



Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Výzkumné energetické centrum

17. listopadu 15/2172

708 33 Ostrava – Poruba

Zpráva č. 185/18

Posouzení funkce dvojkovových technických teploměrů k přímému měření teplot

Místo provedení měření:	Zkušebna Výzkumného energetického centra
Zákazník	APATOR METRA s.r.o. Havlíčková 919/24 787 01 Šumperk IČ: 26834073, DIČ: CZ 26834073
Vedoucí úkolu:	Ing. Jiří Horák, Ph.D.
Vypracoval:	Ing. Jiří Ryšavý
Datum vypracování:	21.1.2018
Listů:	28
Rozdělovník:	1 ks elektronický zákazník 1 ks elektronický archiv VEC

Obsah

1. Úvod	3
2. Stručné cíle	3
3. Popis měření	4
4. Splnění cílů	8
5. Závěr	15

Seznam obrázků

Obr. 1 Teploměr spalin TRS s instalačním materiálem	5
Obr. 2 Schéma úrovní pro měření teplot spalin	6
Obr. 3 Rozmístění termočlánků a bimetalického teploměru v úrovni č. 1 a v úrovni č. 3	7
Obr. 4 Rozmístění termočlánku a bimetalického teploměru v úrovni č. 2 (pozn. termočlánek byl umístěn těsně nad dřikem bimetalického teploměru, tak aby nemohlo dojít k doteku)	7
Obr. 5 Kamera zachycující stupnici teploměru TRS	8
Obr. 6 Polohy nastavení komínové klapky	9
Obr. 7 Umístění magnetického teploměru v první fázi zkoušky	13
Obr. 8 Poloha magnetického teploměru vzhledem k teploměru TRS v první úrovni	14
Obr. 9 Kontrola magnetického teploměru, stav teploměru bezprostředně po vytažení z pece (vlevo 105 °C; vpravo 200 °C)	15
Obr. 10 Barevná legenda pro graf č. 1 a graf č. 2	18

Seznam grafů

graf č. 1 Stanovení nerovnoměrnosti teplotního profilu spalin v kouřovodu (úroveň č. 1)	19
graf č. 2 Stanovení nerovnoměrnosti teplotního profilu spalin v kouřovodu (úroveň č. 3)	20
graf č. 3 Průběh teplot v úrovni č. 1 při stabilizaci teploměru ze studeného stavu	21
graf č. 4 Průběh teplot v úrovni č. 3 při stabilizaci teploměru ze studeného stavu	22
graf č. 5 Všechny měřené teploty v úrovni č. 1 kouřovodu	23
graf č. 6 Všechny měřené teploty v úrovni č. 2	24
graf č. 7 Všechny měřené teploty v úrovni č. 3 kouřovodu	25
graf č. 8 Teploty naměřené teploměry TRS, průměry z teplot naměřených termočlánky v úrovních č. 1 a č. 3 a rozdíl mezi těmito teplotami	26
graf č. 9 Teploty naměřené teploměry TRS, nejvyšší naměřené teploty v úrovních č. 1 a č. 3 (T1.5 a T 3.5) a rozdíl mezi těmito teplotami	27
graf č. 10 Povrchové teploty kovové části teploměrů	28

1. Úvod

Jedna z důležitých informací, která vypovídá o správnosti topení v lokálních topeništích je teplota spalin, která z velké části určuje účinnost spalovacího zařízení (hodnotu komínové ztráty). Oblast měření této hodnoty (teploty spalin) v domácích podmínkách se dnes ubírá dvěma směry.

První způsob měření zahrnuje kategorii bimetalických magnetických teploměrů na kouřovod, s velmi jednoduchou instalací (přiložením na kouřovod). Odchylka měření těchto teploměrů je dle různých zdrojů proměnná, přičemž nepřesnosti mohou dosahovat až ± 70 °C. Jednoduchá instalace pomocí magnetu má nevýhodu v jeho mnohdy omezené funkčnosti při vysokých povrchových teplotách kouřovodu, což může způsobit pád teploměru. Některé teploměry tohoto typu jsou dodávány se šroubkem pro zajištění polohy a zabránění pádu, což ale částečně komplikuje jejich instalaci. Jejich výhodou bývá grafické zpracování stupnice, které je jednoduše čitelné i pro laika.

Druhý způsob měření zahrnuje kategorii bimetalických stonkových teploměrů s přesným měřením teploty spalin. Jejich nevýhodou je technicky složitější instalace s nutností užití teploměrové jímky (aby nedošlo ke ztrátě záruky). Stupnice teploměrů tohoto typu bývá zpravidla rozdělena na mnoho dílků, což může být pro laika velice matoucí.

Společností APATOR METRA s.r.o. byl navržen dvojkovový technický stonkový teploměr, který by se měl vyznačovat vysokou přesností měření teploty spalin, jednoduchou instalací, bez nutnosti použití jímky a přehlednou stupnicí. Vlastnosti tohoto teploměru byly ověřeny měřením na kouřovodu reálného spalovacího zařízení ve Výzkumném energetickém centru.

2. Stručné cíle

2.1 Stanovení nerovnoměrnosti teplotního profilu spalin v kouřovodu

- Bude sloužit pro určení rozdílů teplot spalin v průřezu kouřovodu.
- Při tomto měření bude docházet ke změně polohy komínové klapky.
- Teploty budou měřeny v několika výškových úrovních dle nákresu (Obr. 2), tak aby bylo možné stanovit vhodné místo instalace teploměru.

2.2 Stanovení rychlosti stabilizace teploměru ze studeného stavu

- Bude provedeno vložení teploměrů do kouřovodu při ustáleném provozu kamen.

- Budou sledovány dynamické vlastnosti teploměru (stabilizace teploměru na měřené teplotě).
- Bude sledován nájezd kotle a rychlost reakce teploměru na tento stav.

2.3 Stanovení vlastností teploměru při jeho záměrném přehřátí nadměrnou příkládkou paliva

- Bude sledována reakce teploměru na teploty spalin mimo měřicí rozsah teploměru a následné chování teploměru při chladnutí.

2.4 Porovnání nově navrženého bimetalového stonkového teploměru s reálnými naměřenými teplotami spalin termočláanky a s hodnotami teplot prezentovanými magnetickým bimetalovým teploměrem v reálných podmínkách

- Tyto dva typy teploměrů a termočláanky budou umístěny do stejné výškové úrovně nad zdroj tepla a budou přímo porovnány znázorňované hodnoty teplot.
- Stupnice konkurenčního bimetalového magnetického teploměru bude pro toto měření upravena tak, aby nebylo možné identifikovat značku výrobce teploměru.

3. Popis měření

Pro splnění vytyčených cílů bylo nutné provést spalovací zkoušku s upraveným kouřovodem pro odvod spalin ze spalovacího zařízení tak, aby bylo možné v několika úrovních měřit teplotu spalin po celém jeho průřezu s přihlédnutím k normě ČSN EN 303-5.

3.1 Spalovací zařízení a spalovaná paliva

Jako spalovací zařízení byla vybrána krbová kamna Storch ESTELLI KERAMIK. Jedná se o krbová kamna určená pro spalování kusového dřeva. Důvody pro výběr těchto kamen byly následující:

- Ústí spalin z kamen do kouřovodu je o průměru 150 mm, což je i rozměr kouřovodu, který byl testován, je tedy možné zapojit kamna bez redukce.
- Kamna mají jednoduché ovládání regulace přívodu spalovacího vzduchu, což je vhodné zejména při snaze o udržení stabilní teploty spalin.
- Kamna mají jednoduché ovládání komínové klapky, která mění teplotní profil proudu spalin v kouřovodu.
- Kamna jsou konstruována bez výměníku tepla, tedy je možné dosáhnout velmi vysoké teploty spalin, což je pro část testů týkajících se přetížení teploměrů žádoucí.

Během spalovacích zkoušek bylo spalováno bukové kusové dřevo a jedlové kusové dřevo, které je vhodné zejména pro testy týkající se přetížení spalovacího zařízení.

3.2 Ověřované teploměry

3.2.1 Teploměr spalin TRS

Jedná se o bimetalický stonkový teploměr vyráběný společností APATOR METRA s.r.o.. Měřicí rozsah tohoto teploměru je $50 \div 400^\circ\text{C}$ s přesností $\pm 2\%$ z celého rozsahu. Délka stonku je 100 mm. Testované teploměry měly průměr hlavice 60 mm. Stupnice tohoto teploměru je zjednodušená s krokem po 50°C pro jednodušší orientaci a rozdělena do tří barevných částí zahrnující: dehtování, optimální a přetápění. Tyto části by měly charakterizovat aktuální provoz spalovacího zařízení se zaměřením na krbová kamna a sporáky. Sada s teploměrem zahrnuje instalační materiál: montážní hrdlo, spojovací materiál a vrták pro provrtání díry pro stonek teploměru. Pro instalaci a zachování záruky na produkt není nutné použití tzv. instalační jímky, která je nutností u jiných stopkových teploměrů tohoto typu.



Obr. 1 Teploměr spalin TRS s instalačním materiálem [1]

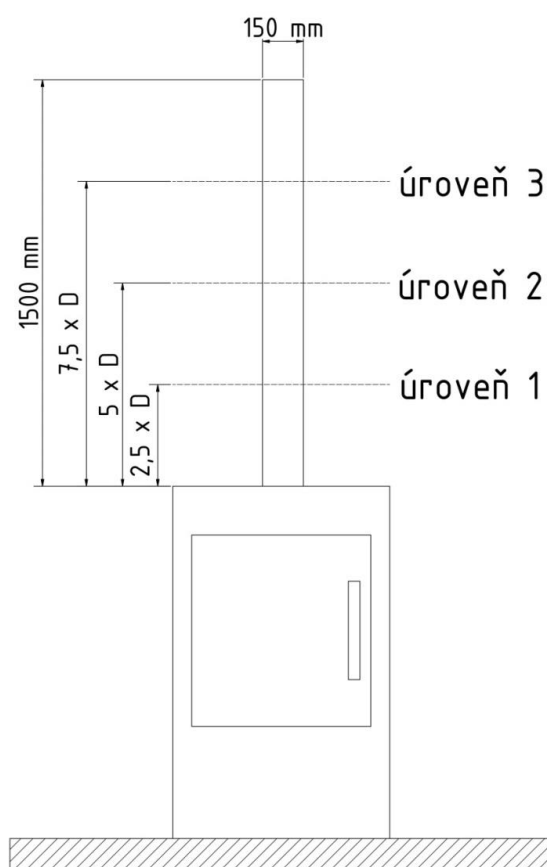
3.2.2 Magnetický bimetalový teploměr

Jedná se o bimetalický magnetický teploměr s bimetalem okolo magnetu. Pro toto měření byl záměrně zamaskován výrobce tohoto teploměru. Stupnice tohoto teploměru je od 0 do 500°C , přičemž měřicí rozsah není výrobcem udán. Součástí balení je šroubek, který

