

Využití infrakamery a bezdotykových teploměrů ve stavebnictví – chyby a omyly

**„Publikace byla zpracována za finanční podpory Státního
programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů
energie pro rok 2009 – část A – Program EFEKT“**

Zpracovatel: Energy Consulting Service, s.r.o.
kolektiv pod vedením Ing. Romana Šubrtů

Anotace:

Publikace shrnuje základní znalosti a zkušenosti potřebné pro provádění diagnostiky staveb pomocí termokamery. Na konkrétních příkladech ukazuje jak neznalost či nevhodné nastavení může ovlivnit interpretaci výsledků měření, čtenáře seznamuje se základy diagnostiky s využitím termokamery.

Určení uživatele:

Publikace je určena stavebním fyzikům zabývajícím se diagnostikou pomocí termokamery a dále všem těm, kteří se s výsledky měření termokamerou setkávají, ať již se jedná o laiky či odbornou veřejnost.



Využití infrakamery a bezdotykových teploměrů ve stavebnictví - chyby a omyly

Úvod

V listopadu 1999 vyšla ČSN EN 13187 (ČSN 73 0560) – Tepelné chování budov – Kvalitativní určení tepelných nepravidelností v pláštích budov – Infračervená metoda. Tato norma je však metodická a nemůže postihnout možné chyby, kterých se může dopustit jedinec při měření termovizí a odhalování nedostatků ve stavbách.

Tato příručka by měla pomoci méně zkušeným při vytváření termogramů pro diagnostiku staveb, resp. by měla být informativním textem využitelným při diagnostice staveb pomocí termovizní techniky. Příručka neobsahuje definice, pojmy a vysvětlení jednotlivých fyzikálních jevů, spíše je určena pro praktické využití termovize ve stavební praxi. Přesné fyzikální definice vč. těch, které se týkají infračervené defektoskopie jsou uvedeny v příslušných normách, zejména v ČSN 73 0540-3 (definice jsou v textu této normy, vysvětlení sdílení tepla sáláním ve stavební tepelné technice v informativní příloze L).

Termovize je zařízení, které snímá objekt v infračerveném spektru a změřené hodnoty pak převádí na paletu barev. Uživatel pak může jednak podle jednotlivých barevných polí a dále pak podle konkrétních hodnot v jednotlivých bodech, oblastech, profilech... usuzovat na průběh teplot ve stavbě a tím i na případné možné problémy ve stavbě. Rozhodně nelze říci, že termovize, resp. termogram (obrázek vytvořený termovizí) mohou odhalit tepelné mosty nebo konkretizovat problém ve stavbě, natož, jak se někteří lidé domnívají, kvantifikovat úniky tepla. Pouze zkušený pracovník, který je schopen interpretovat na základě svých zkušeností, znalosti stavební fyziky a znalosti konkrétních podmínek, které při měření panovaly, může použít termogram k tomu, že mu pomůže vytipovat místa, kde se mohou tepelné mosty vyskytovat, případně u jednoduchých případů může na základě termogramu přímo lokalizovat (nikoliv kvantifikovat) tepelné mosty.

Použití ve stavebnictví

Při termovizním měření je nutné si důsledně a neustále uvědomovat, co termovize dělá. To je nutné si uvědomovat se všemi důsledky a dosahy. Je bezpodmínečně potřeba ihned na místě odhadovat jak je teplo ve stavbě vedeno a zda termogram

odpovídá možnému vedení tepla a případným možným teplotním anomáliím, které termokamera ukazuje.

Termovizi lze ve stavebnictví použít k mnoha různým účelům, všude tam, kde je vhodné snímat povrchovou teplotu a na jejím základě usuzovat na dění v konstrukci. Termovizi nelze používat jako rentgen – není možné s ní pronikat pod povrch konstrukce, a tak musí být na každé měření konstrukce odhalená. Toto odhalení musí být dostatečně dlouhé na to, aby se vyrovnala teplota prostředí s odhalenou konstrukcí.

Na co konkrétně tedy lze termovizi ve stavebnictví používat? Nejčastěji se měření provádí v souvislosti s:

- detekcí a lokalizací tepelných mostů (příloha 01, Termogram 1)
- lokalizací netěsností vzduchotěsné obálky budovy (příloha 01, Termogram 2)
- průběhů dějů souvisejících s teplotou (ochlazování konstrukce, např. při dešti nebo při náběhu chladicího systému; ohřívání konstrukce, např. při požáru nebo při náběhu topného systému) (příloha 01, Termogram 3 a 4)
- vyhledávání zkratů v elektrickém vedení (příloha 01, Termogram 5)
- vyhledávání netěsností komínů
- vyhledávání netěsností v rozvodech tam, kde je rozváděné médium o jiné teplotě než teplota prostředí (příloha 01, Termogram 6)
- lokalizací rozvodů chlazení či rozvodů tepla (např. lokalizace potrubí podlahového vytápění) (příloha 01, Termogram 7)
- hledání lokálních změn teplot u strojů (příloha 01, Termogram 8)

V některých případech je možné použít měření termovizí při odhalování dutin v konstrukcích a k mnoha dalším účelům, kde hraje roli teplo, distribuce tepla, akumulace tepla apod.

Termovize: snímá v určitém úhlu a z určité vzdálenosti emitované tepelné záření o vlnové délce dané vlastnostmi zařízení a tento tepelný tok vizualizuje do určeného barevného spektra. Množství tepelného záření emitovaného tělesem je závislé na emisivitě povrchu (emisivita některých materiálů tak, jak se uvádí v ČR, bez závislosti na vlnové délce, ve které platí, je v příloze 02, v příloze 03 je pak emisivita některých materiálů v závislosti na vlnové délce, při které byla zjišťována), na úhlu snímání, na snímané vlnové délce (existují různé kamery, které jsou citlivé na různé vlnové délky, obecně se rozděluje na krátkovlnné a dlouhovlnné), na teplotě povrchu. Při

interpretaci povrchových teplot na základě emitovaného tepelného záření hraje také roli teplota okolí, vzdálenost od měřeného objektu i teplota okolních předmětů.

V příloze 04 je několik termogramů z Karlova mostu. Každému je jasné, že sochy jsou v konstantním prostředí, mají na celém povrchu stejnou teplotu. Přesto termogramy ukazují, že zdánlivá teplota na různých částech sochy je různá. Svojí roli hraje směrovost emisivity a teplota okolních předmětů.

Co termovize nedělá:

Termovize NEMĚŘÍ teplotu.

Termovize NEUKAZUJE tepelné ztráty.

Termovize NEUKAZUJE (s)potřebu tepla na vytápění.

Termovize NEUKAZUJE tepelné odpory nebo součinitele prostupu tepla.

Termovize NEODHALUJE možný výskyt plísní.

Termovize NEUKAZUJE oblasti kondenzace vodní páry.

Termovize NEKVANTIFIKUJE tepelný tok.

Termovize NEUKAZUJE tepelné mosty.

Termovize NEPROKAZUJE kvalitu konstrukce.

Toto všechno jsou závěry, které dělá člověk, protože se domnívá, že termovize pracuje obdobným způsobem jako klasický fotoaparát, pouze v tepelném spektru, které člověk nevidí. Je to dáno mimo jiné tím, že člověk má zkušenost s vnímáním barev, které považuje za jednoznačné a neměnné na dalších podmínkách.

Termovize mohou převádět nasnímané tepelné záření do různých palet barev, vždy jde o to, jaký algoritmus zvolí programátor příslušného software, případně jakou barvu a systém přechodů barev naprogramuje pro barevné vyjádření jednotlivých nasnímaných tepelných záření v dané vlnové délce. V příloze 05 jsou ukázky některých barevných palet, které umožňuje software pro termovize firmy FLIR. Jde o stejný termogram. Je z nich patrné, že obecné vnímání – čím světlejší, tím teplejší, nemusí být pravda. Při zpracovávání termogramu lze navíc ovlivnit vnímání pozorovatele nastavením různého teplotního rozlišení termogramu. V příloze 06 jsou příklady, jak může různé nastavení teplotního rozsahu ovlivnit dojem z termogramu.

Základní parametry ovlivňující měření

Kvalita měření je pochopitelně závislá na mnoha různých parametrech, zejména se jedná o tyto parametry:

1. Emisivita
2. Úhel snímání
3. Vlnová délka
4. Teplota okolí
5. Vzdálenost od měřeného objektu
6. Teplota okolních předmětů
7. Teplota měřeného objektu
8. Teplotní gradient
9. Přestup tepla
10. Rozlišení termovize
11. Rozsah teplot na termogramu
12. Tepelná vodivost měřené konstrukce
13. Tepelná kapacita měřené konstrukce
14. Proudění vzduchu

Jak tyto parametry mohou ovlivnit kvalitu měření? Věnujme se jim postupně podrobněji.

1. Emisivita

Emisivita je vlastnost materiálu souvisící s jeho schopností emitovat tepelné záření. Emisivita je vlastnost závislá na mnoha parametrech, je závislá mimo jiné i na vlnové délce emitovaného tepelného záření. Obecně platí, že u dlouhovlnných termovizních systémů (vlnová délka 5 – 12 μm) není takový rozdíl mezi jednotlivými materiály, zejména není rozdíl mezi světlou a tmavou barvou. Teoreticky by neměl být rozdíl žádný, ale tmavší barva lépe přijímá sálavé teplo okolí, proto bývá menší teplotní rozdíl na termogramu patrný. Jiné to je, pokud je barevné rozlišení provedeno jiným materiálem. V příloze 07 je vidět, jak i na plakátu, který visí v exteriéru, který nemůže být z druhé strany nijak ohříván, se projeví různá emisivita různých povrchů. Dále je v této příloze uveden jeden termogram 2x s tím, že ve stejném místě je nastavena jinak emisivita materiálu a vyčíslena jiná teplota v tomto bodě.

Emisivita při snímání krátkovlnnými termovizemi (vlnová délka 1 – 2 μm) hraje podstatně větší roli. Pokud někdo používá ve stavebnictví tuto termovizi, musí důsledně vždy zjišťovat emisivitu snímaného povrchu.

U dlouhovlnných kamer to není tak nutné, protože zpravidla se snímá jeden povrch, který má, nezávisle na barvě, emisivitu stejnou. Pokud jde o materiály s vysokou emisivitou jako je dřevo, omítka, kámen, cihla apod., není chyba v měření, pokud se emisivita nastaví nepřesně, nijak veliká. U materiálů s nízkou emisivitou, což je například hliníkový plech, ale i mnoho dalších materiálů, může mít nepřesné nastavení emisivity velký dopad na měření. Například u vápenné omítky s emisivitou 0,96 její nastavení o 2 setiny jinak znamená rozdíl 2 %. Avšak pokud by se jednalo o materiál s emisivitou 0,1 pak rozdíl 2 setin představuje nepřesnost 20 %.

Při vyhodnocování termogramů je nutné rozlišovat jednotlivé materiály a buď u různých povrchů změnit při vyhodnocování v počítači emisivitu těchto povrchů a nebo dva rozdílné povrchy mezi sebou neporovnávat.

2. Úhel snímání

Při snímání je nutné si uvědomit, že emisivita má směrovost (emisivita závisí na úhlu vyzařování a je pod každým úhlem jiná – každé těleso vyzařuje určité množství energie, přitom toto množství je závislé na úhlu vyzařování). Obecně opět platí, že obvykle je emisivita přibližně konstantní v úhlu do 60 ° od kolmice, u většiny materiálů dokonce do 45 °, pod většími úhly pak emisivita již výrazně klesá a těleso má zdánlivě nižší povrchovou teplotu. Na tuto vlastnost je potřeba dávat pozor zejména při měření dvou na sebe kolmých stěn a rohů stěn, kdy bychom, aby obě stěny byly porovnatelné, měli měřit z takové pozice, aby obě stěny svírali s měřícím paprskem stejný úhel. Při měření z jiného úhlu se pak stává, že ta stěna, která je měřena pod menším úhlem, vykazuje nižší povrchovou teplotu a zdánlivě tak lépe izoluje. V příloze 08. je ukázka měření rohu stěny. Je patrné, že termogram je pořízen tak, aby obě stěny byly pod stejným úhlem. V příloze 09 je měřen delší objekt. Nižší zdánlivá teplota vzdálenější části objektu je částečně způsobena jeho větší vzdáleností od měřícího místa a částečně i větším úhlem, pod kterým se měří.

3. Vlnová délka

Vlnový rozsah termovize je také poměrně důležitý, ale protože ve stavebnictví se používají téměř výhradně dlouhovlnné systémy, není nutné toto téma více rozebírat. Krátkovlnné termokamery se používají zejména tam, kde je potřeba určit jinou kvalitu

použitého materiálu, protože krátkovlnné termokamery měří v té vlnové délce, kde je emisivita materiálu již výrazně závislá na jeho barvě a chemickém složení.

4. Teplota okolí

Teplota okolí má vliv na absolutní vyčíslení teploty měřeného předmětu. Pokud je chybně zadaná, tak rozdíly teplot mezi jednotlivými body na jednom termogramu zůstanou stejné, pouze dojde k jinému vyčíslení povrchové teploty. V příloze 10 je uveden stejný termogram, pouze je v obou případech nastavena jiná teplota okolí.

5. Vzdálenost od měřeného objektu

Vzdálenost od měřeného objektu má vliv na absolutní vyčíslení teploty měřeného předmětu. Pokud je chybně zadaná, tak rozdíly teplot mezi jednotlivými body na jednom termogramu zůstanou stejné, pouze dojde k jinému vyčíslení povrchové teploty. V příloze 11 jsou opět dva totožné termogramy, pouze u jednoho je zadaná vzdálenost 2 m a u druhého 200 m.

6. Teplota okolních předmětů

Teplota okolních předmětů má opět vliv na absolutní vyčíslení teploty měřeného předmětu. Pokud jsou však v okolí různě teplé předměty, může dojít i ke zkreslení vyjádření povrchových teplot v různém rozložení na termogramu. Typickým případem je, pokud je v okolí měřeného objektu částečně jiná stavba, která má vyšší povrchovou teplotu, a částečně volná obloha s mraky (mraky mají teplotu mezi -50 až -80 °C) nebo dokonce otevřená obloha bez mraků (teplota vesmíru je cca -271 °C).

Toto je dáno tím, že platí Stefan - Bolzanův zákon (stanovuje, že tepelný tok při sálání je závislý na čtvrté mocnině teploty: $\Phi = \sigma \cdot S \cdot T^4$, kde Φ je tepelný tok, S je plocha, σ je Stefan - Bolzanova konstanta a T je teplota v Kelvinech). Pokud tedy mají okolní budovy povrchovou teplotu například kolem 0 °C, sálají poměrně značné teplo na své okolí. Mraky sálají výrazně nižší energii a vesmír, tedy obloha bez mraků, nesálá téměř žádnou tepelnou energii. V příloze 12 je termogram, na němž je zachycen odraz relativně teplých větví stromu a výrazně chladnější oblohy. Druhý

termogram ukazuje objekt, který je částečně zastíněný teplými okolními stavbami a částečně je vystaven expozici chladné oblohy. Na třetím termogramu je prosklený objekt na jehož plášti jsou zobrazeny i odlesky mraků, které mají sice velmi nízkou teplotu, ale stále vyšší, než je teplota otevřené oblohy (vesmíru).

7. Teplota měřeného objektu

Při diagnostice pomocí termokamery je nutné zdůraznit, že termovize zobrazuje povrchovou teplotu měřeného objektu. Toto zdůraznění je nutné a je třeba si při diagnostikování tento fakt neustále uvědomovat, neboť povrchová teplota nemusí vypovídat o rozložení a průběhu teplot v měřeném objektu. Klasickým příkladem je sokl domu, který může být teplý z několika důvodů. Prvním je, že do soklu proniká teplo z podzákladí, druhým je, že do soklu proniká teplo z interiéru a třetím je, že jde o teplo naakumulované z předchozího období (beton může vykazovat naakumulované teplo i po 24 hodinách).

V příloze 13 je schéma úniků tepla u takového základu.

8. Teplotní gradient

Rozdíl teplot na vnějším a vnitřním povrchu konstrukce hraje významnou roli při hodnocení termogramů. Při malém teplotním spádu může dojít k tomu, že se tepelné mosty neprojeví. Teplotní spád však není dán pouze průměrnou teplotou prostředí v interiéru a v exteriéru, ale je nutné zohlednit i případné nerovnoměrné rozložení teplot, zejména na odvrácené straně hodnocené konstrukce. Klasickým příkladem jsou radiátory ústředního vytápění, které způsobují lokální ohřev konstrukce. Toto ohřátí konstrukce, nebo naopak ochlazení může být způsobeno i dalšími vlivy. Setkali jsme se s rodinným domem, kdy skrz strop procházelo potrubí rozvodů ústředního vytápění. Je pochopitelné, že konstrukce v tomto místě byla teplejší, což se projevilo na termogramu. Nejde tedy o klasický tepelný most způsobený zeslabením tepelné izolace, ale o vyšší povrchovou teplotu v exteriéru danou větším teplotním gradientem. V příloze 14 je uveden zmíněný objekt, kde je vyšší povrchová teplota v jednom místě ztužujícího věnce vlivem procházejících rozvodů vytápění.

9. Přestup tepla

Přestup tepla je vlastnost vypovídající o tom, jak rychle teplo přestupuje z konstrukce do vzduchu. Záleží především na rychlosti proudění vzduchu v bezprostřední

blízkosti měřeného objektu. Znamená to, že místa s nižší rychlostí vzduchu okolo konstrukce (za záclonami, v koutech, rozích, okolo květin, za nábytkem... budou mít obvykle jinou teplotu než okolní konstrukce, přitom je to dáno nikoliv rozdílnými vlastnostmi konstrukce, tedy tepelnými mosty, ale pouze přestupem tepla z konstrukce do prostředí. Extrémem může být ocelová konstrukce působící jako tepelný most, která je ochlazovaná větrem. Konstrukce je pak silně ochlazovaná a tudíž je studená – i když by jinak měla být z exteriéru teplá. V příloze 15 je ukázka termogramu, na kterém je podkrovní místnost, resp. její kout pod šikminou. Na snímku je vidět bodový tepelný most v bodě 1. V bodě 2 je však zobrazené studené místo způsobené z větší části pouze nevhodně navrženým vytápěním i dispozici domu, kdy je v tomto prostoru umístěna postel.

10. Rozlišení termovize

Rozlišení termovize, tedy počet zobrazovaných bodů je podstatný údaj, který může zásadním způsobem ovlivnit odečítání teplot a tím i vyhodnocování termogramů. Termovize snímají objekty různě velkými teplotními čidly, přičemž každému bodu je přiřazena určitá teplota. Jde pochopitelně o průměrnou zdánlivou teplotu z celého snímaného bodu. Proto záleží na velikosti snímaného bodu a tím i na rozlišení termovize. Pokud například jde o termovizi s rozlišením 120 x 120 bodů a snímáme objekt o velikosti 6 m, je velikost jednoho bodu 50 mm. Znamená to, že na termogramu se vždy zobrazí průměrná teplota z bodu o velikosti 50 x 50 mm. Pokud bychom stejný objekt snímali termovizí s rozlišením 320 bodů, je velikost snímaného bodu 19,75 mm. Jsme tedy schopni zaregistrovat i bodové tepelné mosty, u liniových tepelných mostů jsme schopni identifikovat již průběh teplot v jejich okolí.

Při diagnostice pomocí termovize lze postupovat několika různými způsoby, abychom došli k dostatečnému zpřesnění výsledků. Prvním je volba vhodné vzdálenosti od měřeného objektu. Tato volba však může být ovlivněna několika příčinami, proč volíme jinou vzdálenost, než optimální. První je, že se k objektu nemůžeme dostatečně přiblížit – obvykle se jedná při měření větších objektů o snímání horních částí objektů. Druhým případem je, pokud chceme mít termogram dostatečně ilustrativní, je potřeba na něm vidět nejen inkriminované místo, ale i jeho okolí.

V příloze 16 je na termogramech člověka dokumentováno, jak zvětšováním velikosti oblasti, kterou snímá jeden bod zaniká zobrazení některých detailů a snižuje se i maximální teplota snímaného objektu.

Z uvedených termogramů je patrné, jak klesá rozlišovací schopnost termokamery s rostoucí vzdáleností (nebo s klesajícím počtem zobrazovacích bodů). Na termogramech je dokumentováno snížení maximální měřené zdánlivé teploty z původní hodnoty 35,4 na 32,8 °C.

Snížování teploty se v tomto případě děje na základě rostoucích rozměrů zobrazovacího bodu, a tudíž průměrování hodnot z větší plochy. Zvětšování rozměrů zobrazovacích bodů se vzdáleností měřeného objektu infrakamer s různým rozlišením a zobrazovacími úhly je patrné v tabulkách uvedených v příloze 17, kde jsou uvedeny různé termokamery s různým rozlišením a velikostí zobrazovacího bodu v závislosti na vzdálenosti měřeného objektu.

Pokud potřebujeme snímat vzdálenější či větší objekt, lze postupovat několika způsoby. Prvním je používat termovizi s dostatečným rozlišením. V diagnostické stavební praxi se obvykle v současné době uvádí, že hranicí termokamer pro profesionální diagnostiku je rozlišení 320 x 240 bodů, což je první kamera, která se označuje jako profesionální. Termokamery s nižším rozlišením jsou pak vhodné pro ostatní oblasti použití, případně pro interní diagnostiku objektů, kterou si provádí firma sama pro sebe. Termokamery s rozlišením 320 x 240 bodů a více jsou pak využívány specialisty pro diagnostiku budov.

Druhou možností, jak získat termogram s vyšším rozlišením je využít softwarové vybavy některých termokamer, která umožňuje v počítači jednotlivé termogramy sesadit k sobě a nadále pak s nimi pracovat jako s jedním termogramem.

Třetí možností je pak využít výměnných objektivů a na každé měření pak zvolit příslušný objektiv tak, aby výsledek byl vhodný pro diagnostiku. V této souvislosti se mi osvědčilo pořídit celkový termogram snímaného objektu objektivem s menší ohniskovou vzdáleností a následně pak pro zobrazování detailů použít větší ohniskovou vzdálenost tak, aby bylo patrné rozložení zdánlivých povrchových teplot dle potřeby.

Ačkoliv termovizní snímek lze získat v různých rozlišeních, díky optickým zobrazovacím úhlům je snímek pořízen ze čtvercových bodů, u kterých se tedy lineárně mění jak horizontální tak vertikální rozměr se vzdáleností objektu. Některé termokamery pak ještě barevné zobrazení přepočítávají tak, aby nebyly patrné jednotlivé snímací body, ale aby barevné spektrum na sebe plynule navazovalo.

Souhrn:

- rozměr pixelu klesá s rostoucím rozlišením
- rozměr pixelu vzrůstá lineárně se vzdáleností objektu
- formát rozlišení + optika = čtvercové pixely

V příloze 17 jsou také uvedeny velikosti plochy objektu, která bude zobrazena jedním pixelem uvedených infrakamer. V tomto případě je závislost kvadratická, jelikož jde o závislost plošné míry na délkové míře.

Tento údaj o velikosti plochy je rozhodující pro získání hodnoty teploty, jelikož infrakamera z uvedené plochy snímá tepelné záření jako průměrnou hodnotu. Platí, že čím větší plocha, tím větší je pravděpodobnost většího rozdílu teploty na dané ploše, což může vést k větší chybě měření.

11. Rozsah teplot na termogramu

Při zpracování termogramů lze nastavit různý rozsah teplot. Podle toho pozorovatel vnímá snímáný objekt jako kritický a nebo jako objekt s menší teplotní nerovnováhou. Vhodným zvolením palety barev a teplotního rozlišení pak lze potlačit nebo zdůraznit teplotní anomálie tak, aby laický příjemce termogramu z něj pochopil to, co mu chce zpracovatel termogramů sdělit.

V příloze 18 je uveden příklad, jak lze změnou rozlišení ovlivnit dojem pozorovatele z velikosti úniků tepla.

12. Tepelná vodivost měřené konstrukce

Při měření termokamerou je nutné si uvědomit, že měřená konstrukce má tepelnou vodivost trojrozměrnou. Při větší tepelné vodivosti povrchu se tak může stát, že konstrukci vnímáme jako homogenní, neboť má rovnoměrné rozložení povrchových teplot. Toto může být obzvláště zavádějící, pokud snímáný objekt má vysokou tepelnou vodivost povrchové vrstvy, dále pokud se jedná o konstrukci, která je poměrně masivní v povrchové části, a nebo pokud je použitý stavební materiál anizotropní, tedy ten, který má různou tepelnou vodivost v různých směrech.

Typickým příkladem je uložení dřevěného trámu ve zdivu. Zde dochází k výraznému tepelnému mostu, povrchová teplota trámu je výrazně nižší než jinde, ovšem na povrchu z exteriéru toto není patrné, neboť se jedná o poměrně malou oblast

zeslabení zdiva a vzhledem k tomu, že zdivo je relativně dobrý vodič, dochází k tomu, že povrchová teplota z exteriéru je rovnoměrná. Toto je zdokumentováno v příloze 19, kde je výpočet trojrozměrného teplotního pole dřevěného trámu a termogram domu postaveného touto technologií.

V této příloze je i ukázka měření kotvy u odvětrávaného zateplovacího systému a výpočet tepelného mostu touto kotvou. Výpočtem bylo zjištěno, že kotva způsobuje zhoršení tepelněizolačních vlastností systému i o více jak 20 %, přesto v termogramu se tato kotva jeví jako chladná a tudíž tepelně izolační.

13. Tepelná kapacita měřené konstrukce

Vždy je nutné vycházet z reálných klimatických údajů, které byly v době měření. Příkladem chyb, které mohou vzniknout při diagnostikou termokamerou, je těžká stavební konstrukce, která je prochlazená a tudíž vyzařuje minimální množství tepla, i když by její konstrukcí docházelo k relativně velkému toku tepla. Může nastat i opak, kdy konstrukce má z předchozího období naakumulované teplo a toto vyzařuje. Konstrukce se jeví jako teplá – při pohledu z exteriéru působí jako výrazný tepelný most, naopak z interiéru může působit jako dobrý tepelný izolant.

Pro vyhodnocování termogramů má velký vliv i tepelná kapacita materiálů a průběh teplot před měřením.

Jeden případ je uveden v příloze 13, kdy vysoká tepelná kapacita soklu může mít vliv na zdánlivou teplotu tohoto soklu.

Další příklady jsou uvedeny v příloze 20. Prvním je termogram hmoždinek u kontaktního zateplovacího systému (ETICS). Hmoždinky způsobují mírný tepelný most. Předmětný termogram byl pořízen v časných ranních hodinách (před východem slunce), avšak již docházelo k postupnému zvyšování teploty vzduchu. Od něj se ohřála tenkovrstvá omítka. Na hmoždinkách je ale větší vrstva lepidla, tudíž je zde vyšší tepelná akumulace a proto hmoždinky mají nižší povrchovou teplotu.

Druhý případ ukazuje totéž na větší ploše. Na fotografii i termogramech je jeden a tentýž dům. Termogramy jsou pořízeny s odstupem několika hodin. Na termogramu pořízeném v noci je patrné rozložení teplot tak, jak je lze předpokládat, tedy že zateplený dům bude mít lepší tepelně izolační schopnosti. Ovšem měření provedené v dopoledních hodinách, resp. termogram provedený v tuto dobu naznačuje, že povrchová teplota zatepleného objektu je vyšší, než nezatepleného. Pokud má

nějaká plocha v exteriéru vyšší povrchovou teplotu, lze předpokládat, že jejím prostřednictvím uniká více tepla, tudíž je hůře tepelně izolovaná. V tomto případě toto však není pravda – pouze došlo ke zvýšení teploty vnější povrchové teploty, která má malou tepelnou setrvačnost, tudíž se rychleji ohřála než sousední železobetonová plocha, byť ta je více ohřívána z interiéru.

14. Proudění vzduchu

Proudící vzduch přenáší teplo, může tedy lokálně ohřívat či ochlazovat konstrukci, která se tak jeví jako studená či teplá vlivem prostupu tepla. V praxi při diagnostice termokamerou se lze s tímto jevem setkat zejména tam, kde dochází k ohřívání vzduchu, například o fasádu či okna, a tento vzduch stoupá vzhůru. Pokud dorazí k nějaké části konstrukce, která je vodorovná (například nadpraží okna, převis střechy apod.), tak se zde začne shromažďovat a konstrukci lokálně ohřívá. Vyšší teplota konstrukce v tomto místě tedy není dána tepelným mostem, jak by se mohlo zdát, nýbrž ohřátím konstrukce teplým stoupajícím vzduchem. Velmi často je obtížné přesně určit, zda vyšší teplota konstrukce byla způsobena právě tímto vzduchem a nebo tepelným mostem. Pokud je mírný vánek, tak lze u těchto teplotních anomálií vysledovat, že jsou rovnoměrné, avšak na jedné straně menší než na druhé, což je dáno právě zapojením pohybu teplého vzduchu větrem. V příloze 21 jsou termogramy dokumentující tento jev.

Příklady měření termovizí

1. Měření vzorku lehké konstrukce.

Úkolem bylo osadit do místnosti vzorek místo okna a po ustálení teploty změřit vliv různých simulovaných vad v tepelné izolaci. Jako teoretická příprava pak byl proveden dynamický výpočet průběhu teplot v jednovrstvé konstrukci. Z tohoto výpočtu vyplynulo, že po cca 4800 vteřin (1,5 hod) dojde k téměř ustálenému teplotnímu poli (viz graf v příloze 22). Měření se následně prováděla minimálně po 2 hodinách od instalace vzorku tak, aby měření bylo prováděno v ustáleném teplotním stavu. Jeden z provedených termogramů – měření různých typů hmoždinek – je uveden v příloze 22. Další zde uvedené termogramy jsou další měření z této sekvence měření. Měření probíhalo vždy na 6 vzorcích současně. Tyto vzorky se pak měnily za další a po ustálení teploty bylo opět provedeno další měření nové série vzorků. Aby bylo při diagnostikování termogramů v kanceláři jednoznačné, o jaké vzorky se vždy jedná, označovali jsme je vztyčenými prsty – příslušný počet pak značil příslušný vzorek.

2. Měření srubové stěny.

Úkolem bylo zjistit vady v tepelné izolaci srubu a odhalit, proč je výkon topného systému nedostatečný. Nejprve bylo provedeno termovizní měření a následně byl proveden výpočet dvojrozměrného vedení tepla srubovou stěnou. Výsledek měření i příslušný termogram je v příloze 23. (Pozn.: Problém vznikl tak, že stěna měla v certifikátu uveden výrazně vyšší tepelný odpor zjištěný výpočtem, než jaká byla realita.)

3. Měření tepelných mostů.

Velmi často je úkolem detekovat tepelné mosty a posoudit jejich příčinu, zejména se vyjádřit, zda jde o tepelný most způsobený chybným provedením nebo nikoliv. Tyto úlohy mají vždy 2 roviny. První je teoreticky daný tepelný most kvantifikovat a dále jej dokumentovat termogramem. V příloze 24 je uveden jako příklad roh budovy, ovšem častěji se jedná o ostatní místa objektu jako je pozednice, krokve, rohy budov apod. Při výpočtech je vždy nutné také uvažovat skutečný teplotní gradient odpovídající

teplotám, které panovaly při termovizním měření. Dále je nutné uvažovat s pokud možno co nejrealističtějšími okrajovými podmínkami, zejména se součinitelem přestupu tepla z vnějšího povrchu do vzduchu. (Je ovlivněn rychlostí proudění vzduchu).

4. Měření tepelných mostů na střeších

Při zateplování plochých střech dochází k mnoha závadám, které mohou vést k problémům. Protože se však jedná o relativně malé tepelné mosty, závada se buď projeví pouze zvýšenou potřebou tepla na vytápění a nebo se závada projeví až po delší době, zpravidla několika letech, kdy již na dílo není záruka. Proto je potřeba zejména realizace plochých střech kontrolovat. Jako jedna z výborných metod se osvědčila kontrola pomocí termovize, neboť ta odhalí tepelné mosty, ať již způsobené sparami mezi deskami tepelné izolace či hmoždinkami. V příloze 25 je několik takovýchto termogramů plochých střech.

5. Měření vzduchotěsnosti objektů

Vzduchotěsnost objektů se měří blower door testem. Ten umožňuje kvantifikovat množství vzduchu proudícího do (z) místnosti za předem definovaných podmínek, respektive za změřených podmínek s tím, že kvantitu lze následně přepočítat na normové podmínky. Blower door test ovšem neumožňuje určit přesné místo zdroje netěsností. To lze určit buď sledováním pocitu průvanu, anemometrem a nebo, což je velmi jednoduché, pomocí termokamery. Dokonce lze říci, že před tím, než v ČR bylo zařízení na Blower door test, zjišťovali jsme netěsnosti objektu pouze termovizí. Ukázky jsou v příloze 26.

6. Vliv člověka na měření

V příloze 27 je obrázek, jak může ovlivnit dotek člověka měřený předmět. Stopy jsou úsměvné, ovšem nepozorný otisk ruky při ohledání místa měření či pobyt zvířete v měřené oblasti mohou vyvolat jevy, nad jejichž vysvětlením se stráví několik minut času, než se dospěje k závěru, že měření bylo ovlivněno ohřátím živým tvorem (nebo naopak ochlazeno odloženými věcmi apod.)

Na termogramu jsou patrné stopy člověka na podlaze – tyto stopy jsou patrné i několik desítek minut podle toho, o jakou podlahu se jedná a jak dlouho stál člověk na místě.

Seznam příloh:

Příloha 01 – ukázky různého použití termokamery

Příloha 02 – emisivity různých materiálů tak jak jsou uvedeny v ČR (bez závislosti na vlnové délce)

Příloha 03 – emisivity různých materiálů s uvedením vlnové délky, při které platí

Příloha 04 – ukázka měření termovizí objektů o konstantní povrchové teplotě

Příloha 05 – ukázky jednotlivých palet barev na termogramu

Příloha 06 – ukázka různého nastavení teplotního rozsahu na termogramu

Příloha 07 – ukázka vlivu různé emisivity a imisivity na termogram

Příloha 08 – ukázka měření rohu stěny

Příloha 09 – termogram delšího objektu s ukázkou změny zdánlivé teploty

Příloha 10 – termogramy s rozdílnou teplotou okolí

Příloha 11 – termogramy s rozdílnou vzdáleností měřeného objektu

Příloha 12 – ukázka vlivu chladné oblohy

Příloha 13 – ukázka příčin vyšší povrchové teploty soklu

Příloha 14 – termogram vlivu rozvodů ÚT

Příloha 15 – Vliv přestupu tepla na povrchovou teplotu

Příloha 16 – ukázka rozlišení

Příloha 17 – tabulka termokamer, jejich rozlišení a velikosti měřicího bodu v závislosti na vzdálenosti objektu

Příloha 18 – ukázka vlivu nastavení teplotní škály na vnímání pozorovatele

Příloha 19 – termovize tepelných mostů

Příloha 20 – ukázka vlivu akumulace

Příloha 21 – ukázka vlivu proudění vzduchu

Příloha 22 – měření lehké konstrukce

Příloha 23 – měření sruhu

Příloha 24 – měření rohu budovy a výpočet

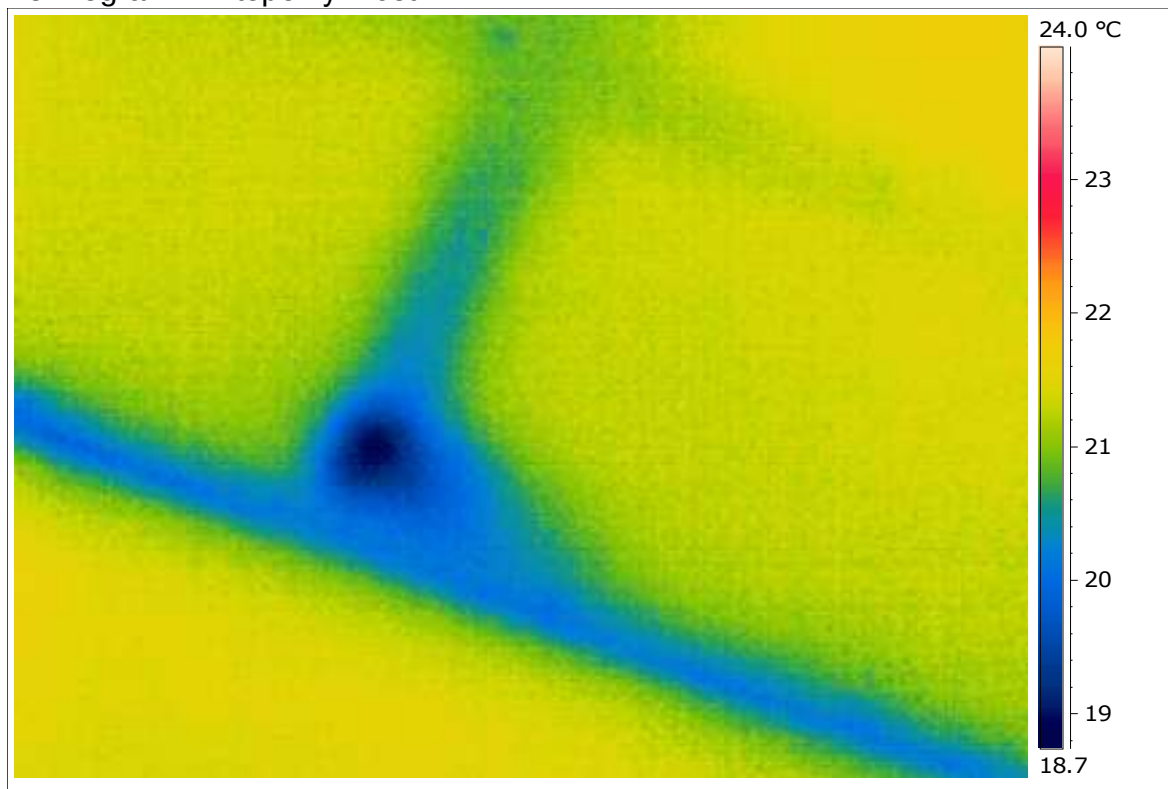
Příloha 25 – tepelné mosty na střeších

Příloha 26 – zjišťování těsnosti objektu

Příloha 27 – ovlivnění měření živým tvorem

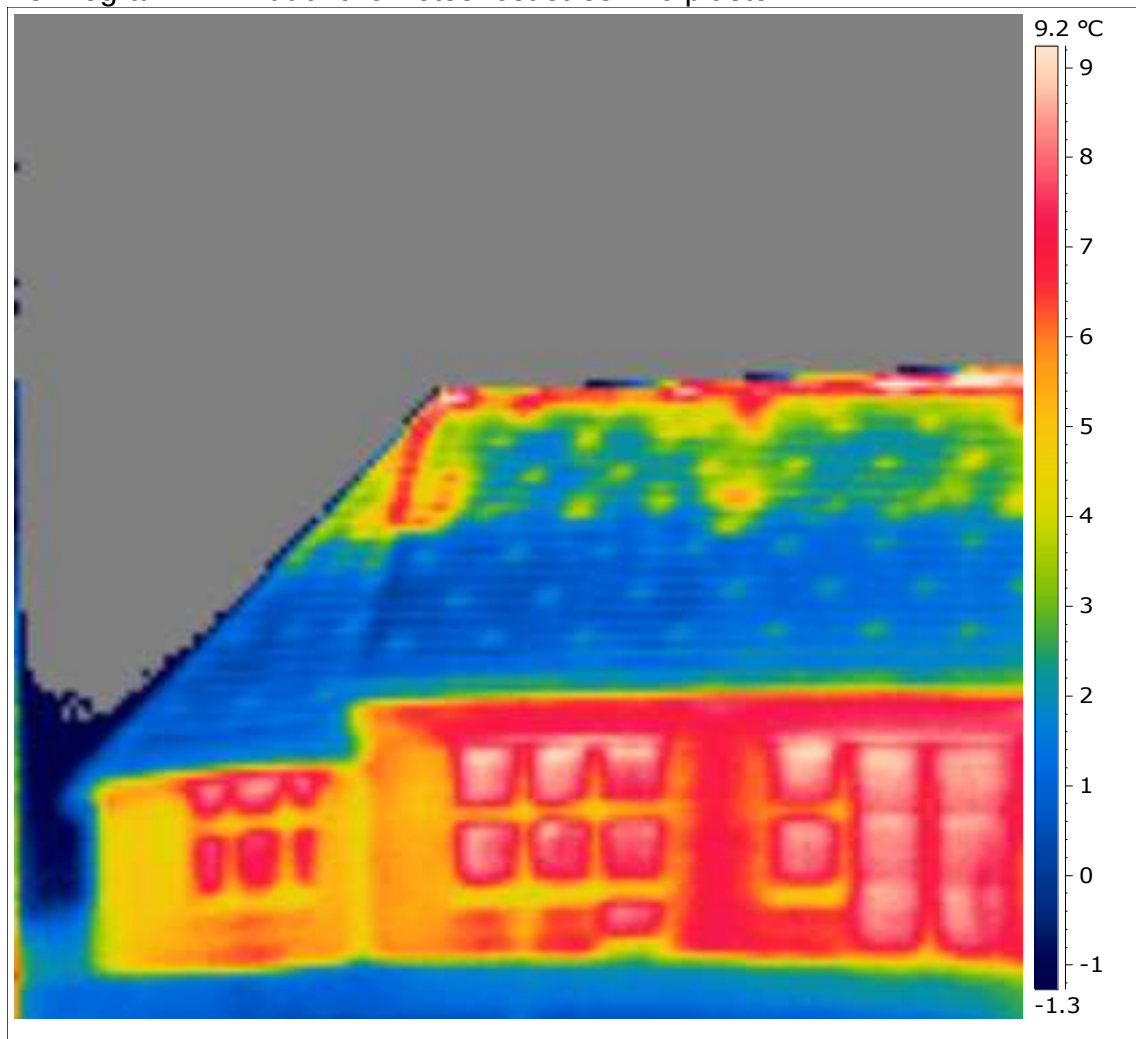
Ukázky různého použití termokamery

Termogram 1 – tepelný most



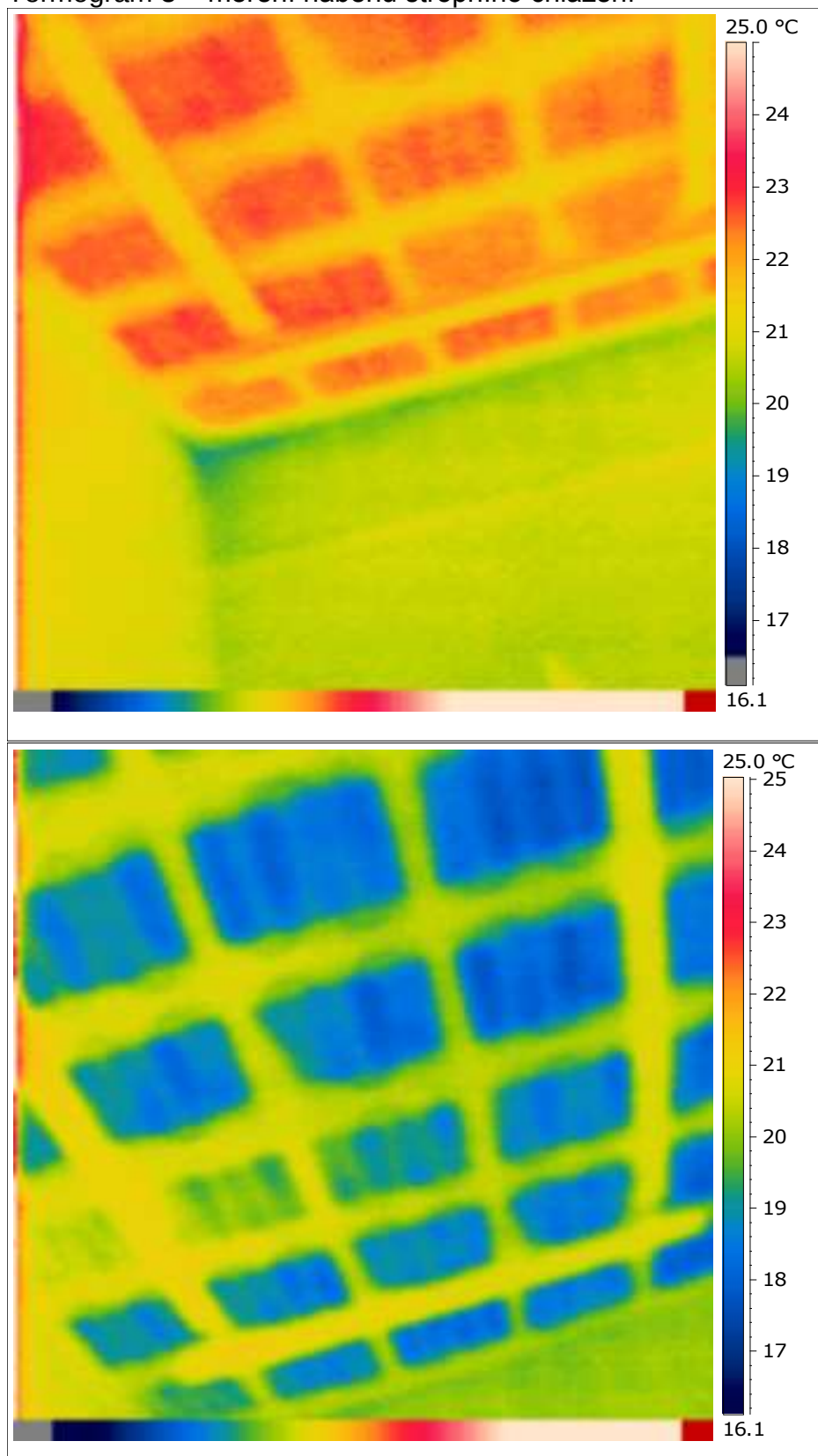
Na termogramu je pohled v podkrovní místnosti. Majitel objektu měl pocit, že objekt má vyšší spotřebu tepla než by odpovídalo velikosti objektu a projektovaným tepelným izolacím a následně i provedenému výpočtu potřeby tepla na vytápění.

