



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV METROLOGIE A ZKUŠEBNICTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING INSTITUTE  
OF METROLOGY AND QUALITY ASSURANCE TESTING

# ASPEKTY SPOLEHLIVOSTI PŘI POSUZOVÁNÍ SHODY VÝROBKŮ

ASPECTS OF RELIABILITY IN COMPATIBILITY EVALUATION OF PRODUCTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

MICHAL ŠENKÝŘ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. PETR KOŠKA, Ph.D.

BRNO 2008



## **ANOTACE**

Michal Šenkýř

*Aspekty spolehlivosti při posuzování shody výrobků*

Diplomová práce, FSI VUT v Brně, Ústav metrologie a zkušebnictví

Diplomová práce se zabývá vyjádřením aspektů spolehlivosti při posuzování shody výrobků, konkrétně vyjádřením nejistot výsledků při zkoušení a ověřování parametrů výrobků nutných pro jejich uvedení na trh. Praktická část je zaměřena na vyjádření vybraných nejistot při zkoušení teplovodních kotlů, a to konkrétně kotlů na plynná paliva s jmenovitým tepelným příkonem nejvýše 70 kW.

## **ANNOTATION**

Michal Šenkýř

*Aspects of reliability in compatibility evaluation of products*

Diploma thesis, Faculty of Mechanical Engineering Brno UT, Institute of Metrology and Quality Assurance Testing

The diploma thesis deals with stating the aspects of reliability in product compatibility evaluation, namely with stating result uncertainty in product parameters testing and diagnosis which are imperative for introduction of the product to the market. The practical part of the thesis focuses on stating selected uncertainty in warm-water boilers testing, especially in gas fueled boilers with rated thermal input of max. 70 kW.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

standardní nejistota, standardní kombinovaná nejistota, celková nejistota, posuzování shody, certifikace, tepelný příkon, jmenovitý tepelný výkon, účinnost kotle

## **KEY WORDS**

Standard uncertainty, standard combined uncertainty, overall uncertainty, compatibility evaluation, certification, heat input, nominal heat output, boiler efficiency





## **BIBLIOGRAFICKÉ CITACE**

ŠENKÝŘ, M. *Aspekty spolehlivosti při posuzování shody výrobků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 101 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Koška, Ph.D.



### **Prohlášení autora:**

Čestně prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Aspekty spolehlivosti při posuzování shody výrobků“ vypracoval samostatně s respektováním stanovených předpisů pro diplomovou práci a dbal jsem pokynů svého vedoucího diplomové práce.

V Brně dne

.....  
podpis



### **Poděkování:**

Tímto děkuji vedoucímu diplomové práce panu Ing. Petru Koškovi, Ph.D., za odborné vedení, obětavou pomoc, cenné rady a připomínky v průběhu zpracování diplomové práce. Rovněž děkuji Strojírenskému zkušebnímu ústavu, s. p. Brno, a jmenovitě pracovníkovi tohoto ústavu panu Milanu Holomkovi za pomoc a trpělivost při plnění úkolů a ochotu při poskytování podkladů ke zpracování práce.



## OBSAH

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>ÚVOD</b> .....  | <b>16</b> |
| <b>2</b> | <b>FORMULACE CÍLŮ PRÁCE</b> .....  | <b>17</b> |
| <b>3</b> | <b>POSUZOVÁNÍ SHODY</b> .....  | <b>18</b> |
| 3.1      | Podmínky uvedení spotřebiče na trh .....                                   | 18        |
| 3.2      | Postup posouzení shody.....  | 19        |
| 3.3      | Označení CE a jiné označování .....  | 20        |
| <b>4</b> | <b>STANOVENÍ NEJISTOTY VÝSLEDKU ZKOUŠKY</b> .....                          | <b>21</b> |
| 4.1      | Odhad standardní kombinované nejistoty výsledku zkoušky .....              | 21        |
| 4.2      | Rozšířená nejistota výsledku zkoušky .....                                 | 23        |
| <b>5</b> | <b>PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....  | <b>24</b> |
| 5.1      | Objemová koncentrace oxidu uhelnatého .....                                | 25        |
| 5.1.1    | Limitní hodnota .....  | 25        |
| 5.1.2    | Analýza stanovených parametrů .....  | 25        |
| 5.1.3    | Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty oxidu uhelnatého .....      | 26        |
| 5.1.4    | Odhad standardních nejistot rozboru dílčích složek .....                   | 27        |
| 5.1.5    | Výpočet rozšířené nejistoty oxidu uhelnatého .....                         | 29        |
| 5.2      | Provozní způsobilost – průtok odebírané vody .....                         | 31        |
| 5.2.1    | Limitní hodnota .....  | 31        |
| 5.2.2    | Analýza stanovených parametrů .....  | 31        |
| 5.2.3    | Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty průtoku odebírané vody..... | 32        |
| 5.2.4    | Odhad standardních nejistot rozboru dílčích složek .....                   | 33        |
| 5.2.5    | Výpočet rozšířené nejistoty hodnoty průtoku odebírané vody.....            | 36        |
| 5.3      | Tepelný příkon korigovaný .....  | 38        |
| 5.3.1    | Limitní hodnota .....  | 38        |
| 5.3.2    | Analýza stanovených parametrů .....  | 38        |
| 5.3.3    | Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty tepelného příkonu.....      | 39        |
| 5.3.4    | Odhad standardních nejistot rozboru dílčích složek .....                   | 41        |
| 5.3.5    | Výpočet rozšířené nejistoty hodnoty tepelného příkonu (korigovaného).....  | 44        |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 5.4   | Tepelný výkon .....   | 46 |
| 5.4.1 | Limitní hodnota .....   | 46 |
| 5.4.2 | Analýza stanovených parametrů .....   | 46 |
| 5.4.3 | Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty tepelného výkonu .....               | 47 |
| 5.4.4 | Odhad standardních nejistot rozboru dílčích složek .....                            | 48 |
| 5.4.5 | Výpočet rozšířené nejistoty hodnoty tepelného výkonu .....                          | 53 |
| 5.5   | Tepelný příkon .....  | 55 |
| 5.5.1 | Limitní hodnoty .....   | 55 |
| 5.5.2 | Analýza stanovených parametrů .....   | 55 |
| 5.5.3 | Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty tepelného příkonu .....              | 56 |
| 5.5.4 | Odhad standardních nejistot rozboru dílčích složek .....                            | 57 |
| 5.5.5 | Výpočet rozšířené nejistoty hodnoty tepelného příkonu .....                         | 58 |
| 5.6   | Účinnost .....  | 60 |
| 5.6.1 | Limitní hodnoty .....   | 60 |
| 5.6.2 | Analýza stanovených parametrů .....   | 60 |
| 5.6.3 | Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty účinnosti .....                      | 61 |
| 5.6.4 | Odhad standardních nejistot rozboru dílčích složek .....                            | 61 |
| 5.6.5 | Výpočet rozšířené nejistoty účinnosti .....   | 62 |
| 5.7   | Nejvyšší teplota užitkové vody .....  | 64 |
| 5.7.1 | Limitní množství .....  | 64 |
| 5.7.2 | Analýza stanovených parametrů .....   | 64 |
| 5.7.3 | Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty nejvyšší teploty užitkové vody ..... | 64 |
| 5.7.4 | Odhad standardních nejistot rozboru dílčích složek .....                            | 64 |
| 5.7.5 | Výpočet rozšířené nejistoty nejvyšší teploty užitkové vody .....                    | 65 |
| 5.8   | Povrchové teploty .....   | 67 |
| 5.8.1 | Limitní hodnoty .....   | 67 |
| 5.8.2 | Analýza stanovených parametrů .....   | 67 |
| 5.8.3 | Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty povrchové teploty .....              | 68 |
| 5.8.4 | Odhad standardních nejistot rozboru dílčích složek .....                            | 68 |
| 5.8.5 | Výpočet rozšířené nejistoty povrchové teploty .....                                 | 69 |
| 5.9   | Komínové ztráty .....   | 71 |



|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 5.9.1    | Limitní hodnoty .....  | 71        |
| 5.9.2    | Analýza stanovených parametrů .....  | 71        |
| 5.9.3    | Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty komínových ztrát .....      | 72        |
| 5.9.4    | Odhad standardních nejistot rozboru dílčích složek .....                   | 73        |
| 5.9.5    | Výpočet rozšířené nejistoty hodnoty komínové ztráty .....                  | 76        |
| 5.10     | Přepočtená hodnota $NO_x$ .....  | 78        |
| 5.10.1   | Limitní množství .....   | 78        |
| 5.10.2   | Analýza stanovených parametrů .....  | 78        |
| 5.10.3   | Odhad standardní kombinované nejistoty přepočtené hodnoty $NO_{x,o}$ ..... | 79        |
| 5.10.4   | Odhad standardních nejistot rozboru dílčích složek .....                   | 80        |
| <b>6</b> | <b>ZÁVĚR</b> .....   | <b>84</b> |
| <b>7</b> | <b>POUŽITÁ LITERATURA</b> .....  | <b>85</b> |
| <b>8</b> | <b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ</b> .....                            | <b>86</b> |
| <b>9</b> | <b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....   | <b>88</b> |

## 1 ÚVOD

Tato práce se zabývá vyjádřením jednoho z aspektů spolehlivosti, a to konkrétně vytvořením metodiky pro odhad nejistot kvantitativních výsledků zkoušek při hodnocení tepelných zařízení – kotlů na plynná paliva testovaných ve Strojírenském zkušebním ústavu, s. p. Brno (zadavatel diplomové práce). Experimentální část práce je zaměřena na vyjadřování nejistot výsledků při zkoušení kotlů na plynná paliva s jmenovitým tepelným příkonem nejvýše 70 kW, a to konkrétně výsledků vybraných parametrů ze strany zadavatele (SZÚ Brno), přímou metodou.

Výrobek uváděný na trh nebo do oběhu musí být pro spotřebitele z hlediska bezpečnosti a ochrany zdraví bezpečný. Tepelná zařízení pro domácnosti na plynná paliva jsou zařazena do regulované sféry, jsou tedy zařazena do sféry stanovených výrobků, čímž podléhají povinnému posuzování shody před jejich uvedením do provozu nebo na trh. Jejím koncovým výstupem je označení shody CE.

### **Základní informace o Strojírenském zkušebním ústavu, s. p.**

Strojírenský zkušební ústav, s. p., je zapsán jako notifikovaná osoba ES 1015 a autorizovaná osoba 202 pro posuzování shody výrobků s nařízeními vlády a směrnicemi Rady.

### **Historie (pobočka Brno)**

|             |  |
|-------------|--|
| 1919 – 1949 | Zemský ústav pro zvelebování živností při Obchodní a živnostenské komoře |
| 1950 – 1964 | Kovotechna (od 1. 5. 1955 samostatný závod)                              |
| 1965 – 1966 | Strojírenský zkušební ústav, s. p., Státní zkušebna 202                  |
| 1997        | Autorizovaná osoba 202   |
| 2002        | Notifikovaná osoba 1015  |

### **SZÚ je akreditován Českým institutem pro akreditaci jako**

- zkušební laboratoř č. 1045;
- certifikační orgán pro certifikaci výrobků č. 3040;
- certifikační orgán pro certifikaci systémů managementu jakosti č. 3007;
- inspekční orgán č. 4008;
- kalibrační laboratoř č. 2232 a č. 2280;
- certifikační orgán pro certifikaci personálu č. 3088.

SZÚ je dále akreditován ruským Gosstandartem jako zkušební laboratoř [12].

## 2 FORMULACE CÍLŮ PRÁCE

Autorizované (notifikované) osoby provádějí posuzování shody s technickými požadavky v právních předpisech a normách. Při posuzování shody daných vlastností výrobku s předepsanými požadavky dochází k porovnání dvou hodnot, a to hodnot zjištěných při zkoušce a hodnot limitních (stanovených). Při posuzování shody o plnění či neplnění těchto vlastností je nutné zvažovat nepřesnost, s jakou byl výsledek zkoušky proveden. Výsledek zkoušky se uvádí jako intervalový odhad s nejistotou.

Validace dosažených výsledků byla provedena ve Strojírenském zkušebním ústavu, s. p., pobočka Brno.

### **Cílem této diplomové práce je**

- rozbor požadavků, zkušebních postupů povinně prokazovaných pro posuzování tepelných zařízení – kotlů na plynná paliva s jmenovitým tepelným příkonem nejvýše 70 kW;
- navržení metodiky pro vyjádření nejistoty vybraných výsledků zkoušek při hodnocení tepelných zařízení, a to postupem vycházejícím z kovariačního zákona pro šíření nejistot;
- provedení výpočtu nejistot u vybraných parametrů;
- interpretace výsledku zkoušky.

### 3 POSUZOVÁNÍ SHODY

Teplovodní kotle pro domácnost na plynná paliva jsou zařazeny do regulované sféry, spadají tedy do stanovených výrobků. Tyto výrobky podléhají povinnému posuzování shody před jejich uvedením na trh nebo do provozu. Technické požadavky na spotřebiče plyných paliv se stanovují dle nařízení vlády č. 22/2003 Sb. ze dne 9. prosince 2002, *kterým se stanoví technické požadavky na spotřebiče plyných paliv* v souladu se směrnicí Rady 90/396/EHS ze dne 29. června 1990 *o sblížení právních předpisů členských států týkajících se spotřebičů plyných paliv*, ve znění směrnice Rady 93/68/EHS ze dne 22. června 1993 a podle směrnice Rady 92/42/EHS ze dne 21. května 1992 *o požadavcích na účinnost nových teplovodních kotlů na kapalná nebo plynná paliva* ve znění směrnice Rady 93/68/EHS ze dne 22. června 1993.

#### 3.1 Podmínky uvedení spotřebiče na trh

Spotřebič může být uveden na trh nebo do provozu pouze za podmínek, kdy při běžném používání neohrozí bezpečnost osob, zvířat, majetek nebo životní prostředí. Základní požadavky

- zabezpečující základní cíle ochrany – montážní návody, návody k obsluze, označení obalů a jiných částí, technické návody, návody k údržbě, návody k seřízení;
- týkající se výrobku nebo jeho fungování – zohlednění materiálu, konstrukce, výroba, bezpečnostní zařízení, zajištění částí spotřebiče, označení částí spotřebiče;
- vycházející z rizik spojených s výrobkem – mechanická a fyzická odolnost, zapalování, spalování, využití energie, teploty, stabilita, hořlavost, ochrana životního prostředí, požární bezpečnost, bezpečnost při používání.

Posouzení se základními požadavky na výrobek specifikovanými v Příloze I směrnice Rady 90/396/EHS (v příloze č. 1 nařízení vlády č. 22/2003 Sb.) a k nim uvedené používané normy je zpracováno v příloze [C].

Posouzení se základními požadavky na výrobek specifikovanými směrnicí 92/42/EHS (nařízení vlády č. 25/2003 Sb.) a k nim uvedené používané normy je zpracováno v příloze [D].

Základní požadavky se považují za splněné, pokud je spotřebič ve shodě

- a) s harmonizovanými českými technickými normami, popřípadě zahraničními technickými normami přejímajícími v členských státech Evropské unie harmonizované evropské normy (§ 4a zákona), nebo
- b) s určenými normami (§ 4a zákona), zahrnujícími české nebo zahraniční technické normy, které byly pro tento účel oznámeny Komisí Evropských společenství, pokud technické normy podle písmene a) neexistují [9].

Každý výrobce nebo dovozce na našem trhu musí před uvedením výrobku na trh realizovat soubor zkoušek, měření a kontrol, čímž dokazuje a dále musí dokazovat, že stanovené požadavky na danou provozní vlastnost výrobek splňuje.

Použité harmonizované české technické normy v této práci jsou

- ČSN EN 483 Kotle na plynná paliva pro ústřední vytápění – Kotle provedení C s jmenovitým tepelným příkonem nejvýše 70 kW;
- ČSN EN 297 Kotle na plynná paliva pro ústřední vytápění – Kotle provedení B<sub>11</sub> a B<sub>11bs</sub> s atmosférickými hořáky a s jmenovitým tepelným příkonem nejvýše 70 kW;
- ČSN EN 625 Kotle na plynná paliva pro ústřední vytápění – Zvláštní požadavky na kombinované kotle s jmenovitým tepelným příkonem nejvýše 70 kW provozované za účelem přípravy teplé užitkové vody pro domácnost.

### 3.2 Postup posouzení shody

ES přezkoušením typu notifikovaná osoba kontroluje a certifikuje, že spotřebič, představující uvažovanou výrobu, splňuje ustanovení daného nařízení a směrnice, které se na něj vztahují. Výrobce nebo jeho zplnomocněný zástupce předloží žádost (splňující všechny náležitosti) o přezkoušení typu u jediné notifikované osoby. Výrobce musí dát notifikované osobě k dispozici spotřebič, který představuje uvažovanou část výroby. Je-li potřeba, může notifikovaná osoba požadovat více spotřebičů. Jestliže spotřebič splňuje ustanovení daných směrnic a nařízení, musí notifikovaná osoba vystavit žadateli certifikát ES přezkoušení typu. Notifikovaná osoba musí neprodleně informovat ostatní příslušné notifikované osoby o vystavení certifikátu ES přezkoušení typu, popřípadě jestli jej nevystaví, musí informovat Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví a ostatní příslušné notifikované osoby s odůvodněním, proč tak neučinil. Výrobce dále zvolí před uvedením

výrobku na trh jeden z postupů ES prohlášení shody s typem, popřípadě v případě kusové nebo malosériové výroby postup ES ověření jednotlivých výrobků. Po provedení a splnění jednoho z těchto postupů, kdy výrobce nebo jeho zplnomocněný zástupce prohlašuje a zajišťuje, že spotřebič (spotřebiče), jsou ve shodě s typem popsáním v certifikátu ES přezkoušení typu a vyhovují požadavkům daného nařízení a směrnic, které pro něj platí, musí výrobce nebo jeho zplnomocněný zástupce opatřit každý spotřebič označením CE a vydat písemné prohlášení o shodě [9].

### 3.3 Označení CE a jiné označování

Spotřebič nebo štítek se jmenovitými údaji spotřebiče musí být opatřen označením CE, jehož grafickou podobu stanoví zvláštní právní předpis, a to viditelným, snadno čitelným a nesmazatelným způsobem. Štítek se jmenovitými údaji musí být navržen tak, aby mohl být opětovně použit [9]. Za označením CE musí být uvedeno identifikační číslo notifikované osoby a dále musí obsahovat

- označení výrobce nebo jeho identifikační symbol;
- obchodní název spotřebiče;
- typ elektrické přípojky, je-li použita;
- kategorii spotřebiče;
- poslední dvě čísla roku opatření označení CE.

Spotřebič nemůže být opatřen označením, které by mohlo uvádět v omyl, pokud jde o označení CE. Výrobek může být označen i jiným označením, ale nesmí tím být omezena viditelnost ani čitelnost CE.

## 4 STANOVENÍ NEJISTOTY VÝSLEDKU ZKOUŠKY

Spojení „nejistota výsledku zkoušky“ může zavádět k pochybnostem o výsledku zkoušky. Nejistou je však vyjádřen parametr nebo odhad parametru přidružený k výsledku zkoušky, který charakterizuje rozptýlení hodnot, které by mohlo být oprávněně přisuzováno skutečné hodnotě stanovené veličiny.

### 4.1 Odhad standardní kombinované nejistoty výsledku zkoušky

Výsledek zkoušky  $y$  je funkcí  $f$  proměnných veličin  $x_i$ , případně jestliže se ve vztahu vyskytují, i konstant  $p$ . Jejich vztah je charakterizován:

$$y = f(p, x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

$\Rightarrow$

$$u_c(y) = f(p, u(x_1), u(x_2), \dots, u(x_n)) \quad (2)$$

kde

- $u_c(y)$  je standardní kombinovaná nejistota výsledku zkoušky;
- $u(x_i)$  jsou standardní nejistoty měřených proměnných veličin[5].

Odhad standardní kombinované nejistoty výsledku zkoušky se provádí podle kovariačního zákona pro šíření nejistot [8], kterým je definován obecný vztah mezi standardní kombinovanou nejistotou zkoušky  $u(y)$  a standardními nejistotami měřených veličin  $u(x_i)$

$$u_c(y) \cong \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial y}{\partial x_i} \cdot u(x_i) \right)^2 + \sum_{i,j=1}^n \left( \frac{\partial y}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial y}{\partial x_j} \cdot u(x_i, x_j) \right)} \quad (3)$$

kde

- $u(x_i, x_j)$  je kovariance mezi  $x_i$  a  $x_j$ .

Příspěvky jednotlivých měřených veličin k nejistotě výsledku zkoušky jsou dány druhou mocninou součinu parciální derivace funkce vůči veličině  $x_i$  a příslušné standardní nejistoty  $u(x_i)$  vyjádřené ve formě směrodatné odchylky a nejistotou vyplývající ze vzájemné závislosti proměnných měřených veličin  $x_i$  a  $x_j$  [10]. Pro vzájemnou nezávislost měřených veličin, lze

kovariační zákon pro šíření nejistot (3) psát ve tvaru Gaussova zákona pro šíření nejistot, a to

$$u_c(y) \cong \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 \cdot u^2(x_1) + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\right)^2 \cdot u^2(x_2) + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n}\right)^2 \cdot u^2(x_n)} \quad (4)$$

kde

- $\frac{\partial y}{\partial x_i}$  jsou parciální derivace vyjadřující, jak se mění hodnota  $y$  se změnou veličiny  $x_i$ ;
- $u(x_i)$  je standardní nejistota měřené veličiny  $x_i$ ,
- $y$  je označení funkce pro vyjádření výsledku zkoušky.

Podle tvaru funkce výsledku zkoušky  $y$  je možné model pro vyjádření standardní kombinované nejistoty výsledku zkoušky zjednodušit. Možné typy zjednodušení modelu jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1: Typy modelů pro vyjádření kombinované nejistoty výsledku zkoušky

| Funkční závislost            |  | $u_c(y)$  |
|------------------------------|--|---|
| aditivního charakteru        | $y = f(x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n)$                 | $u_c(y) \cong \sqrt{u^2(x_1) + u^2(x_2) + \dots + u^2(x_n)} \quad (5)$  |
| multiplikativního charakteru | $y = f(x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot \dots \cdot x_n)$ | $u_c(y) \cong y \cdot \sqrt{\left(\frac{u(x_1)}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{u(x_2)}{x_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{u(x_n)}{x_n}\right)^2} \quad (6)$ |
| jednoduchá funkční závislost | $y = f(p; x)$  | $u_c(y) = u(x) \cong p \cdot \sqrt{u_1^2(x_1) + u_2^2(x_2) + \dots + u_n^2(x_n)} \quad (7)$   |

Nejistota výsledku měření se skládá obecně z mnoha složek, tyto složky můžeme obecně rozdělit do dvou kategorií podle toho, jak jsou odhadnuty jejich číselné hodnoty, a to

- způsob vyhodnocení typu A, jenž zahrnuje metody hodnocení nejistot, které je možné odhadnout pomocí statických metod,
- způsob vyhodnocení typu B, jenž zahrnuje metody hodnocení nejistot, které je možné odhadnout pomocí jiných než statických metod [4].