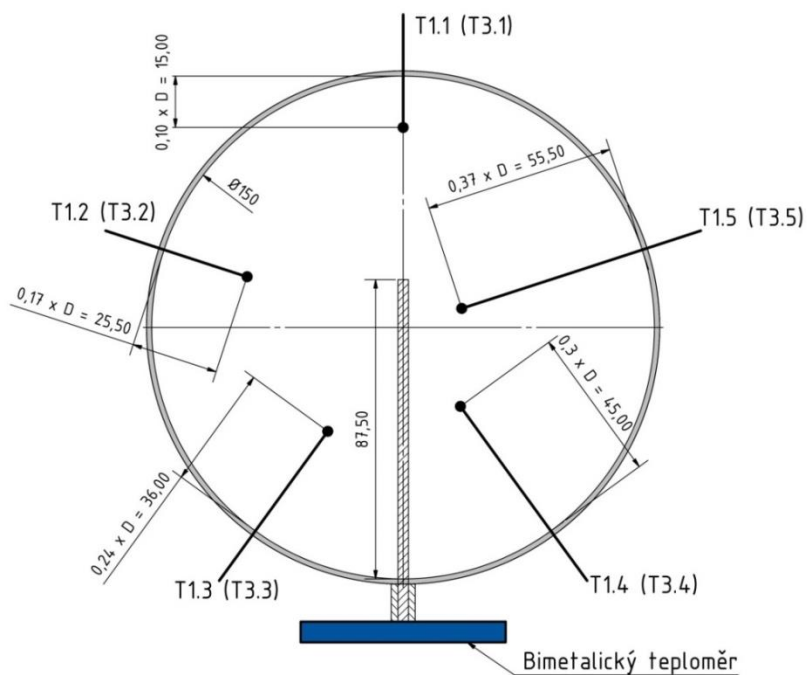
slouží k připevnění teploměru na kouřovod z důvodu zabránění pádu, na který výrobce upozorňuje na balení. Stupnice tohoto teploměru má podrobnější dělení a to po 10 °C, přičemž je rovněž rozdělena na 3 hlavní části: dehtování, ideální teplota, přetápění kamen. Tyto části by měly charakterizovat aktuální provoz spalovacího zařízení se zaměřením na krbová kamna a sporáky.

3.3 Měření teplot

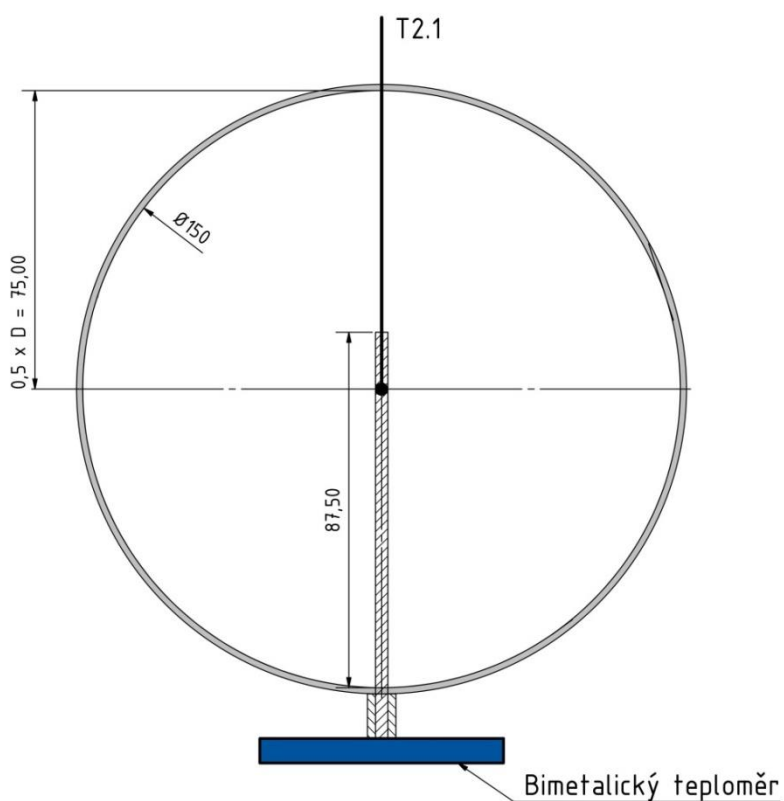
Pro měření teplot byly použity termočlánky typu T a K. Pro měření teplot spalin byly použity termočlánky typu K. Pro měření vnější teploty teploměrů (měřeno na spodní kovové části), byly použity termočlánky typu T. Schéma úrovní pro měření teplot prezentuje spalin Obr. 2. Obr. 3 prezentuje rozložení termočlánků a bimetalického teploměru v řezu úrovní č. 1 a úrovní č. 3. Obr. 4 prezentuje rozložení termočlánku a bimetalického teploměru v řezu úrovní č. 2. Magnetický bimetalický teploměr byl po dobu zkoušky ve třech pozicích, přičemž nejprve byl v úrovni č. 2 vedle stonkového bimetalického teploměru TRS, dále byl umístěn do úrovně č. 1, kde byl částečně těsně nad stonkovým bimetalickým teploměrem a částečně na opačné straně kouřovodu těsně nad trubičkou pro vedení termočlánku T1.1.



Obr. 2 Schéma úrovní pro měření teplot spalin



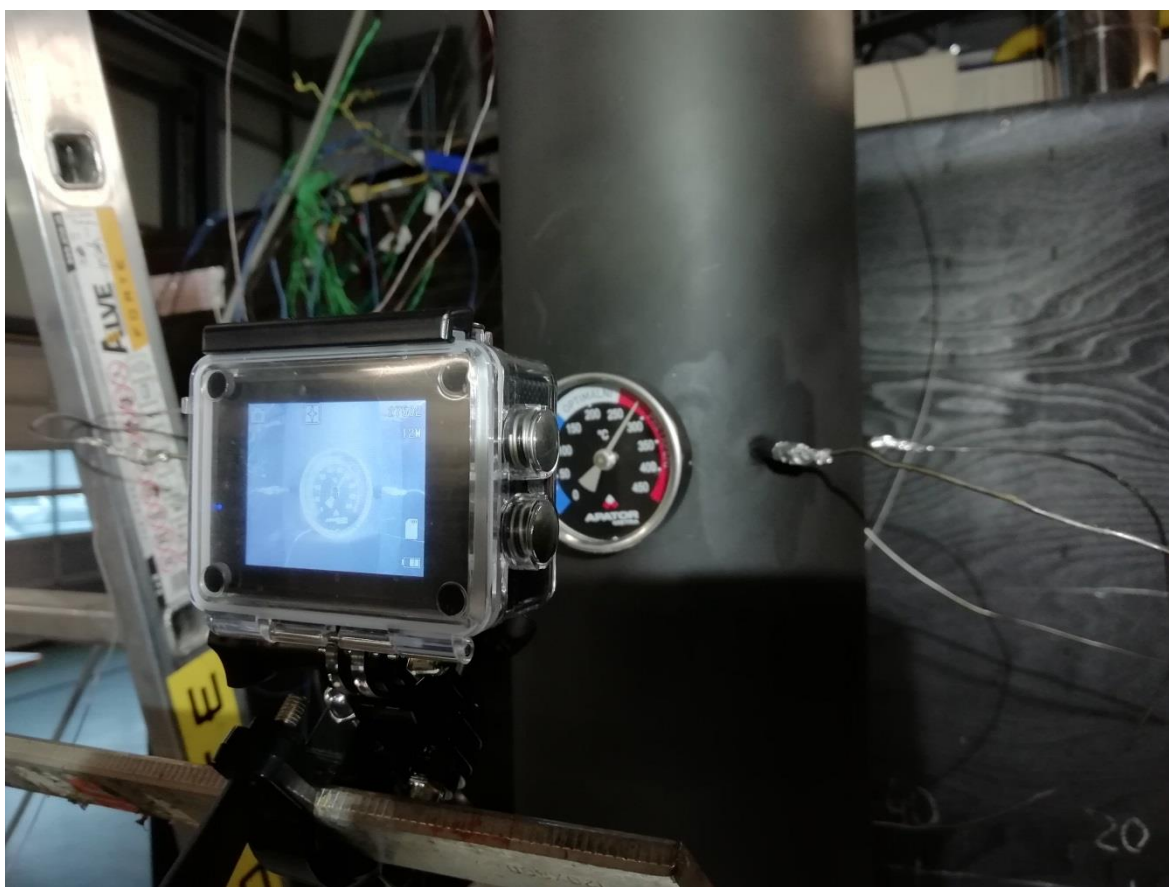
Obr. 3 Rozmístění termočlánků a bimetalického teploměru v úrovni č. 1 a v úrovni č. 3



Obr. 4 Rozmístění termočlánku a bimetalického teploměru v úrovni č. 2 (pozn. termočlánek byl umístěn těsně nad dráčkem bimetalického teploměru, tak aby nemohlo dojít k doteku)

3.4 Vyhodnocení dat

Vzhledem k tomu, že bimetalické teploměry interpretují měřenou teplotu pouze vizuálně prostřednictvím stupnice, bylo možné zaznamenávat aktuální prezentovanou hodnotu pouze opticky pomocí kamer. Pro odečítání dat byly použity 3 akční kamery vhodně namířené na stupnice teploměrů. Kamery byly nastaveny tak aby v krátkém intervalu cca co 10 s vyfotily fotografii. Kameru zachycující aktuální prezentovanou hodnotu stopkovým teploměrem TRS v druhé úrovni znázorňuje Obr. 5. Hodnoty naměřené termočlánky byly vyčítány jako průměrné hodnoty za každou sekundu.



