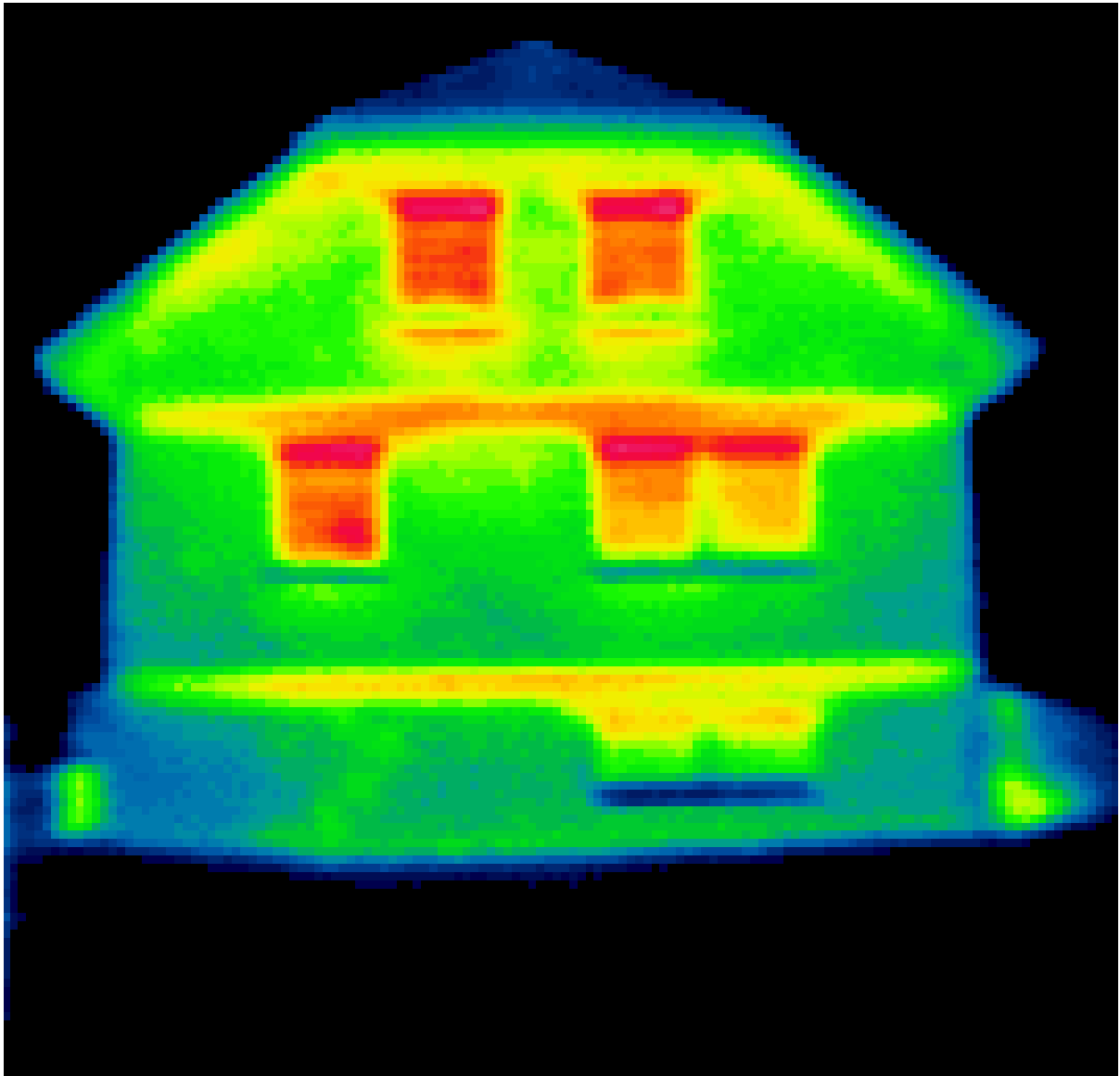
Termogram podkroví novostavby. Obrázek představuje pohled na navázání šikmého podkroví na vnější obvodovou stěnu. Jsou zde patrné tepelné mosty mezi obvodovým zdivem a zateplením v rovině střechy a dále v místě kleštiny, vazného trámu a krokve cca 1 m od obvodového zdiva. Zde patrně byla vynechána část tepelné izolace.