## 4.2 Rozšířená nejistota výsledku zkoušky

Rozšířená (celková) nejistota výsledku zkoušky  $U$  vypovídá o intervalu, o kterém se předpokládá, že v něm leží značný počet distribučních hodnot, které by mohly být důvodně přisuzovány dané veličině jako skutečná hodnota této veličiny. Rozšířenou nejistotu  $U$  vypočteme dle vztahu

$$U = k \cdot u_c(y) \quad (8)$$

kde

- $k$  je koeficient rozšíření;
- $u_c(y)$  je standardní kombinovaná nejistota výsledku zkoušky  $y$ .

Ve většině případů je doporučován koeficient  $k = 2$ . Jestliže se jedná o normální rozdělení, poskytuje tento koeficient spolehlivost přibližně 95 % hodnot dané distribuce.

## 5 PRAKTICKÁ ČÁST

Zkoušený kotel typového provedení Combo S HE 24 kW a Supercombo S HE 24 kW je závěsný teplovodní průtočný kotel určený jak k ohřevu otopné vody v soustavách ústředního vytápění v bytech, v rodinných domech, provozovnách, dílnách apod., tak i pro přípravu teplé užitkové vody s jmenovitým tepelným příkonem 25,6 kW.

Použitá měřidla v průběhu zkoušky jsou uvedena v tabulce 2.

Tabulka 2: Použitá měřidla

| název měřidla                      | typ měřidla                          | dílek stupnice $e$                         | nejistota kalibrace $U$                        |
|------------------------------------|--------------------------------------|--|--|
| analyzátor HORIBA                  | model CMA-680                        | pro $CO$ $e=1$ ppm<br>pro $O_2$ $e=0,01$ % | pro $CO$ $U$ do 0,5 %<br>pro $CO_2$ $U$ do 1 % |
| teploměr - měřící<br>ústředna ADIS | THERM 3280-8M                        | 0,1 °C                                     | $U$ do 1 %                                     |
| vodoměr                            | TGL 33259                            | 0,001 m <sup>3</sup> .hod <sup>-1</sup>    | $U$ do 1,5 %                                   |
| plynoměr                           | membránový<br>plynoměr               | 0,001 m <sup>3</sup> .hod <sup>-1</sup>    | $U$ do 1 %                                     |
| tlakoměr                           | staniční barometr                    | 0,1 mbar                                   | $U$ do 1,3 %                                   |
| manometr                           | U- trubice                           | 1 mbar                                     | -  |
| teploměr                           | teploměr elektrický<br>Almeno 2290-3 | 0,1 °C                                     | $U$ do 0,5 %                                   |
| vlhkoměr                           | Této 608 – H1                        | 0,1 %                                      | $U$ do 2,5 %                                   |

## 5.1 Objemová koncentrace oxidu uhelnatého

### 5.1.1 Limitní hodnota

Dle ČSN EN 483 [článek 6.6.1.1] objemová koncentrace  $CO$  v suchých spalínách bez přebytku vzduchu nesmí překročit 0,1 %.

### 5.1.2 Analýza stanovených parametrů

Tato zkouška se provádí za účelem zjištění objemové koncentrace oxidu uhelnatého v suchých spalínách bez přebytku vzduchu. Zkouška se provádí při seřízení kotle na jmenovitý tepelný výkon. Jakmile je dosaženo tepelně ustáleného stavu kotle, jsou odečteny koncentrace daných látek pomocí čidel analyzátoru umístěných v komíně kotle. Zkouška trvá po dobu deseti minut, kdy každou minutu jsou zaznamenány dílčí koncentrace (10 hodnot). Poté se vypočte objemová koncentrace  $CO$  v procentech v suchých spalínách bez přebytku vzduchu podle vztahu

dle ČSN EN 483 [článek 7.6.1.1]

$$CO = (CO)_M \cdot \frac{21}{21 - (O_2)_M} \quad (9)$$

kde

- $CO$  je objemová koncentrace oxidu uhelnatého v suchých spalínách bez přebytku vzduchu vyjádřena v %;
- $(O_2)_M$  je naměřená objemová koncentrace kyslíku ve vzorcích odebraných během zkoušky spalování vyjádřená v %;
- $(CO)_M$  je naměřená objemová koncentrace oxidu uhelnatého ve vzorcích odebraných během zkoušky spalování vyjádřená v %
- hodnoty 21 slouží ve vztahu k přepočtu obsahu kyslíku ve vzduchu, hodnotu bereme jako konstantu, k nejistotě jejich stanovení je přiřazena nula.

Tabulka 3: Hodnoty měřených veličin – oxidu uhelnatého

| Číslo měření | $(CO)_M$ [%] | $(O_2)_M$ [%] |
|--------------|--------------|---------------|
| 1.           | 0,0124       | 8,1           |
| 2.           | 0,0124       | 8,1           |

pokračování

Tabulka 3: Hodnoty měřených veličin – oxidu uhelnatého (dokončení)

| Číslo měření   | $(CO)_M$ [%] | $(O_2)_M$ [%] |
|--|--------------|---------------|
| 3.   | 0,0124       | 8,1           |
| 4.   | 0,0124       | 8,0           |
| 5.   | 0,0125       | 8,0           |
| 6.   | 0,0125       | 8,1           |
| 7.   | 0,0125       | 8,1           |
| 8.   | 0,0125       | 8,1           |
| 9.   | 0,0125       | 8,1           |
| 10.  | 0,0125       | 8,1           |
| Průměrné hodnoty k výpočtu                               |              |               |
| -  | 0,0125 %     | 8,1 %         |
| Objemová koncentrace oxidu uhelnatého<br>$CO = 0,0203$ % |              |               |

Při měření jednotlivých dílčích veličin bylo použito měřidlo – analyzátor HORIBA (viz tabulka 2).

### 5.1.3 Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty oxidu uhelnatého

Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty oxidu uhelnatého byl proveden podle Gaussova zákona pro šíření nejistot (4)

$$u_c(CO) \cong \sqrt{\left(\frac{\partial CO}{\partial (CO)_M}\right)^2 u^2(CO)_M + \left(\frac{\partial CO}{\partial (O_2)_M}\right)^2 u^2(O_2)_M} \quad (10)$$

Tabulka 4: Parciální derivace a jejich hodnoty

| Parciální derivace  | Hodnota | Parciální derivace  | Hodnota |
|---|---------|---|---------|
| $\frac{\partial CO}{\partial (CO)_M} = \frac{21}{21 - (O_2)_M}$ | 1,6     | $\frac{\partial CO}{\partial (O_2)_M} = \frac{(CO)_M \cdot 21}{(21 - (O_2)_M)^2}$ | 0,0016  |

Na základě rozboru modelu pro výpočet oxidu uhelnatého (9) a modelu pro odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty oxidu uhelnatého (10) lze konstatovat

- Nejistota hodnoty koncentrace oxidu uhelnatého  $CO$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna standardní nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota koncentrace oxidu uhelnatého  $(CO)_M$  (pozorovaná veličina)

- Nejistota hodnoty koncentrace oxidu uhelnatého  $CO$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna standardní nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota koncentrace kyslíku  $(O_2)_M$  (pozorovaná veličina)

#### 5.1.4 Odhad standardních nejistot rozboru dílčích složek

Stanovení koncentrace oxidu uhelnatého spočívá ve výpočtu z hodnot dle vztahu (9). Standardní kombinovaná nejistota hodnoty koncentrace oxidu uhelnatého je získána kombinací ze standardních nejistot těchto měřených veličin dle vztahu (10).

##### Krok 1 – stanovení objemové koncentrace oxidu uhelnatého $(CO)_M$

- Objemové koncentrace oxidu uhelnatého  $(CO)_M$  se měří v průběhu zkoušky analyzátozem. Rozšířená nejistota kalibrace analyzátozu je udána hodnotou  $U_{(CO)_M} = \pm 0,5$  % relativní. Nejistota  $u_{1(CO)_M} = U_{(CO)_M}/2$  vyplývající z nejistoty kalibrace analyzátozu je jednou ze složek standardní nejistoty  $u_{(CO)}$  objemové koncentrace oxidu uhelnatého v suchých spalinách bez přebytku vzduchu.
- Hodnota objemové koncentrace oxidu uhelnatého  $(CO)_M$  bude zatížena chybou z nepřesnosti při odečtu z omezeného rozlišení displeje, kde je dána rozlišitelná hodnota  $e = 1$  ppm. Mezní úchylka činí  $a_{(CO)_M} = e/2$ . Distribuční model odpovídá rovnoměrnému pravděpodobnostnímu rozdělení a z toho pak je hodnota standardní nejistoty  $u_{2(CO)_M}$  vyplývající z chyby z nepřesnosti při odečtu z omezené rozlišitelnosti displeje vyjádřena jako  $a_{(CO)_M}/\sqrt{3}$ .
- Hodnota objemové koncentrace oxidu uhelnatého  $(CO)_M$  je kvantifikována z průměrné hodnoty dílčích opakovaných odečtů zaznamenávaných během zkoušky (10 měření). Nejistota  $u_{3(CO)_M}$  je zatížena nejistotou z proměnlivosti těchto hodnot, zahrnující náhodné vlivy při měření objemové koncentrace oxidu uhelnatého. Nejistota  $u_{3(CO)_M}$  je vyhodnocena výběrovou směrodatnou odchylkou aritmetického průměru.
- Objemové koncentrace oxidu uhelnatého  $(CO)_M$  se měří v průběhu zkoušky analyzátozem, jenž je kalibrován v návaznosti na certifikovaný kalibrační plyn. Rozšířená nejistota kalibračního plynu je udána hodnotou  $U_{(CO)_M} = \pm 1$  % relativní. Nejistota  $u_{4(CO)_M} = U_{(CO)_M}/2$  vyplývající z nejistoty kalibrace analyzátozu je jednou ze složek standardní nejistoty  $u_{(CO)}$  objemové koncentrace oxidu uhelnatého v suchých spalinách bez přebytku vzduchu.

Tabulka 5: Standardní nejistota – oxidu uhelnatého

| Popis nejistoty  | Výpočet  | Standardní nejistota |
|--|--|----------------------|
|  |  | absolutní            |
| Krok 1 – stanovení objemové koncentrace oxidu uhelnatého $(CO)_M = 0,0125\%$<br>Specifikace dílčích nejistot |  |                      |
| $u_1(CO)_M$ – nejistota hodnoty vyplývající z nejistoty kalibrace analyzátoru                                | $U_{(CO)_M} = \pm 0,5\%$   | 0,00003 %            |
| $u_2(CO)_M$ – nejistota hodnoty vyplývající z rozlišení displeje   | $\frac{a_{(CO)_M}}{\sqrt{3}} = \frac{0,00005}{\sqrt{3}}$                 | 0,00003 %            |
| $u_3(CO)_M$ – nejistota hodnoty vyplývající z proměnlivosti opakovaných měření                               | $\sqrt{\frac{\sum ((CO)_{M,i} - (\overline{CO})_M)^2}{n \cdot (n - 1)}}$ | 0,00002 %            |
| $u_4(CO)_M$ – nejistota hodnoty vyplývající z kalibračního plynu   | $U_{(CO)_M} = \pm 1\%$   | 0,00006 %            |
| $u(CO)_M = \sqrt{u_1^2(CO)_M + u_2^2(CO)_M + u_3^2(CO)_M + u_4^2(CO)_M} = 0,00008\%$ absolutně               |  |                      |

### Krok 2 – stanovení objemová koncentrace kyslíku $(O_2)_M$

- Objemové koncentrace kyslíku  $(O_2)_M$  se měří v průběhu zkoušky analyzátozem. Rozšířená nejistota kalibrace analyzátoru je udána hodnotou  $U_{(O_2)_M} = \pm 1\%$  relativní. Nejistota  $u_{2(O_2)_M} = U_{(O_2)_M}/2$  vyplývající z nejistoty kalibrace analyzátoru je jednou ze složek standardní nejistoty  $u_{(CO)}$  objemové koncentrace oxidu uhelnatého v suchých spalínách bez přebytku vzduchu.
- Hodnota objemové koncentrace kyslíku  $(O_2)_M$  bude zatížena chybou z nepřesnosti při odečtu z omezeného rozlišení displeje, kde je dána rozlišitelná hodnota  $e = 0,01\%$ . Mezní úchylka činí  $a_{(O_2)_M} = e/2$ . Distribuční model odpovídá rovnoměrnému pravděpodobnostnímu rozdělení a z toho pak je hodnota standardní nejistoty  $u_{2(O_2)_M}$  vyplývající z chyby z nepřesnosti při odečtu z omezené rozlišitelnosti displeje vyjádřena jako  $a_{(O_2)_M}/\sqrt{3}$ .
- Hodnota objemové koncentrace kyslíku  $(O_2)_M$  je kvantifikována z průměrné hodnoty dílčích opakovaných odečtů zaznamenávaných během zkoušky (10 měření). Nejistota  $u_{3(O_2)_M}$  je zatížena nejistotou z proměnlivosti těchto hodnot zahrnující náhodné vlivy

při měření objemové koncentrace kyslíku. Nejistota  $u_{3(O_2)_M}$  je vyhodnocena výběrovou směrodatnou odchylkou aritmetického průměru.

Tabulka 6: Standardní nejistota – kyslíku

| Popis nejistoty  | Výpočet  | Standardní nejistota |
|--|--|----------------------|
|  |  | absolutní            |
| Krok 2 – stanovení objemové koncentrace kyslíku $(O_2)_M = 8,1 \%$<br>Specifikace dílčích nejistot   |  |                      |
| $u_1(O_2)_M$ – nejistota hodnoty vyplývající z nejistoty kalibrace analyzátoru   | $U_{(O_2)_M} = \pm 1 \%$   | 0,04%                |
| $u_2(O_2)_M$ – nejistota hodnoty vyplývající z rozlišení displeje  | $\frac{a_{(O_2)_M}}{\sqrt{3}} = \frac{0,005}{\sqrt{3}}$                    | 0,003%               |
| $u_3(O_2)_M$ – nejistota hodnoty vyplývající z proměnlivosti opakovaných měření  | $\sqrt{\frac{\sum ((O_2)_{M,i} - (\overline{O_2})_M)^2}{n \cdot (n - 1)}}$ | 0,01 %               |
| Hodnota $u_2(O_2)_M$ je zanedbatelná (o několik řádů nižší) neovlivňuje dominantně hodnotu standardní nejistoty.<br>$u(O_2)_M = \sqrt{u_1^2(O_2)_M + u_3^2(O_2)_M} = 0,04\% \text{ absolutně}$ |  |                      |

### 5.1.5 Výpočet rozšířené nejistoty oxidu uhelnatého

Standardní kombinovaná nejistota objemové koncentrace oxidu uhelnatého v suchých spalínách bez přebytku vzduchu se určí dle vztahu (10)

$$u_c(CO) \cong \sqrt{\left(\frac{\partial CO}{\partial (CO)_M}\right)^2 u^2(CO)_M + \left(\frac{\partial CO}{\partial (O_2)_M}\right)^2 u^2(O_2)_M} =$$

$$= \sqrt{1,6^2 \cdot 0,00008^2 + 0,0016^2 \cdot 0,04^2} = \sqrt{1,64 \cdot 10^{-8} + 4,1 \cdot 10^{-9}} = 0,00014 \%$$

Rozšířená nejistota hodnoty objemové koncentrace oxidu uhelnatého v suchých spalínách bez přebytku vzduchu se určí dle vztahu

$$U = k \cdot u_c(CO) = 2 \cdot 0,00014 = 0,00028 \quad \%$$

kde zvolený koeficient rozšíření  $k = 2$  odpovídá hladině spolehlivosti přibližně 95 %.  
Velikost kombinované nejistoty hodnoty objemové koncentrace oxidu uhelnatého je uvedena v tabulce 7.

Tabulka 7: Nejistota při měření objemové koncentrace oxidu uhelnatého

| Popis nejistoty   | Absolutní | Relativní |
|---|-----------|-----------|
| Objemová koncentrace oxidu uhelnatého<br>$CO = 0,0203 \%$ |           |           |
| Standardní kombinovaná nejistota                          | 0,0001 %  | 1 %       |
| Rozšířená nejistota                                       | 0,0003 %  | 2 %       |

#### Uvádění výsledku zkoušky

- $CO = (0,0203 \pm 0,0003) \%$
- hodnota objemové koncentrace oxidu uhelnatého  $CO = 0,0203 \%$  je stanovena s rozšířenou nejistotou  $U = 1,5 \%$  (koeficient rozšíření  $k = 2$ )

Na základě experimentální kvantifikace výsledků při stanovení objemové koncentrace oxidu uhelnatého lze konstatovat, že jako dominantní nejistota se ukazuje nejistota hodnoty stanovení naměřené objemové koncentrace kyslíku, která tvoří 79% příspěvek k nejistotě hodnoty objemové koncentrace oxidu uhelnatého. Posuzovány byly nejistoty v Gaussově zákoně, které vzniknou jako mocnina součinu parciální derivace funkce a příslušné standardní nejistoty veličiny. Nejistota hodnoty měřené objemové koncentrace oxidu uhelnatého tvoří přibližně 21% příspěvek k nejistotě objemové koncentrace oxidu uhelnatého.



## 5.2 Provozní způsobilost – průtok odebírané vody

### 5.2.1 Limitní hodnota

Dle ČSN EN 625 [článek 5.4.1] nesmí být hodnota průtoku odebírané vody naměřená při zkušebních podmínkách pod hodnotou průtoku stanoveného výrobcem více než 5%.

### 5.2.2 Analýza stanovených parametrů

Kotel bude uveden do provozu za použití základního zkušebního plynu a jmenovitého tepelného příkonu. Po ustálení kotle se provedou celkově dva odběry po dobu deseti minut a přitom zaznamenáme teplotu a množství odebrané vody. Z těchto hodnot, získaných při dvou odběrech, se vypočítá pro každý odběr průtok vody podle následujícího vzorce:

dle ČSN EN 625 [článek 6.4.1]

$$D_i = \frac{m_{i(10)}}{10} \cdot \frac{\Delta t}{30} \quad (11)$$

Pro účely SZÚ Brno je používán modifikovaný vzorec, a to z důvodů přepočtu naměřené reálné hodnoty na referenční hodnotu. Vycházíme tedy ze vzorce

$$D_i = \frac{m_{i(10)}}{10} \cdot \frac{\Delta t}{30} \cdot \frac{Q_{jmen}}{Q_B} \quad (12)$$

kde

- $D_i$  je průtok odebírané vody  $D1$  a  $D2$  vypočítaný ze zjištěných hodnot při prvním a druhém odběru v  $l/min$ ;
- $m_{i(10)}$  je objemové množství vody odebrané při odběru v  $l$ ;
- $\Delta t$  je skutečný střední teplotní rozdíl užitkové vody v  $^{\circ}C$ ;
- $Q_{jmen}$  je tepelný příkon jmenovitý v  $kW$ ;
- $Q_B$  je tepelný příkon v  $kW$ ;
- hodnota  $10$  slouží k zohlednění doby deseti minut, hodnota se uvažuje jako konstanta, k nejistotě jejího stanovení je přiřazena nula;
- hodnota  $30$  k zohlednění dané teploty, hodnota se uvažuje jako konstanta, k nejistotě jejího stanovení je přiřazena nula.

Tabulka 8: Hodnoty měřených veličin – průtoku odebírané vody

| Číslo odběru                                | Druh plynu | $Q_{jmen}$ [kW] | $Q_B$ [kW] | $t_{vstup}$ [°C] | $t_{výstup}$ [°C] | Doba odběru vody [min.] | $m_{i(10)}$ [l] |
|---|------------|-----------------|------------|------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|
| 1.  | G20        | 25,6            | 25,4       | 14,1             | 50,8              | -                       | -               |
| 2.  | G20        | 25,6            | 25,4       | 14,0             | 50,8              | -                       | -               |
| 3.  | G20        | 25,6            | 25,4       | 14,1             | 50,9              | -                       | -               |
| 4.  | G20        | 25,6            | 25,4       | 14,1             | 50,9              | -                       | -               |
| 5.  | G20        | 25,6            | 25,4       | 14,1             | 50,9              | -                       | -               |
| 6.  | G20        | 25,6            | 25,4       | 14,0             | 50,8              | -                       | -               |
| 7.  | G20        | 25,6            | 25,4       | 13,9             | 50,9              | -                       | -               |
| 8.  | G20        | 25,6            | 25,4       | 14,1             | 50,9              | -                       | -               |
| 9.  | G20        | 25,6            | 25,4       | 14,1             | 50,9              | -                       | -               |
| 10.   | G20        | 25,6            | 25,4       | 14,0             | 50,9              | -                       | -               |
| Průměrné hodnoty k výpočtu                  |            |                 |            |                  |                   |                         |                 |
| -   | G20        | 25,6            | 25,4       | 14,1             | 50,9              | 10                      | 89,2            |
| Průtok odebírané vody<br>$D_i = 11,0$ l/min |            |                 |            |                  |                   |                         |                 |

Při měření jednotlivých dílčích veličin byla použita měřidla

- vodoměr, teploměr – měřicí ústředna ADIS. (viz tabulka 2.)