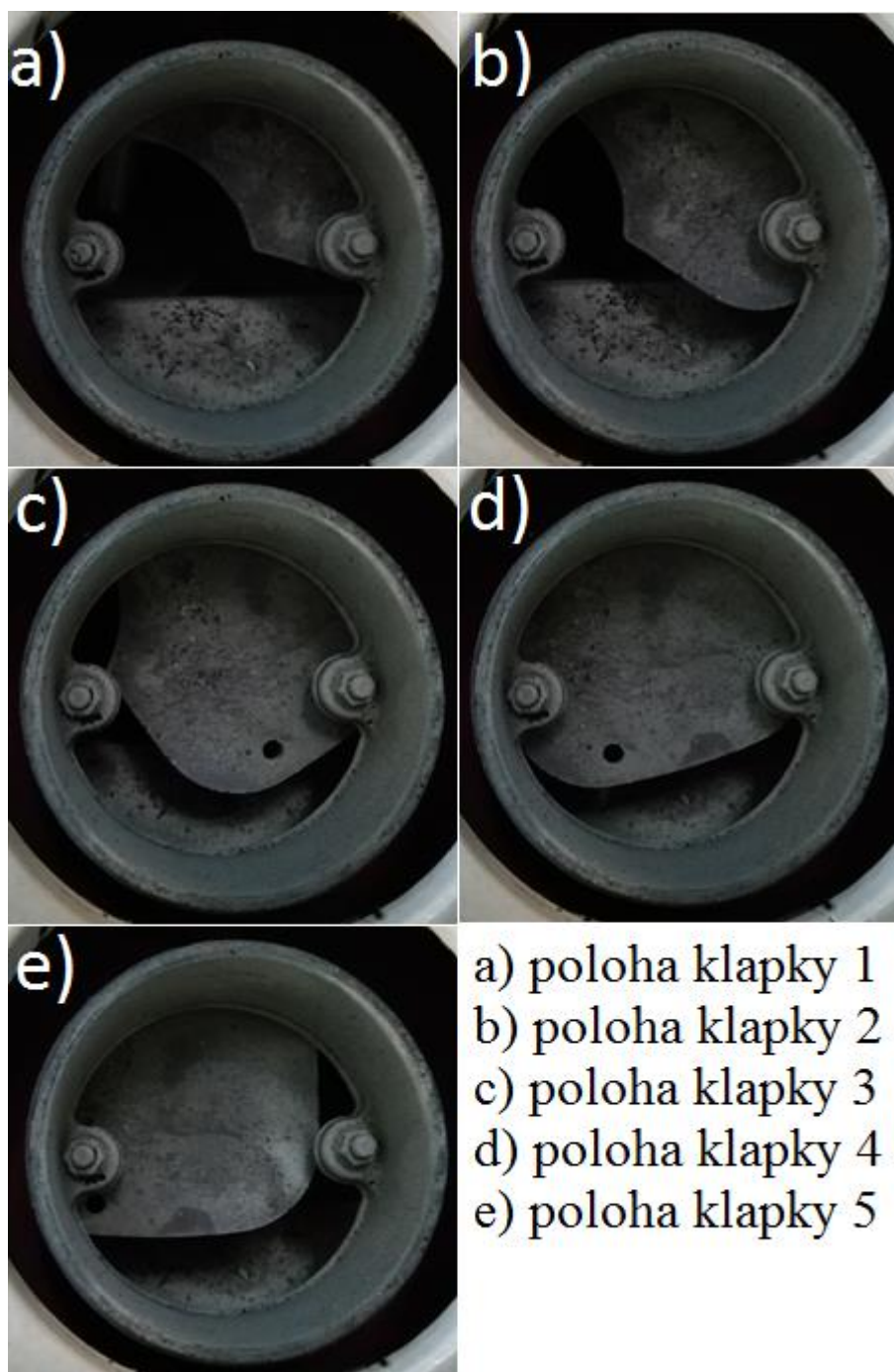
Obr. 5 Kamera zachycující stupnici teploměru TRS

4. Splnění cílů

4.1 Stanovení nerovnoměrnosti teplotního profilu spalin v kouřovodu

První část měření zahrnovala stanovování nerovnoměrnosti teplotního pole, které by mělo napovědět o možné chybě dřívkového teploměru vzhledem k tomu, kam jej uživatel namontuje. Pro záměrné narušení proudění sloužila komínová klapka regulující komínový tah zařízení. Pro porovnání byly vždy odečteny průměrné hodnoty za 1 sekundu, při

ustáleném proudění. Nerovnoměrnost teplotního pole prezentují graf č. 1 a graf č. 2. Legenda k tomuto grafu zjednodušující orientaci v něm je prezentována na Obr. 10. Polohy klapky, které byly testovány, jsou prezentovány na Obr. 6.



Obr. 6 Polohy nastavení komínové klapky

4.1.1 Úroveň umístění teploměru č. 1 (2,5 x D nad kamny)

Z naměřených hodnot vyplývá, že pro daná kamna je v poloze klapky č. 1, kdy je klapka mimo ústí do kouřovodu, specifické proudění teplejších spalin především po zadní stěně

kouřovodu a v jeho střední části. Teploty spalin T1.2 a T1.3 jsou až o cca 20 °C nižší než teplota spalin u zadní stěny (T1.1). Na druhou stranu pak teploty spalin ve střední části kouřovodu (T1.4 a T1.5) jsou vyšší od cca 25 °C, než zmiňovaná teplota spalin u zadní stěny kouřovodu. Tento stav je dán konstrukcí spalinového kanálu uvnitř kamen. Spaliny do kouřovodu ústí pravoúhlým ohybem ze přední strany kamen, který zapříčiňuje ono omývání zadní stěny kouřovodu. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší naměřenou teplotou činil cca 47 °C.

Co se týče stavu nerovnoměrnosti teplot v průřezu kouřovodu při poloze klapky č. 2, je stav podobný stavu při poloze klapky č. 1. Z naměřených hodnot je patrné, že spaliny o vyšší teplotě proudí především středem kouřovodu a částečně také omývají jeho zadní stěnu. Teploty T1.2 a T1.3 jsou opět nižší proti teplotě T1.1 a to o cca 25 °C. Oproti poloze klapky č. 1 se snížil rozdíl mezi teplotami T1.1 a T1.4 na cca 10 °C. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší naměřenou teplotou činil cca 51 °C.

Při poloze č. 3 komínové klapky se již začínají projevovat rozdíly v proudění, kdy nejvyšší naměřená teplota již není T1.5 ale T1.4. Nejnižší teplota je opět T1.3, přičemž rozdíl mezi touto teplotou a teplotou nejvyšší T1.4 je cca 62 °C. Mění se rovněž poměr mezi T1.2 a T1.3, kdy doposud byly takřka totožné, avšak při této poloze klapky je rozdíl mezi nimi cca 18 °C.

Poloha č. 4 komínové klapky se prezentuje vůbec nejvyšší nerovnoměrností z hlediska rozdílu mezi nejvyšší (T1.4) a nejnižší (T1.2) naměřenou teplotou, který činí cca 90 °C. Oproti předchozímu nastavení snížila teplota T1.1, takřka na úroveň teploty T1.2. Charakteristické proudění okolo zadní stěny kouřovodu je tedy klapkou již zcela rozrušeno. Třetí nejvyšší teplota je nově naměřena u pozice T1.3, z čehož je zřejmé, že se proud spalin přesouvá především do pravé přední části kouřovodu z pohledu proti kamnům.

Teplotní profil proudu spalin v úrovni č. 1 při poloze komínové klapky č. 5 klapky je totožný s polohou č. 4 komínové klapky. Rozdíl mezi nejvyšší teplotou (T1.4) a nejnižší teplotou (T1.2) činil cca 84 °C.

4.1.2 Úroveň umístění teploměru č. 3 (7,5 x D nad kamny)

Na rozdíl od rozmanitosti teplotního profilu spalin při různých polohách uzavření klapky v úrovni č. 1, úroveň č. 3 se prezentuje vždy profilem stejným. Je tedy možné tvrdit, že pro daný objemový tok spalin a daný průměr potrubí je vzdálenost 7,5 x D dostačující pro

ustálení proudu spalin. Výsledný teplotní profil, který prezentuje graf č. 2 je charakterizován nárůstem teploty spalin ve směru do středu kouřovodu. Tento stav splňuje předpoklad intenzivního ochlazování spalin přestupem tepla do kouřovodu, prostupem tepla kouřovodem a následně přestupem tepla do okolí. Rozdíly mezi nejvyšší a nejnižší teplotou činily od 65 do 102 °C.

4.2 Stanovení rychlosti stabilizace teploměru ze studeného stavu

Pro splnění tohoto cíle byly provedeny dva úkony. Proběhlo sledování teploměrů již při zátopu, tedy při plynulém náběhu jak kamen, tak teploměru ze studeného stavu a dále proběhlo vychladnutí teploměrů na teplotu okolí a následné vložení do kouřovodu při provozu krbových kamen.

Při najíždění teploměrů ze studeného stavu spolu s krbovými kamny byla pozorována reakce, na rostoucí teplotu a to tak, že teploměry TRS reagovaly se zpožděním několik desítek sekund, při skokových změnách teploty. Čas této prodlevy klesal se snižujícími se teplotními skoky.

Co se týče průběhu prezentovaných teplot po instalaci teploměrů TRS do kouřovodu při najetém zařízení, je patrná rychlá reakce, která např. v případě teploměru umístěného do úrovně č. 1 znamená po 60 sekundách měření teploty cca 194 °C, což je nárůst oproti teplotě okolí o cca 175 °C. Zbylé teploměry mají tento nárůst méně intenzivní vzhledem k nižší teplotě spalin ve vyšších úrovních, čímž je přestup tepla do dříku teploměru méně intenzivní. Pokud je brána jako referenční teplota T1.5 (nejvyšší teplota; nejbližší konci dříku teploměru TRS), pak je tato teplota dosažena teploměrem po cca 4 minutách po vložení do kouřovodu. Teploměr TRS v úrovni 3 dosáhl hodnoty teploty měřené v bodě T3.5 po cca 3,5 minutách.

Průběh najíždění teploměrů TRS v porovnání s teplotami měřenými termočláanky prezentují graf č. 3 a graf č. 4.

4.3 Stanovení vlastností teploměru při jeho záměrném přehřátí nadměrnou příkládkou paliva

Jedním z provedených testů bylo záměrné přetížení teploměrů TRS. Pro toto přetížení bylo použito jedlové dřevo, které je pro tento typ zkoušek vhodné. Hlavním bodem pozorování bylo chování teploměru při a po přetížení. Vzhledem k postupnému chladnutí spalin narůstající vzdálenosti od kamen byly tři teploměry vystaveny různým teplotám, přičemž teploměr v úrovni č. 1 byl vystaven teplotě nejvyšší.

Stupnice teploměru TRS, je připravena pro teploty do 450 °C. Při přetížení byla tato teplota značně přesáhnuta, přičemž při vyhodnocování byly odečteny prezentované teploty do 500 °C i když je zřejmé, že ručička ciferníku teploměru byla mnohem dále. Určování teploty by však vzhledem k absenci stupnice bylo velmi nepřesné a tak pro všechny hodnoty nad 500 °C byla jednotně přiřazena teplota 500 °C.

Výsledné hodnoty průběhu všech teplot ve všech úrovních prezentují graf č. 5, graf č. 6 a graf č. 7. Po přehřátí je patrný pozvolný pokles teplot, které jsou prezentovány teploměry, který odpovídá poklesu teplot měřený termočlánek.

Teploměr č. 1 vykazuje hodnoty o cca 10 °C vyšší než nejteplejší termočlánek, což je pro něj charakteristické po většinu času zkoušky. Především po dobu kdy je snižující tendence teploty spalin, působí částečně tepelná setrvačnost teploměru TRS. Po úplném vychladnutí teploměr znázorňoval reálnou teplotu okolí.

Teploměr č. 2 vykazuje hodnotu o cca 10 °C nižší než termočlánek T2.1. Po dobu celé zkoušky pro něj bylo specifické vykazování teploty o cca 20 °C nižší než termočlánek T2.1, avšak při chladnutí je zahrnut vliv setrvačnosti materiálu u teploměru TRS. Po úplném vychladnutí teploměr znázorňoval reálnou teplotu okolí.

Teploměr č. 3 vykazuje hodnoty takřka totožné s hodnotami měřenými termočlánekem T3.5. Tepelná setrvačnost materiálu se u tohoto teploměru neprojevila patrně díky méně intenzivnímu chladnutí (z nižší teploty). Po úplném vychladnutí teploměr znázorňoval reálnou teplotu okolí.