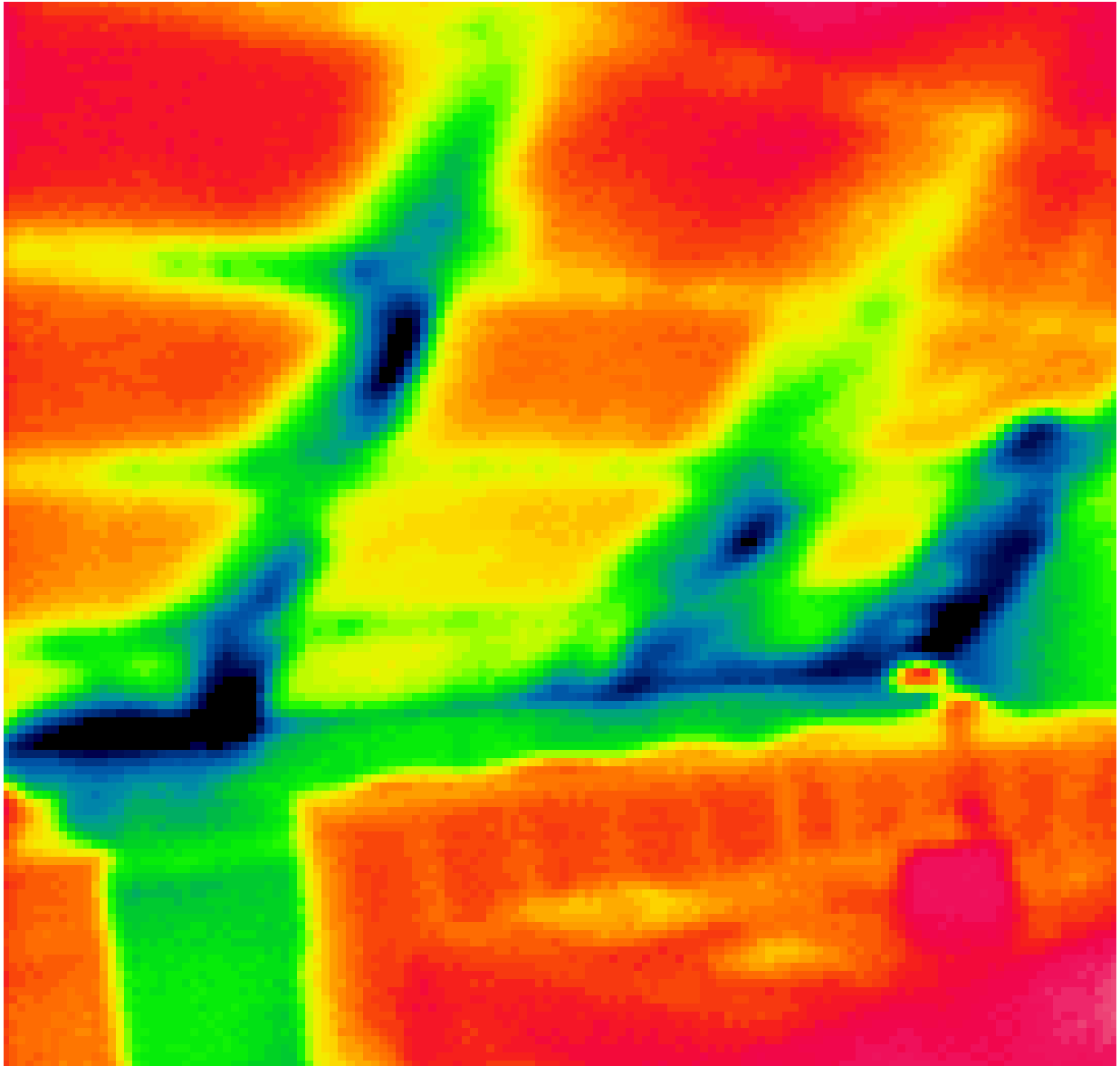
**obrázek 7**

Termogram novostavby rodinného domu. Jsou patrné tepelné mosty obvodovými ztužujícími věnci, zesílené v místech překladů nad okny a dále v podkroví překlady nad okny.



