APOKS

komínová asociace z.s.

ZÁVĚRY Z LABORATORNÍHO MĚŘENÍ PRŮBĚHU TEPLOT NA MODELOVÉM PROSTUPU KOMÍNOVÉHO TĚLESA STROPNÍ KONSTRUKCÍ

Shrnutí výsledků měření pod souhrnným názvem:

INTEGRACE A BEZPEČNOST KOMÍNOVÝCH SYSTÉMŮ V DŘEVOSTAVBÁCH A ENERGETICKY ÚSPORNÝCH STAVBÁCH

Obsah:

- shrnutí současného stavu v oblasti začlenění komínových systémů do moderních staveb,
- definice modelové konstrukce prostupu komínu střešní konstrukcí,
- sestavení zkušebního vzorku spalinové cesty prostupujícího vzorkem střešní konstrukce,
- realizace laboratorního měření teplot při provozu spalinové cesty,
- analýza měřených dat
- návrh řešení pro bezpečnou integraci komínových systémů do moderních staveb.

RaabGruppe Raab

MESSY založeno 1992

Úvod

Integrace a bezpečnost komínových systémů v moderních stavbách je v současné době podstatným hlediskem při jejich navrhování. Cílem této studie je upozornit na problematický aspekt vysoké teploty vnějšího povrchu komínového tělesa při prostupu izolovanou stavební konstrukcí. V úvodu studie je obecně popsán současný stav v problematice navrhování komínů. V experimentální části je představena laboratorní teplotní zkouška, při které byly měřeny průběhy teplot ve vzorku střešní konstrukce, kterou procházelo komínové těleso. Následně jsou výsledky rozebírány a porovnávány. Jsou zde vysvětleny důvody zvyšující se teploty v izolační složce střešní konstrukce. Studie obsahuje návrh řešení za použití izolační šachty a pohled na současnou legislativu. Závěr shrnuje a rekapituluje probíranou problematiku.

Komíny jsou součástí staveb již po staletí. Jako každá dlouhodobě používaná stavební konstrukce prošly i komíny technologickým vývojem, a to jak z pohledu používaného materiálu, tak konstrukčního řešení. V moderní historii se jednalo o zděné komíny, které sloužily pro odvod spalin z kotlů, krbů či kamen, používaných jako jediný zdroj tepla pro vytápění budov. Vzhledem k průvzdušnosti obvodových konstrukcí a tudíž v podstatě atmosférickému tlaku uvnitř budovy byla zajištěna dostatečná účinnost komínového tahu. Takto navržené a používané komíny fungovaly dobře v budovách z převážně nehořlavých materiálů s dostatečným přístupem vzduchu.

Komínové těleso je i v současné době nedílnou součástí většiny moderních staveb. Vytápění biomasou je z hlediska obnovitelnosti tohoto zdroje seriózním řešením i pro budoucnost. Kombinace spotřebiče na biomasu s výměníkem a akumulační nádobou může být po roce 2020, z důvodu nutnosti splnění požadavku na maximální využití energie z obnovitelných zdrojů, nedílnou součástí většiny moderních staveb. V těchto nízkoenergetických, či dokonce pasivních stavbách je však vhodné začlenění komínové tělesa mnohem obtížnější, než tomu bývalo dříve. V současné době staveb s nízkou spotřebou tepla na vytápění se zcela změnily okolní podmínky, za kterých jsou komíny provozovány. Moderní stavby bývají realizovány převážně z hořlavých materiálů, jako je celulóza, plast a dřevo s nízkou tepelnou vodivostí. Stavby bývají často difúzně uzavřeny a velmi dobře tepelně izolovány. Kritickým místem pro požární bezpečnost jsou právě prostupy, kde komínová tělesa prochází střechou, stropem nebo stěnou vyrobenou z těchto hořlavých materiálů.

Návrh komínu do moderních nízkoenergetických či pasivních staveb nelze tedy podceňovat. Naopak je třeba mu věnovat zvýšenou pozornost, a to ať z důvodu častějšího používání hořlavých materiálů při výstavbě objektů, tak s přihlédnutím k rozsahu provozu spalinové cesty a osoby, které ji provozují. Pokud osoby, které objekt využívají, nemají dostatečné zkušenosti s provozem spalinové cesty a nemají jasně definované okrajové podmínky při kterých spotřebič provozovat, hrozí přetápění spalinové cesty a podcenění bezpečnosti. Právě tyto skutečnosti by měly vést k co nejefektivnějšímu a současně bezpečnému návrhu spalinové cesty, kterého lze dosáhnout pouze optimalizací provozu a individuálním řešením umožňujícím bezpečný provoz.

Současný stav poznání

1. Nízkoenergetické a pasivní budovy

Nízkoenergetické budovy jsou charakterizovány nízkou potřebou tepla na vytápění. Té je dosahováno zejména optimalizovaným stavebním řešením obálky budovy. Za nízkoenergetickou budovu se považuje budova, jejíž průměrný součinitel prostupu tepla U nepřekračuje doporučenou tabulkovou hodnotu podle ČSN 73 0540-2 Tab. 5 (např. U = 0,50 W/(m^2·K) pro obytné budovy) a současně měrná potřeba tepla na vytápění E_A nepřekračuje E_A = 50 kWh/(m^2·a). Pro budovy s převažující návrhovou teplotou mimo interval 18 až 22 °C se hodnocení neprovádí (čl. A.5.2 ČSN 73 0540-2).

Pasivní budovy jsou charakterizovány minimalizovanou potřebou energie na zajištění požadovaného stavu vnitřního prostředí a minimalizovanou potřebou primární energie z neobnovitelných zdrojů na jejich provoz vzhledem k optimalizovanému stavebnímu řešení a dalším opatřením. Hodnoty potřeby tepla na vytápění a dodané energie na vytápění se stanoví postupem dle ČSN EN ISO 13790 s využitím vstupních údajů uvedených v TNI 73 0330 Tabulka A.1 (0,20 W/(m^2·K) pro obytné budovy). Povinně hodnocenou vlastností je celková průvzdušnost obálky. Na tyto stavby jsou kladeny vysoké nároky, co se týče kvality použitých materiálů a provedení všech konstrukcí a detailů.

V důsledku snižování energetické náročnosti budov, dle zákona č. 318/2012 Sb. §7 je v případě výstavby nové budovy stavebník povinen plnit požadavky na energetickou náročnost budovy podle prováděcího právního předpisu a při podání žádosti o stavební povolení nebo ohlášení stavby, doložit kladným závazným stanoviskem dotčeného orgánu podle § 13 splnění požadavků na energetickou náročnost budovy s téměř nulovou spotřebou energie, a to v případě téměř všech budov od 1. ledna 2020. Nutnost splnění požadavku na maximální využití energie z obnovitelných zdrojů tedy může vést k nárůstu využití biomasy i pro primární vytápění objektu a ohřev TV (v kombinaci s akumulační nádobou), případně může spotřebič na biomasu zajišťovat uvedené potřeby sekundárně, například pro překlenovací období zvýšené potřeby.

V objektech s nízkou potřebou energie na vytápění vyvstává i problém tepelných zisků od komínového tělesa. Během provozu může komínové těleso produkovat nemalé tepelné zisky, které přímo ovlivňují vnitřní prostředí daných objektů. I tento aspekt je nutné při navrhování komínů do nízkoenergetických či pasivních budov brát v potaz a tepelné zisky od komínového tělesa zahrnout do výpočtu celkových tepelných zisků od vnitřních zdrojů. Možností omezení tepelných zisků je například zvýšením izolační složky komínového tělesa, nebo umístěním komínu mimo budovu, či do odvětrávané šachty vzduchotěsně oddělené od vnitřního prostředí.

2. Neprůvzdušnost obálky budovy

Při návrhu a realizaci komínového tělesa pro tento druh staveb je nejdůležitějším aspektem dodržení neprůvzdušnosti obálky. Celková průvzdušnost obvodového pláště energeticky úsporné

budovy je stanovena normou jako n_{50} [h^{-1}]. Celková výměna vzduchu n_{50} při tlakovém rozdílu 50 Pa nesmí překročit hodnotu $n_{50} = 0{,}6\ h^{-1}$ (dle ČSN 73 0540-2 čl. A.5.3). Čím menší je tato hodnota, tím je větší vzduchotěsnost stavby. Vysoká průvzdušnost obálky budovy pochopitelně vede k vyšším tepelným ztrátám, které během projektování budovy zpravidla nejsou zohledněny.

Z tohoto důvodu vyplynula nutnost integrace komínového tělesa do budovy nezávisle na vzduchotěsné obálce budovy, což však klade nové nároky na návrh a realizaci komínového tělesa. Aby mohla být neprůvzdušnost dodržena, musí být veškeré vzduchotěsné konstrukce a materiály dotaženy až k vnějšímu povrchu komínového tělesa a tam vzduchotěsně fixovány. Zde však vyvstává problém povrchové teploty komínového pláště a dodržení bezpečné vzdálenosti od jeho vnějšího povrchu k hořlavé konstrukci. Dle ČSN 73 4201 čl. 6.5 je nejmenší dovolená vzdálenost hořlavých stavebních materiálů od povrchu komínového pláště jednovrstvých komínů zděných z plných cihel 50 mm. Nejmenší vzdálenost od hořlavých stavebních materiálů pro systémové komíny musí být deklarována výrobcem, podle příslušných norem výrobků a nejmenší vzdálenost od hořlavých stavebních materiálů pro individuální komíny musí být deklarována zhotovitelem pomocí výpočtu.

3. Spalinová cesta

Spalinová cesta je definována dle (ČSN EN 1443 čl. 5.1) jako dutina určená k odvodu spalin do volného ovzduší. Podle téže normy je komín definován jako jednovrstvá či vícevrstvá konstrukce.

Dle uvedené ČSN spalinová cesta musí být navržena a provedena tak, aby za všech provozních podmínek připojených spotřebičů paliv a místě obvyklých povětrnostních podmínek byl zajištěn bezpečný odvod spalin komínem a jejich rozptyl do volného ovzduší. Nesmí dojít k ohrožení bezpečnosti a zdraví osob nebo zvířat, a musí být zajištěna požární bezpečnost všech prostorů, kterými spalinová cesta prochází.

Tato definice je poplatná době svého vzniku. Ve skutečnosti lze u spotřebičů typu krb či kamna spalujících dřevo nebo produkty na bázi dřeva jen těžko zajistit, aby spalinová cesta byla provedena tak, že za všech provozních podmínek zajistí bezpečný odvod spalin do ovzduší. Provozní podmínky jsou zcela závislé na obsluze uživatelem, který nevhodným používáním může v komínovém tělesu vyvolat teploty až přes 600 °C. Ačkoliv v běžném provozu nebudou spaliny takových teplot dosahovat, aktuální legislativa vyžaduje, aby i za těchto podmínek byl bezpečný odvod spalin zajištěn. To klade extrémní (v podstatě nesplnitelné) požadavky na konstrukci a provedení spalinové cesty. Při návrhu na „limitní“ parametry není totiž, mimo jiné, spalinová cesta optimalizována pro výrobcem definované provozní parametry spotřebiče, který tak nemůže dosáhnout optimální účinnosti.

4. Komínové systémy v nízkoenergetických a pasivních stavbách

V současné době mají v novostavbách největší zastoupení vícevrstvé komíny. Tyto komíny dělíme podle materiálu vnitřní vrstvy (vložky) na keramické a nerezové. Vnější nosná matrice (komínový plášť) je pak tvořena betonovou nebo keramickou objemnou matricí nebo u plně nerezových komínů subtilním nerezovým pláštěm. Mezi tyto dvě vrstvy je vložena tepelná izolace obvykle z minerální vaty (izolační vrstva pro vícevrstvé komíny musí mít třídu odolnosti proti vyhoření sazí G a bod tání vyšší než 1000 °C).

Prostor mezi komínovým pláštěm a hořlavým materiálem by měl být dle technických zadání výrobce, nebo dle konkrétní výrobkové normy, tvořen trvale větranou vzduchovou mezerou. To se týká celé délky komínů, tedy i všech prostupů komínového tělesa, a to ať už se jedná o prostupy stropní či střešní konstrukcí, tak komínového tělesa vedeného podél stěny tvořené hořlavými materiály. V případě, že toto řešení není konstrukčně proveditelné, lze teoreticky mezeru vyplnit izolačním materiálem. Jakýmsi vodítkem mohou být vzory řešení uvedené v ČSN EN 06 1008, které jsou ovšem poplatné datu vzniku (před rokem 1997) a v současné reálné praxi tedy těžko použitelné.

Minimální bezpečnou vzdálenost vnějšího povrchu systémového komínu od hořlavých stavebních materiálů lze také vyčíst ze zatřídění komínu dle ČSN EN 1443. Problémem při určení bezpečné vzdálenosti hořlavých konstrukcí je však fakt, že tato vzdálenost se určuje ve zkušebně, měřením povrchové teploty v bezpečné vzdálenosti vymezené větranou vzduchovou mezerou.

Při prostupu komínového tělesa střešní či stropní konstrukcí, které oddělují vzduchotěsnou obálku budovy, je klíčovým problémem zajištění neprůvzdušnosti tohoto prostupu. Většina parotěsných či difúzních fólií, které neprůvzdušnost zajišťují, vykazuje třídu reakce na oheň B až F a jedná se tudíž dle ČSN 73 4201 čl. 4.5 o hořlavé materiály. Vzhledem k tomu, že vzdálenost hořlavých materiálů od povrchu komínového tělesa musí být taková, aby teplota na jejich povrchu při teplotě prostředí 20 °C nepřekročila teplotu 100 °C, musí být parotěsné či difúzní fólie umístěny minimálně přesně v takové vzdálenosti (obvykle 50 – 100 mm). Toto řešení však v naprosté většině realizací vylučuje dotažení těchto fólií k povrchu komínu pro dodržení neprůvzdušnosti konstrukce a nelze ho tudíž u nízkoenergetických či pasivních budov využít.

Dle ČSN 73 4201 čl. 5.7 se teplota vnějšího povrchu komínu ověřuje splněním kritérií pro požární odolnost komínu a vzdálenost od hořlavých stavebních materiálů, nebo slouží jako kritérium nejvyšší přípustné teploty vnějšího povrchu, kde je možný náhodný lidský kontakt. Komínové těleso musí splňovat i požadavky příslušné požární odolnosti prostor, kterými prochází. Požární odolnost zvnějšku ven (proniknutí požáru z jednoho požárního úseku do druhého přes průchod komínu) je klasifikována třídou EI (mezní stav celistvosti a mezní stav izolační schopnosti) dle ČSN EN 13501-2. Té lze dosáhnout, buďto pokud komínové těleso vykazuje požadovanou požární odolnost, nebo komínové těleso je vestavěno do šachty, jejíž stěny mají požadovanou požární odolnost, nebo pokud komínové těleso společně s opláštěním jako celek mají požadovanou požární odolnost. Požární odolnost klasifikována třídou EI není však u označování komínu povinně vyžadována a je udávána dobrovolně dle uvážení výrobce na

komínovém štítku či v technickém listu výrobku. Požární odolnost komínového tělesa klasifikovaná třídou EI však není předmětem této studie. V moderních stavbách je v současné době důležitější požadavek na bezpečnost při tepelném namáhání přilehlých konstrukcí během provozního stavu (napojení parotěsné fólie, hořlavé prvky stavebních konstrukcí v blízkosti komínového tělesa a podobně).

5. Teplota spalin

Pro správný návrh spalinové cesty je nutné vycházet mimo jiné z teploty spalin. Každý výrobce topidel na pevná paliva (krbová kamna, krbová vložka, kotel na pevná paliva apod.) je povinen v technickém listu spotřebiče uvádět teplotu spalin na spalinovém hrdle spotřebiče. Tato hodnota je získána na základě měření, které je definováno požadavky o shodě se všemi směrnicemi společenství pro plnou harmonizaci dle zásad globálního přístupu certifikace CE - zjednodušeně řečeno požadavkem na maximální účinnost. V této souvislosti je ovšem třeba upozornit na skutečnost, že maximální účinnosti není dosaženo při maximálním možném výkonu spotřebiče.

Prezentovaná měření tvrdí, že při provozu spotřebiče na pevná paliva (například krbová kamna) lze dosáhnout po 60 minutách teploty na ústí spotřebiče až 600 ˚C při „běžném“ použití, či až 780 ˚C při přetápění. Tyto hodnoty se přitom výrazně liší od hodnot deklarovaných výrobcem spotřebiče. Jak tedy na výše popsanou situaci reagovat?

Cílem provozu každého spotřebiče musí být dosažení maximální účinnosti, a ta je definována právě výrobcem při daných provozních hodnotách. Nelze tedy obecně přijmout fakt nedodržení provozních pravidel spotřebičů jako akceptovatelného stavu. Přestože lze tedy při provozu spotřebiče dosáhnout výrazně vyšší teploty spalin, je nutné navrhovat spalinovou cestu tak, jako při provozu spotřebiče s nejvyšší účinností. Dosažení této účinnosti je pak zcela závislé na provozovateli spalinové cesty.

Sporným aspektem je fakt, že výrobci testují své produkty za ideálního stavu, v ideálních podmínkách, s ideálním přísunem paliv a ideálním přístupem centrálního spalovacího vzduchu. Na základě takto podhodnocených a idealizovaných hodnot hrozí, že přestože bude spotřebič používán dle doporučení výrobce a bude uvažováno se vzrůstající teplotou na vnějším povrchu komínového tělesa, tak získané výsledky nebudou odpovídat reálnému provozu. Skutečný průběh teplot v komínovém tělese se při použití těchto vstupních hodnot tedy nepodaří přesně zachytit. Z toho důvodu lze považovat hodnoty získané během reálné laboratorní teplotní zkoušky při provozu spalinové cesty jako lépe vypovídající.

6. Teplota vnějšího povrchu komínového pláště

Na základě teploty spalin, materiálových vlastností komínového tělesa a definovaných okolních podmínkek lze vypočítat teplotu na volném vnějším povrchu komínového pláště. To je možné buďto manuálním výpočtem (např. úpravou rovnice (1) pro výpočet max. teploty spalin dle ČSN EN 15287-1+A1), nebo za použití vhodného výpočetního softwaru (například Area 2014

LT). Nejpřesnějších výsledků bude však patrně dosaženo použitím standardních rovnic pro výpočet tepelného toku rovnou nebo kruhovou stěnou (srovnání viz. graf 1). V případě použití dodatečných izolačních materiálů (izolační průchodky) je nutné považovat vnější povrch dodatečné izolace za vnější povrch komínového pláště. To z toho důvodu, aby na něj byl při výpočtu brán zřetel (obr. 1).

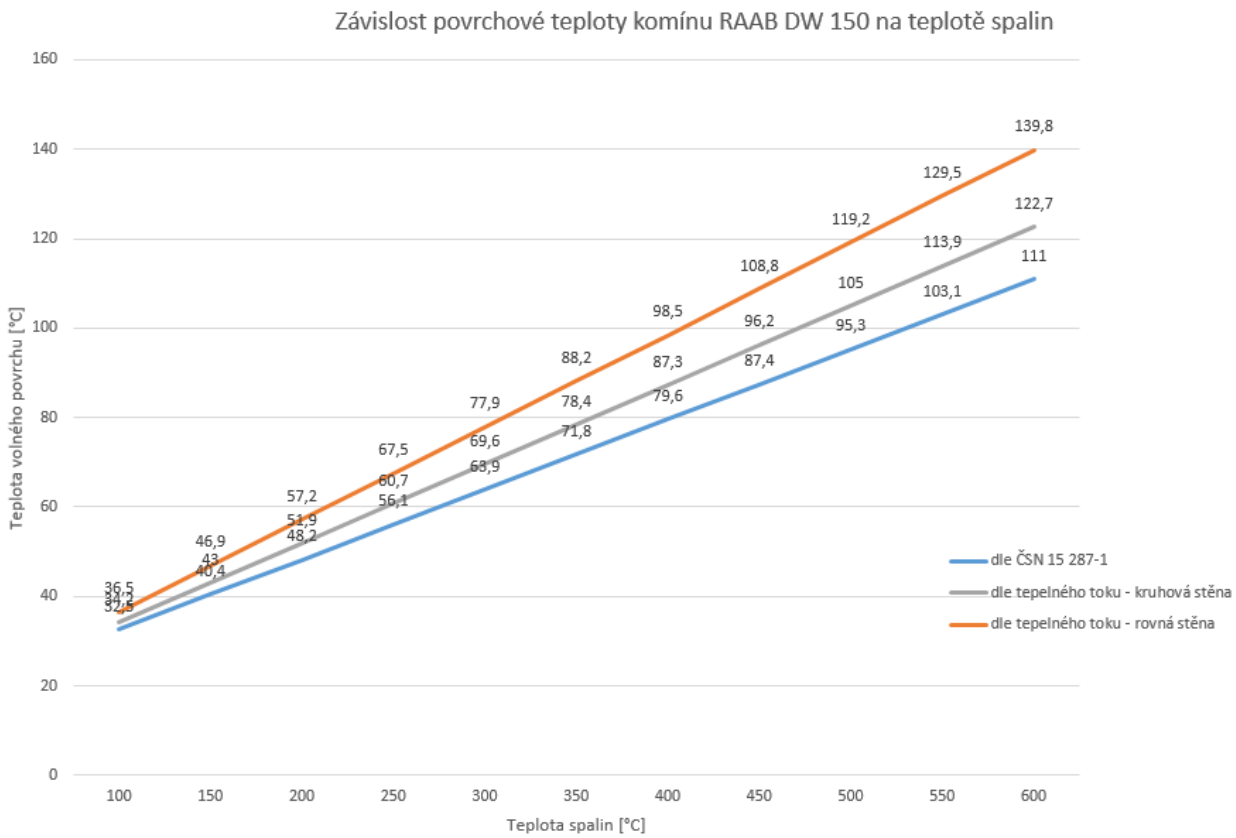
Dle ČSN EN 15287-1+A1 Rovnice (A.2) se teplota spalin vypočte jako:

$$t_{calc} = \frac{R_i + R_k + (R_{sp} \cdot \frac{D_h}{D_{ha}})}{(R_w + R_e) \cdot \frac{D_h}{D_{ha}}} \cdot (t_c - t_u) + t_c \; [°C] \qquad (1)$$