Termogram 2 – vzduchová netěsnost střešního pláště



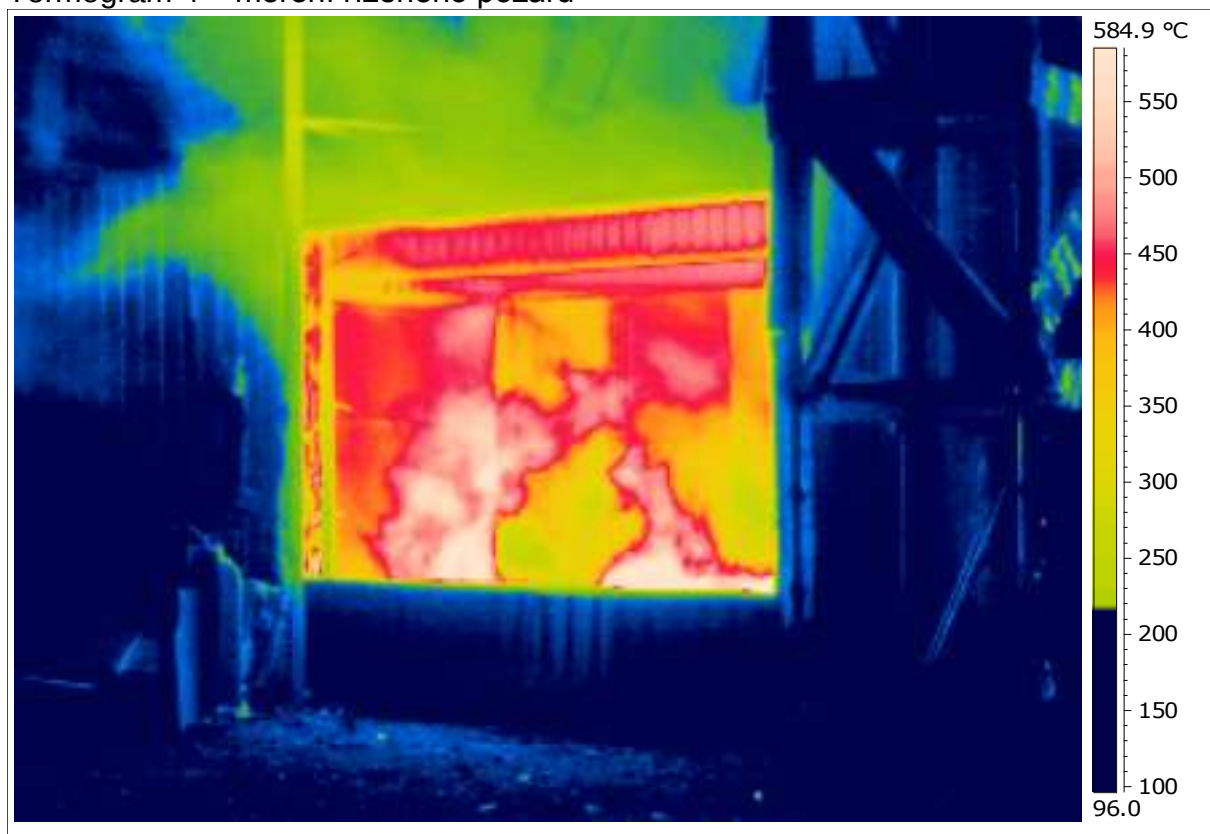
Termogram měl ilustrovat kvalitu provedených tepelných izolací. Při jeho pořizování se na střeše, pod kterou je nevytápěný prostor, objevila teplejší místa. Při analýze bylo zjištěno, že na stropě mezi půdou a místností v přízemí jsou netěsnosti v parotěsné vrstvě, která měla zároveň plnit funkci vzduchotěsné vrstvy. Dochází tak k proudění vzduchu z interiéru na půdu a následně pak k pronikání tohoto teplého vzduchu netěsnostmi v pojistné hydroizolaci do střešní roviny.

Termogram 3 – měření naběhu stropního chlazení



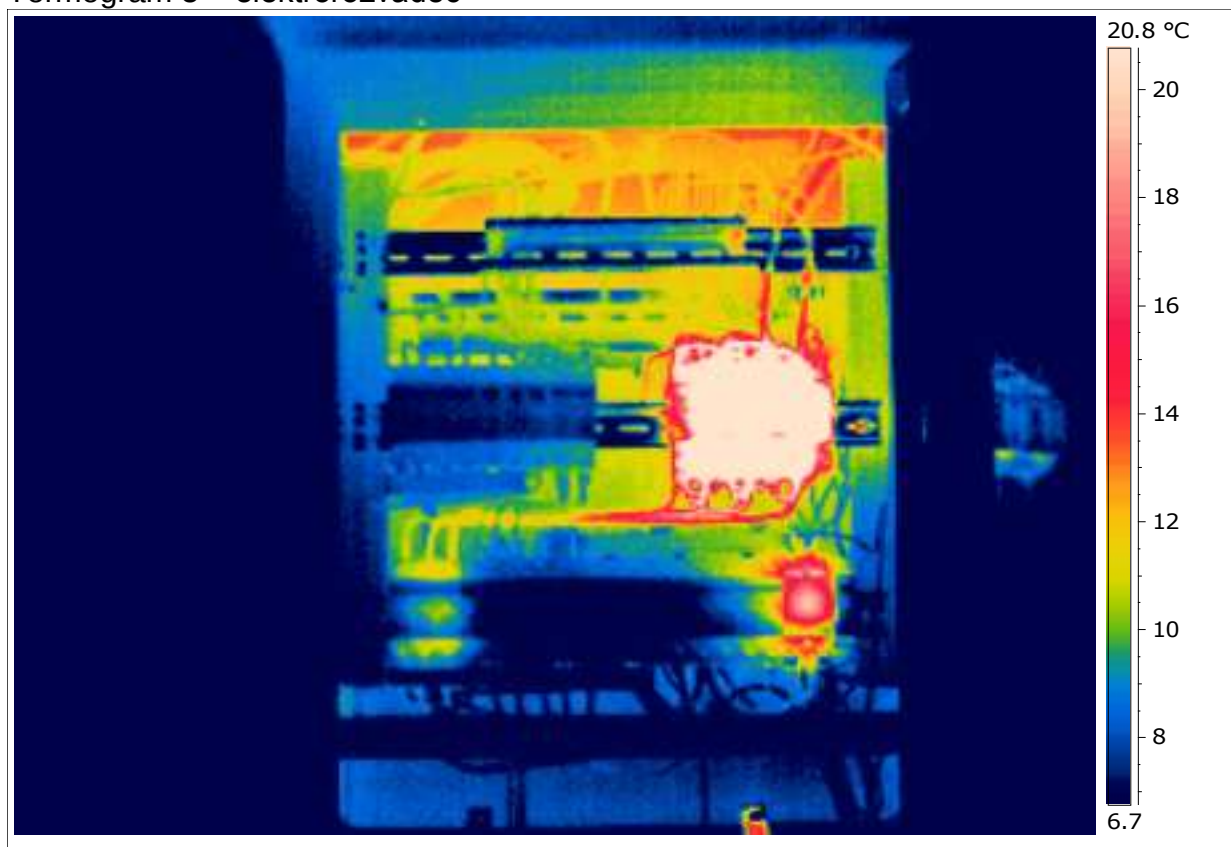
Měření mělo prokázat průběh nabíhání stropního chlazení. Proto byly pořizovány termogramy s časovým odstupem několika minut a následně bylo vyhodnocováno chladnutí jednotlivých schladících polí.

Termogram 4 – měření řízeného požáru



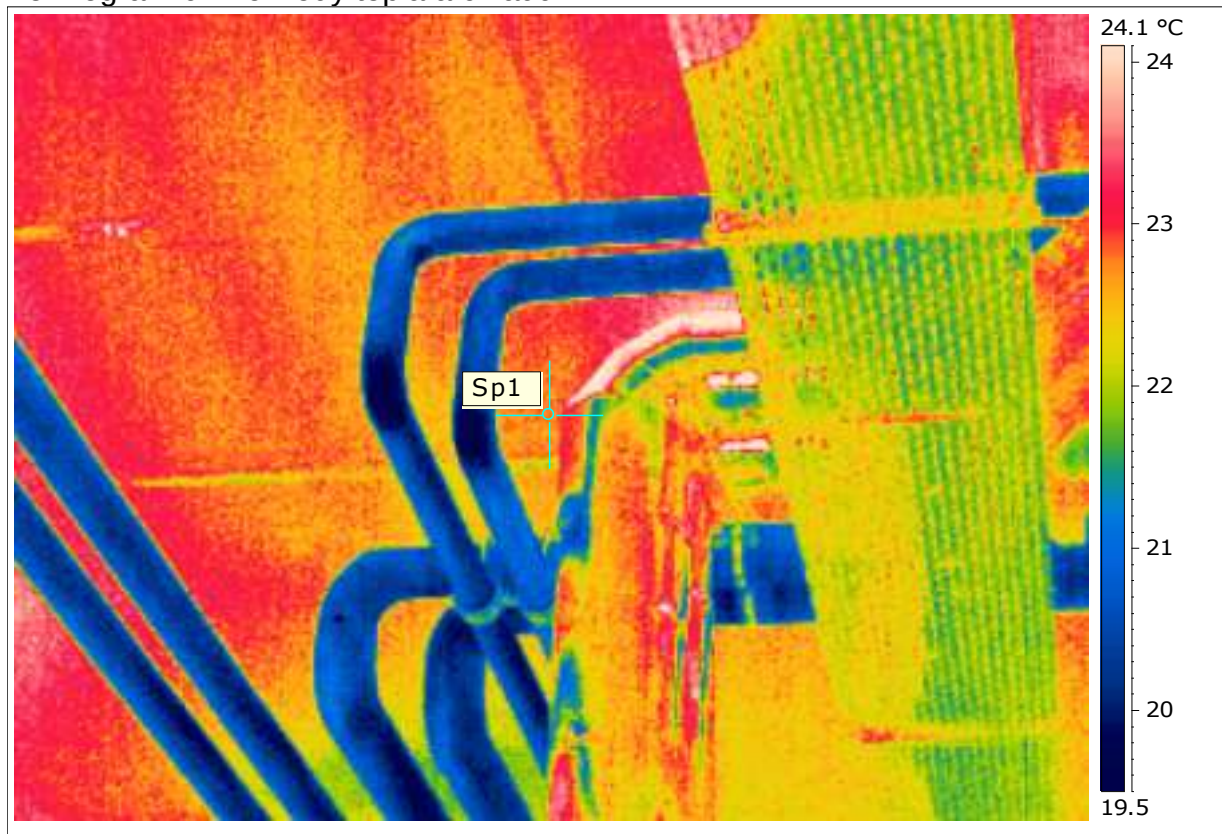
Účelem měření bylo sledovat řízený požár na zkušebním objektu. Objekt byl během pokusu sledován mnoha termovizemi a zároveň teploměry umístěnými v jednotlivých místech měřeného objektu. Dále byly sledovány trigonometricky geometrické změny objektu.

Termogram 5 – elektrorozvaděč



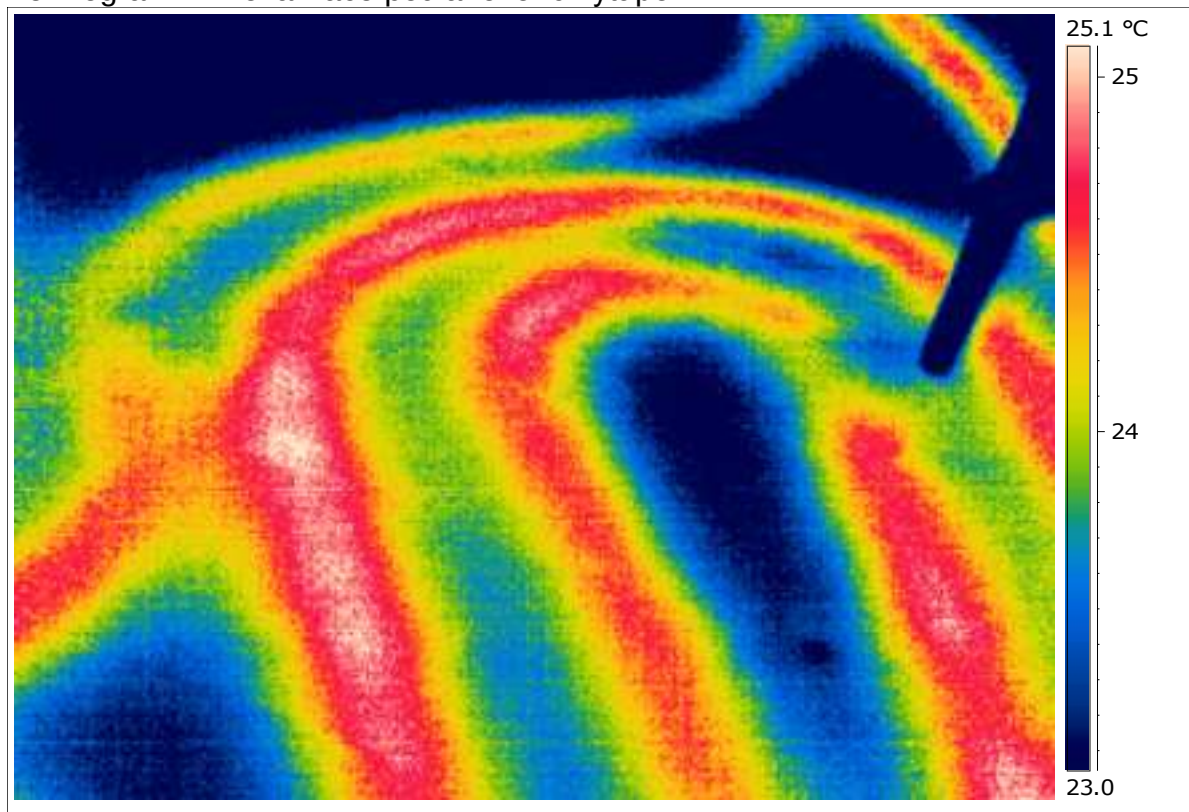
Ve stavebnictví se termovize používá pro sledování stavu elektroinstalace pouze v omezené míře, ovšem její používání je plně rozvinuté ve velké energetice, kdy se jí sledují možné závady na vysokonapěťových spojkách. Postupně totiž vlivem průběhu proudu u nich dochází k opotřebení. Výsledkem tohoto opotřebení je vyšší elektrický odpor při přestupu elektriny z vodiče do spojky a zpět a dochází k jejímu zahřívání. Podle velikosti zahřátí pak lze plánovat opravy jednotlivých spojek tak, aby nedocházelo k jejich poruchám.

Termogram 6 – rozvody tepla a chladu



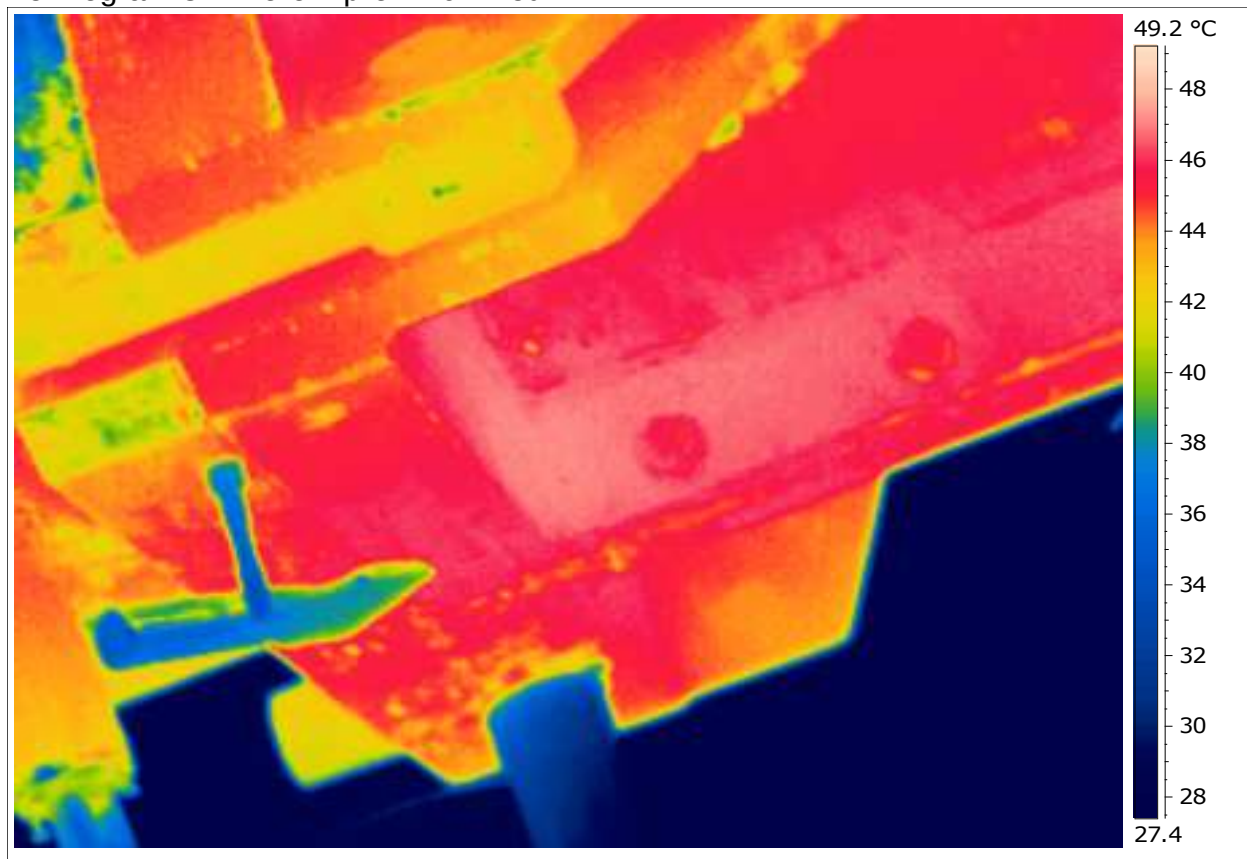
Pomocí termovize lze sledovat rozvody tepla a chladu a stavu jejich tepelných izolací. V případě automatického řízení lze sledovat i konkrétní stav provozu jednotlivých větví rozvodů energie. U větších rozvodů tepla a chladu lze sledovat, zda náhodou není v provozu současně chlazení i vytápění, což v některých ovládacích software nelze vysledovat (Někdy software pouze sleduje stávající stav rozvodu tepla a chladu a pokud dochází k cyklickým změnám z vytápění na chlazení a naopak, je velmi obtížné tento stav pomocí ovládacího software měření a regulace odhalit.)

Termogram 7 – lokalizace podlahového vytápění



Lokalizace rozvodů podlahového vytápění umožňuje například vrtat do podlahy aniž by hrozilo nebezpečí, že se poruší rozvody vytápění.

Termogram 8 – měření přehřívání lisu



Termovize může být použita i při hledání příčin přehřívání strojů. V tomto konkrétním případě se jedná o lis, kde dochází k přehřívání v oblasti spoje dvou dílů. Tato závada pak vede k pravidelným obtížím.

Emisivita při vlnové délce 8 – 14 μm

Materiál	Emisivita*
Hliník, leštěný	0,05
Hliník, hrubý povrch	0,07
Hliník, silně zoxidovaný	0,25
Asbestová deska	0,96
Asbestová tkanina	0,78
Asbestový papír	0,94
Asbestový plát	0,96
Mosaz, matná, zašlá	0,22
Mosaz, leštěná	0,03
Cihla, běžná	0,85
Cihla, glazovaná, hrubá	0,85
Cihla, žárovzdorná, hrubá	0,94
Bronz, porézni, hrubý	0,55
Bronz, leštěný	0,1
Uhlík, čištěný	0,8
Litina, hrubý odlitek	0,81
Litina, leštěná	0,21
Uhelný prach	0,96
Chrom, leštěný	0,1
Jíl, vypálený	0,91
Beton	0,54
Měď, leštěná	0,01
Měď, komerčně vyleštěná	0,07
Měď, zoxidovaná	0,65
Měď, černě zoxidovaná	0,88
Elektrotechnická páska, černá plastová	0,95
Glazura **	0,9
Umakart	0,93
Zmrzlá zemina	0,93

Materiál	Emisivita*
Sklo	0,92
Sklo, matné	0,96
Zlato, leštěné	0,02
Led	0,97
Železo, za tepla válcované	0,77
Železo, zoxidované	0,74
Železo, galvanizovaná tabule, leštěná	0,23
Železo, galvanizovaná tabule, zoxidovaná	0,28
Železo, lesklé, leptané	0,16
Železo, kované, leštěné	0,28
Bakelit, lakovaný	0,93
Lak, černý, matný	0,97
Lak, černý, lesklý	0,87
Lak, bílý	0,87
Lampová čerň	0,96
Olovo, šedé	0,28
Olovo, zoxidované	0,63
Olovo, červené, práškové	0,93
Olovo, lesklé	0,08
Rtuť, čistá	0,1
Nikl, poniklovaná litina	0,05
Nikl, čistý, leštěný	0,05
Nátěr se stříbřitým povrchem**	0,31
Nátěr, olejový, průměrný	0,94
Papír, černý, lesklý	0,9
Papír, černý, matný	0,94
Papír, bílý	0,9
Platina, čistá, leštěná	0,08
Porcelán, glazovaný	0,92
Křemen	0,93

Materiál	Emisivita*
Přez	0,93
Šelak, černý, matný	0,91
Šelak, černý, lesklý	0,82
Sníh	0,8
Ocel, galvanizovaná	0,28
Ocel, silně zoxidovaná	0,88
Ocel, čerstvě válcovaná	0,24
Ocel, hrubý povrch	0,96
Ocel, zrezivělá	0,69
Ocel, poniklovaná tabule	0,11
Ocel, válcovaná tabule	0,56
Lepenka	0,92
Cín, leštěný	0,05
Wolfram	0,05
Voda	0,98
Zinková tabule	0,2

* Emisivity téměř všech materiálů jsou měřeny při teplotě 0 °C a při pokojové teplotě se nijak zásadně neliší.

**Nátěr se stříbřitým povrchem je měřen při teplotě 25 °C a glazurový nátěr při 27 °C.

Emisivita materiálů dle vlnové délky

Zdroj: <http://www.infrared-thermography.com/material.htm>

Materiál	Vlnová délka	Emisivita
Hliník: anodizovaný		0,77
Hliník: anodizovaný, pochromovaný		0,55
Hliník: zdrsňený	3 μm	0,275
Hliník: zdrsňený	10 μm	0,18
Hliník: fólie	3 μm	0,09
Hliník: fólie	10 μm	0,04
Hliník: fólie matná, zvlněná a hlazená		0,03
Hliník: fólie lesklá		0,036
Hliník: zvětralý	2-5,6 μm	0,83 - 0,94
Hliník: vysoce leštěná deska, 98,3% Al		0,039
Hliník: vysoce leštěná deska, 98,3% Al		0,057
Hliník: nanesen emisivní povrch tl. 0,025 mm		0,765
Hliník: zoxidovaný (600 °C)		0,11
Hliník: zoxidovaný (600 °C)		0,19
Hliník: leštěný	8-14 μm	0,05
Hliník: leštěná deska		0,04
Hliník: leštěný povlak		0,05
Hliník: vysoce leštěný		0,027
Hliník: zdrsňená deska		0,055
Hliník: zdrsňený povrch	8-14 μm	0,07
Hliník: pískovaný		0,21
Hliník: pokovení		0,09
Hliník: vysoce zoxidovaný	8-14 μm	0,25
Hliník: vsazený do vakua		0,04
Mosaz: vysoce leštěná		0,03
Mosaz: matná, poskvrněná	8-14 μm	0,22
Mosaz: broušená (drcený smírek)		0,2

Materiál	Vlnová délka	Emisivita
Mosaz: zoxidovaná		0,61
Mosaz: leštěná	8-14 μm	0,1
Bronz: leštěný		0,1
Bronz: porézní, zdrsňený	8-14 μm	0,55
Chrom: leštěný	8-14 μm	0,1
Měď: hlazená	8-14 μm	0,07
Měď: elektrolytická, leštěná	8-14 μm	0,02
Měď: leštěná		0,05
Měď: leštěná	3 μm	0,031
Měď: leštěná	10 μm	0,016
Měď: leštěná, bezolovnatá	10 μm	0,008
Měď: zoxidovaná	8-14 μm	0,65
Měď: vysoce zoxidovaná		0,78
Měď: silně zoxidovaná (do černa)	8-14 μm	0,88
Zlato: leštěné	8-14 μm	0,02
Zlato: vysoce leštěné		0,02
Zlato: leštěné pozlacení na nerezňoucí oceli		0,028
Železo: odlitek, pokrytí	8-14 μm	0,81
Železo: odlitek, leštěný	8-14 μm	0,21
Železo: odlitek, zoxidovaný		0,64
Železo: válcovaný za tepla	8-14 μm	0,77
Železo: zoxidované	8-14 μm	0,74
Železo: pozinkovaný plát, hlazený	8-14 μm	0,23
Železo: pozinkovaný plát, zoxidovaný	8-14 μm	0,28
Železo: plát, vysoce zkorodovaný		0,69
Železo: lesklé, vyleptané	8-14 μm	0,16
Železo: opracované, leštěné	8-14 μm	0,28
Olovo: šedé	8-14 μm	0,28
Olovo: zoxidované	8-14 μm	0,63

Materiál	Vlnová délka	Emisivita
Olovo: práškové	8-14 μm	0,93
Olovo: lesklé	8-14 μm	0,08
Hořčík: leštěný		0,07
Rtuť: čistá	8-14 μm	0,1
Nikl: pokovená, leštěná		0,05
Nikl: pokovená		0,11
Nikl: na železném odlitku	8-14 μm	0,05
Nikl: zoxidovaný		0,37
Nikl: čistý, leštěný	8-14 μm	0,05
Platina: čistá, leštěná	8-14 μm	0,08
Stříbro: leštěné		0,03
Nereznoucí ocel: leštěná		0,16
Nereznoucí ocel: zoxidovaná (800 °C)		0,85
Nereznoucí ocel: pískovaná		0,44
Ocel: pokovená	8-14 μm	0,28
Ocel: leštěná		0,07
Ocel: zoxidovaná		0,79
Ocel: vysoce zoxidovaná	8-14 μm	0,88
Ocel: válcovaná za studena	8-14 μm	0,24
Ocel: zdrsňený povrch	8-14 μm	0,96
Ocel: zkorodovaná	8-14 μm	0,69
Ocel: poniklovaný plát	8-14 μm	0,11
Ocel: válcovaný plát	8-14 μm	0,56
Cín: hlazený	8-14 μm	0,05
Cín: pocínovaný železný plát		0,07
Wolfram	8-14 μm	0,05

zdroj: <http://www.infrared-thermography.com/material-1.htm>:

Materiál	Vlnová délka	Emisivita
Azbest: deska		0,96
Azbest: plátno		0,78
Azbest: papír		0,93
Azbest: břidlicová tabule		0,96
Cihla: hlinitá	2-5,6 μm	0,68
Cihla: běžná	2-5,6 μm	0,81 - 0,86
Cihla: běžná, červená		0,93
Cihla: obkladová, červená	2-5,9 μm	0,92
Cihla: obkladová, žlutá	2-5,6 μm	0,72
Cihla: šamotová		0,85
Cihla: šamotová		0,75
Cihla: šamotová		0,59
Cihla:	5 μm	0,94
Cihla: červená		0,9
Cihla: tvrdě pálená	2-5,6 μm	0,87
Uhlík: saze		0,95
Uhlík: grafit		0,98
Uhlík: čištěný	8-14 μm	0,8
Cement	8-14 μm	0,54
Uhlí: prášek	8-14 μm	0,96
Dřevotříska: neopracovaná	2-5,6 μm	0,9
Jíl: pálený	8-14 μm	0,91
Beton		0,92
Beton: suchý	5 μm	0,95
Beton: zdrsňený	2-5,6 μm	0,92 - 0,97
Glazura: lakovaná	8-14 μm	0,9
Tkanina: jutovitá, zelená		0,88
Tkanina: jutovitá, nebarvená	2-5,6 μm	0,87
Skleněná vlákna		0,75

Materiál	Vlnová délka	Emisivita
Vlákninová deska: porézní, neopracovaná	2-5,6 μm	0,85
Vlákninová deska: pevná, neopracovaná	2-5,6 μm	0,85
Výplň: bílá	2-5,6 μm	0,88
Pálená cihla	2-5,6 μm	0,68
Umakart	6,5-20 μm	0,937
Sklo	8-14 μm	0,92
Sklo: částečné neprůhledné	6,5-20 μm	0,97
Sklo: matné	8-14 μm	0,96
Sklo: matné		0,7
Sklo: matné		0,67
Sklo: leštěný plát		0,94
Žula: přírodní povrch	5 μm	0,96
Grafit: prášek	8-14 μm	0,97
Štěrka	6,5-20 μm	0,28
Sádra	8-14 μm	0,085
Dřevo: kolmo k vláknům	2-5,6 μm	0,82
Dřevo: rovnoběžně s vlákny	2-5,6 μm	0,68 - 0,73
Led	8-14 μm	0,97
Železo: vysoce zkorodované	2-5,6 μm	0,91 - 0,96
Lak: bakelitový	8-14 μm	0,93
Lak: matný černý	8-14 μm	0,97
Lak: bílý	8-14 μm	0,87
Lak: bílý		0,92
Lak: mdlý černý		0,97
Lak: lesklý, černý, na kovu		0,87
Lampová čern	8-14 μm	0,96
Vápenec: přírodní povrch	5 μm	0,96
Malta	2-5,6 μm	0,87
Malta: suchá	5 μm	0,94

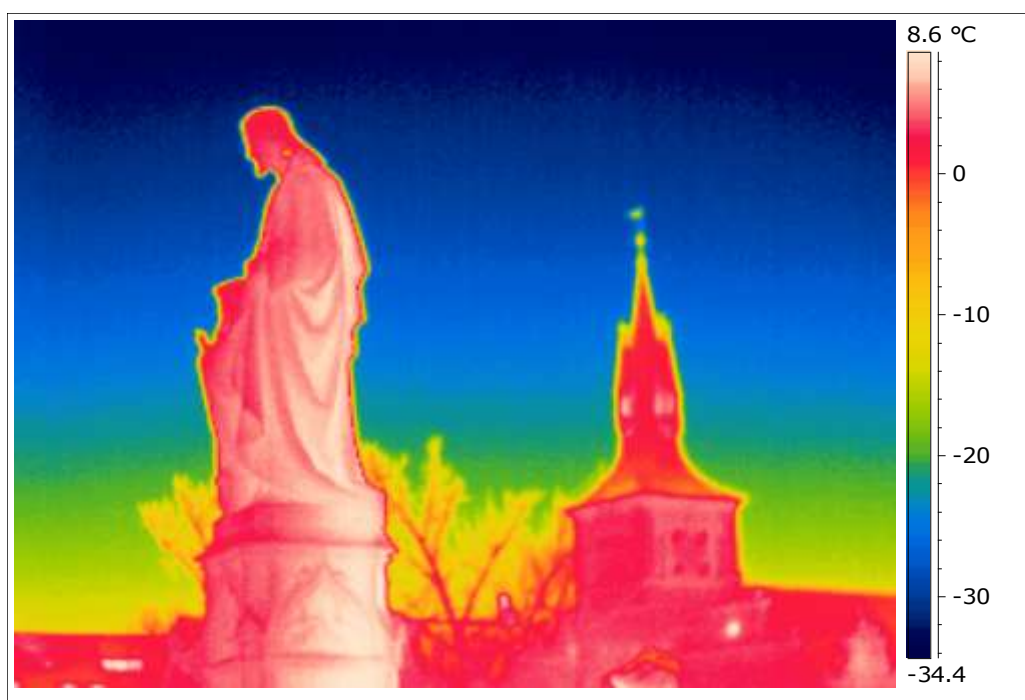
Materiál	Vlnová délka	Emisivita
Olej, mazací (slabá vrstva na Ni podkladě): samotný Ni podklad		0,05
Olej, mazací (slabá vrstva na Ni podkladě): vrstva tl. 0,001 mm		0,27
Olej, mazací (slabá vrstva na Ni podkladě): vrstva tl. 0,002 mm		0,46
Olej, mazací (slabá vrstva na Ni podkladě): vrstva tl. 0,005 mm		0,72
Olej, mazací (slabá vrstva na Ni podkladě): silné pokrytí		0,82
PVC	2-5,6 μm	0,91 - 0,93
	3 μm	$\div 1,00$
	10 μm	$\div 1,00$
Barva: Acme	3 μm	0,0959
Barva: Acme	10 μm	0,945
Barva: Aquadag		0,49
Barva: hliníková		0,45
Barva: Broma, alkydový lak (#113 bleděmodrá)	3 μm	0,95
Barva: Broma, alkydový lak (#113 bleděmodrá)	10 μm	0,96
Barva: Broma, alkydový lak (#102 zlatavá)	3 μm	0,98
Barva: Broma, alkydový lak (#102 zlatavá)	10 μm	0,98
Barva: kadmiově žlutá		0,33
Barva: chromově zelená		0,7
Barva: Alumatone	3 μm	0,26
Barva: Alumatone	10 μm	0,305
Barva: Dupont Duco (#71 opracované černé železo)	3 μm	0,982
Barva: Dupont Duco (#71 opracované černé železo)	10 μm	0,897
Barva: Dutch Boy	10 μm	0,9
Barva: Krylon, plošná černá	3 μm	0,95
Barva: Krylon, plošná černá	10 μm	0,956

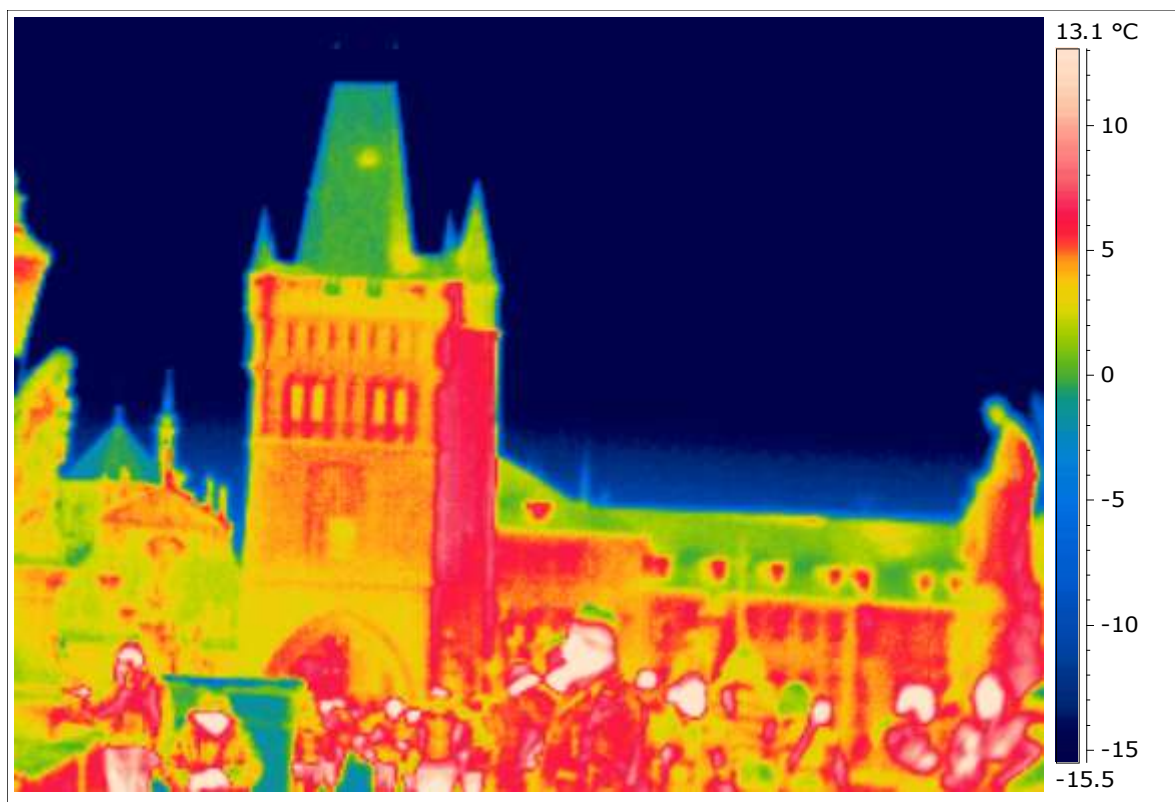
Materiál	Vlnová délka	Emisivita
Barva: Krylon, plošná bílá	3 μm	0,992
Barva: Krylon, plošná bílá	10 μm	0,989
Barva: Krylon	5 μm	0,97
Barva: Microbond		0,844
Barva: olejová		0,94
Barva: olejová, černá, plošná	2-5,6 μm	0,94
Barva: olejová, černá, lesklá	2-5,6 μm	0,92
Barva: olejová, šedá, plošná	2-5,6 μm	0,97
Barva: olejová, šedá, lesklá	2-5,6 μm	0,94
Barva: olejová	8-14 μm	0,94
Barva: syntetická, černá	2-5,6 μm	0,95
Barva: syntetická, bílá	2-5,6 μm	0,84
Barva: TiO ₂ , šedá		0,87
Barva: TiO ₂ , bílá		0,94
Papír: černý		0,9
Papír: černý, matný		0,94
Papír: černý, lesklý	8-14 μm	0,9
Papír: kartonová krabice	5 μm	0,81
Papír: zelený		0,85
Papír: červený		0,76
Papír: bílý	2-5,6 μm	0,68
Papír: bílý	8-14 μm	0,9
Papír: bílý svazek		0,93
Papír: žlutý		0,72
Papír: dehtový	8-14 μm	0,92
Vedení: glazované	2-5,6 μm	0,83
Omítka	2-5,6 μm	0,86 - 0,90
Omítka: hrubý potah		0,91
Sádrokarton: neopracovaný	2-5,6 μm	0,9
Plast: pryskyřičný, čistý	5 μm	0,94

Materiál	Vlnová délka	Emisivita
Plast: černý	2-5,6 μm	0,95
Plast: bílý	2-5,6 μm	0,84
Papír (tvárný): červený	2-5,6 μm	0,94
Papír (tvárný): bílý	2-5,6 μm	0,84
Plexisklo: Perpex	2-5,6 μm	0,86
Překližka	2-5,6 μm	0,83 - 0,98
Překližka: běžná, hladká, suchá	5 μm	0,82
Překližka: neopracovaná	2-5,6 μm	0,83
Polypropylen	2-5,6 μm	0,97
Porcelán: glazovaný	8-14 μm	0,92
Křemen	8-14 μm	0,93
Borové dřevo: hoblované	2-5,6 μm	0,83
Borové dřevo: neopracované	2-5,6 μm	0,84
Borové dřevo: zředlé	2-5,6 μm	0,92
Keramický nástřík Rokide A		0,77
Guma	8-14 μm	0,95
Guma: ucpávka, černá	5 μm	0,97
Písek		0,9
Šelak: černý, matný		0,91
Šelak: černý, lesklý, na Sn plátu		0,82
Kůže: lidská		0,98
Sníh	8-14 μm	0,8
Zemina: suchá		0,92
Zemina: promrzlá	6,5-20 μm	0,93
Zemina: vodou nasycená		0,95
Polystyren: izolace	5 μm	0,6
Tkaloun: černá elektrická izolace	5 μm	0,97
Tkaloun: maskovací	5 μm	0,92
Dlaždice: podlahová, azbestová	5 μm	0,94

Materiál	Vlnová délka	Emisivita
Dlaždice: glazovaná	2-5,6 μm	0,94
Lak: plošný	2-5,6 μm	0,93
Tapeta: nepatrný vzor, našedivělá	2-5,6 μm	0,85
Tapeta: nepatrný vzor, červená	2-5,6 μm	0,9
Voda	8-14 μm	0,98
Voda: destilovaná		0,98
Voda: hladký led		0,96
Voda: zmrzlé krystalky		0,98
Voda: sníh		0,85
Dřevo: dub, hoblované		0,9
Dřevo: obkladové, lehce opracované		0,87
Dřevo: hoblované	8-14 μm	0,85
Dřevo: leštěné, suché	5 μm	0,86

Ukázky různé zdánlivé teploty na objektu, který má konstantní povrchovou teplotu





Barevná spektra pro zobrazení teplot

Termogramem se rozumí obraz pořízený infrakamerou. Jde tedy o vizualizaci infračerveného záření převedené do barevného spektra, tj. každá teplota má přiřazen svůj odstín barvy. Stejný snímek lze však díky rozlišnosti palet různě zobrazit.

Pro představu si ukážeme termovizní snímek hradu Karlštejn v nejčastěji používaných paletách, kterými jsou železo nebo duha. Uvedená barevná spektra pochází z nabídky programu firmy FLIR. Nejsou zde uvedeny všechny palety, které lze běžně při měření používat, pouze některé. Tyto palety barev lze také pochopitelně zobrazit negativně.

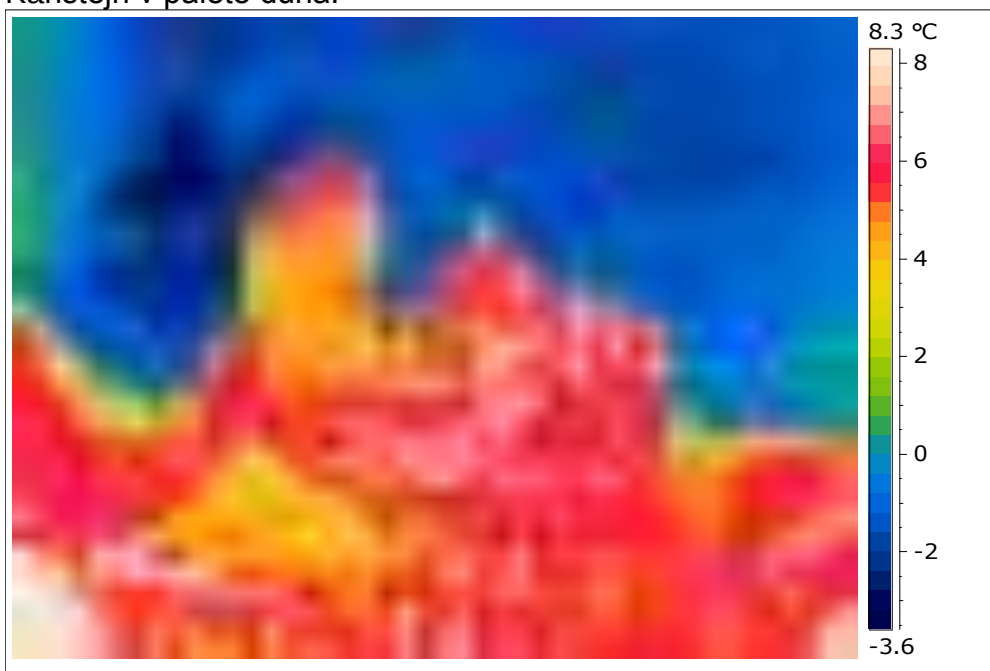
Karlštejn v paletě železo



Karlštejn v inverzní (negativní) paletě železo



Karlštejn v paletě duha.