4.4 Porovnání nově navrženého bimetalového stonkového teploměru s reálnými naměřenými teplotami spalin termočlánek a s hodnotami teplot prezentovanými magnetickým bimetalovým teploměrem v reálných podmínkách

Čtvrtým cílem bylo porovnání bimetalového stonkového teploměru s reálnými teplotami v kouřovodu a s teplotami prezentovanými magnetickým teploměrem. Všechny naměřené teploty zahrnují grafy graf č. 5, graf č. 6 a graf č. 7. Pro zřetelnější vyhodnocení byly rovněž vyhotoveny graf č. 8 a graf č. 9. První zmíněný prezentuje průměry z hodnot naměřených termočlánek T1.1 – T1.5 a T3.1 – T3.5, hodnoty na teploměrech TRS v 1. a 3. úrovni a zároveň prezentuje rozdíl mezi těmito teplotami. Dále graf č. 9 znázorňuje pouze nejvyšší měřené teploty v 1. a 3. úrovni, tedy T1.5 a T3.5, teploty prezentované stonkovými teploměry TRS a rozdíl mezi těmito teplotami.

Při celkovém pohledu na tyto grafy je jasně patrné, že teploměry TRS dokáží ve velmi krátkém čase reagovat na změnu teploty spalin. Co se týče porovnání teplot prezentovaných teploměry s průměrnými hodnotami teplot spalin v kouřovodu, byla průměrná odchylka po dobu zkoušky cca 28 °C, resp. 38 °C pro úroveň č. 1 resp. úroveň č. 3. Zvýšená průměrná odchylka u 3. úrovně byla způsobena při testu přetížení, kdy byla aktuální odchylka až cca 70 °C. Vzhledem k poloze konce dřívku v kouřovodu, se nabízí porovnání teplot prezentovaných teploměry s teplotami T1.5 a T3.5. Z tohoto porovnání, které prezentuje graf č. 9, je patrné, že teploměry TRS znázorňují po celou dobu zkoušky hodnoty velmi blízké měřeným teplotám v daném místě. Odchylky mezi hodnotami na teploměrech TRS a zmiňovanými termočlánky jsou cca 8 °C, resp. 5 °C pro úroveň č. 1 resp. pro úroveň č. 3.

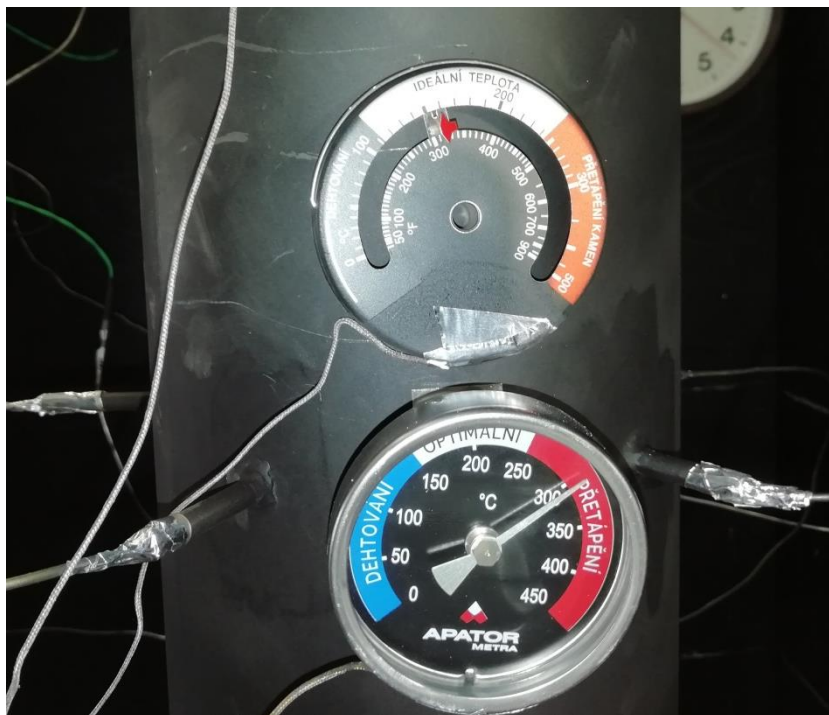
Co se týče magnetického teploměru, byl v čase zkoušky umístěn ve třech pozicích. Nejprve se nacházel v úrovni č. 2 v bezprostřední blízkosti teploměru TRS. Toto umístění teploměru prezentuje Obr. 7 a jím prezentované hodnoty zahrnuje graf č. 6.



Obr. 7 Umístění magnetického teploměru v první fázi zkoušky

Magnetický teploměr v tomto místě reagoval na zvýšení teploty spalin až velmi opožděně, přičemž teplotní skok zaznamenaný v čase 8:12 nastal až po drcnutí do teploměru. Rozdíl mezi teplotou prezentovanou magnetickým teploměrem a teplotou T2.1 (teplota uprostřed kouřovodu, tedy nejvyšší teplota spalin) byl až 120 °C, pokud není zahrnuta část před časem 8:12, kdy byl patrně zaseknutý.

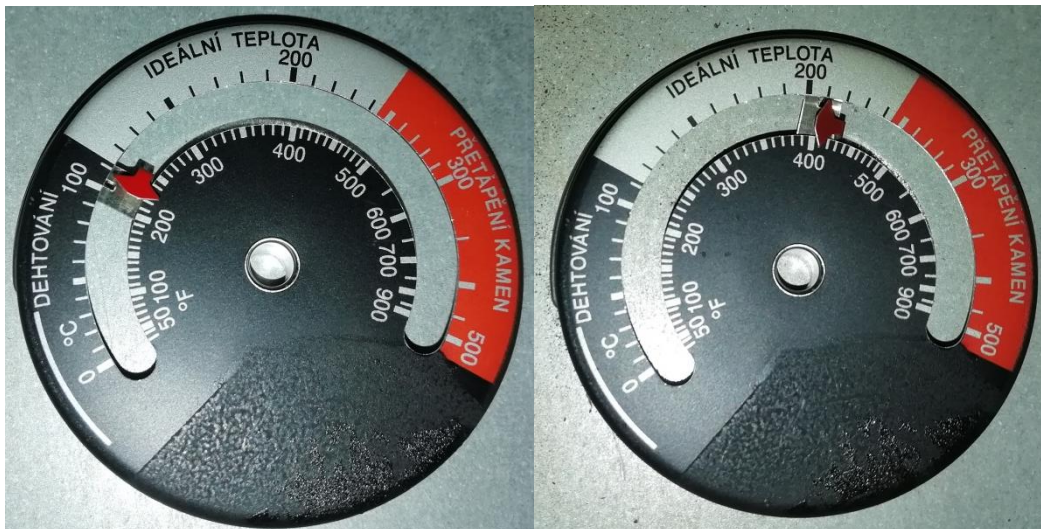
Dále byl teploměr umístěn v první úrovni jednak z přední části vedle teploměru TRS a jednak ze zadní části. Teploty prezentované magnetickým teploměrem v této úrovni prezentuje graf č. 5. Polohu magnetického teploměru v úrovni č. 1 prezentuje Obr. 8



Obr. 8 Poloha magnetického teploměru vzhledem k teploměru TRS v první úrovni

Kontinuální záznam magnetického teploměru probíhal pouze v době, kdy byl umístěn ve přední části, vedle teploměru TRS, který snímala kamera. V zadní části byl monitorován vždy v určitých časových intervalech jednotlivými fotografiemi. Hodnoty prezentované magnetickým teploměrem v této úrovni při běžném provozu (do času 10:40) jsou vždy o 50 – 120 °C nižší oproti nejnižší měřené teplotě termočláanky. Pokud by došlo ke zhodnocení oproti průměrným teplotám, byl by rozdíl znatelnější. Co se týče umístění na přední, nebo zadní stranu kouřovodu, nebyl zaznamenán žádný vliv (žádné zhodnocení nerovnoměrnosti proudění; teplejší spaliny proudily na zadní straně kouřovodu). Při nejvyšší špičce zkoušky přetížení teploměrů byl rozdíl mezi nejnižší měřenou hodnotou termočláankem a hodnotou prezentovanou magnetickým teploměrem až cca 220 °C.

Po ukončení těchto zkoušek byla ověřena správná funkčnost magnetického teploměru dlouhodobým setrváním v kalibrační peci. Tento test při teplotách 105 °C a 200 °C prokázal perfektní funkčnost magnetického teploměru, který prezentoval nastavené hodnoty v rozmezí do + 10 °C. Tato kontrola je znázorněna na Obr. 9.



Obr. 9 Kontrola magnetického teploměru, stav teploměru bezprostředně po vytažení z pece
(nastavená teplota v peci: vlevo 105 °C; vpravo 200 °C)

Při zkouše byly rovněž zaznamenány povrchové teploty teploměrů. Jak je prezentuje graf č. 10, magnetický teploměr se vyznačuje o několik desítek stupňů celsia vyšší povrchovou teplotou, která v nejvyšším bodě dosahuje až takřka 200 °C. Z tohoto důvodu je nezbytné pro instalaci použít montážní šroubek, aby bylo zamezeno možnému samovolnému spadnutí.

5. Závěr

Pro splnění výše uvedených cílů byly nejprve připraveny speciální úseky neizolovaného kouřovodu, které umožňovaly rozmístění termočlánků s přihlédnutím k normě ČSN EN 303-5. Pro testování teploměrů spalin TRS společnosti APATOR METRA s.r.o. byly navrženy tři výškové úrovně měření, přičemž dvě byly monitorovány po celém průřezu pěti termočlánky, tak aby bylo možné stanovit průměrnou teplotu spalin s přihlédnutím k výše uvedené normě a jedna byla pouze s měřením teploty spalin uprostřed kouřovodu. Pro spalovací zkoušky bylo vybráno vhodné spalovací zařízení, které do značné míry umožňovalo regulaci teploty spalin dle potřeb měření.

První z cílů, kterým bylo stanovení teplotního profilu spalin, prokázal značnou nerovnoměrnost, co se týče teplot spalin v úrovni č. 1, tedy ve výšce 2,5 x D nad spalovacím zařízením. Tato nerovnoměrnost byla způsobena především konstrukcí kamen, jejíž spalinový kanál je před výstupem veden pravoúhle směrem vzhůru, což způsobilo omývání zadní stěny kouřovodu větším množstvím spalin, které se nestihly ochladit. Teploty T1.4 a T1.5 ve střední části kamen, kam zasahuje koncová část díku teploměru

TRS, byly vždy nejvyšší. Teploměr TRS v této úrovni při každém nastavení klapky prezentoval teplotu vyšší než nejvyšší měřená teplota termočláanky. V souvislosti s rozmanitostí této problematiky, která je způsobena značně se různícími konstrukcemi spalovacích zařízení není možné určit univerzálně vhodnou polohu pro směr montáže teploměru TRS ve výšce $2,5 \times D$ nad kamny pro kouřovod o průměru 150 mm, avšak při použití tohoto průměru kouřovodu je velmi pravděpodobné, že bude teploměr prezentovat teplotu spalin blízkou nejvyšší teplotě spalin, která v kouřovodu je.

Co se týče úrovně č. 3, která se nacházela ve výšce $7,5 \times D$, zde byl teplotní profil spalin již ustálený, což se projevilo splněným předpokladem, kdy teplota spalin s přibližováním se ke středu kouřovodu rostla. Teploměr TRS v této úrovni při každém nastavení klapky prezentoval teplotu vyšší než nejvyšší naměřenou teplotu termočláanky. Pro daný průměr kouřovodu a daný objemový tok spalin je velmi pravděpodobné, že teploměr TRS prezentuje teplotu blízkou maximální teplotě spalin v dané úrovni.