### 5.2.3 Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty průtoku odebírané vody

Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty průtoku odebírané vody byl proveden podle Gaussova zákona pro šíření nejistot (4):

$$u_c(D_i) \cong \sqrt{\left(\frac{\partial D_i}{\partial m_{i(10)}}\right)^2 \cdot u^2(m_{i(10)}) + \left(\frac{\partial D_i}{\partial \Delta t}\right)^2 \cdot u^2(\Delta t) + \left(\frac{\partial D_i}{\partial Q_{jmen}}\right)^2 \cdot u^2(Q_{jmen}) + \left(\frac{\partial D_i}{\partial Q_B}\right)^2 \cdot u^2(Q_B)} \quad (13)$$

Tabulka 9: Parciální derivace a jejich hodnoty:

| Parciální derivace  | Hodnota | Parciální derivace   | Hodnota |
|---|---------|--|---------|
| $\frac{\partial D_i}{\partial m_{i(10)}} = \frac{\Delta t \cdot Q_{jmen}}{300 \cdot Q_B}$ | 0,12    | $\frac{\partial D_i}{\partial \Delta t} = \frac{m_i \cdot Q_{jmen}}{300 \cdot Q_B}$              | 0,30    |
| $\frac{\partial D_i}{\partial Q_{jmen}} = \frac{m_i \cdot \Delta t}{300 \cdot Q_B}$       | 0,43    | $\frac{\partial D_i}{\partial Q_B} = -\frac{m_i \cdot \Delta t \cdot Q_{jmen}}{300 \cdot Q_B^2}$ | - 0,43  |

Na základě rozboru modelu pro výpočet hodnoty průtoku odebírané vody (12) a modelu pro odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty průtoku odebírané vody (13) lze konstatovat

- Nejistota hodnoty průtoku odebírané vody  $D_i$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota objemové množství vody  $m_{i(10)}$  (pozorovaná veličina).
- Nejistota hodnoty průtoku odebírané vody  $D_i$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota teplotního rozdílu užitkové vody  $\Delta t$  (pozorovaná veličina).
- Nejistota hodnoty průtoku odebírané vody  $D_i$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota jmenovitého tepelného příkonu  $Q_{jmen.}$  (stanoveno výrobcem).
- Nejistota hodnoty průtoku odebírané vody  $D_i$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota tepelného příkonu  $Q_B$  (hodnota stanovena v bodě 5.5.).

#### 5.2.4 Odhad standardních nejistot rozboru dílčích složek

Stanovení hodnoty průtoku odebírané vody spočívá ve výpočtu z hodnot dle vztahu (12). Standardní kombinovaná nejistota hodnoty průtoku odebírané vody je získána kombinací ze standardních nejistot těchto měřených veličin dle vztahu (13). U parametru objemového množství vody nebyla uvažována hodnota z opakovní měření.

##### Krok 1 – stanovení objemového množství vody $m_{i(10)}$

- Hodnota objemového množství vody  $m_{i(10)}$ , bude zatížena chybou, s jakou odečteme množství vody z vodoměru. Nejistota  $u_1(m_{i(10)})$  bude zatížena chybou z odečtu stupnice měřidla, kde velikost chyby bude závislá na velikosti dílku stupnice  $e_{m_{i(10)}} = 0,001 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ , mezní úchylka činí  $a_{m_{i(10)}} = e_{m_{i(10)}}/2$ . Hodnota standardní nejistoty  $u_1(m_{i(10)})$  vyplývající z chyby odečtu ze stupnice měřidla je vyjádřena  $a_{m_{i(10)}}/\sqrt{3}$ .
- Objemové množství vody  $m_{i(10)}$  je závislé na změření objemu vody vodoměrem, jehož metrologická návaznost je zajištěna kalibrací. Rozšířená nejistota kalibrace vodoměru je udána hodnotou  $U(m_{i(10)}) = 1,5 \%$  (hodnota převzata z kalibračního listu). Nejistota  $u_2(m_{i(10)}) = U(m_{i(10)})/2$  vyplývající z nejistoty kalibrace vodoměru je jednou ze složek

standardní nejistoty  $u(m_{i(10)})$ .

Tabulka 10: Standardní nejistota – objemového množství vody

| Popis nejistoty   | Výpočet                                       | Standardní nejistota |
|---|---|----------------------|
|   |   | absolutní            |
| Krok 1 – stanovení objemového množství vody $m_{i(10)} = 89,2 \text{ l}$                              |   |                      |
| Specifikace dílčích nejistot  |   |                      |
| $u_1(m_{i(10)})$ – nejistota hodnoty vyplývající z odečtu stupnice měřidla                            | $\frac{a_V}{\sqrt{3}} = \frac{0,5}{\sqrt{3}}$ | 0,29 l               |
| $u_2(m_{i(10)})$ – nejistota hodnoty vyplývající z kalibrace vodoměru                                 | $U(V) = 1,5 \%$                               | 0,67 l               |
| $u(m_{i(10)}) = \sqrt{u_1^2(m_{i(10)}) + u_2^2(m_{i(10)})} = \sqrt{0,29^2 + 0,67^2} = 0,73 \text{ l}$ |   |                      |

### Krok 2 – stanovení středního teplotního rozdílu užitkové vody $\Delta t$

- Střední teplotní rozdíl vody  $\Delta t$  je rozdíl mezi teplotou vody výstupní  $t_{\text{výstup}}$  a vstupní  $t_{\text{vstup}}$ , dílčí nejistota teplotního rozdílu užitkové vody je tedy stanovena ze vztahu

$$u(\Delta t) = \sqrt{u_1^2(t_{\text{vstup}}) + u_2^2(t_{\text{výstup}})} \quad (14)$$

- Teplota vody vstupní a výstupní ( $t_{\text{vstup}}, t_{\text{výstup}}$ ) se měří při zkoušce teploměrem, jehož metrologická návaznost je zajištěna kalibrací. Rozšířená nejistota kalibrace teploměru je udána hodnotou  $U(t_{\text{vstup}}, t_{\text{výstup}}) = 1 \%$  relativních (hodnota převzata z kalibračního listu). Nejistota  $u_1(t_{\text{vstup}}, t_{\text{výstup}}) = U(t_{\text{vstup}}, t_{\text{výstup}})/2$  vyplývající z nejistoty kalibrace teploměru je jednou ze složek standardní nejistoty  $u(t_{\text{vstup}}, t_{\text{výstup}})$ .
- Hodnota teplota vody vstupní a výstupní ( $t_{\text{vstup}}, t_{\text{výstup}}$ ) bude zatížena chybou z odečtu z omezené rozlišitelnosti displeje  $e = 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Mezní úchylka je  $a(t_{\text{vstup}}, t_{\text{výstup}}) = e/2$ . Distribuční model odpovídá rovnoměrnému pravděpodobnostnímu rozdělení, a z toho pak je hodnota standardní nejistoty  $u_2(t_{\text{vstup}}, t_{\text{výstup}})$  vyplývající z chyby z nepřesnosti při odečtu z omezené rozlišitelnosti displeje vyjádřena jako  $a(t_{\text{vstup}}, t_{\text{výstup}})/\sqrt{3}$ .
- Hodnota teploty vody vstupní a výstupní ( $t_{\text{vstup}}, t_{\text{výstup}}$ ) je kvantifikována z průměrné hodnoty dílčích opakovaných odečtů zaznamenávaných během zkoušky (10 měření). Nejistota  $u_3(t_{\text{vstup}}, t_{\text{výstup}})$  je zatížena nejistotou z proměnlivosti těchto hodnot zahrnující náhodné vlivy při měření teploty. Nejistota  $u_3(t_{\text{vstup}}, t_{\text{výstup}})$  je vyhodnocena výběrovou směrodatnou odchylkou aritmetického průměru.

Tabulka 11: Standardní nejistota – středního teplotního rozdílu užitkové vody

| Popis nejistoty   | Výpočet   | Standardní nejistota |
|---|---|----------------------|
|   |   | absolutní            |
| Krok 2 – stanovení středního teplotního rozdílu užitkové vody $\Delta t$  |   |                      |
| Specifikace dílčích nejistot  |   |                      |
| $t_{vstup.} = 14,1 \text{ } ^\circ\text{C}$   |   |                      |
| $u_1(t_{vstup})$ – nejistota hodnoty vyplývající z nejistoty kalibrace teploměru  | $U(t_{vstup}) = \pm 1 \%$   | 0,07 °C              |
| $u_2(t_{vstup})$ – nejistota hodnoty vyplývající z rozlišení displeje   | $\frac{a(t_{vstup})}{\sqrt{3}} = \frac{0,05}{\sqrt{3}}$           | 0,03 °C              |
| $u_3(t_{vstup})$ – nejistota hodnoty vyplývající z proměnlivosti opakovaných měření   | $\sqrt{\frac{\sum (t_{vstup, i} - \bar{t}_{vstup})^2}{n(n-1)}}$   | 0,03 °C              |
| $u(t_{vstup}) = \sqrt{u_1^2(t_{vstup}) + u_2^2(t_{vstup}) + u_3^2(t_{vstup})} = 0,08 \text{ } ^\circ\text{C}$ absolutně     |   |                      |
| $t_{výstup.} = 50,9 \text{ } ^\circ\text{C}$  |   |                      |
| $u_1(t_{výstup})$ – nejistota hodnoty vyplývající z nejistoty kalibrace teploměru   | $U(t_{výstup}) = \pm 1 \%$  | 0,25 °C              |
| $u_2(t_{výstup})$ – nejistota hodnoty vyplývající z rozlišení displeje  | $\frac{a(t_{výstup})}{\sqrt{3}} = \frac{0,05}{\sqrt{3}}$          | 0,03 °C              |
| $u_3(t_{výstup})$ – nejistota hodnoty vyplývající z proměnlivosti opakovaných měření  | $\sqrt{\frac{\sum (t_{výstup, i} - \bar{t}_{výstup})^2}{n(n-1)}}$ | 0,02 °C              |
| $u(t_{výstup}) = \sqrt{u_1^2(t_{výstup}) + u_2^2(t_{výstup}) + u_3^2(t_{výstup})} = 0,25 \text{ } ^\circ\text{C}$ absolutně |   |                      |
| $u(\Delta t) = \sqrt{u^2(t_{vstup}) + u^2(t_{výstup})} = 0,26 \text{ } ^\circ\text{C}$ absolutně                            |   |                      |

### Krok 3 – jmenovitý tepelný příkon $Q_{jmen}$

- Jmenovitý tepelný příkon je dán výrobcem. Tato hodnota je brána jako daná, tudíž

$$u(Q_{jmen}) = 0$$

Tabulka 12: Standardní nejistota – jmenovitého příkonu

| Popis nejistoty  | Výpočet           | Standardní nejistota |
|--|-------------------|----------------------|
|  |                   | absolutní            |
| Krok 3 – jmenovitý příkon $Q_{jmen} = 25,6 \text{ kW}$<br>Specifikace dílčích nejistot |                   |                      |
| $u(Q_{jmen})$ – nejistota hodnoty jmenovitého výkonu                                   | $U(Q_{jmen}) = 0$ | 0W                   |
| $u(Q_{jmen}) = 0\%$ relativně  |                   |                      |

#### Krok 4 – tepelný příkon $Q_B$

- Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty tepelného příkonu byl proveden podle metodiky uvedené v kapitole 5.5.

Tabulka 13: Standardní nejistota – příkonu

|   |
|---|
| Krok 4 – tepelný příkon $Q_B = 25,563 \text{ kW}$<br>Specifikace dílčích nejistot |
| $u(Q_B) = 0,04 \text{ kW}$ absolutně  |

#### 5.2.5 Výpočet rozšířené nejistoty hodnoty průtoku odebírané vody

Standardní kombinovaná nejistota průtoku odebírané vody se určí dle vztahu (13)

$$\begin{aligned}
 u_c(D_i) &\cong \sqrt{\left(\frac{\partial D_i}{\partial m_{i(10)}}\right)^2 \cdot u^2(m_{i(10)}) + \left(\frac{\partial D_i}{\partial \Delta t}\right)^2 \cdot u^2(\Delta t) + \left(\frac{\partial D_i}{\partial Q_{jmen}}\right)^2 \cdot u^2(Q_{jmen}) + \left(\frac{\partial D_i}{\partial Q_B}\right)^2 \cdot u^2(Q_B)} = \\
 &= \sqrt{0,12^2 \cdot 0,73^2 + 0,30^2 \cdot 0,26^2 + 0,43^2 \cdot 0 + (-0,43)^2 \cdot 0,04^2} = \\
 &= \sqrt{7,67 \cdot 10^{-3} + 6,08 \cdot 10^{-3} + 0 + 2,96 \cdot 10^{-4}} = 0,12 \text{ l}
 \end{aligned}$$

Rozšířená nejistota hodnoty průtoku odebírané vody se určí dle vztahu

$$U = k \cdot u_c(D_i) = 2 \cdot 0,12 = 0,24 \text{ l / min}$$

kde zvolený koeficient rozšíření  $k = 2$  odpovídá hladině spolehlivosti přibližně 95 %.

Velikost kombinované nejistoty hodnoty průtoku odebírané vody je uvedena v Tabulce 14.

Tabulka 14: Nejistota při stanovení průtoku odebírané vody

| Popis nejistoty                                     | Absolutní | Relativní |
|---|-----------|-----------|
| Průtok odebírané vody<br>$D_i = 11,0 \text{ l/min}$ |           |           |
| Standardní kombinovaná nejistota                    | 0,12 l    | 1,1 %     |
| Rozšířená nejistota                                 | 0,24 l    | 2,2 %     |

**Uvádění výsledku zkoušky:**

- $D_i = (11,0 \pm 0,24) \text{ l/min}$
- hodnota průtoku odebírané vody  $D_i = 11,0 \text{ l/min}$  je stanovena s rozšířenou nejistotou  $U = 2,2 \%$  (koeficient rozšíření  $k = 2$ )

Na základě experimentální kvantifikace výsledků při stanovení průtoku odebírané vody lze konstatovat, že jako hlavní nejistoty ovlivňující výsledek se ukazují nejistota hodnoty stanovení objemového množství vody, která tvoří 55% příspěvek k nejistotě hodnoty průtoku odebírané vody a nejistota hodnoty stanovení středního tepelného rozdílu užitkové vody, která tvoří 43% příspěvek k nejistotě hodnoty průtoku odebírané vody. Posuzovány byly nejistoty v Gaussově zákoně, které vzniknou jako mocnina součinu parciální derivace funkce a příslušné standardní nejistoty veličiny.

## 5.3 Tepelný příkon korigovaný

### 5.3.1 Limitní hodnota

Dle ČSN EN 483 [článek 6.3.1] se tepelný příkon dosažený při zkušebních podmínkách nesmí lišit více než 5 % od jmenovitého tepelného příkonu u kotlů bez členu k seřízení tepelného příkonu, nebo největšího a nejmenšího tepelného příkonu u kotlů se členem k seřízení tepelného příkonu. Jestliže je hodnota těchto 5 % menší než 500 W, tolerance 500 W je přípustná.

### 5.3.2 Analýza stanovených parametrů

Tato zkouška je prováděna pro každý ze základních zkušebních plynů s jmenovitým přetlakem příslušejícím ke kategorii kotle. Objemový průtok paliva  $V$  získaný při těchto podmínkách ( $p_a$ ,  $p_g$ ,  $t_g$ ,  $d$ ) se přepočítává na srovnávací podmínky (tj. 1013,25 mbar, 15 °C, suchý plyn) a přepočítaný tepelný příkon pak počítáme ze vztahu

dle ČSN EN 483 [článek 7.3.1]

$$Q_c = H_i \cdot \frac{10^3}{3600} \cdot V \cdot \sqrt{\frac{1013,25 + p_g}{1013,25} \cdot \frac{p_a + p_g}{1013,25} \cdot \frac{288,15}{273,15 + t_g} \cdot \frac{d}{d_r}} \quad (15)$$

kde:

- $Q_c$  je přepočtený tepelný příkon (1013,25 mbar, 15 °C, suchý plyn) v kW vztažený k výhřevnosti;
- $H_i$  je výhřevnost suchého základního zkušebního plynu při 15 °C, 1013,25 mbar v MJ / m<sup>3</sup>, popřípadě v MJ / kg;
- $V$  je naměřený objemový průtok paliva vyjádřený při naměřených podmínkách vlhkosti, teploty a tlaku v m<sup>3</sup>/hod;
- $p_g$  je naměřený přetlak paliva v mbar;
- $p_a$  je atmosférický tlak v době zkoušky v mbar;
- $t_g$  je naměřená teplota paliva ve °C;
- $d$  je poměrná hustota zkušebního plynu;
- $d_r$  je poměrná hustota základního zkušebního plynu;



- $10^3 \cdot 3600^{-1}$  je konstanta sloužící k převodu jednotek na kW a sekundy, k nejistotě jejího stanovení byla přiřazena nula;
- 1013,25, 273,15 a 288,15 jsou konstanty sloužící k přepočtu na referenční podmínky, k nejistotě jejich stanovení byla přiřazena nula.

Tabulka 15: Hodnoty měřených veličin – tepelný příkon korigovaný

| Hodnoty brané k výpočtu     |  |              |              |            |         |           |
|-----------------------------|--|--------------|--------------|------------|---------|-----------|
| $H_i$ [MJ.m <sup>-3</sup> ] | $V$ [m <sup>3</sup> .hod <sup>-1</sup> ] | $p_g$ [mbar] | $p_a$ [mbar] | $t_g$ [°C] | $d$ [-] | $d_r$ [-] |
| 34,29                       | 2,775                                    | 21,10        | 994,45       | 19,0       | 0,566   | 0,555     |
| Tepelný příkon korigovaný   |  |              |              |            |         |           |
| $Q_c = 26,84$ kW            |  |              |              |            |         |           |

Při měření jednotlivých dílčích veličin byla použita tato měřidla

- membránový plynoměr; staniční barometr; teploměr – měřicí ústředna ADIS; manometr. (viz tabulka 2)

### 5.3.3 Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty tepelného příkonu

Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty tepelného příkonu byl proveden podle Gaussova zákona pro šíření nejistot (4)

$$u_c(Q_c) \cong \sqrt{\left(\frac{\partial Q_c}{\partial H_i}\right)^2 \cdot u^2(H_i) + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial V}\right)^2 \cdot u^2(V) + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial p_g}\right)^2 \cdot u^2(p_g) + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial p_a}\right)^2 \cdot u^2(p_a) + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial t_g}\right)^2 \cdot u^2(t_g) + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial d}\right)^2 \cdot u^2(d) + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial d_r}\right)^2 \cdot u^2(d_r)} \quad (16)$$

Tabulka 16: Parciální derivace a jejich hodnoty

| Parciální derivace  | Hodnota |
|---|---------|
| $\frac{\partial Q_c}{\partial H_i} = \frac{5}{18} \cdot V \sqrt{\frac{(288,15 + 0,284 \cdot p_g) \cdot (0,000987 \cdot p_a + 0,000987 \cdot p_g) \cdot d}{(273,15 + t_g) \cdot d_r}}$ | 0,782   |
| $\frac{\partial Q_c}{\partial V} = \frac{5}{18} \cdot H_i \sqrt{\frac{(288,15 + 0,284 \cdot p_g) \cdot (0,000987 \cdot p_a + 0,000987 \cdot p_g) \cdot d}{(273,15 + t_g) \cdot d_r}}$ | 9,663   |

pokračování

Tabulky 16: Parciální derivace a jejich hodnoty

dokončení

| Parciální derivace   | Hodnota |
|--|---------|
| $\frac{\partial Q_c}{\partial p_g} = \frac{5 \cdot H_i \cdot V \cdot \left( \frac{0,284 \cdot (0,000987 \cdot p_a + 0,000987 \cdot p_g) \cdot d}{(273,15 + t_g) \cdot d_r} + \frac{0,000987 \cdot (288,15 + 0,284 \cdot p_g) \cdot d}{(273,15 + t_g) \cdot d_r} \right)}{36 \cdot \sqrt{\frac{(288,15 + 0,284 \cdot p_g) \cdot (0,000987 \cdot p_a + 0,000987 \cdot p_g) \cdot d}{(273,15 + t_g) \cdot d_r}}}$ | 0,026   |
| $\frac{\partial Q_c}{\partial p_a} = \frac{0,000137 \cdot H_i \cdot V \cdot (288,15 + 0,284 \cdot p_g) \cdot d}{\sqrt{\frac{(288,15 + 0,284 \cdot p_g) \cdot (0,000987 \cdot p_a + 0,000987 \cdot p_g) \cdot d}{(273,15 + t_g) \cdot d_r}} \cdot (273,15 + t_g) \cdot d_g}$  | 0,013   |
| $\frac{\partial Q_c}{\partial t_g} = - \frac{5 \cdot H_i \cdot V \cdot (288,15 + 0,284 \cdot p_g) \cdot (0,000987 \cdot p_a + 0,000987 \cdot p_g) \cdot d}{36 \cdot \sqrt{\frac{(288,15 + 0,284 \cdot p_g) \cdot (0,000987 \cdot p_a + 0,000987 \cdot p_g) \cdot d}{(273,15 + t_g) \cdot d_r}} \cdot (273,15 + t_g)^2 \cdot d_r}$  | -0,046  |
| $\frac{\partial Q_c}{\partial d} = \frac{5 \cdot H_i \cdot V \cdot (288,15 + 0,284 \cdot p_g) \cdot (0,000987 \cdot p_a + 0,000987 \cdot p_g)}{36 \cdot \sqrt{\frac{(288,15 + 0,284 \cdot p_g) \cdot (0,000987 \cdot p_a + 0,000987 \cdot p_g) \cdot d}{(273,15 + t_g) \cdot d_r}} \cdot (273,15 + t_g) \cdot d_r}$  | 23,687  |
| $\frac{\partial Q_c}{\partial d_r} = - \frac{5 \cdot H_i \cdot V \cdot (288,15 + 0,284 \cdot p_g) \cdot (0,000987 \cdot p_a + 0,000987 \cdot p_g) \cdot d}{36 \cdot \sqrt{\frac{(288,15 + 0,284 \cdot p_g) \cdot (0,000987 \cdot p_a + 0,000987 \cdot p_g) \cdot d}{(273,15 + t_g) \cdot d_r}} \cdot (273,15 + t_g) \cdot d_r^2}$  | -24,156 |

Na základě rozboru modelu pro výpočet hodnoty tepelného příkonu (15) a modelu pro odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty tepelného příkonu (16) lze konstatovat

- Nejistota hodnoty tepelného příkonu (korigovaného)  $Q_c$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota výhřevnosti  $H_i$  (převzatá veličina).
- Nejistota hodnoty tepelného příkonu (korigovaného)  $Q_c$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota objemového průtoku paliva  $V$  (pozorovaná veličina).
- Nejistota hodnoty tepelného příkonu (korigovaného)  $Q_c$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota přetlaku paliva  $p_g$  (pozorovaná veličina).
- Nejistota hodnoty tepelného příkonu (korigovaného)  $Q_c$  (výsledek zkoušky) bude

ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota atmosférického tlaku  $p_a$  (pozorovaná veličina).

- Nejistota hodnoty tepelného příkonu (korigovaného)  $Q_c$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena naměřená teplota paliva  $t_g$  (pozorovaná veličina).
- Nejistota hodnoty tepelného příkonu (korigovaného)  $Q_c$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota poměrné hustoty zkušebního plynu  $d$  (převzatá veličina).
- Nejistota hodnoty tepelného příkonu (korigovaného)  $Q_c$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota poměrné hustoty základního zkušebního plynu  $d_r$  (převzatá veličina).