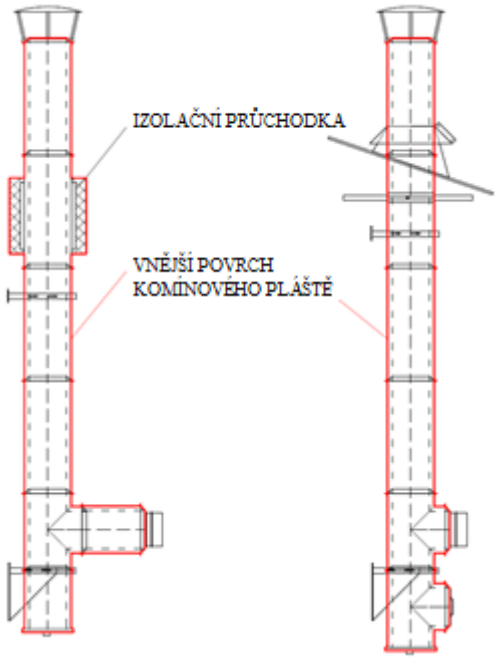
Z rovnice (1) je vyjádřena veličina t_c, která udává teplotu na vnějším povrchu komínového tělesa (2):

$$t_c = \frac{\left(\frac{R_i + R_k + (R_{sp} \cdot \frac{D_h}{D_{ha}})}{(R_w + R_e) \cdot \frac{D_h}{D_{ha}}}\right) \cdot t_u + t_{calc}}{\left(\frac{R_i + R_k + (R_{sp} \cdot \frac{D_h}{D_{ha}})}{(R_{hs} + R_e) \cdot \frac{D_h}{D_{ha}}}\right) + 1} \qquad (2)$$

Kde je:
- t_{cal} teplota spalin [°C]
- t_a teplota vnějšího povrchu komínu [°C]
- t_u teplota okolí [°C]
- R_i tepelný odpor přestupu tepla [$m^2 \cdot K/W$]
- R_k tepelný odpor komínu [$m^2 \cdot K/W$]
- R_{sp} tepelný odpor mezery mezi komínem a sousedními hořlavými materiály [$m^2 \cdot K/W$]
- R_w tepelný odpor sousední stěny s hořlavým vnitřním povrchem [$m^2 \cdot K/W$]
- D_{ha} vnější průměr komínu [m]
- D_h vnitřní průměr komínu [m]



graf 1: závislost povrchové teploty RAAB DW 150 na teplotě spalin.



obr. 1: vnější povrch komínového pláště

Problematickým aspektem výpočtu je skutečnost, že tepelně technické vlastnosti komínového tělesa se mění se vzrůstající teplotou. Tyto změny vlastností však zanedbává jak

výpočet dle normy ČSN EN 15287-1+A1, tak vybraný výpočetní software Area 2014 LT. Při jejich použití je nutné dělat výpočet pro každý časový úsek, vždy s novými vlastnostmi materiálu dle příslušné teploty. Dále je uvažováno se statickým (rovnovážným) stavem soustavy, kdy jak teplota spalin uvnitř komínu, tak teplota okolí jsou již konstantní a nezávislé na čase. To samozřejmě neodpovídá reálnému dynamickému stavu. Oba tyto aspekty vytváří značné nepřesnosti, a to zejména v případě výpočtu povrchové teploty při prostupu komínového tělesa izolovanou konstrukcí. Vypočtené výsledky pak neodpovídají realitě. Skutečné hodnoty teplot na vnějším povrchu komínového tělesa při prostupu izolovanou konstrukcí lze v současné době získat pouze laboratorní teplotní zkouškou.

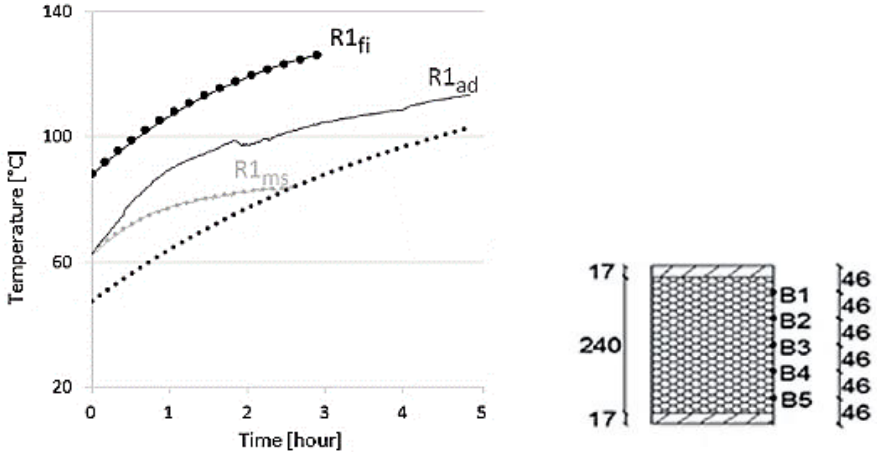
7. Základní rozbor a podklady z podobného výzkumu

Podobná zkouška proběhla na univerzitě v Brescii. Na základě dat získaných jak matematickým modelem, tak laboratorní zkouškou bylo doloženo, že teplota na vnějším povrchu komínového pláště vedeného izolovanou konstrukcí o větší mocnosti je vyšší, než teplota na vnějším povrchu volně vedeného komínového tělesa.

Skladbu zkušební konstrukce z laboratorní zkoušky lze vidět na obr. 2 b). Jedná se o 240 mm minerální vaty uzavřené mezi dvě OSB desky tloušťky 17 mm. Teplota spalin v komínu při laboratorní zkoušce byla cca 500 °C. Průběhy teplot při měření tří různě zpracovaných prostupů nerezového komínu skrze stropní konstrukci jsou patrné z obr. 2 a). Graf $R1_{fi}$ znázorňuje průběh teploty měřené termočlánkem umístěným 20 mm od vnějšího povrchu třísložkového nerezového komínu, vedeného skrze střešní konstrukci. Mezera tloušťky 20 mm mezi komínovým tělesem a izolační složkou střešní konstrukce je v tomto případě vyplněna izolačním materiálem s objemovou hmotností $\rho = 96$ kg/m^3 (obr. 2 c). V případě grafu $R1_{ad}$ byla mezera izolačním materiálem pouze utěsněna (obr. 2 b) a v případě $R1_{ms}$ byla mezera vzduchotěsně utěsněna ocelovými deskami (obr. 2 a). Z obr. 2 a) je jasně patrné, že v prostupu vyplněným izolačním materiálem bylo dosaženo výrazně vyšších teplot než při zbylých dvou měřeních.

a) *b)* *c)* *d)* *e)*

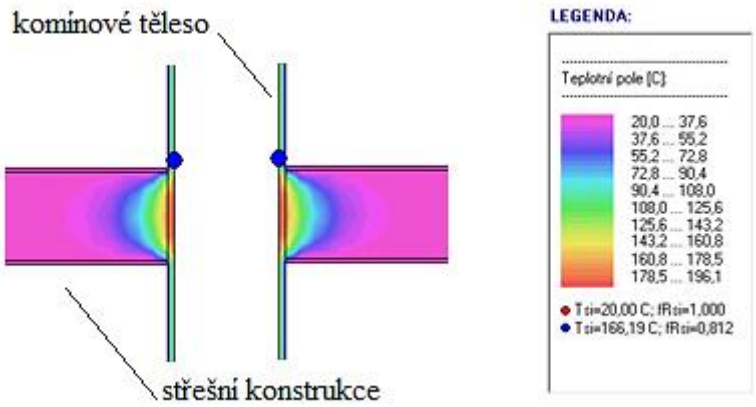
obr. 2: ukázka řemeslného zpracování a utěsnění prostupu komínového tělesa střešní konstrukcí: a) vzduchotěsné utěsnění; b) utěsnění minerální vatou; c) vyplněn izolačním materiálem pro střechy; d) vyplněné PIR; e) průchod střechou za použití izolační průchodky



a) *b)*

obr. 2: a) průběh teplot (plná čára značí naměřené hodnoty, přerušovaná matematický model); b) skladba střešní konstrukce

Při průchodu komínového tělesa izolovanou stavební konstrukcí dochází v izolační složce této konstrukce k prostupu tepla. Se vzrůstající tloušťkou (mocností) izolační složky vzrůstají při provozu spalinové cesty i teploty v konstrukci. Příklad prostupu tepla do přilehlé konstrukce je zobrazen na obr. 3.



obr. 3: příklad prostupu tepla ve střešní konstrukci při teplotě spalin 200 °C (matematický model vytvořený v programu Area 2014 LT vyjadřující ustálený stav)

To, že povrchová teplota komínu v prostupu střešní konstrukcí je vyšší, zvyšuje také riziko možnosti vzniku požáru v případě, kdy se ve skladbě střešní konstrukce nachází hořlavé materiály. Pokud uvažujeme maximální přijatelnou teplotu na povrchu hořlavých materiálů 100 ˚C, při které začíná docházet k degradaci dřeva, mění se minimální vzdálenost hořlavých materiálů od povrchu komínu od hodnoty 60 mm předepsané výrobcem (pro volný povrch a větranou vzduchovou mezeru) až po cca 300 mm (při teplotě spalin 600 ˚C a prostupu izolovanou konstrukcí), a to právě z důvodu prostupu tepla do izolace z komínového tělesa.

Faktorů, které ovlivňují možnost vzniku požáru je celá řada. Výrazný vliv mají zdroj tepla, podmínky tepelného toku, tepelná kapacita izolačního materiálu, jeho povrchová struktura, objemová hmotnost, tepelné vlastnosti, vrstvení a jeho tvar. Velmi důležitým faktorem je doba

působení tepla. Při limitním stavu (například vyhoření sazí) je sice komín namáhán vyššími teplotami, ale po kratší dobu. Při běžném provozním stavu je teplota v komínovém tělese sice nižší, ale zase je teplotně namáhána výrazně déle s dlouhodobým působením na přilehlé hořlavé materiály. Pokud si projektant, který navrhuje spalinovou cestu, tyto skutečnosti neuvědomí, je možné, že hořlavé konstrukce umístí do vzdálenosti, kde hrozí reálné nebezpečí vzniku požáru.

Podstatný vliv na teploty v prostupu má také řemeslné zpracování prostupu a jeho utěsnění. Čím lépe a vzduchotěsněji je prostup zhotoven, tím vyšších teplot lze dosáhnout. Nedostatečně izolovaný či odvětraný prostup ztrácí izolační vlastnosti a komínové těleso jím vedené má výrazně nižší povrchové teploty.

Po podrobnější analýze byly označeny čtyři různé scénáře tepelného namáhání přilehlých konstrukcí od komínového tělesa či kouřovodu, a to v závislosti na uzavření, nebo vyplnění mezery mezi komínem a namáhanou konstrukcí. Mezera může být otevřená (šíření tepla sáláním), vzduchotěsně utěsněná (kombinace s převahou vedení a sálání), utěsněná ale větraná (kombinace vedení a proudění se sáláním) či vyplněná izolačním materiálem (přenos tepla převážně vedením) (obr. 2). Ve všech případech se počítá s celistvostí komínového tělesa. S kvalitnějšími a stálejšími materiály se snižuje průvzdušnost prostupu a vzrůstá množství tepla v konstrukci.

a) *b)* *c)* *d)* *e)*

obr. 2: ukázka řemeslného zpracování a utěsnění prostupu komínového tělesa střešní konstrukcí: a) vzduchotěsné utěsnění; b) utěsnění minerální vatou; c) vyplněn izolačním materiálem pro střechy; d) vyplněné PIR [2]; e) průchod střechou za použití izolační průchodky

Laboratorní zkouška provedená na Italské univerzitě v Brescii dokládá, že vyplnění prostupu tepelnou izolací představuje akceptovatelný, ale nikoliv nejefektivnější způsob zabudování komínů do stavebních konstrukcí, vzhledem k většímu tepelnému toku a tím vyšší povrchové teplotě hořlavých materiálů umístěných v místě prostupu.

8. Shrnutí teoretické části

Komíny jsou i v současné době nízkoenergetických či pasivních staveb stále jejich součástí. V takovýchto silně izolovaných a vzduchotěsně utěsněných objektech je třeba návrhu komínu věnovat zvýšenou pozornost, přičemž největším problémem při běžném provozním stavu komínových těles je zvyšující se teplota v prostupech silně izolovanou stavební konstrukcí. Jak dokazují odborná měření, pohybují se teploty v těchto prostupech v řádech jednotlivých stovek °C. Ověřením tohoto tvrzení, získáním uceleného pohledu na problematiku a návrhem možného řešení se zabývá následující experimentální část.

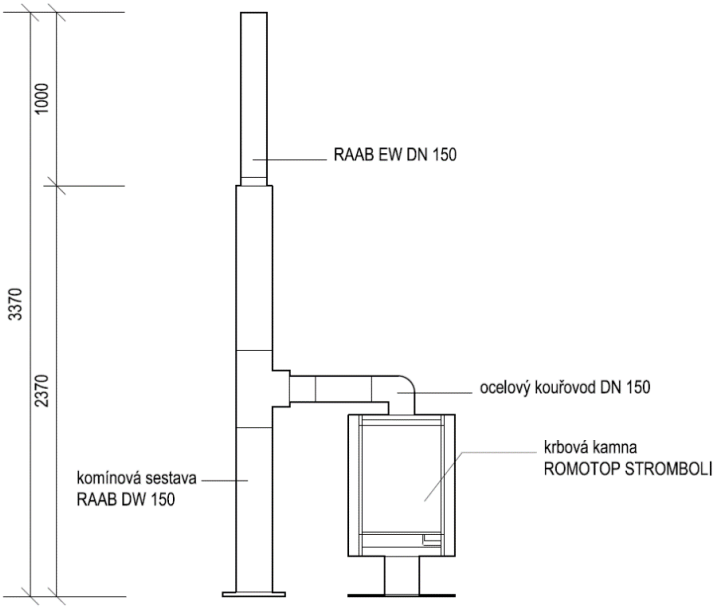
9. Příprava laboratorní teplotní zkoušky průchodu komínového tělesa střešní konstrukcí

Jako nejvhodnější prostředek k demonstraci průběhu teplot při prostupu komínového tělesa střešní konstrukcí bylo vybráno laboratorní teplotní měření, které bylo realizováno v požární laboratoři Univerzitního centra energeticky efektivních budov ČVUT v Praze, které se nachází v Buštěhradě u Kladna.

a. Spalinová cesta

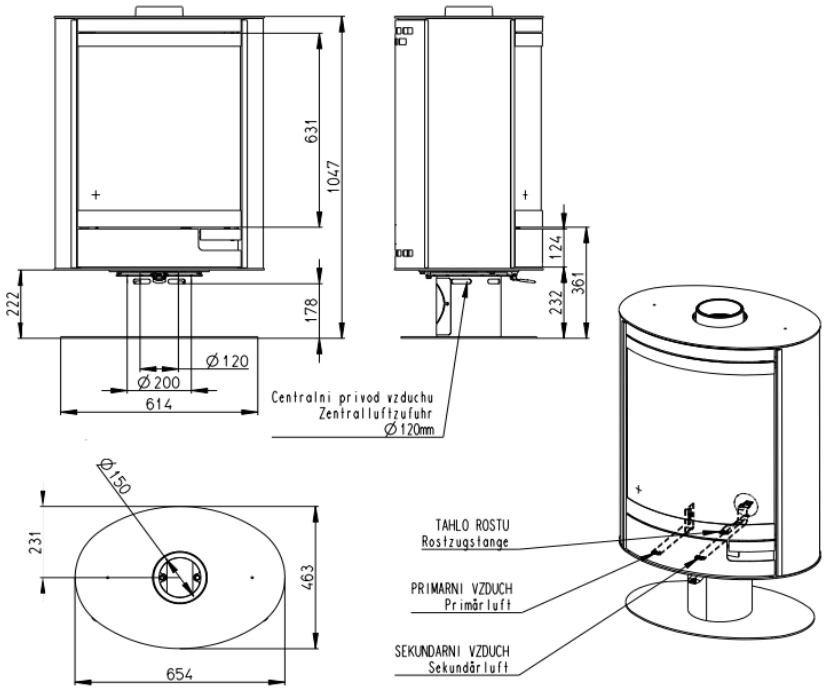
V rámci laboratorní zkoušky byl sestaven systémový, třívrstvý, nerezový komín RAAB DW o vnitřním průměru 150 mm, vnějším průměru 210 mm s označením dle ČSN EN 1443 T600 N1 D L50050 V3 G50 R41. Sestava se skládala ze systémových komínových prvků. Na podlaze laboratoře byl osazen sběrný díl, na něj navazoval jeden metrový díl a následně připojovací T-kus s komínovou zdéří DN 150 mm. Na připojovací T-kus byl osazen další metrový díl s vrchním ukončením. Celková délka této třísložkové sestavy činila 2370 mm. Na třívrstvý komín navazovala jednovrstvá nerezová vložka RAAB EW o totožném průměru 150 mm a délce 1000 mm. Tato vložka zde byla osazena hlavně jako prvek pro ukotvení sondy pro měření rychlosti proudění spalin, pro ukotvení termočlánku měřícího teplotu spalin po průchodu střešní konstrukcí, ale i pro prodloužení účinné délky komínu. Celková délka komínu tudíž byla 3370 mm (obr. 3).

Na komínovou zdéř byl připojen kouřovod o celkové délce 650 mm. Kouřovod se skládal z jedné půlmetrové roury a 90° kolene. Jednalo se kouřovod z ocelového plechu tloušťky 1,5 mm, DN 150 mm, s povrchovou úpravou černé žáruvzdorné barvy. Kouřovod sloužil pro připojení spotřebiče ke komínu. V kouřovodu byl také umístěn jeden měřící termočlánek.



obr. 3: schéma spalinové cesty

Jako spotřebič byla použita krbová kamna Romotop Stromboli N03. Jedná se o standartní krbová kamna na pevné palivo (dřevo) používaná v obytných prostorech. Průměr spalinového hrdla spotřebiče je 150 mm, rozměry kamen jsou patrné z obr. 4.



obr. 4: krbová kamna Romotop Stromboli

b. Vzorek střešní konstrukce

Jako dostatečně reprezentativní vzorek skladby střešní konstrukce byla vybrána konstrukce ploché nepochozí střechy s hlavní izolační složkou z minerální vaty. Vzorek střešní konstrukce byl tvořen 300 mm minerální izolace z kamenných vláken ISOVER UNI se součinitelem tepelné vodivosti λ = 0,035 W/(m·K), při teplotě 20 °C. Minerální izolace byla položena ve třech vrstvách po 100 mm a umístěna v dřevěném rámu o půdorysných rozměrech 980 mm x 1200 mm a výšce 330 mm. Rám byl tvořen nehoblovanými hranoly ze smrkového dřeva (obr. 5a).