V souvislosti s touto problematikou je nutné podotknout, že přesnost hodnot prezentovaných teploměrem TRS může ovlivnit mnoho parametrů, jako např.: průměr kouřovodu, objemový tok spalin, konstrukce kamen, popřípadě tvar kouřovodu (kolena, klapky, zúžení apod.).

Druhou částí měření byla stabilizace teploměru na měřené teplotě. Jako referenční zde byly brány teploty T1.5 resp. T3.5. Dynamické vlastnosti, které teploměry TRS prokázaly, se jeví jako naprosto dostačující pro domácí použití, kdy teploměr dokáže z naprosto studeného stavu podávat věrohodnou informaci o teplotě spalin najetého zařízení během několika minut. Při najíždění spalovacího zařízení je možné považovat prezentovanou hodnotu teploměrem TRS za pravdivou se zpožděním několika desítek sekund.

Třetí částí měření bylo přetížení teploměrů teplotou spalin vyšší, než je jejich měřicí rozsah. Z dostupných výsledků (průběhu chladnutí a setrvání při pokojové teplotě) je možné tvrdit, že teploměry nebyly přetížením nijak poškozeny. Pro celkovou analýzu teploměrů po přetížení by však musely následovat další zkoušky s jejich opakovaným ohřevem a setrváním na teplotě.

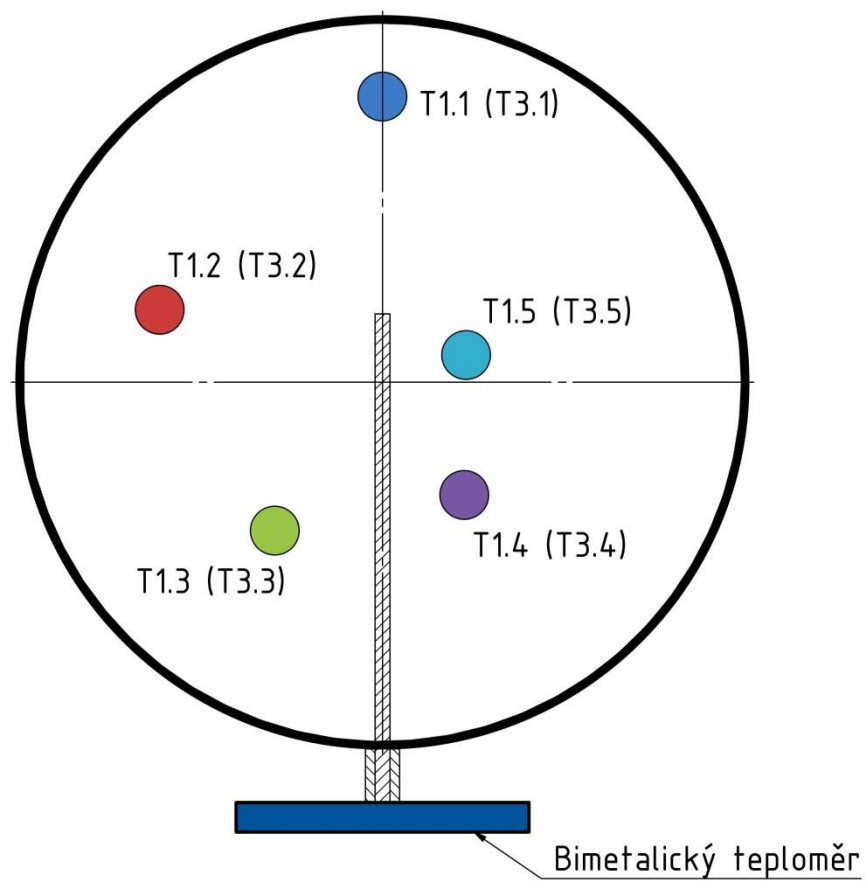
Čtvrtou částí měření bylo porovnání nově navrženého bimetalového stonkového teploměru s reálnými naměřenými teplotami spalin termočláanky a s hodnotami teplot prezentovanými magnetickým bimetalovým teploměrem v reálných podmínkách. Při vyhodnocení celého průběhu zkoušky se jeví teploměry TRS jako velmi přesné co se týče měření lokální teploty spalin v koncovém místě stonku. S přihlédnutím k měřeným výsledkům je tato

teplota měřená stonkovými teploměry s odchylkou menší než 10 °C. Není možné hodnotu prezentovanou tímto typem teploměru považovat za shodnou s průměrnou teplotou spalin v kouřovodu, přičemž odchylka mezi těmito teplotami byla do 40 °C. Jak je ale patrné z měření v úrovni č. 2, prezentovaná hodnota teploměrem TRS není maximální teplota spalin v kouřovodu.

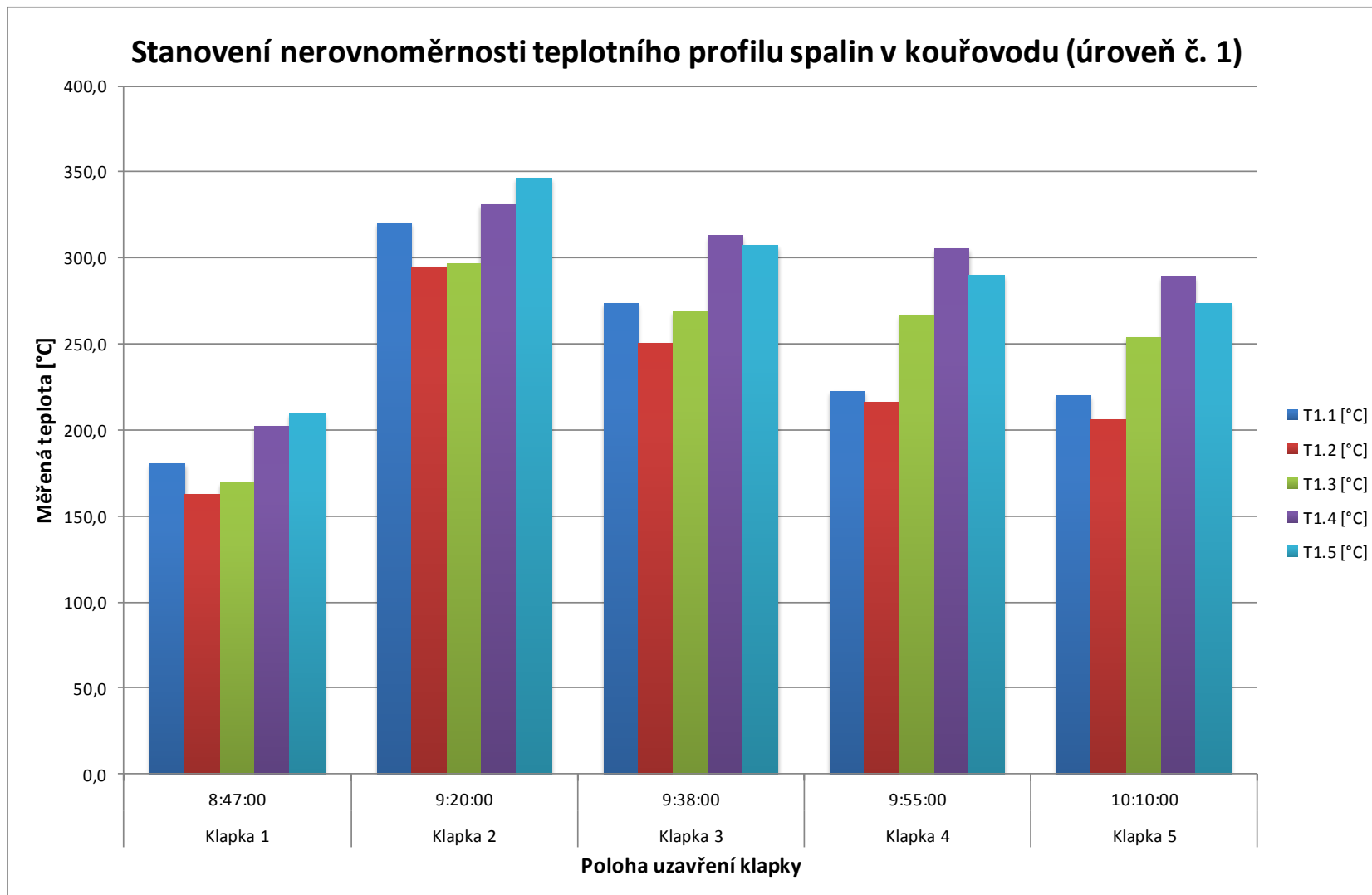
Testovaný magnetický teploměr se dle výsledku zkoušky jeví jako nepřesný a velmi pomalý co se týče jakékoliv reakce na změnu teploty spalin. Tato nepřesnost patrně pramení jeho konstrukcí, kdy je jeho bimetalická část pouze zahřívána vedením tepla z kouřovodu, ale zároveň ochlazována prouděním vzduchu. Při kontrole teploměru v peci, kdy byla stálá teplota v celém okolí, prezentoval magnetický teploměr správné hodnoty.

6. Zdroje

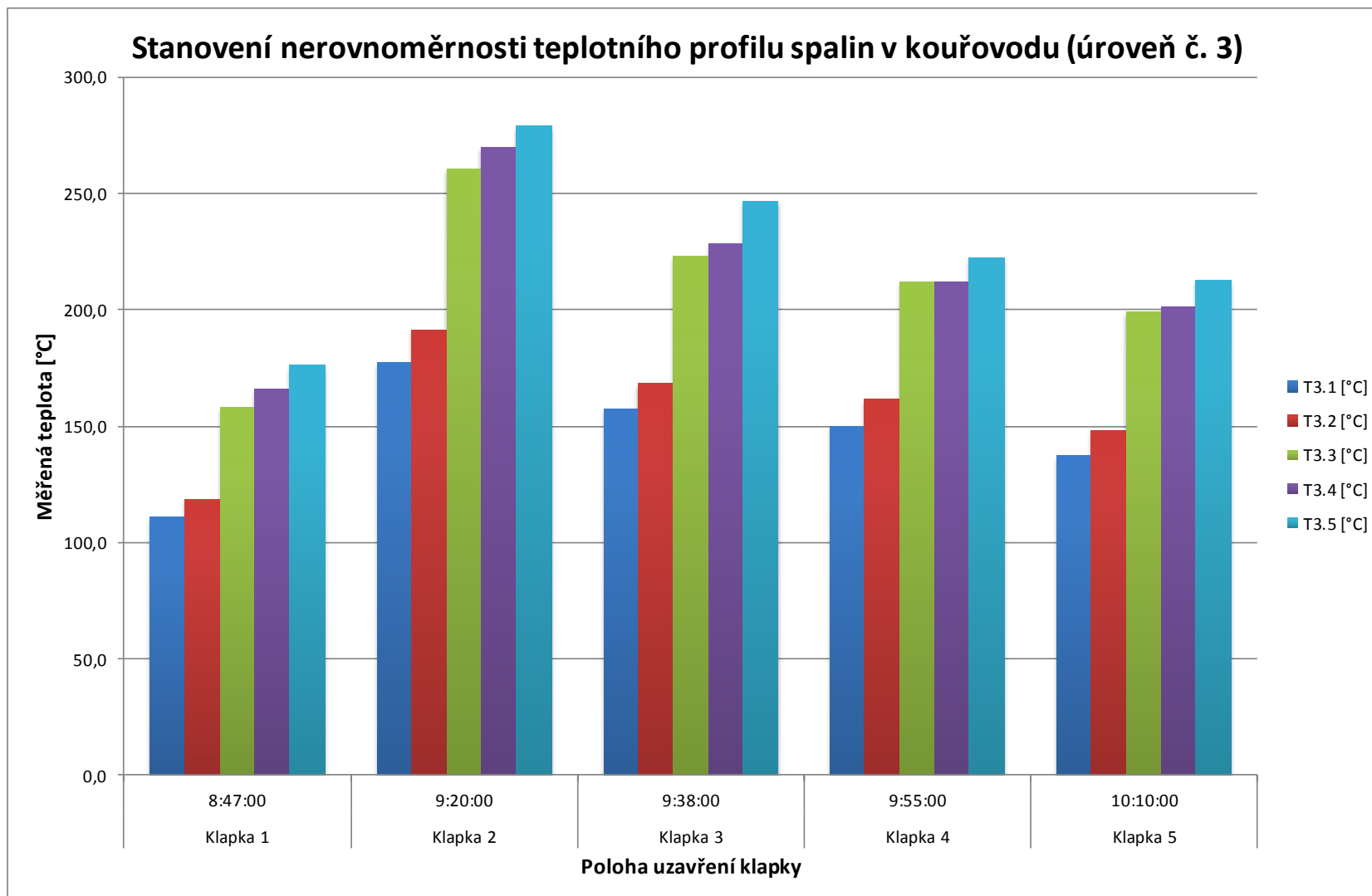
- [1] TEPLOMĚR SPALIN TRS [online]. [cit. 2019-01-15]. Dostupné z: <http://metra-su.cz/cs/produkt/teplomer-spalin-trs>