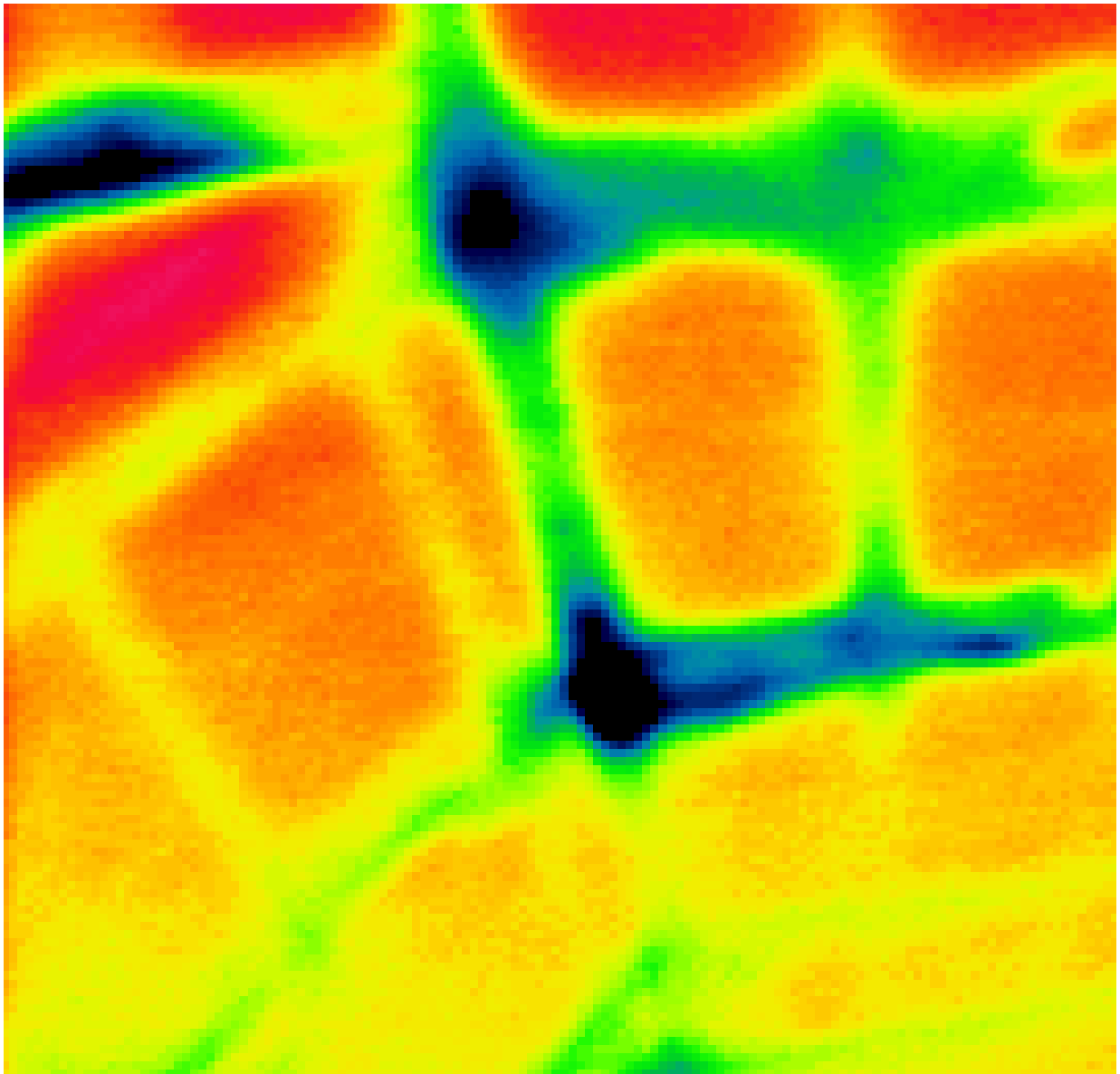
**obrázek 8**

Termogram podkroví novostavby rodinného domu. Jsou patrné tepelné mosty krokvemi a nosným roštem podhledu.