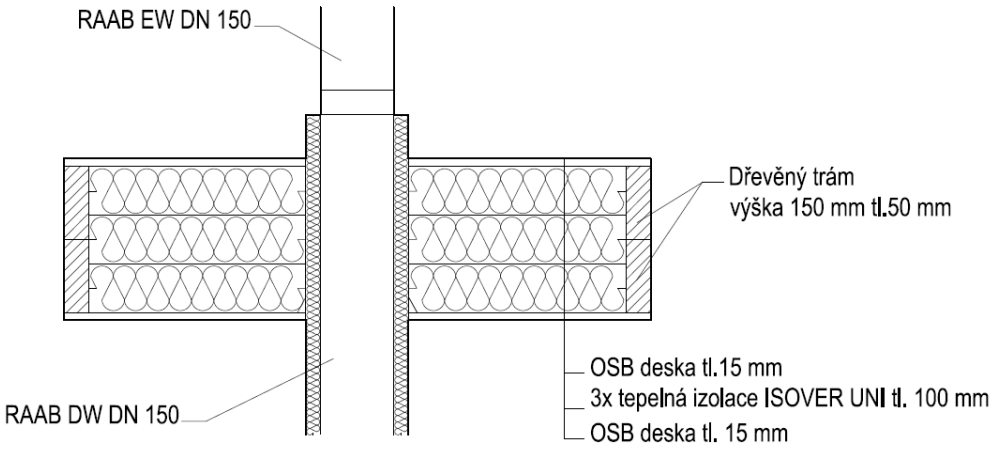
a) *b)*

obr. 5: a) dřevěný rám střešní konstrukce, b) minerální izolace umístěná v dřevěném rámu

Vzorek střešní konstrukce byl zaklopen nebroušenými OSB deskami vyrobených z orientovaných velkoplošných dřevěných třísek o celkové tloušťce 15 mm. Všechny spoje byly parotěsně utěsněny žáruvzdorným silikonem Ceresit CS 28 s teplotní odolností do 260 °C tak, aby bylo zabráněno proudění vzduchu konstrukcí. Skladba vzorku střešní konstrukce je patrná z tab. 1 a z obr. . Nejedná se o konkrétní skladbu střešního pláště, ale o zjednodušený vzorek sestavený pouze pro potřeby měření.

tab. 1: popis materiálů vzorku stropní konstrukce

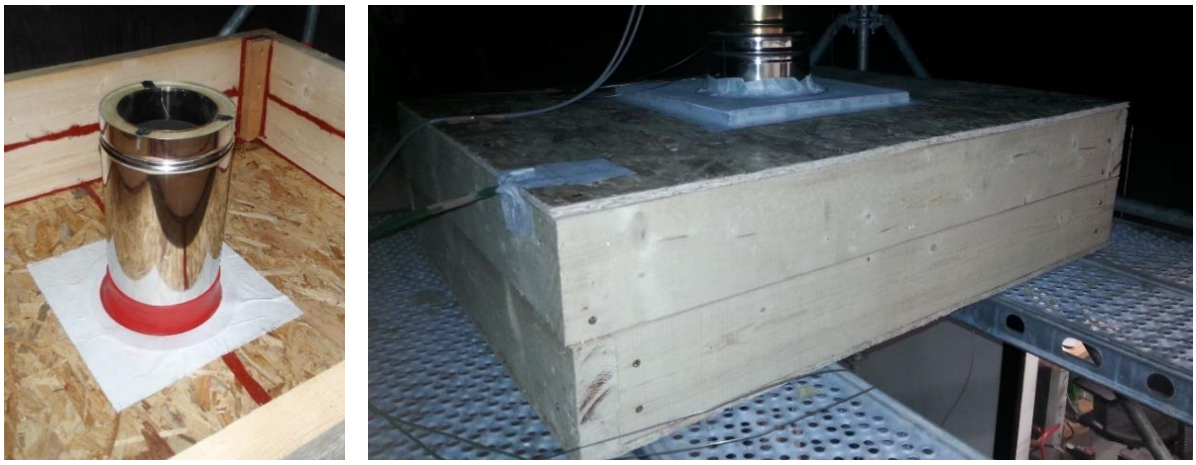
popis	***materiál***	***λ [W/(m·K)] při 200 °C***	***tloušťka [m]***
Vnitřní plášť komínového tělesa RAAB DW	*Nerezová ocel*	*50,00*	*0,005*
Komínová izolace	*Minerální vata*	*0,073*	*0,030*
Vnější plášť komínového tělesa RAAB DW	*Nerezová ocel*	*50,00*	*0,005*
Žáruvzdorná izolační deska	*Kalcium silikát*	*0,08*	*0,020*
Vrchní OSB deska	*Dřevo*	*0,17*	*0,015*
Izolační materiál střešní konstrukce	*Minerální vata*	*0,089*	*0,300*
Spodní OSB deska	*Dřevo*	*0,17*	*0,015*



obr. 5: skladba vzorové střešní konstrukce

Pro vzduchotěsný prostup komínu OSB deskou bylo na spodní straně konstrukce použito těsnění pro blower door test RAAB HOT SHOT. Jedná se o pryžové těsnění na spodní straně opatřené samolepící styčnou plochou, které se přetáhne přes komínové těleso a samolepící plochou se nalepí na konstrukci plnící funkci parozábrany, v tomto případě na spodní OSB desku. Na vrchní straně vzorku střešní konstrukce byla pro dotěsnění použita izolační deska Skamotec

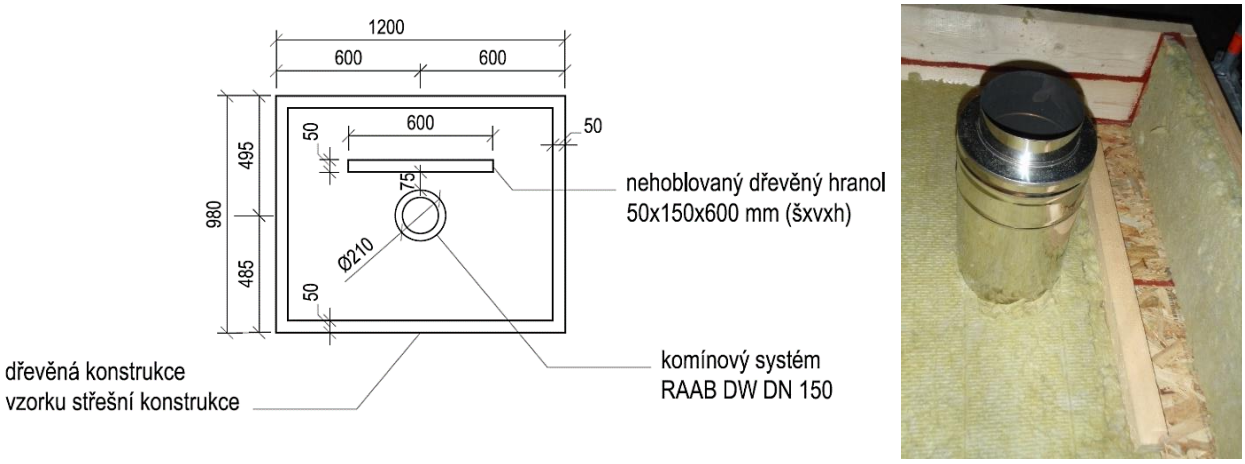
225 z kalcium silikátu, která byla ke komínu dotěsněna lepicí páskou Airstop Flex tak, aby byla izolační deska demontovatelná a umožňovala přístup do vzorku konstrukce (obr. 6).



a) *b)*

obr. 6: a) těsnění komínu těsněním pro blower door test RAAB HOTSHOT; b) vzorek střešní konstrukce dotěsnění pomocí izolační desky

Dále byl ve vzorku střešní konstrukce umístěn nehoblovaný dřevěný hranol o rozměrech 50 x 150 x 600 mm. Hranol byl pevně přichycen vruty ke spodní OSB desce vzorku střešní konstrukce ve vzdálenosti 75 mm od vnějšího povrchu komínového tělesa (obr. 7). Toto umístění bylo zvoleno tak, aby simulovalo umístění dřevěné konstrukce v blízkosti komínového tělesa, která je sice větší než minimální vzdálenost dle ČSN EN 1443 [8], ale v izolované konstrukci stále potencionálně nebezpečná. Prostor mezi dřevěným trámkem a komínem byl vyplněn minerální vatou (obr. 7 b).

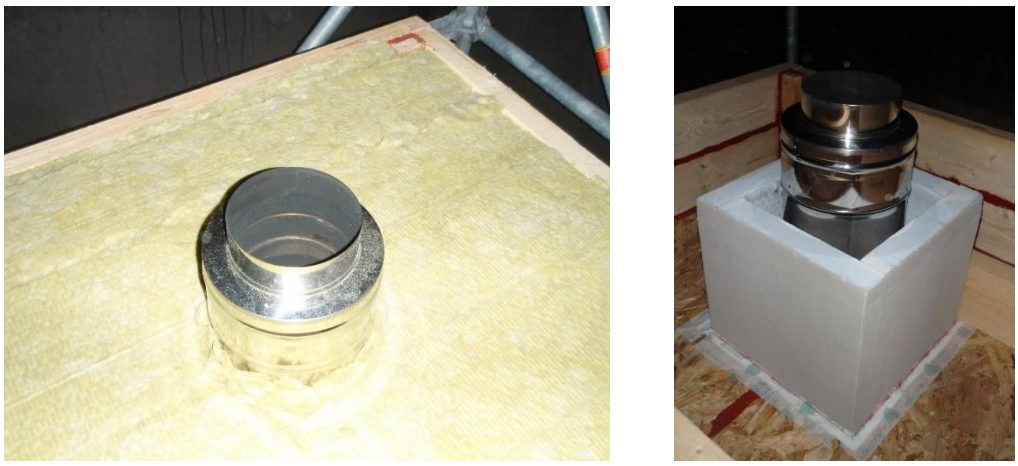


a) *b)*

obr. 7: a) umístění dřevěného trámku ve vzorku stropní konstrukce; b) prostor vyplněný MV

c. Prostup komínu střešní konstrukcí

Prostup komínu střešní konstrukcí byl vyhotoven ve dvou různých provedeních. V prvním případě je komínové těleso volně vedeno izolovanou střešní konstrukcí. Minerální vata je tudíž dotažena až k vnějšímu povrchu komínového tělesa. Takovéto řešení simuluje prostup skrze vzduchotěsně utěsněnou izolovanou střešní konstrukci bez použití izolační průchodky. Reálné řešení použité při laboratorní zkoušce je vidět na obr. 8 a).



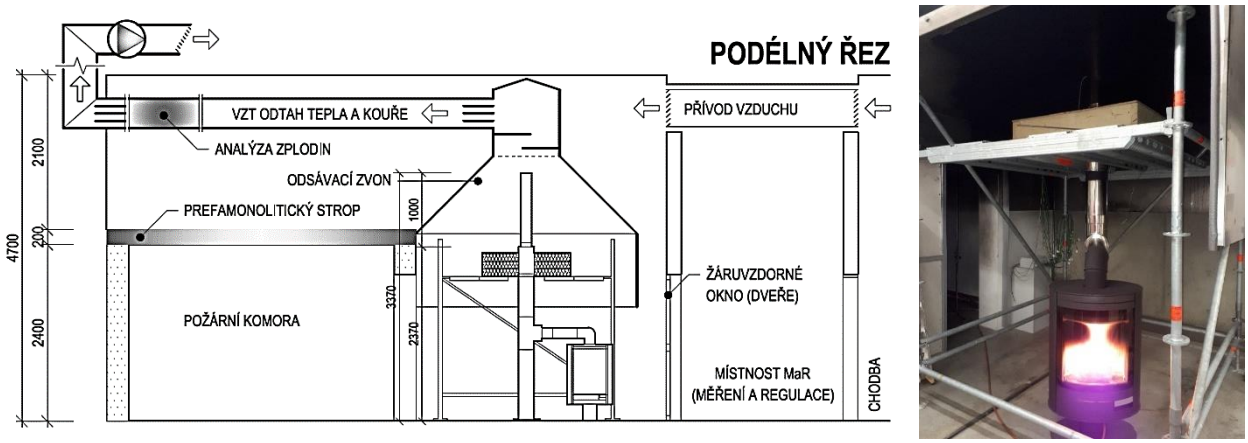
a) *b)*

obr. 8: a) prostup volně vedeného komínového tělesa, b) použití izolační průchodky

Ve druhém případě bylo k prostupu použito systémové řešení MESSY SAVE ENERGY SE 50. Jedná se o komínovou šachtu z kalcium silikátu o vnějším rozměru 350 x 350 mm, vnitřním rozměru 250 x 250 mm a tloušťce stěn 50 mm. Vnější povrchovou úpravu průchodky tvoří sklolaminátová mřížková tkanina a stavební lepící tmel. Výška průchodky byla 300 mm a byla žáruvzdorným silikonem Ceresit CS 28 vzduchotěsně dotěsněna k vrchní OSB desce tak, aby bylo zamezeno proudění vzduchu. Minerální vata je v tomto případě dotažena k vnějšímu povrchu průchodky. Prostor mezi vnitřním povrchem průchodky a vnějším povrchem komínového tělesa tvoří nevětraná vzduchová mezera. Toto řešení se snaží simulovat prostup komínu vzduchotěsně uzavřenou izolovanou střešní konstrukcí za použití izolační průchodky. Osazenou průchodku můžete vidět na obr. 8 b). Je zde patrný prostor mezi komínovým tělesem a průchodkou, minerální vata byla vložena až po osazení průchodky.

d. Osazení a umístění vzorků

Vzorky byly umístěny pod odsávacím zvonem požární laboratoře (obr. 1). Vzorek střešní konstrukce byl umístěn na podlážkách ocelového systémového lešení, které bylo instalováno kolem komínu. Lešení mělo funkci jak statické podpory vzorku komínového tělesa, tak zároveň sloužilo právě jako nosný prvek pro umístění vzorku střešní konstrukce, která byla pevně přichycena k podlážkám. Lešení bylo také použito pro snadnější přístup ke vzorku střešní konstrukce při instalaci termočlánků, při údržbě a snímkování termokamerou.



obr. 1: umístění vzorku v požární laboratoři UCEEB

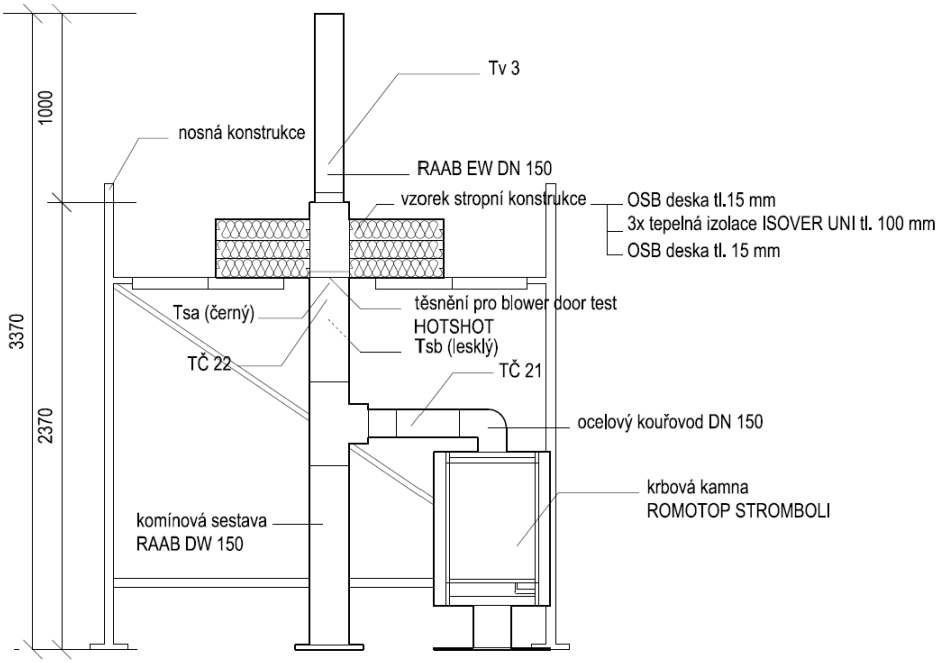
e. Umístění termočlánků

Pro zjištění průběhu teplot při laboratorní zkoušce byly použity dva typy termočlánků. Pro měření teplot uvnitř vzorku střešní konstrukce a na povrchu komínového tělesa byly použity kabelové diskové TČ MAVIS typu K o průměru 0,5 mm různých délek dle umístění termočlánku. Teplotní rozsah tohoto TČ je od -40 °C do + 600 °C. Pro měření teplot uvnitř spalinové cesty byly použity plášťové TČ MAVIS typu K o průměru 1,5 mm také různých délek, s teplotním rozsahem od -40 °C do + 1150 °C.

i. Umístění termočlánků při laboratorní zkoušce volně vedeného komínového tělesa

Při tomto měření byly osazeny 3 plášťové TČ, které měřily teplotu spalin uvnitř spalinové cesty, 14 kabelových diskových TČ, které byly použity pro měření teplot ve vzorku střešní konstrukce a kabelové diskové TČ, které měřily teplotu na vnějším povrchu spalinové cesty před prostupem střešní konstrukcí.

Plášťové TČ byly umístěny vždy v ose spalinové cesty. TČ21 byl umístěn ve vodorovné ose ocelového kouřovodu a měřil teplotu spalin ve vzdálenosti přibližně 500 mm od spalinového hrdla spotřebiče (obr. 3 a). TČ22 byl umístěn 15 cm pod vzorkem střešní konstrukce ve svislé ose spalinové cesty (obr. 3 b). TČ23 měřil teplotu ve svislé ose spalinové cesty v nerezové vložce 300 mm nad vzorkem střešní konstrukce (obr. 3 c). Termočlánky zaznamenávaly teplotu každých 5 s po celou dobu 12-ti hodinového měření. Umístění plášťových TČ ve spalinové cestě je patrné z obr. 2 a tab. 2.

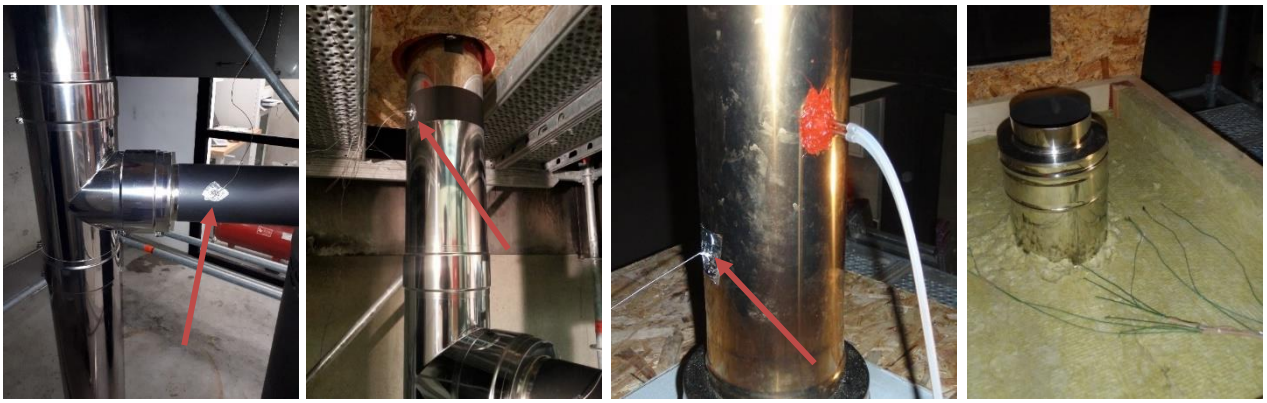


obr. 2: rozmístění plášťových TČ

tab. 2: umístění TČ při měření teplot při prostupu volně vedeného komínového tělesa

označení TČ	***vzdálenost od povrchu komínu [mm]***	***vzdálenost od spodního líce vrchní OSB desky [mm]***	***celkový tepelný odpor v místě TČ R [m2·K/W]***
TČ1	*0*	*150*	*0,41*
TČ2	*50*	*150*	*1,18*
TČ3	*100*	*150*	*1,95*
TČ4	*150*	*150*	*2,72*
TČ5	*200*	*150*	*3,49*
TČ6	*0*	*100*	*0,41*
TČ7	*50*	*100*	*1,18*
TČ8	*100*	*100*	*1,95*
TČ9	*150*	*100*	*2,72*
TČ10	*0*	*50*	*0,41*
TČ11	*50*	*50*	*1,18*
TČ12	*100*	*50*	*1,95*
TČ13	*75*	*200*	*1,56*
TČ14	*129*	*200*	*2,39*

TČ21	*termočlánek umístěn ve středu kouřovodu*
TČ22	*termočlánek umístěn ve středu komínu*
TČ23	*termočlánek umístěn ve středu komínu*
Tsa černý	*na černém povrchu komínu pod prostupem*
Tsb lesklý	*na lesklém povrchu komínu pod prostupem*

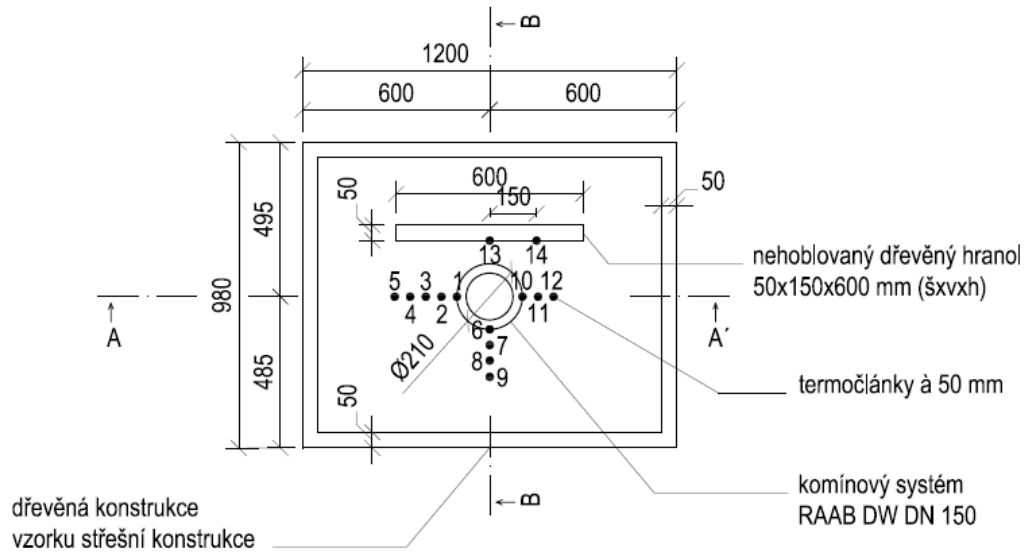


a) *b)* *c)* *d)*

obr. 3: a) TČ21 umístěný v kouřovodu; b) TČ22 umístění pod vzorkem střešní konstrukce; c) TČ23 umístěný nad vzorkem střešní konstrukce v komínové vložce; d) rozmístění TČ ve střešní konstrukci před provedením vrchního záklopu

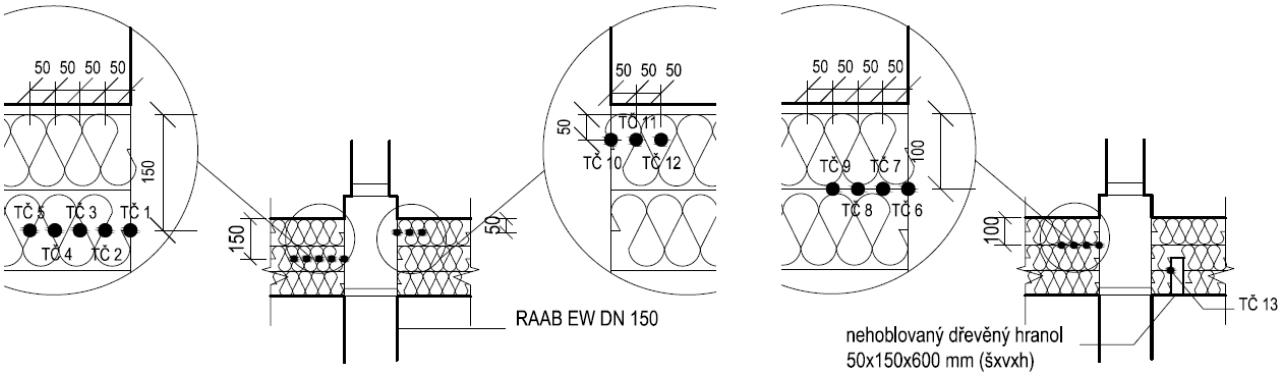
Na povrchu komínového tělesa byly dále osazeny 2 plášťové TČ, které byly použity pro měření povrchové teploty komínového tělesa před průchodem střešní konstrukcí. Jedná se o TČ Tsa, který měří povrchovou teplotu na černém povrchu komínového pláště v prostoru spodní OSB desky střešní konstrukce a TČ Tsb, který měří povrchovou teplotu na lesklém povrchu přibližně 300 mm pod spodní OSB deskou. Jsou zde osazeny 2 TČ z toho důvodu, aby bylo možné porovnat vliv emisivity povrchu komínového tělesa. Při snímkování termokamerou je určení povrchové teploty na lesklém nerezovém povrchu problematické. Termokamera byla zacílena na nabarvený černý povrch tak, aby byl vliv emisivity co nejnižší.