### 5.3.4 Odhad standardních nejistot rozboru dílčích složek

Stanovení hodnoty tepelného příkonu spočívá ve výpočtu z hodnot dle vztahu (15). Standardní kombinovaná nejistota hodnoty tepelného příkonu je získána kombinací ze standardních nejistot těchto měřených veličin dle vztahu (16). Nejistota vyplývající z opakovaných měření nebyla uvažována, a to z důvodu možnosti provedení pouze jednoho zaznamenání hodnot během zkoušky.

#### Krok 1 – stanovení výhřevnosti suchého paliva $H_i$

- Nejistota výhřevnosti suchého paliva je převzata z výsledků rozboru paliva z chemické laboratoře i s danou nejistotou  $u(H_i)$

Tabulka 17: Standardní nejistota – výhřevnosti

|   |
|---|
| Krok 1 – stanovení výhřevnosti suchého paliva $H_i = 34,29 \text{ MJ.m}^{-3}$ |
| Specifikace dílčích nejistot  |
| $u(H_i) = 0,03 \text{ MJ.m}^{-3}$   |

#### Krok 2 – stanovení objemového průtoku paliva $V$

- Objemový průtok paliva  $V$  se měří plynoměrem, jehož metrologická návaznost je zajištěna kalibrací. Rozšířená nejistota kalibrace plynoměru je udána hodnotou  $U(V) = 1 \%$  (převzato z kalibračního listu). Nejistota  $u_1(V) = U(V)/2$  vyplývající z nejistoty kalibrace plynoměru je jednou ze složek standardní nejistoty  $u(V)$ .

- Hodnota objemového průtoku paliva bude zatížena chybou z odečtu ze stupnice měřidla, kde chyba bude závislá na velikosti dílku stupnice  $e_{(V)} = 0,001 \text{ m}^3$ . Mezní úchylka činí  $a_{(V)} = e_{(V)}/2$ . Distribuční model odpovídá rovnoměrnému pravděpodobnostnímu rozdělení a z toho pak je hodnota standardní nejistoty  $u_2(V)$  vyplývající z chyby z nepřesnosti při odečtu ze stupnice vyjádřena jako  $a_{(V)}/\sqrt{3}$ .

Tabulka 18: Standardní nejistota – objemového průtoku paliva

| Popis nejistoty  | Výpočet  | Standardní nejistota |
|--|--|----------------------|
|  |  | absolutní            |
| Krok 2 – stanovení objemového průtoku paliva $V = 2,775 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ |  |                      |
| Specifikace dílčích nejistot   |  |                      |
| $u_1(V)$ – nejistota hodnoty vyplývající z kalibrace plynoměru                             | $U_1(V) = \pm 1\%$                               | 0,014 $\text{m}^3$   |
| $u_2(V)$ – nejistota hodnoty vyplývající z odečtu ze stupnice měřidla                      | $\frac{a_V}{\sqrt{3}} = \frac{0,0005}{\sqrt{3}}$ | 0,0003 $\text{m}^3$  |
| nejistota hodnoty vyplývající z odečtu stupnice je v tomto případě zanedbatelná            |  |                      |
| $u(V) = u_1(V) = 0,014 \text{ m}^3$ absolutně  |  |                      |

### Krok 3 – stanovení naměřeného přetlaku paliva $p_g$

- Hodnota přetlaku paliva  $p_g$  bude zatížena chybou z odečtu ze stupnice manometru, kde velikost chyby bude závislá na velikosti dílku stupnice  $e_{pg} = 0,1 \text{ mbar}$ , mezní úchylka  $a_{pg} = e_{pg}/2$ . Hodnota standardní nejistoty  $u_1(p_g)$  vyplývající z chyby odečtu ze stupnice měřidla je vyjádřena  $a_{pg}/\sqrt{3}$ .

Tabulka 19: Standardní nejistota – přetlaku paliva

| Popis nejistoty  | Výpočet  | Standardní nejistota |
|--|--|----------------------|
|  |  | absolutní            |
| Krok 3 – stanovení naměřeného přetlaku paliva $p_g = 21,10 \text{ mbar}$ |  |                      |
| Specifikace dílčích nejistot   |  |                      |
| $u_1(p_g)$ – nejistota hodnoty vyplývající z odečtu stupnice manometru   | $\frac{a_{p_g}}{\sqrt{3}} = \frac{0,05}{\sqrt{3}}$ | 0,029 mbar           |
| $u(p_g) = u_1(p_g) = 0,029 \text{ mbar}$ absolutně                       |  |                      |

#### Krok 4 – stanovení atmosférického tlaku $p_a$

- Atmosférický tlak  $p_a$  se měří u zkoušky barometrem, jehož metrologická návaznost je zajištěna kalibrací. Rozšířená nejistota kalibrace tlakoměru je udána hodnotou  $U(p_a) = 0,2 \%$  (hodnota převzata z kalibračního listu). Nejistota  $u(p_a) = U(p_a)/2$  vyplývající z nejistoty kalibrace tlakoměru je jednou ze složek standardní nejistoty  $u(p_a)$  atmosférického tlaku.

Tabulka 20: Standardní nejistota – atmosférického tlaku

| Popis nejistoty  | Výpočet               | Standardní nejistota |
|--|-----------------------|----------------------|
|  |                       | absolutní            |
| Krok 4 – stanovení naměřeného atmosférického tlaku $p_a = 994,45$ mbar |                       |                      |
| Specifikace dílčích nejistot   |                       |                      |
| $u_1(p_a)$ – nejistota hodnoty vyplývající z kalibrace tlakoměru       | $U(p_a) = \pm 0,2 \%$ | 0,994 mbar           |
| $u(p_a) = u_1(p_a) = 0,99$ mbar absolutně                              |                       |                      |

#### Krok 5 – stanovení teploty paliva $t_g$

- Teplota paliva  $t_g$  se měří během zkoušky teploměrem, jehož metrologická návaznost je zajištěna kalibrací. Rozšířená nejistota kalibrace teploměru je udána hodnotou  $U(t_g) = 1 \%$  (hodnota převzata z kalibračního listu). Nejistota  $u(t_g) = U(t_g)/2$  vyplývající z nejistoty kalibrace teploměru je jednou ze složek standardní nejistoty  $u(t_g)$  teploty paliva.
- Hodnota teploty paliva  $t_g$  bude zatížena chybou z odečtu z omezené rozlišitelnosti displeje  $e = 0,1$  °C. Mezní úchylka je  $a_{(tg)} = e/2$ . Distribuční model odpovídá rovnoměrnému pravděpodobnostnímu rozdělení a z toho pak je hodnota standardní nejistoty  $u_{2(tg)}$  vyplývající z chyby z nepřesnosti při odečtu z omezené rozlišitelnosti displeje vyjádřena jako  $a_{(tg)}/\sqrt{3}$ .

Tabulka 21: Standardní nejistota – teploty paliva

| Popis nejistoty  | Výpočet  | Standardní nejistota |
|--|--|----------------------|
|  |  | absolutní            |
| Krok 5 – stanovení teploty paliva $t_g = 19\text{ °C}$<br>Specifikace dílčích nejistot |  |                      |
| $u_1(t_g)$ – nejistota hodnoty vyplývající z kalibrace teploměru                       | $U(t_g) = \pm 1\%$                                 | 0,1 °C               |
| $u_2(t_g)$ – nejistota hodnoty vyplývající z odečtu stupnice měřidla                   | $\frac{a_{t_g}}{\sqrt{3}} = \frac{0,05}{\sqrt{3}}$ | 0,029 °C             |
| $u(t_g) = \sqrt{u_1^2(t_g) + u_2^2(t_g)} = 0,1\text{ °C}$ absolutně                    |  |                      |

#### Krok 6 – stanovení poměrné hustoty zkušebního plynu $d$

- Poměrné hustoty zkušebního plynu je stanovena normou ČSN EN 437

Tabulka 22: Standardní nejistota – poměrné hustoty zkušebního plynu

|   |
|---|
| Krok 6 – stanovení poměrné hustoty zkušebního plynu $d = 0,555$ |
| $u(d) = 0$  |

#### Krok 7 – stanovení poměrné hustoty základního zkušebního plynu $d_r$

- Nejistota stanovení poměrné hustoty základního zkušebního plynu  $u(d_r)$  je převzata z chemické laboratoře, odkud je hodnota  $d_r$  zjištěna.

Tabulka 23. Standardní nejistota – poměrné hustoty základního zkušebního plynu

|  |
|--|
| Krok 7 – stanovení poměrné hustoty základního zkušebního plynu $d_r = 0,566$ |
| $u(d_r) = 0,003$   |

### 5.3.5 Výpočet rozšířené nejistoty hodnoty tepelného příkonu (korigovaného)

Standardní kombinovaná nejistota tepelného příkonu se určí dle vztahu (16)

$$\begin{aligned}
 u_c(Q_c) &\cong \sqrt{\left(\frac{\partial Q_c}{\partial H_i}\right)^2 \cdot u^2(H_i) + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial V}\right)^2 \cdot u^2(V) + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial p_g}\right)^2 \cdot u^2(p_g) + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial p_a}\right)^2 \cdot u^2(p_a) +} \\
 &\quad \sqrt{\left(\frac{\partial Q_c}{\partial t_g}\right)^2 \cdot u^2(t_g) + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial d}\right)^2 \cdot u^2(d) + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial d_r}\right)^2 \cdot u^2(d_r)} = \\
 &= \sqrt{5,5 \cdot 10^{-4} + 0,018 + 5,68 \cdot 10^{-7} + 1,66 \cdot 10^{-4} + 2,1 \cdot 10^{-5} + 0 + 5,25 \cdot 10^{-3}} = \\
 &= 0,15 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Rozšířená nejistota hodnoty tepelného příkonu korigovaného se určí dle vztahu

$$U = k \cdot u_c(Q_c) = 2 \cdot 0,15 = 0,30 \text{ kW}$$

kde zvolený koeficient rozšíření  $k = 2$  odpovídá hladině spolehlivosti přibližně 95 %.  
Velikost kombinované nejistoty hodnoty tepelného příkonu korigovaného je uvedena v Tabulce 24.

Tabulka 24: Nejistota při měření tepelného příkonu korigovaného

| Popis nejistoty                                       | Absolutní | Relativní |
|---|-----------|-----------|
| Tepelný příkon korigovaný<br>$Q_c = 26,84 \text{ kW}$ |           |           |
| Standardní kombinovaná nejistota                      | 0,15 kW   | 0,6 %     |
| Rozšířená nejistota                                   | 0,30 kW   | 1,5 %     |

#### Uvádění výsledku zkoušky

- $Q_c = (26,84 \pm 0,30) \text{ kW}$
- hodnota tepelného příkonu korigovaného  $Q_c = 26,84 \text{ kW}$  je stanovena s rozšířenou nejistotou  $U = 1,5 \%$  (koeficient rozšíření  $k = 2$ )

Na základě experimentální kvantifikace výsledků při stanovení korigovaného tepelného příkonu lze konstatovat, že jako hlavní nejistoty ovlivňující výsledek se ukazují nejistota hodnoty stanovení objemového průtoku paliva, která tvoří 75% příspěvek k nejistotě hodnoty korigovaného tepelného příkonu a nejistota hodnoty stanovení poměrné hustoty základního zkušebního plynu, která tvoří 22% příspěvek k nejistotě hodnoty korigovaného tepelného příkonu. Posuzovány byly nejistoty v Gaussově zákoně, které vzniknou jako mocnina součinu parciální derivace funkce a příslušné standardní nejistoty veličiny.

## 5.4 Tepelný výkon

### 5.4.1 Limitní hodnota

Tepelný výkon stanovený při zkušebních podmínkách není menší než jmenovitý tepelný výkon.

### 5.4.2 Analýza stanovených parametrů

Zkouška probíhá po dobu jedné hodiny. Na začátku zkoušky bude nastaveno na teplotní ústředně zaznamenávání teplot a odečtena počáteční hodnota vodoměru. Na konci zkoušky bude odečtena konečná hodnota stavu vodoměru a stanovena hodnota přepočteného množství vody. Pomocí teplot je určena tepelná ztráta zkušebního okruhu. Pro výpočet tepelného výkonu byla použita část vzorce pro výpočet účinnosti

dle ČSN EN 483 [článek 7.7.1]

$$Q = 4,186 \cdot m \cdot (t_2 - t_1) + D_p \quad (17)$$

Pro účely SZÚ Brno byla konstanta (4,186), která představuje hodnotu střední měrné tepelné kapacity vody, nahrazena konstantou  $c_{pk}$  střední měrné tepelné kapacity. Tímto se dosahuje přesnějších výsledků. Množství vody je děleno hodnotou 3600, čímž je přepočteno množství vody za sekundu. Výpočet provedeme dle vztahu

$$Q = c_{pk} \cdot \frac{m}{3600} \cdot (t_2 - t_1) + D_p \quad (18)$$

kde

- $Q$  je tepelný výkon v kW;
- $c_{pk}$  je střední měrná tepelná kapacita vody v  $\text{kJ} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$ ;
- $m$  je přepočtené množství vody v kg – přepočtené dle vztahu:  $m = V \cdot \rho$  ;      (19)
- $t_1$  je teplota chladicí vody v  $^{\circ}\text{C}$ ;
- $t_{ok}$  je teplota okolí v  $^{\circ}\text{C}$ ;
- $t_2$  je teplota výstupní otopné vody v  $^{\circ}\text{C}$ ;



- $D_p$  je tepelná ztráta zkušební okruhu vyjádřená v kJ;
- $V$  je objem vody;
- $\rho$  je hustota vody v  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ;
- 3600 je konstanta, k nejistotě jejího stanovení byla přiřazena nula.

Tabulka 25: Hodnoty měřených veličin – tepelný výkon

| Číslo měření                            | $c_{pk}$<br>[kJ.kg <sup>-1</sup> -K <sup>-1</sup> ] | $m$<br>[kg] | $t_2$<br>[°C] | $t_1$<br>[°C] | $D_p$<br>[kW] | $t_{ok}$<br>[°C] |
|---|---|-------------|---------------|---------------|---------------|------------------|
| 1.                                      | 4,1767  | -           | 79,6          | 15,1          | -             | 20,6             |
| 2.                                      | 4,1767  | -           | 79,6          | 15,2          | -             | 20,6             |
| 3.                                      | 4,1767  | -           | 79,6          | 15,1          | -             | 20,6             |
| 4.                                      | 4,1767  | -           | 79,6          | 15,1          | -             | 20,6             |
| 5.                                      | 4,1767  | -           | 79,7          | 15,0          | -             | 20,6             |
| 6.                                      | 4,1767  | -           | 79,6          | 15,1          | -             | 20,6             |
| 7.                                      | 4,1767  | -           | 79,6          | 15,1          | -             | 20,6             |
| 8.                                      | 4,1767  | -           | 79,6          | 15,2          | -             | 20,6             |
| 9.                                      | 4,1767  | -           | 79,7          | 15,2          | -             | 20,7             |
| 10.                                     | 4,1767  | -           | 79,7          | 15,1          | -             | 20,7             |
| Průměrné hodnoty k výpočtu              |   |             |               |               |               |                  |
| -                                       | 4,1767  | 317,7       | 79,6          | 15,1          | 0,07174       | 20,6             |
| Tepelný výkon<br>$Q = 23,85 \text{ kW}$ |   |             |               |               |               |                  |

Při měření jednotlivých dílčích veličin byla použita tato měřidla

- vodoměr; teploměr – měřicí ústředna ADIS. (viz tabulka 2)

### 5.4.3 Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty tepelného výkonu

Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty tepelného výkonu byl proveden podle Gaussova zákona pro šíření nejistot (4)

$$u_c(Q) \cong \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial c_{pk}}\right)^2 \cdot u^2(c_{pk}) + \left(\frac{\partial Q}{\partial m}\right)^2 \cdot u^2(m) + \left(\frac{\partial Q}{\partial t_2}\right)^2 \cdot u^2(t_2) + \left(\frac{\partial Q}{\partial t_1}\right)^2 \cdot u^2(t_1) + \left(\frac{\partial Q}{\partial D_p}\right)^2 \cdot u^2(D_p)} \quad (20)$$

Tabulka 26: Parciální derivace a jejich hodnoty

| Parciální derivace  | Hodnota | Parciální derivace  | Hodnota | Parciální derivace                    | Hodnota |
|---|---------|---|---------|---------------------------------------|---------|
| $\frac{\partial Q}{\partial c_{pk}} = \frac{m \cdot (t_2 - t_1)}{3600}$ | 5,692   | $\frac{\partial Q}{\partial m} = \frac{c_{pk} \cdot (t_2 - t_1)}{3600}$ | 0,075   | $\frac{\partial Q}{\partial D_p} = 1$ | 1       |
| $\frac{\partial Q}{\partial t_2} = \frac{c_{pk} \cdot m}{3600}$         | 0,369   | $\frac{\partial Q}{\partial t_1} = -\frac{c_{pk} \cdot m}{3600}$        | -0,369  | -                                     | -       |

Na základě rozboru modelu pro výpočet hodnoty tepelného výkonu (18) a modelu pro odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty tepelného výkonu (20) lze konstatovat

- Nejistota hodnoty tepelného výkonu  $Q$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota střední měrné tepelné kapacity vody  $c_{pk}$  (převzatá veličina).
- Nejistota hodnoty tepelného výkonu  $Q$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota přepočteného množství vody  $m$  (pozorovaná veličina).
- Nejistota hodnoty tepelného výkonu  $Q$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota teploty vstupní otopné vody  $t_2$  (pozorovaná veličina).
- Nejistota hodnoty tepelného výkonu  $Q$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota teploty výstupní otopné vody  $t_1$  (pozorovaná veličina).
- Nejistota hodnoty tepelného výkonu  $Q$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota tepelné ztráty zkušební okruhu  $D_p$  (pozorovaná veličina).

#### 5.4.4 Odhad standardních nejistot rozboru dílčích složek

Stanovení hodnoty tepelného výkonu spočívá ve výpočtu z hodnot dle vztahu (18). Standardní kombinovaná nejistota hodnoty tepelného výkonu je získána kombinací ze standardních nejistot těchto měřených veličin dle vztahu (20). Nejistota vyplývající z opakovaných měření byla brána v úvahu jen tam, kde bylo možné během zkoušky uskutečnit vícenásobné odečtení hodnot.

##### Krok 1 – stanovení střední měrné tepelné kapacity vody $c_{pk}$

- Střední měrná tepelná kapacita vody je tabelovaná hodnota. Tato hodnota střední měrné kapacity vody se udává s přesností  $\pm 0,5 \text{ J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$  (mezní úchylka  $\pm a_{c_{pk}} = \pm 0,0005$

$\text{kJ} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$ ). Hodnota standardní nejistoty  $u(c_{pk})$  střední měrné tepelné kapacity vody je podle distribučního modelu, odpovídajícímu rovnoměrnému pravděpodobnostnímu rozdělení, vyjádřena jako  $a_{c_{pk}}/\sqrt{3}$ .

Tabulka 27: Standardní nejistota – střední měrné tepelné kapacity

| Popis nejistoty  | Výpočet   | Standardní nejistota                                      |
|--|---|---|
|  |   | absolutní   |
| Krok 1 – stanovení střední měrné tepelné kapacity vody $c_{pk} = 4,177 \text{ kJ} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$ |   |   |
| Specifikace dílčích nejistot   |   |   |
| $u_1(c_{pk})$ – nejistota hodnoty vyplývající z přesnosti stanovení  | $\frac{a_{c_{pk}}}{\sqrt{3}} = \frac{0,0005}{\sqrt{3}}$ | $0,0003 \text{ kJ} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$ |
| $u(c_{pk}) = u_1(c_{pk}) = 0,0003 \text{ kJ} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$ absolutně                            |   |   |

### Krok 2 – stanovení přepočteného množství vody $m$

- Hodnota přepočteného množství vody  $m$ , bude zatížena chybou, s jakou odečteme množství vody z vodoměru. Nejistota  $u_1(V)$  bude zatížena chybou z odečtu stupnice měřidla, kde velikost chyby bude závislá na velikosti dílku stupnice  $e_V = 0,001 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ , mezní úchylka činí  $a_V = e_V/2$ . Hodnota standardní nejistoty  $u_1(m)$  vyplývající z chyby odečtu ze stupnice měřidla je vyjádřena  $a_V/\sqrt{3}$ .
- Přepočtené množství vody  $m$  je závislé na změření objemu vody  $V$  vodoměrem, jehož metrologická návaznost je zajištěna kalibrací. Rozšířená nejistota kalibrace vodoměru je udána hodnotou  $U(V) = 1,5 \%$  (hodnota převzata z kalibračního listu). Nejistota  $u_2(V) = U(V)/2$  vyplývající z nejistoty kalibrace vodoměru je jednou ze složek standardní nejistoty  $u(m)$ .
- Přepočtené množství vody  $m$  je závislé na stanovení hustoty vody  $\rho$ . Hustota vody  $\rho$  je tabelovaná hodnota. Tato hodnota hustoty vody se udává s přesností  $\pm 0,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  (mezní úchylka  $\pm a_\rho = \pm 0,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ). Hodnota standardní nejistoty  $u_3(m)$  hustoty vody je podle distribučního modelu, odpovídajícímu rovnoměrnému pravděpodobnostnímu rozdělení, vyjádřena jako  $a_\rho/\sqrt{3}$ .

Tabulka 28: Standardní nejistota – přepočteného množství vody

| Popis nejistoty   | Výpočet   | Standardní nejistota                                    |
|---|---|---|
|   |   | absolutní   |
| Krok 2 – stanovení přepočteného množství vody $m = 317,7$ kg  |   |   |
| Specifikace dílčích nejistot  |   |   |
|   |   | $V = 0,318 \text{ m}^3$                                 |
| $u_1(V)$ – nejistota hodnoty vyplývající z odečtu stupnice měřidla  | $\frac{a_V}{\sqrt{3}} = \frac{0,0005}{\sqrt{3}}$  | 0,0003 m <sup>3</sup>                                   |
| $u_2(V)$ – nejistota hodnoty vyplývající z kalibrace vodoměru   | $U(V) = 1,5 \%$                                   | 0,002 m <sup>3</sup>                                    |
|   |   | $u(V) = \sqrt{u_1^2(V) + u_2^2(V)} = 0,002 \text{ m}^3$ |
|   |   | $\rho = 999 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$             |
| $u(\rho)$ – nejistota hodnoty vyplývající z přesnosti stanovení   | $\frac{a_\rho}{\sqrt{3}} = \frac{0,25}{\sqrt{3}}$ | 0,14 kg·m <sup>-3</sup>                                 |
| $u(m) = m \cdot \sqrt{\left(\frac{u(V)}{V}\right)^2 + \left(\frac{u(\rho)}{\rho}\right)^2} = 1,99 \text{ kg}$ absolutně |   |   |

### Krok 3 – stanovení teploty vstupní otopné vody $t_1$

- Teplota vstupní otopné vody  $t_1$  se měří průběžně během zkoušky teploměrem, jehož metrologická návaznost je zajištěna kalibrací. Rozšířená nejistota kalibrace teploměru je udána hodnotou  $U(t_1) = 1 \%$  (hodnota převzata z kalibračního listu). Nejistota  $u(t_1) = U(t_1)/2$  vyplývající z nejistoty kalibrace teploměru je jednou ze složek standardní nejistoty  $u(t_1)$  teploty vstupní otopné vody.
- Hodnota teploty vstupní otopné vody  $t_1$  bude zatížena chybou z odečtu z omezené rozlišitelnosti displeje  $e = 0,1 \text{ °C}$ . Mezní úchylnka činí  $a_{(t_1)} = e/2$ . Distribuční model odpovídá rovnoměrnému pravděpodobnostnímu rozdělení a z toho pak je hodnota standardní nejistoty  $u_{2(t_1)}$  vyplývající z chyby z nepřesnosti při odečtu z omezené rozlišitelnosti displeje vyjádřena jako  $a_{(t_1)}/\sqrt{3}$ .
- Hodnota teploty vstupní otopné vody  $t_1$  je kvantifikována z průměrné hodnoty dílčích opakovaných odečtů zaznamenávaných během zkoušky (10 měření). Nejistota  $u_{3(t_1)}$  je zatížena nejistotou z proměnlivosti těchto hodnot zahrnující náhodné vlivy při měření

teploty. Nejistota  $u_{3(t_1)}$  je vyhodnocena výběrovou směrodatnou odchylkou aritmetického průměru.