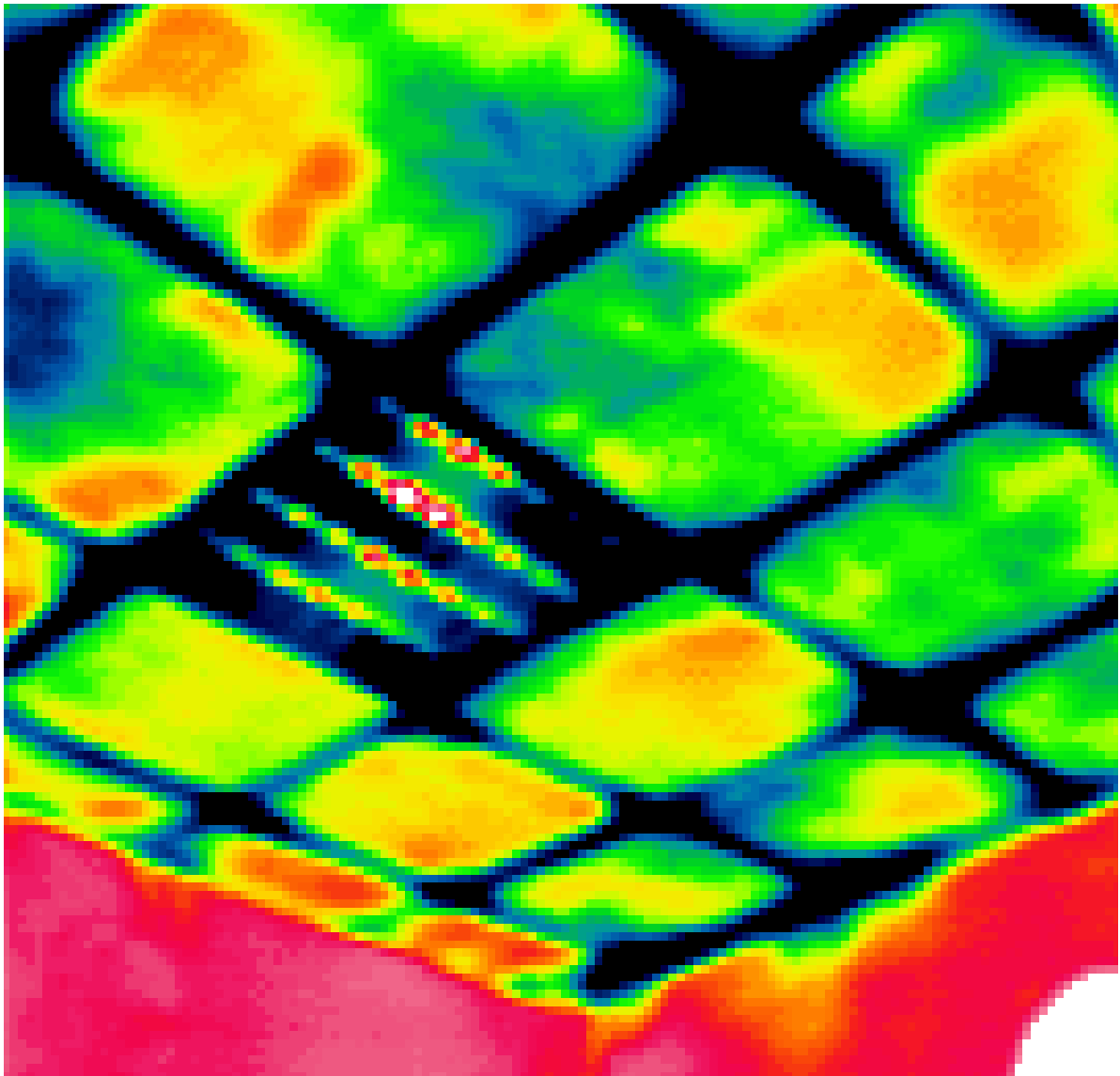
**obrázek 9**

Termogram podkrovní novostavby rodinného domu. Jsou patrné tepelné mosty krokvemi a nosným roštem podhledu.