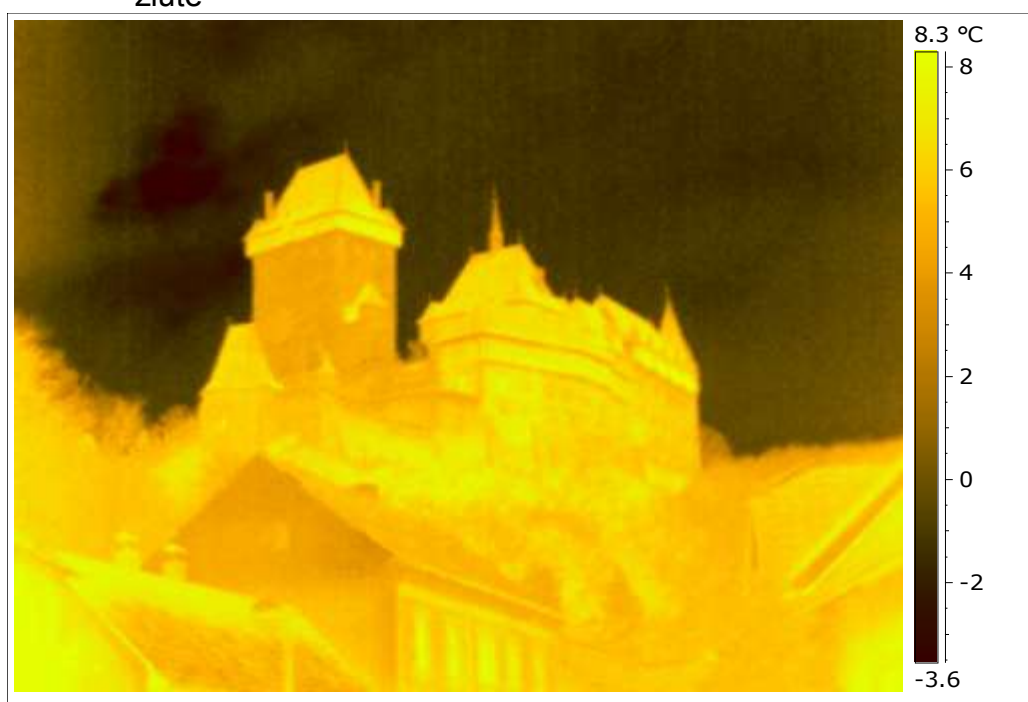


Lze ale taktéž použít stupně různých barev:

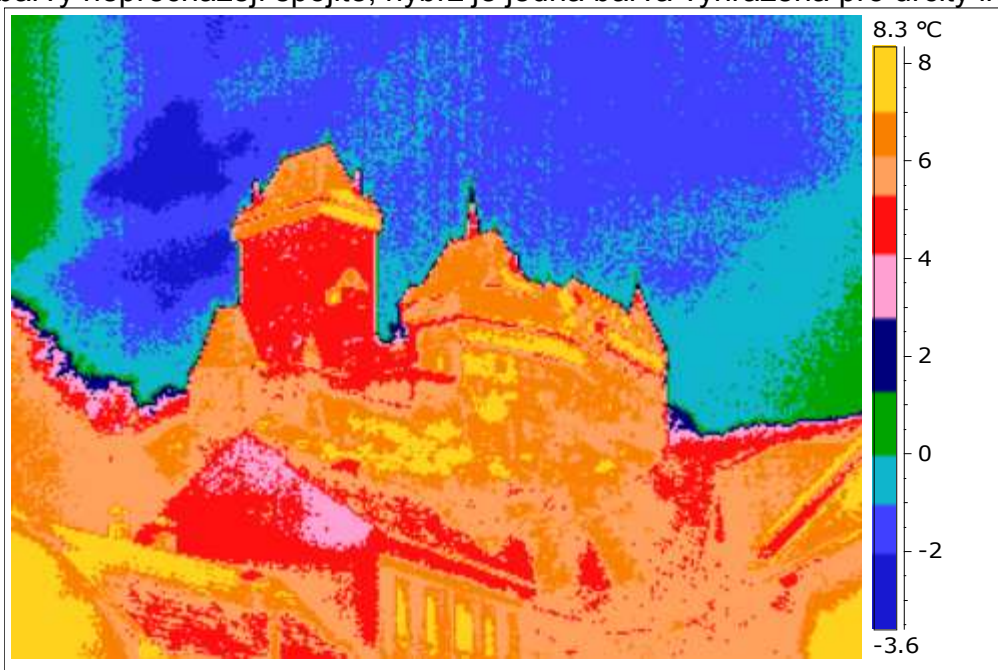
- šedi



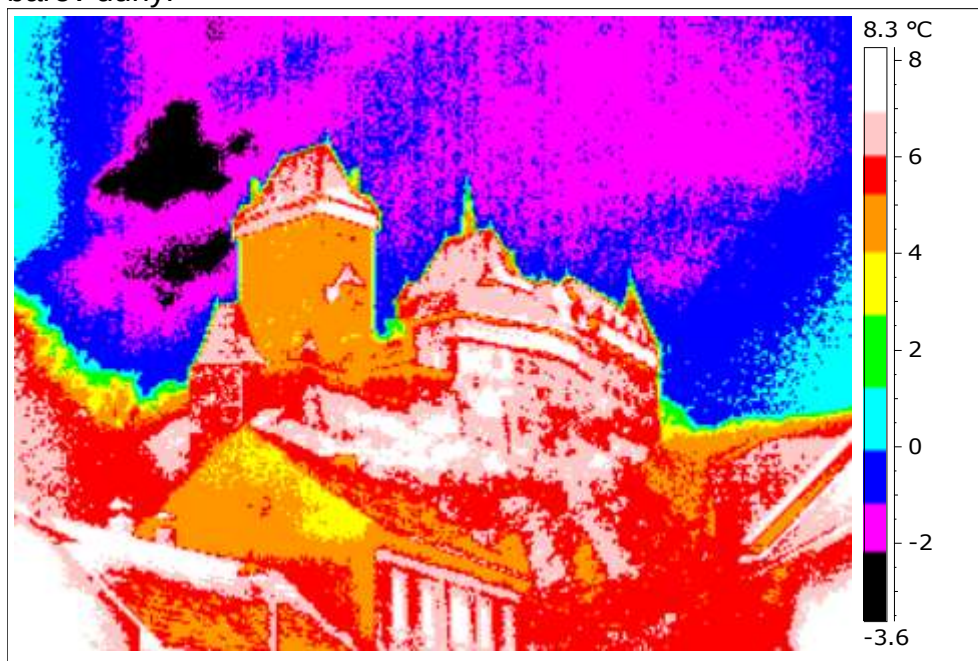
- žluté



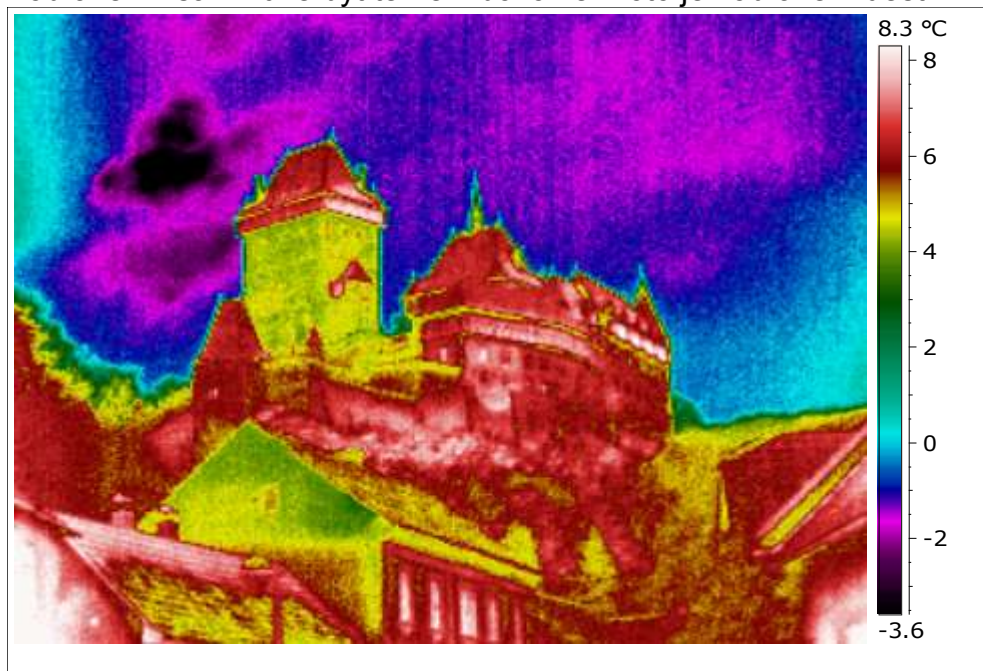
V nabídce se také nachází spektrum určené pro lékařské termogramy, u kterého již barvy nepřecházejí spojitě, nýbrž je jedna barva vyhrazena pro určitý interval teplot.



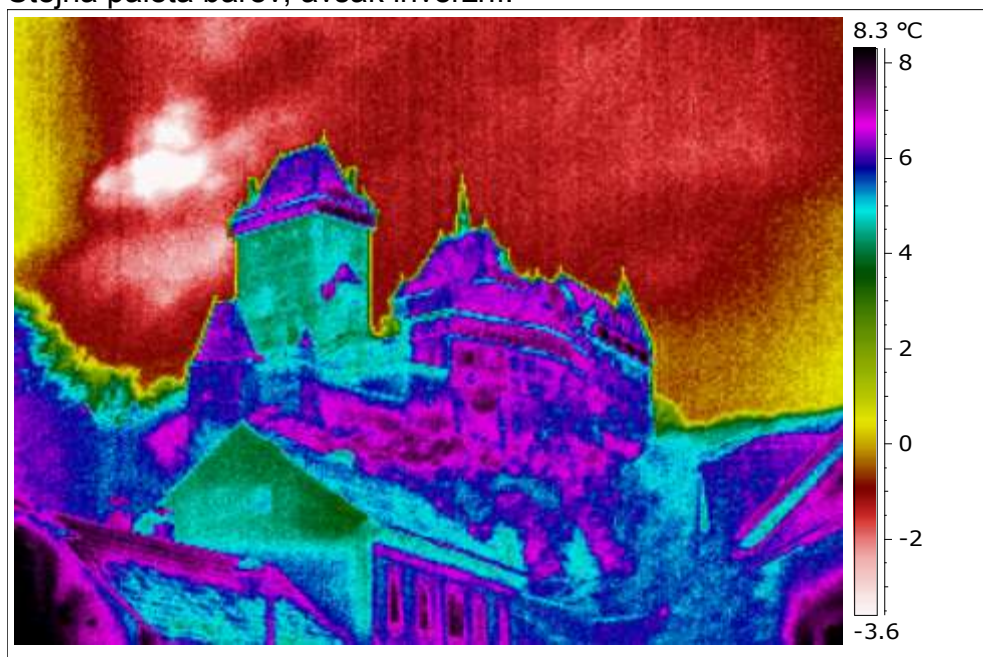
Následující zobrazení je skokové, kdy je barevná škála rozdělena na 10 různých barev duhy:



Zobrazení však může být téměř libovolné. Toto je zobrazení déšť:



Stejná paleta barev, avšak inverzní:



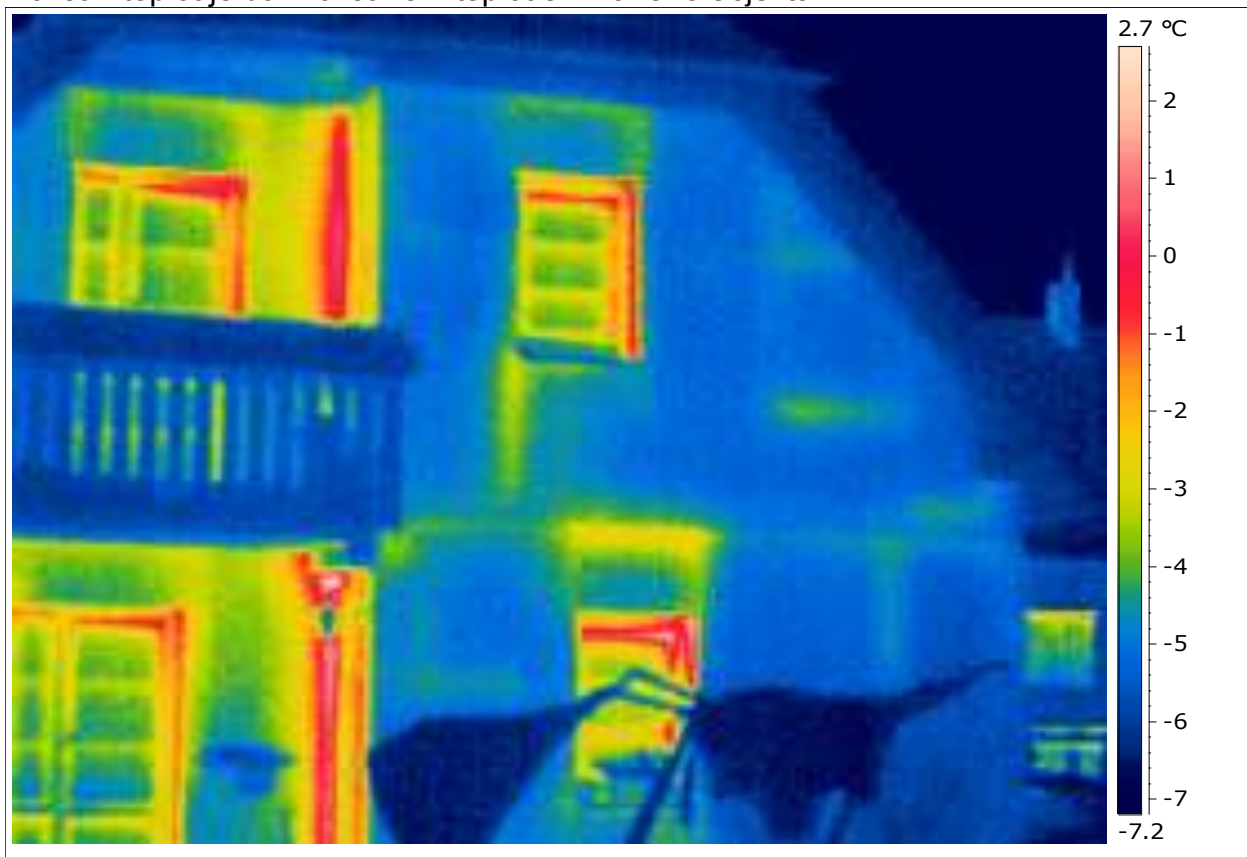
Firma FLIR má v nabídce celkem 16 různých standardních palet barev, které lze dále invertovat. Při použití jiné termokamery a tím i jiného software dochází i k dalším možnostem různého barevného zobrazení. Navíc barvy je možné v počítači dále upravovat, takže demonstrování kvality jakéhokoliv výrobku, materiálu či systému pomocí termovize může být zavádějící.



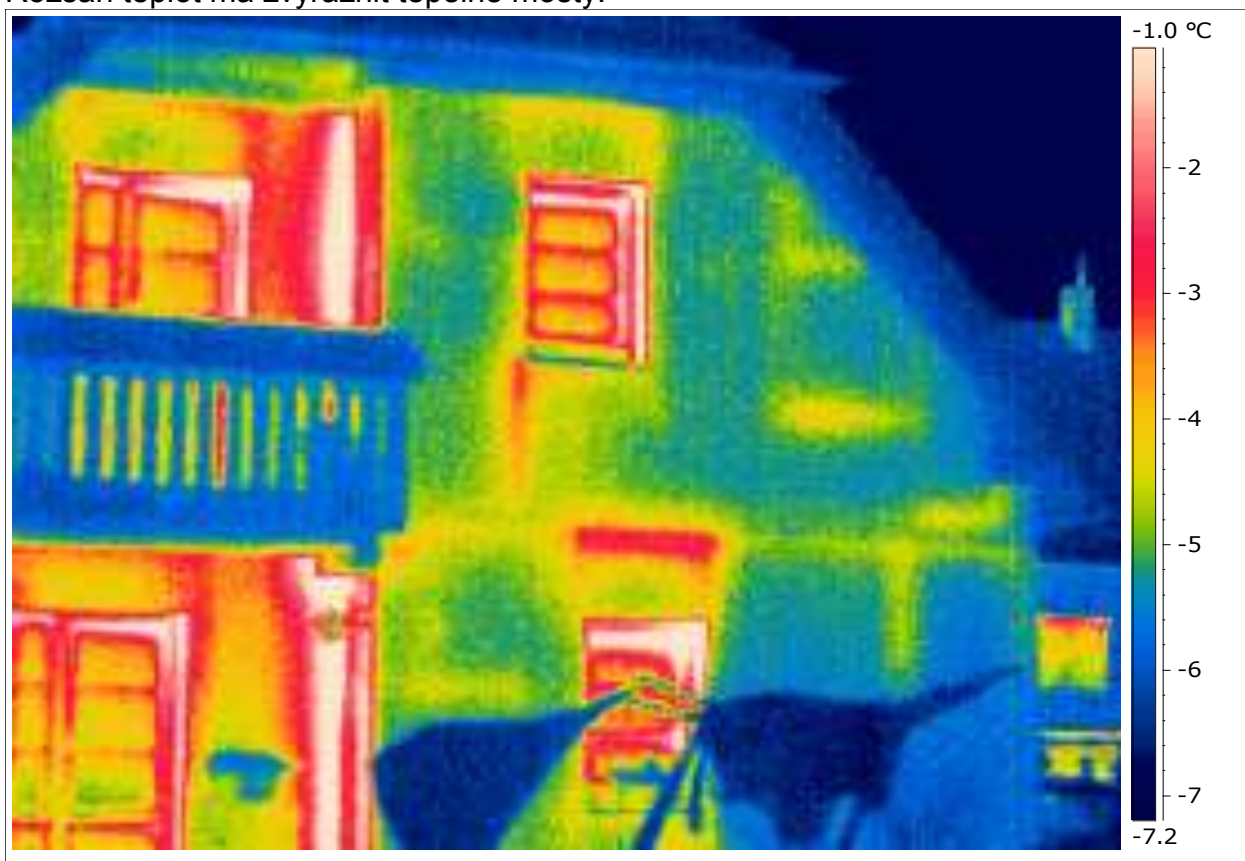
Ovlivnění vnímání termogramu různým teplotním rozlišením

Dojem z termogramu má pozorovatel na základě rozsahu barevných změn. Jak lze ovlivnit vnímání termogramu je demonstrováno na následujících termogramech

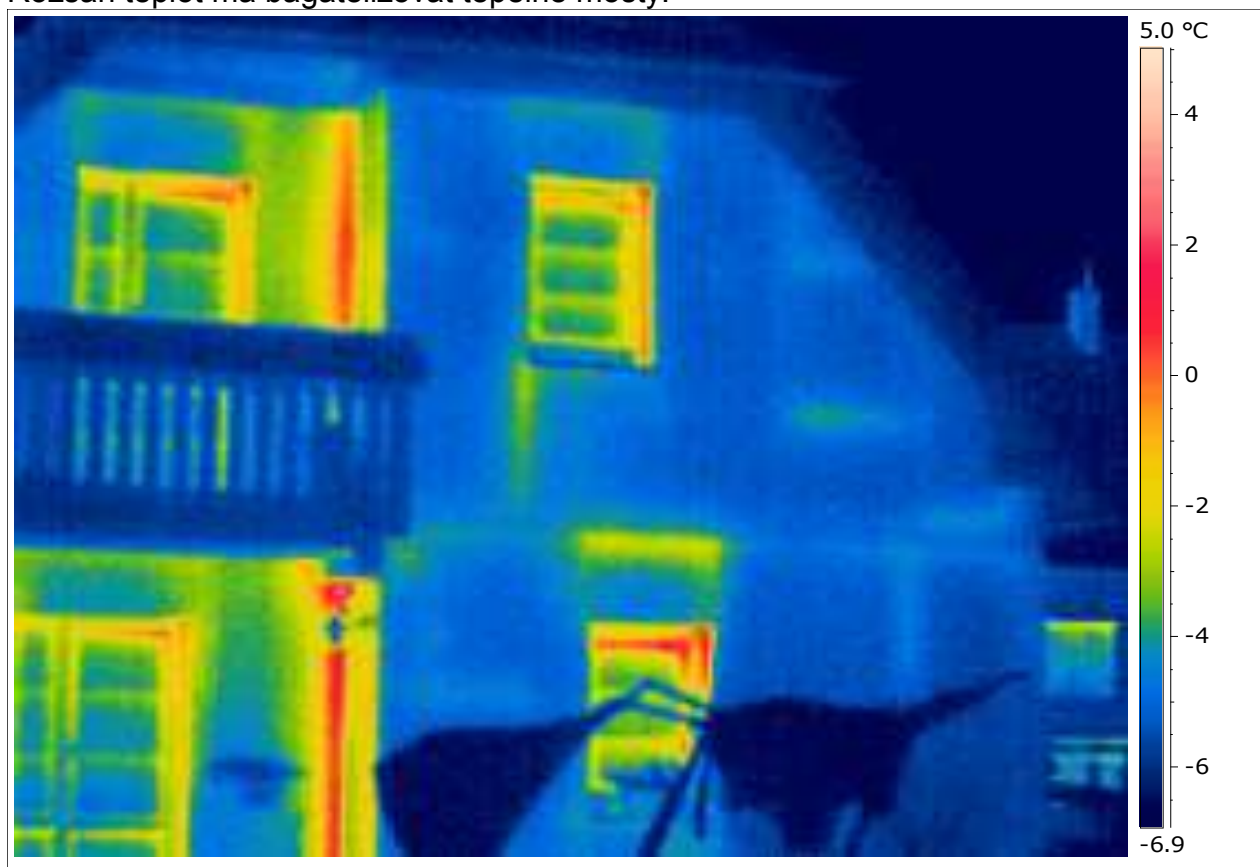
Rozsah teplot je dán rozsahem teplot snímaného objektu



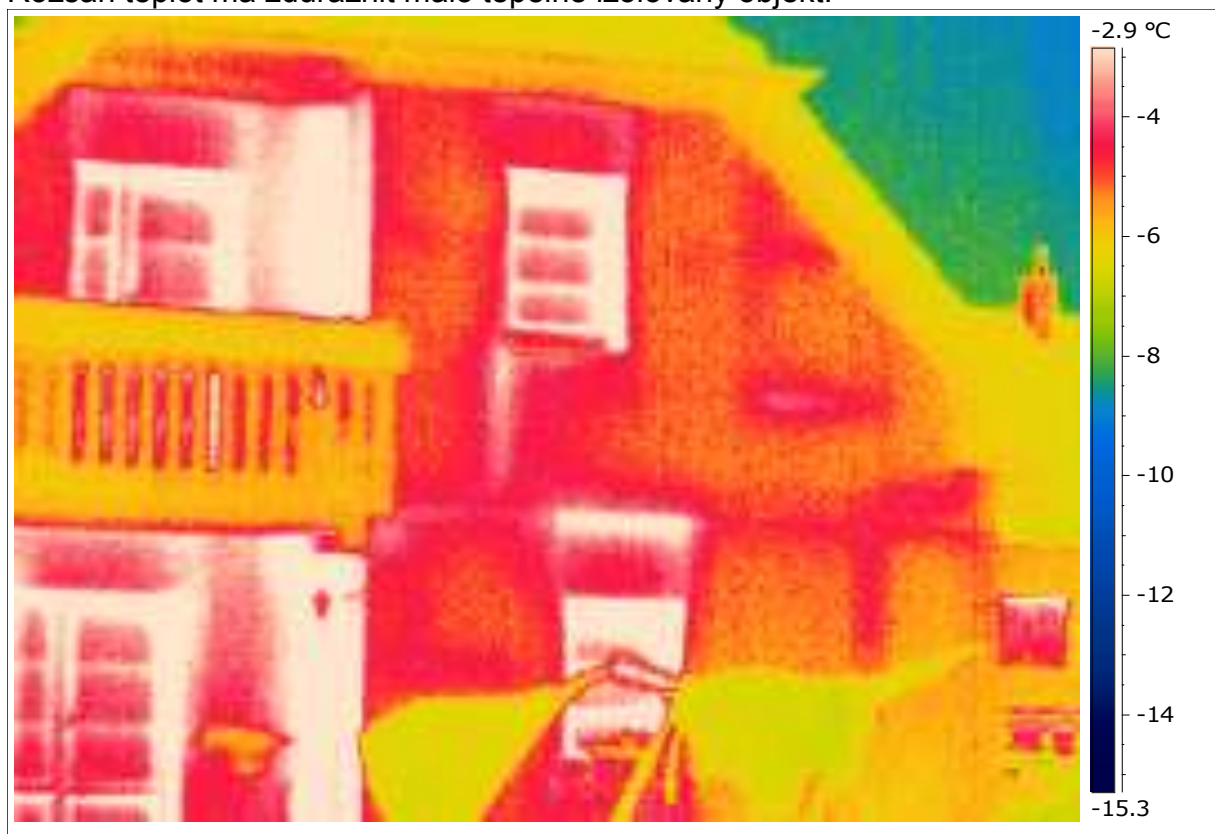
Rozsah teplot má zvýraznit tepelné mosty:



Rozsah teplot má bagatelizovat tepelné mosty:



Rozsah teplot má zdůraznit málo tepelně izolovaný objekt:



Vliv emisivity

Dalším vlivem přinášejícím chyby do vyhodnocení termogramů je emisivita měřeného povrchu. Emisivita je schopnost vyzařovat elektromagnetické záření. Jde o bezrozměrný fyzikální parametr vyjadřující poměr intenzity vyzařování skutečného tělesa H_E k intenzitě vyzařování absolutně černého tělesa H_{EO} se stejnou teplotou. Lze ji tedy popsat následující rovnicí

$$\varepsilon = \frac{H_E}{H_{EO}}$$

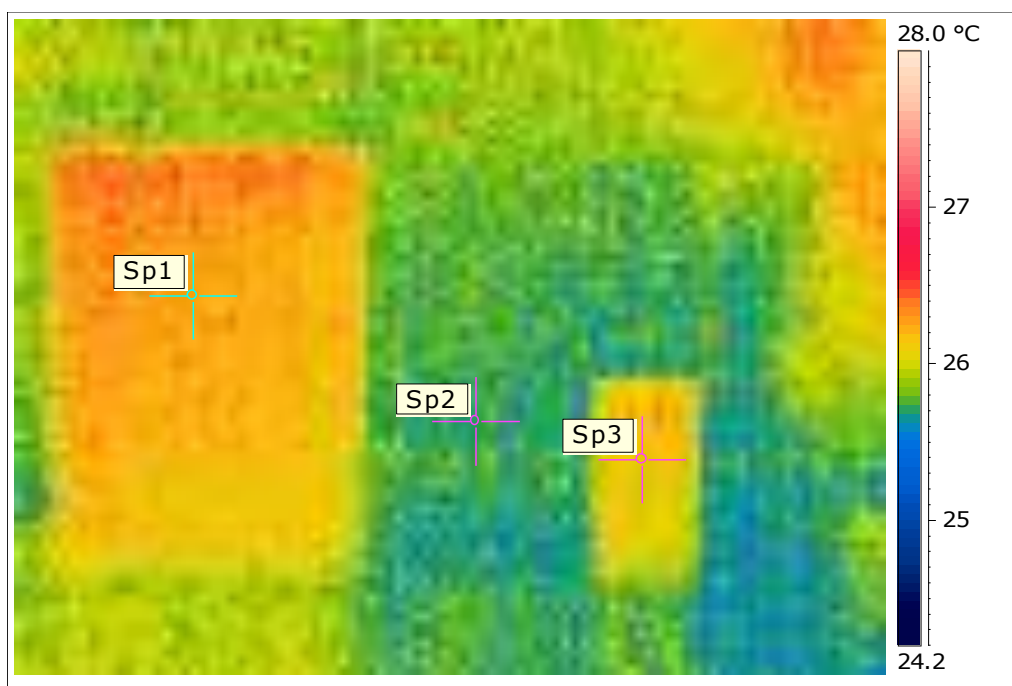
Emisivita u většiny materiálů je vysoká, výjimku tvoří zejména kovy, u kterých je naopak malá. U kovů převládá odražená složka elektromagnetického záření nad vlastní emitovanou částí. K tomuto jevu se ale ještě vrátíme v kapitole vlivu reflexe záření.

Vliv různé emisivity lze deklarovat z následujícího obrázku, na kterém je umístěna minerální vlna, polystyren a cihla. Povrch cihly se na termovizním snímku jeví chladnější než povrchy minerální vlny a polystyrenu. V tomto případě jde o malý, ale již znatelný rozdíl. Z důvodu minimalizace zanesení chyby byly objekty ponechány po delší dobu ve stejném prostředí, a tudíž mají povrchy shodnou teplotu.

Na ďalších 2 obrázkoch je ukážka snímku stavebných materiálov – minerálna vlna, polystyren,

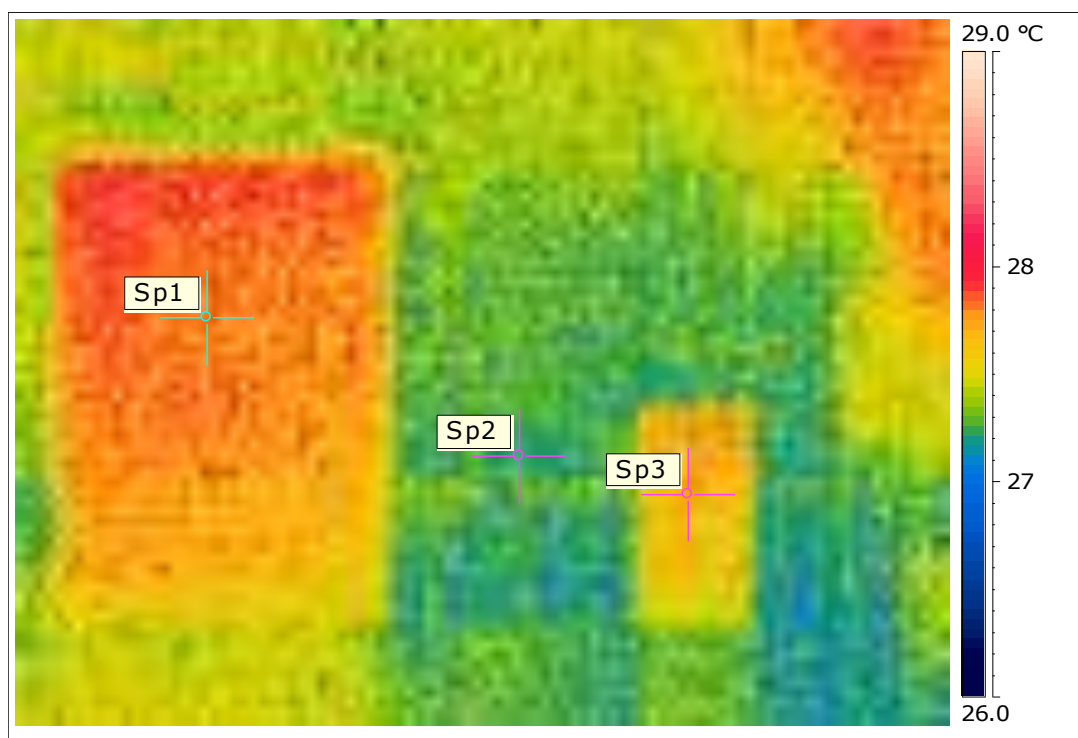


cihla



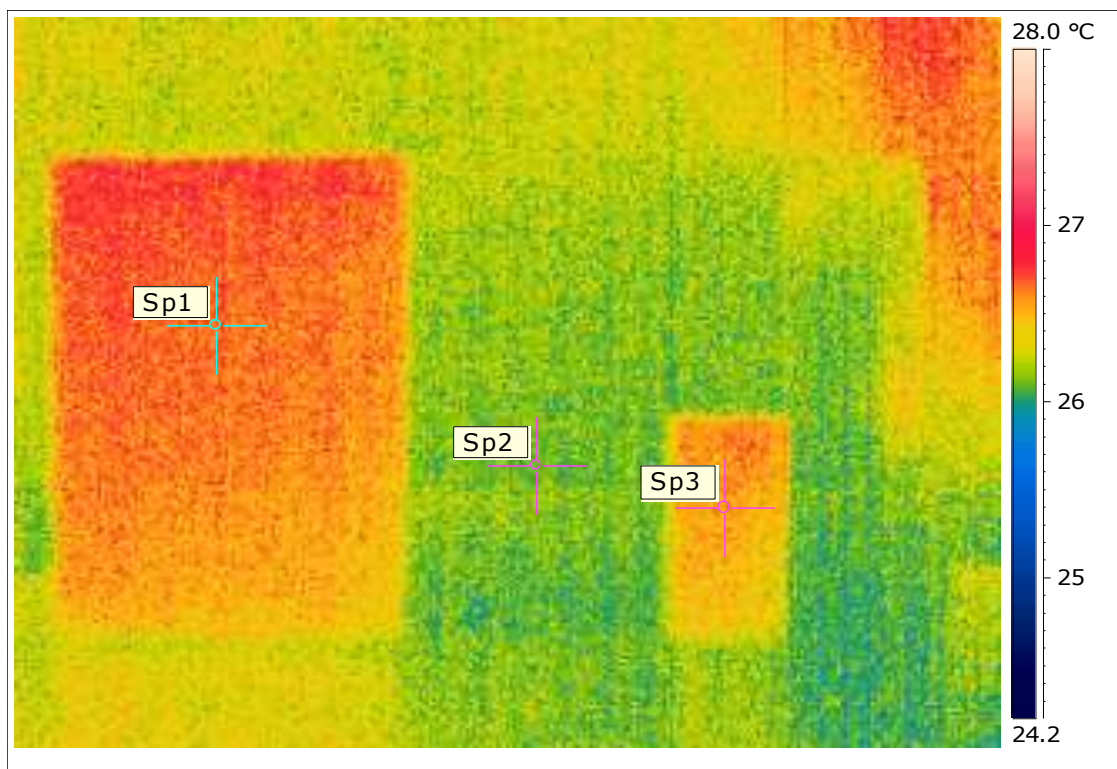
Max Temperature	26.7 °C
Min Temperature	25.2 °C
Image Title	IR_1896.jpg
Image Camera Type	ThermaCAM B4
Emissivity	0.98
Atmospheric Temperature	24.0 °C
Relative Humidity	30.0 %
Sp1 Teplota	26.2 °C
Sp2 Teplota	25.8 °C
Sp3 Teplota	26.2 °C

Snížení nastavené emisivity.



Max Temperature	28.2 °C
Min Temperature	26.8 °C
Image Title	IR_1896.jpg
Image Camera Type	ThermaCAM B4
Emissivity	0.94
Atmospheric Temperature	24.0 °C
Relative Humidity	30.0 %
Sp1 Teplota	27.7 °C
Sp2 Teplota	27.2 °C
Sp3 Teplota	27.7 °C

Na ukázce shodných snímků lze ukázat, jak nastavení emisivity povrchu ovlivní získané výsledky. Posunutím zobrazovaných intervalů teplot můžeme získat shodné termogramy. Nepatrné snížení emisivity z 0,98 na 0,94 vedlo ke zvýšení teploty povrchu o přibližně 1,5 °C.



Max Temperature	27.0 °C
Min Temperature	25.6 °C
Image Title	IR_1896.jpg
Image Camera Type	ThermaCAM B4
Emissivity	0.97
Atmospheric Temperature	24.0 °C
Relative Humidity	30.0 %
Sp1 Teplota	26.5 °C
Sp2 Teplota	26.1 °C
Sp3 Teplota	26.6 °C

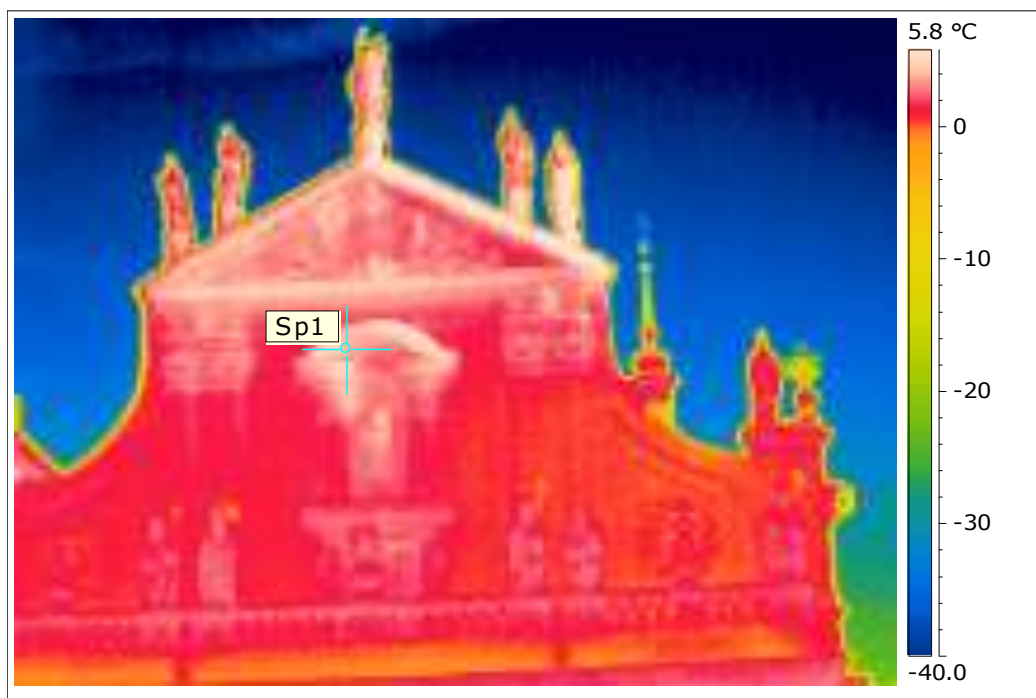
Potřebná změna emisivity povrchu cihly (měřený bod Sp2)

Rozdíl teploty povrchu měřeného bodu na dvou objektech z porovnání teplot minerální vlny, polystyrenu a cihly, který činil 0,4 °C, ačkoliv šlo o měření za jednotných podmínek, a tedy teoreticky by měly mít všechny povrchy teplotu shodnou. Uvedený rozdíl představuje uvažovat pro bod Sp2 lokální změnu emisivity z 0,98 na 0,97 oproti okolí, což je dokázáno na předchozím obrázku

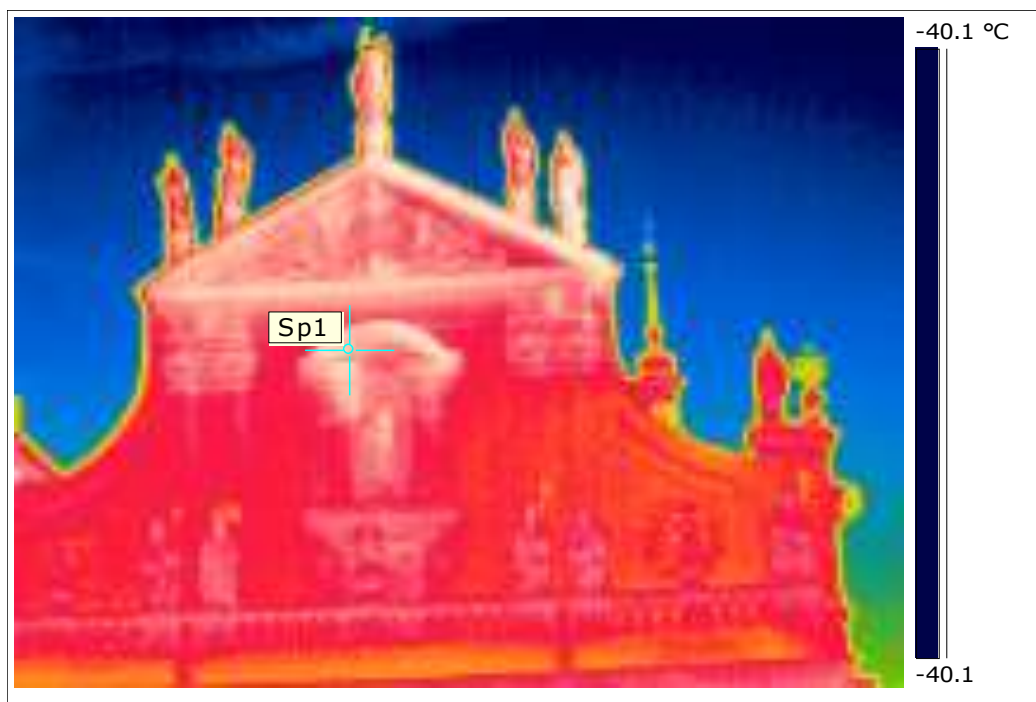
Možný vliv emisivity a imisivity lze pozorovat i na následující ukázce informační tabule s nápisem, přičemž rozdílná zdánlivá teplota různých částí plakátu není zřejmě dána emisivitou povrchu, ale imisivitou, kdy světlejší odstíny barvy byla méně ohřáty sáláním prostředí.



Následující 2 termogramy jsou totožné, pouze je u jednoho nastavena emisivita materiálu 0,9 a u druhého 0,09. Z přiložených tabulek je patrný rozdíl ve zdánlivé povrchové teplotě.