Tabulka 29: Standardní nejistota – teploty vstupní otopné vody

| Popis nejistoty  | Výpočet   | Standardní nejistota |
|--|---|----------------------|
|  |   | absolutní            |
| Krok 3 – stanovení teploty vstupní otopné vody $t_1=15,1$ °C<br>Specifikace dílčích nejistot |   |                      |
| $u_1(t_1)$ – nejistota hodnoty vyplývající z kalibrace teploměru                             | $U(t_1) = \pm 1\%$  | 0,08 °C              |
| $u_2(t_1)$ – nejistota hodnoty vyplývající z odečtu stupnice měřidla                         | $\frac{a_{t_1}}{\sqrt{3}} = \frac{0,05}{\sqrt{3}}$            | 0,029 °C             |
| $u_3(t_1)$ – nejistota hodnoty vyplývající z proměnlivosti opakovaných měření                | $\sqrt{\frac{\sum (t_{1,i} - \bar{t}_1)^2}{n \cdot (n - 1)}}$ | 0,02 °C              |
| $u(t_1) = \sqrt{u_1^2(t_1) + u_2^2(t_1) + u_3^2(t_1)} = 0,09$ °C absolutně                   |   |                      |

#### Krok 4 – stanovení teploty výstupní otopné vody $t_2$

- Teplota výstupní otopné vody  $t_2$  se měří průběžně během zkoušky teploměrem, jehož metrologická návaznost je zajištěna kalibrací. Rozšířená nejistota kalibrace teploměru je udána hodnotou  $U(t_2)= 1\%$  (hodnota převzata z kalibračního listu). Nejistota  $u(t_2) = U(t_2)/2$  vyplývající z nejistoty kalibrace teploměru je jednou ze složek standardní nejistoty  $u(t_2)$  teploty výstupní otopné vody.
- Hodnota teploty výstupní otopné vody  $t_2$  bude zatížena chybou z odečtu z omezené rozlišitelnosti displeje  $e = 0,1$  °C. Mezní úchylka činí  $a_{(t_2)} = e/2$ . Distribuční model odpovídá rovnoměrnému pravděpodobnostnímu rozdělení a z toho pak je hodnota standardní nejistoty  $u_{2(t_2)}$  vyplývající z chyby z nepřesnosti při odečtu z omezené rozlišitelnosti displeje vyjádřena jako  $a_{(t_2)}/\sqrt{3}$ .
- Hodnota teploty výstupní otopné vody  $t_2$  je kvantifikována z průměrné hodnoty dílčích opakovaných odečtů zaznamenávaných během zkoušky (10 měření). Nejistota  $u_{3(t_2)}$  je zatížena nejistotou z proměnlivosti těchto hodnot zahrnující náhodné vlivy při měření teploty. Nejistota  $u_{3(t_2)}$  je vyhodnocena výběrovou směrodatnou odchylkou aritmetického průměru.

Tabulka 30: Standardní nejistota – teploty výstupní otopné vody

| Popis nejistoty   | Výpočet   | Standardní nejistota |
|---|---|----------------------|
|   |   | absolutní            |
| Krok 4 – stanovení teploty výstupní otopné vody $t_2 = 79,6 \text{ °C}$           |   |                      |
| Specifikace dílčích nejistot  |   |                      |
| $u_1(t_2)$ – nejistota hodnoty vyplývající z kalibrace teploměru                  | $U(t_2) = \pm 1 \%$   | 0,4 °C               |
| $u_2(t_2)$ – nejistota hodnoty vyplývající z odečtu stupnice měřidla              | $\frac{a_{t_2}}{\sqrt{3}} = \frac{0,05}{\sqrt{3}}$            | 0,029 °C             |
| $u_3(t_2)$ – nejistota hodnoty vyplývající z proměnlivosti opakovaných měření     | $\sqrt{\frac{\sum (t_{2,i} - \bar{t}_2)^2}{n \cdot (n - 1)}}$ | 0,02 °C              |
| $u(t_2) = \sqrt{u_1^2(t_2) + u_2^2(t_2) + u_3^2(t_2)} = 0,4 \text{ °C}$ absolutně |   |                      |

### Krok 5 – stanovení tepelné ztráty zkušební okruhu $D_p$

- Tepelná ztráta zkušební okruhu  $D_p$  je určena z experimentálně stanovené rovnice  $D_p = 1,9349 \cdot \Delta t - 21,811$ . Hodnoty 1,9349 a 21,811 jsou konstanty exaktně stanovené. Pro určení nejistoty tepelné ztráty zkušební okruhu bereme v potaz jen rozdíl teplot  $\Delta t$ . Nejistota  $u(D_p) = u(\Delta t)$ .

Tabulka 31: Standardní nejistota – ztráty zkušební okruhu

| Popis nejistoty   | Výpočet   | Standardní nejistota |
|---|---|----------------------|
|   |   | absolutní            |
| Krok 5 – stanovení tepelné ztráty zkušební okruhu $D_p = 0,07174$   |   |                      |
| Specifikace dílčích nejistot  |   |                      |
| $u_c(\Delta t) \cong \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta t}{\partial t_2}\right)^2 \cdot u^2(t_2) + \left(\frac{\partial \Delta t}{\partial t_3}\right)^2 \cdot u^2(t_3) + \left(\frac{\partial \Delta t}{\partial t_{ok}}\right)^2 \cdot u^2(t_{ok})}$ | $\left(\frac{\partial \Delta t}{\partial t_{ok}}\right) = -1$ $\left(\frac{\partial \Delta t}{\partial t_2}\right) = 0,5$ $\left(\frac{\partial \Delta t}{\partial t_3}\right) = 0,5$ |                      |
| $t_3 = 58,3 \text{ °C}$   |   |                      |
| $u_1(t_3)$ – nejistota hodnoty vyplývající z kalibrace teploměru  | $U(t_3) = \pm 1 \%$   | 0,29 °C              |

pokračování

Tabulky 31: Standardní nejistota – ztráty zkušební okruhu dokončení

|  |   |           |
|--|---|-----------|
| $u_2(t_3)$ – nejistota hodnoty vyplývající z odečtu stupnice měřidla   | $\frac{a_{t_3}}{\sqrt{3}} = \frac{0,05}{\sqrt{3}}$                | 0,029 °C  |
| $u_3(t_3)$ – nejistota hodnoty vyplývající z proměnlivosti opakovaných měření  | $\sqrt{\frac{\sum (t_{3,i} - \bar{t}_3)^2}{n \cdot (n - 1)}}$     | 0,016 °C  |
| $u(t_3) = \sqrt{u_1^2(t_3) + u_2^2(t_3) + u_3^2(t_3)} = 0,29^\circ\text{C}$  |   |           |
| $t_{ok} = 20,6^\circ\text{C}$  |   |           |
| $u_1(t_{ok})$ – nejistota hodnoty vyplývající z kalibrace teploměru  | $U(t_{ok}) = \pm 1\%$   | 0,10 °C   |
| $u_2(t_{ok})$ – nejistota hodnoty vyplývající z odečtu stupnice měřidla  | $\frac{a_{t_{ok}}}{\sqrt{3}} = \frac{0,05}{\sqrt{3}}$             | 0,029 °C  |
| $u_3(t_{ok})$ – nejistota hodnoty vyplývající z proměnlivosti opakovaných měření   | $\sqrt{\frac{\sum (t_{ok,i} - \bar{t}_{ok})^2}{n \cdot (n - 1)}}$ | 0,015 °C  |
| $u(t_{ok}) = \sqrt{u_1^2(t_{ok}) + u_2^2(t_{ok}) + u_3^2(t_{ok})} = 0,10^\circ\text{C}$  |   |           |
| $u(t_2) = 0,16^\circ\text{C}$  |   |           |
| $u_c(\Delta t) \cong \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta t}{\partial t_2}\right)^2 \cdot u^2(t_2) + \left(\frac{\partial \Delta t}{\partial t_3}\right)^2 \cdot u^2(t_3) + \left(\frac{\partial \Delta t}{\partial t_{ok}}\right)^2 \cdot u^2(t_{ok})} = 0,19^\circ\text{C}$ |   | absolutně |
| $u_c(\Delta t) = 0,39\% \text{ relativně} \Rightarrow u_c(\Delta Dp) = 0,39\%$   |   |           |

### 5.4.5 Výpočet rozšířené nejistoty hodnoty tepelného výkonu

Standardní kombinovaná nejistota tepelného výkonu se určí dle vztahu (20)

$$\begin{aligned}
 u_c(Q) &\cong \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial c_{pk}}\right)^2 \cdot u^2(c_{pk}) + \left(\frac{\partial Q}{\partial m}\right)^2 \cdot u^2(m) + \left(\frac{\partial Q}{\partial t_2}\right)^2 \cdot u^2(t_2) + \left(\frac{\partial Q}{\partial t_1}\right)^2 \cdot u^2(t_1) + \left(\frac{\partial Q}{\partial D_p}\right)^2 \cdot u^2(D_p)} = \\
 &= \sqrt{5,692^2 \cdot 0,0003^2 + 0,075^2 \cdot 1,99^2 + 0,367^2 \cdot 0,4^2 + (-0,367)^2 \cdot 0,09^2 + 1^2 \cdot 0,03^2} = \\
 &= \sqrt{2,9 \cdot 10^{-6} + 0,022 + 0,021 + 1,1 \cdot 10^{-3} + 9 \cdot 10^{-4}} = 0,21 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Rozšířená nejistota hodnoty tepelného výkonu se určí dle vztahu:

$$U = k \cdot u_c(Q) = 2 \cdot 0,21 = 0,42 \text{ kW}$$

kde zvolený koeficient rozšíření  $k = 2$  odpovídá hladině spolehlivosti přibližně 95 %.

Velikost kombinované nejistoty hodnoty tepelného výkonu je uvedena v tabulce 32.

Tabulka 32: Nejistota při měření tepelného výkonu

| Popis nejistoty                         | Absolutní | Relativní |
|---|-----------|-----------|
| Tepelný výkon<br>$Q = 23,85 \text{ kW}$ |           |           |
| Standardní kombinovaná nejistota        | 0,21 kW   | 0,9 %     |
| Rozšířená nejistota                     | 0,42 kW   | 1,8 %     |

#### Uvádění výsledku zkoušky

- $Q = (23,85 \pm 0,42) \text{ kW}$
- hodnota tepelného výkonu  $Q = 23,85 \text{ kW}$  je stanovena s rozšířenou nejistotou  $U = 1,8 \%$  (koeficient rozšíření  $k = 2$ )

Na základě experimentální kvantifikace výsledků při stanovení tepelného výkonu lze konstatovat, že jako hlavní nejistoty ovlivňující výsledek se ukazují nejistota hodnoty stanovení přepočteného množství vody, která tvoří 49% příspěvek k nejistotě hodnoty tepelného výkonu, a nejistota hodnoty stanovení výstupní otopné vody, která tvoří 47% příspěvek k nejistotě hodnoty tepelného výkonu. Posuzovány byly nejistoty v Gaussově zákoně, které vzniknou jako mocnina součinu parciální derivace funkce a příslušné standardní nejistoty veličiny.



## 5.5 Tepelný příkon

### 5.5.1 Limitní hodnoty

U kotlů, které mohou být spuštěny při tepelném příkonu nižším než jmenovitý tepelný příkon, se ověřuje, zda tepelný příkon při spuštění kotle nepřekročí tepelný příkon při spuštění daný výrobcem.

### 5.5.2 Analýza stanovených parametrů

Zkouška bude provedena za tepelně ustáleného stavu kotle. Tepelný příkon bude určen ze vztahu

dle ČSN EN 483 [článek 7.7.1]

$$Q_B = 10^3 \cdot V_{r(10)} \cdot H_i \quad (21)$$

Pro naše podmínky počítáme se vztahem s konstantou  $5/18$ , která slučuje  $10^3$  k převodu z MJ na KJ a  $1/3600$  k převodu spotřeby na  $m^3$  za  $s$ . Použijeme tedy vztah

$$Q_B = \frac{5}{18} \cdot V_{r(10)} \cdot H_i \quad (22)$$

kde

- $Q_B$  je tepelný příkon ve  $W$ ;
- $V_{r(10)}$  je spotřeba paliva v  $m^3$  zjištěná během zkoušky, přepočtená na teplotu  $15\text{ }^\circ\text{C}$  a tlak  $1013,25\text{ mbar}$ ;
- $H_i$  je výhřevnost použitého paliva v  $MJ/m^3$  při  $15\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $1013,25\text{ mbar}$ , suché palivo;
- $5/18$  je konstanta sloužící k převodu z  $MJ$  na  $KJ$  a převodu spotřeby na  $m^3$  za  $s$ , k nejistotě jejího stanovení je přiřazena nula.

$V_{r(10)}$  bylo vypočteno ze vztahu používaného v SZÚ Brno, k přepočtu spotřeby paliva v  $m^3$  na referenční podmínky ( $15\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $1013,25\text{ mbar}$ ):

$$V_{r(10)} = f \cdot V \quad (23)$$

kde

- $V$  je naměřený objemový průtok paliva vyjádřený při naměřených podmínkách vlhkosti, teploty a tlaku v  $m^3/hod$ ;

- $f$  je námi nazvaný faktor

$$f = \frac{p_a + p_g - p_s}{1013,25} \cdot \frac{288,15}{273,15 + t_g} \quad (24)$$

- $p_g$  je naměřený přetlak paliva v  $mbar$ ;
- $p_a$  je atmosférický tlak v době zkoušky v  $mbar$ ;
- $p_s$  je parciální tlak v  $mbar$ ;
- $t_g$  je naměřená teplota paliva ve  $^{\circ}C$ ;
- hodnoty  $1013,25$ ;  $273,15$ ;  $288,15$  jsou konstanty sloužící k převodu na referenční podmínky, k nejistotě jejich stanovení byla přiřazena nula.

Tabulka 33: Hodnoty měřených veličin – tepelný příkon

| Hodnoty brané k výpočtu             |                              |                  |                  |                       |                  |
|-------------------------------------|------------------------------|------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| $H_i$ [ $MJ \cdot m^{-3}$ ]         | $V$ [ $m^3 \cdot hod^{-1}$ ] | $p_g$ [ $mbar$ ] | $p_a$ [ $mbar$ ] | $t_g$ [ $^{\circ}C$ ] | $p_s$ [ $mbar$ ] |
| 34,29                               | 2,775                        | 21,09            | 994,45           | 19,0                  | 21,98            |
| tepelný příkon<br>$Q_B = 25,563$ kW |                              |                  |                  |                       |                  |

Při měření jednotlivých dílčích veličin byla použita tato měřidla:

- membránový plynoměr; tlakoměr; teploměr – měřicí ústředna ADIS; manometr. (viz tabulka 2)

### 5.5.3 Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty tepelného příkonu

Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty tepelného příkonu byl proveden podle Gaussova zákona pro šíření nejistot (4)

$$u_c(Q_B) \cong \sqrt{\left(\frac{\partial Q_B}{\partial V_{r(10)}}\right)^2 \cdot u^2(V_{r(10)}) + \left(\frac{\partial Q_B}{\partial H_i}\right)^2 \cdot u^2(H_i)} \quad (25)$$

V tomto případě se jedná o vícenásobnou funkční závislost multiplikativního charakteru, můžeme rovnici tedy vyjádřit dle vztahu

$$u_c(Q_B) \cong Q_B \cdot \sqrt{\left(\frac{u(V_{r(10)})}{V_{r(10)}}\right)^2 + \left(\frac{u(H_i)}{H_i}\right)^2} \quad (26)$$

Na základě rozboru modelu pro výpočet hodnoty tepelného příkonu (22) a modelu pro odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty tepelného příkonu (26) lze konstatovat

- Nejistota hodnoty tepelného příkonu  $Q_B$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota výhřevnosti  $H_i$  (převzatá veličina).
- Nejistota hodnoty tepelného příkonu  $Q_B$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota spotřeby paliva  $V_{r(10)}$  (převzatá veličina).

#### 5.5.4 Odhad standardních nejistot rozboru dílčích složek

Stanovení hodnoty tepelného příkonu spočívá ve výpočtu z hodnot dle vztahu (22). A standardní kombinovaná nejistota hodnoty tepelného příkonu je získána kombinací ze standardních nejistot těchto měřených veličin dle vztahu (26).

##### Krok 1 – stanovení výhřevnosti suchého paliva $H_i$

- Nejistota výhřevnosti suchého paliva je převzata z výsledků rozboru paliva z chemické laboratoře i s danou nejistotou  $u(H_i)$ .

Tabulka 34: Standardní nejistota – výhřevnosti suchého paliva

|  |
|--|
| Krok 1 – stanovení výhřevnosti suchého paliva $H_i = 34, 29 \text{ MJ.m}^{-3}$ |
| Specifikace dílčích nejistot   |
| $u(H_i) = 0, 03 \text{ MJ.m}^{-3}$ absolutně                                   |

##### Krok 2 – stanovení přepočtené spotřeby paliva $V_{r(10)}$

- Nejistota spotřeby paliva  $u(V_{r(10)})$  je složena z dílčích nejistot, její rozbor a postup výpočtu je přiložen v příloze A.

Tabulka 35: Standardní nejistota – spotřeby paliva

|  |
|--|
| Krok 8 – stanovení spotřeby paliva $V_{r(10)} = 2,671 \text{ m}^3$ |
| Specifikace dílčích nejistot                                       |
| $u(V_{r(10)}) = 0,014$ absolutně                                   |

### 5.5.5 Výpočet rozšířené nejistoty hodnoty tepelného příkonu

Standardní kombinovaná nejistota tepelného příkonu se určí dle vztahu (26)

$$u_c(Q_B) \cong Q_B \cdot \sqrt{\left(\frac{u(V_{r(10)})}{V_{r(10)}}\right)^2 + \left(\frac{u(H_i)}{H_i}\right)^2} = 25,563 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,014}{2,671}\right)^2 + \left(\frac{0,03}{34,29}\right)^2} =$$

$$= 25,563 \cdot \sqrt{2,75 \cdot 10^{-5} + 7,65 \cdot 10^{-7}} = 0,136 \text{ kW}$$

Rozšířená nejistota hodnoty tepelného příkonu se určí dle vztahu

$$U = k \cdot u_c(Q_B) = 2 \cdot 0,136 = 0,272 \text{ kW}$$

kde zvolený koeficient rozšíření  $k = 2$  odpovídá hladině spolehlivosti přibližně 95 %.

Velikost kombinované nejistoty hodnoty jmenovitého tepelného příkonu je uvedena v tabulce 36.

Tabulka 36: Nejistota při měření tepelného příkonu

| Popis nejistoty                             | Absolutní | Relativní |
|---|-----------|-----------|
| tepelný příkon<br>$Q_B = 25,563 \text{ kW}$ |           |           |
| Standardní kombinovaná nejistota            | 0,136 kW  | 0,5 %     |
| Rozšířená nejistota                         | 0,272 kW  | 1 %       |

#### Uvádění výsledku zkoušky

- $Q_B = (25,563 \pm 0,272) \text{ kW}$
- hodnota tepelného příkonu  $Q_B = 25,563 \text{ kW}$  je stanovena s rozšířenou nejistotou  $U = 1 \%$  (koeficient rozšíření  $k = 2$ )

Na základě experimentální kvantifikace výsledků při stanovení tepelného příkonu lze konstatovat, že jako dominantní nejistota se ukazuje nejistota hodnoty stanovení spotřeby paliva, která tvoří 97% příspěvek k nejistotě hodnoty tepelného příkonu. Posuzovány byly nejistoty v Gaussově zákoně, které vzniknou jako mocnina součinu parciální derivace funkce a příslušné standardní nejistoty veličiny. Nejistota hodnoty výhřevnosti suchého paliva tvoří přibližně 3% příspěvek k nejistotě tepelného příkonu.

## 5.6 Účinnost

### 5.6.1 Limitní hodnoty

Dle ČSN EN 483 ZMĚNA A2:2002 čl. 6.7.2 uvedeny v příloze D.

### 5.6.2 Analýza stanovených parametrů

Tato zkouška se zaznamená po připojení kotle k izolovanému zkušebnímu okruhu pro získání rovnocenných výsledků. Zkouška se započne po dosažení ustáleného stavu a dosažení konstantní teploty vstupní a výstupní otopné vody. Účinnost je počítána dle vzorce

dle ČSN EN 483 [článek 7.7.1]

$$\eta_u = \frac{4,186 \cdot m \cdot (t_2 - t_1) + D_p}{10^3 \cdot V_{r(10)} \cdot H_i} \cdot 100 \quad (27)$$

Vzhledem k požadavku SZÚ Brno na stanovení dílčích nejistot tepelného výkonu a jmenovitého tepelného příkonu, byla účinnost vypočtena ze vztahu

$$\eta_u = \frac{Q}{Q_B} \cdot 100 \quad (28)$$

kde

- $\eta_u$  je účinnost v %;
- $Q$  je tepelný výkon v kW;
- $Q_B$  je jmenovitý tepelný příkon v kW.