**obrázek 10**

Termogram podkroví novostavby. Jsou patrné tepelné mosty mezi kazetami podkroví.



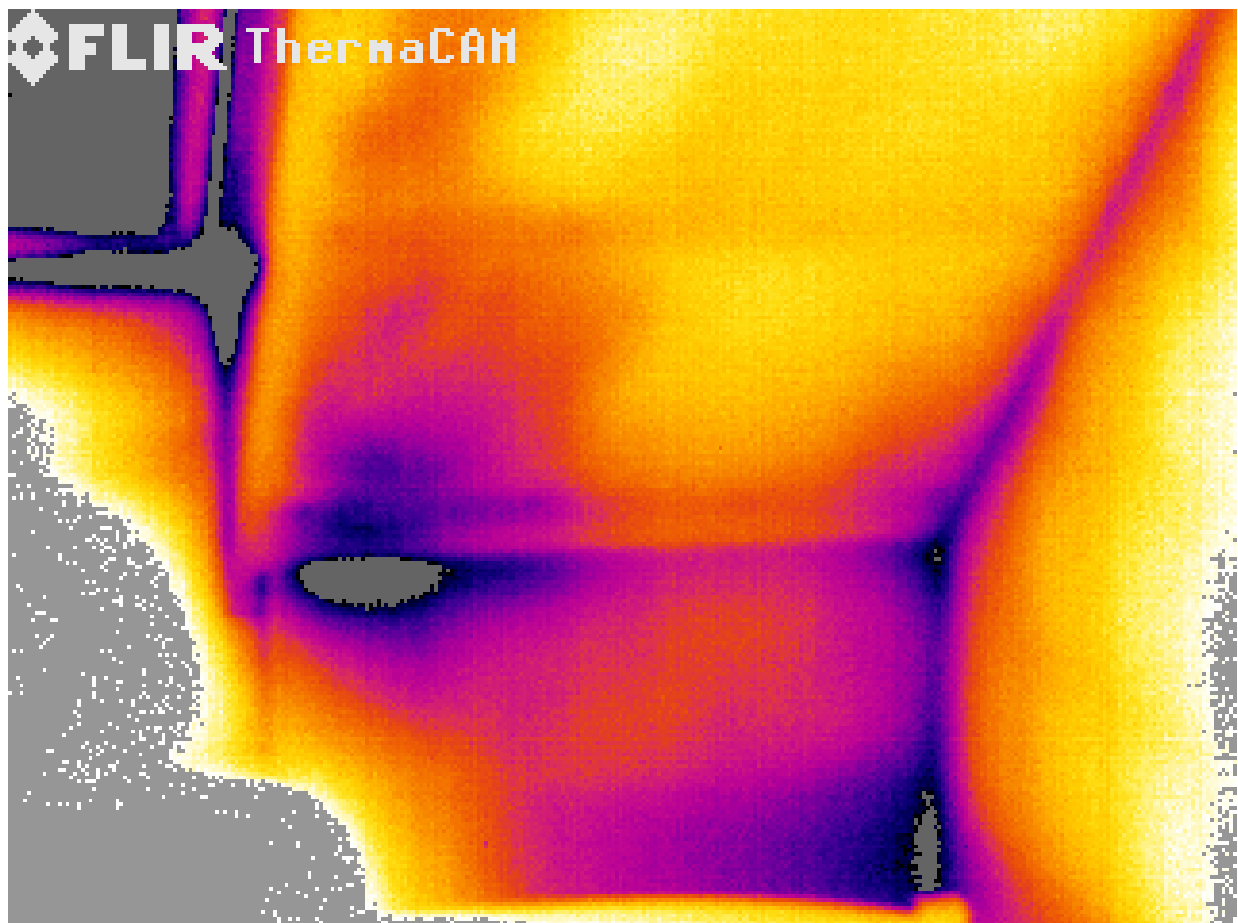
**obrázek 11**

Fotografie podkroví novostavby rodinného domu.



**obrázek 12**

Termogram podkroví novostavby rodinného domu zobrazeného na obrázku 11.  
Jsou patrné tepelné mosty v rohu domu a dále ve styku krokve a pozednice.