Kabelové diskové termočlánky použité pro měření průběhu teplot ve vzorku střešní konstrukce byly osazeny ve třech vrstvách 50, 100 a 150 mm od vrchního pláště střešní konstrukce (OSB desky).



obr. 14: půdorys umístění TČ 1 až 14 ve vzorku střešní konstrukce při měření teplot při prostupu volně vedeného komínového tělesa

Při umísťování TČ bylo uvažováno s rovnoměrným šířením tepla a tudíž bylo možné vzhledem ke kruhovému tvaru komínu využít os symetrie. Vzhledem k tomu, že nejvyšší teplota byla předpokládána uprostřed skladby konstrukce, bylo zde ve vzdálenosti 150 mm od vrchní OSB desky osazeno pět TČ. TČ1 byl hliníkovou lepicí páskou přichycen na povrch komínového tělesa, ostatní termočlánky TČ2 až TČ5 byly osazeny vždy 50 mm od toho předešlého ve stejné hloubce. Tyto TČ byly osazeny volně do minerální vaty a přichyceny pomocí ocelového vázacího drátu tak, aby bylo zabráněno případnému posunutí při instalaci ostatních TČ. Ve vrstvě 100 mm pod vrchní OSB deskou byly umístěny termočlánky TČ6 až TČ9 a v hloubce 50 mm byly termočlánky TČ10 až TČ12. Všechny tyto TČ byly osazeny obdobným způsobem jako ty předešlé. Poslední dva termočlánky TČ13 a TČ14 byly přichyceny hliníkovou lepicí páskou na povrch dřevěného hranolu v hloubce 200 mm pod vrchní OSB deskou tak, aby měřily povrchovou teplotu na dřevěné konstrukci umístěné v blízkosti komínového tělesa. Termočlánek TČ13 byl osazen kolmo naproti komínu ve vzdálenosti 75 mm od vnějšího povrchu komínového tělesa. TČ14 byl posunut o 150 mm oproti TČ13 a od vnějšího povrchu komínového tělesa byl vzdálen 129 mm. Umístění termočlánků je zobrazeno na obr. 14 (půdorys) a obr. 5 (řezy).



obr. 5: řezy a) A-A´, b) B-B´ při měření teplot při prostupu volně vedeného komínového tělesa

ii. Umístění termočlánků při laboratorní zkoušce průchodu komínového tělesa střešní konstrukcí za použití izolační průchodky

Při tomto měření byly použity 3 plášťové TČ, které měřily teplotu spalin uvnitř spalinové cesty stejně jako v předchozím měření. Z čistě rozlišovacích důvodů byl termočlánek měřící teplotu spalin nad vzorkem střešní konstrukce přejmenován na Tv3.

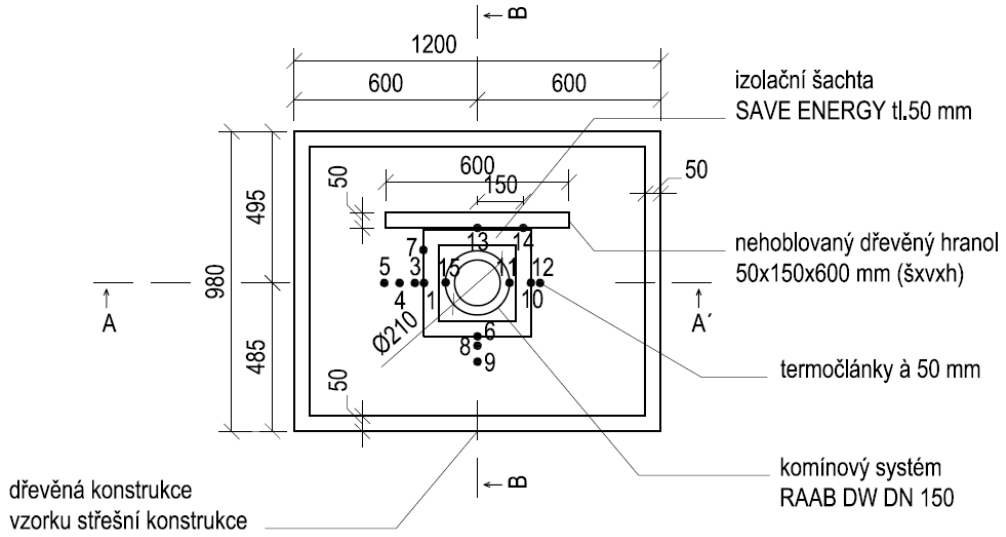
Ve vzorku střešní konstrukce a na povrchu komínového tělesa bylo instalováno celkem 17 diskových TČ. Oproti případu volně vedeného komínu bylo nutné některé TČ přemístit, přidat či odstranit. Byl přidán termočlánek Tsc, který byl umístěn nad krbová kamna a měřil teplotu okolí. Při umístění izolační šachty SAVE ENERGY do vzorku střešní konstrukce byly posunuty termočlánky TČ1, TČ6, TČ7 a TČ10 na vnější povrch izolační šachty, tedy do vzdálenosti 70 mm od vnějšího povrchu nerezového komínu. TČ11 byl použit na měření teploty na vnějším povrchu nerezového komínu, kde byl uchycen za pomoci hliníkové lepicí pásky. Navíc byl přidán TČ15,

který rovněž měřil povrchovou teplotu komínového tělesa. Rozmístění TČ je znázorněn na obr. 6, obr. 7 a v tab. 3.

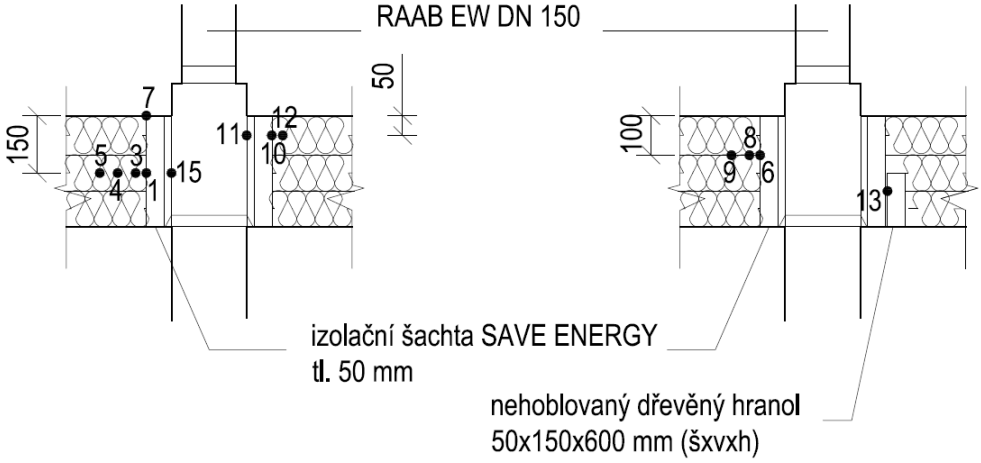
tab. 3: umístění TČ při měření teplot při prostupu komínového tělesa za použití izolační šachty

označení TČ	***vzdálenost od povrchu komínu [mm]***	***vzdálenost od vrchní OSB desky [mm]***	***celkový tepelný odpor v místě TČ R [m²·K/W]***
TČ1	*70*	*150*	*2,22*
TČ3	*100*	*150*	*2,60*
TČ4	*150*	*150*	*3,37*
TČ5	*200*	*150*	*4,14*
TČ6	*70*	*100*	*2,22*
TČ7	*70*	*0*	*2,22*
TČ8	*100*	*100*	*2,60*
TČ9	*150*	*100*	*3,37*
TČ10	*70*	*50*	*2,22*
TČ11	*0*	*50*	*0,41*
TČ12	*100*	*50*	*2,60*
TČ13	*70*	*200*	*2,22*
TČ14	*129*	*200*	*3,05*
TČ15	*0*	*150*	*0,41*

TČ21	*termočlánek umístěn ve středu kouřovodu*
TČ22	*termočlánek umístěn ve středu komínu*
Tv3	*termočlánek umístěn ve středu komínu*
Tsa černý	*na černém povrchu komínu pod prostupem*
Tsb lesklý	*na lesklém povrchu komínu pod prostupem*
Tsc	*vzduch nad kamny*



obr. 6: půdorys umístění TČ ve vzorku střešní konstrukce při měření teplot při prostupu komínového tělesa za použití izolační šachty



obr. 7: a) řez A-A´, b) řez B-B´ měření teplot při prostupu komínového tělesa za použití izolační šachty

f. Měřící a regulační technika

K záznamu a vyhodnocení průběžných veličin (rychlost proudění, teploty) bylo použito zařízení pro ISO 9705, které je současní požární laboratoře UCEEB. Propanový pískový hořák, který sloužil pro simulaci provozu spotřebiče na pevná paliva, byl ovládán přes systém měření a regulace a napájen propanem z připojených propanových lahví. Současně s regulací výkonu hořáku ovládal systém MaR i ventilátor, který zajišťoval odvod spalin do ovzduší. Ventilátor, který je osazen nad odtahovým zvonem požární laboratoře, byl nastaven na nejnižší možný výkon 30 %, což odpovídá objemovému průtoku přibližně 3780 m^3/hod. K zjištění rychlosti proudění spalin byla použita Pitotova trubice (nerezová obousměrná tlaková sonda) která byla nainstalována nad vzorkem střešní konstrukce v jednovrstvé komínové vložce RAAB EW. Teplotnímu snímkování komínu zajišťovala termokamera Infratec VarioCAM HD RP5, která byla umístěna na stativu cca 3,25 m před měřeným vzorkem a snímkovala spodní líc stropní konstrukce a procházející komínové těleso v časovém intervalu 5 minut. Vrchní líc stropní konstrukce byl snímkován termokamerou FLIR ThermaCAM PM 695 obsluhou termokamery.

obr. 8: a) termokamera Infratec VarioCAM HD RP5, b) termokamera FLIR ThermaCAM PM 695

10. Průběh laboratorní teplotní zkoušky průchodu komínového tělesa střešní konstrukcí

V požární laboratoři proběhla celkem 4 měření. První měření bylo zkušební a proběhlo 11. 10. 2017. Cílem tohoto měření bylo zkontrolovat funkčnost všech systémů a pokusit se měřící proces co nejvíce optimalizovat. Další 3 měření již byly součástí oficiálního měření. Měření se lišila vedením komínu skrze střešní konstrukci a typem použitého paliva (plyn, dřevo).

a. Laboratorní teplotní zkouška č. 2 – prostup volně vedeného komínového tělesa střešní konstrukcí

Při této laboratorní zkoušce procházelo komínové těleso volně izolační složkou střešní konstrukce (obr. 8.a). Veškeré spoje byly vzduchotěsně utěsněny. K topení v krbových kamnech byl použit propanový pískový hořák. Zkouška proběhla 19.10. 2017, teplota okolí v požární zkušebně byla cca 20 °C a relativní vlhkost vzduchu cca 45 %.

Měření bylo zahájeno v čase -60 s, kdy byla do spalovací komory spotřebiče vložena louč (kovová tyč obalená tkaninou napuštěnou petrolejem), která byla následně zapálena. V čase 0 s došlo ke spuštění plynu a následně k zapálení pískového hořáku. Vzhledem ke snaze o co nejreálnější průběh hoření byl postupně navyšován výkon pískového hořáku od 5 kW v čase 0 s, až po 14 kW v čase 2400 s (tab. 4).

tab. 4: průběh laboratorní zkoušky č. 2

čas [s]	***čas***	***aktivita***
-60	*-60 s*	*spouštění časomíry*
-45	*-45 s*	*spuštění ventilátoru*
-30	*-30 s*	*spuštění měření*
0	*0*	*zapálení pískového hořáku - výkon 5 kW*
0	*0*	*spuštění snímkování termokamerou VarioCAM*
630	*10 min*	*navýšení výkonu hořáku na 8 kW*
1200	*20 min*	*navýšení výkonu hořáku na 11 kW*
1815	*30 min*	*navýšení výkonu hořáku na 13 kW*
2400	*40 min*	*navýšení výkonu hořáku na 14 kW*
16020	*4,5 hod*	*pořízení termosnímků kamerou FLIR*
17045	*4,7 hod*	*otevření dvířek spotřebiče a čištění skla (následné zavření)*
18360	*5,1 hod*	*vypnutí hořáku*
43200	*12 hod*	*konec záznamu dat*

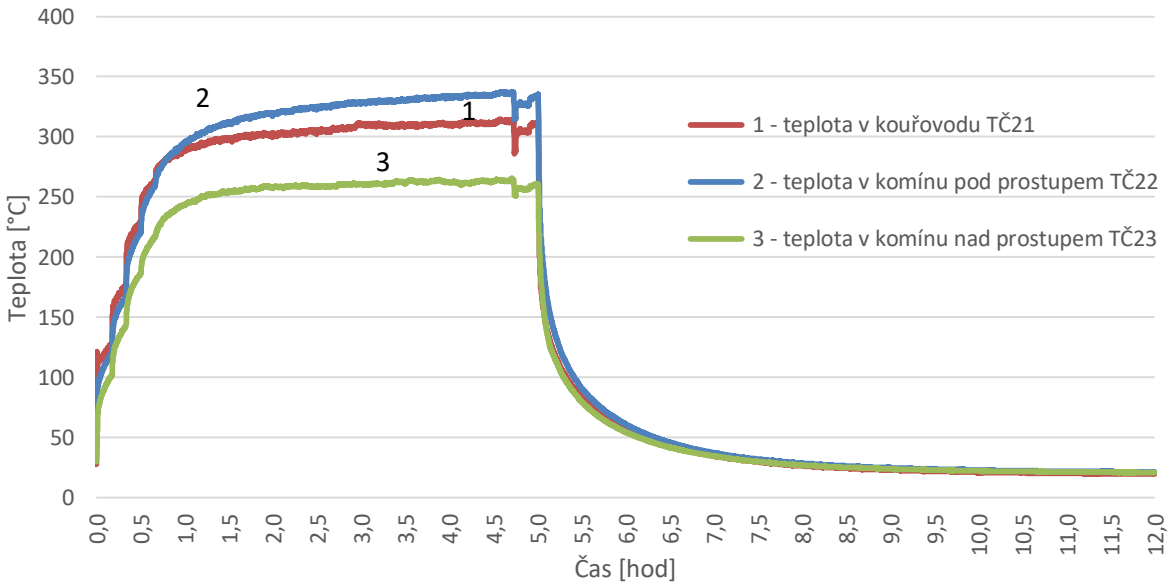
Výkon hořáku 14 kW vycházel z průměrné teploty spalin na spalinovém hrdle spotřebiče uváděné výrobcem krbových kamen. Výkon hořáku 14 kW odpovídal přibližně teplotě 310 °C na spalinovém hrdle spotřebiče. V čase 18360 s (cca 5 hodin) byl hořák vypnut, měření teplot

probíhalo dále, aby bylo možné zaznamenat i fázi chladnutí spalinové cesty. Celková doba měření byla 43200 s (12 hodin).

V čase 0 s byla také spuštěna termokamera Infratec VarioCAM HD RP5 se sekvencí snímků po 5 minutách a o počtu 150 snímků. V čase 16020 s (cca 4,5 hodiny) byly pořízeny snímky spodního i vrchního povrchu vzorku střešní konstrukce termokamerou FLIR. Průběh celého měřený je patrný z tab. 4.

i. Teplota uvnitř spalinové cesty

Pro ucelení představy o průběhu teplot ve spalinové cestě slouží 3 plášťové termočlánky. Jejich průběh zobrazuje aktuální teploty spalin po spalinové cestě. Z průběhů teplot jsou patrné nárůsty teploty při zvýšení výkonu hořáku, které bylo provedeno čtyřikrát po 10 minutách od začátku laboratorní zkoušky. Teplota v kouřovodu se nakonec ustálila na teplotě cca 310 °C v čase 10650 s (3 hodiny). Následně se již téměř neměnila až do času 18360 s, kdy došlo k vypnutí plynu a okamžitému poklesu teploty ve spalinové cestě. Z grafu je také zřetelná změna teplot po prostupu komínu střešní konstrukcí. Například v čase 14400 s (4 hodiny) byla teplota spalin pod vzorkem střešní konstrukce 333°C a teplota spalin po průchodu střešní konstrukcí 262°C. Rozdíl těchto teplot je tedy 71 °C po průchodu střešní konstrukcí a teplota spalin tudíž poklesla o přibližně 12 %. Z tohoto rozdílu lze vypočítat množství tepla, které do střešní konstrukce během průchodu komínem přestoupilo. Průběh teplot je viditelný na obr. 9.

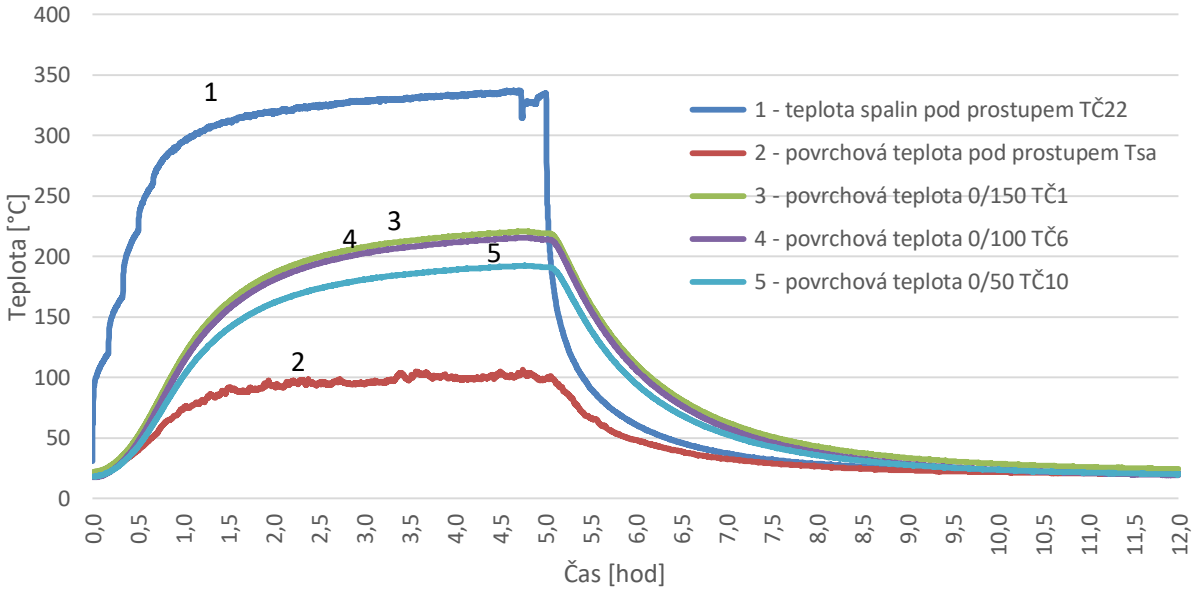


obr. 9: teploty uvnitř spalinové cesty při průchodu volně vedeného komínového tělesa střešní konstrukcí

ii. Teplota povrchu nerezového komínu

Z následujícího obr. je vidět průběh teplot na vnějším povrchu komínového tělesa. Na termočlánku Tsa, který je umístěný na povrchu komínového tělesa pod vzorkem stropní

konstrukce vystoupala teplota po 3,5 h na 101 °C a na této teplotě se držela až do ukončení topné zkoušky. Oproti tomu teploty na povrchu komínu vedeného střešní konstrukcí stále stoupaly. Nejvyšší teplota 221°C byla naměřena uprostřed skladby střešní konstrukce v čase 17045 s (4,73 hod). Tato nejvyšší teplota nebyla naměřena na konci topené zkoušky, a to z důvodu ochlazení spalinové cesty vlivem otevření dvířek spotřebiče v čase 17140 s (4,76 hod). Je také vidět, že povrchová teplota komínu klesá v podstatě okamžitě se snižující se teplotou spalin. Z grafu je také patrné, že nejvyšší teplota byla naměřena uprostřed skladby a se snižující vzdáleností od vnějšího povrchu střešní konstrukce klesá. Například v čase 17045 s byla teplota uprostřed skladby již výše zmíněných 221 °C a teplota 50 mm pod vrchní OSB deskou byla již pouze 192 °C. Což činí rozdíl 29 °C, který je dán bližší vzdáleností termočlánku TČ10 k vnějšímu prostředí.