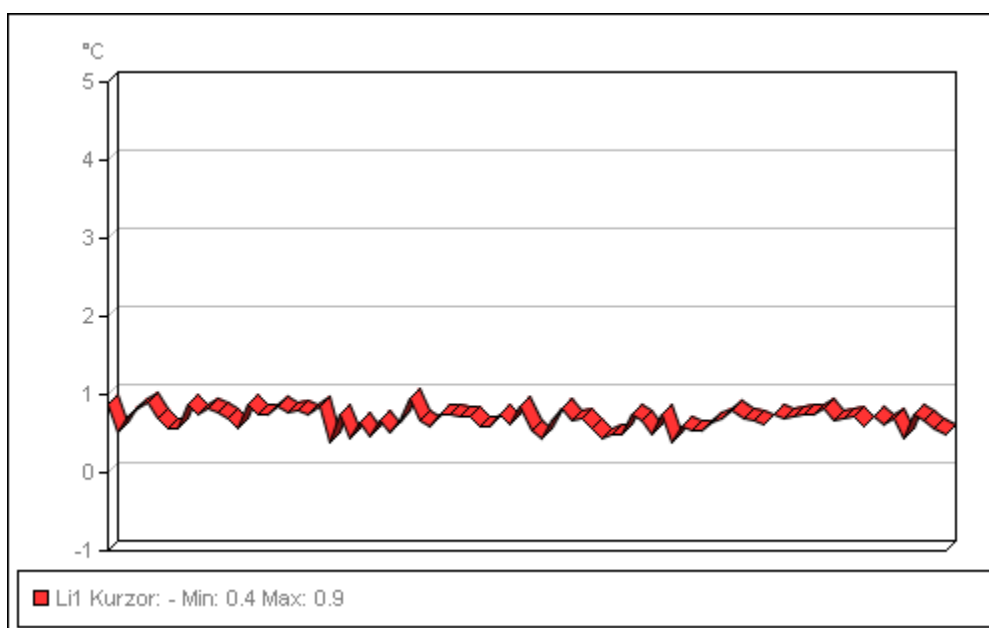
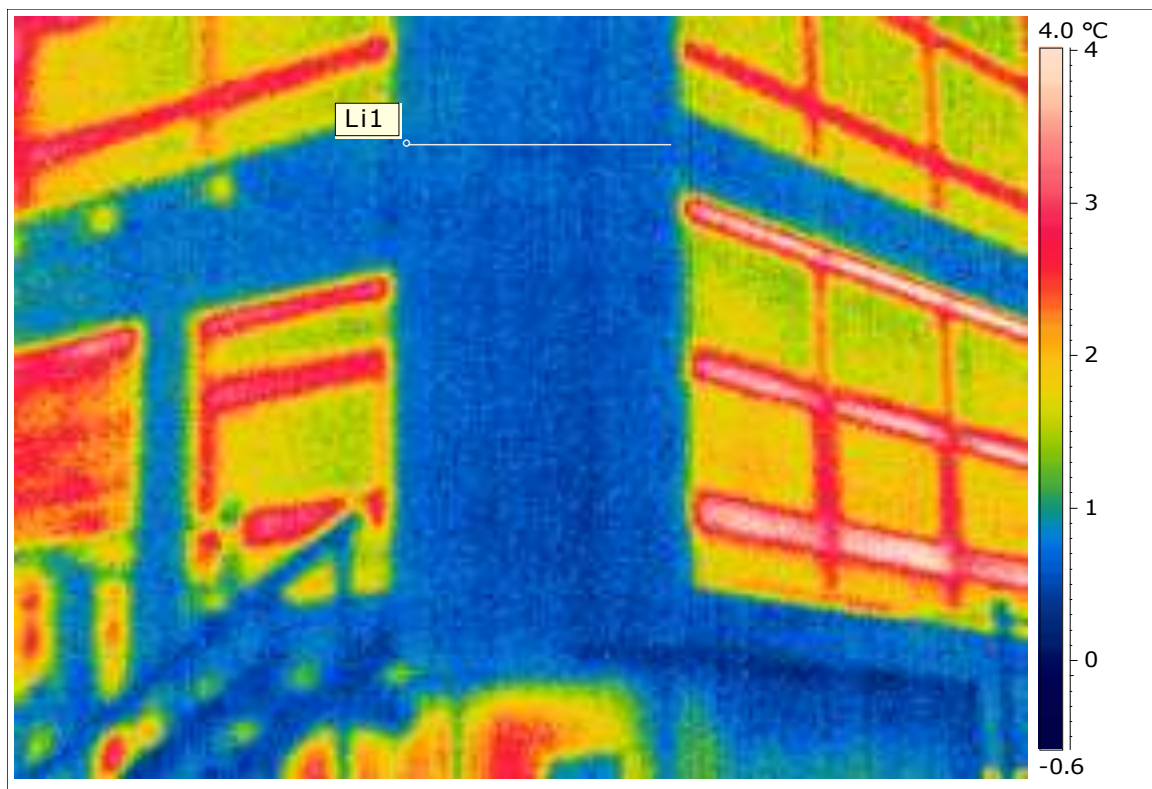
Date	11.1.2008
Filename	IR_0365.jpg
Max Temperature	7.1 °C
Min Temperature	<-40.0 °C
Sp1 Teplota	3.4 °C
Sp1 Emisivita	0.90



Date	11.1.2008
Filename	IR_0365.jpg
Max Temperature	<-40.1 °C
Min Temperature	<-40.1 °C
Sp1 Emisivita	0.09
Sp1 Teplota	<-40.1 °C
Sp1 Teplota	<-40.1 °C
Sp1 Emisivita	0.09

Ukázka měření rohu budovy

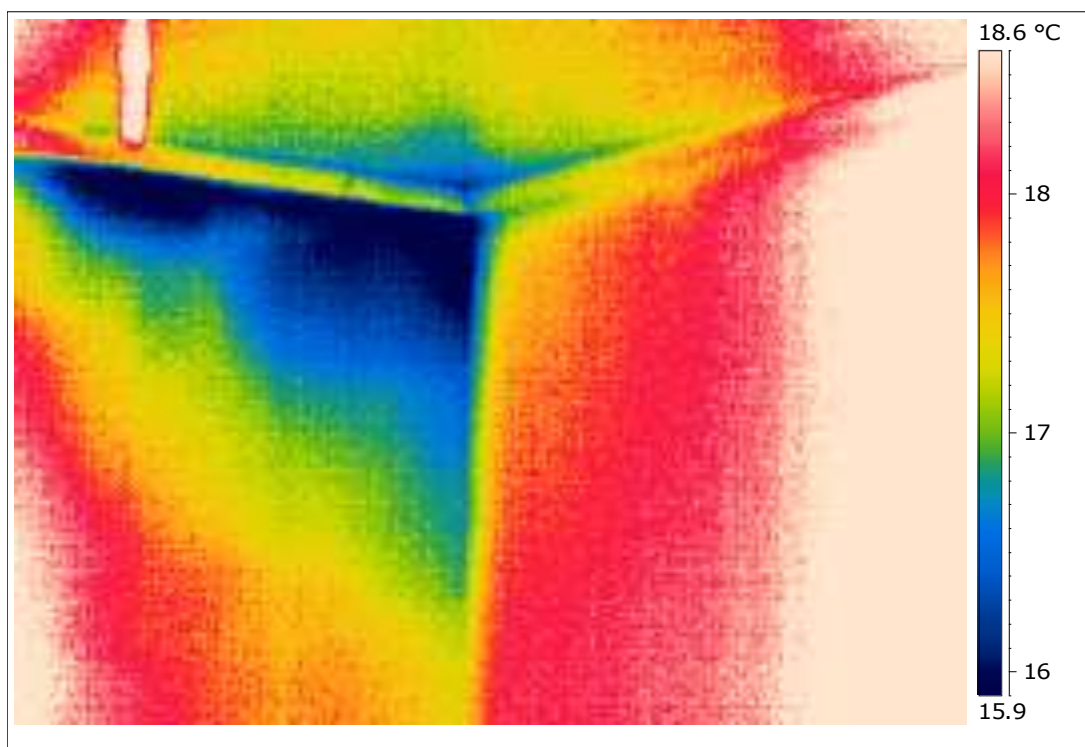
Úkolem bylo pomocí termografie zjistit, zda a případně jak výrazný tepelný most vzniká v rohu budovy, která byla opláštěna ohýbaným sendvičovým panelem. Proto bylo za stanoviště zvoleno takové místo, kde je sklon obou sousedních stěn s měřícím paprskem shodný, viz termogram a fotografie.



Ilustrativní foto měřeného objektu.

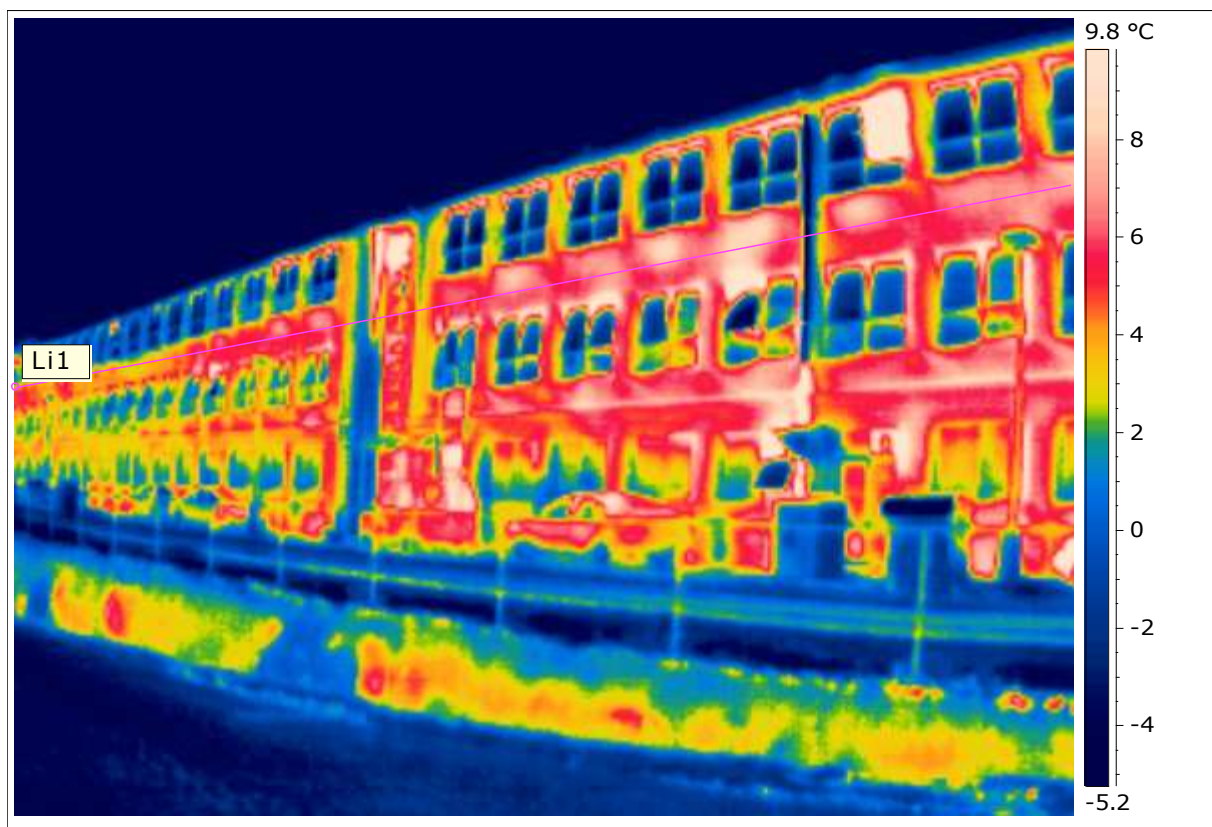


I kouty by se měly měřit tak, aby stěny pokud možno svíraly s měřicími paprsky stejný úhel – jinak může dojít k chybné interpretaci měření

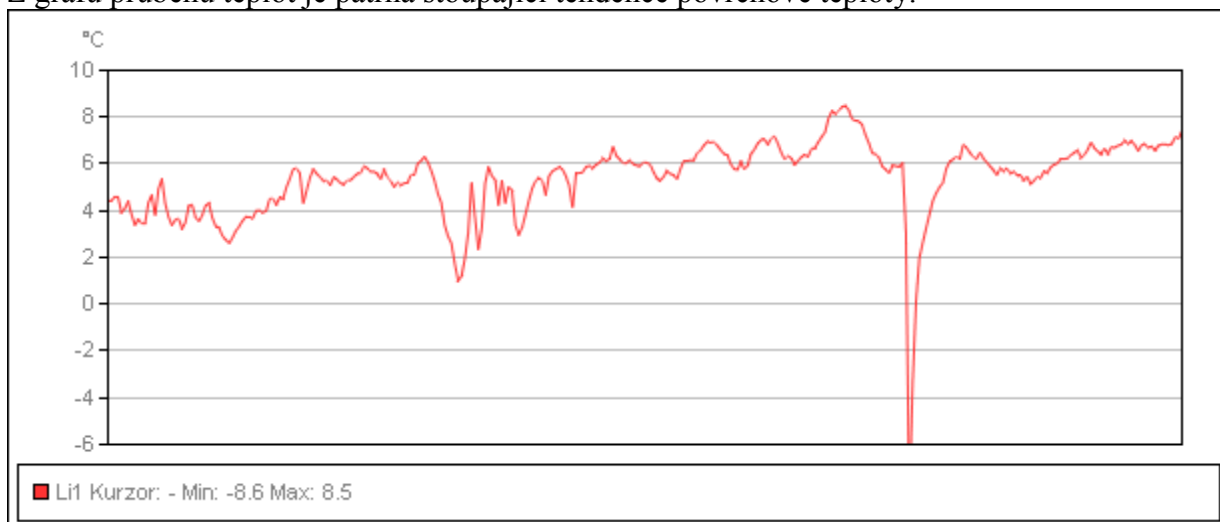


Vliv vzdálenosti objektu

Na následujícím termogramu je zdánlivá teplota vzdálenější části nižší. To je dáno jednak větší vzdáleností objektu a dále směrovostí emisivity, kdy materiál má nižší schopnost vyzařovat teplo pod ostřejším úhlem.

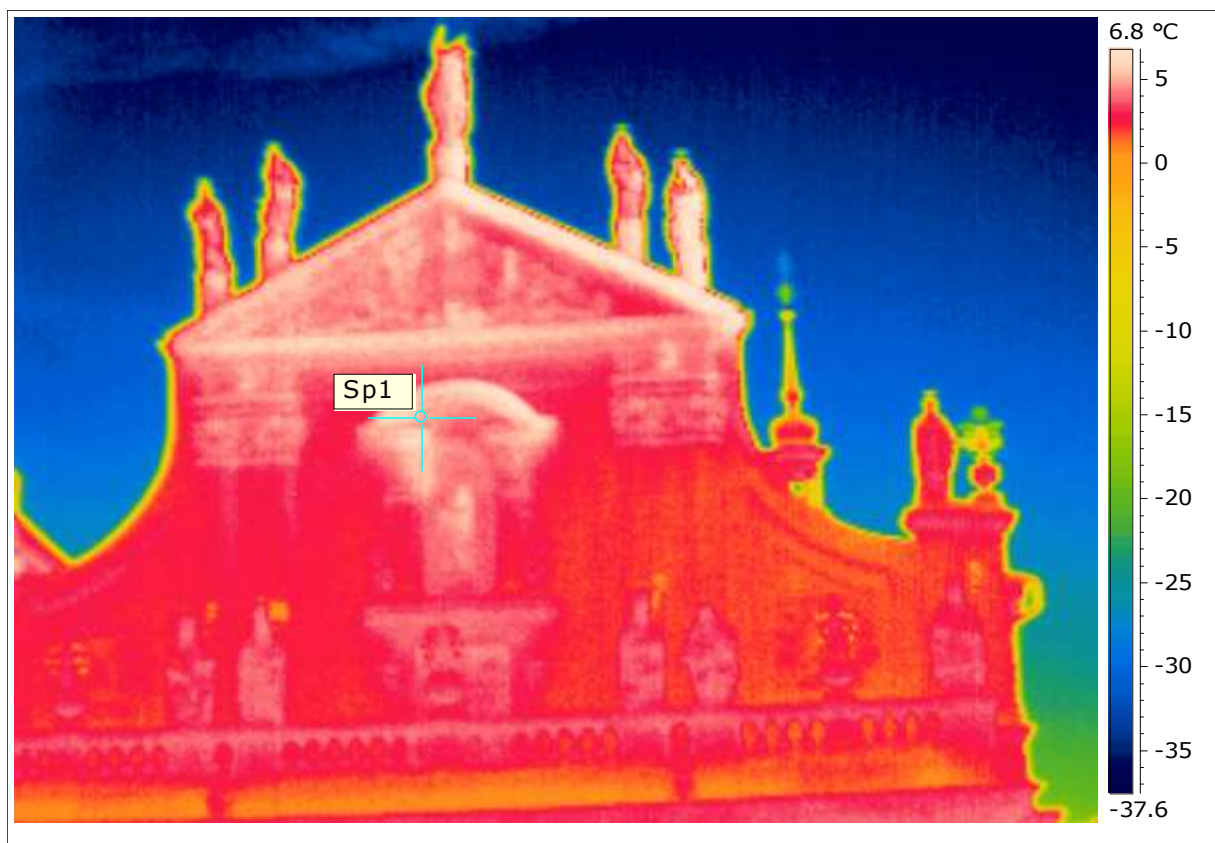


Z grafu průběhu teplot je patrná stoupající tendence povrchové teploty.

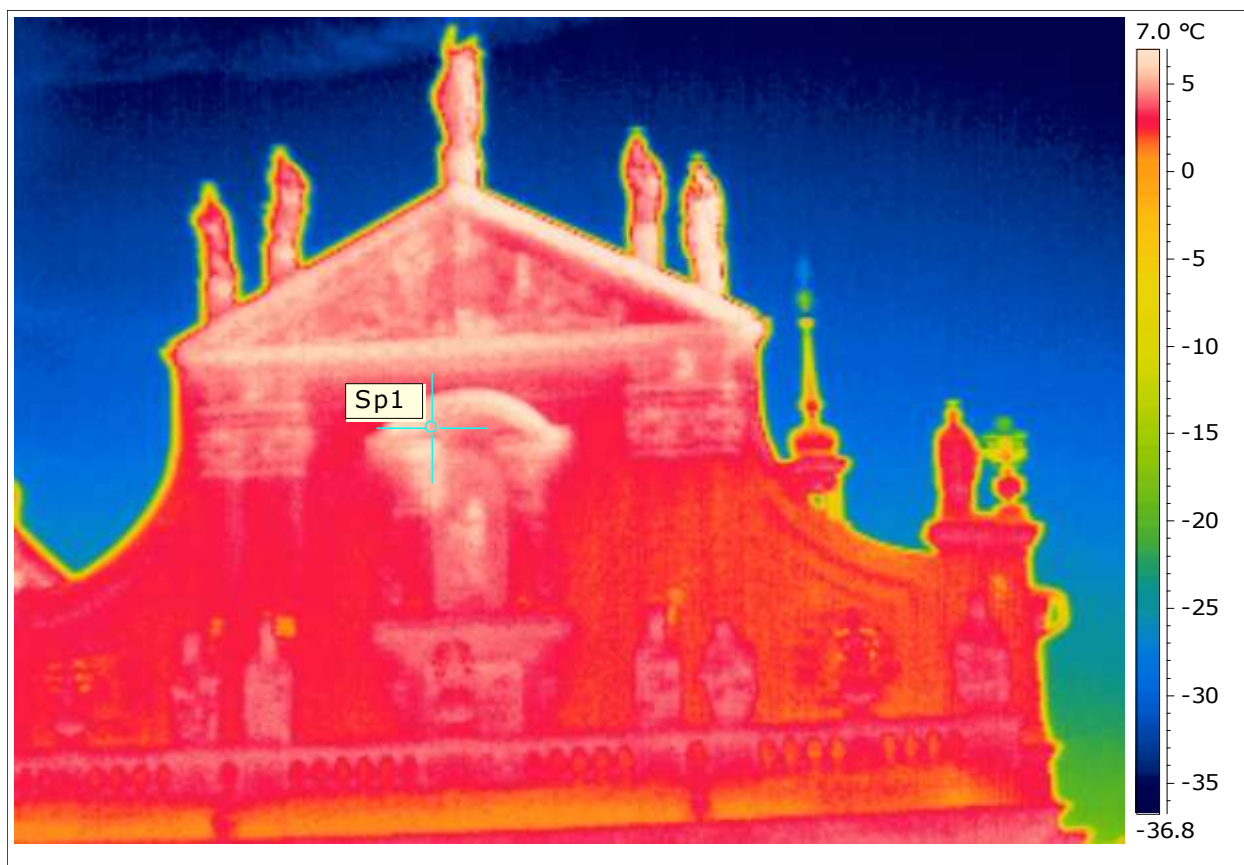


Vliv teploty okolí na zdánlivou teplotu objektu

Následující 2 termogramy jsou totožné, pouze je u jednoho nastavena teplota okolí +20 °C a u druhého -20 °C. Z přiložených tabulek je patrný rozdíl ve zdánlivé povrchové teplotě. Mimochodem jde o termogram kostela, takže jeho povrchová teplota by měla být v této části průčelí všude stejná.



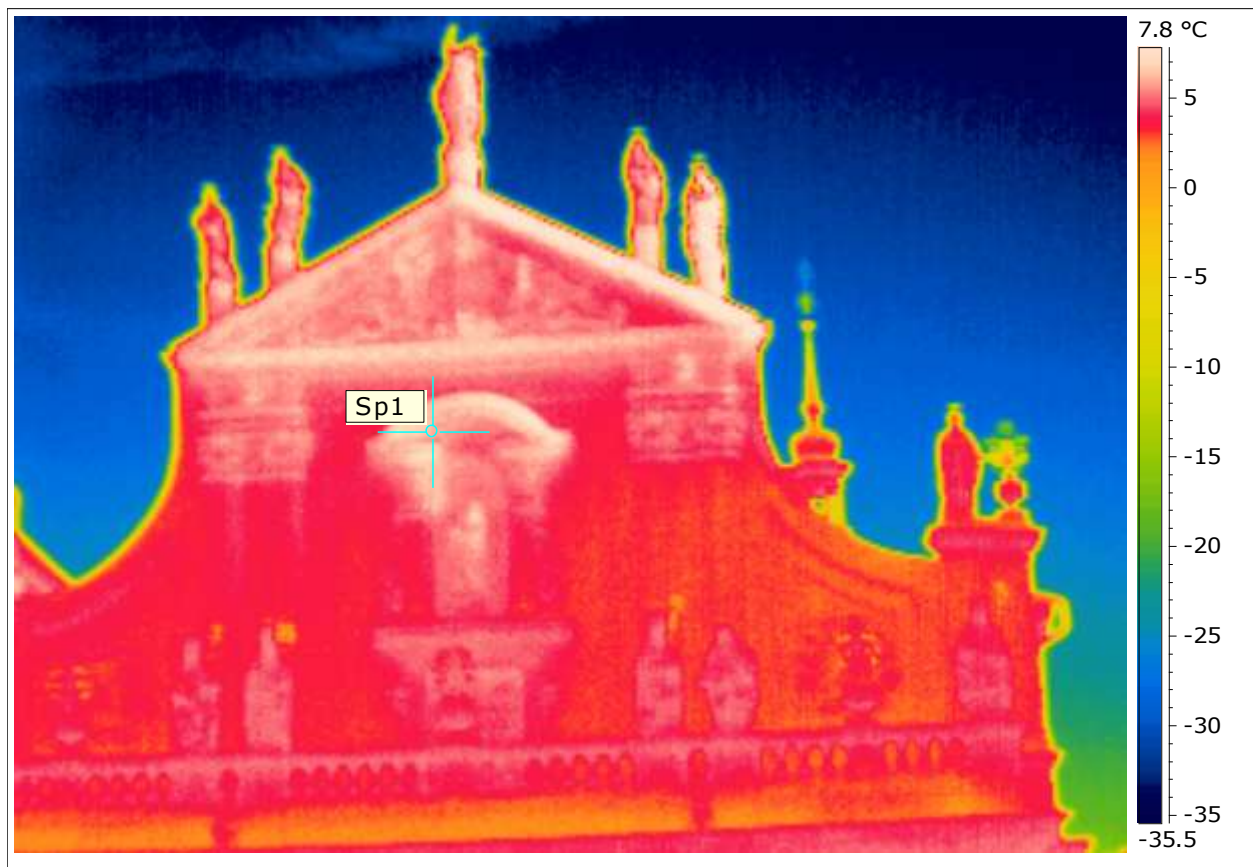
Atmosférická teplota	20.0 °C
Sp1 Teplota	4.6 °C



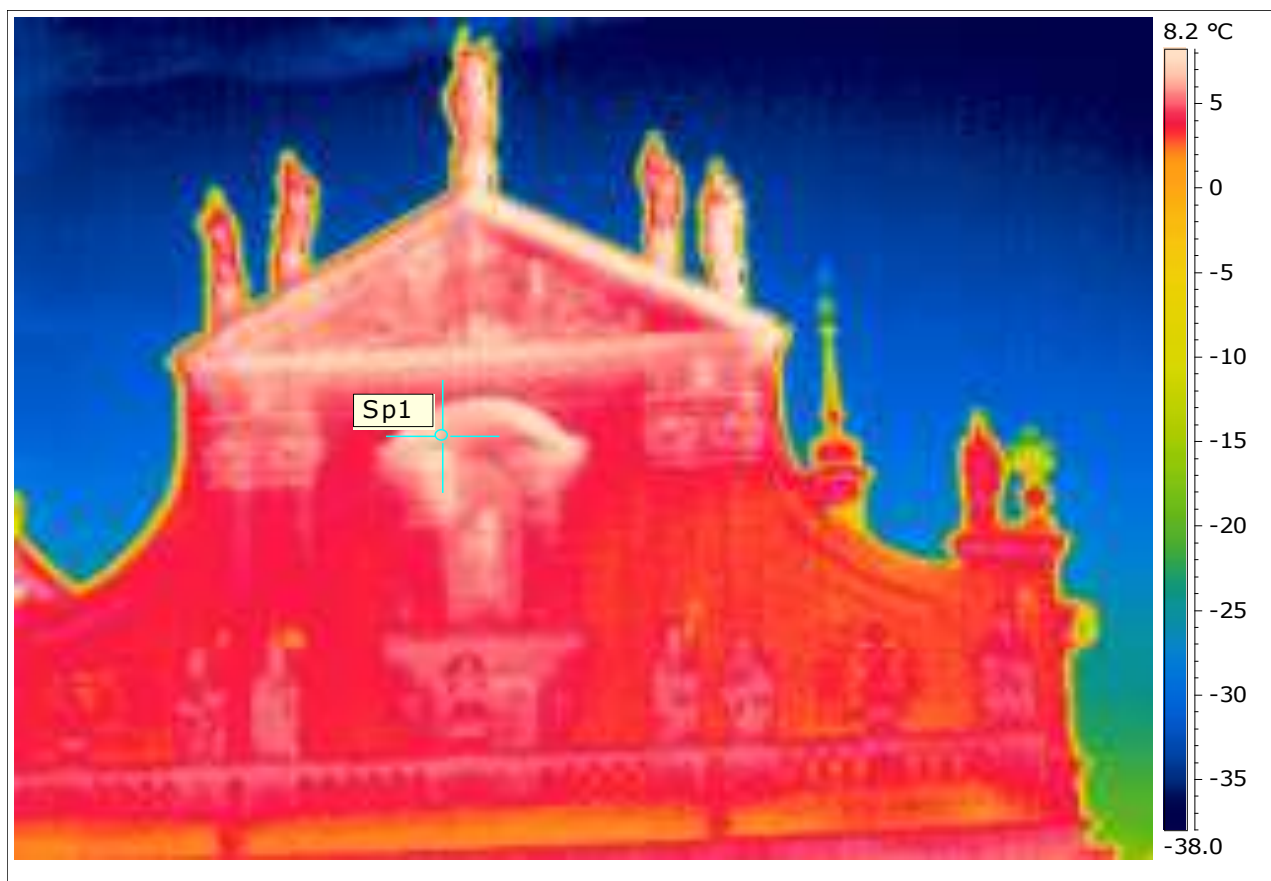
Atmosférická teplota	-20.0 °C
Sp1 Teplota	4.8 °C

Vliv vzdálenosti objektu na zdánlivou teplotu objektu

Následující 2 termogramy jsou totožné, pouze je u jednoho nastavena vzdálenost 2 m a u druhého 200 m. Z přiložených tabulek je patrný rozdíl ve zdánlivé povrchové teplotě.



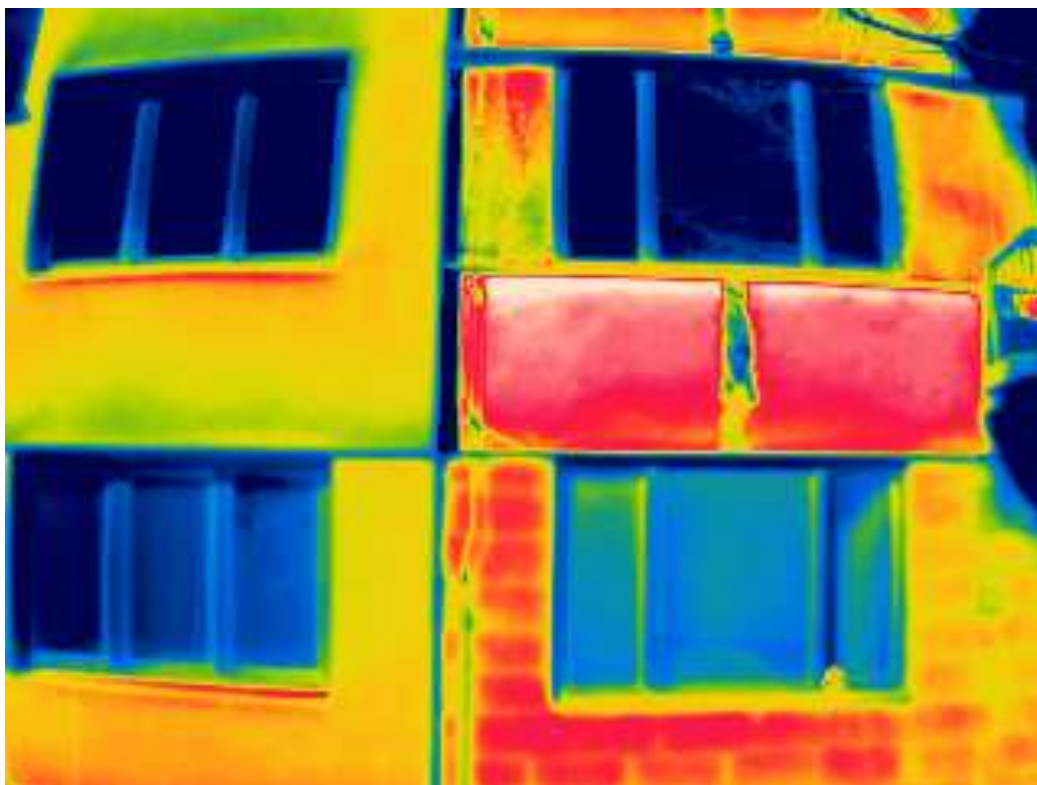
Vzdálenost objektu	2.0 m
Sp1 Teplota	5.7 °C



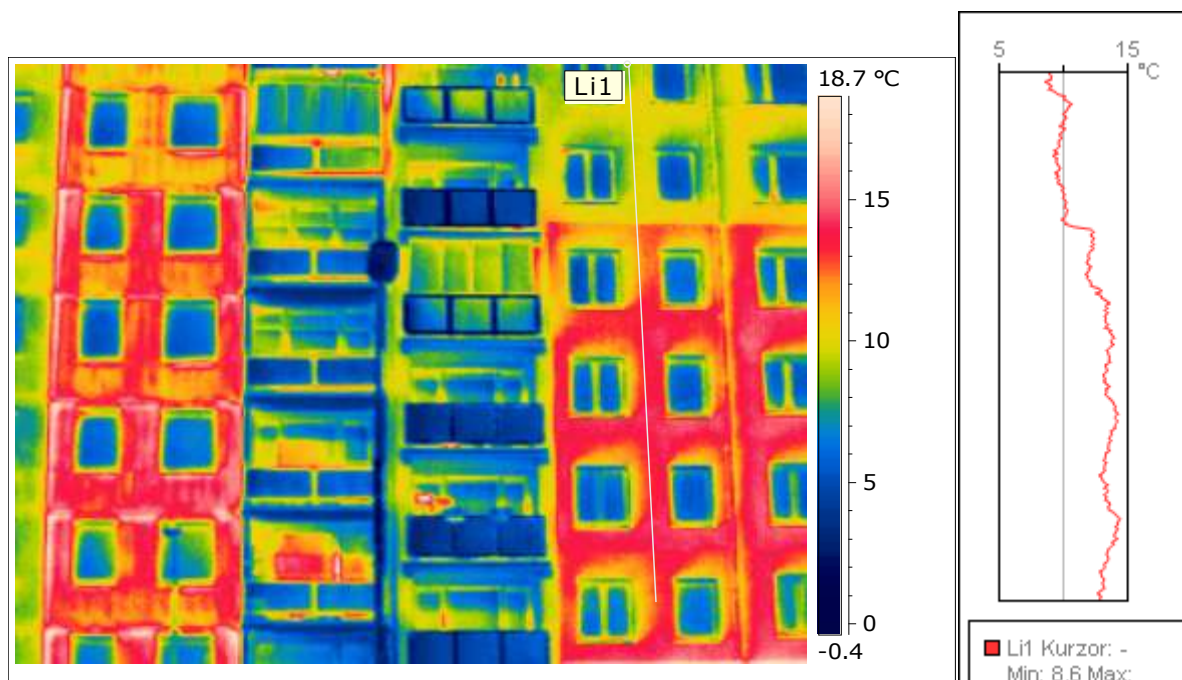
Vzdálenost objektu	200.0 m
Sp1 Teplota	5.9 °C

Vliv teploty okolních předmětů na zdánlivou teplotu objektu

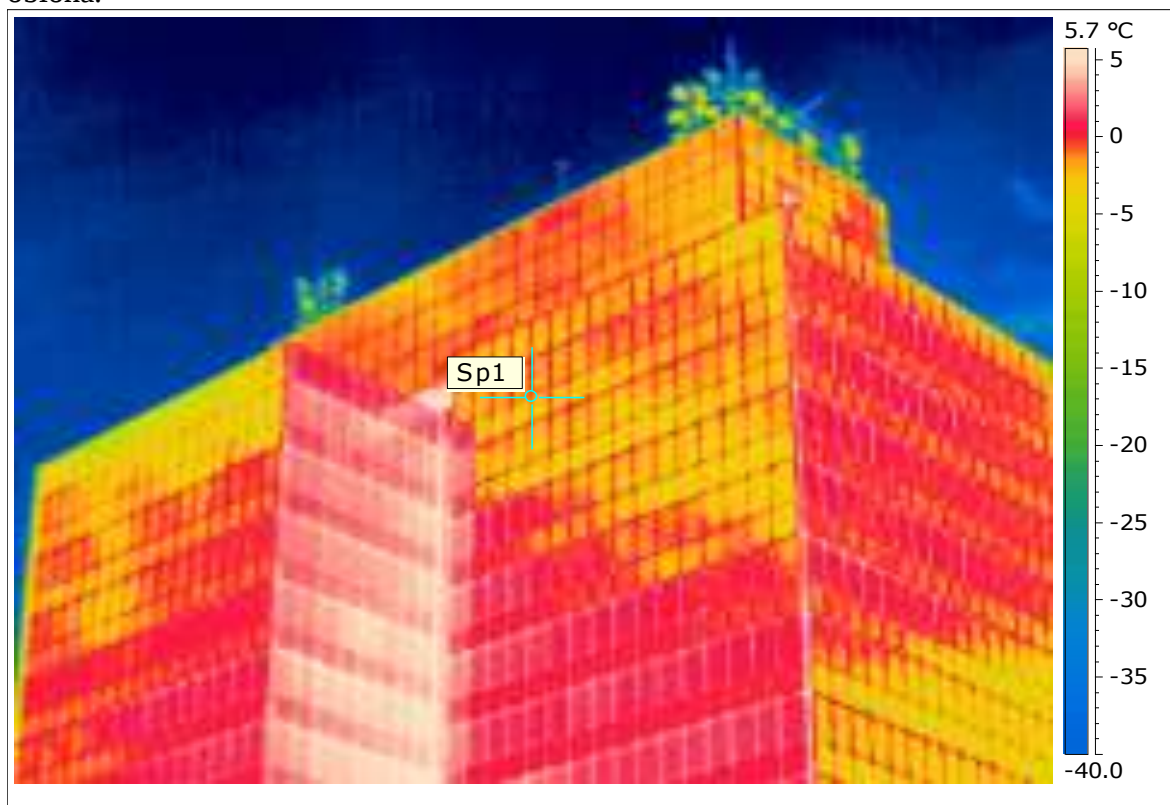
Na následujícím termogramu je patrný odraz relativně teplých větví stromu na okně a na fasádě. Ostatní plocha je ovlivněna vzájemným sáláním velmi studené oblohy.



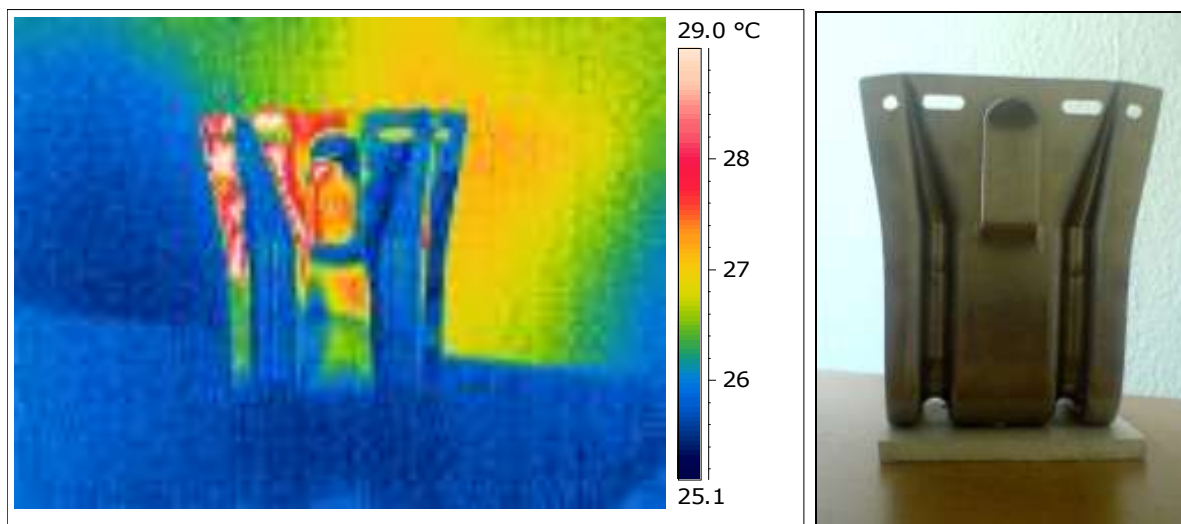
Na termogramu je patrné skokové snížení teploty v posledních dvou podlažích. To také dokumentuje graf průběhu teploty. Změna zdánlivé teploty je dána tím, že dolní patra si vyměňují energii sáláním s okolními domy, horní podlaží jsou již vystavena expozici „studené“ radiace oblohy.



Na následujícím termogramu je patrný i odlesk mraků, které mají vyšší teplotu než jasná obloha.



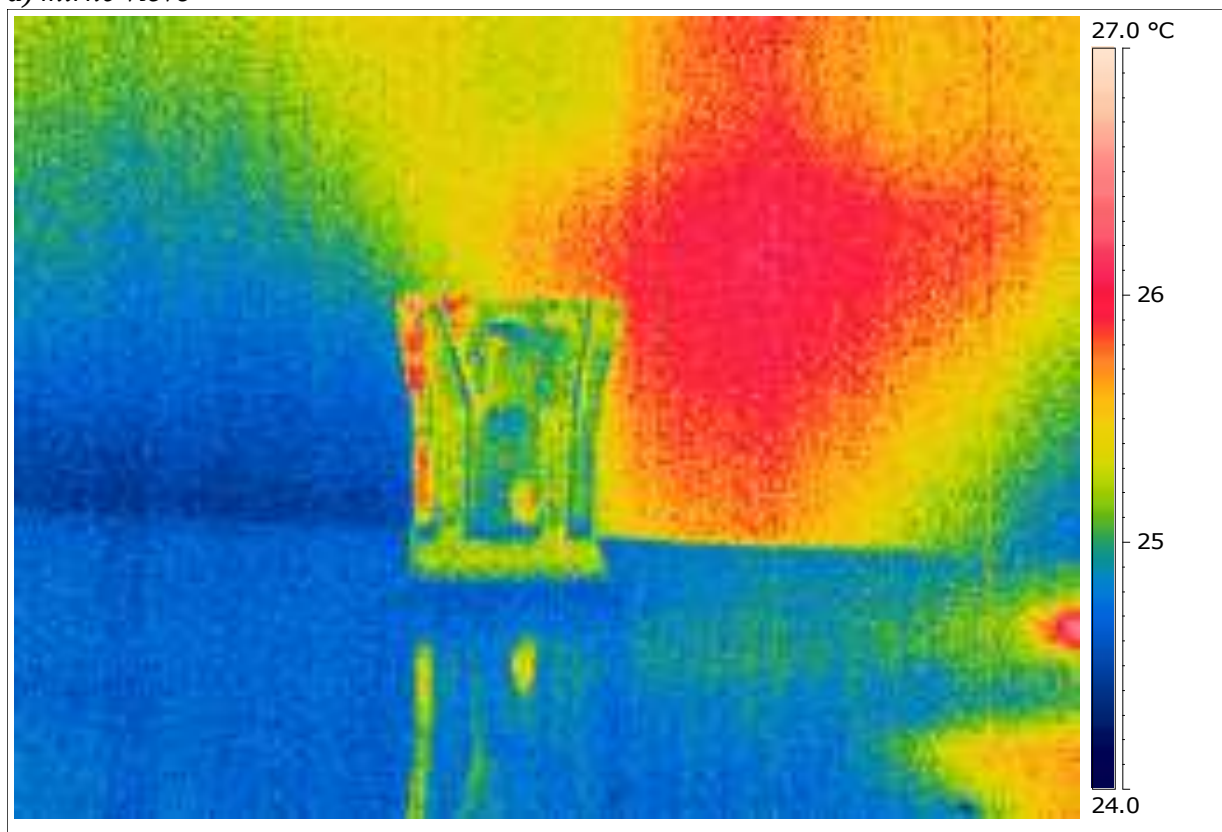
Ke shodnému úkazu došlo i při snímání spidi kotvy. Na obrázku je viditelná teplejší plocha na levé straně, k čemuž došlo reflexí záření, které je vyzařováno z těla měřicí osoby, od kovového povrchu kotvy.



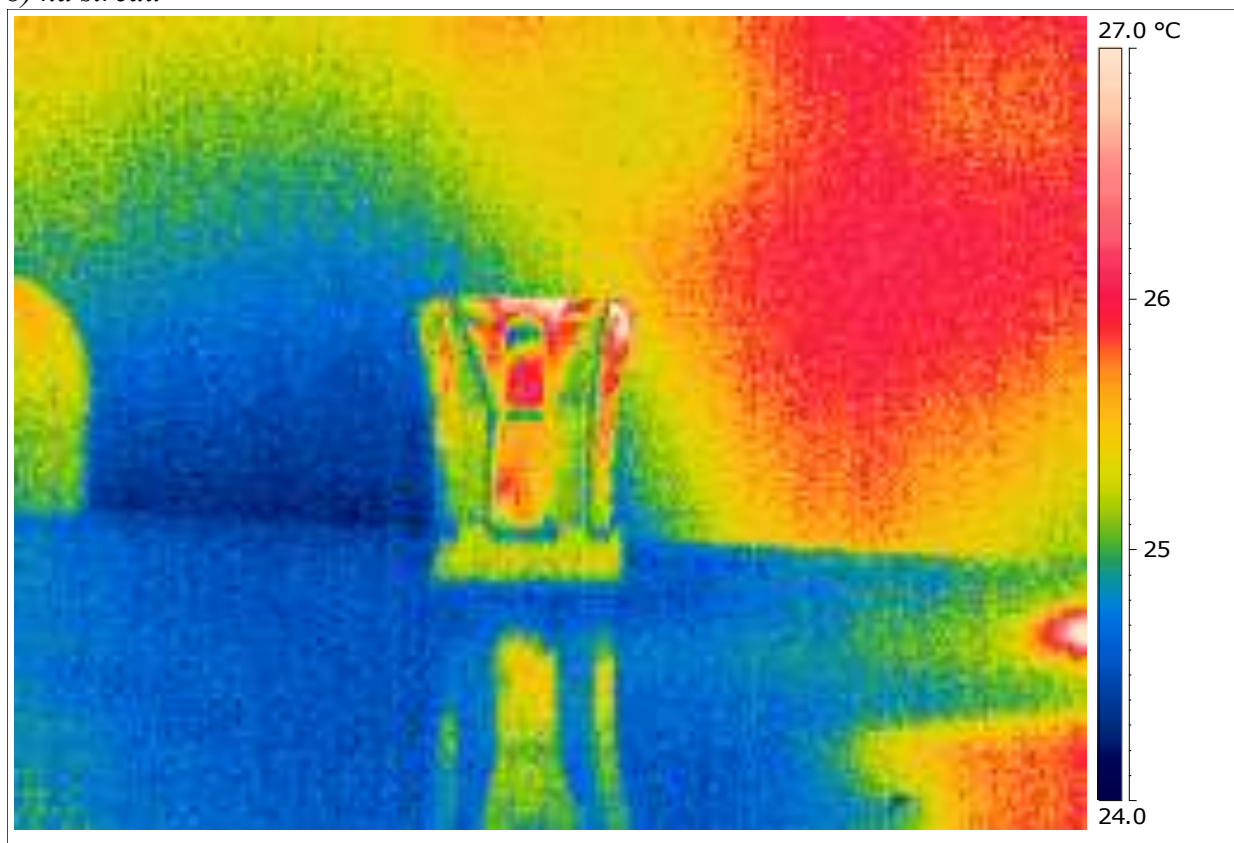
Na dalších obrázcích si lze všimnout, jak se na objektu mění poloha plochy, na níž dochází k odrazu v závislosti na postavení měřicí osoby. Obrázky jsou srovnány do jednotného teplotního rozmezí 24 °C až 27 °C.