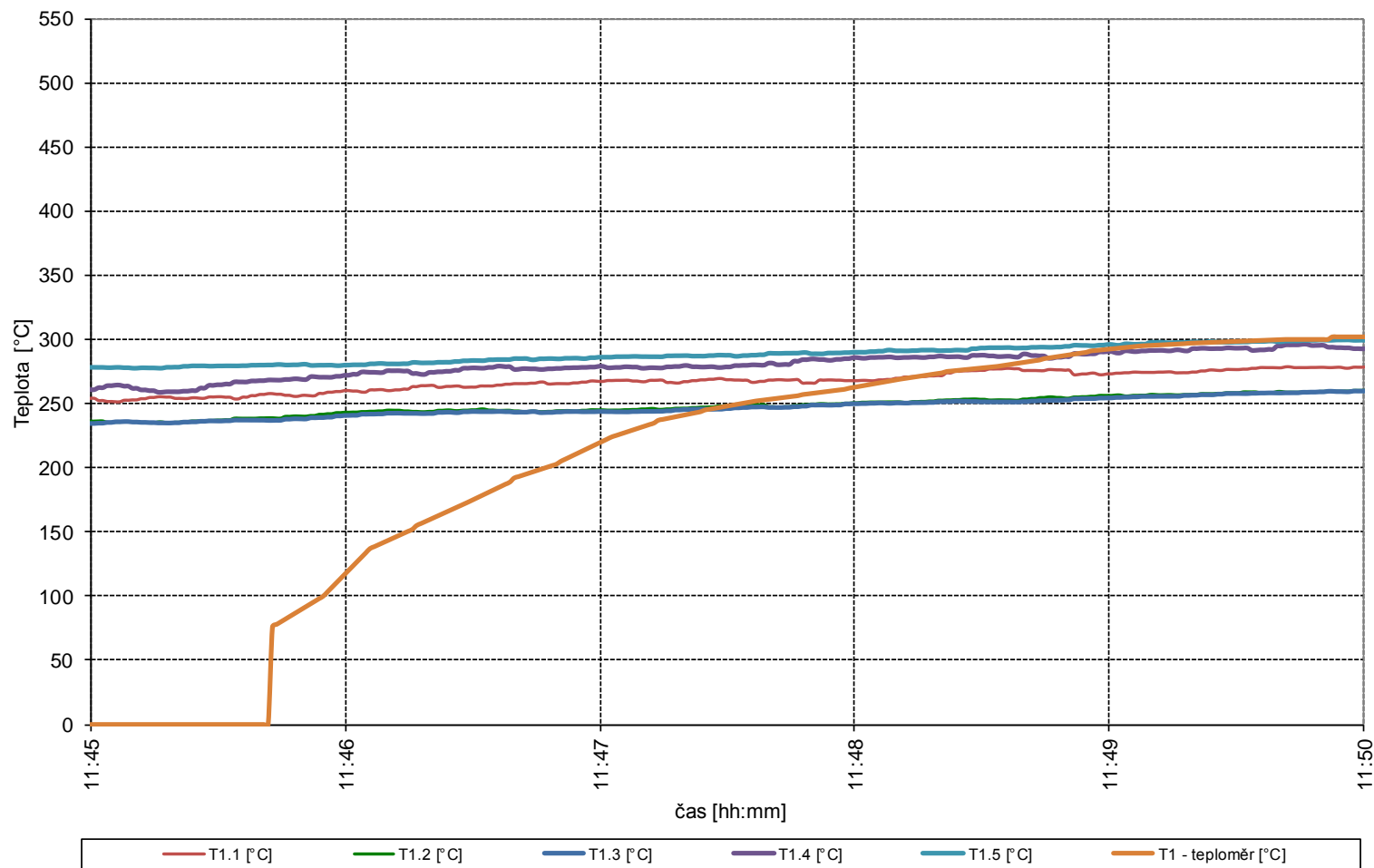
Obr. 10 Barevná legenda pro graf č. 1 a graf č. 2



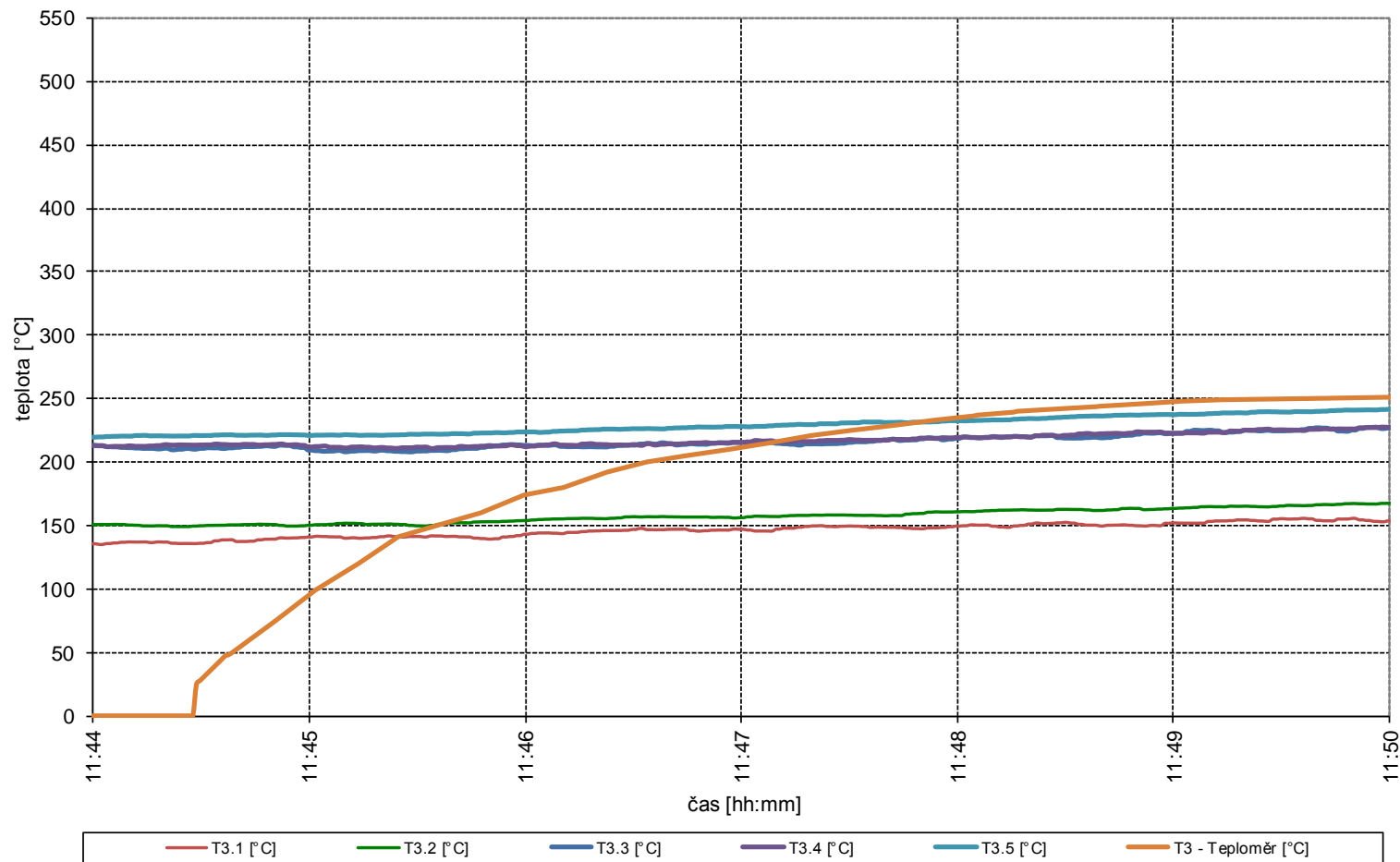
graf č. 1 Stanovení nerovnoměrnosti teplotního profilu spalin v kouřovodu (úroveň č. 1)