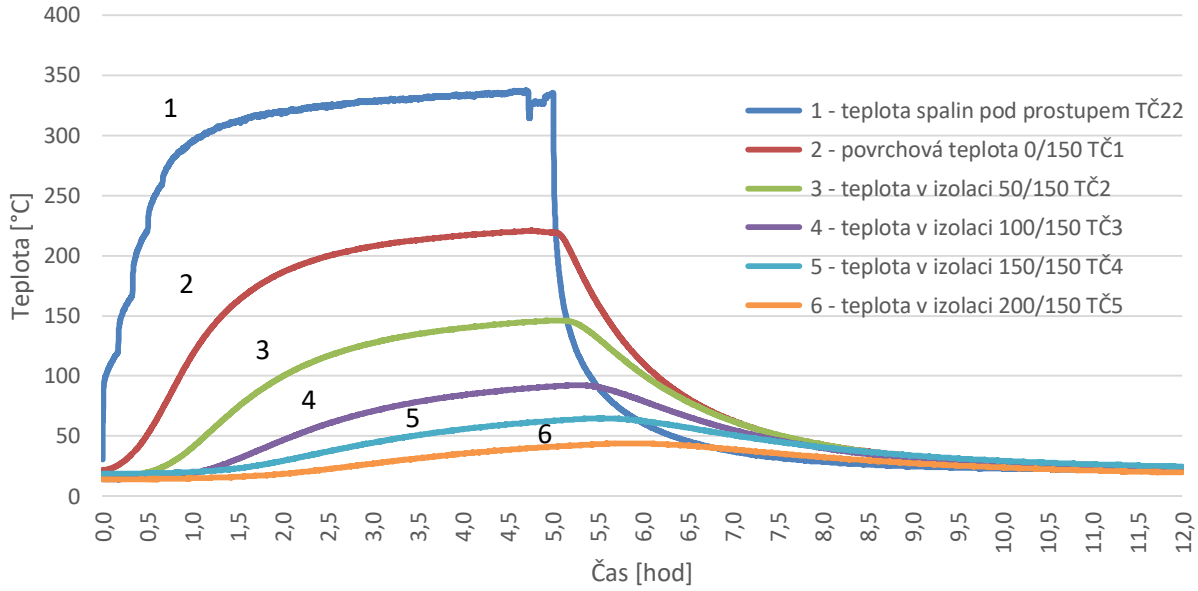


obr. 18: teploty na vnějším povrchu komínového tělesa při průchodu volně vedeného komínového tělesa střešní konstrukcí

iii. Teploty uvnitř tepelné izolace střešní konstrukce

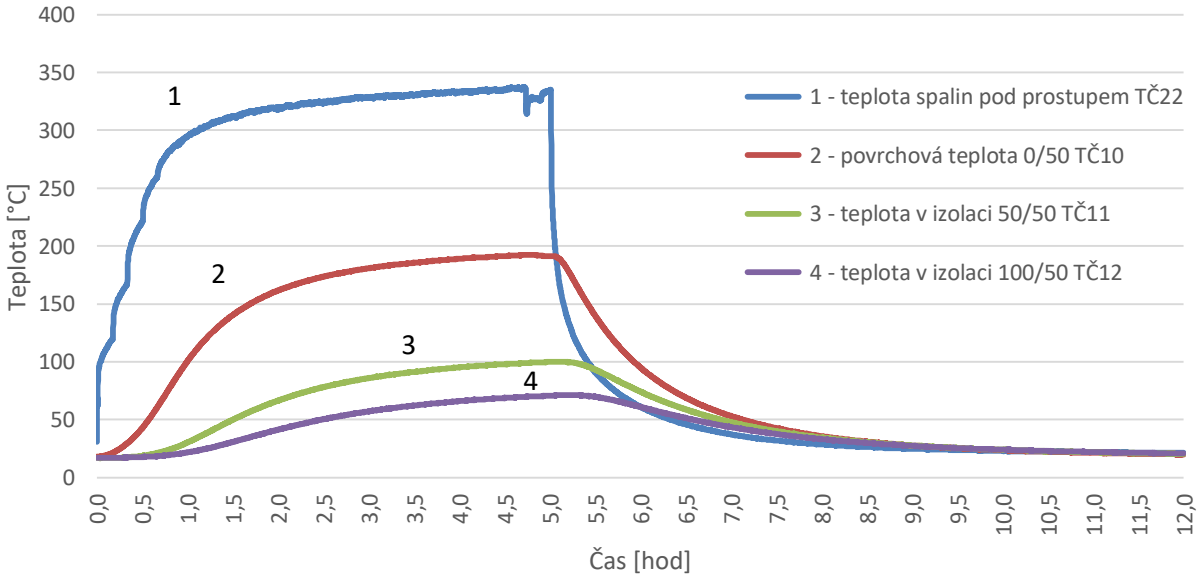
Při porovnávání teplot v minerální vatě střešní konstrukce je viditelný pokles teplot s narůstající vzdáleností od vnějšího povrchu komínového tělesa. Na obr. 19 jsou průběhy teplot uprostřed skladby střešní konstrukce ve vzdálenostech 0, 50, 100, 150 a 200 mm od povrchu komínového tělesa. Ve vzdálenosti 50 mm byla naměřena nejvyšší teplota 146 °C v čase 18300 s (5 hodin). Je zde vidět, že teplota v tomto místě začala klesat v podstatě ihned po vypnutí hořáku. Oproti tomu ve vzdálenosti 200 mm od povrchu komínu stoupala teplota až do času 21175 s (téměř 5 hodin 53 minut), kdy nakonec vystoupala na 44 °C, což znamená nárůst teploty v tomto místě ještě skoro hodinu po ukončení topné zkoušky, avšak na výrazně nižší hodnotu. Tento jev lze v podstatě shrnout tak, že se vzrůstající vzdáleností od vnějšího povrchu komínového tělesa vzrůstá teplota vlivem postupného přestupu tepla delší časový úsek, ale celkově dosahuje nižších hodnot než teploty v místech blíže ke komínovému tělesu. Ani rozdíly maximálních teplot

v jednotlivých vzdálenostech nejsou přímo úměrné. Jejich rozdíl se snižuje se vrůstající vzdáleností od povrchu komínu, což je dáno postupně se zvyšujícím objemem minerální izolace se vzrůstající vzdáleností od povrchu komínu.



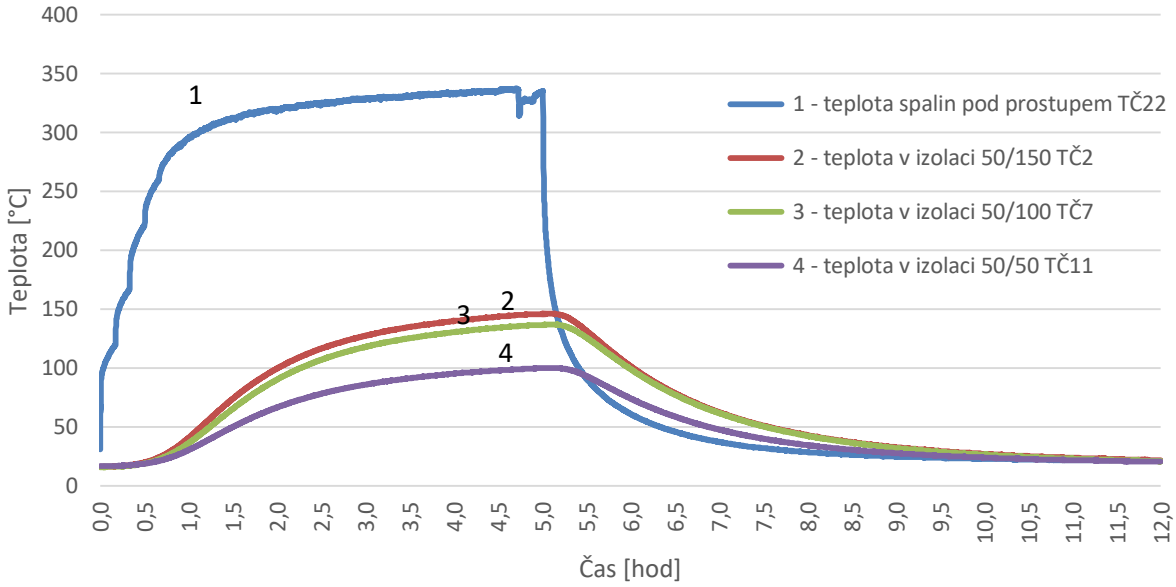
obr. 19: teploty ve vodorovné rovině 150 mm od vrchní OSB desky při průchodu volně vedeného komínového tělesa střešní konstrukcí

Pro další porovnání se můžeme podívat na průběh teplot ve vzdálenosti 50 mm od vrchní OSB desky. Z porovnání obr. 19 a obr. 10 je vidět, že teploty ve stejné vzdálenosti od vnějšího povrchu komínu mají vlivem rozdílné vzdálenosti od vnějšího prostředí rozdílné hodnoty, avšak průběhy jsou si velmi podobné.



obr. 10: teploty ve vzdálenosti 50 mm od vrchní OSB desky při průchodu volně vedeného komínového tělesa střešní konstrukcí

Například pokud zvolíme vzdálenost 50 mm od vnějšího povrchu komínového tělesa, můžeme porovnat tyto 3 výškové úrovně 50, 100, a 150 mm (obr. 11).

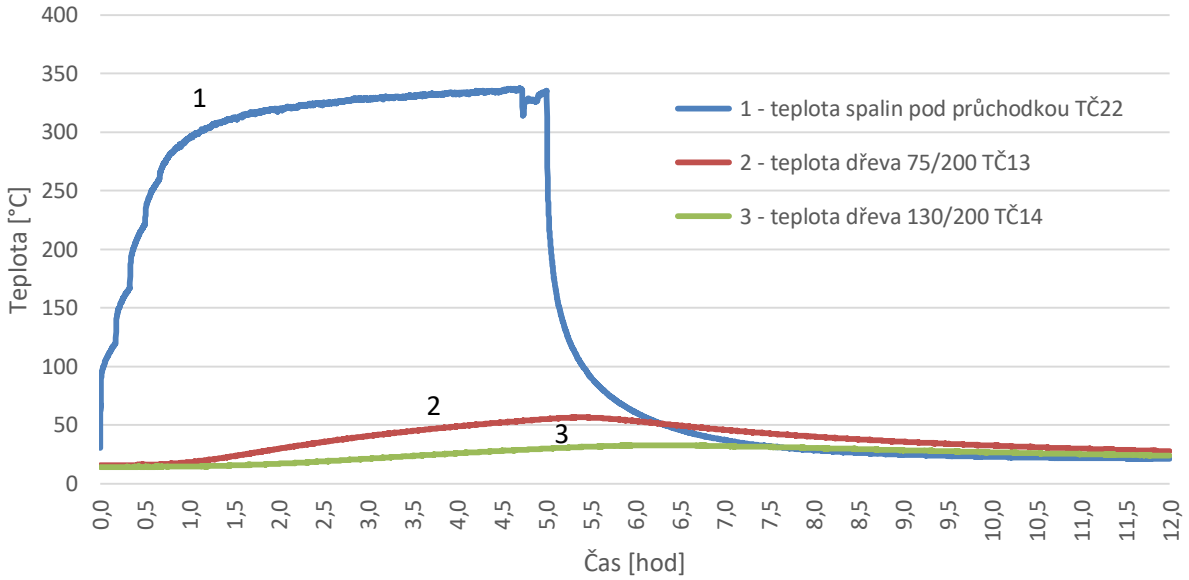


obr. 11: teploty ve vzdálenosti 50 mm od vnějšího povrchu komínového tělesa při jeho průchodu volně střešní konstrukcí

Je zjevné, že uprostřed skladby (150 mm od vrchní OSB desky) je ve vzdálenosti 50 mm od vnějšího povrchu komínového tělesa (TČ2) teplota vyšší než v totožné vzdálenosti od vnějšího povrchu komínového tělesa avšak blíže vnějšímu prostředí (TČ11).

iv. Teplota na povrchu dřevěného hranolu

Nejvíce problematickým aspektem při návrhu spalinové cesty je umístění hořlavých konstrukcí a materiálů ve skladbě střešní konstrukce. Z následujícího obr. je vidět vývoj teploty na povrchu dřevěného hranolu, který byl umístěný ve vzdálenosti 75 mm od vnějšího povrchu nerezového komínu (obr. 7). Nejvyšší teplota naměřená na tomto dřevěném prvku byla 57 °C a to v čase 19210 s (cca 5hodin 20 minut). Lze pozorovat, že po 5 hodinách topení, kdy se teplota spalin pohybovala na úrovni 330 °C, vystoupala povrchová teplota dřevěného prvku jen o 42 °C a výrazně se tedy nepřiblížila teplotě, při které by hrozila degradace dřevěného prvku, či dokonce jeho vzplanutí. Z obr. je také patrný nárůst teploty i po ukončení topné zkoušky, ale znovu jen po velmi omezený časový úsek (cca 20 minut). Je tedy vidět, že tento konkrétní dřevěný prvek není ohrožen postupným přestupem tepla a chladne již po 20 minutách po ukončení topné zkoušky.



obr. 22: teploty na dřevěném hranolu ve vzdálenosti 200 mm od vrchní OSB desky při průchodu volně vedeného komínového tělesa střešní konstrukcí

b. Laboratorní teplotní zkouška č. 3 – prostup komínového tělesa střešní konstrukcí za použití izolační průchodky

Při této laboratorní zkoušce bylo komínové těleso skrz vzorek střešní konstrukce vedeno v izolační průchodce (obr. 8 b). Všechny spoje a prostupy byly vzduchotěsně utěsněny. K topení v krbových kamnech byl použit (shodně jako v předchozí zkoušce) propanový pískový hořák. Tato zkouška proběhla 20.10. 2017. Teplota okolí v požární zkušebně byla cca 20°C a relativní vlhkost vzduchu cca 45 %.

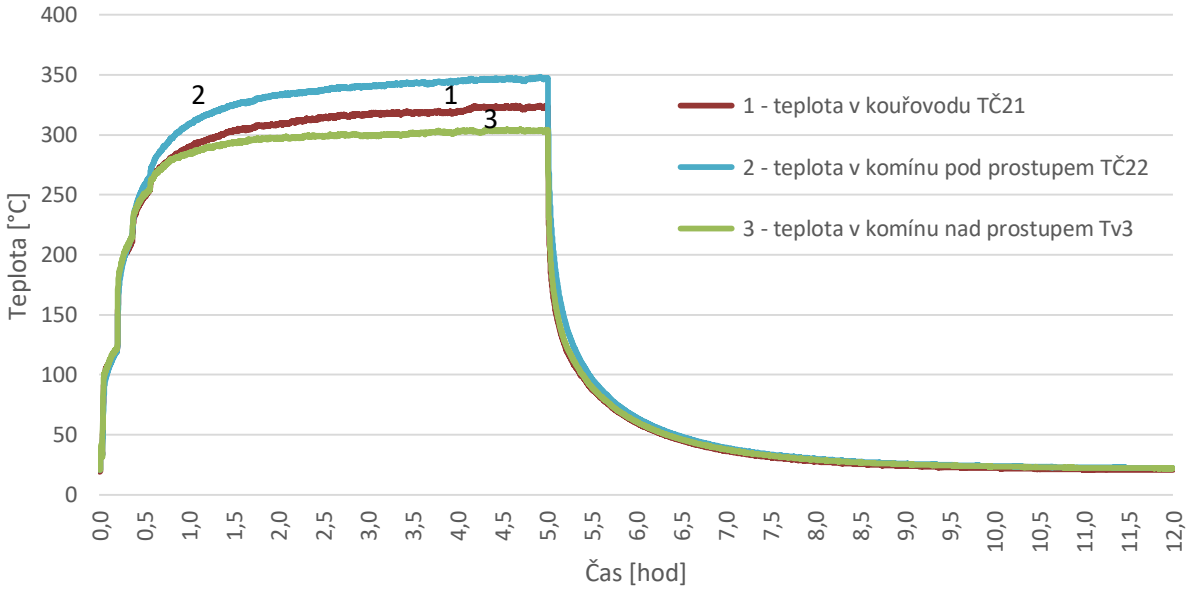
Měření bylo zahájeno v čase -60 s, kdy byla spuštěna časomíra. V čase -30 s byla do spalovací komory spotřebiče vložena louč (kovová tyč obalená tkaninou napuštěnou petrolejem), která byla následně zapálena. V čase 120 s došlo k puštění plynu a tudíž i zapálení pískového hořáku. Vzhledem ke snaze o co nejreálnější průběh hoření byl postupně navyšován výkon pískového hořáku z 5 kW až do výkonu 14 kW (tab. 5). Laboratorní zkouška probíhala podle stejného scénáře jako ta předchozí, včetně použitých měřících přístrojů. Byla použita termokamera Infratec VarioCAM HD RP5 se sekvencí snímků po 5 minutách a o počtu 150 snímků. V čase 17580 s (cca 5 hodin) byly pořízeny snímky spodního i vrchního povrchu vzorku střešní konstrukce termokamerou FLIR ThermaCAM PM 695.

tab. 5: průběh laboratorní zkoušky č. 3

čas [s]	*čas*	*aktivita*
-60	*-60 s*	*spouštění časomíry*
-45	*-45 s*	*spuštění ventilátoru*
-30	*-30 s*	*spuštění měření*
0	*0*	*spuštění snímkování termokamerou VarioCAM*
120	*2 min*	*zapálení pískového hořáku - výkon 5 kW*
720	*12 min*	*navýšení výkonu hořáku na 11 kW*
1320	*22 min*	*navýšení výkonu hořáku na 13 kW*
2030	*34 min*	*navýšení výkonu hořáku na 14 kW*
17580	*4,9 hod*	*pořízení termosnímků kamerou FLIR*
18020	*5 hod*	*vypnutí hořáku*
43200	*12 hod*	*konec záznamu dat*

i. Teplota uvnitř spalinové cesty

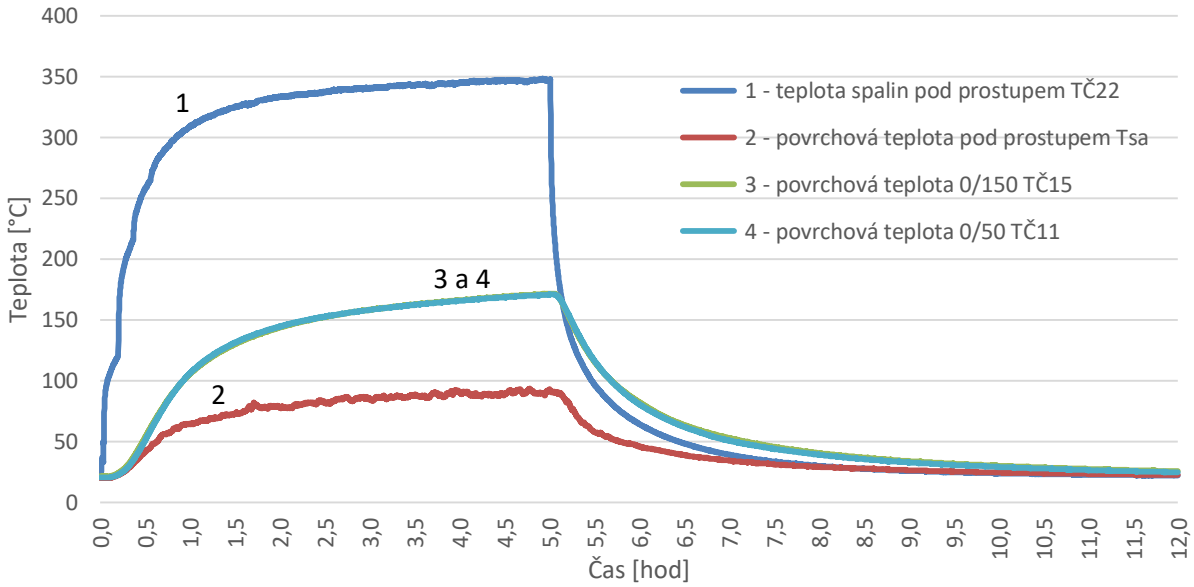
Stejně jako při předchozím měření jsou na průbězích teplot ve spalinové cestě patrné nárůsty teplot při navýšení výkonu hořáku. Teplota v kouřovodu se nakonec ustálila na hodnotě 323 °C. Po 4 hodinách se teplota spalin pod vzorkem střešní konstrukce vyšplhala na 345 °C. Po průchodu střešní konstrukcí bylo naměřeno 303 °C, což znamená pokles teploty spalin po průchodu střešní konstrukcí skrze izolační šachtu o 42 °C. Rozdíl teplot je tu tedy výrazně nižší než při předchozím měření bez použití izolační šachty. V tomto případě, kdy byla pro prostup komínu střešní konstrukcí izolační šachta použita, prochází do střešní konstrukce méně tepla a tudíž se konstrukce i méně ohřívá. Průběh teplot uvnitř komínové tělesa je znázorněný na obr. .



obr. 23: teploty uvnitř spalinové cesty při průchodu komínového tělesa střešní konstrukcí za použití izolační šachty

ii. Teplota na vnějším povrchu nerezového komínu

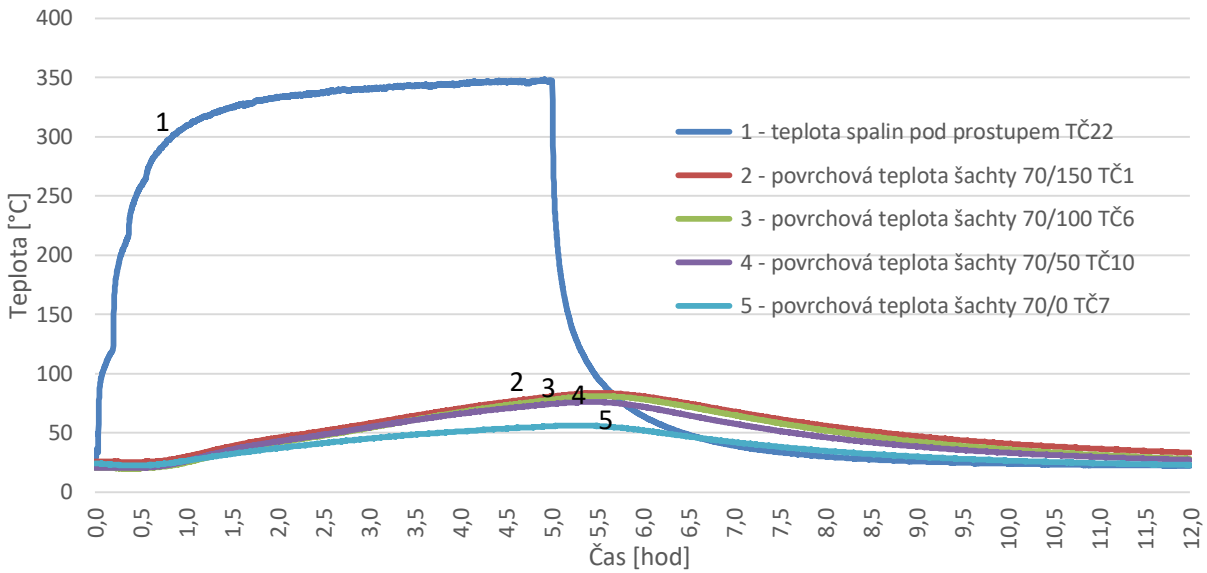
Jedná se o teplotu na vnějším povrchu nerezového komínu v izolované vzduchové mezeře mezi pláštěm komínu a izolační šachtou. Tato teplota vzrůstala shodně s dobou provozu hořáku. Nejvyšší hodnoty 172 °C bylo dosaženo v čase 18040 s (5 hodin). Tato povrchová teplota je v podstatě stejná po celé délce průchodu komínu střešní konstrukcí, jelikož je prostor mezi komínovým pláštěm a izolační šachtou vyplněn vzduchem. Stejný průběh povrchových teplot nerezového komínu po délce prostupu střešní konstrukcí je vidět na obr. 12, kde se grafy průběhu teplot překrývají.