Tabulka 37: Hodnoty měřených veličin – účinnosti

| Hodnoty brané k výpočtu |                     |
|-------------------------|---------------------|
| Q [kW]                  | Q <sub>B</sub> [kW] |
| 23,85                   | 25,563              |
| Účinnost                |                     |
| $\eta_u = 93,299 \%$    |                     |

### 5.6.3 Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty účinnosti

Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty účinnosti byl proveden podle Gaussova zákona pro šíření nejistot (4)

$$u_c(\eta_u) = \sqrt{\left(\frac{\partial \eta_u}{\partial Q}\right)^2 \cdot u^2(Q) + \left(\frac{\partial \eta_u}{\partial Q_B}\right)^2 \cdot u^2(Q_B)} \quad (29)$$

Vzhledem k tomu, že se jedná o funkční závislost multiplikativního charakteru, můžeme standardní kombinovanou nejistotu  $u_c(\eta_u)$  vyjádřit dle vztahu

$$u_c(\eta_u) = \eta_u \cdot \sqrt{\left(\frac{u(Q)}{Q}\right)^2 + \left(\frac{u(Q_B)}{Q_B}\right)^2} \quad (30)$$

Na základě rozboru modelu pro výpočet účinnosti (28) a modelu pro odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty účinnosti (30) lze konstatovat

- Nejistota hodnoty účinnosti  $\eta_u$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota tepelného výkonu  $Q$  (převzatá veličina).
- Nejistota hodnoty účinnosti  $\eta_u$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota jmenovitého tepelného příkonu  $Q_B$  (převzatá veličina).

### 5.6.4 Odhad standardních nejistot rozboru dílčích složek

Stanovení hodnoty účinnosti spočívá ve výpočtu z hodnot dle vztahu (28). Standardní kombinovaná nejistota hodnoty účinnosti je získána kombinací ze standardních nejistot těchto měřených veličin dle vztahu (30).

#### Krok 1 – stanovení tepelného výkonu $Q$

- Hodnota dílčí nejistoty tepelného výkonu  $u(Q)$  je převzata z bodu 5.4.5.

Tabulka 38: Standardní nejistota – tepelného výkonu

|  |
|--|
| Krok 1 – stanovení tepelného výkonu $Q = 23,85$ kW |
| Specifikace dílčích nejistot                       |
| $u(Q) = 0,21$ kW absolutně                         |

## Krok 2 – stanovení jmenovitého tepelného příkonu $Q_B$

- Hodnota dílčí nejistoty jmenovitého tepelného příkonu  $u(Q_B)$  je převzata z bodu 5.5.5.

Tabulka 39: Standardní nejistoty – poměrné hustoty zkušebního plynu

|  |
|--|
| Krok 2 – stanovení jmenovitého tepelného příkonu $Q_B = 25,563$ kW |
| Specifikace dílčích nejistot                                       |
| $u(Q_B) = 0,136$ kW absolutně                                      |

### 5.6.5 Výpočet rozšířené nejistoty účinnosti

Standardní kombinovaná nejistota účinnosti se určí dle vztahu (30)

$$u_c(\eta_u) = \eta_u \cdot \sqrt{\left(\frac{u(Q)}{Q}\right)^2 + \left(\frac{u(Q_B)}{Q_B}\right)^2} = 93,30 \cdot \sqrt{7,7 \cdot 10^{-5} + 2,8 \cdot 10^{-5}} = 0,83 \%$$

Rozšířená nejistota hodnoty objemové účinnosti se určí dle vztahu

$$U = k \cdot u_c(\eta_u) = 2 \cdot 0,96 = 1,92 \%$$

kde zvolený koeficient rozšíření  $k = 2$  odpovídá hladině spolehlivosti přibližně 95 %.

Velikost kombinované nejistoty hodnoty účinnosti je uvedena v tabulce 40.

Tabulka 40: Nejistota při měření účinnosti

| Popis nejistoty                  | Absolutní | Relativní |
|----------------------------------|-----------|-----------|
| Účinnost<br>$\eta_u = 93,30 \%$  |           |           |
| Standardní kombinovaná nejistota | 0,96 %    | 1,03 %    |
| Rozšířená nejistota              | 1,92 %    | 2,06 %    |

#### Uvádění výsledku zkoušky:

- $\eta_u = (93,30 \pm 1,92) \%$
- hodnota účinnosti  $\eta_u = 93,30 \%$  je stanovena s rozšířenou nejistotou  $U = 2,06 \%$  (koeficient rozšíření  $k = 2$ )



Na základě experimentální kvantifikace výsledků při stanovení účinnosti lze konstatovat, že jako dominantní nejistota se ukazuje nejistota hodnoty stanovení tepelného výkonu, která tvoří 73% příspěvek k nejistotě hodnoty účinnosti. Posuzovány byly nejistoty v Gaussově zákoně, které vzniknou jako mocnina podílu příslušné standardní nejistoty měřené veličiny a hodnoty reálné veličiny. Nejistota hodnoty tepelného příkonu tvoří přibližně 27% příspěvek k nejistotě účinnosti.

## 5.7 Nejvyšší teplota užitkové vody

### 5.7.1 Limitní množství

Dle ČSN EN 625 [článek 5.2.3.1] nesmí teplota užitkové vody převýšit hodnotu 95 °C.

### 5.7.2 Analýza stanovených parametrů

Tato zkouška se provede po uvedení kotle do provozu, za použití odpovídajícího základního zkušebního plynu a při jmenovitém tepelném příkonu. Regulátor teploty bude nastaven na nejvyšší hodnotu. Zkouška spočívá ve zjištění nejvyšší okamžité dosažené teploty, kdy po hodině je otevřen kohoutek a zjištěna tato teplota. Důležité je zvolit teploměr s dostatečně krátkou reakční dobou.

Zkouška provedena dle ČSN EN 625 [článek 6.2.3.1]

Měřenou veličinou je teplota  $t_{max}$  v °C.

Tabulka 41: Hodnoty měřených veličin – nejvyšší teplota užitkové vody

|  |
|--|
| Hodnoty brané k výpočtu<br>$t_{max} = 55,4$ °C |
|--|

Při měření jednotlivých dílčích veličin bylo použito měřidlo

- Elektrický teploměr. (viz tabulka 2)

### 5.7.3 Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty nejvyšší teploty užitkové vody

Výsledek této zkoušky je přímo měřenou veličinou, je to tedy jednoduchá funkční závislost aditivního charakteru. Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty nejvyšší teploty užitkové vody byl proveden podle Gaussova zákona pro šíření nejistot (4) v relativní podobě

$$u_c(t_{max}) = u(t_{max}) \cong \sqrt{u_1^2(t_{max}) + u_2^2(t_{max})} \quad (31)$$

### 5.7.4 Odhad standardních nejistot rozboru dílčích složek

Stanovení hodnoty nejvyšší teploty užitkové vody spočívá ve stanovení hodnoty maximální teploty  $t_{max}$ . Standardní kombinovaná nejistota hodnoty nejvyšší teploty užitkové vody je získána kombinací ze standardních nejistot této měřené veličiny dle vztahu (31).

### Krok 1 – stanovení nejvyšší teploty užitkové vody $t_{max}$

- Nejvyšší teplota užitkové vody  $t_{max}$  se měří teploměrem, jehož metrologická návaznost je zajištěna kalibrací. Rozšířená nejistota kalibrace teploměru je udána hodnotou  $U(t_{max}) = 0,5 \%$  (hodnota převzata z kalibračního listu). Nejistota  $u_1(t_{max}) = U(t_{max})/2$  vyplývající z nejistoty kalibrace teploměru je jednou ze složek standardní nejistoty  $u(t_{max})$  nejvyšší teploty užitkové vody.
- Hodnota nejvyšší teploty užitkové vody  $t_{max}$  bude zatížena chybou z odečtu z omezené rozlišitelnosti displeje  $e = 0,1 \text{ °C}$ . Mezní úchylka činí  $a_{(t_{max})} = e/2$ . Distribuční model odpovídá rovnoměrnému pravděpodobnostnímu rozdělení a z toho pak je hodnota standardní nejistoty  $u_2(t_{max})$  vyplývající z chyby z nepřesnosti při odečtu z omezené rozlišitelnosti displeje vyjádřena jako  $a_{(t_{max})}/\sqrt{3}$ .

Tabulka 42: Standardní nejistoty – nejvyšší teploty užitkové vody

| Popis nejistoty   | Výpočet  | Standardní nejistota |
|---|--|----------------------|
|   |  | absolutní            |
| Krok 1 – stanovení nejvyšší teploty užitkové vody $t_{max} = 55,4 \text{ °C}$     |  |                      |
| Specifikace dílčích nejistot  |  |                      |
| $u_1(t_{max})$ – nejistota hodnoty vyplývající z kalibrace teploměru              | $U(t_{max}) = 0,5 \%$                                  | 0,2 °C               |
| $u_2(t_{max})$ – nejistota hodnoty vyplývající z odečtu stupnice měřidla          | $\frac{a_{t_{max}}}{\sqrt{3}} = \frac{0,05}{\sqrt{3}}$ | 0,03 °C              |
| $u(t_{max}) = \sqrt{u_1^2(t_{max}) + u_2^2(t_{max})} = 0,20 \text{ °C}$ absolutně |  |                      |

#### 5.7.5 Výpočet rozšířené nejistoty nejvyšší teploty užitkové vody

Standardní kombinovaná nejistota nejvyšší teploty užitkové vody se určí dle vztahu (31)

$$u_c(t_{max}) = u(t_{max}) = 0,20 \text{ °C}$$

Rozšířená nejistota hodnoty nejvyšší teploty užitkové vody se určí dle vztahu

$$U = k \cdot u_c(t_{max}) = 0,20 \cdot 2 = 0,40 \text{ °C}$$

kde zvolený koeficient rozšíření  $k = 2$  odpovídá hladině spolehlivosti přibližně 95 %.  
Velikost kombinované nejistoty hodnoty nejvyšší teploty užitkové vody je uvedena v tabulce 43.

Tabulka 43: Nejistota při měření nejvyšší teploty užitkové vody

| Popis nejistoty   | Absolutní | Relativní |
|---|-----------|-----------|
| Nejvyšší teplota užitkové vody<br>$t_{max} = 55,4 \text{ °C}$ |           |           |
| Standardní kombinovaná nejistota                              | 0,20 °C   | 0,5 %     |
| Rozšířená nejistota   | 0,40 °C   | 1 %       |

**Uvádění výsledku zkoušky**

- $t_{max} = (55,4 \pm 0,4) \text{ °C}$
- hodnota nejvyšší teploty užitkové vody  $t_{max} = 55,4 \text{ °C}$  je stanovena s rozšířenou nejistotou  $U = 0,4 \text{ %}$  (koeficient rozšíření  $k = 2$ )

## 5.8 Povrchové teploty

### 5.8.1 Limitní hodnoty

Dle ČSN EN 483 [článek 6.4.1] teplota povrchu svislých bočních stěn, čelní a horní stěny kotle nesmí při zkušebních podmínkách převýšit teplotu okolního prostředí více než o 80 K.

### 5.8.2 Analýza stanovených parametrů

Tato zkouška bude provedena po uvedení kotle do provozu za použití odpovídajícího základního zkušebního plynu nebo paliva z veřejného rozvodu a uvedení do ustáleného stavu. Regulátor teploty nastavíme na nejvyšší hodnotu. Teploty kontrolujeme na stanovených místech (síťovou metodou), přiložením vhodného snímače teploty a jejím odečtem. Každý odečet se provede jednou na dvanácti místech stěny.

Zkouška provedena dle ČSN EN 483 [článek 7.4.1]

Měřenou veličinou je teplota  $t_p$  v °C.

Tabulka 44: Hodnoty měřených veličin – povrchová teplota

| Hodnoty brané k výpočtu                            |                        |
|--|------------------------|
| Číslo měření                                       | Povrchová teplota [°C] |
| 1.   | 28,6                   |
| 2.   | 27,4                   |
| 3.   | 26,9                   |
| 4.   | 27,6                   |
| 5.   | 29,3                   |
| 6.   | 24,9                   |
| 7.   | 28,1                   |
| 8.   | 27,9                   |
| 9.   | 28,4                   |
| 10.  | 31,4                   |
| 11.  | 30,8                   |
| 12.  | 31,5                   |
| průměrná hodnota povrchové teploty $t_p = 28,6$ °C |                        |

Při měření snímané veličiny bylo použito měřidlo

- Elektrický teploměr. (viz tabulka 2)

### 5.8.3 Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty povrchové teploty

Výsledek této zkoušky je přímo měřenou veličinou, je to tedy jednoduchá funkční závislost.

Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty účinnosti byl proveden podle Gaussova zákona pro šíření nejistot (4)

$$u_c(t_p) = u(t_p) \cong \sqrt{u_1^2(t_p) + u_2^2(t_p) + u_3^2(t_p)} \quad (32)$$

### 5.8.4 Odhad standardních nejistot rozboru dílčích složek

Stanovení hodnoty povrchových teplot spočívá ve stanovení teploty  $t_p$ . Standardní kombinovaná nejistota hodnoty povrchové teploty je získána kombinací ze standardních nejistot této měřené veličiny dle vztahu (30).

#### Krok 1 – stanovení povrchové teploty

- Povrchová teplota  $t_p$  se měří teploměrem, jehož metrologická návaznost je zajištěna kalibrací. Rozšířená nejistota kalibrace teploměru je udána hodnotou  $U(t_p) = 0,5 \%$  (hodnota převzata z kalibračního listu). Nejistota  $u_1(t_p) = U(t_p)/2$  vyplývající z nejistoty kalibrace teploměru je jednou ze složek standardní nejistoty  $u(t_p)$  povrchové teploty.
- Hodnota povrchové teploty  $t_p$  bude zatížena chybou z odečtu z omezené rozlišitelnosti displeje  $e = 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Mezní úchylka činí  $a_{(t_p)} = e/2$ . Distribuční model odpovídá rovnoměrnému pravděpodobnostnímu rozdělení a z toho pak je hodnota standardní nejistoty  $u_2(t_p)$  vyplývající z chyby z nepřesnosti při odečtu z omezené rozlišitelnosti displeje vyjádřena jako  $a_{(t_p)}/\sqrt{3}$ .
- Hodnota povrchové teploty  $t_p$  je kvantifikována z průměrné hodnoty dílčích opakovaných odečtů zaznamenávaných během zkoušky (12 měření). Nejistota  $u_3(t_p)$  je zatížena nejistotou z proměnlivosti těchto hodnot, zahrnující náhodné vlivy při měření teploty. Nejistota  $u_3(t_p)$  je vyhodnocena výběrovou směrodatnou odchylkou aritmetického průměru.

Tabulka 45: Standardní nejistoty – povrchové teploty

| Popis nejistoty   | Výpočet   | Standardní nejistota |
|---|---|----------------------|
|   |   | absolutní            |
| Krok 1 – stanovení povrchové teploty $t_p = 28,6 \text{ }^\circ\text{C}$                      |   |                      |
| Specifikace dílčích nejistot  |   |                      |
| $u_1(t_p)$ – nejistota hodnoty vyplývající z kalibrace teploměru                              | $U(t_p) = 0,5 \%$   | 0,07 °C              |
| $u_2(t_p)$ – nejistota hodnoty vyplývající z odečtu stupnice měřidla                          | $\frac{a_p}{\sqrt{3}} = \frac{0,05}{\sqrt{3}}$                | 0,03 °C              |
| $u_3(t_p)$ – nejistota hodnoty vyplývající z proměnlivosti opakovaných měření                 | $\sqrt{\frac{\sum (t_{p,i} - \bar{t}_p)^2}{n \cdot (n - 1)}}$ | 0,71 °C              |
| $u(t_p) = \sqrt{u_1^2(t_p) + u_2^2(t_p) + u_3^2(t_p)} = 0,7 \text{ }^\circ\text{C}$ absolutně |   |                      |

### 5.8.5 Výpočet rozšířené nejistoty povrchové teploty

Standardní kombinovaná nejistota povrchové teploty se určí dle vztahu (32)

$$u_c(t_p) = u(t_p) = 0,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

Rozšířená nejistota hodnoty povrchové teploty se určí dle vztahu

$$U = k \cdot u_c(t_p) = 0,7 \cdot 2 = 1,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

kde zvolený koeficient rozšíření  $k = 2$  odpovídá hladině spolehlivosti přibližně 95 %.

Velikost kombinované nejistoty hodnoty povrchové teploty je uvedena v tabulce 46.

Tabulka 46: Nejistota při měření povrchové teploty

| Popis nejistoty  | Absolutní | Relativní |
|--|-----------|-----------|
| Povrchová teplota<br>$t_p = 28,6 \text{ }^\circ\text{C}$ |           |           |
| Standardní kombinovaná nejistota                         | 0,7 °C    | 2,5 %     |
| Rozšířená nejistota                                      | 1,4 °C    | 5,0 %     |

### Uvádění výsledku zkoušky

- $t_p = (28,6 \pm 1,4) \text{ } ^\circ\text{C}$
- hodnota povrchové teploty  $t_p = 28,6 \text{ } ^\circ\text{C}$  je stanovena s rozšířenou nejistotou  $U = 5,0 \text{ } \%$  (koeficient rozšíření  $k = 2$ )



## 5.9 Komínové ztráty

### 5.9.1 Limitní hodnoty

Dle ČSN EN 297 [článek 3.8 b)] při běžných provozních podmínkách kotle nesmí spaliny zpravidla kondenzovat v kouřovodu, požadavek je splněn v případě, že komínové ztráty zjištěné při zkušebních podmínkách nejsou nižší než 8 %.

### 5.9.2 Analýza stanovených parametrů

Zkouška se provádí za jmenovitého tepelného příkonu a po uvedení kotle do ustáleného stavu. Komínové ztráty vypočteme ze vztahu

dle ČSN EN 297 [článek 4.8.2]

$$\xi_1 = \left( 0,86 + \frac{36,6}{CO_2} \right) \cdot \frac{t_{sp} - t_{ok}}{100} \quad (33)$$

kde

- $\xi_1$  je komínová ztráta v %;
- $CO_2$  je objemová koncentrace oxidu uhličitého v plynném palivu v %;
- $t_{sp}$  je teplota spalin v °C;
- $t_{ok}$  je teplota okolí v °C;
- hodnoty 0,86 a 36,6 jsou konstanty exaktně stanovené pro daný zkušební plyn, k nejistotě jejich stanovení byla přiřazena nula.

Tabulka 47: Hodnoty měřených veličin – komínové ztráty

| Číslo měření | $CO_2$ [%] | $t_{sp}$ [°C] | $t_{ok}$ [°C] |
|--------------|------------|---------------|---------------|
| 1.           | 7,2        | 122,6         | 20,6          |
| 2.           | 7,2        | 122,6         | 20,6          |
| 3.           | 7,2        | 122,7         | 20,6          |
| 4.           | 7,2        | 122,7         | 20,7          |
| 5.           | 7,3        | 122,7         | 20,6          |
| 6.           | 7,2        | 122,8         | 20,6          |
| 7.           | 7,3        | 122,9         | 20,6          |
| 8.           | 7,2        | 122,7         | 20,7          |

pokračování

Tabulka 47: Hodnoty měřených veličin – komínové ztráty (dokončení)

| Číslo měření                                 | CO <sub>2</sub> [%] | t <sub>sp</sub> . [°C] | tok. [°C] |
|--|---------------------|------------------------|-----------|
| 9.   | 7,2                 | 122,7                  | 20,7      |
| 10.  | 7,3                 | 122,8                  | 20,6      |
| Průměrné hodnoty k výpočtu                   |                     |                        |           |
| -  | 7,2                 | 122,7                  | 20,6      |
| Komínová ztráta $\xi_I$<br>$\xi_I = 6,05 \%$ |                     |                        |           |

Při měření jednotlivých dílčích veličin byla použita tato měřidla

- analyzátor; teploměr – měřící ústředna ADIS. (viz tabulka 2)

### 5.9.3 Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty komínových ztrát

U měřených potřebných náhodných veličin byla prokázána jejich vzájemná nezávislost. Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty komínových ztrát byl proveden podle Gaussova zákona pro šíření nejistot (4)

$$u_c(\xi_1) \cong \sqrt{\left(\frac{\partial \xi_1}{\partial CO_2}\right)^2 \cdot u^2(CO_2) + \left(\frac{\partial \xi_1}{\partial t_{sp}}\right)^2 \cdot u^2(t_{sp}) + \left(\frac{\partial \xi_1}{\partial t_{ok}}\right)^2 \cdot u^2(t_{ok})} \quad (34)$$

Tabulka 48: Parciální derivace

| Parciální derivace   | Hodnota | Parciální derivace   | Hodnota |
|--|---------|--|---------|
| $\frac{\partial \xi_1}{\partial CO_2} = -\frac{0,366 \cdot (t_{sp} - t_{ok})}{CO_2^2}$ | -0,71   | $\frac{\partial \xi_1}{\partial t_{sp}} = 0,0086 + \frac{0,366}{CO_2}$ | 0,06    |
| $\frac{\partial \xi_1}{\partial t_{ok}} = -0,0086 - \frac{0,366}{CO_2}$                | -0,06   | -  | -       |

Na základě rozboru modelu pro výpočet hodnoty tepelného výkonu (33) a modelu pro odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty tepelného výkonu (34) lze konstatovat

- Nejistota hodnoty komínových ztrát  $\xi_I$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota objemové koncentrace oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) (pozorovaná veličina).
- Nejistota hodnoty komínových ztrát  $\xi_I$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota teploty spalin  $t_{sp}$  (pozorovaná veličina).

- Nejistota hodnoty komínových ztrát  $\zeta_l$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota teploty okolí  $t_{ok}$  (pozorovaná veličina).

#### 5.9.4 Odhad standardních nejistot rozboru dílčích složek

Stanovení hodnoty komínových ztrát spočívá ve výpočtu z hodnot dle vztahu (33). Standardní kombinovaná nejistota hodnoty komínových ztrát je získána kombinací ze standardních nejistot těchto měřených veličin dle vztahu (34).