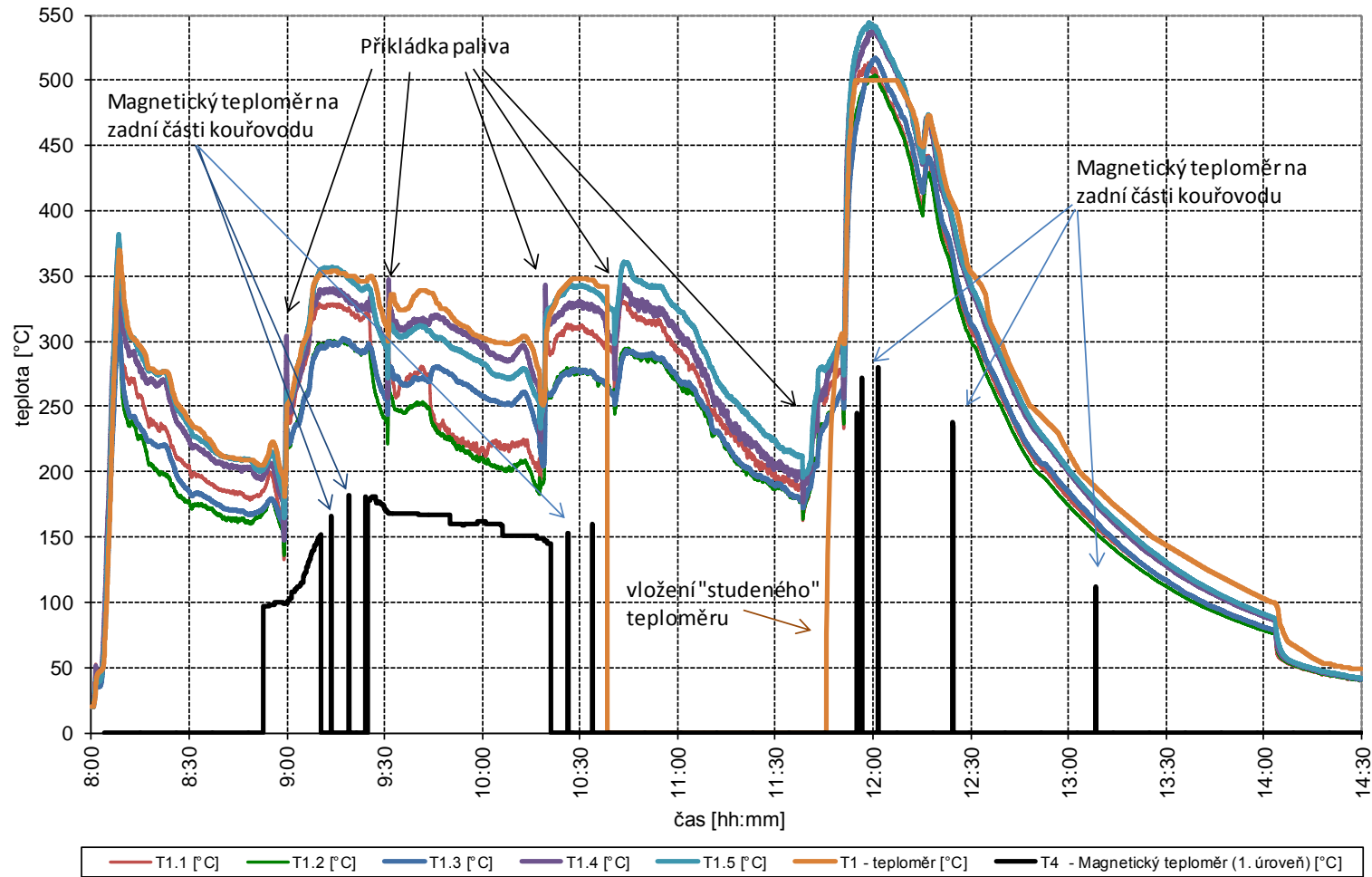
graf č. 2 Stanovení nerovnoměrnosti teplotního profilu spalin v kouřovodu (úroveň č. 3)



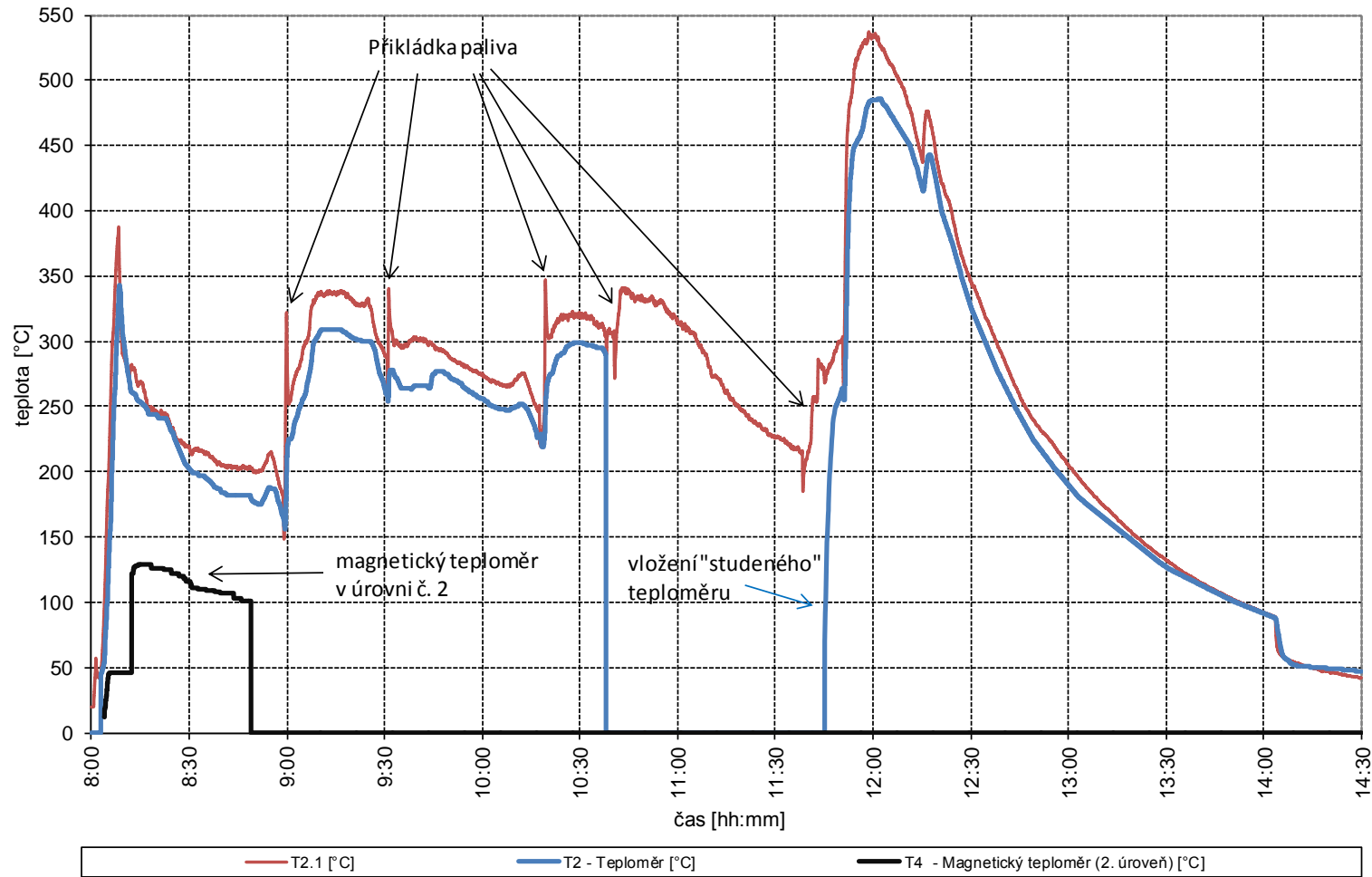
graf č. 3 Průběh teplot v úrovni č. 1 při stabilizaci teploměru ze studeného stavu



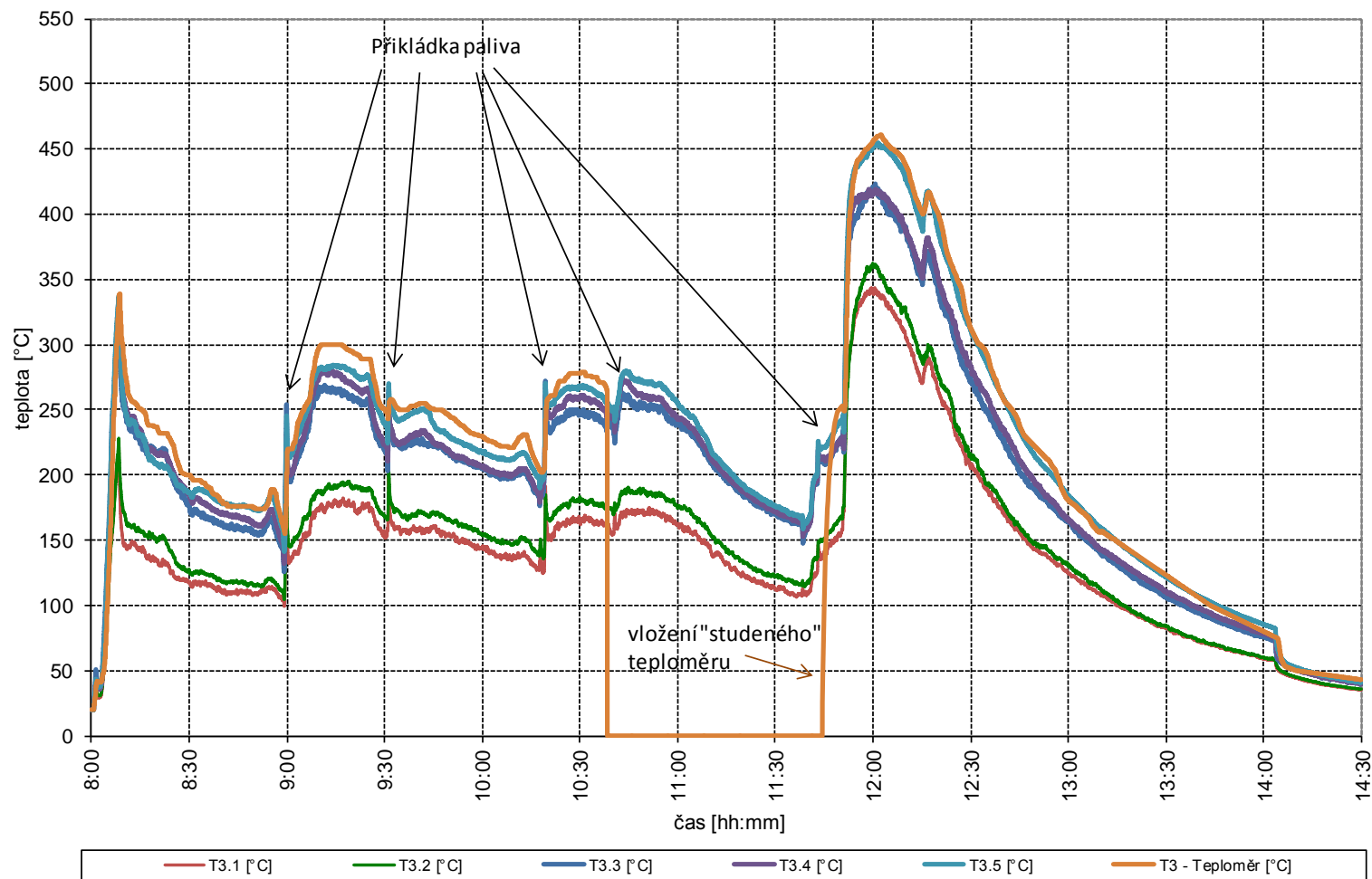
graf č. 4 Průběh teplot v úrovni č. 3 při stabilizaci teploměru ze studeného stavu