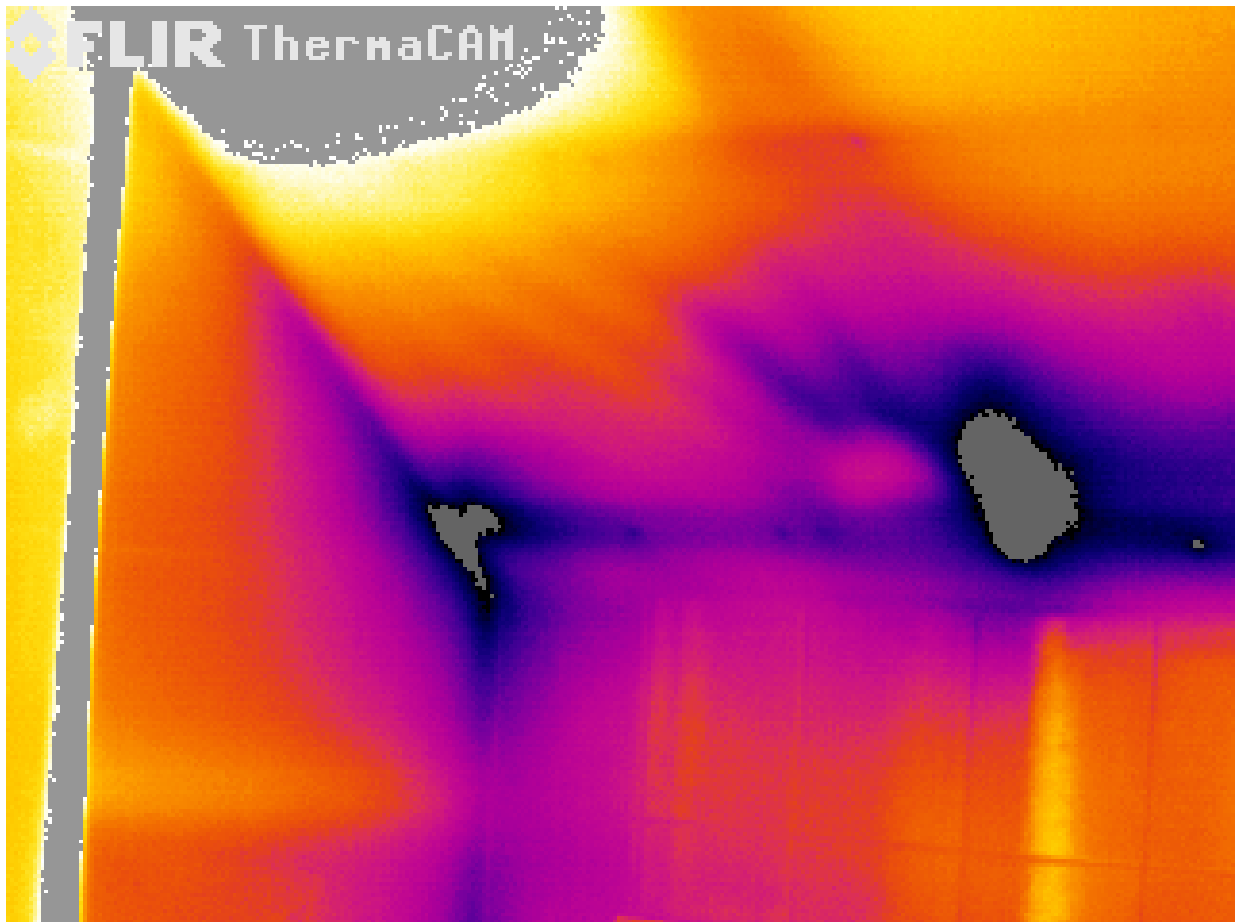
**obrázek 13**

Fotografie novostavby rodinného domu v podkroví v koupelně.



**obrázek 14**

Termogram stejného místa jako je na obrázku 13. Tepelné mosty opět nepotřebují komentář.