obr. 12: teploty na vnějším povrchu komínového tělesa při průchodu komínového tělesa střešní konstrukcí za použití izolační šachty

iii. Teplota na vnějším povrchu šachty

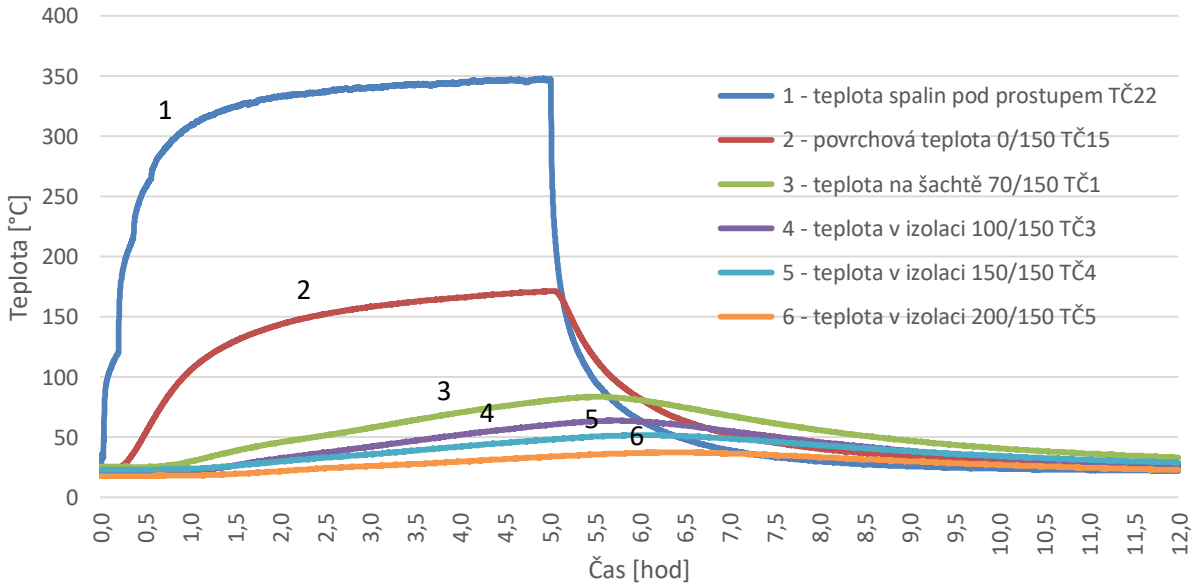
Teploty na vnějším povrchu šachty jsou po výšce skladby střešní konstrukce podobné. Nejvyšší teplota 84 °C byla naměřena ve středu skladby (150 mm pod vrchní OSB deskou) v čase 19820 s (5,5 hodiny). Ve stejném čase byla povrchová teplota šachty 100 mm pod vrchní OSB deskou 81 °C a 50 mm pod vrchní OSB deskou 76 °C. Pouze teplota na povrchu šachty v místě styku šachty a vrchní OSB desky byla znatelně nižší 56 °C, což je dáno minimální vzdáleností od vnějšího prostředí (obr. 12). Z těchto hodnot je viditelné, že teploty jsou oproti předchozímu měření (kdy komínové těleso procházelo střešní konstrukcí volně) výrazně nižší a nejsou mezi nimi tak vysoké rozdíly.



obr. 25: teploty na vnějším povrchu izolační šachty při průchodu komínového tělesa střešní konstrukcí

iv. Teplota uvnitř tepelné izolace střešní konstrukce

Při porovnání teplot v tepelné izolaci střešní konstrukce je znovu viditelný pokles teplot s narůstající vzdáleností od povrchu komínového tělesa. Oproti minulému měření jsou však výsledné teploty nižší. Na obr. jsou vyobrazeny průběhy teplot uprostřed skladby střešní konstrukce (150 mm pod vrchní OSB deskou) ve vzdálenostech 0, 70, 100, 150 a 200 mm od vnějšího povrchu nerezového komínu.

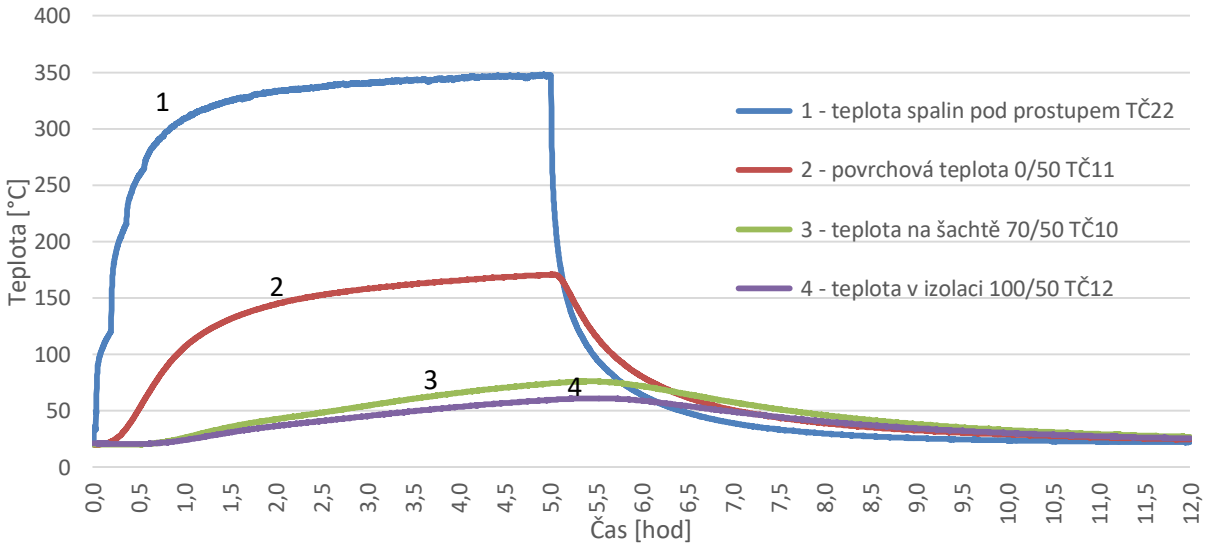


obr. 26: teploty ve vzdálenosti 150 mm od vrchní OSB desky při průchodu komínového tělesa střešní konstrukcí za použití izolační šachty

Ve vzdálenosti 70 mm od vnějšího povrchu nerezového komínu byla nejvyšší naměřená teplota 84 °C (viz výše), ve vzdálenosti 100 mm byla v čase 20280 s (5,6 hodiny) naměřena

maximální teplota 64° C a ve vzdálenosti 200 mm vystoupala teplota na nejvyšší hodnotu 37 °C v čase 22725 s (6,3 hodiny), což znamená 1,3 hodiny po ukončení topené zkoušky. Z výsledných hodnot je vidět, že při použití izolační šachty se teploty ve střešní konstrukci snížily, ale prodloužila se doba prostupu tepla střešní konstrukcí. Teploty v konstrukci stoupají po delší dobu, ale na nižší hodnotu.

Pokud budeme porovnávat průběhy teplot z obr. (TČ umístěné ve vzdálenosti 50 mm od vrchní OSB desky) s obr. (TČ umístěné ve středu konstrukce), platí stejné pravidla jako při předchozím měření tedy, že teploty ve vzdálenosti 50 mm od vrchní OSB desky jsou nižší, než ty ve vzdálenosti 150 mm od vrchní OSB desky. Tento rozdíl teplot můžeme pozorovat například na TČ12 a TČ3.

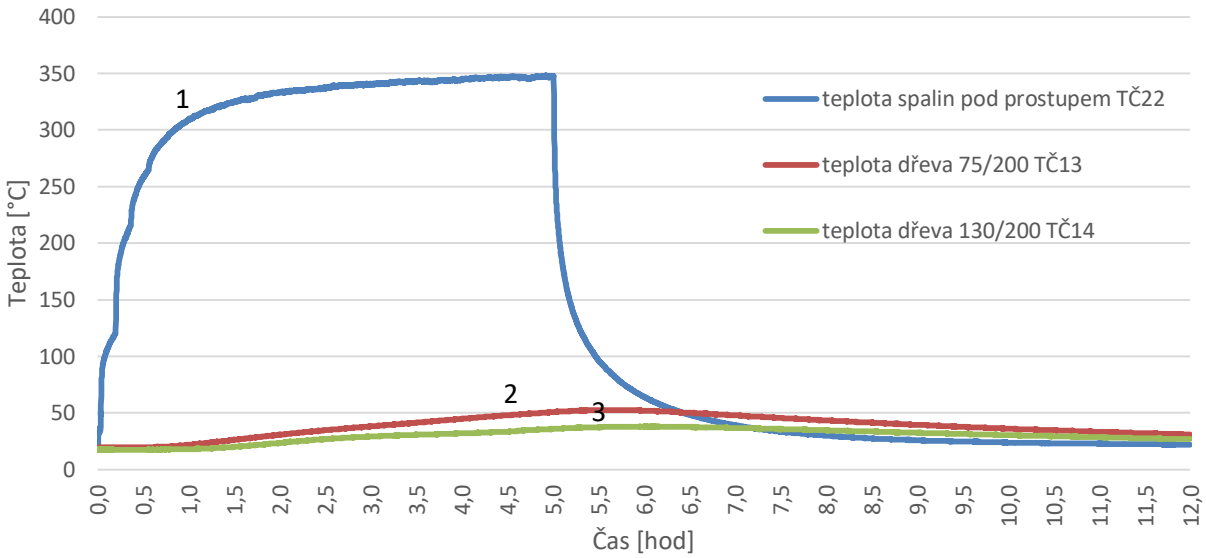


obr. 27: teploty ve vzdálenosti 50 mm od vrchní OSB desky při průchodu komínového tělesa střešní konstrukcí za použití izolační šachty

v. Teplota na povrchu dřevěného hranolu

Dřevěný hranol zůstal umístěný na stejném místě jako v předchozím měření. Po osazení izolační šachty byl vnější povrch izolační šachty od dřevěného hranolu vzdálen 5 mm. Tento prostor byl vyplněn minerální vatou

Podíváme-li se na povrchovou teplotu dřevěného hranolu (obr. 28), tak můžeme vidět, že nejvyšší teplota 53 °C byla dosažena v čase 19880 s (5,5 hodiny). Teplota na povrchu hranolu se tedy během laboratorní zkoušky zvýšila o 33 °C, což je o 8 °C méně, než zvýšení povrchové teploty dřevěného hranolu bez použití izolační šachty. Izolační šachta má tedy přímý vliv na snížení povrchové teploty přilehlých hořlavých konstrukcí.



obr. 28: teploty na dřevěném hranolu ve vzdálenosti 200 mm od vrchní OSB desky při průchodu komínového tělesa střešní konstrukcí za použití izolační šachty

c. Laboratorní teplotní zkouška č. 4 – prostup komínového tělesa střešní konstrukcí za použití izolační průchodky při topení dřevem

Při poslední laboratorní zkoušce zůstalo vše shodně jako při zkoušce předchozí. K prostupu komínu střešní konstrukcí byla znovu použita izolační šachta, umístění termočlánků se nezměnilo, ale k topení ve spotřebiči bylo tentokrát použito dřevo. Použití dřeva slouží jako možnost porovnat reálný provoz spalinové cesty s idealizovaným provozem z předchozí zkoušky, simulovaným propanovým pískovým hořákem. Zkouška proběhla 23.10. 2017. Teplota okolí ve zkušebně byla cca 20 °C a relativní vlhkost cca 40 %.

Měření bylo zahájeno v čase -60 s. V čase 120 s byly zapáleny dřevěné třísky a papír. Následné přikládání a hmotnost dřeva je patrné z tab. 6. Bylo přikládáno tak, aby se teplota spalin pohybovala kolem hodnoty 300 °C a tudíž se svým průběhem co nejvíce přiblížila předchozí laboratorní zkoušce při použití pískového hořáku tak, aby měření byla porovnatelná. I při této zkoušce byla použita termokamera Infratec VarioCAM HD RP5 se sekvencí snímků po 5 minutách a v čase 7600 s (cca 2 hodiny), byly pořízeny snímky spodního i vrchního povrchu vzorku střešní konstrukce termokamerou FLIR ThermaCAM PM 695. Toto měření probíhalo pouze po dobu cca 3 hodin a měřilo se pouze při provozu spotřebiče (neměřilo se po dobu chladnutí).

Přikládáno bylo průběžně v intervalu 10-20 minut, a to 0,45-0,85 kg dřeva. Za dobu cca 2,1 hod bylo přiloženo celkem 6,15 kg dřeva, tedy cca 3 kg/hod, což odpovídá výkonu cca 8,5 kW. Provoz spotřebiče byl tedy na nebo nad horní hranicí svého deklarovaného maximálního výkonu.

tab. 6: průběh laboratorní zkoušky č. 4

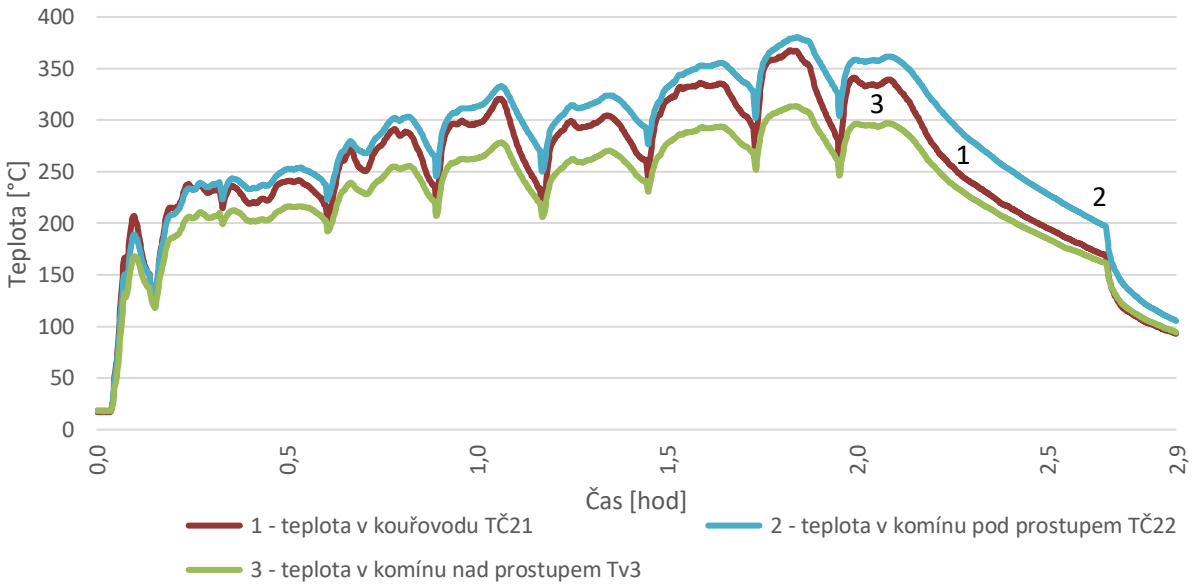
čas [s]	***čas***	***aktivita***
-60	*-60 s*	*spouštění časomíry*
-45	*-45 s*	*spuštění ventilátoru*
-30	*-30 s*	*spuštění měření*
0	*0*	*spuštění snímkování termokamerou VarioCAM*
120	*2 min*	*podpal dřeva*
260	*4 min*	*přiložení 0,45 kg dřeva*
510	*9 min*	*přiložení 0,45 kg dřeva*
1200	*20 min*	*přiložení 0,65 kg dřeva a čištění dvířek po dobu cca 30 s*
2200	*37 min*	*přiložení 0,85 kg dřeva*
3200	*53 min*	*přiložení 0,65 kg dřeva*
4200	*1,2 hod*	*přiložení 0,80 kg dřeva*
5200	*1,4 hod*	*přiložení 0,85 kg dřeva*
6200	*1,7 hod*	*přiložení 0,80 kg dřeva*
7000	*1,9 hod*	*přiložení 0,65 kg dřeva*
7600	*2,1 hod*	*pořízení termosnímků kamerou FLIR*
9600	*2,7 hod*	*otevření dvířek kamen, chladnutí*
10230	*2,9 hod*	*konec záznamu dat*

obr. 29: topení dřevem

i. Teploty uvnitř spalinové cesty

Udržet souvislou teplotu spalin po celou dobu topení dřevem je velmi obtížné. Z průběhu teploty spalin v komínovém tělese je vidět, že po přiložení dřeva teplota spalin roste a následně dohoříváním přiloženého dřeva teplota klesá. To se opakuje v cyklech vždy po každém přiložení. Okamžitá teplota je tudíž velmi kolísává, a aby se celkový průběh teploty spalin při použití dřeva podobal tomu při použití pískového hořáku, bylo by nutné křivky vhodně proložit.

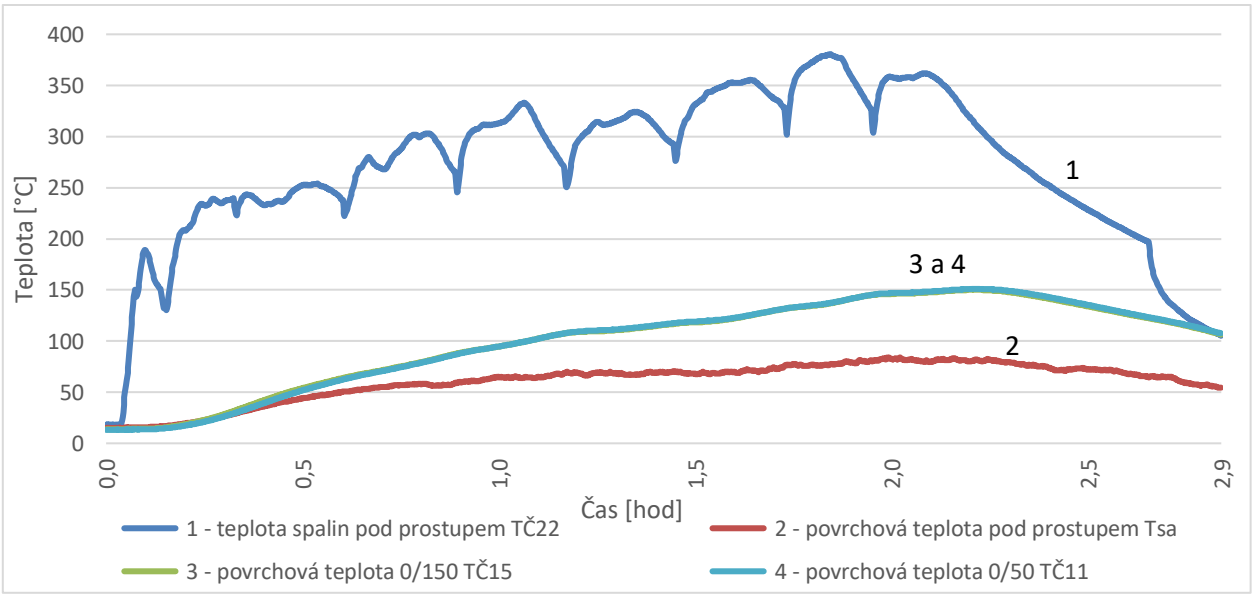
Znovu jako v předchozích měřeních je vidět snížení teploty spalin po prostupu střešní konstrukcí, kdy dochází k prostupu tepla do střešní konstrukce. Nejvyšší teploty spalin bylo dosaženo v čase 6635 s (téměř po 2 hodinách) 380,5 °C (obr. 13). Rozdíl teplot spalin před prostupem střešní konstrukcí a po prostupu střešní konstrukcí byl například v tomto čase 6635 s 67 °C, což je o 25 °C více než při použití pískového hořáku, avšak největší rozdíly vznikaly při největších teplotách. Pokud budeme uvažovat podobné teploty spalin, vycházejí i velmi podobné rozdíly teplot. Rozdílné hodnoty jsou způsobeny i rozdílnými počátečními teplotami. Například rozdíl počátečních teplot naměřených TČ1 byl 10 °C, kdy při zkoušce s použitím dřeva byla tato teplota nižší.



obr. 13: teploty uvnitř spalinové cesty při průchodu komínového tělesa střešní konstrukcí za použití izolační šachty při topení dřevem

ii. Teplota na vnějším povrchu nerezového komínu

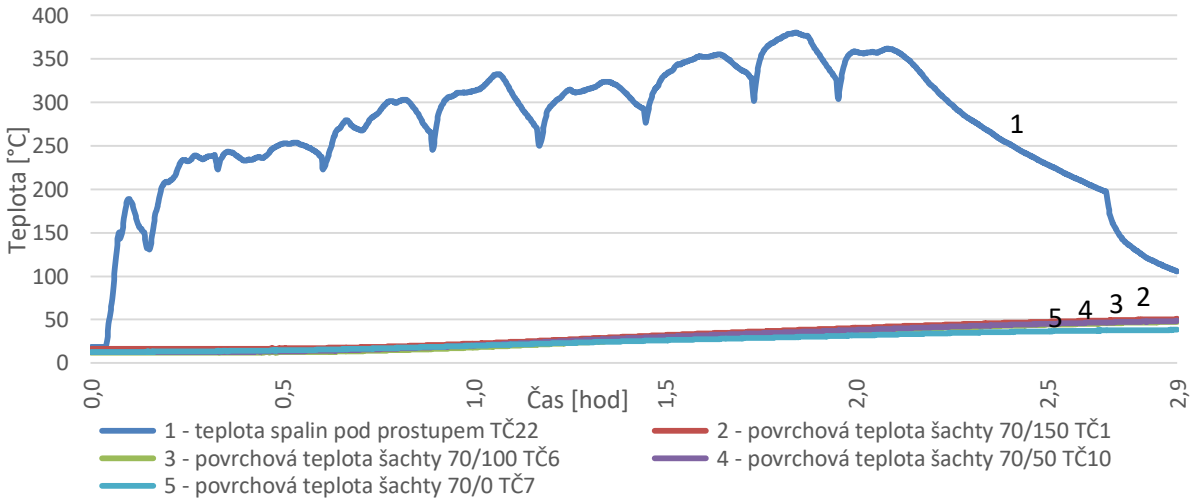
Průběh teploty na vnějším povrchu komínu již kolísá mnohem méně a více se podobá průběhu při použití pískového hořáku. Nejvyšší dosažená hodnota byla 150 °C v čase 7960 s (obr. 14). V totožném čase bylo při použití plynového hořáku dosaženo teploty 148 °C. Z těchto dat je vidět, že výsledné hodnoty jsou si velmi podobné, bez ohledu na použitý zdroj vytápění.