##### Krok 1 – stanovení objemové koncentrace oxidu uhličitého ( $CO_2$ )

- Objemová koncentrace oxidu uhličitého ( $CO_2$ ) se měří v průběhu zkoušky analyzátozem, jehož metrologická návaznost je zajištěna kalibrací v návaznosti na certifikovaný kalibrační plyn. Rozšířená nejistota kalibrace analyzátozu je udána hodnotou  $U_{(CO_2)M} = \pm 0,5 \%$  relativní. Nejistota  $u_{1(CO_2)} = U_{(CO_2)}/2$  vyplývající z nejistoty kalibrace analyzátozu je jednou ze složek standardní nejistoty  $u_{(CO_2)}$  objemové koncentrace oxidu uhličitého v suchých spalinách bez přebytku vzduchu.
- Hodnota objemové koncentrace oxidu uhličitého ( $CO_2$ ) bude zatížena chybou z nepřesnosti při odečtu z omezeného rozlišení displeje, kde je dána rozlišitelná hodnota  $e = 1\text{ppm}$ . Mezní úchylka činí  $a_{(CO_2)M} = e/2$ . Distribuční model odpovídá rovnoměrnému pravděpodobnostnímu rozdělení. Z toho pak je hodnota standardní nejistoty  $u_{2(CO_2)M}$  vyplývající z chyby z nepřesnosti při odečtu z omezené rozlišitelnosti displeje vyjádřena jako  $a_{(CO_2)}/\sqrt{3}$ .
- Hodnota objemové koncentrace oxidu uhličitého ( $CO_2$ ) je kvantifikována z průměrné hodnoty dílčích opakovaných odečtů zaznamenávaných během zkoušky (10 měření). Nejistota  $u_{3(CO_2)M}$  je zatížena nejistotou z proměnlivosti těchto hodnot, zahrnující náhodné vlivy při měření objemové koncentrace oxidu uhličitého. Nejistota  $u_{3(CO_2)}$  je vyhodnocena výběrovou směrodatnou odchylkou aritmetického průměru.
- Objemová koncentrace oxidu uhličitého ( $CO_2$ ) se měří v průběhu zkoušky analyzátozem, jenž je kalibrován v návaznosti na certifikovaný kalibrační plyn. Rozšířená nejistota kalibračního plynu je udána hodnotou  $U_{(CO_2)} = \pm 1 \%$  relativní. Nejistota  $u_{4(CO_2)} = U_{(CO_2)}/2$  vyplývající z nejistoty kalibrace analyzátozu je jednou ze složek standardní nejistoty  $u_{(CO_2)}$  objemové koncentrace oxidu uhličitého v suchých spalinách bez přebytku vzduchu.

Tabulka 49: Standardní nejistoty – objemové koncentrace oxidu uhličitého

| Popis nejistoty  | Výpočet  | Standardní nejistota |
|--|--|----------------------|
|  |  | absolutní            |
| Krok 1 – stanovení objemové koncentrace oxidu uhličitého ( $CO_2$ ) = 7,2 %                                      |  |                      |
| Specifikace dílčích nejistot   |  |                      |
| $u_1(CO_2)$ – nejistota hodnoty vyplývající z nejistoty kalibrace analyzátoru                                    | $U_{(CO)} = \pm 0,5 \%$  | 0,02 %               |
| $u_2(CO_2)$ – nejistota hodnoty vyplývající z rozlišení displeje   | $\frac{a_{(CO_2)}}{\sqrt{3}} = \frac{0,00005}{\sqrt{3}}$               | 0,000003 %           |
| $u_3(CO_2)$ – nejistota hodnoty vyplývající z proměnlivosti opakovaných měření                                   | $\sqrt{\frac{\sum ((CO_2)_i - \overline{(CO_2)})^2}{n \cdot (n - 1)}}$ | 0,02 %               |
| $u_4(CO_2)$ – nejistota hodnoty vyplývající z kalibračního plynu   | $U_{(CO_2)} = \pm 1 \%$  | 0,04 %               |
| Hodnota $u_2(CO_2)$ je zanedbatelná (o několik řádů nižší), neovlivňuje dominantně hodnotu standardní nejistoty. |  |                      |
| $u(CO_2) = \sqrt{u_1^2(CO_2) + u_3^2(CO_2) + u_4^2(CO_2)} = 0,05\% \text{ absolutně}$                            |  |                      |

### Krok 2 – stanovení teploty spalin $t_{sp}$

- Teplota spalin  $t_{sp}$  se měří průběžně během zkoušky teploměrem, jehož metrologická návaznost je zajištěna kalibrací. Rozšířená nejistota kalibrace teploměru je udána hodnotou  $U(t_{sp}) = 1 \%$  (hodnota převzata z kalibračního listu). Nejistota  $u(t_{sp}) = U(t_{sp})/2$  vyplývající z nejistoty kalibrace teploměru je jednou ze složek standardní nejistoty  $u(t_{sp})$  teploty spalin.
- Hodnota teploty spalin  $t_{sp}$  bude zatížena chybou z odečtu z omezené rozlišitelnosti displeje  $e = 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Mezní úchylka činí  $a_{(t_{sp})} = e/2$ . Distribuční model odpovídá rovnoměrnému pravděpodobnostnímu rozdělení a z toho pak je hodnota standardní nejistota  $u_{2(t_{sp})}$  vyplývající z chyby z nepřesnosti při odečtu z omezené rozlišitelnosti displeje vyjádřena jako  $a_{(t_{sp})}/\sqrt{3}$ .
- Hodnota teploty spalin  $t_{sp}$  je kvantifikována z průměrné hodnoty dílčích opakovaných odečtů zaznamenávaných během zkoušky (60 měření). Nejistota  $u_{3(t_{sp})}$  je zatížena nejistotou z proměnlivosti těchto hodnot, zahrnující náhodné vlivy při měření teploty.

Nejistota  $u_{3(t_{sp})}$  je vyhodnocena výběrovou směrodatnou odchylkou aritmetického průměru.

Tabulka 50: Standardní nejistoty – teploty spalin

| Popis nejistoty  | Výpočet  | Standardní nejistota |
|--|--|----------------------|
|  |  | absolutní            |
| Krok 2 – stanovení teploty spalin $t_{sp} = 122,7 \text{ }^\circ\text{C}$<br>Specifikace dílčích nejistot  |  |                      |
| $u_1(t_{sp})$ – nejistota hodnoty vyplývající z kalibrace teploměru  | $U(t_{sp}) = 1\%$  | 0,61 %               |
| $u_2(t_{sp})$ – nejistota hodnoty vyplývající z odečtu stupnice měřidla                                    | $\frac{a_{t_{sp}}}{\sqrt{3}} = \frac{0,05}{\sqrt{3}}$    | 0,03 %               |
| $u_3(t_{sp})$ – nejistota hodnoty vyplývající z proměnlivosti opakovaných měření                           | $\sqrt{\frac{\sum (t_{sp,i} - \bar{t}_{sp})^2}{n(n-1)}}$ | 0,03 %               |
| $u(t_{sp}) = \sqrt{u_1^2(t_{sp}) + u_2^2(t_{sp}) + u_3^2(t_{sp})} = 0,62 \text{ }^\circ\text{C}$ absolutně |  |                      |

### Krok 3 – stanovení teploty okolí $t_{ok}$

- Teplota okolí  $t_{ok}$  se měří průběžně během zkoušky teploměrem, jehož metrologická návaznost je zajištěna kalibrací. Rozšířená nejistota kalibrace teploměru je udána hodnotou  $U(t_{ok}) = 1\%$  (hodnota převzata z kalibračního listu). Nejistota  $u(t_{ok}) = U(t_{ok})/2$  vyplývající z nejistoty kalibrace teploměru je jednou ze složek standardní nejistoty  $u(t_{ok})$  teploty okolí.
- Hodnota teploty okolí  $t_{ok}$  bude zatížena chybou z odečtu z omezené rozlišitelnosti displeje  $e = 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Mezní úchylka  $a_{(t_{ok})} = e/2$ . Distribuční model odpovídá rovnoměrnému pravděpodobnostnímu rozdělení a z toho pak je hodnota standardní nejistoty  $u_{2(t_{ok})}$  vyplývající z chyby z nepřesnosti při odečtu z omezené rozlišitelnosti displeje vyjádřena jako  $a_{(t_{ok})}/\sqrt{3}$ .
- Hodnota teploty okolí  $t_{ok}$  je kvantifikována z průměrné hodnoty dílčích opakovaných odečtů zaznamenávaných během zkoušky. Nejistota  $u_{3(t_{ok})}$  je zatížena nejistotou z proměnlivosti těchto hodnot, zahrnující náhodné vlivy při měření teploty. Nejistota  $u_{3(t_{ok})}$  je vyhodnocena výběrovou směrodatnou odchylkou aritmetického průměru.

Tabulka 51: Standardní nejistoty – teploty okolí

| Popis nejistoty  | Výpočet  | Standardní nejistota |
|--|--|----------------------|
|  |  | absolutní            |
| Krok 3 – stanovení teploty okolí $t_{ok} = 20,6 \text{ }^\circ\text{C}$<br>Specifikace dílčích nejistot    |  |                      |
| $u_1(t_{ok})$ – nejistota hodnoty vyplývající z kalibrace teploměru  | $U(t_{ok}) = 1 \%$                                       | 0,10 %               |
| $u_2(t_{ok})$ – nejistota hodnoty vyplývající z odečtu stupnice měřidla                                    | $\frac{a_{rok}}{\sqrt{3}} = \frac{0,05}{\sqrt{3}}$       | 0,03 %               |
| $u_3(t_{ok})$ – nejistota hodnoty vyplývající z proměnlivosti opakovaných měření                           | $\sqrt{\frac{\sum (t_{ok,i} - \bar{t}_{ok})^2}{n(n-1)}}$ | 0,02 %               |
| $u(t_{ok}) = \sqrt{u_1^2(t_{ok}) + u_2^2(t_{ok}) + u_3^2(t_{ok})} = 0,11 \text{ }^\circ\text{C}$ absolutně |  |                      |

### 5.9.5 Výpočet rozšířené nejistoty hodnoty komínové ztráty

Standardní kombinovaná nejistota komínové ztráty se určí dle vztahu (34)

$$u_c(\xi_1) \cong \sqrt{\left(\frac{\partial \xi_1}{\partial CO_2}\right)^2 \cdot u^2(CO_2) + \left(\frac{\partial \xi_1}{\partial t_{sp}}\right)^2 \cdot u^2(t_{sp}) + \left(\frac{\partial \xi_1}{\partial t_{ok}}\right)^2 \cdot u^2(t_{ok})} =$$

$$\sqrt{(-0,71)^2 \cdot 0,05^2 + 0,06^2 \cdot 0,62^2 + (-0,06)^2 \cdot 0,11^2} =$$

$$= \sqrt{1,26 \cdot 10^{-3} + 1,38 \cdot 10^{-3} + 4,36 \cdot 10^{-5}} = 0,05 \%$$

Rozšířená nejistota hodnoty komínové ztráty se určí dle vztahu

$$U = k \cdot u_c(\xi_1) = 2 \cdot 0,05 = 0,10 \%$$

kde zvolený koeficient rozšíření  $k = 2$  odpovídá hladině spolehlivosti přibližně 95 %.

Velikost kombinované nejistoty hodnoty komínových ztrát je uvedena v tabulce 52.

Tabulka 52: Nejistota při měření komínových ztrát

| Popis nejistoty                        | Absolutní | Relativní |
|--|-----------|-----------|
| Komínové ztráty<br>$\zeta_l = 6,05 \%$ |           |           |
| Standardní kombinovaná nejistota       | 0,05 %    | 1 %       |
| Rozšířená nejistota                    | 0,10 %    | 2 %       |

**Uvádění výsledku zkoušky**

- $\zeta_l = (6,05 \pm 0,10) \%$
- hodnota komínových ztrát  $\zeta_l = 6,05 \%$  je stanovena s rozšířenou nejistotou  $U = 2,0 \%$  (koeficient rozšíření  $k = 2$ )

Na základě experimentální kvantifikace výsledků při stanovení komínových ztrát lze konstatovat, že jako hlavní nejistoty ovlivňující výsledek se ukazují nejistota hodnoty stanovení teploty spalin, která tvoří 51% příspěvek k nejistotě hodnoty komínových ztrát a nejistota hodnoty stanovení objemové koncentrace oxidu uhličitého, která tvoří 47% příspěvek k nejistotě hodnoty komínových ztrát. Posuzovány byly nejistoty v Gaussově zákoně, které vzniknou jako mocnina součinu parciální derivace funkce a příslušné standardní nejistoty veličiny.

## 5.10 Přepočtená hodnota $NO_x$

### 5.10.1 Limitní množství

Dle ČSN EN [článek 6.6.2] nesmí být překročeny přípustné koncentrace  $NO_x$  v suchých spalinách bez přebytku vzduchu stanovené pro příslušnou třídu  $NO_x$  výrobcem.

### 5.10.2 Analýza stanovených parametrů

Kotel se nastaví na jmenovitý tepelný příkon s teplotou výstupní otopné vody 80 °C a teplotou vstupní otopné vody 60 °C. Měření se provádí při tepelně ustáleném stavu. Výpočet se provede

dle ČSN EN 483 [článek 7.6.2.1]

$$NO_{x,o} = NO_{x,m} + \frac{0,02 \cdot NO_{x,m} - 0,34}{1 - 0,02 \cdot (h_m - 10)} \cdot (h_m - 10) + 0,85 \cdot (20 - T_m) \quad (35)$$

kde

- $NO_{x,m}$  je naměřená hodnota  $NO_x$  při  $h_m$  a  $T_m$  v mg/kWh v rozmezí od 50 mg/kWh do 300 mg/kWh v %;
- $h_m$  je vlhkost v průběhu měření  $NO_{x,m}$  v g/kg v rozmezí od 5 g/kg do 15 g/kg;

hodnotu počítáme ze vztahu

$$h_m = \left( \frac{\varphi \cdot 0,01 \cdot p_s}{(p_a - (\varphi \cdot 0,01 \cdot p_s))} \right) \cdot 1000 \quad (36)$$

- $\varphi$  je vlhkost okolního prostředí v %;
- $p_s$  je parciální tlak v mbar;
- $p_a$  je atmosferický tlak v době zkoušky v mbar;
- $T_m$  je teplota v průběhu měření  $NO_{x,m}$  v °C v rozmezí od 15 °C do 25 °C;
- $NO_{x,o}$  je hodnota  $NO_x$  přepočtená na srovnávací podmínky, vyjádřená v mg/kWh v %.

Tabulka 53: Hodnoty měřených veličin – přepočtené hodnoty  $NO_{x,o}$

| Číslo měření | $NO_x$ [%] | $p_s$ [bar] | $T_m$ [°C] | $h_m$ [g.kg <sup>-1</sup> ] | $p_a$ [mbar] | $\varphi$ [%] |
|--------------|------------|-------------|------------|-----------------------------|--------------|---------------|
| 1.           | 37         | 26,93       | 22,3       | -                           | 994,45       | 41            |
| 2.           | 37         | 26,93       | 22,3       | -                           | 994,45       | 41            |
| 3.           | 37         | 26,93       | 22,2       | -                           | 994,45       | 41            |
| 4.           | 38         | 26,93       | 22,3       | -                           | 994,45       | 41            |
| 5.           | 38         | 26,93       | 22,3       | -                           | 994,45       | 41            |
| 6.           | 38         | 26,93       | 22,3       | -                           | 994,45       | 41            |
| 7.           | 38         | 26,93       | 22,2       | -                           | 994,45       | 41            |
| 8.           | 37         | 26,93       | 22,2       | -                           | 994,45       | 41            |

pokračování



Tabulka 53: Hodnoty měřených veličin – přepočtené hodnoty  $NO_{x,o}$  (dokončení)

| Číslo měření   | $NO_x$ [%] | ps [bar] | $T_m$ [°C] | hm [g.kg-1] | pa [mbar] | $\varphi$ [%] |
|--|------------|----------|------------|-------------|-----------|---------------|
| 9.   | 38         | 26,93    | 22,3       | -           | 994,45    | 41            |
| 10.  | 38         | 26,93    | 22,3       | -           | 994,45    | 41            |
| Průměrné hodnoty k výpočtu                                 |            |          |            |             |           |               |
| -  | 37,6       | 26,93    | 22,3       | 11,23       | 994,45    | 41            |
| Objemová koncentrace oxidu uhelnatého<br>$NO_x = 36,19 \%$ |            |          |            |             |           |               |

Při měření jednotlivých dílčích veličin byla použita tato měřidla

- analyzátor; digitální teploměr a vlhkoměr; manometr; tlakoměr. (viz tabulka 2)

### 5.10.3 Odhad standardní kombinované nejistoty přepočtené hodnoty $NO_{x,o}$

Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty komínových ztrát byl proveden podle Gaussova zákona pro šíření nejistot (4)

$$u_c(NO_{x,o}) \cong \sqrt{\left(\frac{\partial NO_{x,o}}{\partial NO_{x,m}}\right)^2 \cdot u^2(NO_{x,m}) + \left(\frac{\partial NO_{x,o}}{\partial h_m}\right)^2 \cdot u^2(h_m) + \left(\frac{\partial NO_{x,o}}{\partial T_m}\right)^2 \cdot u^2(T_m)} \quad (37)$$

Tabulka 54: Parciální derivace a jejich hodnoty

| Parciální derivace   | Hodnota |
|--|---------|
| $\frac{\partial NO_{x,o}}{\partial NO_{x,m}} = 1 + \frac{0,02 \cdot (h_m - 10)}{1,2 - 0,02 \cdot h_m}$   | 1,02    |
| $\frac{\partial NO_{x,o}}{\partial T_m} = -0,85$   | - 0,85  |
| $\frac{\partial NO_{x,o}}{\partial h_m} = \frac{0,02 \cdot (0,02 \cdot NO_{x,m} - 0,34) \cdot (h_m - 10)}{(1,2 - 0,02 \cdot h_m)^2} + \frac{0,02 \cdot NO_{x,m} - 0,34}{1,2 - 0,02 \cdot h_m}$ | 0,43    |

Na základě rozboru modelu pro výpočet přepočtené hodnoty  $NO_{x,o}$  (35) a modelu pro odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty účinnosti (37) lze konstatovat:

- Nejistota hodnoty přepočtené hodnoty  $NO_{x,o}$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota naměřené hodnoty  $NO_{x,m}$  (pozorovaná veličina).

- Nejistota hodnoty přepočtené hodnoty  $NO_{x,o}$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota teploty v průběhu měření  $T_m$  (pozorovaná veličina).
- Nejistota hodnoty přepočtené hodnoty  $NO_{x,o}$  (výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota vlhkosti v průběhu měření  $h_m$  (pozorovaná veličina).

#### 5.10.4 Odhad standardních nejistot rozboru dílčích složek

Stanovení hodnoty přepočteného množství  $NO_{x,o}$  spočívá ve výpočtu z hodnot dle vztahu (35). Standardní kombinovaná nejistota hodnoty přepočteného množství  $NO_{x,o}$  je získána kombinací ze standardních nejistot těchto měřených veličin dle vztahu (37).

##### Krok 1 – stanovení naměřeného množství $NO_{x,m}$

- Hodnota naměřeného množství  $NO_{x,m}$  se měří v průběhu zkoušky analyzátozem. Rozšířená nejistota kalibrace analyzátozem je udána hodnotou  $U_{NO_{x,o}} = \pm 0,5$  % relativní. Nejistota  $u_{1(NO_{x,m})} = U_{(NO_{x,m})}/2$  vyplývající z nejistoty kalibrace analyzátozem je jednou ze složek standardní nejistoty  $u_{(NO_{x,m})}$  naměřeného množství.
- Hodnota naměřeného množství  $NO_{x,m}$  bude zatížena chybou z nepřesnosti při odečtu z omezeného rozlišení displeje, kde je dána rozlišitelná hodnota  $e = 1$  ppm. Mezní úchylka činí  $a_{(NO_{x,m})} = e/2$ . Distribuční model odpovídá rovnoměrnému pravděpodobnostnímu rozdělení. Z toho pak je hodnota standardní nejistota  $u_{2(NO_{x,m})}$  vyplývající z chyby z nepřesnosti při odečtu z omezené rozlišitelnosti displeje vyjádřena jako  $a_{(NO_{x,m})}/\sqrt{3}$ .
- Hodnota naměřeného množství  $NO_{x,m}$  je kvantifikována z průměrné hodnoty dílčích opakovaných odečtů zaznamenávaných během zkoušky (10 měření). Nejistota  $u_{3(NO_{x,m})}$  je zatížena nejistotou z proměnlivosti těchto hodnot, zahrnující náhodné vlivy při měření přepočteného množství. Nejistota  $u_{3(NO_{x,m})}$  je vyhodnocena výběrovou směrodatnou odchylkou aritmetického průměru.
- Hodnota naměřeného množství  $NO_{x,m}$  se měří v průběhu zkoušky analyzátozem, jenž je kalibrován v návaznosti na certifikovaný kalibrační plyn. Rozšířená nejistota kalibračního plynu je udána hodnotou  $U_{(NO_{x,m})} = \pm 2$  % relativní. Nejistota  $u_{4(NO_{x,m})} = U_{(NO_{x,m})}/2$  vyplývající z nejistoty kalibrace analyzátozem je jednou ze složek standardní nejistoty  $u_{(NO_{x,m})}$  přepočteného množství  $NO_{x,m}$ .

Tabulka 55: Standardní nejistota – naměřeného množství  $NO_{x,m}$

| Popis nejistoty  | Výpočet  | Standardní nejistota |
|--|--|----------------------|
|  |  | absolutní            |
| Krok 1 – stanovení naměřeného množství ( $NO_{x,m}$ ) = 37,6 %   |  |                      |
| Specifikace dílčích nejistot   |  |                      |
| $u_1(NO_{x,m})$ – nejistota hodnoty vyplývající z nejistoty kalibrace analyzátoru                                    | $U_{(NO_{x,m})} = \pm 0,5 \%$  | 0,09 %               |
| $u_2(NO_{x,m})$ – nejistota hodnoty vyplývající z rozlišení displeje   | $\frac{a_{(NO_{x,m})}}{\sqrt{3}} = \frac{0,00005}{\sqrt{3}}$                   | 0,00003 %            |
| $u_3(NO_{x,m})$ – nejistota hodnoty vyplývající z proměnlivosti opakovaných měření                                   | $\sqrt{\frac{\sum ((NO_{x,m})_i - (\overline{NO_{x,m}}))^2}{n \cdot (n - 1)}}$ | 0,20 %               |
| $u_4(NO_{x,m})$ – nejistota hodnoty vyplývající z kalibračního plynu   | $U_{(NO_{x,m})} = \pm 2 \%$  | 0,38 %               |
| Hodnota $u_2(NO_{x,m})$ je zanedbatelná (o několik řádů nižší), neovlivňuje dominantně hodnotu standardní nejistoty. |  |                      |
| $u(NO_{x,m}) = \sqrt{u_1^2(NO_{x,m}) + u_3^2(NO_{x,m}) + u_4^2(NO_{x,m})} = 0,44 \%$ absolutně                       |  |                      |

### Krok 2 – stanovení teploty okolí $T_m$

- Teplota okolí  $T_m$  se měří průběžně během zkoušky teploměrem, jehož metrologická návaznost je zajištěna kalibrací. Rozšířená nejistota kalibrace teploměru je udána hodnotou  $U(T_m) = 1 \%$  (hodnota převzata z kalibračního listu). Nejistota  $u(T_m) = U(T_m)/2$  vyplývající z nejistoty kalibrace teploměru je jednou ze složek standardní nejistoty  $u(T_m)$  teploty okolí.
- Hodnota teploty okolí  $t_{ok}$  bude zatížena chybou z odečtu z omezené rozlišitelnosti displeje  $e = 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Mezní úchylka činí  $a_{(T_m)} = e/2$ . Distribuční model odpovídá rovnoměrnému pravděpodobnostnímu rozdělení. Z toho pak je hodnota standardní nejistoty  $u_{2(T_m)}$  vyplývající z chyby z nepřesnosti při odečtu z omezené rozlišitelnosti displeje vyjádřena jako  $a_{(T_m)}/\sqrt{3}$ .
- Hodnota teploty okolí  $T_m$  je kvantifikována z průměrné hodnoty dílčích opakovaných odečtů zaznamenávaných během zkoušky (10 měření). Nejistota  $u_{3(T_m)}$  je zatížena nejistotou z proměnlivosti těchto hodnot, zahrnující náhodné vlivy při měření teploty.