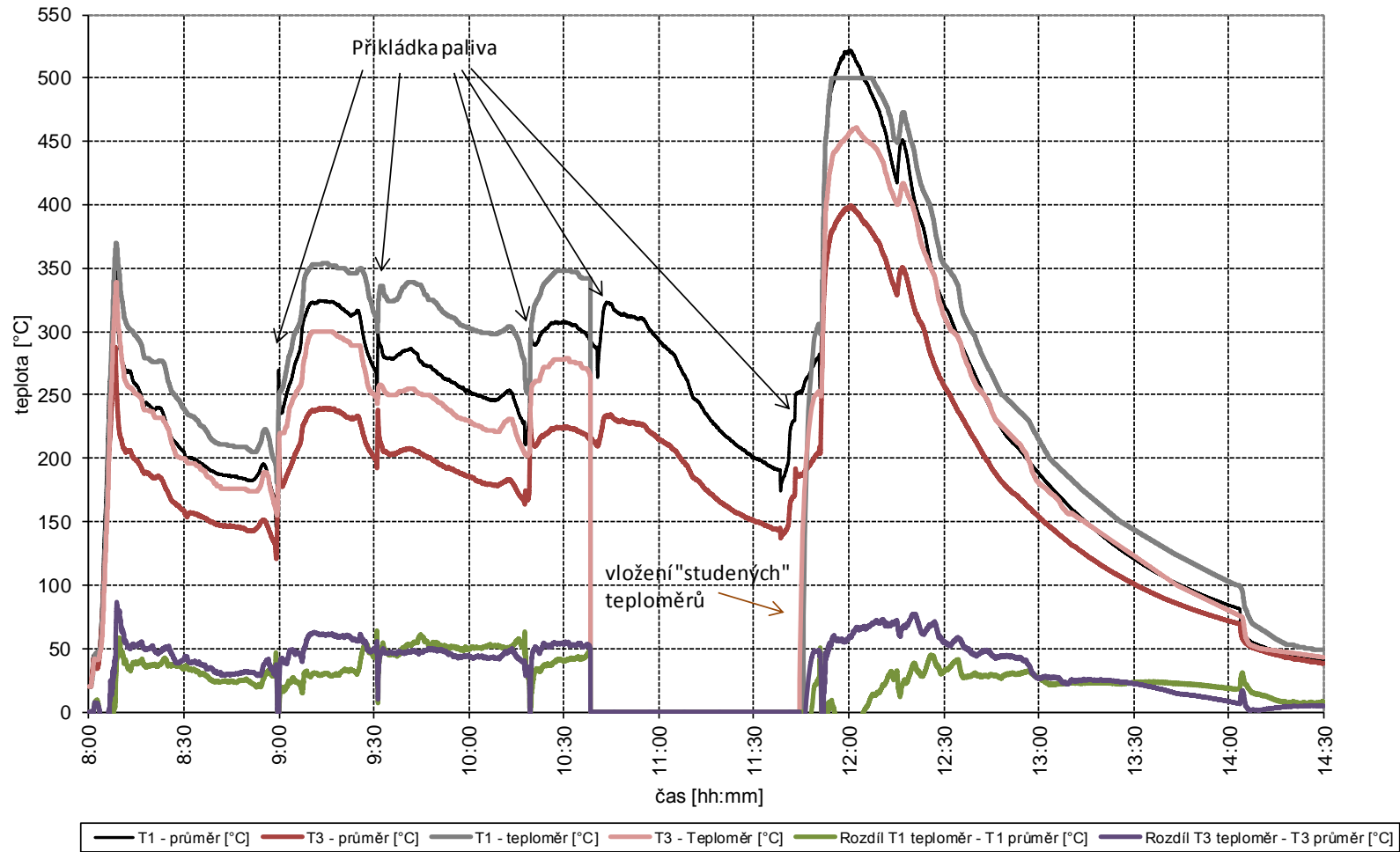
graf č. 5 Všechny měřené teploty v úrovni č. 1 kouřovodu



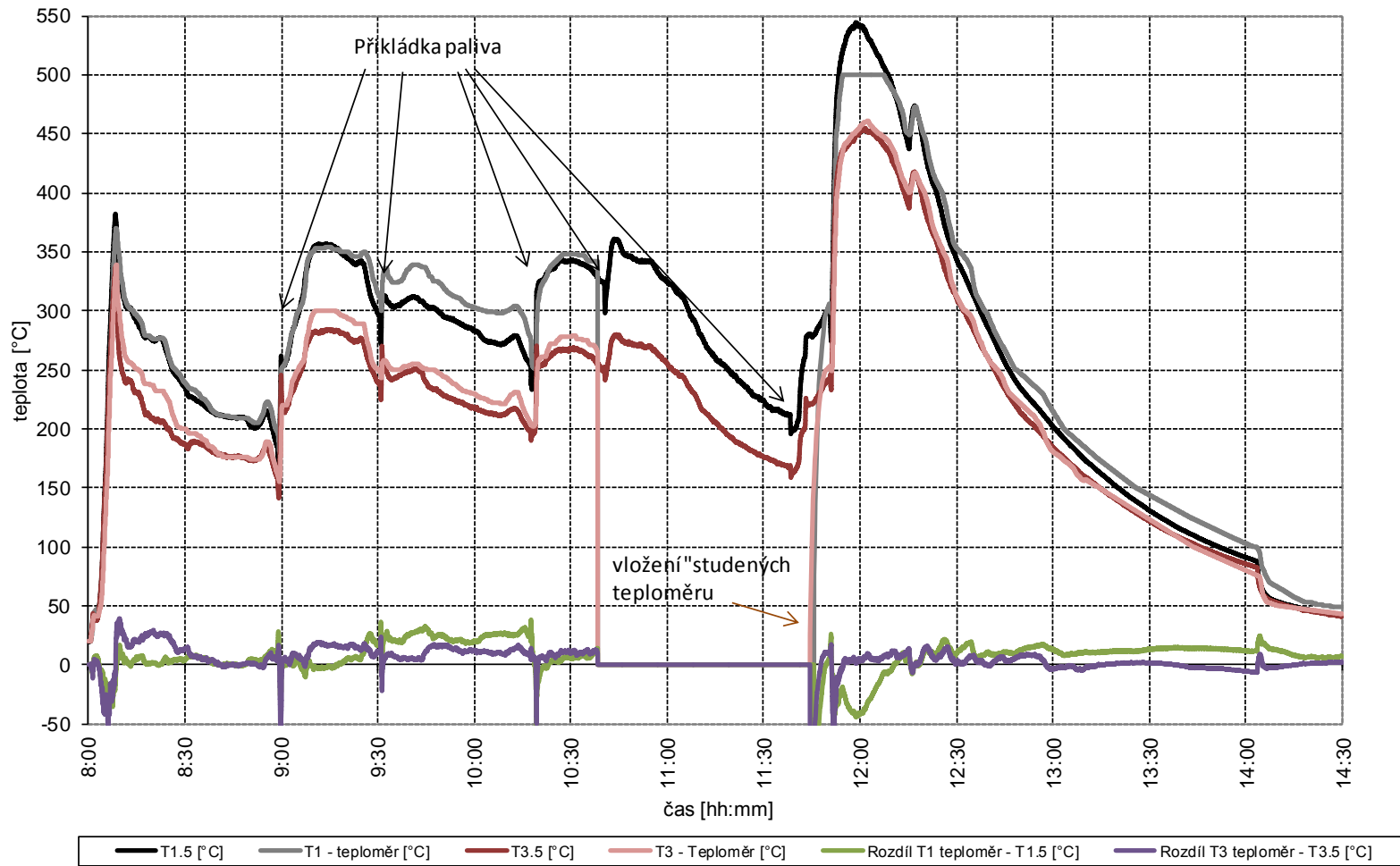
graf č. 6 Všechny měřené teploty v úrovni č. 2



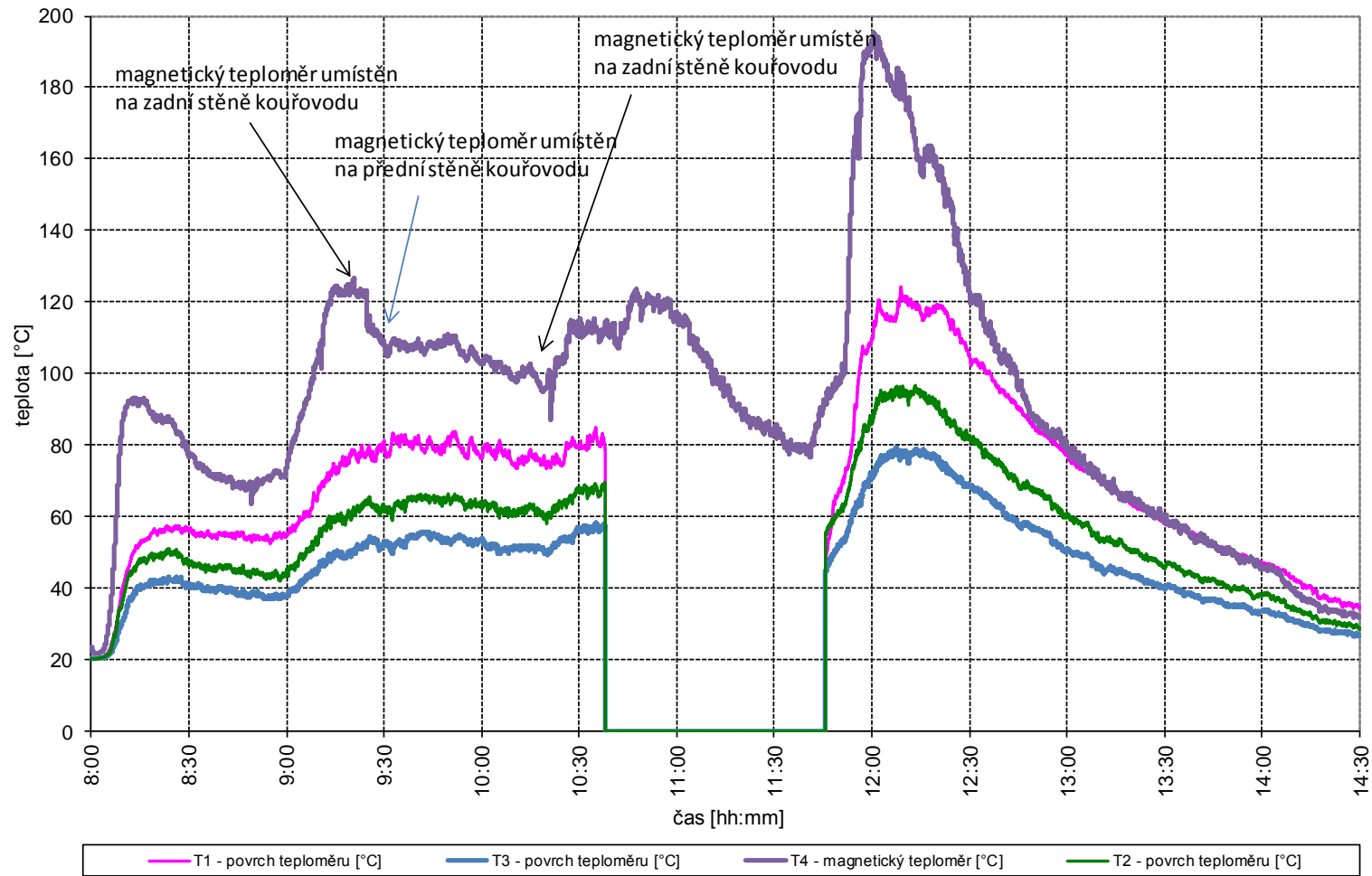
graf č. 7 Všechny měřené teploty v úrovni č. 3 kouřovodu



graf č. 8 Teploty naměřené teploměry TRS, průměry z teplot naměřených termočlánky v úrovních č. 1 a č. 3 a rozdíl mezi těmito teplotami



graf č. 9 Teploty naměřené teploměry TRS, nejvyšší naměřené teploty v úrovních č. 1 a č. 3 (T1.5 a T 3.5) a rozdíl mezi těmito teplotami



graf č. 10 Povrchové teploty kovové části teploměrů