obr. 14: teploty na vnějším povrchu nerezového komínu při průchodu komínového tělesa střešní konstrukcí za použití izolační šachty při topení dřevem

iii. Teplota na vnějším povrchu šachty

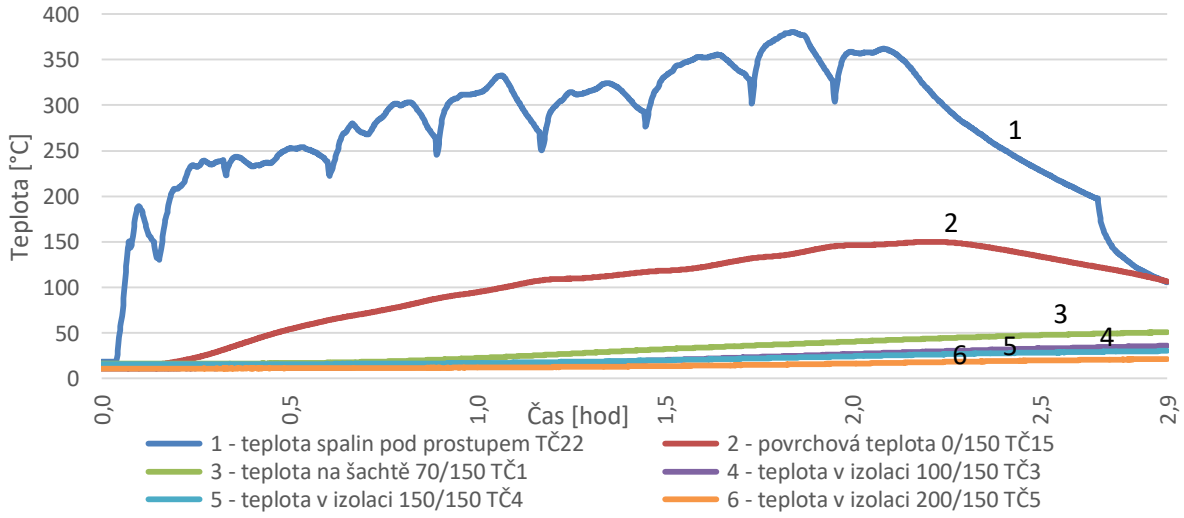
Teploty na povrchu izolační šachty jsou po výšce podobné. Nejvyšší teploty 51 °C bylo dosaženo při ukončení měření v čase 10225 s (téměř 3 hodiny) uprostřed skladby střešní konstrukce 150 mm pod vrchní OSB deskou (obr.). Při použití pískového hořáku byla naměřena teplota 56 °C, což znovu ukazuje velkou podobnost obou měření.



obr. 32: teploty na vnějším povrchu izolační šachty při průchodu komínového tělesa střešní konstrukcí při topení dřevem

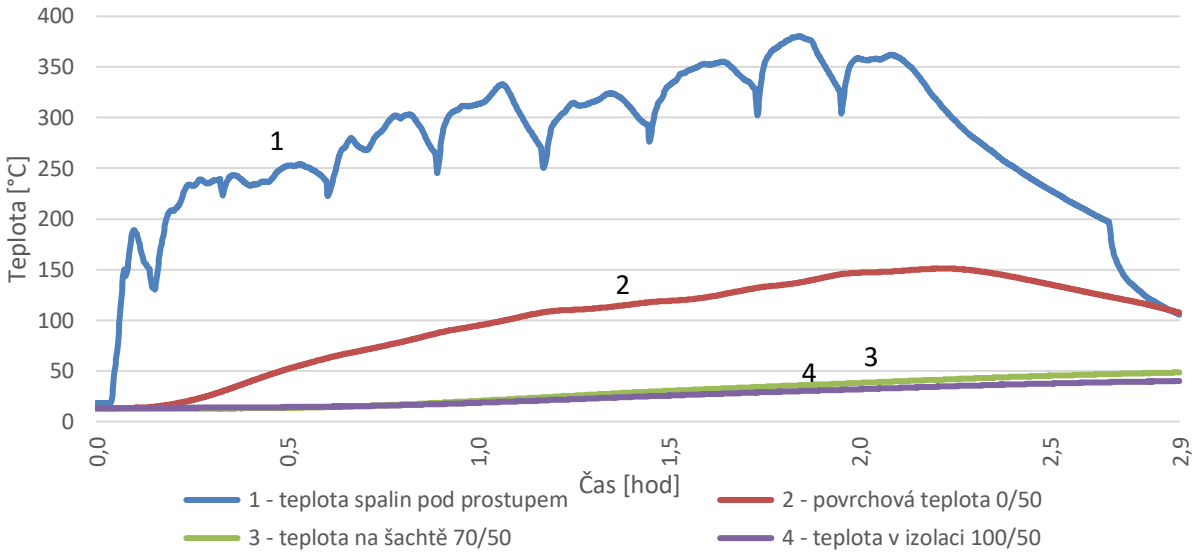
iv. Teploty uvnitř tepelné izolace střešní konstrukce

Když se zaměříme na teplotu v tepelné izolaci, můžeme porovnat například teplotu naměřenou termočlánkem TČ3. V čase 10225 s naměřil tento termočlánek teplotu 36 °C, při použití pískového hořáku byla v tomto čase naměřena teplota 41 °C. I ostatní průběhy teplot jsou si velmi podobné, na obr. jsou vidět průběhy teplot uprostřed skladby střešní konstrukce ve vzdálenostech 0, 70, 100, 150 a 200 mm od povrchu nerezového komínu.



obr. 33: teploty ve vzdálenosti 150 mm od vrchní OSB desky při průchodu komínového tělesa střešní konstrukcí za použití izolační šachty při topení dřevem

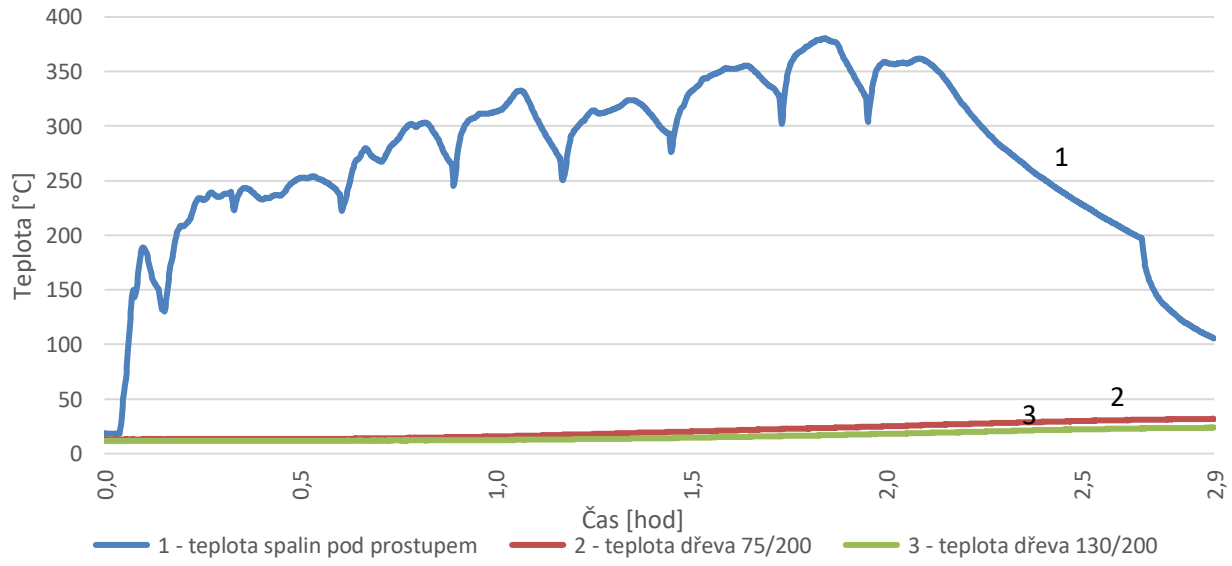
Ještě můžeme porovnat rozdíly mezi teplotami ve středu konstrukce a u vrchního okraje. Ve vzdálenosti 50 mm od vrchní OSB desky. Znovu je viditelný pokles teplot (obr. 15) oproti teplotám ve středu konstrukce (obr.).



obr. 15: teploty ve vzdálenosti 50 mm od vrchní OSB desky při průchodu komínového tělesa střešní konstrukcí za použití izolační šachty, při topení dřevem

v. Teplota na povrchu dřevěného hranolu

Teplota na povrchu dřevěného hranolu po téměř 3 hodinách topení dřevem vystoupala o 19 °C na hodnotu 32 °C. Tato hodnota je z požárního hlediska zcela mimo oblast jakéhokoli nebezpečí.

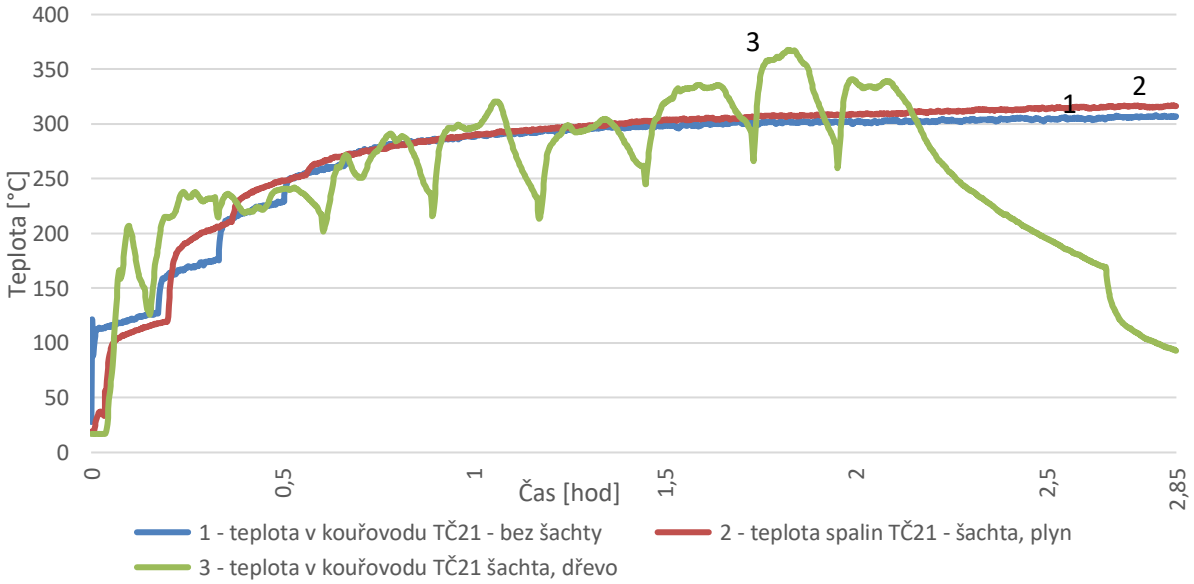


obr. 35: teploty na dřevěném hranolu ve vzdálenosti 200 mm od vrchní OSB desky při průchodu komínového tělesa střešní konstrukcí za použití izolační šachty, při topení dřevem

11. Porovnání naměřených dat

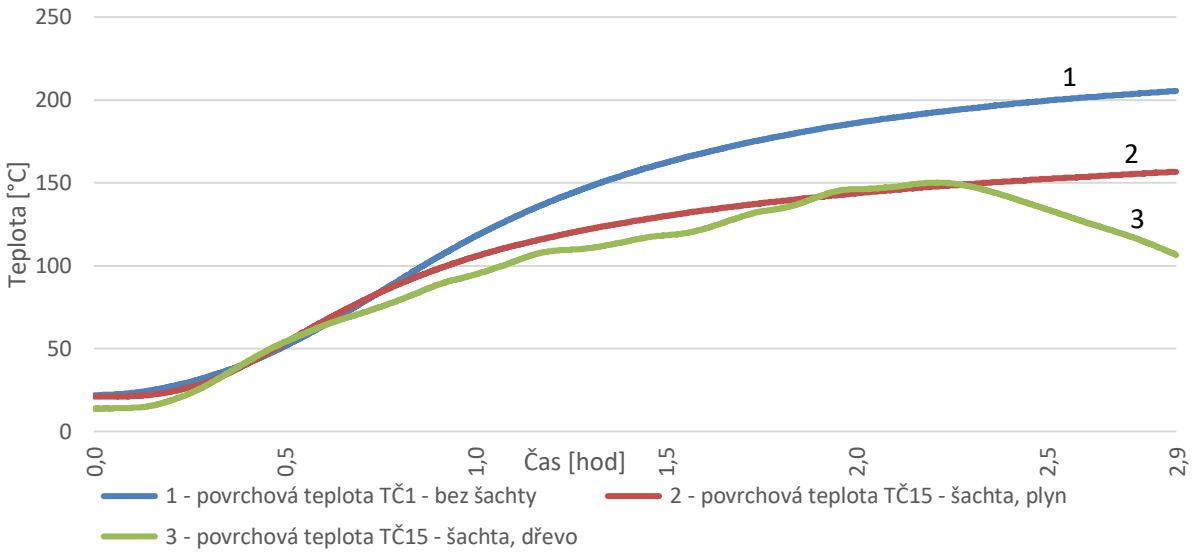
Vzhledem k tomu, že byla provedena tři rozdílná měření, je možné některé průběhy teplot přímo porovnat. Tato porovnání slouží hlavně k ucelení pohledu na proběhlé laboratorní zkoušky. Grafy porovnání průběhů teplot jsou z intervalu 0 až 3 hodiny a to z toho důvodu, že poslední laboratorní zkouška trvala 3 hodiny.

Průběhy teploty spalin z obr. potvrzují vhodnost použití hořáku při laboratorní zkoušce jako substituci za topení dřevem. Vhodně zvolený výkon propanového pískového hořáku odpovídá vybranému typu přikládání dřevem, kdy bylo přikládáno přibližně 0,8 kg dřeva každých 15 minut, což simuluje zvýšený provoz spotřebiče.



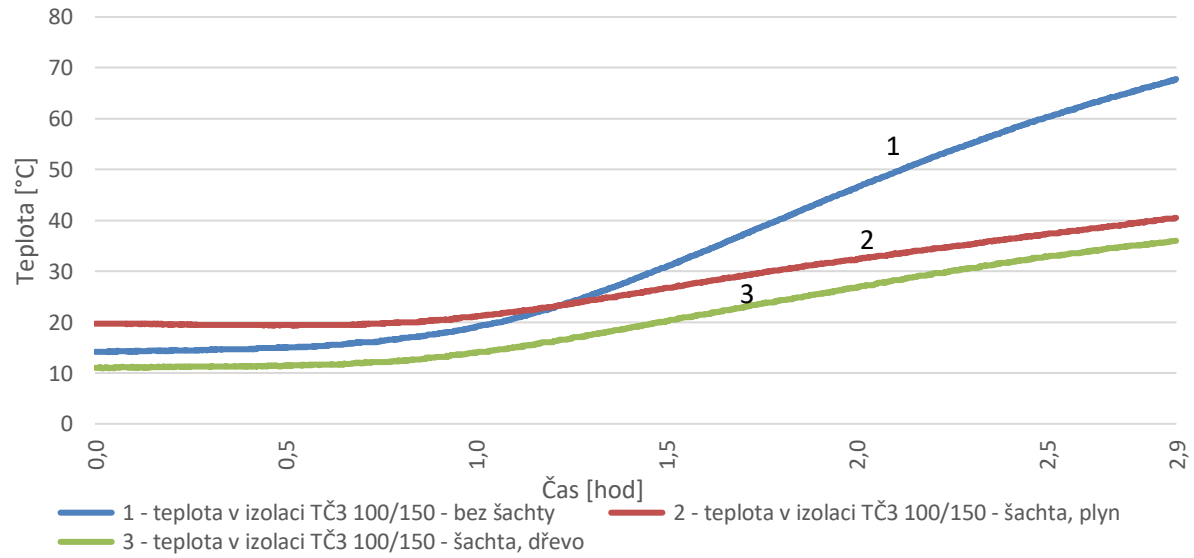
obr. 36: porovnání teploty spalin laboratorních zkoušek

Z obr. je zřetelně vidět, že komínové těleso, které prochází přímo minerální vatou, má výrazně vyšší povrchovou teplotu. Byl zde naměřen rozdíl téměř 50 °C. Naopak povrchová teplota nerezového komínu vedeného šachtou je nižší. Při porovnání topné zkoušky za použití propanového hořáku a topné zkoušky, při které se přikládalo dřevem je vidět, že průběhy teplot jsou si velmi podobné.



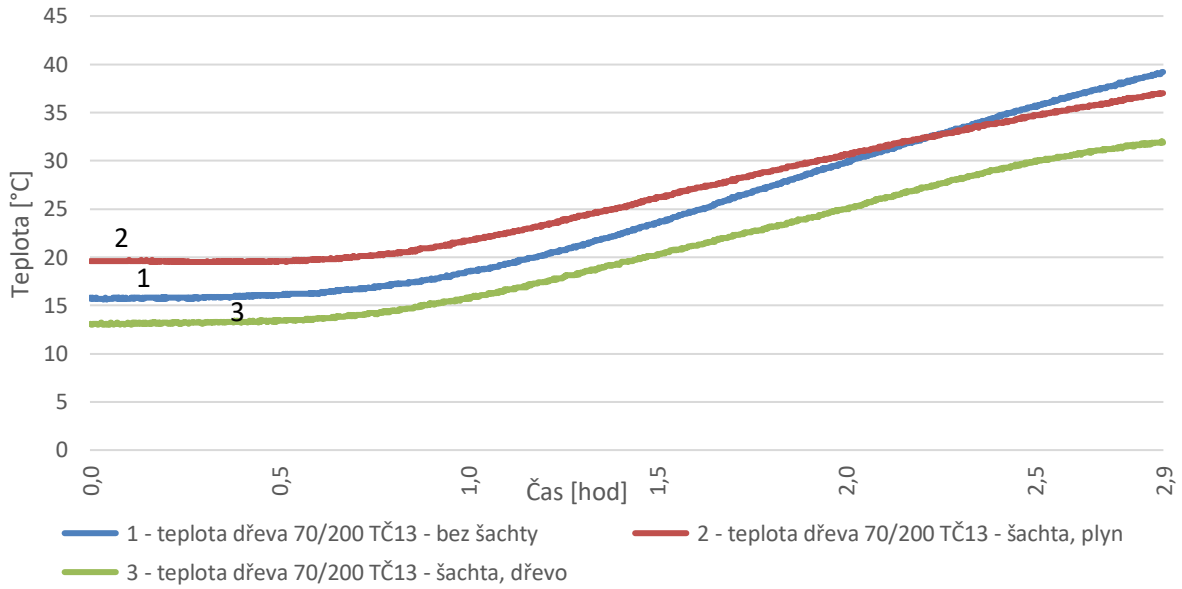
obr. 37: porovnání povrchové teploty nerezového komínu při laboratorních zkouškách

Z výsledných hodnot a průběhů teplot uvedených níže (obr.) je jasně zřetelné, že se vzrůstajícím časem se teplota v daném místě zvyšuje. Tento obrázek zároveň potvrzuje vhodnost použití izolační šachty. Je vidět, že bez použití izolační šachty je teplota ve vzdálenosti 100 mm od vnějšího povrchu nerezového komínu výrazně vyšší. Naměřený rozdíl teplot byl na úrovni 30 °C, což je v tomto případě rozdíl velmi znatelný. Izolační šachta se vzhledem ke svým vlastnostem jeví jako vhodné řešení pro prostup komínu silně izolovanou vrstvou střešní či stropní konstrukce, jelikož snižuje množství tepla, které proniká do střešní konstrukce a tím snižuje i následné teploty ve střešní konstrukci. Nižší teploty znamenají nižší požární riziko.



obr. 38: porovnání teplot uprostřed skladby střešní konstrukce, ve vzdálenosti 100 mm od povrchu nerezového komínu při laboratorních zkouškách

Z následujícího obr. je patrný nárůst povrchové teploty na dřevěném trámu. Vzhledem k rozdílným počátečním teplotám je nutné se zabývat rozdílem teplot od začátku měření po jeho konec. Nejvyšší rozdíl byl v případě, kdy nebyla použita izolační šachta, v tomto případě vzrostla povrchová teplota dřevěného hranolu o 23 °C. Průběhy teplot při použití izolační šachty jak při topením propanovým hořákem, tak při topení dřevem jsou téměř totožné. Rozdíl nárůstu teplot byl při použití hořáku 17 °C a při použití dřeva 19 °C. Tyto výsledky znovu potvrzují kladný vliv izolační šachty na teploty ve střešní konstrukci.



obr. 39: porovnání povrchové teploty dřevěného hranolu při laboratorních zkouškách

12. Závěr

Komíny v moderních stavbách s nízkou potřebou energie vyžadují zvýšenou pozornost. Pouze optimalizace provozu a individuální řešení může vést k bezpečné a efektivní integraci komínu do objektu.

Problematickými aspekty zatřiďování komínů do moderních staveb jsou výskyt hořlavých materiálů v blízkosti komínů, dodržení neprůvzdušnosti obálky budovy, omezení tepelných zisků od komínového tělesa, zpomalení tepelného toku a následná akumulace tepla v izolační složce stavebních konstrukcí s vyšší tepelnou kapacitou. Vysoké teploty na vnějším povrchu komínového tělesa pak vedou ke vzrůstu teplot v konstrukci, kterou komínové těleso prochází. Tento předpoklad měla potvrdit i laboratorní zkouška.

Jako prostředek k demonstraci problematiky nárůstu teplot v silně izolované střešní konstrukcí byly provedeny laboratorní zkoušky, při kterých se pomocí termočlánků umístěných na povrchu komínového tělesa a ve vzorku střešní konstrukce měřil průběh teplot. Celkem byla realizována čtyři měření, která se odlišovala typem paliva (k topení byl použit plyn nebo dřevo) a způsobem prostupu komínového tělesa skrze vzorek střešní konstrukce (komín byl buď volně vedený střešní konstrukcí, nebo k jeho prostupu byla použita izolační šachta).