Místa reflexe záření na spidi kotvě v závislosti na postavení měřicí osoby.

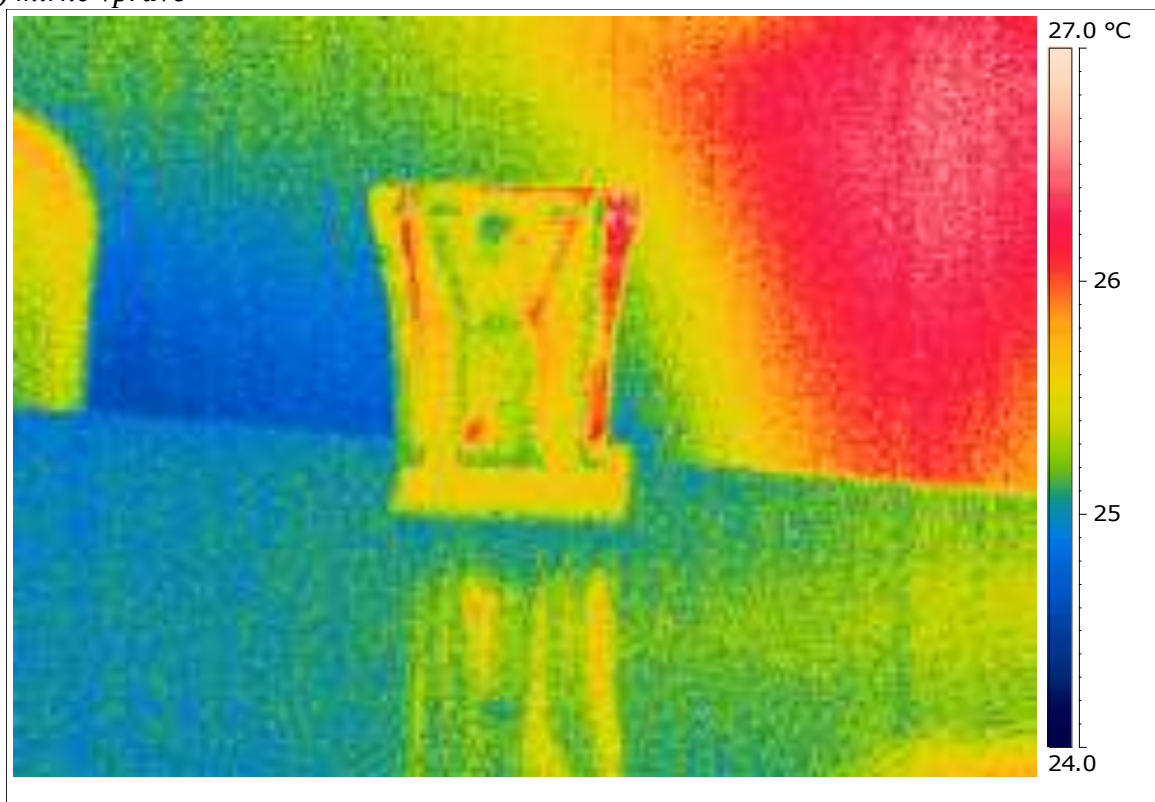
a) mírně vlevo



b) na středu

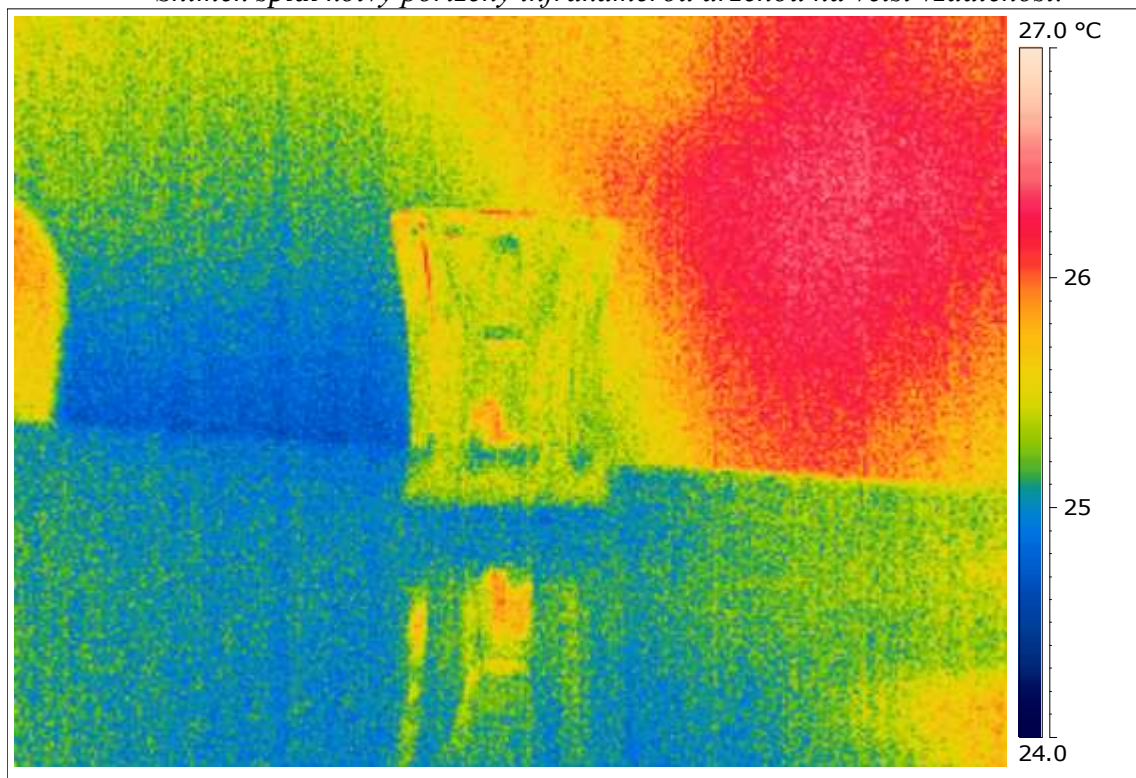


c) *mírně vpravo*



Z termogramů je patrné, že i měřící osoba, případně jím vnesené předměty mohou ovlivnit měření. To je častější zejména u materiálů s nízkou emisivitou a tím i nízkou imisivitou, neboť energie neemitovaná do měřeného objektu je jím odražená. Pro srovnání je uveden termogram pořízený tak, že měřící osoba držela infrakameru na větší vzdálenost, a proto nedocházelo k přímému odrazu tepelného záření, který by infrakamera zachytila.

Snímek spidi kotvy pořízený infrakamerou drženou na větší vzdálenost.



I v tomto případě mají některé plochy mírně vyšší zdánlivou teplotu, což je dáno odrazem od rukou.

Příčiny vyšší teploty soklu

Na termogramu je objekt s evidentní vyšší teplotou soklu. Příčin této zvýšené teploty může být několik.

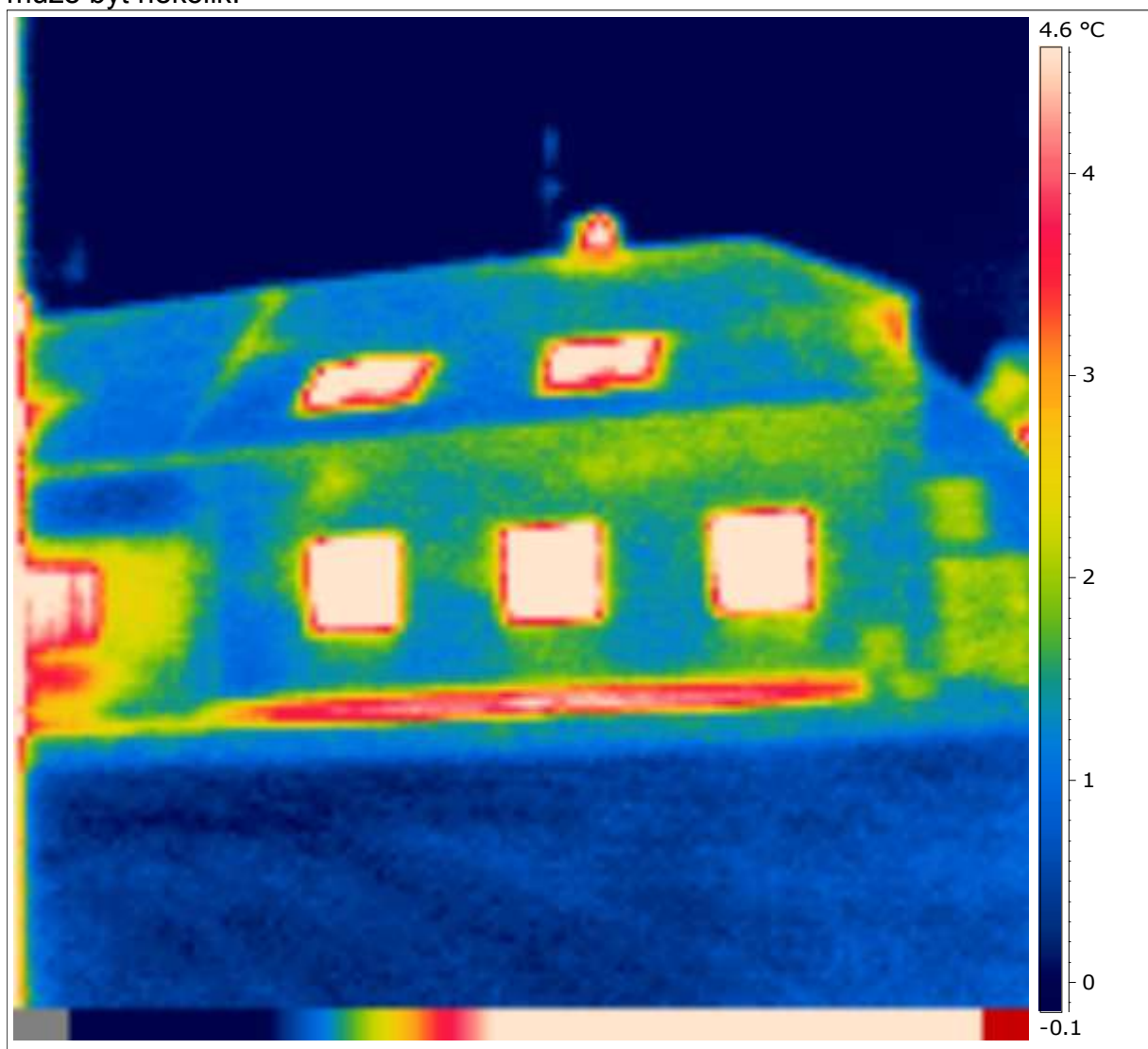


Schéma úniku tepla z interiéru mající vliv na vyšší teplotu soklu.

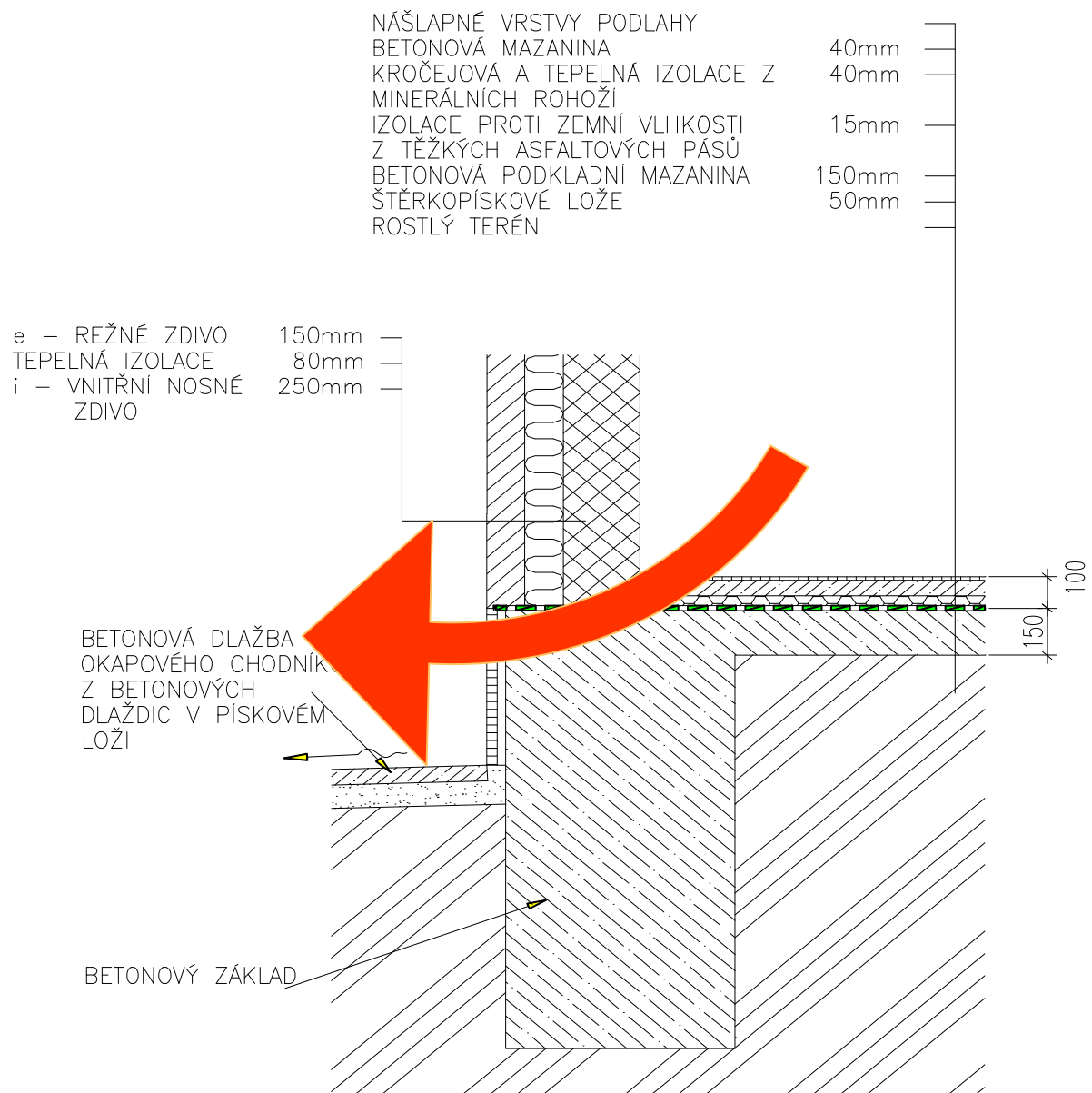


Schéma ohřevu soklu teplotou zeminy z podzákladí.

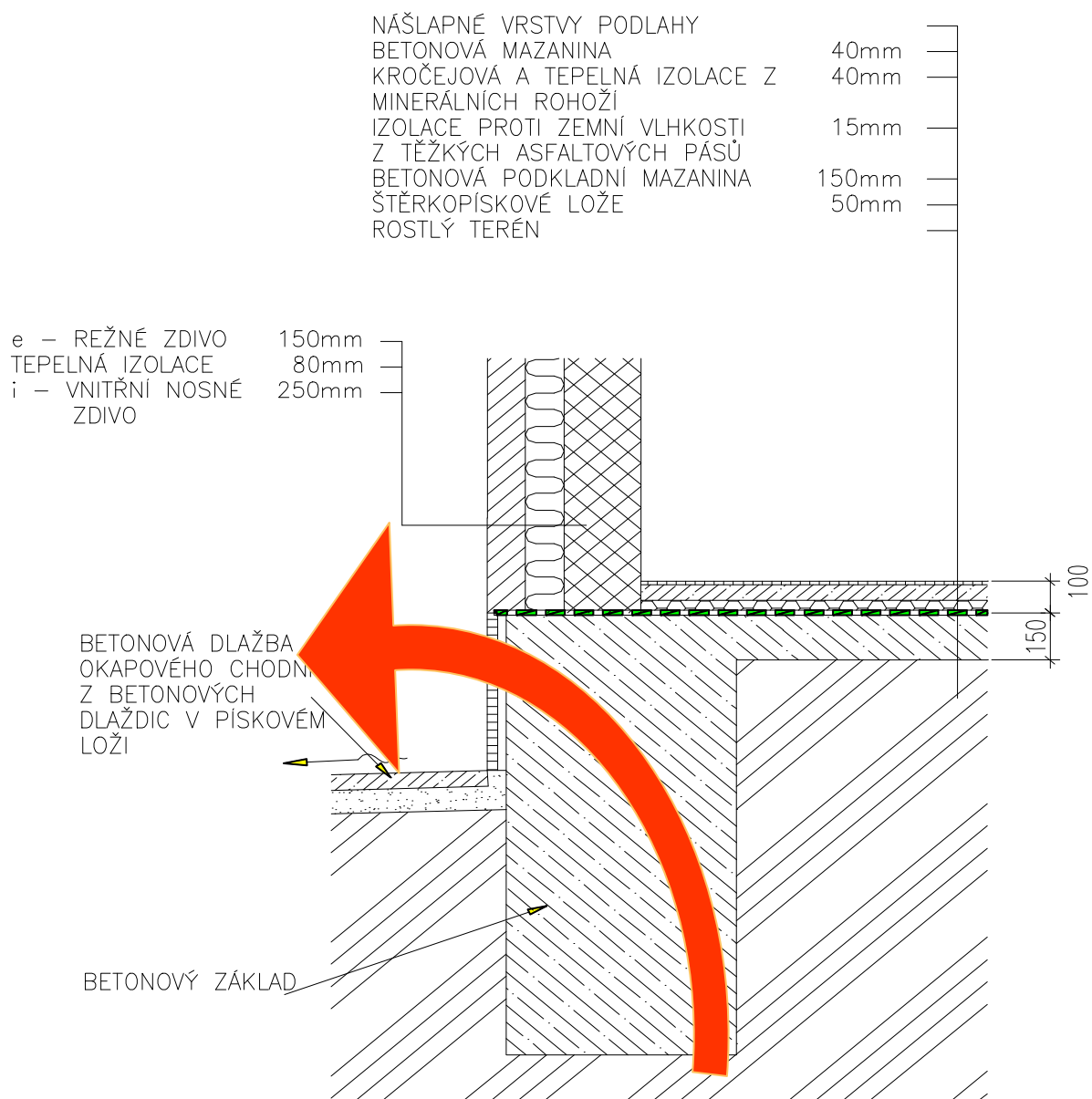
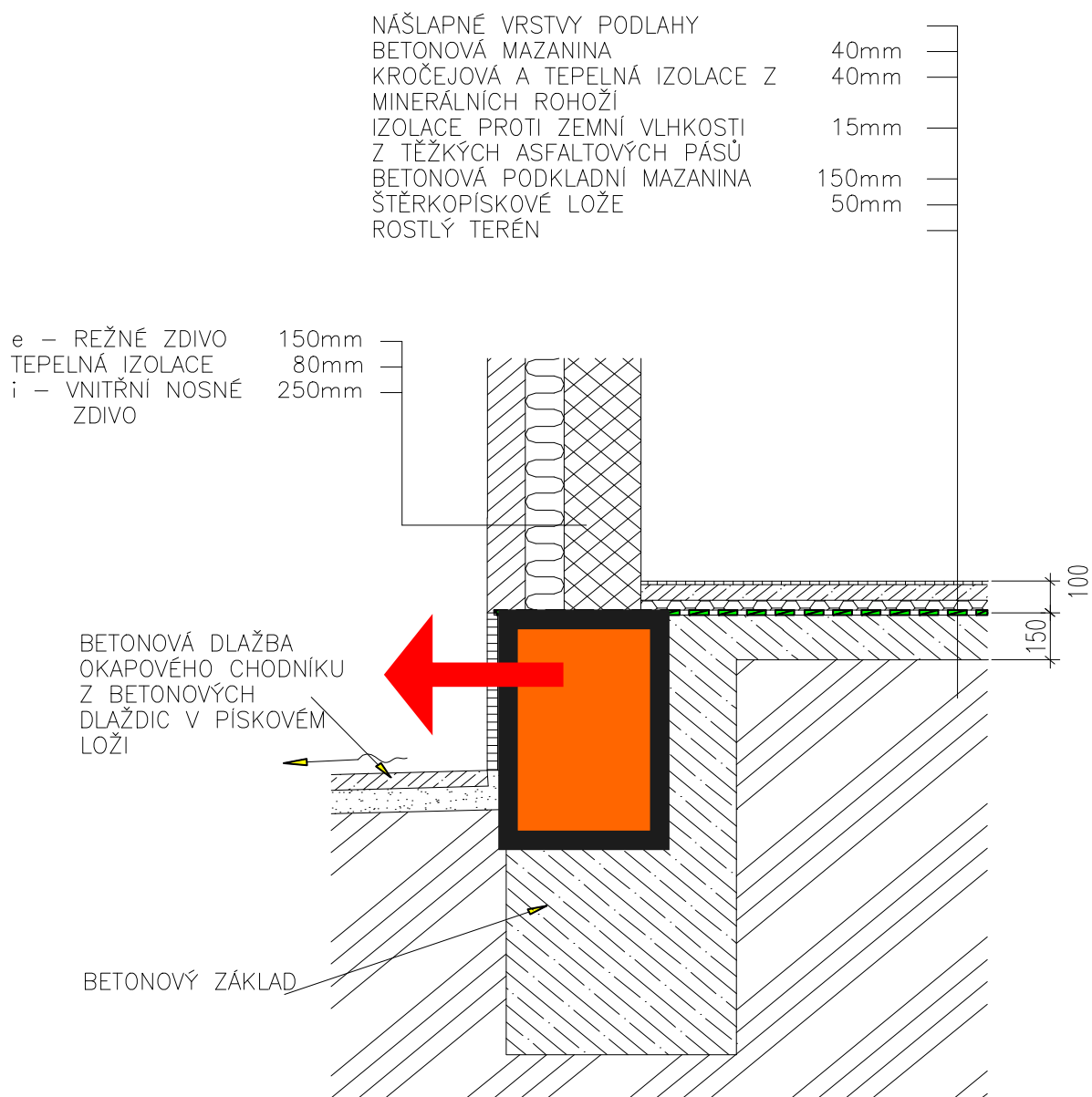
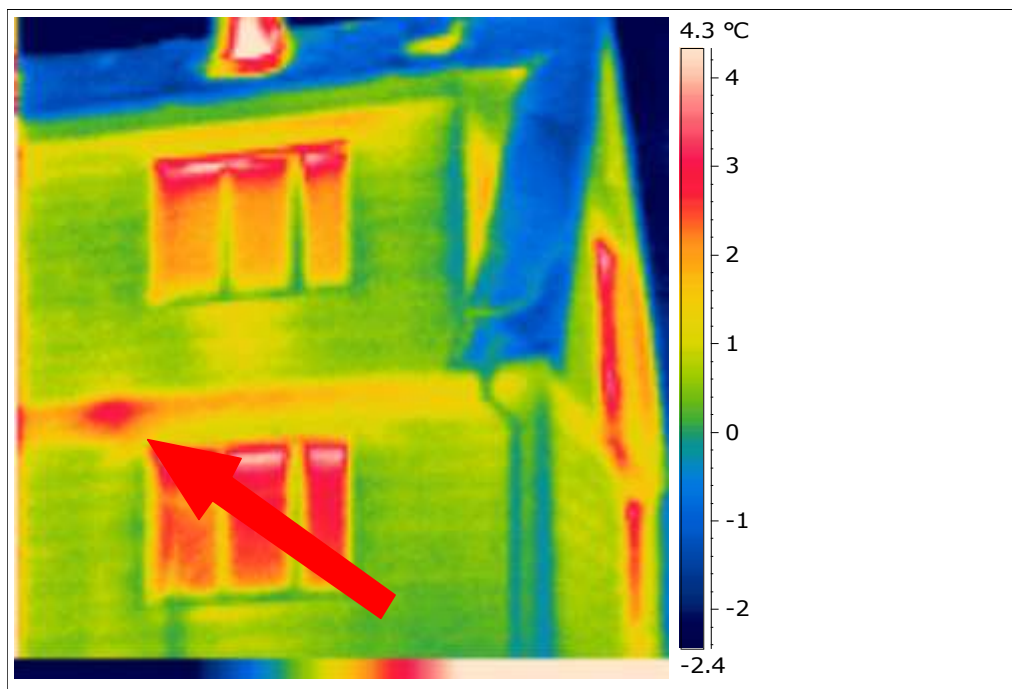


Schéma vyšší teploty soklu vlivem akumulace materiálu.



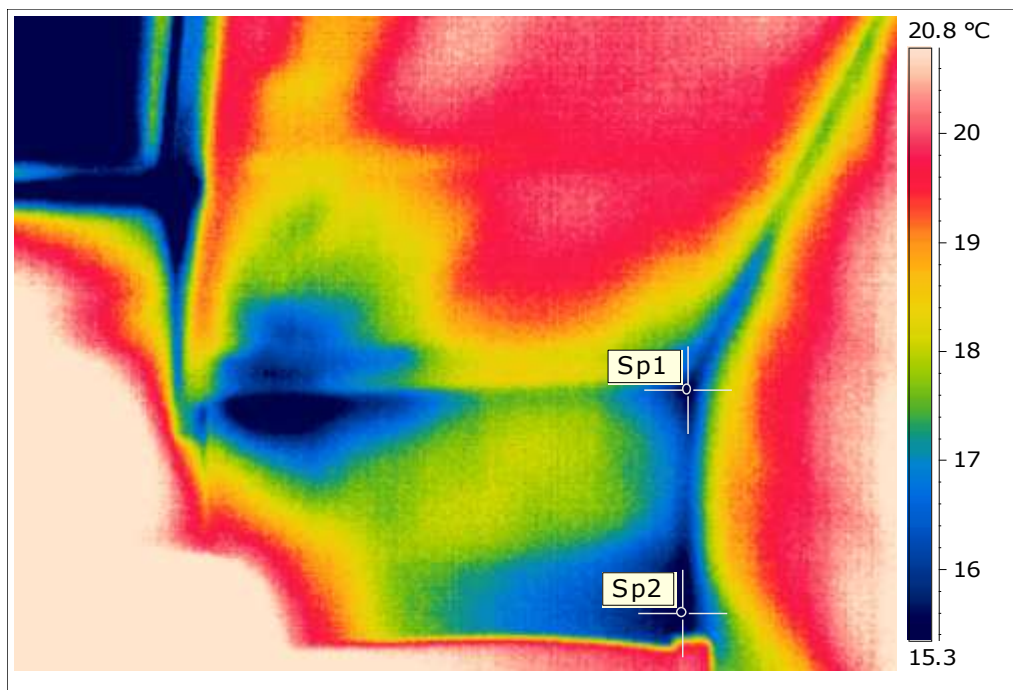
Ukázka vlivu lokálního zdroje tepla

Teplejší místo označené šipkou není vlivem lokálního zhoršení tepelně izolačních vlastností, nýbrž lokálním zdrojem tepla.



Vliv přestupu tepla na povrchovou teplotu

V bodě 1 je bodový tepelný most a zároveň tepelná vazba způsobená napojením konstrukcí v rohu a zároveň přítomností ztužujícího věnce a pozednice. V bodě 2 jde o sníženou teplotu vlivem vyššího odporu při přestupu tepla (jde o místo za postelí, kde je pohyb vzduchu velmi omezen).



Sp1 Teplota	15.3 °C
Sp2 Teplota	15.0 °C

Ukázka vlivu lokálního zdroje tepla

Na následujících termogramech bylo simulováno různé rozlišení termokamery různou vzdáleností měřeného objektu. Se vzrůstající vzdáleností klesá rozlišení, resp. zvětšuje se velikost bodu, který zaznamenává teplotu.



Ar1 Max. Teplota 35.4 °C

*Termovizní snímek obličeje s výřezem v okolí očí ze vzdálenosti cca 1 m.
Velikost jednoho zobrazovaného bodu 1,39 mm.*



Ar2 Max. Teplota 35.4 °C

*Termovizní snímek obličeje s výřezem v okolí očí ze vzdálenosti cca 2 m.
Velikost jednoho zobrazovaného bodu 2,77 mm.*



Ar3 Max. Teplota 34.8 °C

*Termovizní snímek obličeje s výřezem v okolí očí ze vzdálenosti cca 3 m.
Velikost jednoho zobrazovaného bodu 4,16 mm.*



Ar4 Max. Teplota	32.8 °C
------------------	---------

*Termovizní snímek obličeje s výřezem v okolí očí ze vzdálenosti cca 5 m.
Velikost jednoho zobrazovaného bodu 6,93 mm.*



Ar1 Max. Teplota 32.7 °C

*Termovizní snímek již celé postavy ze vzdálenosti cca 7,5 m.
Velikost jednoho zobrazovaného bodu 10,39 mm.*



*Termovizní snímek již celé postavy ze vzdálenosti cca 10 m.
Velikost jednoho zobrazovaného bodu 13,86 mm.*

Tabulka termokamer a jejich rozlišení

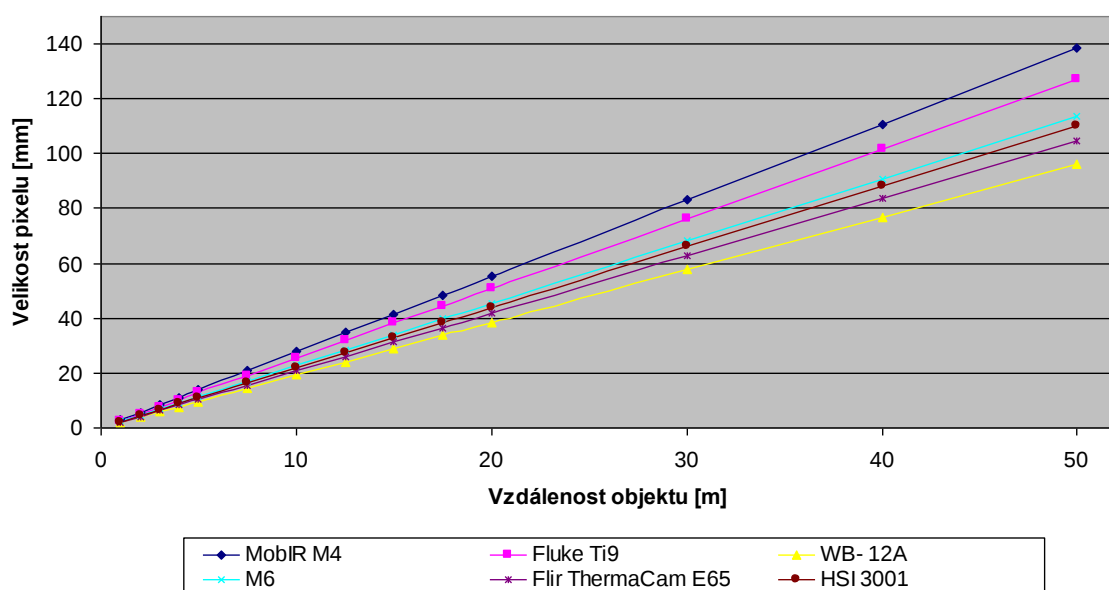
Snížování teploty se v tomto případě děje na základě rostoucích rozměrů pixelu, které bude výpočtem dále odůvodněno, v důsledku různé vzdálenosti měřeného objektu, a tudíž průměrování hodnot z větší plochy. Zvětšování rozměrů zobrazovaných bodů se vzdáleností měřeného objektu infrakamer s různým rozlišením a zobrazovacími úhly je patrné v následujících tabulkách.

poř. č.	Označení infrakamery	Rozlišení		Pozor.úhel	
		hor.	ver.	hor. [°]	ver. [°]
1	InfraTec VarioCam hr basic	320	240	25	19
2	InfraTec VariCam hr inspect	384	288	30	23
3	InfraTec VariCam hr inspect	640	480	30	23
4	Flir i5	80	80	17	17
5	Termoteknix VisIR 640-P	640	488	25,8	19,5
6	Land ThermoPro TP8	384	288	22	16
7	MobIR M2	120	120	18,9	18,9
8	MobIR M4	160	120	25	19
9	Fluke Ti9	160	120	23	17
10	Fluke Ti20	128	98	20	15
11	Fluke TiR3	320	240	23	17
12	WB- 12A	160	120	17,5	13,1
13	WI-28+	320	240	21	15
14	M6	160	120	20,6	15,5
15	Flir ThermaCam B640	640	480	24	18
16	Flir ThermaCam B200	200	150	25	19
17	Flir ThermaCam B400	320	240	25	19
18	Flir b40	120	120	25	25
19	Flir b60	180	180	25	25
20	Flir ThermoVision A40M Ethernet	320	240	24	18
21	Flir ThermaCam P65	640	480	24	18
22	Flir ThermaCam E65	160	120	19	14
23	FLIR i/b50	140	140	25	25
24	FLIR T/B250	200	150	25	19
25	FLIR T/B360	320	240	25	19
26	FLIR P/B620	640	480	24	18
27	FLIR P640	640	480	24	18
28	FLIR P/B660	640	480	24	18
29	HSI 1200	192	192	20	20
30	HSI 3001	160	120	20	15
31	HSI 3003	160	120	9,1	6,8

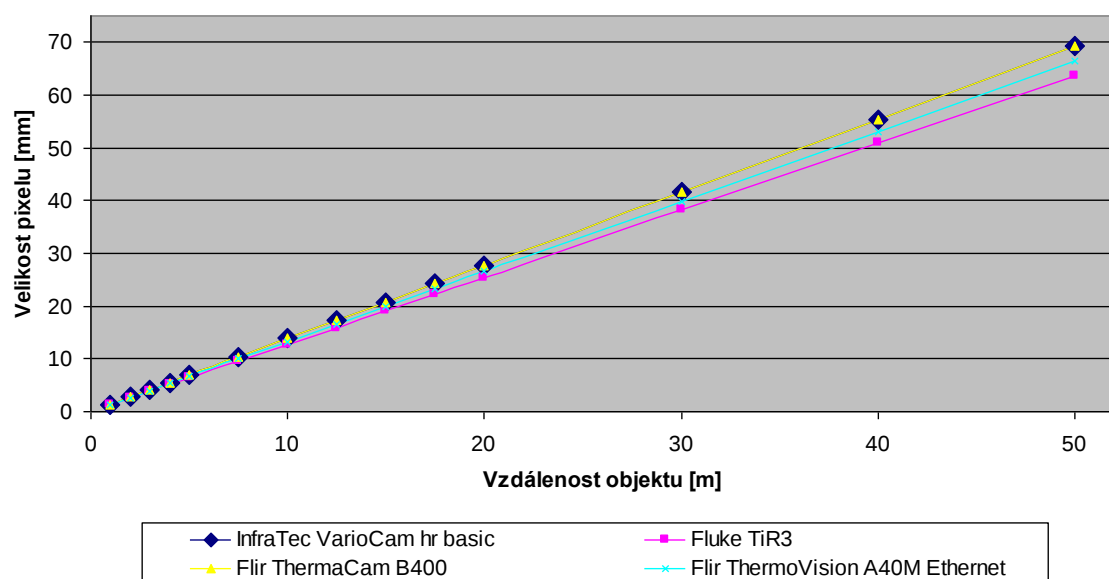
poř. č.	Zobrazovaná horizontální velikost jednoho pixelu v dané vzdálenosti: [mm]													
	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	7,5 m	10 m	12,5 m	15 m	17,5 m	20 m	30 m	40 m	50 m
1	1,39	2,77	4,16	5,54	6,93	10,39	13,86	17,32	20,78	24,25	27,71	41,57	55,42	69,28
2	1,40	2,79	4,19	5,58	6,98	10,47	13,96	17,44	20,93	24,42	27,91	41,87	55,82	69,78
3	0,84	1,67	2,51	3,35	4,19	6,28	8,37	10,47	12,56	14,65	16,75	25,12	33,49	41,87
4	3,74	7,47	11,21	14,95	18,68	28,02	37,36	46,70	56,04	65,38	74,73	112,09	149,45	186,81
5	0,72	1,43	2,15	2,86	3,58	5,37	7,16	8,95	10,74	12,53	14,31	21,47	28,63	35,79
6	1,01	2,02	3,04	4,05	5,06	7,59	10,12	12,65	15,19	17,72	20,25	30,37	40,50	50,62
7	2,77	5,55	8,32	11,10	13,87	20,81	27,74	34,68	41,61	48,55	55,48	83,22	110,96	138,70
8	2,77	5,54	8,31	11,08	13,86	20,78	27,71	34,64	41,57	48,50	55,42	83,14	110,85	138,56
9	2,54	5,09	7,63	10,17	12,72	19,07	25,43	31,79	38,15	44,51	50,86	76,29	101,73	127,16
10	2,76	5,51	8,27	11,02	13,78	20,66	27,55	34,44	41,33	48,21	55,10	82,65	110,20	137,76
11	1,27	2,54	3,81	5,09	6,36	9,54	12,72	15,89	19,07	22,25	25,43	38,15	50,86	63,58
12	1,92	3,85	5,77	7,70	9,62	14,43	19,24	24,05	28,86	33,67	38,48	57,72	76,96	96,20
13	1,16	2,32	3,48	4,63	5,79	8,69	11,58	14,48	17,38	20,27	23,17	34,75	46,33	57,92
14	2,27	4,54	6,81	9,09	11,36	17,04	22,72	28,40	34,07	39,75	45,43	68,15	90,87	113,58
15	0,66	1,33	1,99	2,66	3,32	4,98	6,64	8,30	9,96	11,62	13,28	19,93	26,57	33,21
16	2,22	4,43	6,65	8,87	11,08	16,63	22,17	27,71	33,25	38,80	44,34	66,51	88,68	110,85
17	1,39	2,77	4,16	5,54	6,93	10,39	13,86	17,32	20,78	24,25	27,71	41,57	55,42	69,28
18	3,69	7,39	11,08	14,78	18,47	27,71	36,95	46,19	55,42	64,66	73,90	110,85	147,80	184,75
19	2,46	4,93	7,39	9,85	12,32	18,47	24,63	30,79	36,95	43,11	49,27	73,90	98,53	123,16
20	1,33	2,66	3,99	5,31	6,64	9,96	13,28	16,61	19,93	23,25	26,57	39,85	53,14	66,42
21	0,66	1,33	1,99	2,66	3,32	4,98	6,64	8,30	9,96	11,62	13,28	19,93	26,57	33,21
22	2,09	4,18	6,28	8,37	10,46	15,69	20,92	26,15	31,38	36,61	41,84	62,75	83,67	104,59
23	3,17	6,33	9,50	12,67	15,84	23,75	31,67	39,59	47,51	55,42	63,34	95,01	126,68	158,35
24	2,22	4,43	6,65	8,87	11,08	16,63	22,17	27,71	33,25	38,80	44,34	66,51	88,68	110,85
25	1,39	2,77	4,16	5,54	6,93	10,39	13,86	17,32	20,78	24,25	27,71	41,57	55,42	69,28
26	0,66	1,33	1,99	2,66	3,32	4,98	6,64	8,30	9,96	11,62	13,28	19,93	26,57	33,21
27	0,66	1,33	1,99	2,66	3,32	4,98	6,64	8,30	9,96	11,62	13,28	19,93	26,57	33,21
28	0,66	1,33	1,99	2,66	3,32	4,98	6,64	8,30	9,96	11,62	13,28	19,93	26,57	33,21
29	1,84	3,67	5,51	7,35	9,18	13,78	18,37	22,96	27,55	32,14	36,73	55,10	73,47	91,84
30	2,20	4,41	6,61	8,82	11,02	16,53	22,04	27,55	33,06	38,57	44,08	66,12	88,16	110,20
31	0,99	1,99	2,98	3,98	4,97	7,46	9,95	12,43	14,92	17,41	19,89	29,84	39,79	49,74

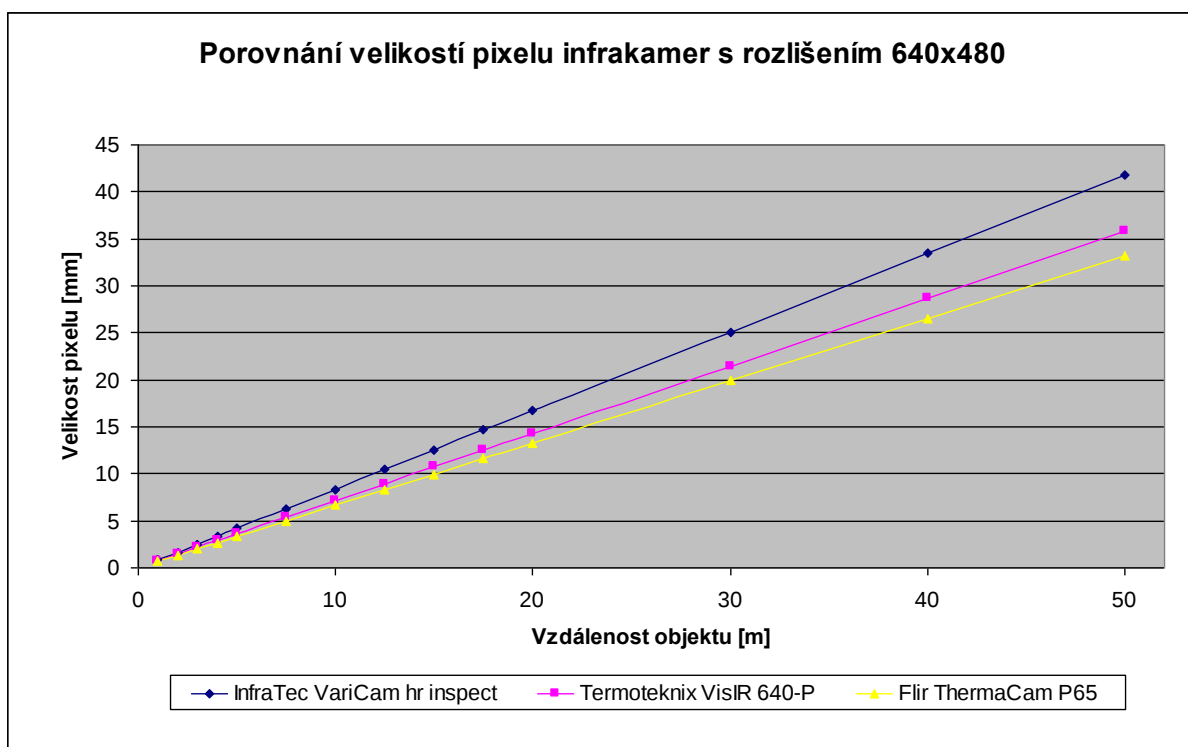
poř. č.	Zobrazovaná vertikální velikost jednoho pixelu v dané vzdálenosti: [mm]													
	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	7,5 m	10 m	12,5 m	15 m	17,5 m	20 m	30 m	40 m	50 m
1	1,39	2,79	4,18	5,58	6,97	10,46	13,95	17,43	20,92	24,40	27,89	41,84	55,78	69,73
2	1,41	2,83	4,24	5,65	7,06	10,60	14,13	17,66	21,19	24,73	28,26	42,39	56,51	70,64
3	0,85	1,70	2,54	3,39	4,24	6,36	8,48	10,60	12,72	14,84	16,95	25,43	33,91	42,39
4	3,74	7,47	11,21	14,95	18,68	28,02	37,36	46,70	56,04	65,38	74,73	112,09	149,45	186,81
5	0,70	1,41	2,11	2,82	3,52	5,28	7,04	8,80	10,56	12,32	14,08	21,13	28,17	35,21
6	0,98	1,95	2,93	3,90	4,88	7,32	9,76	12,20	14,64	17,08	19,52	29,28	39,04	48,80
7	2,77	5,55	8,32	11,10	13,87	20,81	27,74	34,68	41,61	48,55	55,48	83,22	110,96	138,70
8	2,79	5,58	8,37	11,16	13,95	20,92	27,89	34,86	41,84	48,81	55,78	83,67	111,56	139,45
9	2,49	4,98	7,47	9,96	12,45	18,68	24,91	31,14	37,36	43,59	49,82	74,73	99,63	124,54
10	2,69	5,37	8,06	10,75	13,43	20,15	26,87	33,58	40,30	47,02	53,74	80,60	107,47	134,34
11	1,25	2,49	3,74	4,98	6,23	9,34	12,45	15,57	18,68	21,79	24,91	37,36	49,82	62,27
12	1,91	3,83	5,74	7,65	9,57	14,35	19,14	23,92	28,70	33,49	38,27	57,41	76,55	95,68
13	1,10	2,19	3,29	4,39	5,49	8,23	10,97	13,71	16,46	19,20	21,94	32,91	43,88	54,86
14	2,27	4,54	6,80	9,07	11,34	17,01	22,68	28,35	34,02	39,69	45,36	68,05	90,73	113,41
15	0,66	1,32	1,98	2,64	3,30	4,95	6,60	8,25	9,90	11,55	13,20	19,80	26,40	33,00
16	2,23	4,46	6,69	8,92	11,16	16,73	22,31	27,89	33,47	39,05	44,62	66,94	89,25	111,56
17	1,39	2,79	4,18	5,58	6,97	10,46	13,95	17,43	20,92	24,40	27,89	41,84	55,78	69,73
18	3,69	7,39	11,08	14,78	18,47	27,71	36,95	46,19	55,42	64,66	73,90	110,85	147,80	184,75
19	2,46	4,93	7,39	9,85	12,32	18,47	24,63	30,79	36,95	43,11	49,27	73,90	98,53	123,16
20	1,32	2,64	3,96	5,28	6,60	9,90	13,20	16,50	19,80	23,10	26,40	39,60	52,79	65,99
21	0,66	1,32	1,98	2,64	3,30	4,95	6,60	8,25	9,90	11,55	13,20	19,80	26,40	33,00
22	2,05	4,09	6,14	8,19	10,23	15,35	20,46	25,58	30,70	35,81	40,93	61,39	81,86	102,32
23	3,17	6,33	9,50	12,67	15,84	23,75	31,67	39,59	47,51	55,42	63,34	95,01	126,68	158,35
24	2,23	4,46	6,69	8,92	11,16	16,73	22,31	27,89	33,47	39,05	44,62	66,94	89,25	111,56
25	1,39	2,79	4,18	5,58	6,97	10,46	13,95	17,43	20,92	24,40	27,89	41,84	55,78	69,73
26	0,66	1,32	1,98	2,64	3,30	4,95	6,60	8,25	9,90	11,55	13,20	19,80	26,40	33,00
27	0,66	1,32	1,98	2,64	3,30	4,95	6,60	8,25	9,90	11,55	13,20	19,80	26,40	33,00
28	0,66	1,32	1,98	2,64	3,30	4,95	6,60	8,25	9,90	11,55	13,20	19,80	26,40	33,00
29	1,84	3,67	5,51	7,35	9,18	13,78	18,37	22,96	27,55	32,14	36,73	55,10	73,47	91,84
30	2,19	4,39	6,58	8,78	10,97	16,46	21,94	27,43	32,91	38,40	43,88	65,83	87,77	109,71
31	0,99	1,98	2,97	3,96	4,95	7,43	9,90	12,38	14,85	17,33	19,80	29,71	39,61	49,51