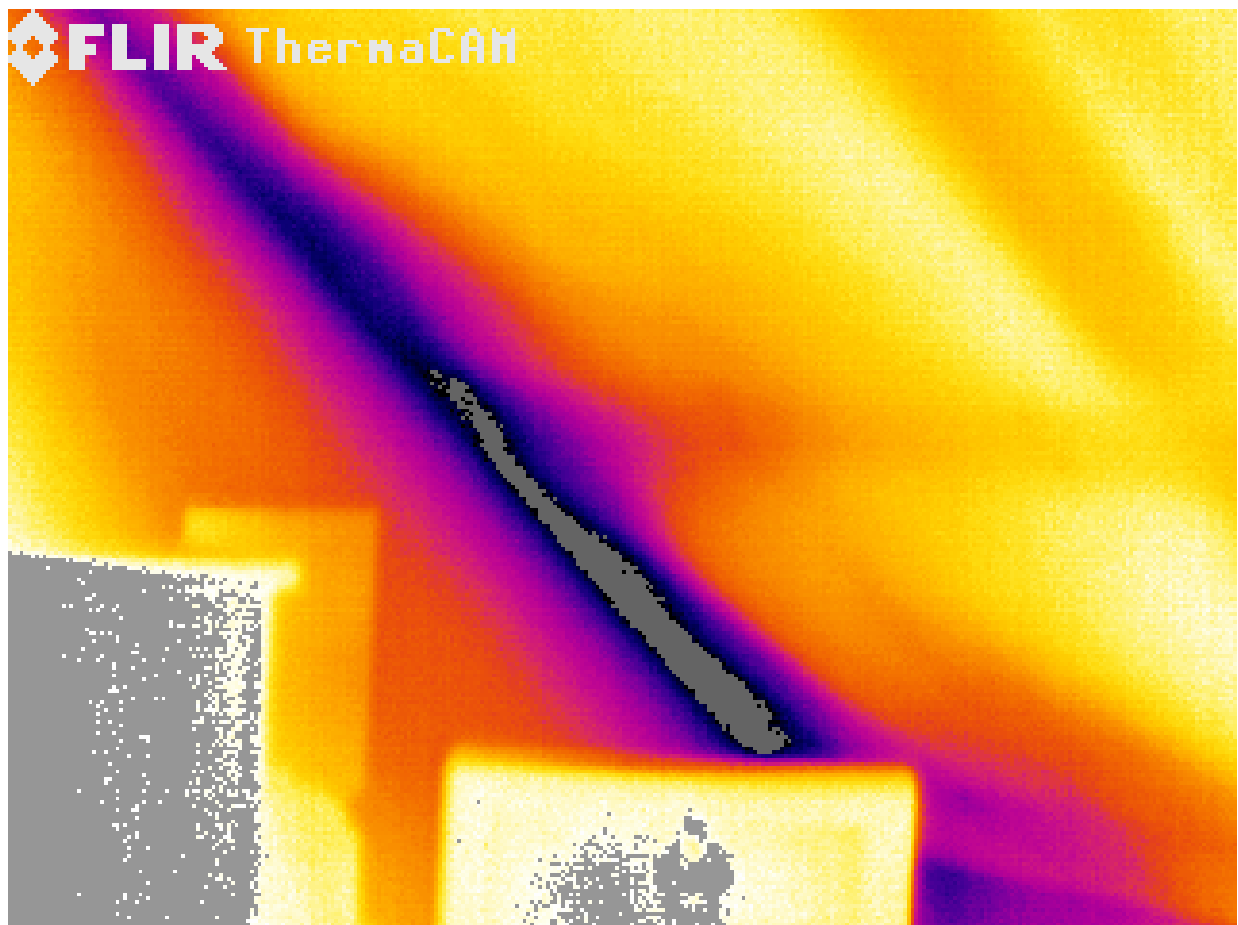
**obrázek 15**

Fotografie podkroví novostavby rodinného domu.



**obrázek 16**

Termogram podkroví z fotografie na obrázku 15. Opět je patrný tepelný most u styku podhledu s obvodovou stěnou. Mírně jsou patrné i tepelné mosty nosným roštem podhledu a krokví.



**obrázek 17**

Fotografie podkroví novostavby rodinného domu.



**obrázek 18**

Termogram podkroví z fotografie na obrázku 17. Jsou patrné tepelné mosty okolo krokví. a částečně i krokve.