Výsledky ukázaly, že k nárůstu tepla v tepelné izolaci skutečně dochází, a to v nezanedbatelné míře. Také byl prokázán nárůst teplot vlivem postupného přestupu tepla i po ukončení topné zkoušky, avšak tento nárůst byl při provedených zkouškách na úrovni jednotlivých procent. Celkově byly nárůsty teplot nižší, než bylo předpokládáno. Například po dobu měření nepřekročila teplota ve vzdálenosti 100 mm od vnějšího povrchu komínového tělesa teplotu 100 °C. Co se týče použití izolační šachty jako prvku pro zvýšení požární bezpečnosti při prostupu komínu střešní konstrukcí, tak se potvrdil předpoklad celkového snížení tepelného toku a tedy i teplot. Izolační šachta se jeví jako vhodné řešení, jelikož omezí prostup tepla do střešní konstrukce a prostorově vymezí oblast komínu, do které nelze umístit hořlavý prvek, a tudíž zajistí, aby se žádný hořlavý prvek nevyskytoval v bezprostřední blízkosti komínu. Má tedy jak aktivní tak pasivní vlastnosti, které zvyšují požární bezpečnost. Tato řešení umožní bezpečnou integraci komínu, a to včetně napojení potřebných parotěsných či difúzních fólií.

Výsledné hodnoty z provedených měření však není možné implementovat na jakýkoli komín procházející stavební konstrukcí. Naměřené výsledky jsou použitelné pouze pro tuto konkrétní zkoušku, při použití konkrétních materiálů, konstrukcí, typu kamen, délky komínu či kouřovodu, způsobu a délce topení atd. Získaná data dávají rámcovou představu o průběhu teplot v dané konstrukci, ale nemohou posloužit jako obecně platná. Aby bylo možné získat ucelený pohled na problematiku, bylo by nutné provést mnohem větší množství zkoušek. Přesto však laboratorní zkouška potvrdila nutnost se touto problematikou nadále zabývat a věnovat jí při návrhu komínů zvýšenou pozornost.

Nezbytným doplňkovým řešením se jeví změna legislativy. V současné legislativě chybí definice provozních podmínek, dle kterých by spotřebič měl být provozován. Okrajové podmínky by měly být jasně vymezeny, nebo být stanoveny projektantem a to tak, aby odpovídaly požadavkům a možnostem stavby. Dodržování okrajových podmínek by provozovateli spalinové cesty definovalo způsob její použití, nedocházelo by k přetápění spalinové cesty a snížila by se teplota na vnějším povrchu komínového tělesa. To by mělo za následek snížení rizika vzniku požáru od spalinové cesty a v neposlední řadě by byl dodržen klíčový požadavek na maximální účinnost spotřebiče.

Seznam použitých symbolů a zkratek

Symboly

U	Součinitel prostupu tepla	$W/(m^2 \cdot K)$
E_A	Měrná potřeba tepla na vytápění	$kWh/(m^2 \cdot a)$
n_{50}	Intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa	h^{-1}
λ	Součinitel tepelné vodivosti	$W/(m \cdot K)$
R	Tepelný odpor	$(m^2 \cdot K)/W$
t	Teplota	°C
ρ	Objemová hmotnost	kg/m^3

Zkratky

TV	Teplá voda
OSB	Oriented strand board – lisovaná deska z orientovaných rozprostřených velkoplošných třísek
UCEEB	Univerzitní centrum energeticky efektivních budov ČVUT v Praze
ČVUT	České vysoké učení technické v Praze
PIR	Polyisokianurátová pěna
DN	Jmenovitý vnitřní průměr
TČ	Termoelektrický článek (dále jen termočlánek)
MaR	Měření a regulace
MV	Minerální vata
PO	Požární odolnost
HZS	Hasičský záchranný sbor
LTO	Lehké topné oleje

Literatura

[1] Zákon č. 318/2012 Sb. *kterým se mění zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů.*

[2] NERI, M., P. LEPPÄNEN, S. BANI, M. PENTTI a M. PILOTELLI. *Experimental and Computational Study of the Temperatures Field Around a Chimney Roof Penetration.* Fire Technology [online]. 2016, 52(6), 1799-1823 [cit. 2017-11-16]. DOI: 10.1007/s10694-015-0540-8. ISSN 0015-2684. Dostupné z: http://link.springer.com/10.1007/s10694-015-0540-8

[3] ČSN EN ISO 13790 (730317). *Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení.* Praha: ÚNMZ, 2009.

[4] TNI 73 0330. *Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - Bytové domy*. Praha: ÚNMZ, 2010.

[5] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov*. Praha: ÚNMZ, 2011 + Z1:2012.

[6] HRUBÝ, Libor. Vzduchotěsnost pasivního domu. *TZB-info*. [Online] 2017. http://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/13994-vzduchotesnost-pasivniho-domu.

[7] ČSN 73 4201. Komíny a kouřovody - *Navrhování, provádění a připojování spotřebičů paliv*. Praha: ÚNMZ, 2010 + Z1:2013 + Z2:2015.

[8] ČSN EN 1443. *Komíny - Všeobecné požadavky.* Praha: ÚNMZ, 2004.

[9] MESSY s.r.o. – technické podklady - [Online] 2017. http://kominy.messy.cz/.

[10] ČSN EN 06 1008. *Požární bezpečnost tepelných zařízení*. Praha: ÚNMZ, 1997.

[11] ČSN EN 13501-2 . *Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb - Část 2: Klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti kromě vzduchotechnických zařízení*. Praha: ÚNMZ, 2017.

[12] LUKÁŠOVÁ, Pavla. Nové požadavky na komíny. *Časopis 112*. [Online] 2017. *http://www.hzscr.cz/clanek/casopis-112-rocnik-vii-cislo-11-2008-915740.aspx?q=Y2hudW09Mw%3d%3d*

[13] LEPPÄNEN, Perttu, Timo INHA a Matti PENTTI. *An Experimental Study on the Effect of Design Flue Gas Temperature on the Fire Safety of Chimneys*. Fire Technology [online]. 2015, 51(4), 847-866 [cit. 2017-11-11]. DOI: 10.1007/s10694-014-0415-4. ISSN 0015-2684. Dostupné z: http://link.springer.com/10.1007/s10694-014-0415-4

[14] ČSN EN 15287-1+A1. *Komíny - Navrhování, provádění a přejímka komínů - Část 1: Komíny pro otevřené spotřebiče paliv*. Praha: ÚNMZ, 2011.

[15] AREA 2014 LT. [software]. Verze 2014. Praha: K-CAD, spol. s r.o., 2014.

[16] SIMMS, D. L.: *Damage to Cellulosic Solid by Thermal Radiation. Combustion and Flame 6*, 1962.

[17] LIŠKOVÁ, Zuzana. *Analýza požiarnych upchávok v mieste prestupu kovových komínových systémov v izolovanej drevenej strešnej konštrukcii*. Bratislava. 2016. Rešerše pro disertační práci. Slovenská technická univerzita v Bratislave. Stavebná fakulta

[18] NERI, M. – LUSCIETTI, D. – BANI, S. – FIORENTINO, A. – PILOTELLI, M.: *Anylysis of the temperatures measured in very thick and insulating roofs in the vicinity of a chimney.* Journal of Physics. 2016, Conference Series 655.

[19] POŽÁRY.CZ. – archiv článků – [Online] 2017. https://www.pozary.cz/

[20] KUPILÍK, Václav. Požární bezpečnost zděných komínů. *TZB-info.* [Online] 2017. http://vytapeni.tzb-info.cz/kominy-a-kourovody/11923-pozarni-bezpecnost-zdenych-kominu

[21] ROMOTOP spol. s.r.o. – technické podklady - [Online] 2017. https://www.romotop.cz/userfiles/dokumenty/276/technicky_list_krbova_kamna_romotop_stromboli_n.pdf

[22] SAINT-GOBAIN CONSTRUCTION PRODUCTS CZ a.s. – technické podklady - [Online] 2017. http://www.isover.cz/produkty/isover-uni

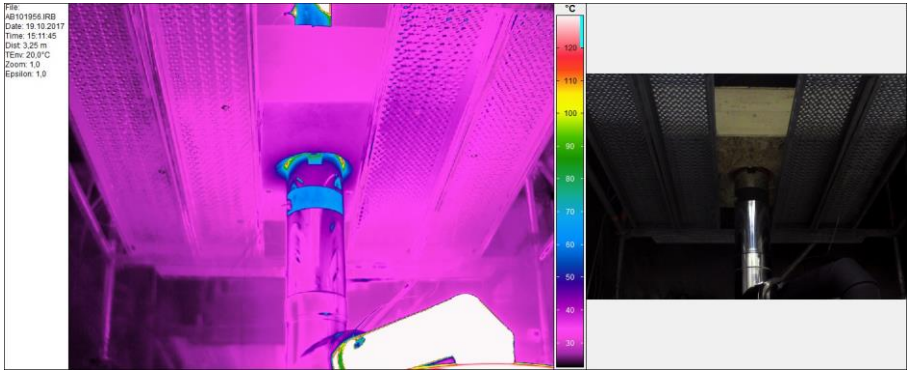
[23] HENKEL ČR, spol. s r.o. – technické podklady - [Online] 2017. http://www.ceresit.cz/content/dam/uac/ceresit/czech-republic/Produkty/Silikony--tmely-a-t-snic--hmoty/Akryl-ty--silikony-a-tmely/CS-28/ceresit-cs-28-technicky-list.pdf

[24] LABOUTKA, K., SUCHÁNEK, T. *Výpočtové tabulky pro vytápění: vztahy a pomůcky* [CD-ROM]. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2001. ISBN 80-02-01466-9.

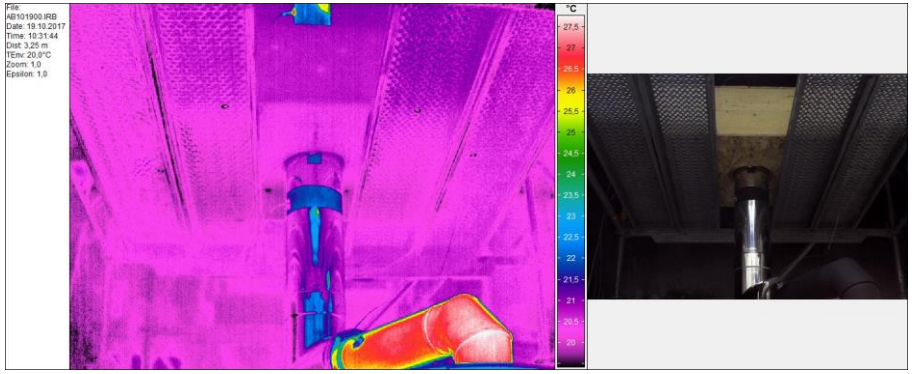
[25] ISO 9705 – *Fire tests – Full scale room test for surface products*. Geneva: International Organization for Standardization, 1993.

Příloha 4: Termosnímky z laboratorních zkoušek

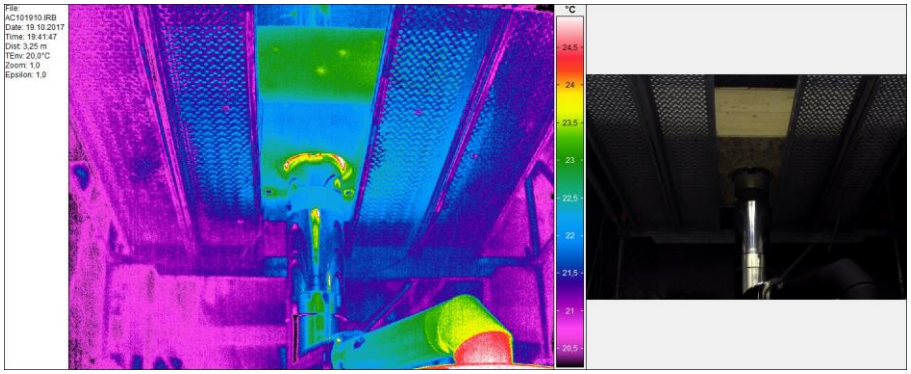
Termosnímky z měření č. 2



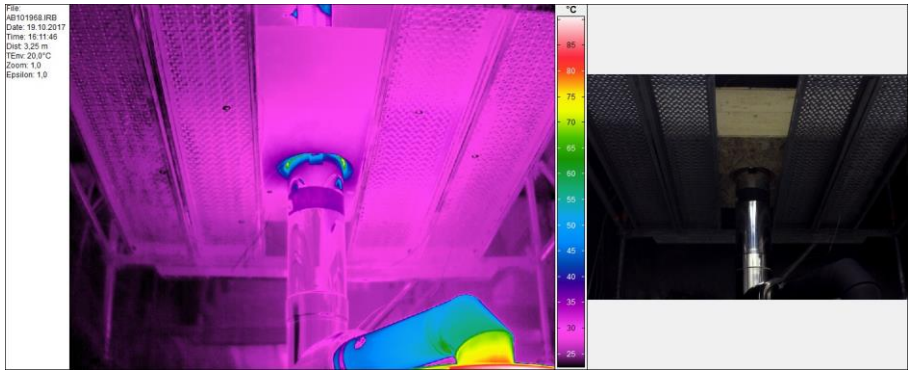
a)



b)



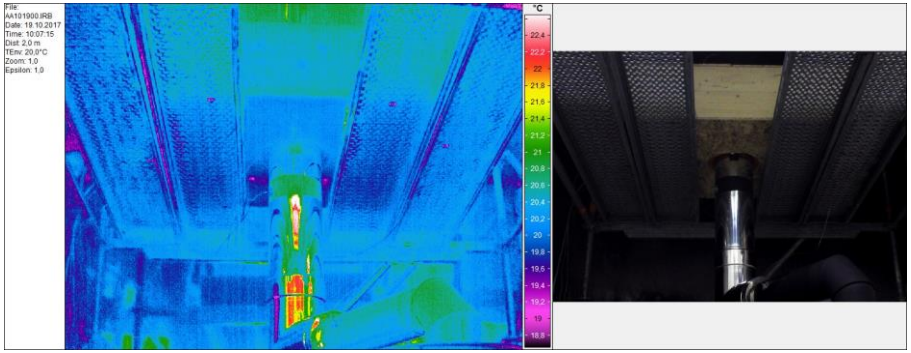
c)



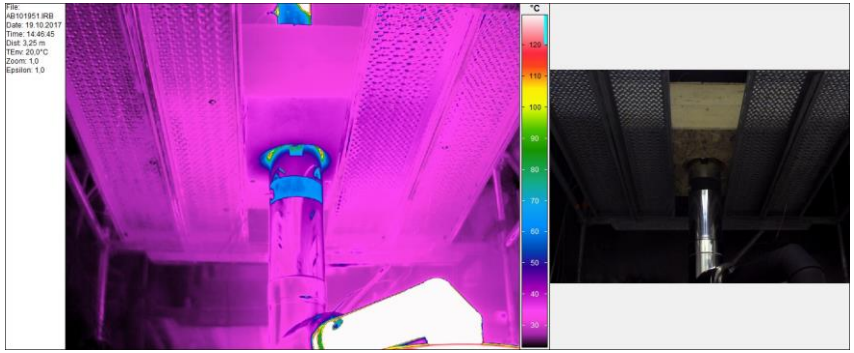
d)

a) snímek v čase 0 s; b) snímek v čase 4,65 hod; c) snímek v čase 5,65 hod; d) snímek v čase 9,15 hod

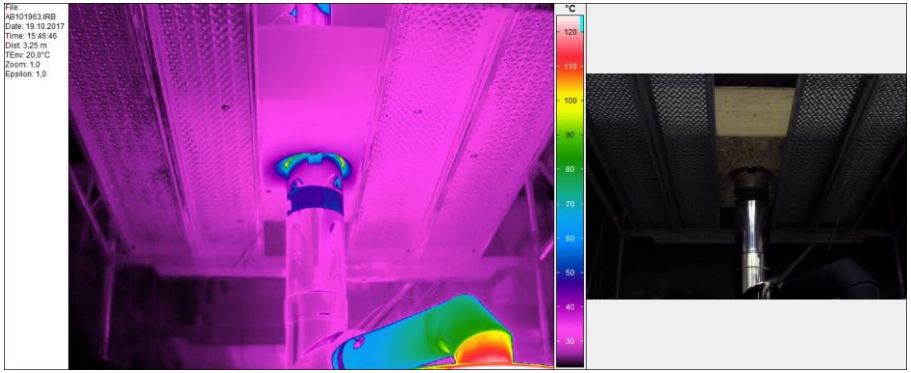
Termosnímky z měření č. 3



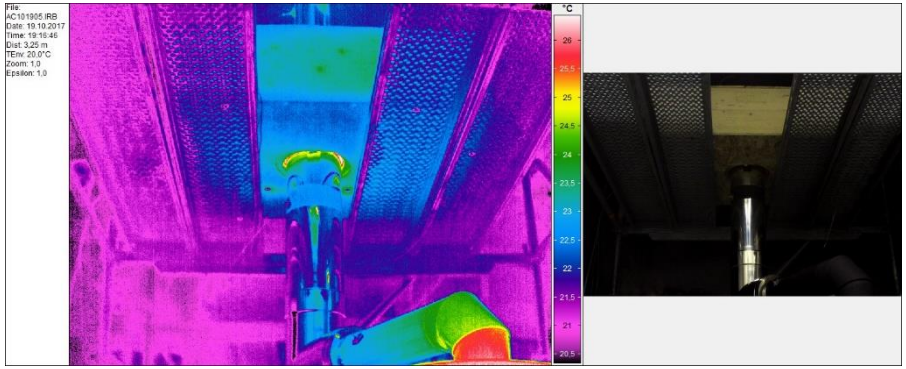
a)



b)



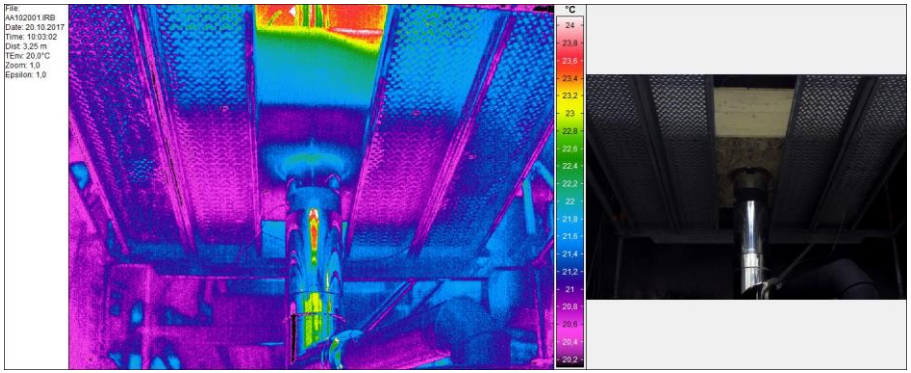
c)



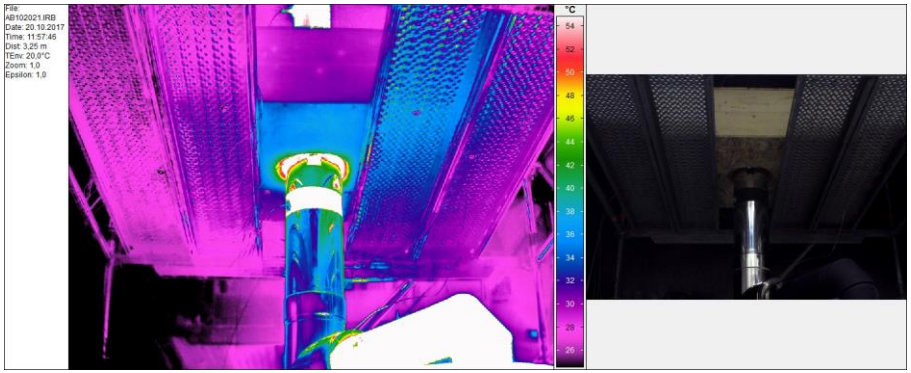
d)

a) snímek v čase 0 s; b) snímek v čase 4,65 hod; c) snímek v čase 5,65 hod; d) snímek v čase 9,15 hod

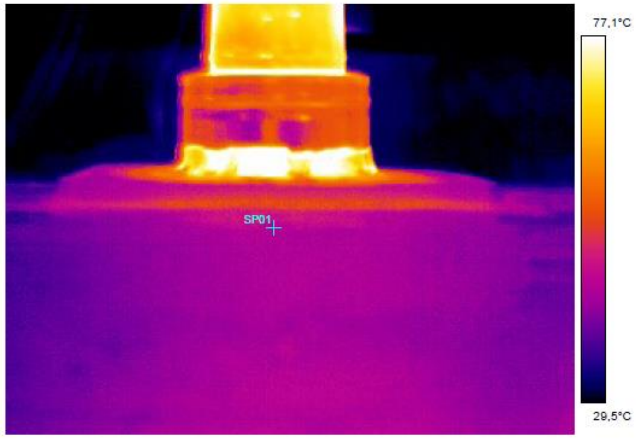
Termosnímky z měření č. 4



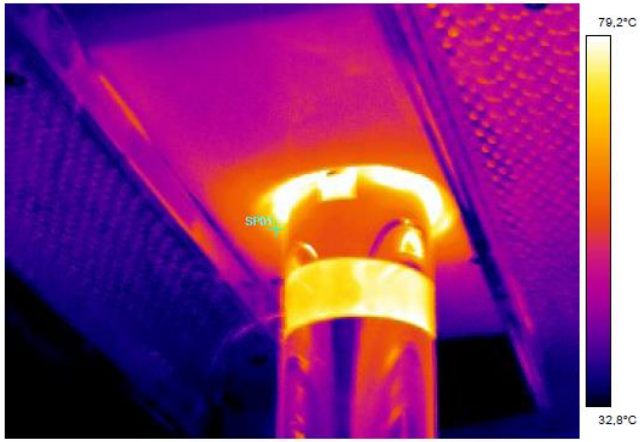
a)



b)



c)



d)

a) snímek v čase 0 s; b) snímek v čase 2 hod; c) snímek v čase 3 hod, komín po průchodu vzorku střešní konstrukce; d) snímek v čase 3 hod