Porovnání velikostí pixelu infrakamer s rozlišením 160x120

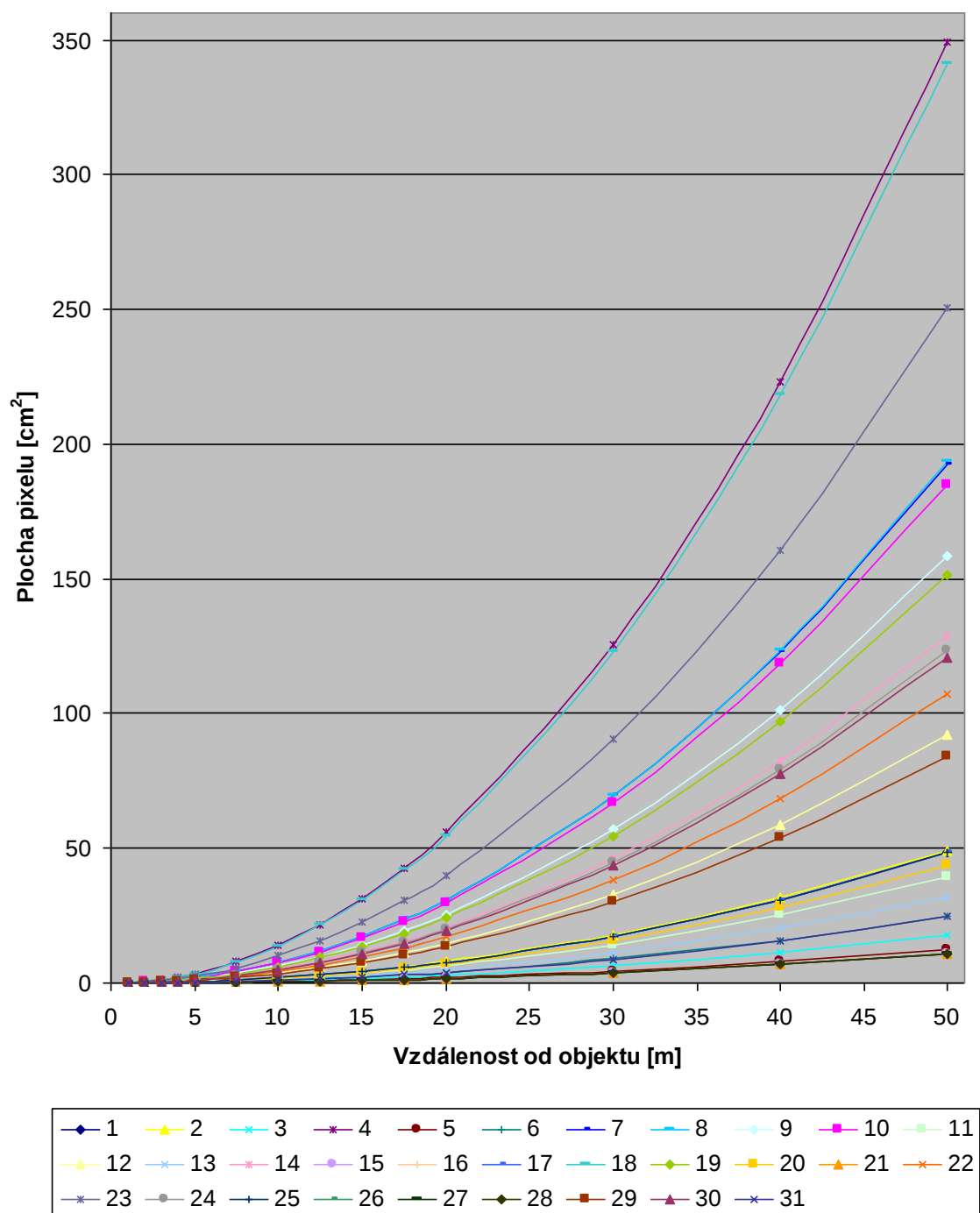


Porovnání velikostí pixelu infrakamer s rozlišením 320x240





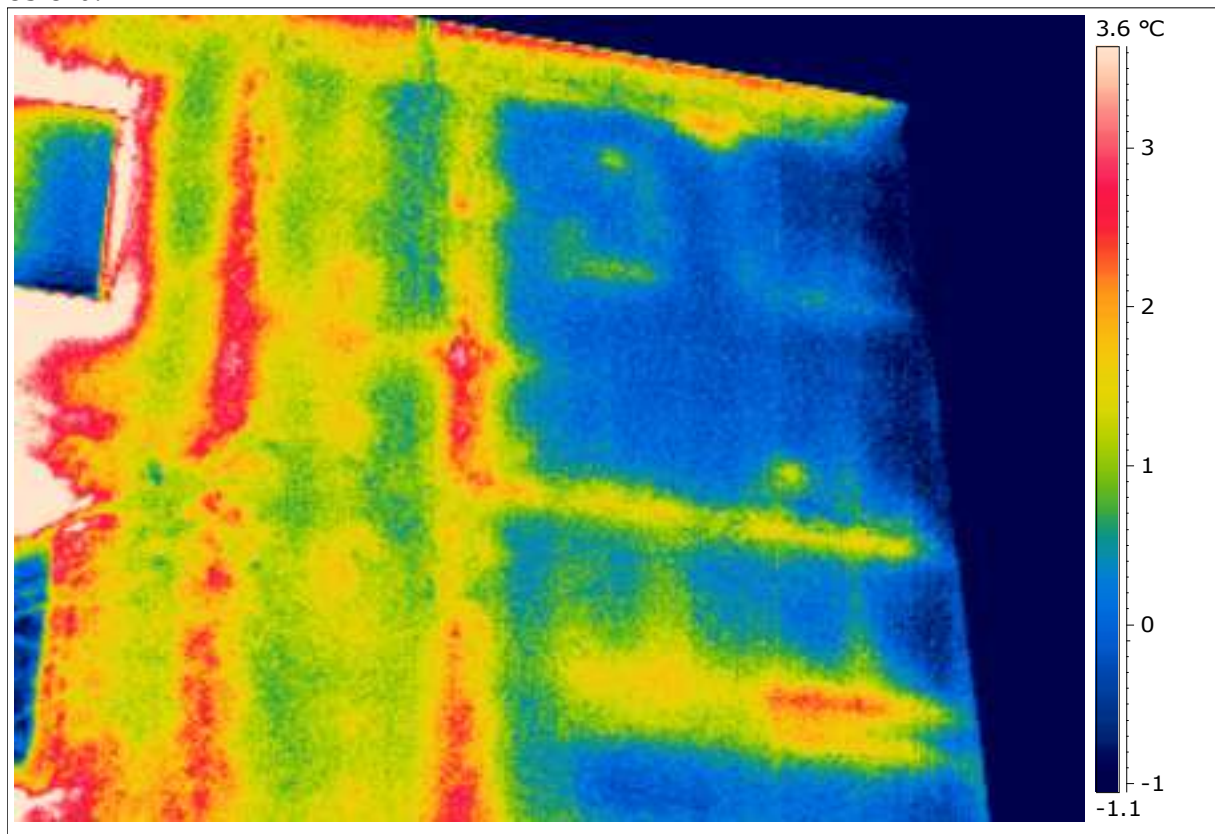
**Přehled velikosti plochy jednoho pixelu různých typů
infrakamer v závislosti na vzdálenosti objektu**

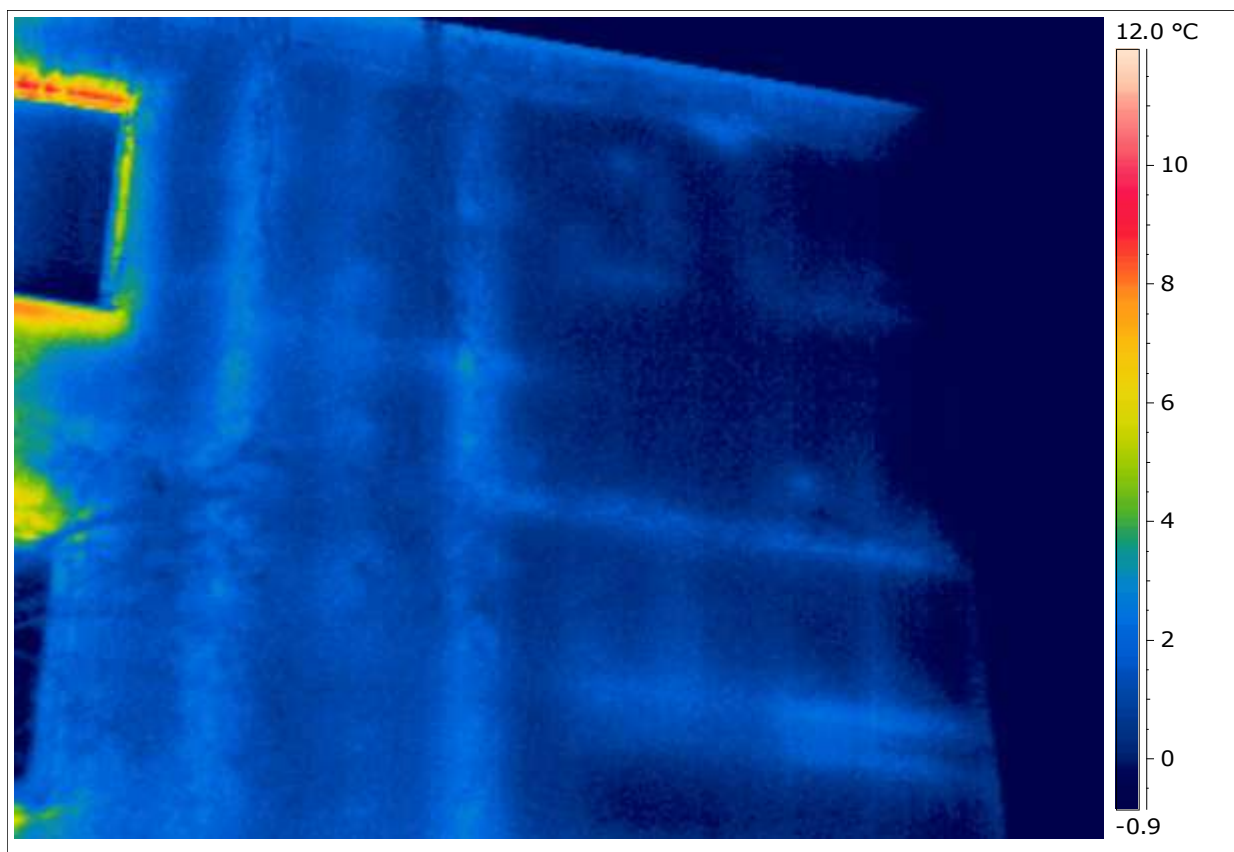


Rozsah teplot na termogramu a jejich vliv na vnímání pozorovatele

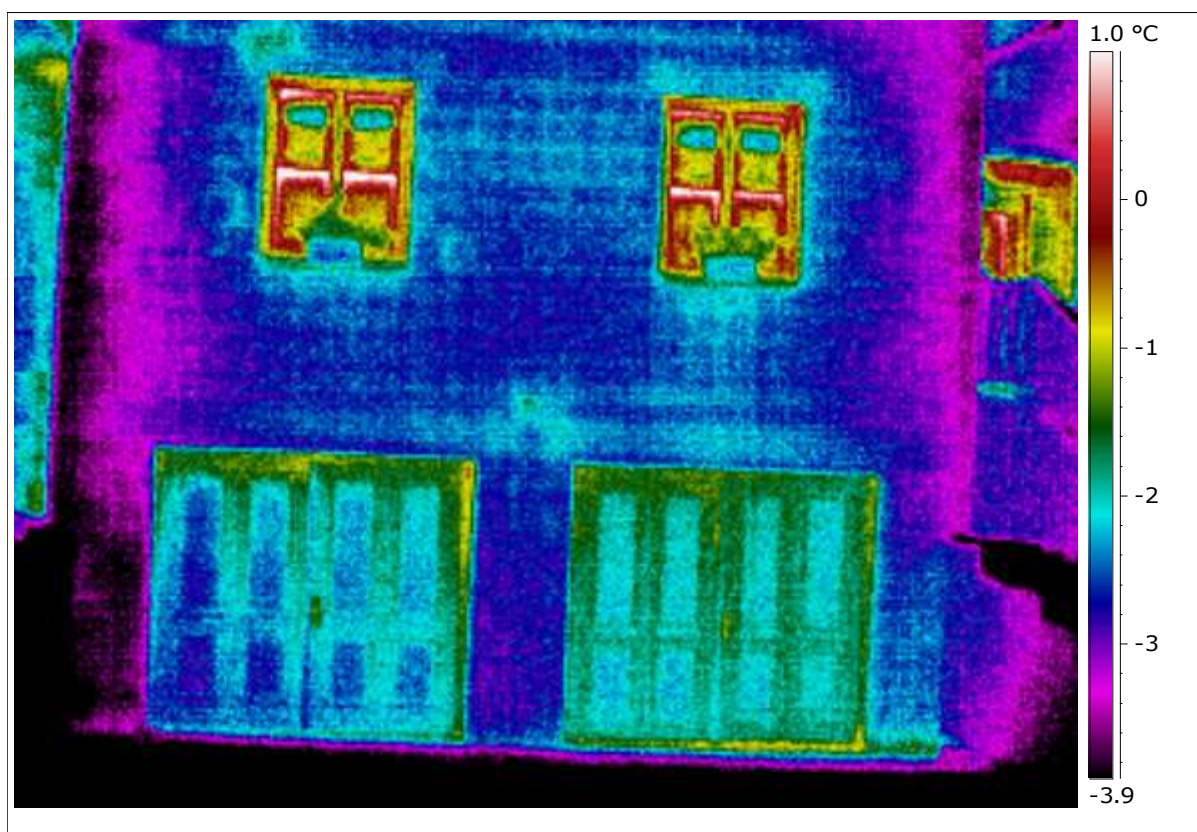
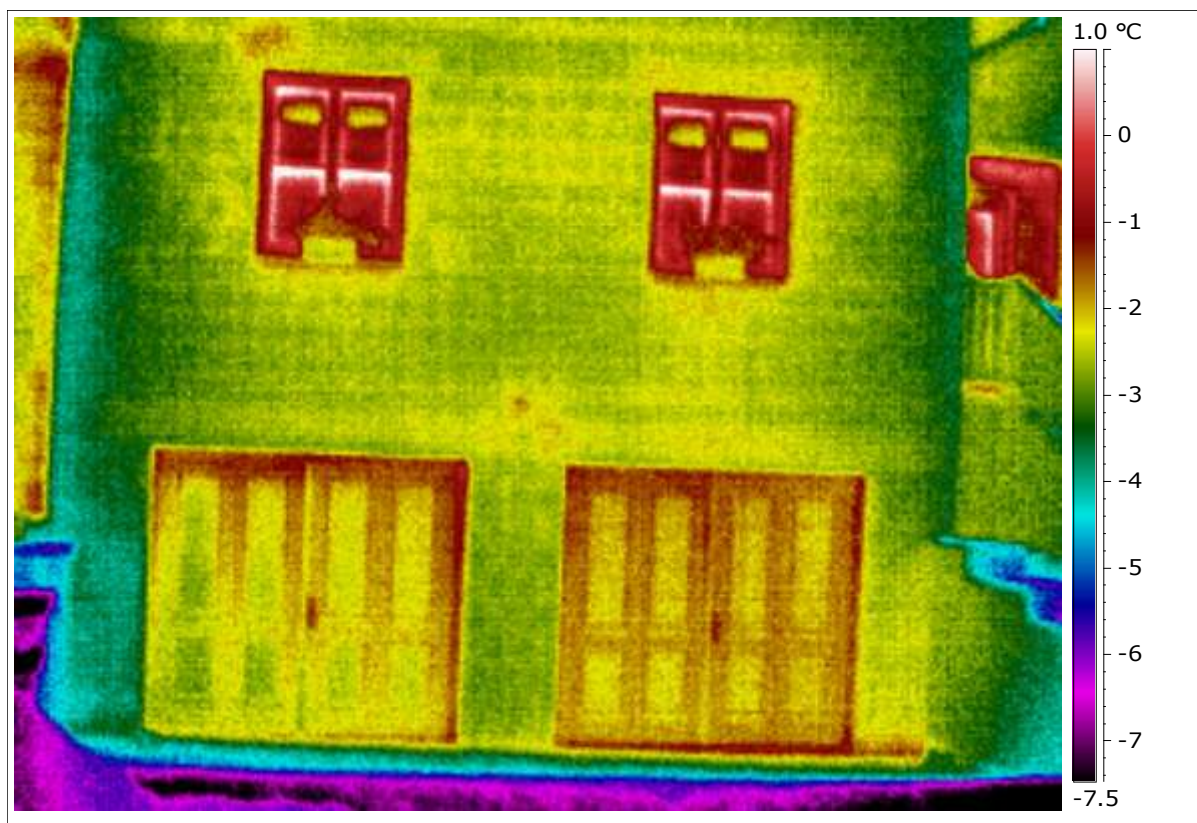
Na termogramu je patrné skokové snížení teploty v posledních dvou podlažích. To také dokumentuje graf průběhu teploty. Změna zdánlivé teploty je dána tím, že dolní patra si vyměňují energii sáláním s okolními domy, horní podlaží jsou již vystavena expozici "studené" radiace oblohy.

Na následujícím termogramu je patrný i odlesk mraků, které mají vyšší teplotu než jasná obloha.



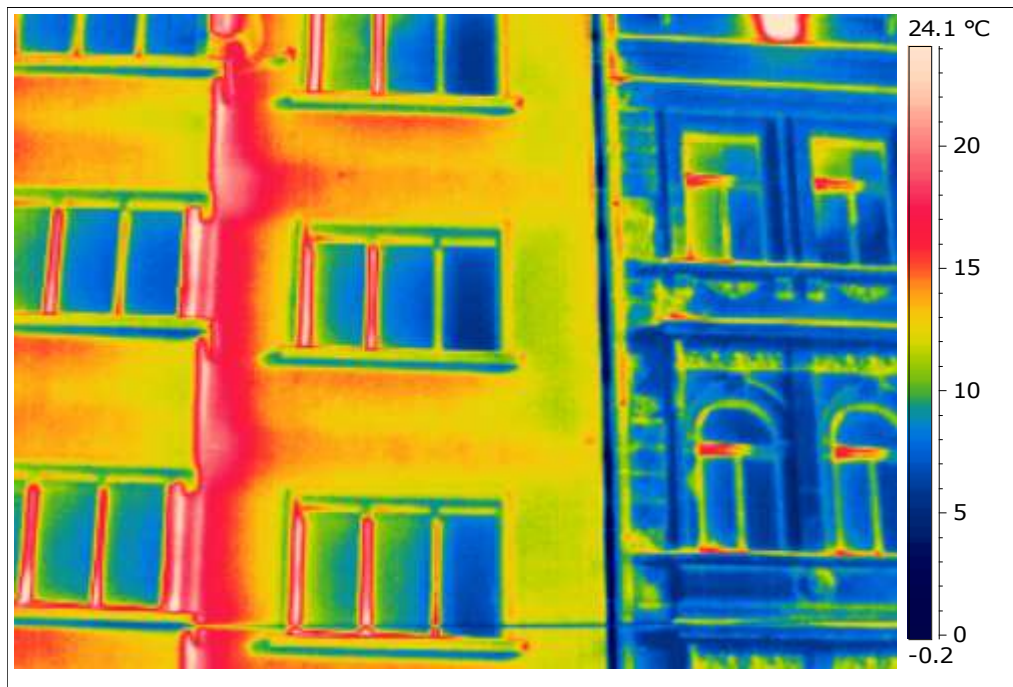




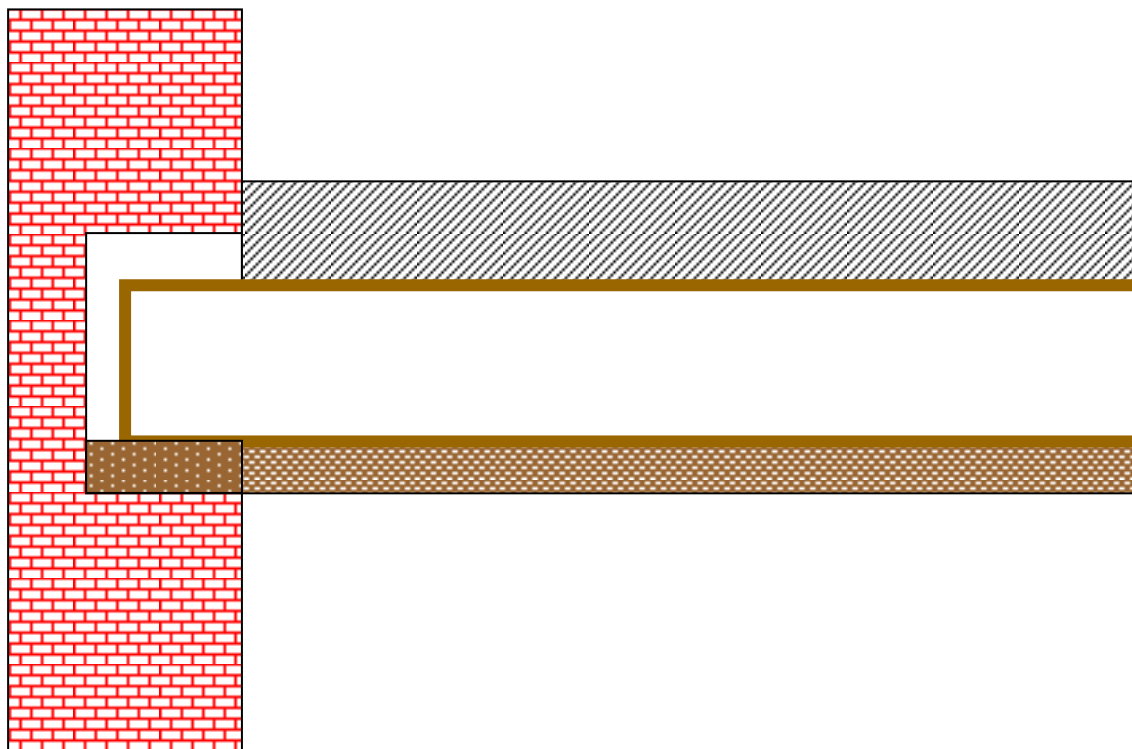


Ukázka „neměření“ termovizí

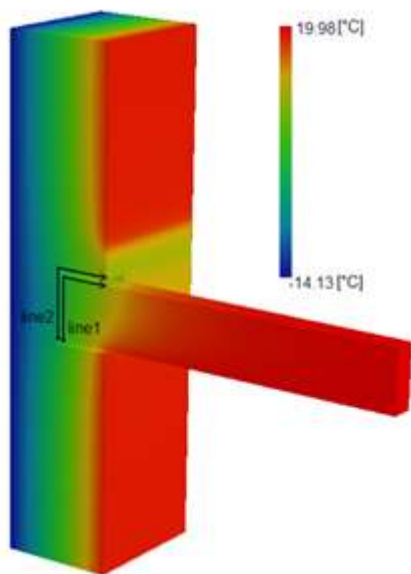
Některé tepelné mosty nemusí být identifikovatelné termovizí, což dokládá výpočet bodového tepelného mostu dřevěným trámem a termogramem.



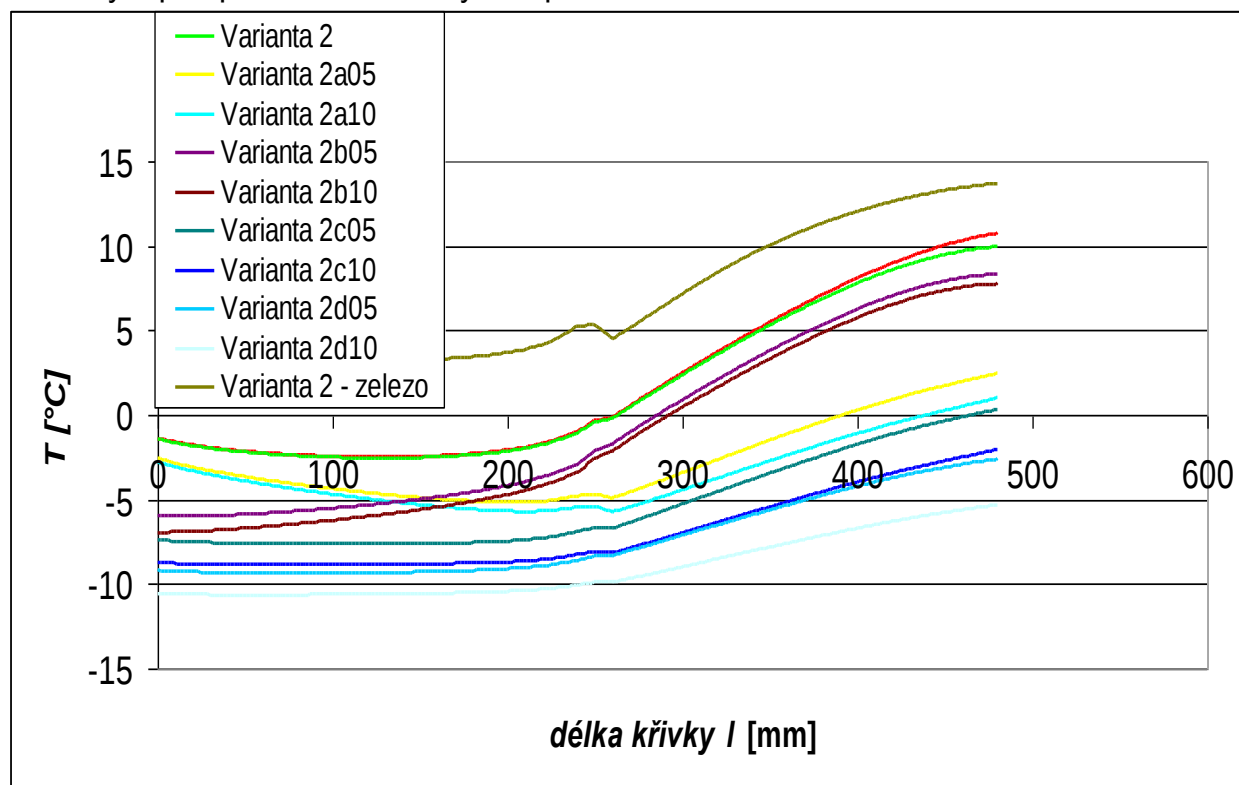
Skica řešeného případu bodového tepelného mostu



Výpočet řešeného případu bodového tepelného mostu dřevěným trámem uloženým v kapse cihelného zdiva.



Průběhy teplot pro různé varianty zateplení tohoto detailu

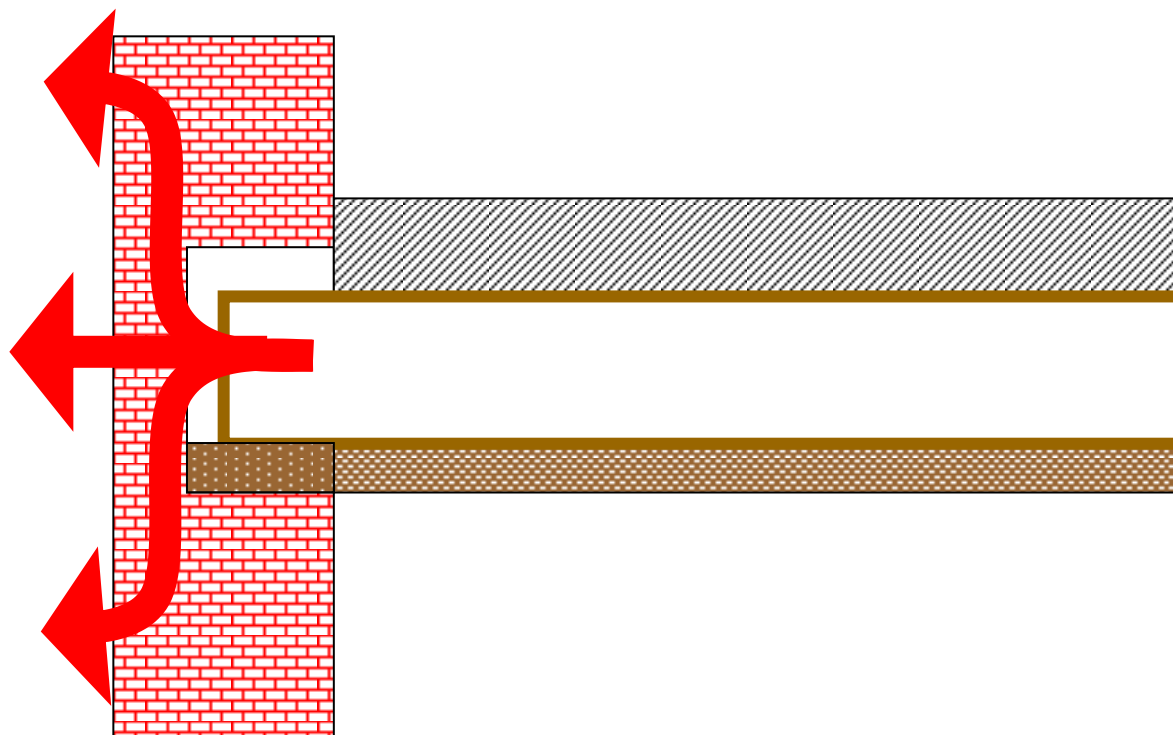


Tabulka vypočtených hodnot nejnižších povrchových teplot:

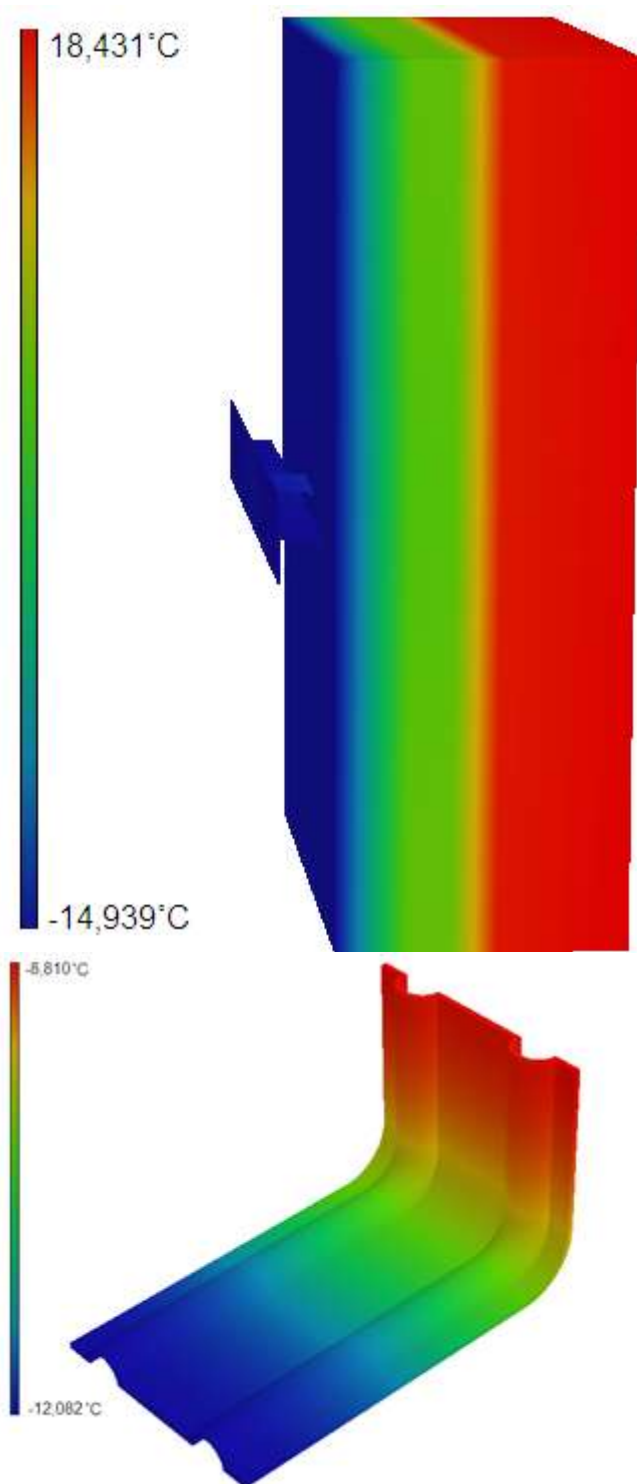
umístění zateplení v interiéru	nejnižší povrchová teplota [°C]	
	na zdivu	na trámu
bez zateplení	-2,55	+1,55
bez zateplení ocelový nosník	+3,04	+14,29
zateplení stěny v horním podlaží – tl. 50 mm	-5,16	-2,55
zateplení stěny ve spodním podlaží – tl. 50 mm	-6,00	-2,99
zateplení celé stěny – tl. 50 mm	-7,63	-5,03
zateplení stěny vč. stropu – tl. 50 mm	-9,36	-7,25
zateplení stěny v horním podlaží – tl. 100 mm	-5,73	-3,28
zateplení stěny ve spodním podlaží – tl. 100 mm	-6,95	-4,28
zateplení celé stěny – tl. 100 mm	-8,85	-6,59
zateplení stěny vč. stropu – tl. 100 mm	-10,65	-9,03

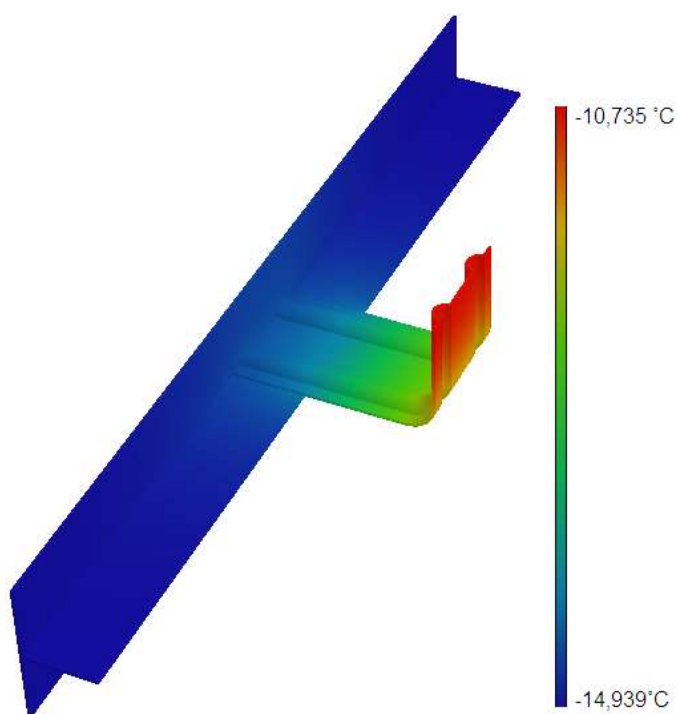
Ukázka měření kotvy u odvětrávaného zateplovacího systému a výpočet tepelného mostu touto kotvou. Výpočtem bylo zjištěno, že kotva způsobuje zhoršení tepelněizolačních vlastností systému i o více jak 20 %, přesto v termogramu se tato kotva jeví jako chladná a tudíž tepelně izolační.

Ukázka cest, kudy se teplo šíří do exteriéru – zdůvodnění, proč při diagnostice termovizí tento tepelný most není patrný:

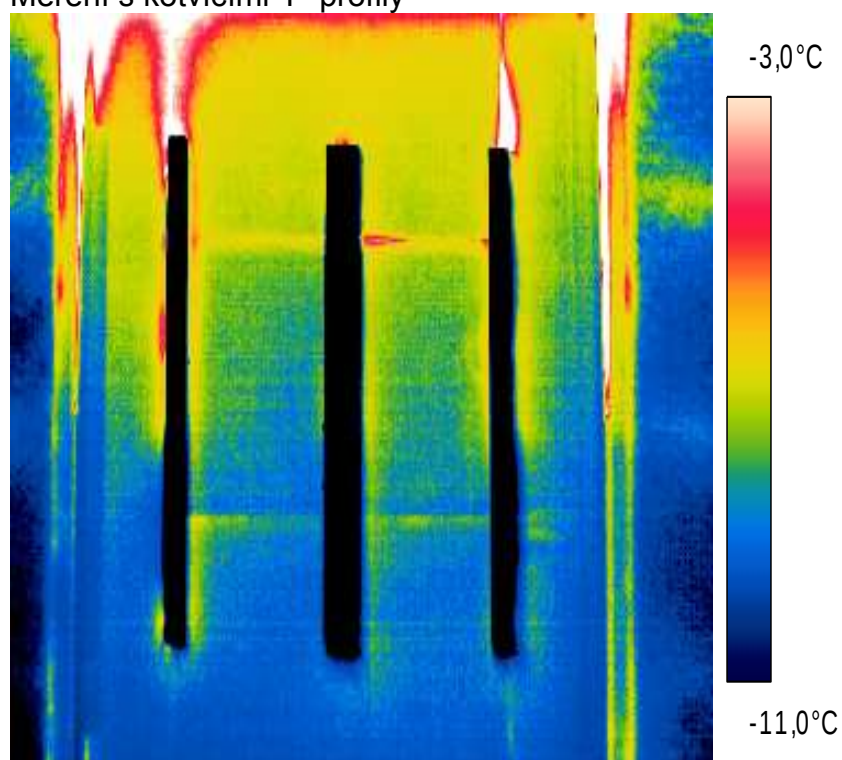


Ukázka měření a výpočtu tepelného mostu kotvou odvětrávané fasády:

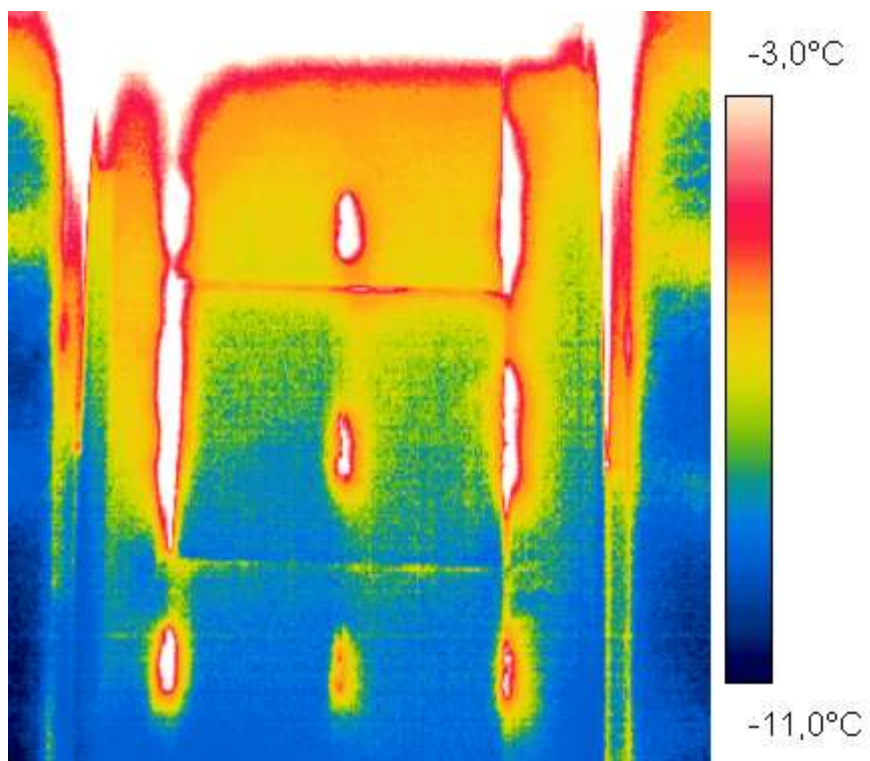




Měření s kotvícími "T" profily

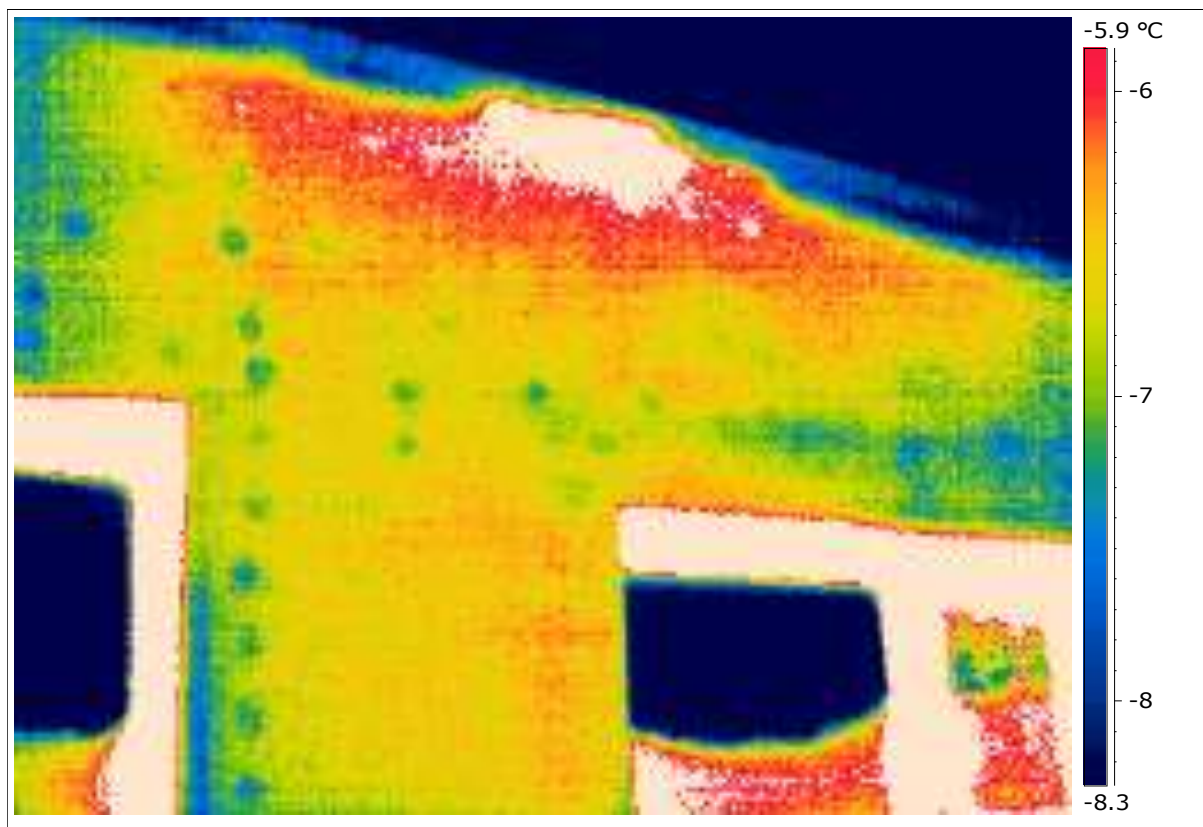


Měření bez kotvících "T" profilů

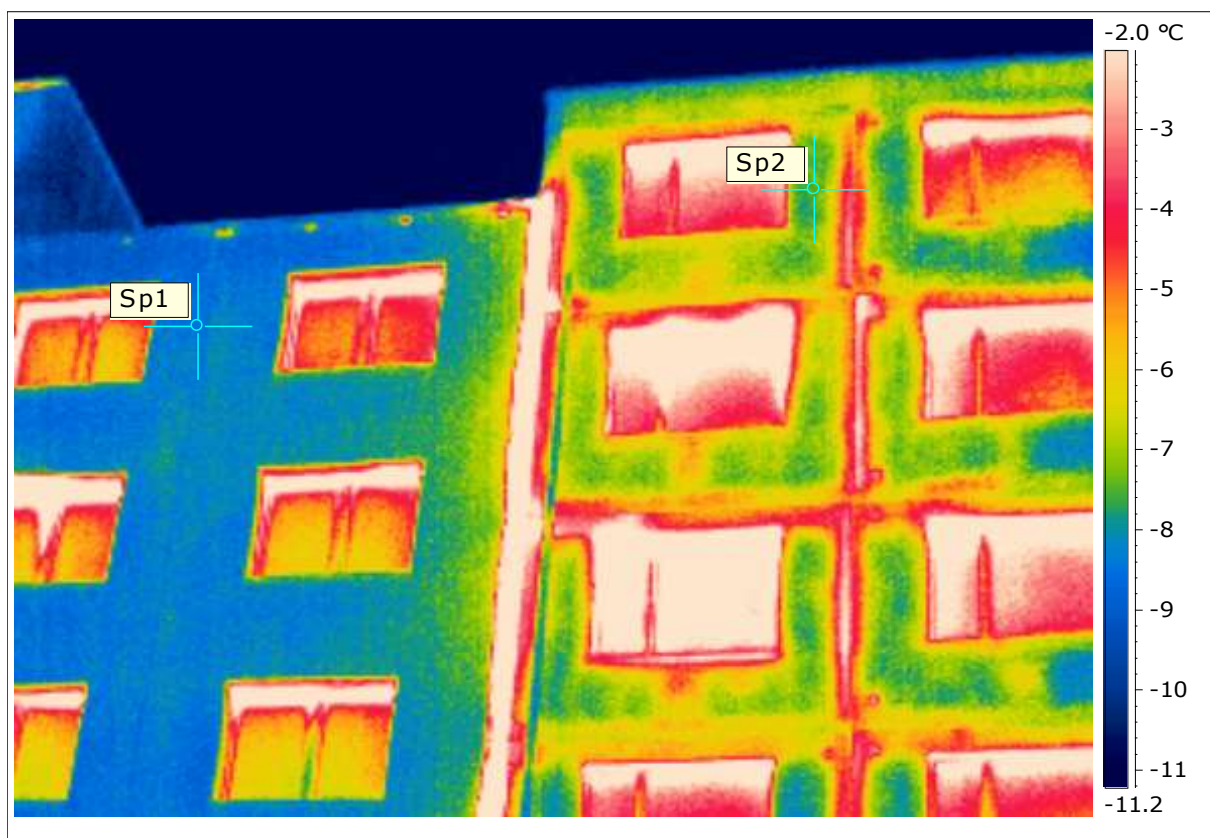


Tepelná kapacita materiálu

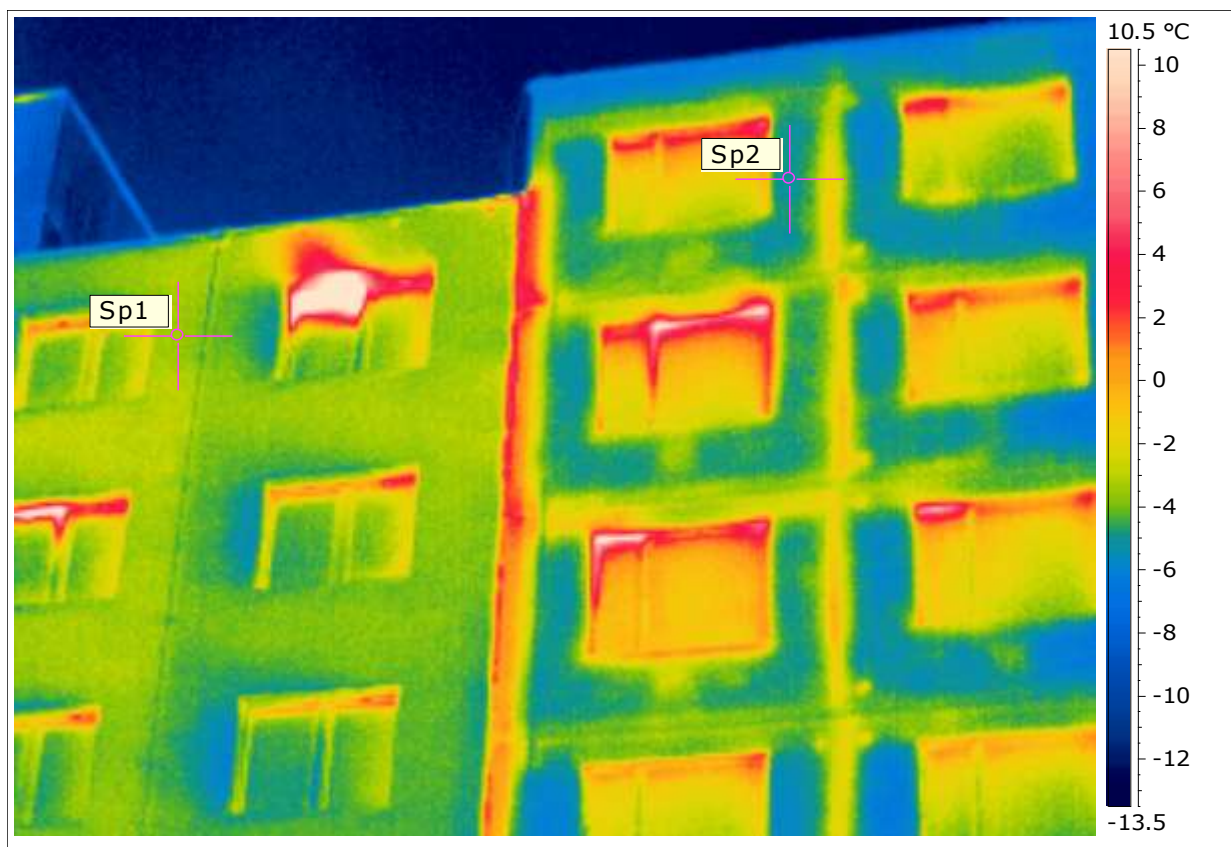
Na termogramu se hmoždinky jeví jako studenější – jde o důsledek vyšší akumulace tepla lepidla nad nimi, které je ve větší vrstvě.



Na následujících termogramech a obrázku je panelový dům, jehož jedna polovina je zateplená a druhá nikoliv. První termogram byl prováděn standardně ráno před východem slunce, druhý pak dopoledne při získávání klasických fotek.



Date	14.1.2009
IR Snímek Čas	6:28:52
Sp1 Teplota	-8.6 °C
Sp2 Teplota	-7.4 °C



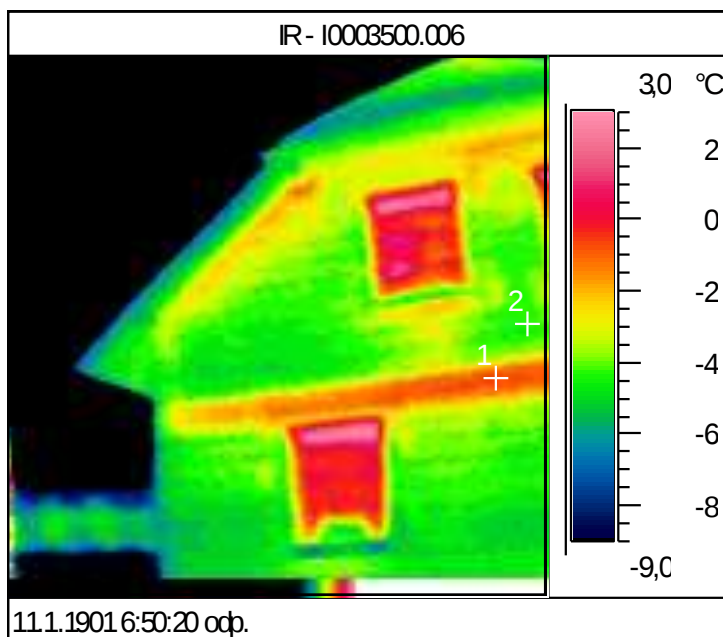
Date	14.1.2009
IR Snímek Čas	12:22:13
Sp1 Teplota	-3.2 °C
Sp2 Teplota	-5.0 °C

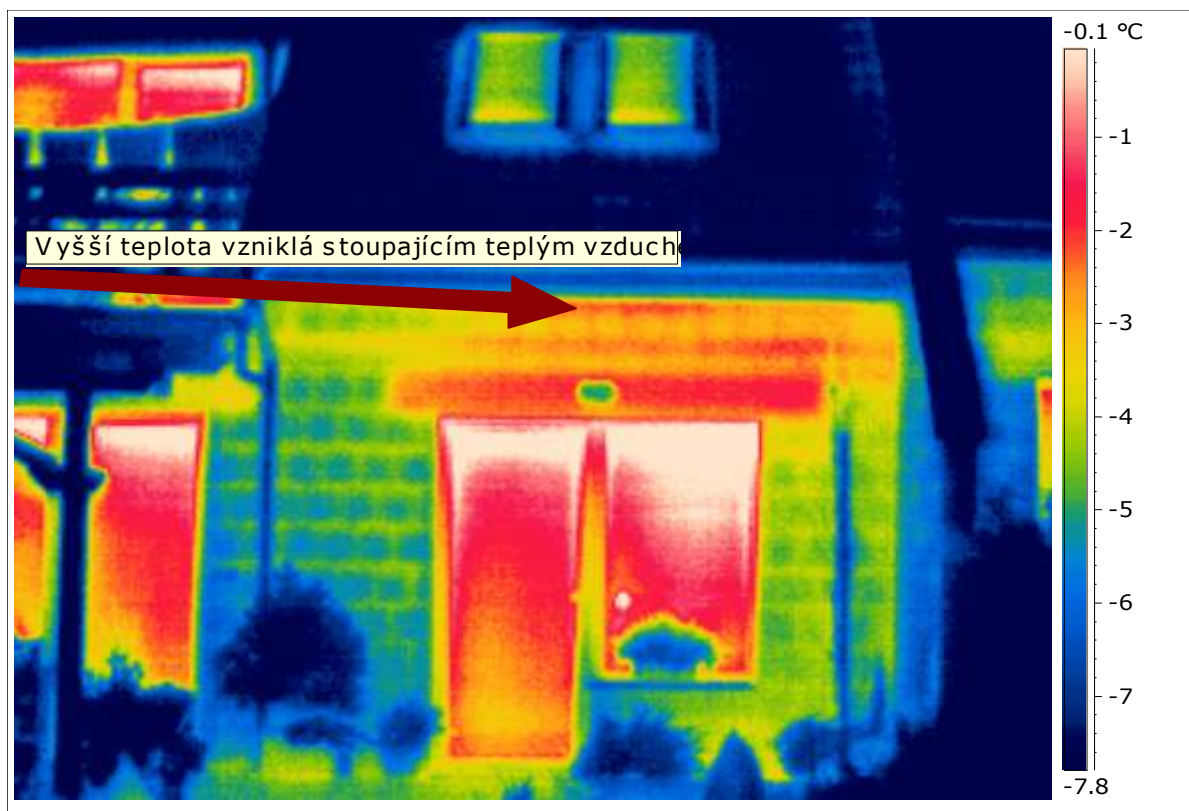
Ohřev konstrukce stoupajícím teplým vzduchem

Vzduch se o fasádu ohřívá a stoupá vzhůru, kde se shromažďuje pod střechou. Pokud odtud není vyvanut větrem (stalo se na levé části střechy), ohřívá tyto části a může se jevit jako tepelný most.



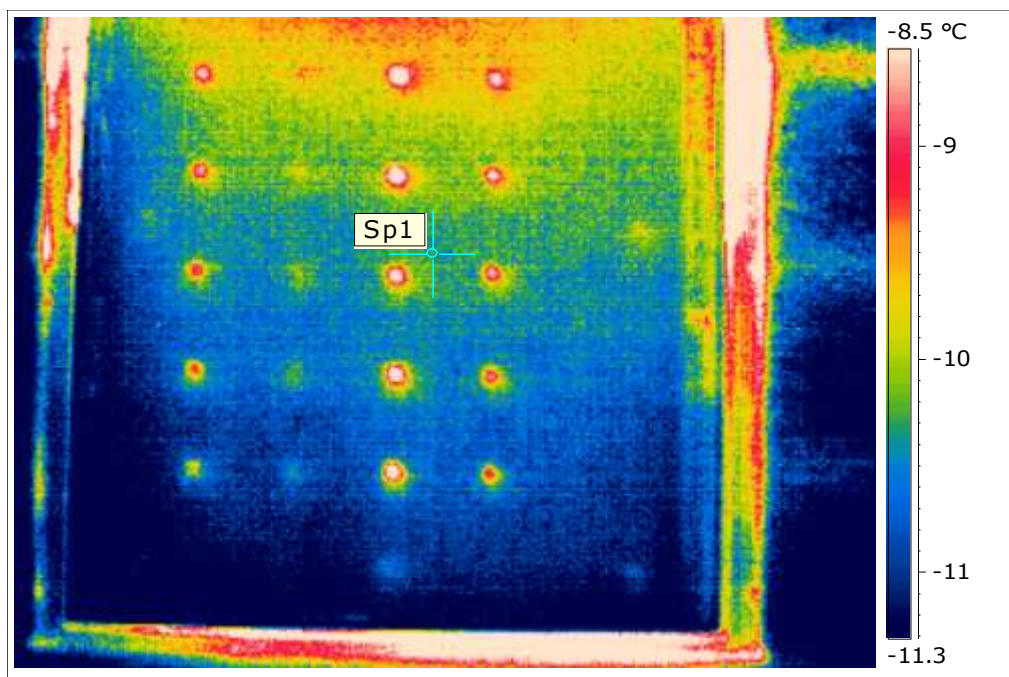
Stejný případ ohřevu stoupajícím teplým vzduchem pod převisem střechy.



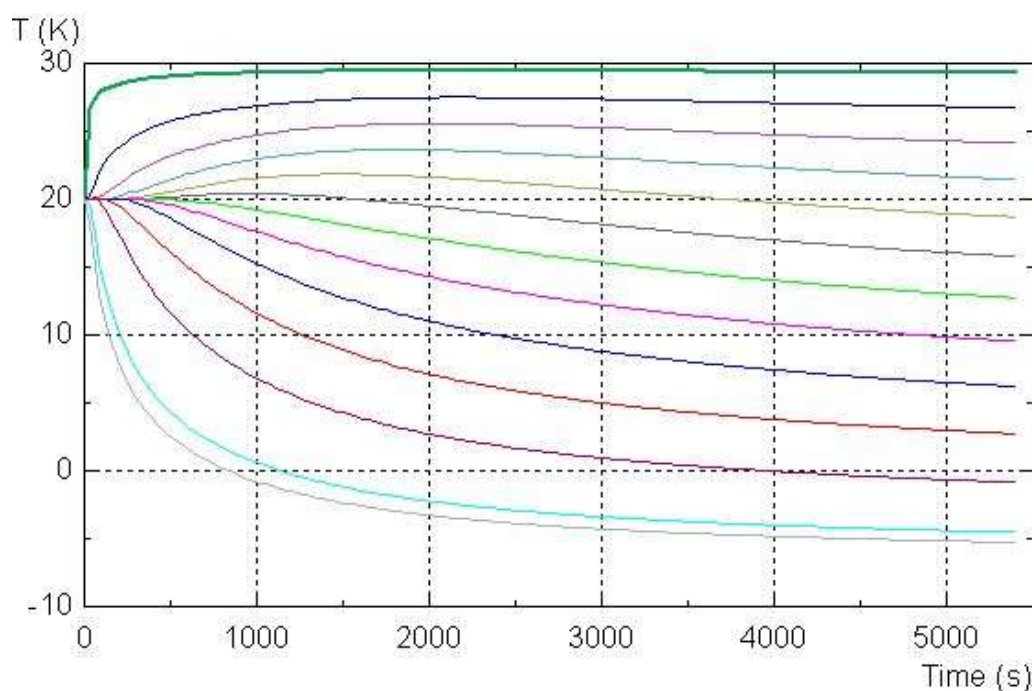


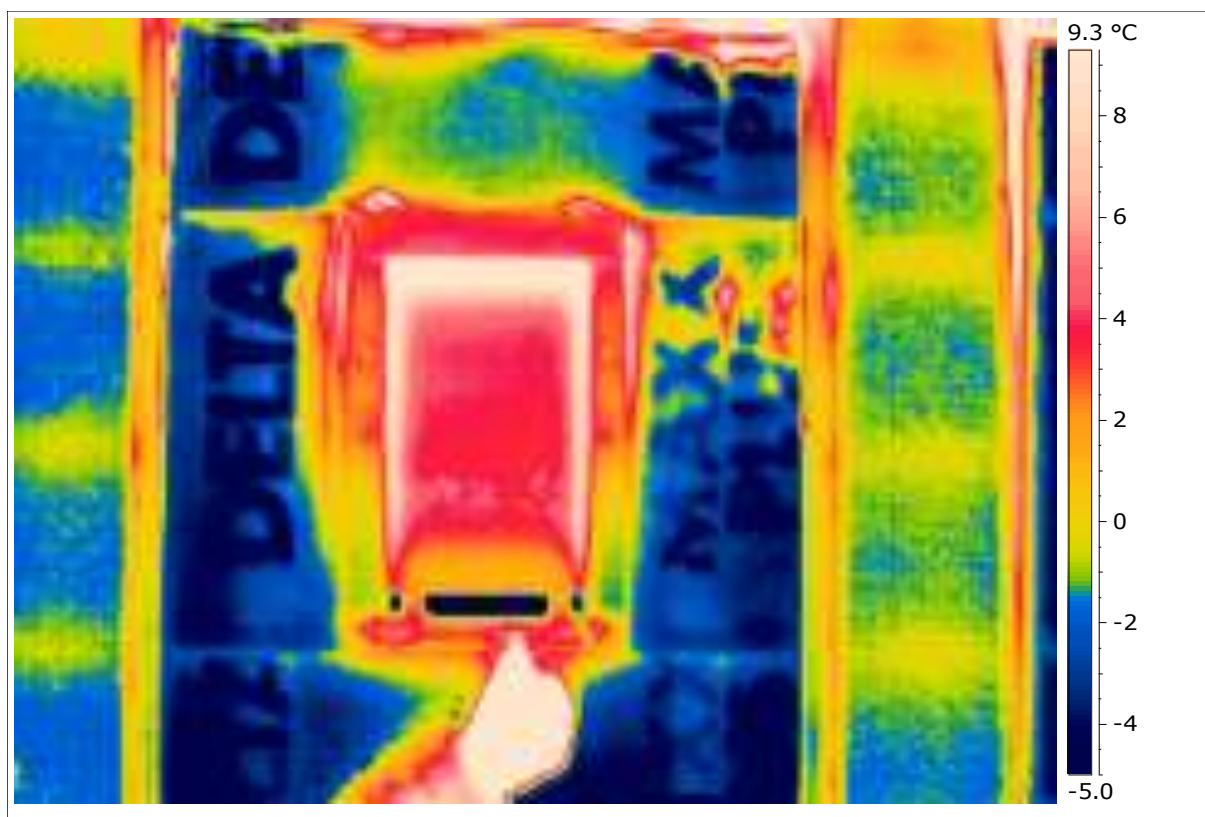
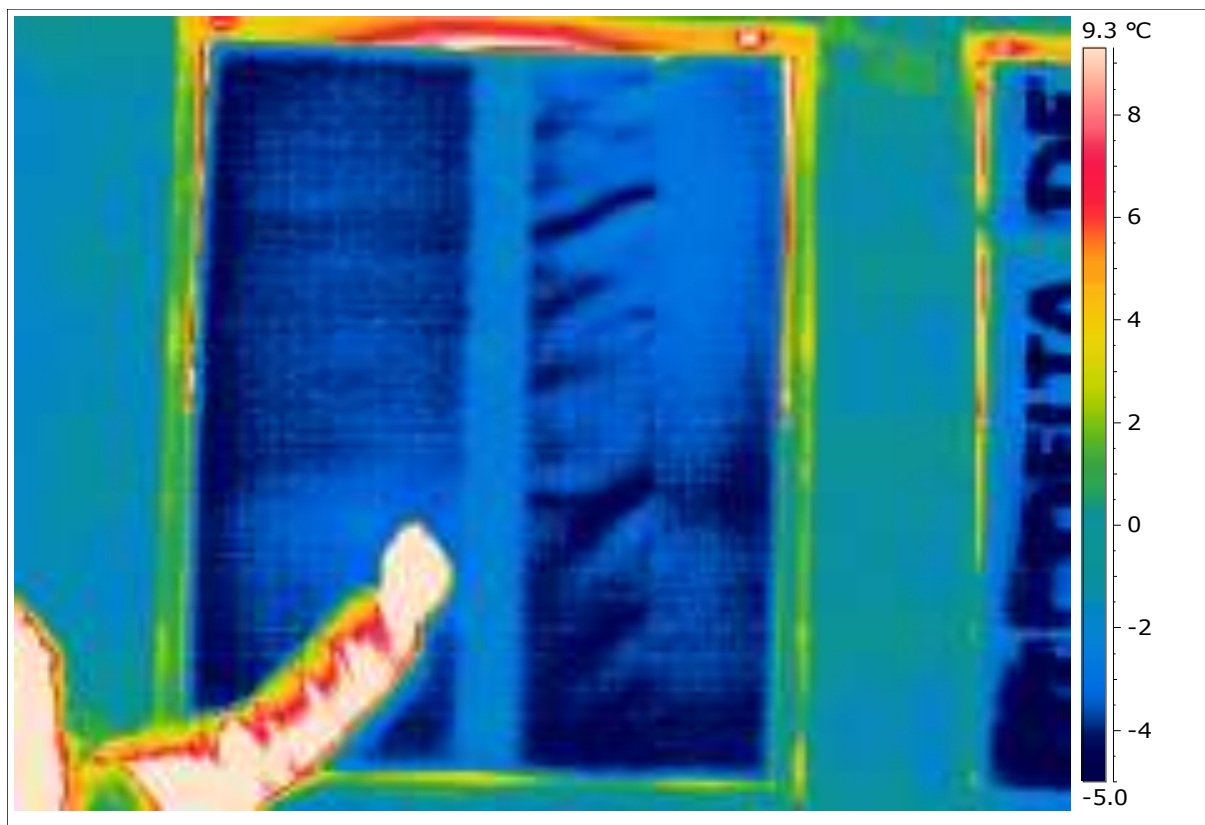
Ukázka termogramu a výpočtu průběhu teplot lehké konstrukce

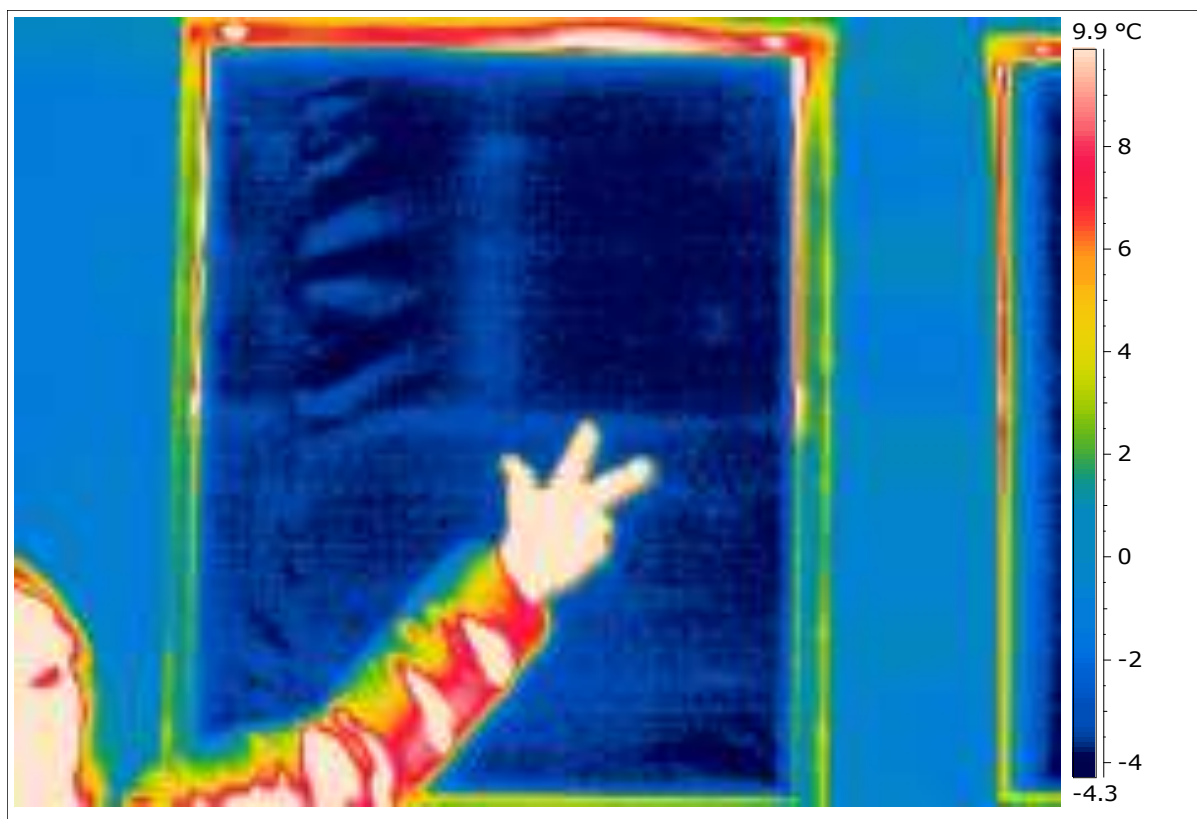
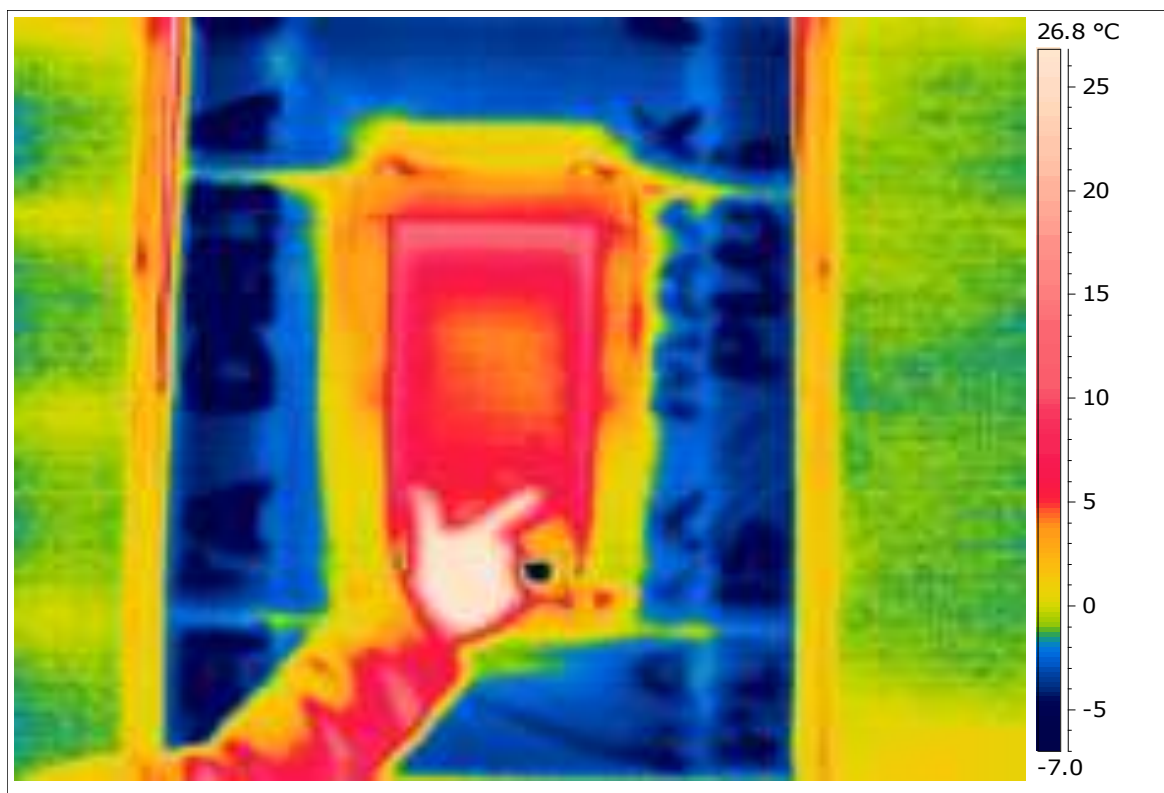
Na termogramu je ukázka z měření lehké konstrukce, v tomto případě vliv různých typů hmoždinek na bodový tepelný most.

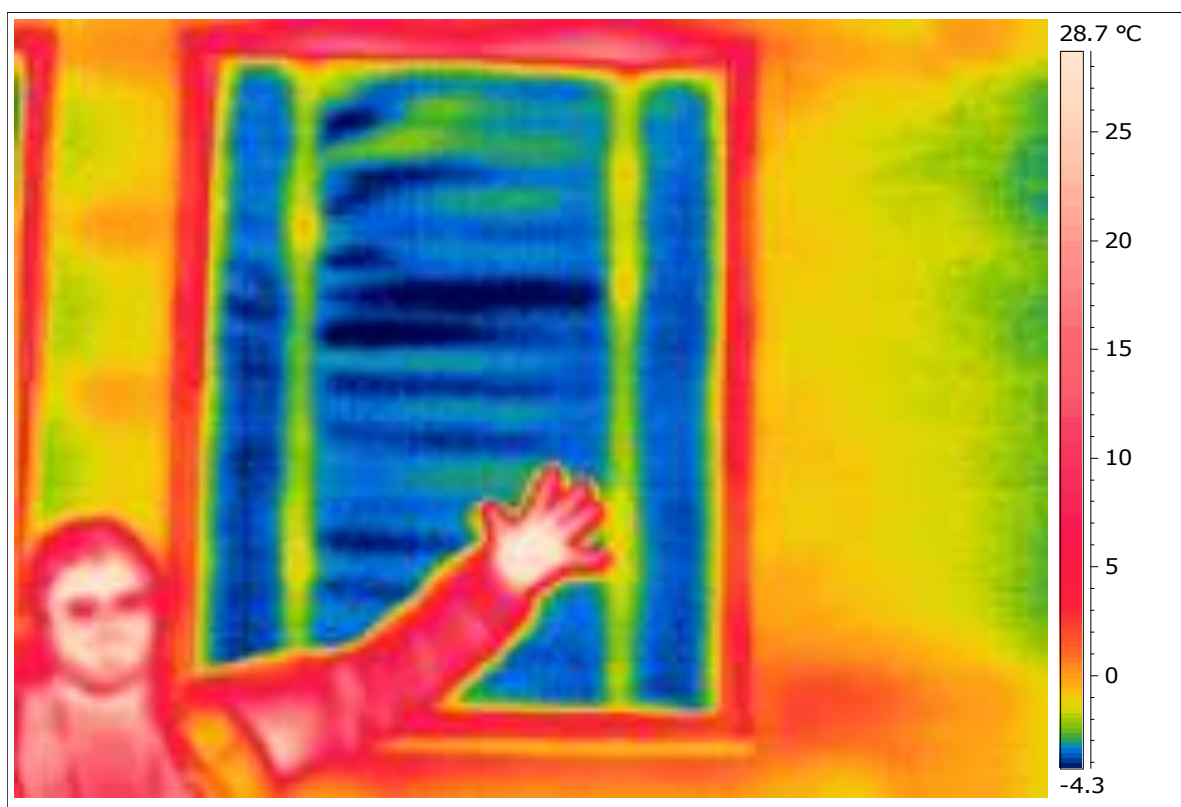
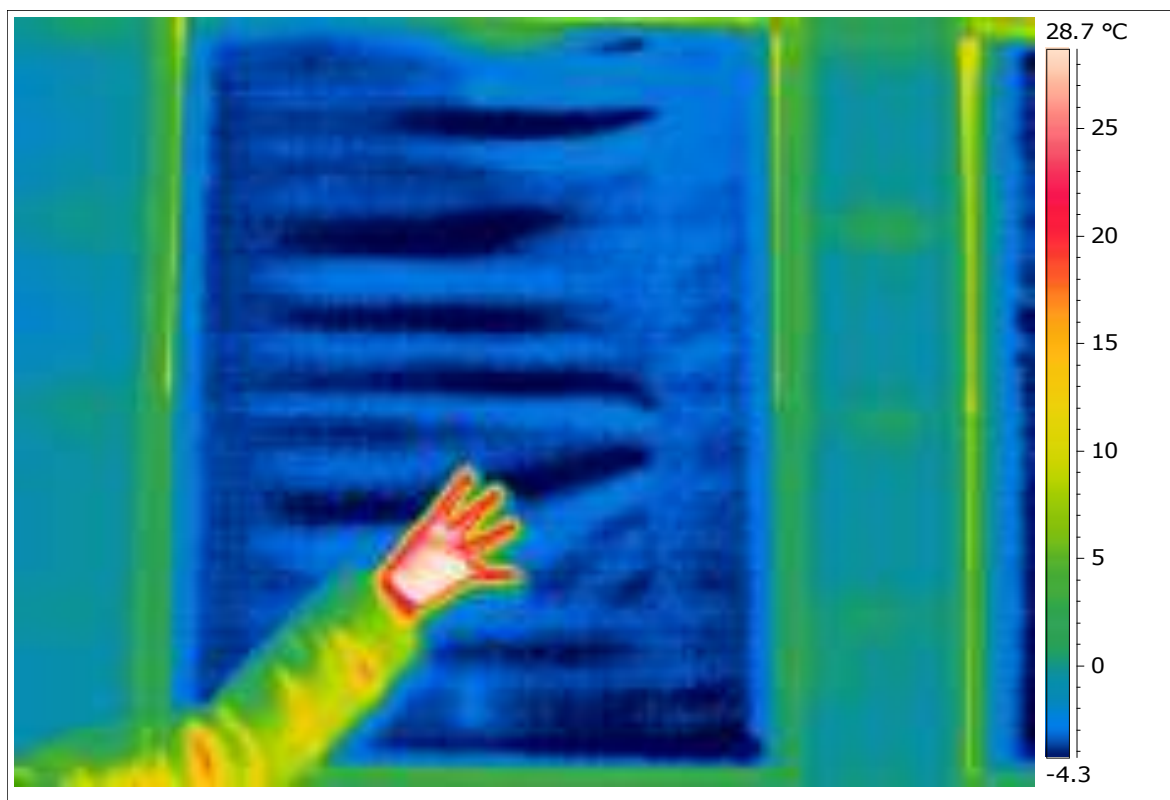


Pro zjištění, po jaké době dojde k ustálenému teplotnímu stavu byl proveden dynamický výpočet průběhu teplot v jednovrstvé konstrukci. Výsledný graf teplotního chování je uveden níže.

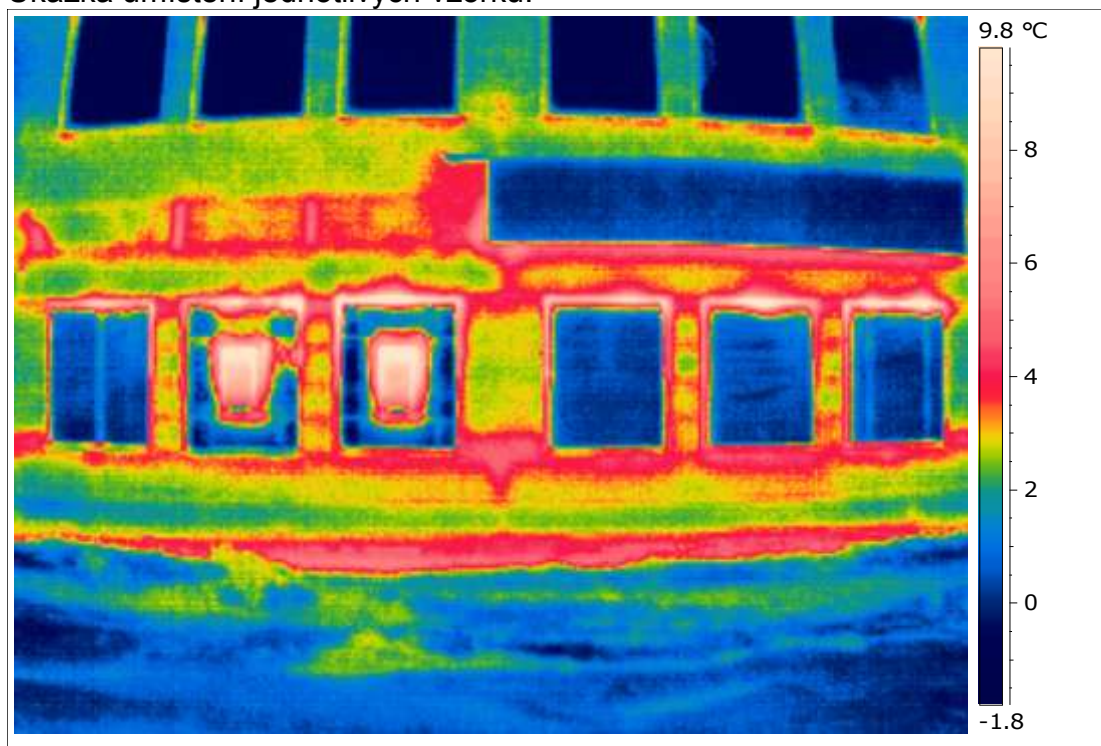






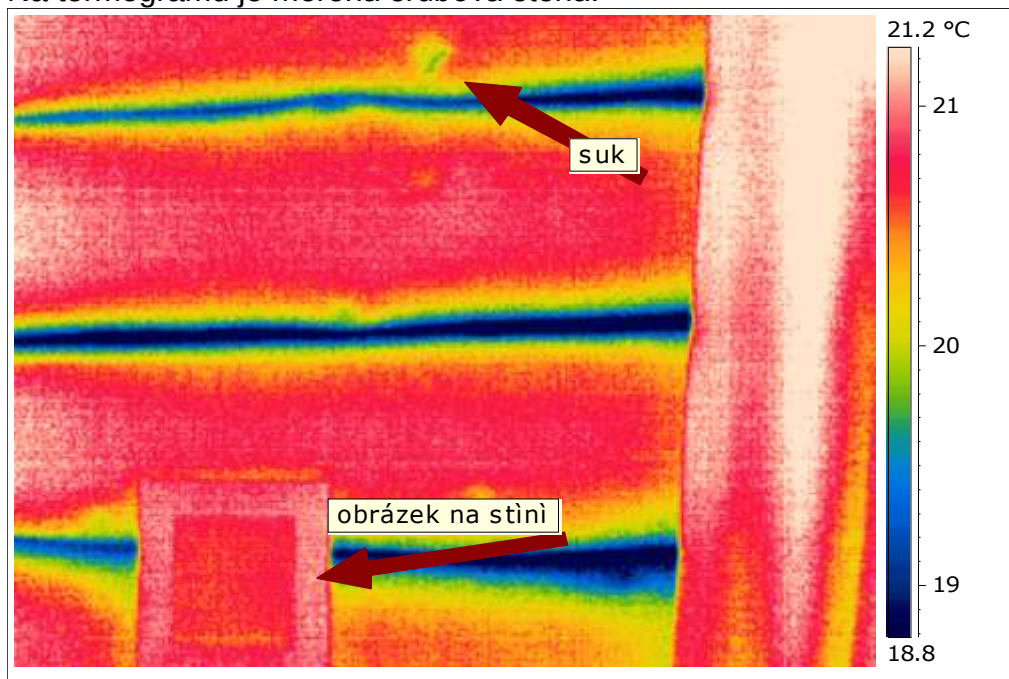


Ukázka umístění jednotlivých vzorků.



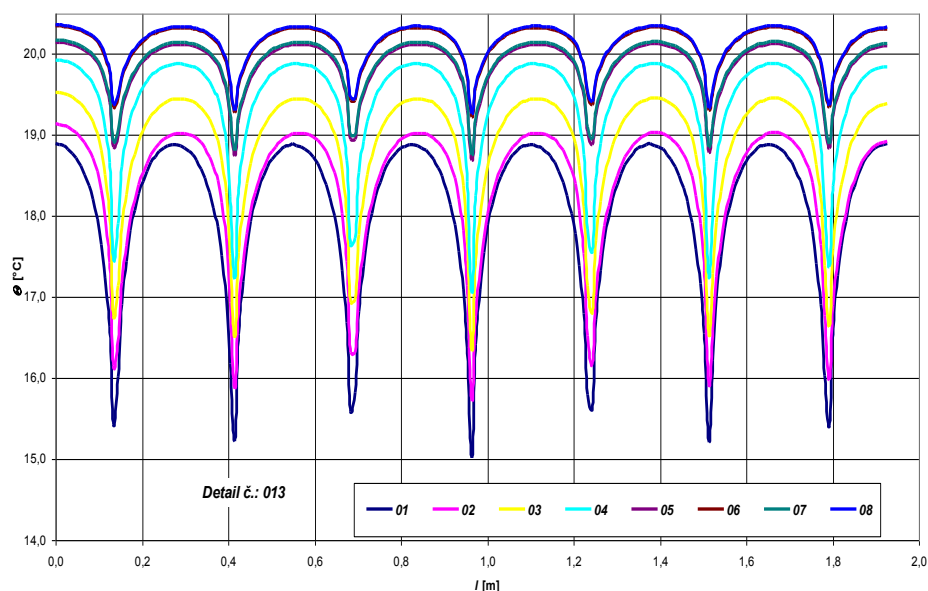
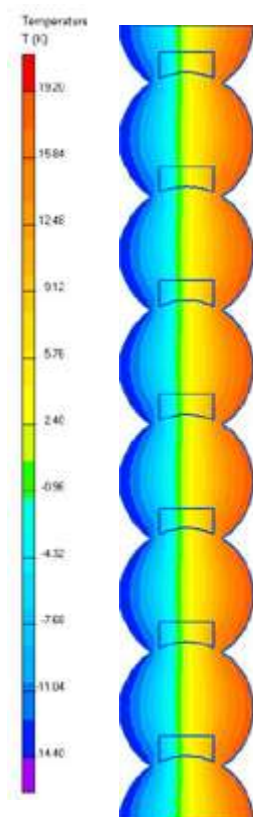
Ukázka termogramu a výpočtu průběhu teplot srubové konstrukce

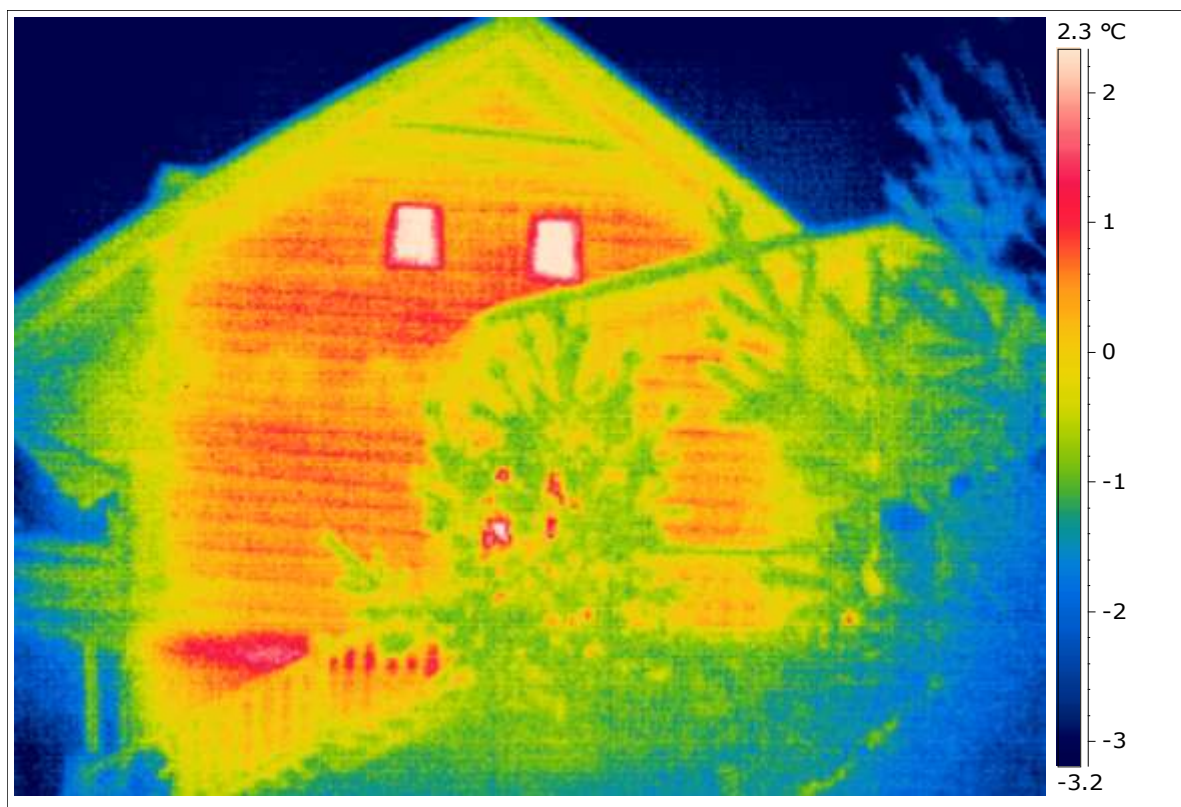
Na termogramu je měřená srubová stěna.

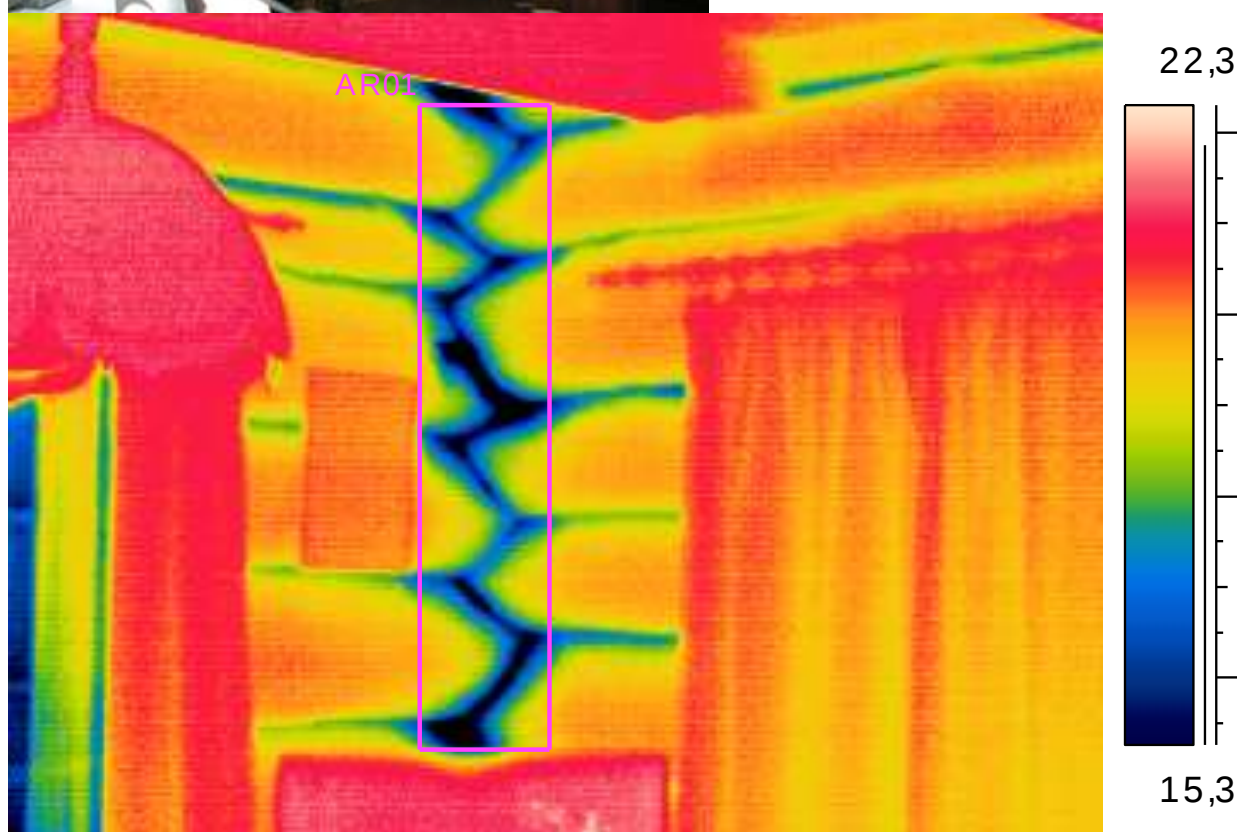


Výpočet rozložení teplot ve stěně

Průběh povrchových teplot s různou dodatečnou tepelnou izolací a s uvažováním různých tepelně izolačních vlastností dřeva.

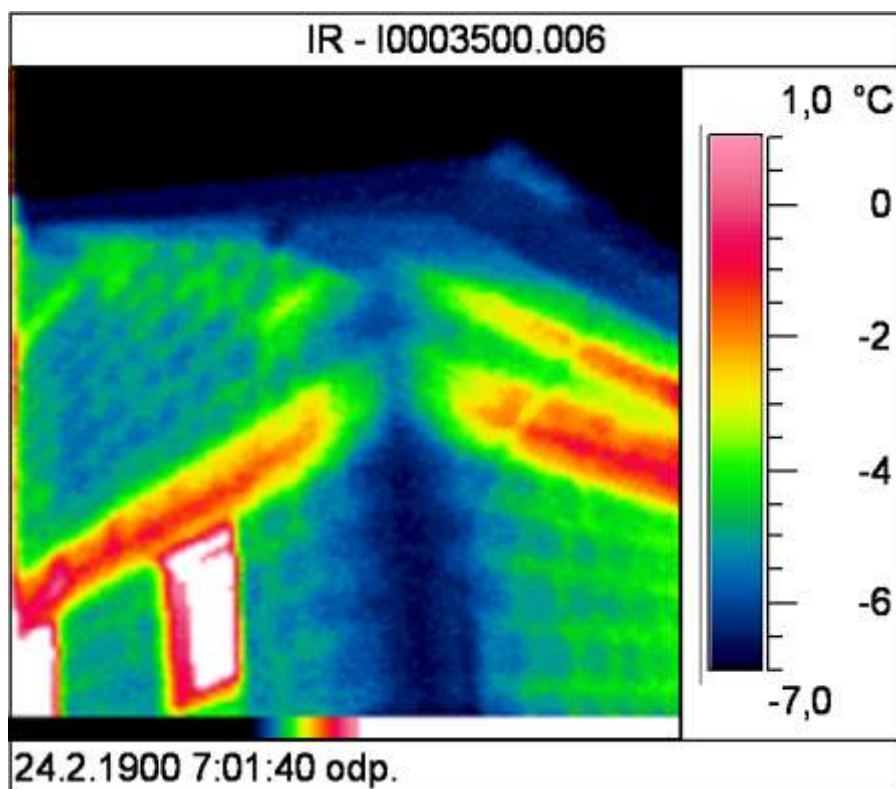
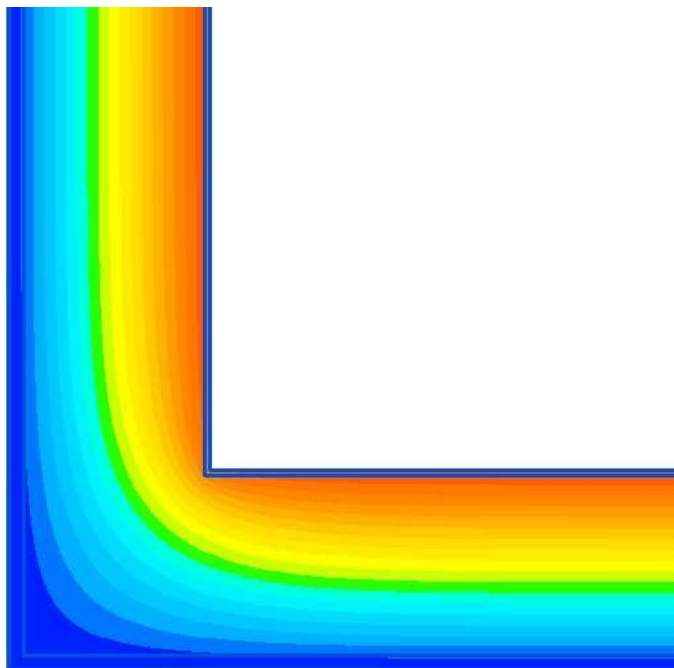


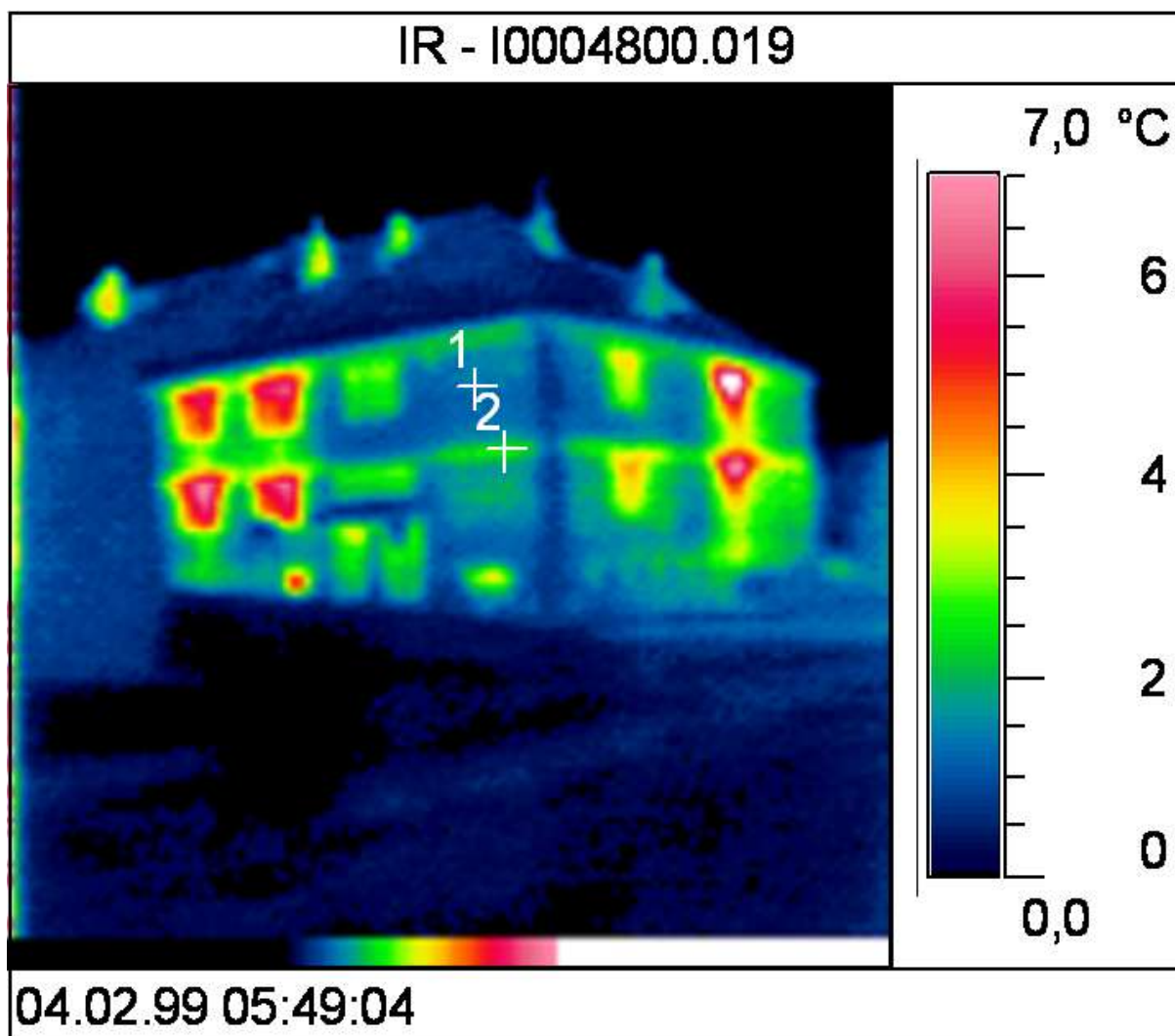




Ukázka termogramu a výpočtu průběhu teplot rohu budovy

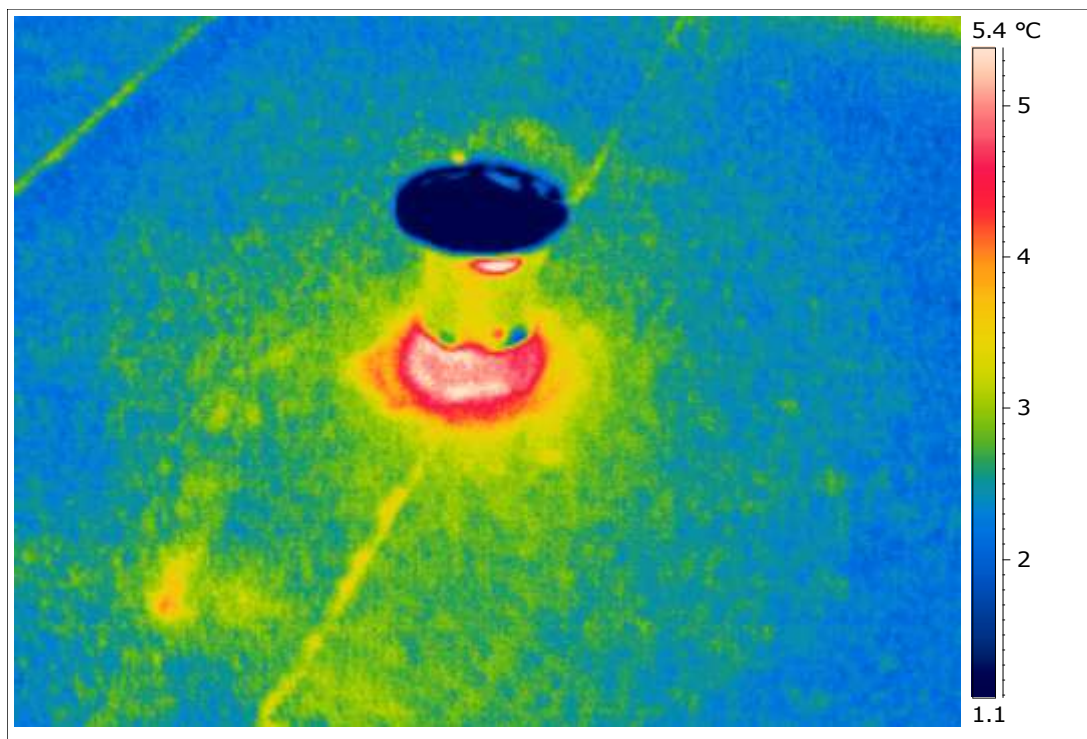
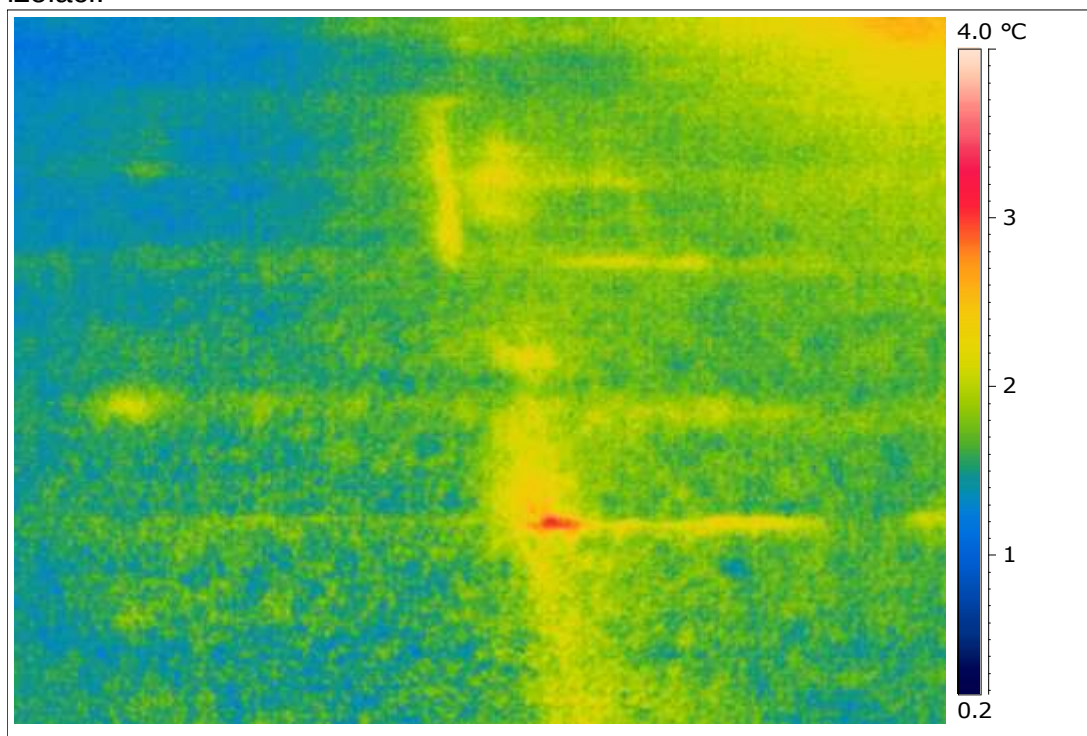
Na následujícím obrázku je teoretický výpočet průběhu teplot v rohu budovy a na následujících termogramech pak stejný případ dokumentovaný termokamerou.

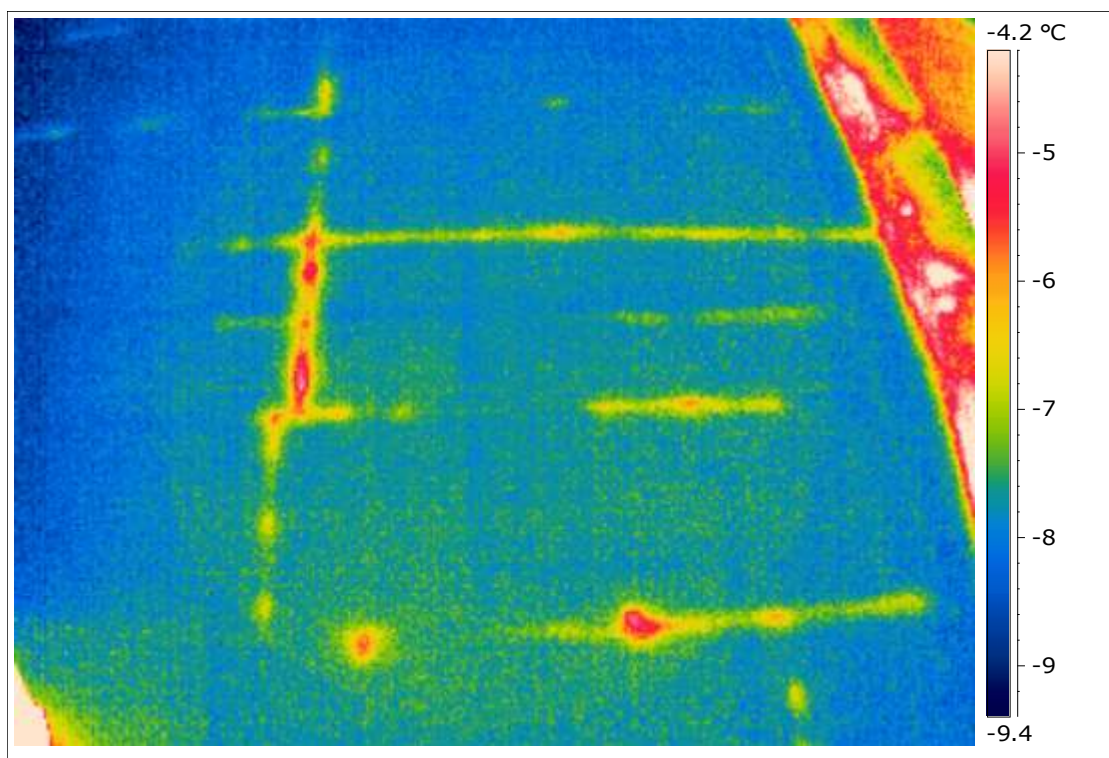
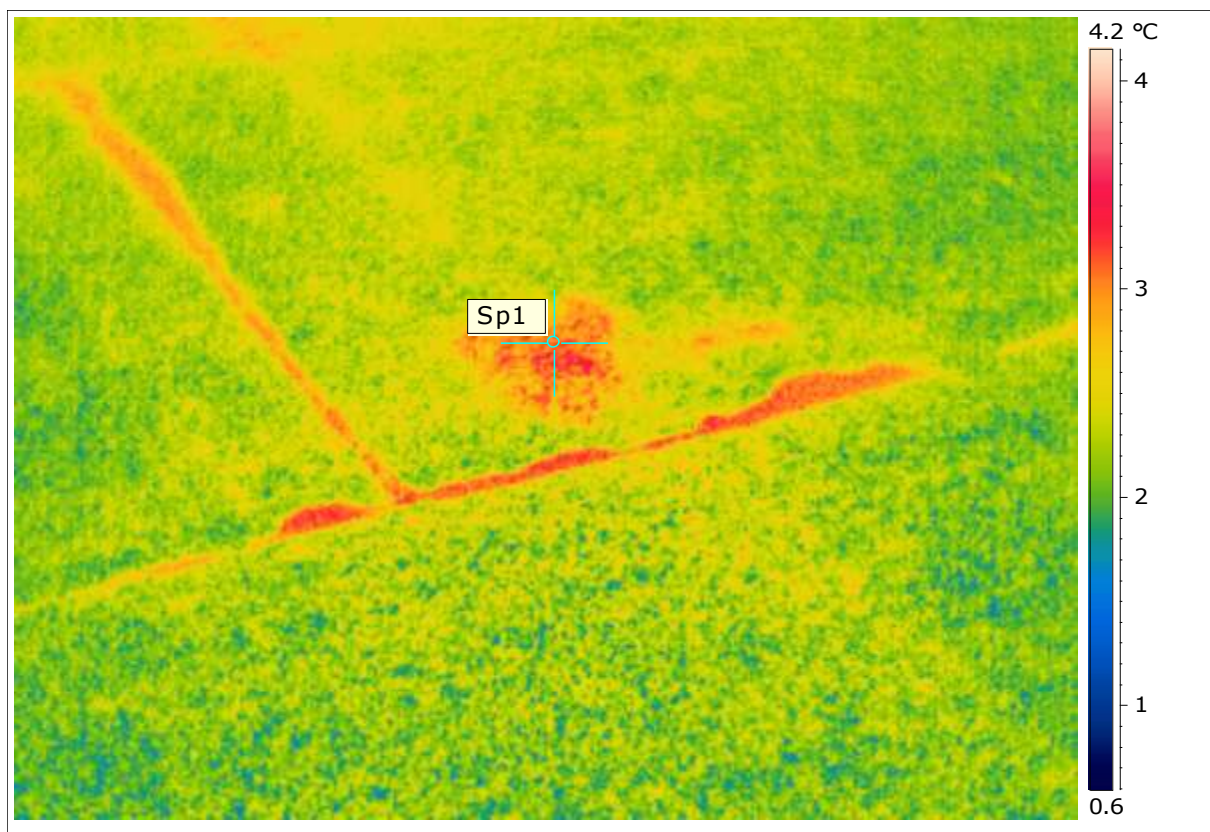


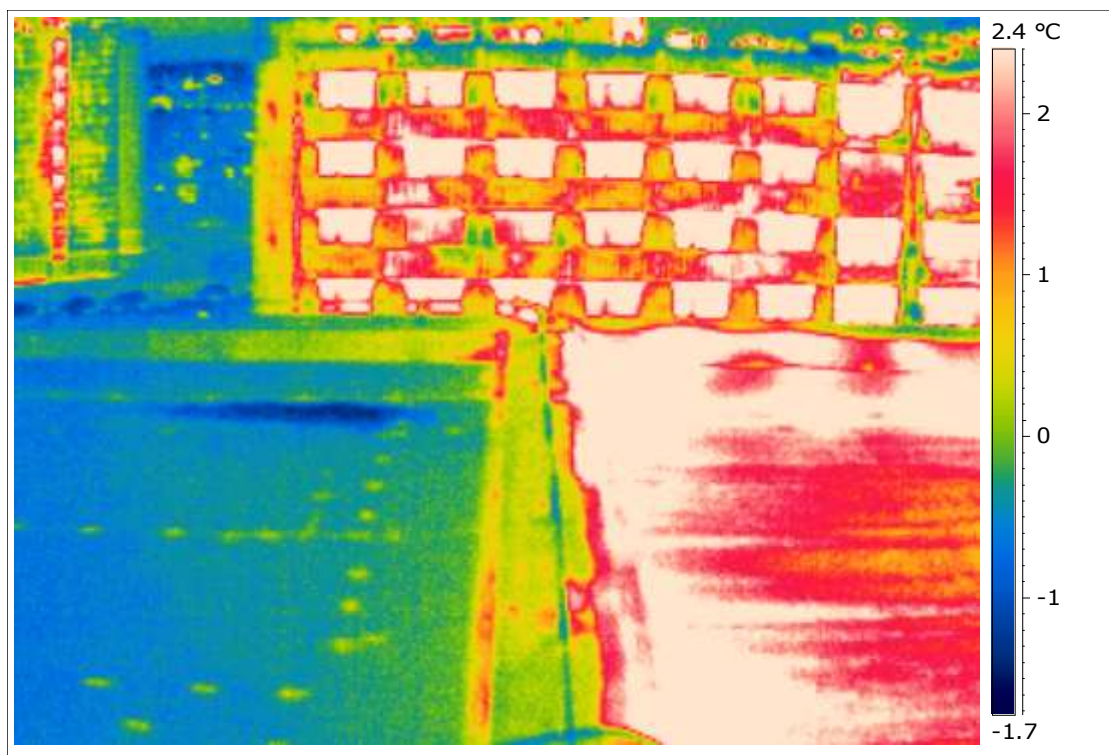
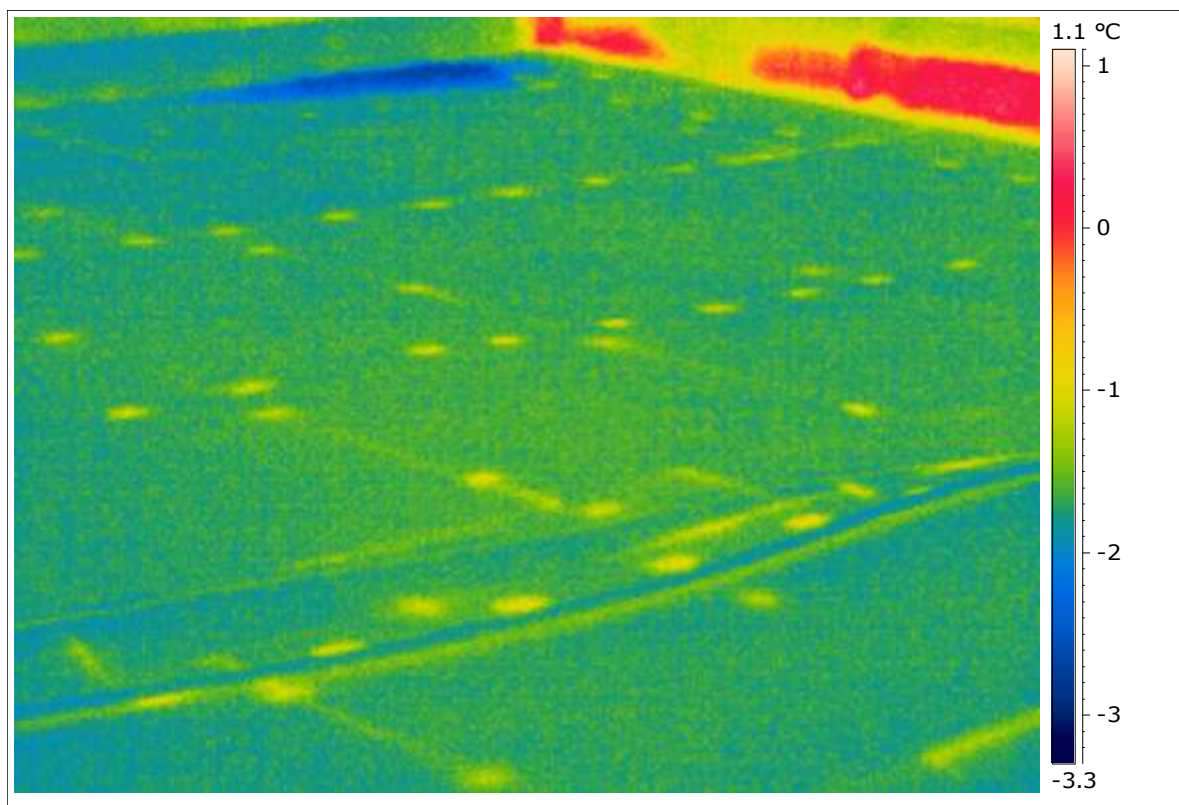


Ukázka termogramů závad plochých střech

Na následujících obrázcích jsou různé zateplené ploché střechy s vadami v tepelné izolaci.

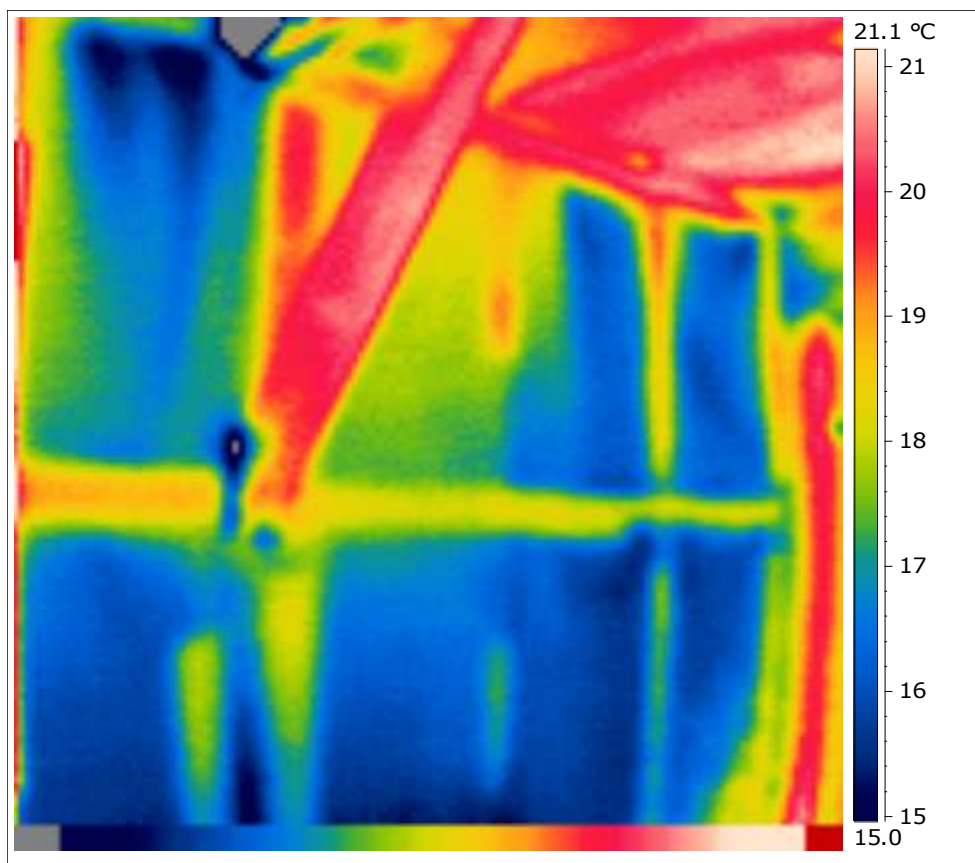


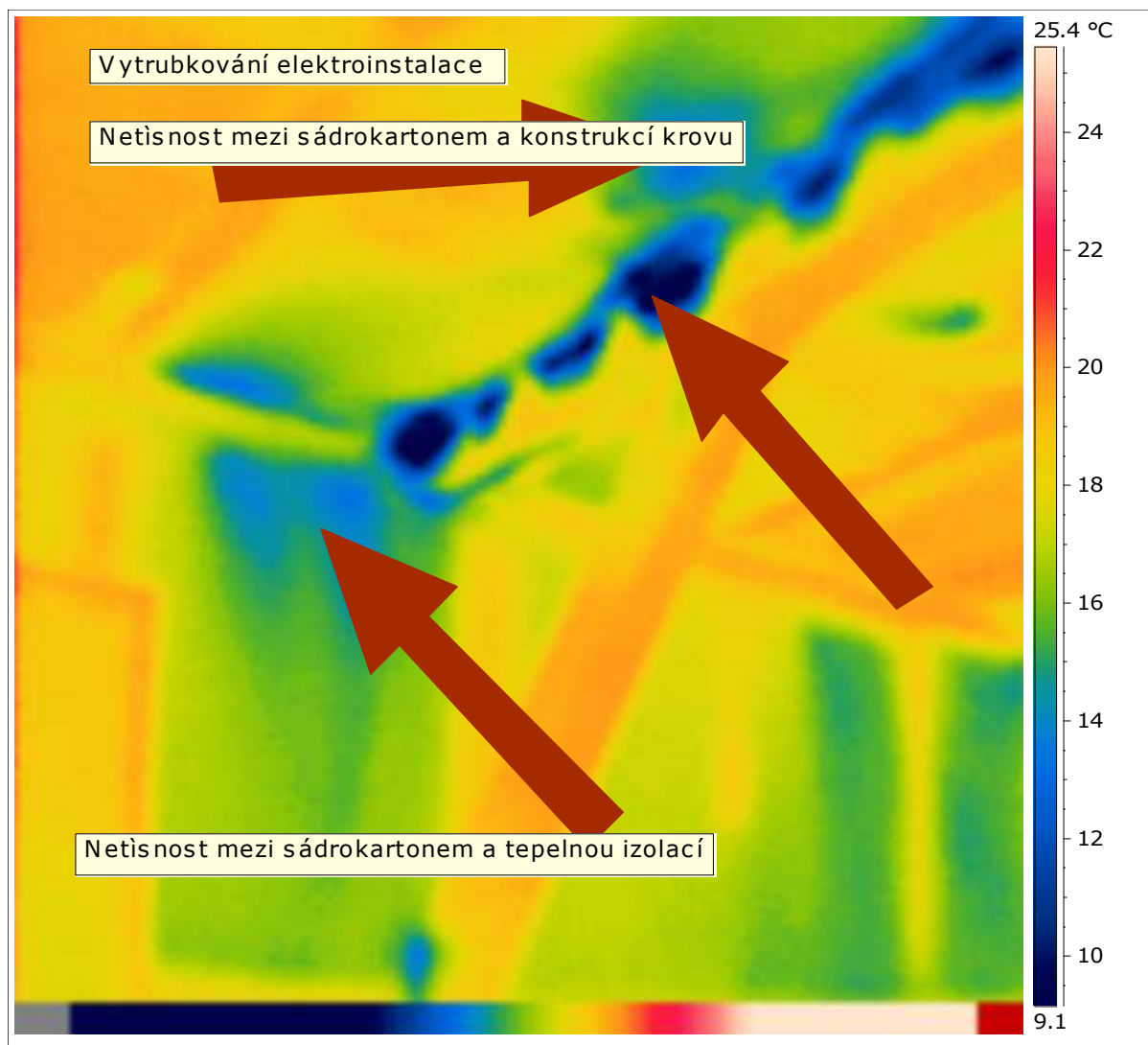




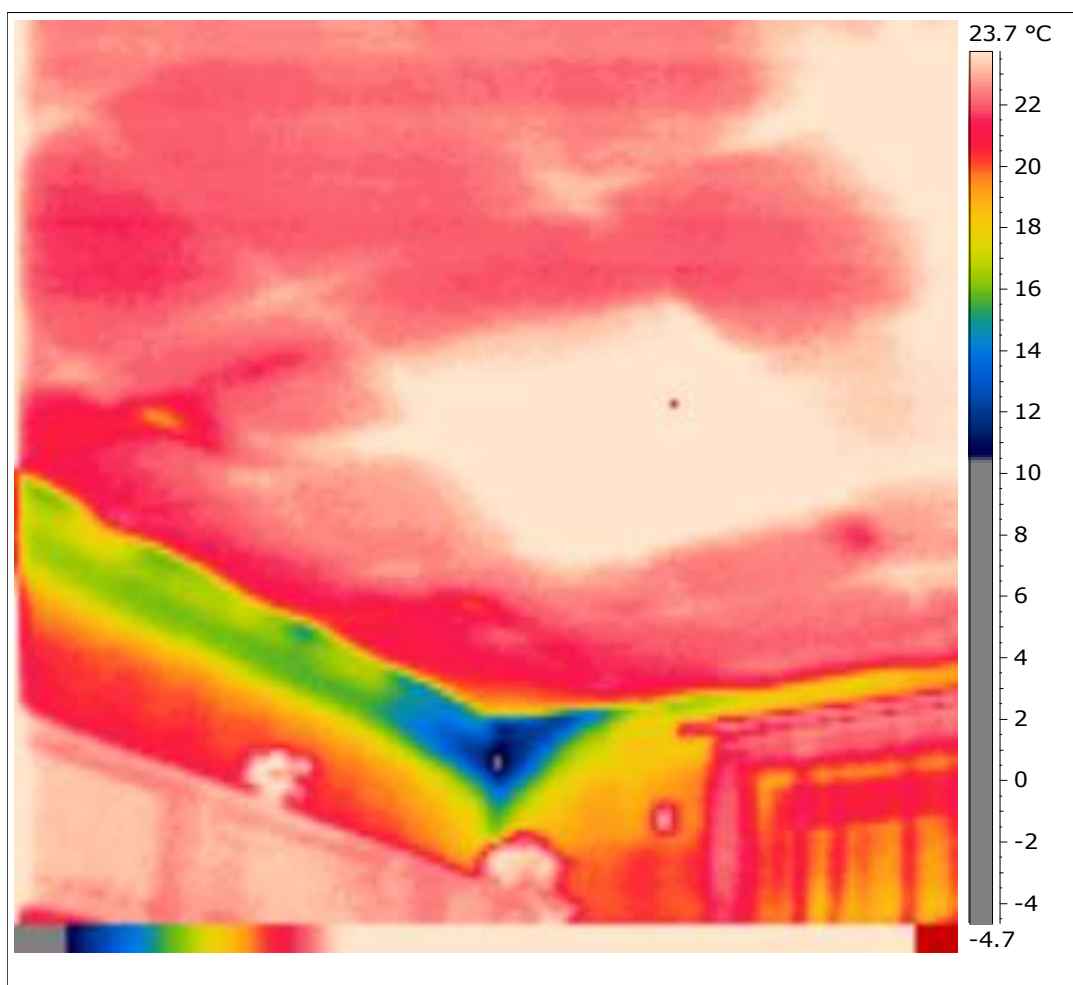
Ukázka zjišťování vzduchotěsnosti objektů

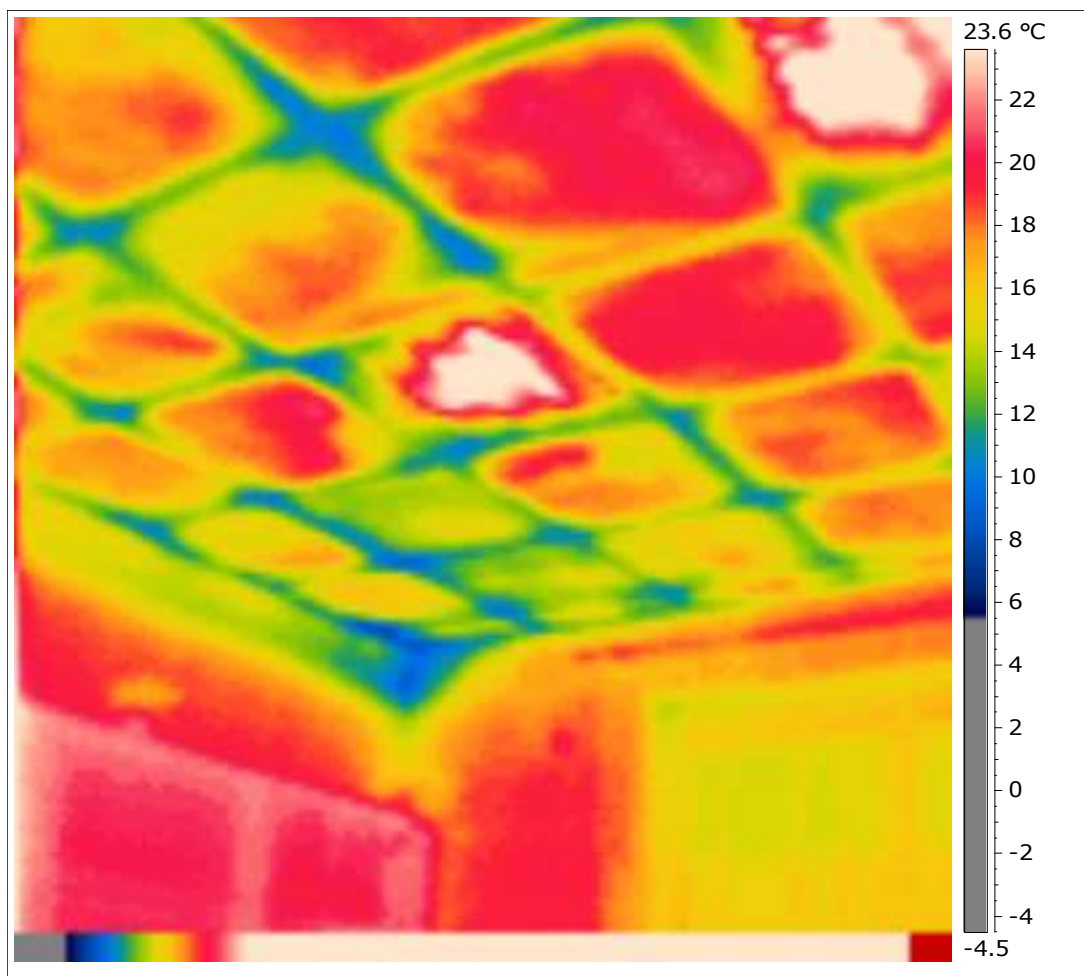
Na následujícím obrázku je teoretický výpočet průběhu teplot v rohu budovy a na následujících termogramech pak stejný případ dokumentovaný termokamerou.





Na následujících termogramech je stejná místnost bez podtlaku a s vyvolaným podtlakem vzduchu. U obou termogramů jsou nastaveny stejné teplotní škály. Reálná fotka následuje.





Tepelná kapacita materiálu

Na termogramu jsou patrné stopy člověka na podlaze – tyto stopy jsou patrné i několik desítek minut podle toho, o jakou podlahu se jedná a jak dlouho stál člověk na místě.