Nejistota  $u_{3(T_m)}$  je vyhodnocena výběrovou směrodatnou odchylkou aritmetického průměru.

Tabulka 56: Standardní nejistota – teploty okolí

| Popis nejistoty  | Výpočet  | Standardní nejistota |
|--|--|----------------------|
|  |  | absolutní            |
| Krok 2 – stanovení teploty okolí $t_{ok} = 22,3 \text{ °C}$<br>Specifikace dílčích nejistot    |  |                      |
| $u_1(t_{ok})$ – nejistota hodnoty vyplývající z kalibrace teploměru                            | $U(t_{ok}) = 1 \%$                                 | 0,11 %               |
| $u_2(t_{ok})$ – nejistota hodnoty vyplývající z odečtu stupnice měřidla                        | $\frac{a_{tok}}{\sqrt{3}} = \frac{0,05}{\sqrt{3}}$ | 0,03 %               |
| $u_3(t_{ok})$ – nejistota hodnoty vyplývající z proměnlivosti opakovaných měření               | $\sqrt{\frac{\sum (t_{ok,i} - t_{ok})^2}{n(n-1)}}$ | 0,02 %               |
| $u(t_{ok}) = \sqrt{u_1^2(t_{ok}) + u_2^2(t_{ok}) + u_3^2(t_{ok})} = 0,11 \text{ °C}$ absolutně |  |                      |

### Krok 3 – stanovení vlhkosti v průběhu měření

- Hodnota dílčí nejistoty vlhkost v průběhu měření  $u(h_m)$  je převzata z přílohy B.

Tabulka 57: Standardní nejistoty – vlhkost v průběhu měření

|  |
|--|
| Krok 3 – stanovení vlhkosti v průběhu měření $h_m = 11,23 \text{ g.kg}^{-1}$<br>Specifikace dílčích nejistot |
| $u(h_m) = 0,14 \text{ g.kg}^{-1}$ relativně  |

#### 5.10.4 Výpočet rozšířené nejistoty přepočteného množství $NO_{x,o}$

Standardní kombinovaná nejistota přepočteného množství  $NO_{x,o}$  se určí dle vztahu (37)

$$u_c(NO_{x,o}) \cong \sqrt{\left(\frac{\partial NO_{x,o}}{\partial NO_{x,m}}\right)^2 \cdot u^2(NO_{x,m}) + \left(\frac{\partial NO_{x,o}}{\partial h_m}\right)^2 \cdot u^2(h_m) + \left(\frac{\partial NO_{x,o}}{\partial T_m}\right)^2 \cdot u^2(T_m)} =$$

$$= \sqrt{1,02^2 \cdot 0,44^2 + (-0,85)^2 \cdot 0,11^2 + 0,43^2 \cdot 0,14^2} = \sqrt{0,20 + 8,7 \cdot 10^{-3} + 3,6 \cdot 10^{-3}} = 0,46\%$$

Rozšířená nejistota hodnoty přepočteného množství  $NO_{x,o}$  se určí dle vztahu

$$U = k \cdot u_c(NO_{x,o}) = 2 \cdot 0,46 = 0,92 \%$$

kde zvolený koeficient rozšíření  $k = 2$  odpovídá hladině spolehlivosti přibližně 95 %.

Velikost kombinované nejistoty hodnoty přepočteného množství  $NO_{x,o}$  je uvedena v tabulce 58.

Tabulka 58: Nejistota při měření přepočteného množství  $NO_{x,o}$

| Popis nejistoty   | Absolutní | Relativní |
|---|-----------|-----------|
| Přepočtené množství $NO_{x,o}$<br>$NO_{x,o} = 36,19 \%$ |           |           |
| Standardní kombinovaná nejistota                        | 0,46 %    | 1,5 %     |
| Rozšířená nejistota                                     | 0,92 %    | 3 %       |

#### Uvádění výsledku zkoušky

- $NO_{x,o} = (36,19 \pm 0,92) \%$
- hodnota přepočteného množství  $NO_{x,o} = 36,19 \%$  je stanovena s rozšířenou nejistotou  $U = 3 \%$  (koeficient rozšíření  $k = 2$ )

Na základě experimentální kvantifikace výsledků při stanovení přepočteného množství  $NO_x$  lze konstatovat, že jako dominantní nejistota se ukazuje nejistota hodnoty stanovení naměřené hodnoty  $NO_x$ , která tvoří 94% příspěvek k nejistotě hodnoty přepočteného množství  $NO_x$ . Posuzovány byly nejistoty v Gaussově zákoně, které vzniknou jako mocnina součinu parciální derivace funkce a příslušné standardní nejistoty veličiny.

## 6 ZÁVĚR

- 1) Práce byla zadána za účelem navrhnutí metodiky určování nejistot zkoušky pro teplovodní kotle v SZÚ Brno, kde tato metodika zatím nebyla navržena a aplikována.
- 2) Vyjádření nejistot výsledků zkoušky je potřeba kvantifikovat pro každý testovaný parametr. Tato práce se zabývá pouze vybranými hlavními parametry, tyto parametry jsou
  - objemová koncentrace oxidu uhelnatého,
  - provozní způsobilost – průtok odebírané vody;
  - tepelný příkon korigovaný;
  - tepelný výkon;
  - tepelný příkon;
  - účinnost;
  - nejvyšší teplota užitkové vody;
  - povrchová teplota;
  - komínové ztráty;
  - přepočtená hodnota  $NO_x$ .
- 3) Byl proveden rozbor požadavků a zkušebních postupů povinně prokazovaných pro posuzování tepelných zařízení – kotlů na plynná paliva, a to pomocí daných nařízení vlády, směrnic Rady a platných norem, týkajících se tepelných zařízení na plynná paliva.
- 4) Praktická část spočívala ve zjištění požadovaných parametrů k vypracování ze strany SZÚ Brno, sběru dat, konkrétně specifikování měřicího zařízení pro naše účely a sběr dat pro zadané parametry.
- 5) Na základě rozboru metodiky zkoušek a matematických modelů pro dané zkoušky byly navrženy metodiky pro odhad standardních kombinovaných nejistot a rozšířených nejistot pro vybrané výsledky zkoušek kotlů na plynná paliva přímou metodou.
- 6) Navržená metodika vychází z rozboru jednotlivých složek měřených veličin krok za krokem.
- 7) Byla provedena experimentální kvantifikace výsledků zkoušek, pomocí nichž byla stanovena celková nejistota  $U$ . Tato nejistota je uvedena vždy na konci každé zkoušky, a to jak v absolutním tvaru, tak i v relativním včetně možného vyjádření výsledku zkoušky v protokolu. Dále na konci každého budu je uveden rozbor vlivu dílčích nejistot na kombinovanou nejistotu.

## 7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ČSN EN 483. Kotle na plynná paliva pro ústřední vytápění – Kotle provedení C s jmenovitým tepelným příkonem nejvýše 70 kW. 2000.
- [2] ČSN 01 0115. Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii. 1996.
- [3] ČSN P ISO/TS 21749. Nejistoty měření v metrologických aplikacích – Opakovaná měření a hierarchické experimenty. 2007.
- [4] ČSN P ENV 13005. Pokyny pro vyjádření nejistoty měření. 2005.
- [5] ČSN EN 297. Kotle na plynná paliva pro ústřední vytápění – Kotle provedení B<sub>11</sub> a B<sub>11BS</sub> s atmosférickými hořáky a s jmenovitým tepelným příkonem nejvýše 70 kW. 1996.
- [6] Směrnice Rady 90/396/EHS z června 1990 o sblížování právních předpisů členských států týkajících se spotřebičů plyných paliv, ve znění směrnice Rady 93/68/EHS. 1993.
- [7] Směrnice Rady 92/42/EHS o požadavcích na účinnost nových teplovodních kotlů na kapalná nebo plynná paliva ve znění směrnice Rady 93/68/EHS. 1993.
- [8] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. International Organization for Standardization. 1993. ISBN 92-67-10188-9.
- [9] Nařízení vlády č. 22/2003 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na spotřebiče plyných paliv.
- [10] KOŠKA, P.: Aspekty spolehlivosti při analýze rizik v procesu posuzování shody. Brno. 2003. ISBN 80-214-2472-9
- [11] ČSN EN 625. Kotle na plynná paliva pro ústřední vytápění – Zvláštní požadavky na kombinované kotle s jmenovitým tepelným příkonem nejvýše 70 kW provozované za účelem přípravy teplé užitkové vody pro domácnost. 1997.
- [12] Strojírenský zkušební ústav, s. p. [online]. c2008 [cit. 2008-02-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.szutest.cz>>.

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Tabulka 59: použité zkratky a symboly

| Značka        | Název veličiny   | Jednotky            |
|---------------|--|---------------------|
| $CO$          | objemová koncentrace oxidu uhelnatého v suchých spalínách bez přebytku vzduchu       | %                   |
| $(CO)_M$      | objemová koncentrace oxidu uhelnatého ve vzorcích odebraných během zkoušky spalování | %                   |
| $(O_2)_M$     | objemová koncentrace kyslíku ve vzorcích odebraných během zkoušky spalování          | %                   |
| $D_i$         | průtok odebírané vody  | l/min               |
| $m_{i(10)}$   | objemové množství vody odebrané při odběru   | l                   |
| $Q_B$         | tepelný příkon   | kW                  |
| $Q_c$         | korigovaný tepelný příkon  | kW                  |
| $Q_{jmen.}$   | tepelný příkon jmenovitý   | kW                  |
| $t_{vstup.}$  | teplota vstupní užitkové vody  | °C                  |
| $t_{výstup.}$ | teplota výstupní užitkové vody   | °C                  |
| $H_i$         | výhřevnost suchého základního zkušebního plynu                                       | MJ/m <sup>3</sup>   |
| $V$           | objemový průtok paliva   | m <sup>3</sup> /hod |
| $p_g$         | přetlak paliva   | mbar                |
| $p_a$         | atmosférický tlak v době zkoušky   | mbar                |
| $t_g$         | teplota paliva   | °C                  |
| $d$           | poměrná hustota zkušebního plynu   | [-]                 |
| $d_r$         | poměrná hustota základního zkušebního plynu  | [-]                 |
| $Q$           | tepelný výkon  | kW                  |
| $c_{pk}$      | střední měrná tepelná kapacita vody  | kJ.(kg.K)-1         |

pokračování



Tabulka 59: použité zkratky a symboly

dokončení

| Značka      | Název veličiny   | Jednotky           |
|-------------|--|--------------------|
| $m$         | přepočtené množství vody   | kg                 |
| $t_1$       | teplota chladicí vody  | °C                 |
| $t_{ok}$    | teplota okolí  | °C                 |
| $t_2$       | teplota výstupní otopné vody   | °C                 |
| $D_p$       | tepelná ztráta zkušebního okruhu   | kJ                 |
| $\rho$      | hustota vody   | kg.m <sup>-3</sup> |
| $V_{r(10)}$ | spotřeba paliva zjištěná během zkoušky, přepočtená na 15 °C,<br>1013,25 mbar | m <sup>3</sup>     |
| $\eta_u$    | účinnost   | %                  |
| $t_{max}$   | nejvyšší teplota užitkové vody   | °C                 |
| $t_p$       | povrchová teplota  | °C                 |
| $\zeta_1$   | komínová ztráta  | %                  |
| $CO_2$      | objemová koncentrace oxidu uhličitého v plynném palivu                       | %                  |
| $t_{sp.}$   | teplota spalin   | °C                 |
| $NO_{x,m}$  | naměřená hodnota $NO_x$  | %                  |
| $h_m$       | vlhkost v průběhu měření $NO_{x,m}$  | g/kg               |
| $\varphi$   | vlhkost okolního prostředí   | %                  |
| $T_m$       | teplota v průběhu měření $NO_{x,m}$  | °C                 |
| SZÚ         | Strojírenský zkušební ústav  | -                  |
| ISO         | Mezinárodní organizace pro normalizaci                                       | -                  |
| EN          | evropská norma   | -                  |
| ČSN         | česká technická norma  | -                  |

## 9 SEZNAM PŘÍLOH

- [A] Stanovení nejistoty přepočtené spotřeby paliva
- [B] Stanovení nejistoty vlhkosti v průběhu měření
- [C] Posouzení se základními požadavky na výrobek specifikovanými v Příloze I Směrnice 90/396/EHS (v příloze č. 1 NV č. 22/2003 Sb.)
- [D] Posouzení se základními požadavky na výrobek specifikovanými směrnici 92/42/EHS (NV č. 25/2003 Sb.)

## PŘÍLOHA A – Stanovení nejistoty přepočtené spotřeby paliva

### Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty přepočtené spotřeby paliva

Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty tepelného příkonu byl proveden podle Gaussova zákona pro šíření nejistot (4)

$$u_c(V_{r(10)}) \cong \sqrt{\left(\frac{\partial(V_{r(10)})}{\partial f}\right)^2 \cdot u^2(f) + \left(\frac{\partial(V_{r(10)})}{\partial V}\right)^2 \cdot u^2(V)} \quad (38)$$

V tomto případě se jedná o vícenásobnou funkční závislost multiplikativního charakteru, můžeme rovnici tedy vyjádřit dle vztahu

$$u_c(V_{r(10)}) \cong V_{r(10)} \cdot \sqrt{\left(\frac{u(f)}{f}\right)^2 + \left(\frac{u(V)}{V}\right)^2} \quad (39)$$

Na základě rozboru modelu pro výpočet hodnoty spotřeby paliva (23) a modelu pro odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty spotřeby paliva (39) lze konstatovat

- Nejistota hodnoty spotřeby paliva  $V_{r(10)}$  (dílní výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota konstanty  $f$  (pozorovaná veličina).
- Nejistota hodnoty spotřeby paliva  $V_{r(10)}$  (dílní výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota průtoku paliva  $V$  (pozorovaná veličina).

### Odhad standardních nejistot rozboru dílčích složek

Stanovení hodnoty spotřeby paliva spočívá ve výpočtu z hodnot dle vztahu (23). A standardní kombinovaná nejistota hodnoty spotřeby paliva je získána kombinací ze standardních nejistot těchto měřených veličin dle vztahu (39).

### Krok 1 – stanovení naměřeného objemového průtoku paliva $V$

- Objemový průtok paliva  $V$  se měří plynoměrem, jehož metrologická návaznost je zajištěna kalibrací. Rozšířená nejistota kalibrace plynoměru je udána hodnotou  $U(V)=1\%$  (hodnota převzata z kalibračního listu). Nejistota  $u_1(V)=U(V)/2$  vyplývající z nejistoty kalibrace plynoměru je jednou ze složek standardní nejistoty  $u(V)$

objemového průtoku paliva.

- Hodnota objemového průtoku paliva bude zatížena chybou z odečtu ze stupnice měřidla, kde chyba bude závislá na velikosti dílku stupnice  $e_{(V)} = 0,001 \text{ m}^3$ . Mezní úchylka  $a_{(V)} = e_{(V)}/2$ . Distribuční model odpovídá rovnoměrnému pravděpodobnostnímu rozdělení a z toho pak je hodnota standardní nejistoty  $u_2(V)$  vyplývající z chyby odečtu ze stupnice vyjádřena jako  $a_{(V)}/\sqrt{3}$ .

Tabulka 60: Standardní nejistota – objemový průtok paliva

| Popis nejistoty  | Výpočet  | Standardní nejistota                       |
|--|--|--|
|  |  | absolutní                                  |
| Krok 1 – stanovení objemového průtoku paliva $V = 2,775 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ |  |  |
| Specifikace dílčích nejistot   |  |  |
| $u_1(V)$ – nejistota hodnoty vyplývající z kalibrace plynoměru                             | $U_1(V) = \pm 1\%$                               | $0,014 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$  |
| $u_2(V)$ – nejistota hodnoty vyplývající z odečtu ze stupnice měřidla                      | $\frac{a_V}{\sqrt{3}} = \frac{0,0005}{\sqrt{3}}$ | $0,0003 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ |
| $u(V) = \sqrt{u_1^2(V) + u_2^2(V)} = 0,014 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ absolutně    |  |  |

### Krok 2 – stanovení naměřeného přetlaku paliva $p_g$

- Hodnota přetlaku paliva  $p_g$  bude zatížena chybou z odečtu ze stupnice manometru, kde velikost chyby bude závislá na velikosti dílku stupnice  $e_{pg} = 1 \text{ mbar}$ , mezní úchylka  $a_{pg} = e_{pg}/2$ . Hodnota standardní nejistoty  $u_1(p_g)$  vyplývající z chyby odečtu ze stupnice měřidla je vyjádřena  $a_{pg}/\sqrt{3}$ .

Tabulka 61: Standardní nejistota – přetlak paliva

| Popis nejistoty  | Výpočet  | Standardní nejistota |
|--|--|----------------------|
|  |  | absolutní            |
| Krok 2 – stanovení naměřeného přetlaku paliva $p_g = 21,09 \text{ mbar}$ |  |                      |
| Specifikace dílčích nejistot   |  |                      |
| $u_1(p_g)$ – nejistota hodnoty vyplývající z odečtu stupnice manometru   | $\frac{a_{p_g}}{\sqrt{3}} = \frac{0,05}{\sqrt{3}}$ | $0,03 \text{ mbar}$  |
| $u(p_g) = u_1(p_g) = 0,03 \text{ mbar}$ absolutně                        |  |                      |

### Krok 3 – stanovení atmosférického tlaku $p_a$

- Atmosférický tlak  $p_a$  se měří u zkoušky barometrem, jehož metrologická návaznost je zajištěna kalibrací. Rozšířená nejistota kalibrace tlakoměru je udána hodnotou  $U(p_a) = 0,2 \%$  (hodnota převzata z kalibračního listu). Nejistota  $u(p_a) = U(p_a)/2$  vyplývající z nejistoty kalibrace tlakoměru je jednou ze složek standardní nejistoty  $u(p_a)$  atmosférického tlaku.

Tabulka 62: Standardní nejistota – atmosférický tlak

| Popis nejistoty   | Výpočet               | Standardní nejistota |
|---|-----------------------|----------------------|
|   |                       | absolutní            |
| Krok 3 – stanovení atmosférického tlaku $p_a = 994,45$ mbar<br>Specifikace dílčích nejistot |                       |                      |
| $u_1(p_g)$ – nejistota hodnoty vyplývající z kalibrace tlakoměru                            | $U(p_a) = \pm 0,2 \%$ | 0,99 mbar            |
| $u(p_a) = u_1(p_g) = 0,99$ mbar absolutně   |                       |                      |

### Krok 4 – stanovení parciálního tlaku $p_s$

- Parciální tlak vody je tabelovaná hodnota. Tato hodnota parciálního tlaku vody se udává s přesností  $\pm 0,005$  mbar (mezní úchylka  $\pm a_{ps} = \pm 0,005$  mbar). Hodnota standardní nejistoty  $u(p_s)$  parciálního tlaku vody je podle distribučního modelu, odpovídajícího rovnoměrnému pravděpodobnostnímu rozdělení vyjádřena jako  $a_{ps}/\sqrt{3}$ .

Tabulka 63: Standardní nejistoty – parciální tlak vody

| Popis nejistoty  | Výpočet   | Standardní nejistota |
|--|---|----------------------|
|  |   | absolutní            |
| Krok 4 – stanovení parciálního tlaku vody $p_s = 21,98$ mbar<br>Specifikace dílčích nejistot |   |                      |
| $u_1(p_s)$ – nejistota hodnoty vyplývající z přesnosti stanovení                             | $\frac{a_{p_s}}{\sqrt{3}} = \frac{0,005}{\sqrt{3}}$ | 0,003 mbar           |
| $u(p_s) = u_1(p_s) = 0,003$ mbar absolutně   |   |                      |

### Krok 5 – stanovení teploty paliva $t_g$

- Teplota paliva  $t_g$  se měří průběžně během zkoušky teploměrem, jehož metrologická návaznost je zajištěna kalibrací. Rozšířená nejistota kalibrace teploměru je udána hodnotou  $U(t_g) = 1 \%$  (hodnota převzata z kalibračního listu). Nejistota  $u(t_g) = U(t_g)/2$  vyplývající z nejistoty kalibrace teploměru je jednou ze složek standardní nejistoty  $u(t_g)$  teploty paliva.
- Hodnota teploty paliva  $t_g$  bude zatížena chybou z odečtu z omezené rozlišitelnosti displeje  $e = 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Mezní úchylka  $a_{(t_g)} = e/2$ . Distribuční model odpovídá rovnoměrnému pravděpodobnostnímu rozdělení a z toho pak je hodnota standardní nejistoty  $u_{2(t_g)}$  vyplývající z chyby z nepřesnosti při odečtu z omezené rozlišitelnosti displeje vyjádřena jako  $a_{(t_g)}/\sqrt{3}$ .

Tabulka 64: Standardní nejistoty – teploty paliva

| Popis nejistoty  | Výpočet  | Standardní nejistota  |
|--|--|-----------------------|
|  |  | absolutní             |
| Krok 5 – stanovení teploty paliva $t_g = 19,0 \text{ } ^\circ\text{C}$<br>Specifikace dílčích nejistot |  |                       |
| $u_1(t_g)$ – nejistota hodnoty vyplývající z kalibrace teploměru                                       | $U(t_g) = \pm 1 \%$                                | 0,01 $^\circ\text{C}$ |
| $u_2(t_g)$ – nejistota hodnoty vyplývající z odečtu stupnice měřidla                                   | $\frac{a_{t_g}}{\sqrt{3}} = \frac{0,05}{\sqrt{3}}$ | 0,03 $^\circ\text{C}$ |
| $u(t_g) = \sqrt{u_1^2(t_g) + u_2^2(t_g)} = 0,03 \text{ } ^\circ\text{C}$ absolutně                     |  |                       |

### Krok 6 – stanovení faktoru $f$

Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty faktoru  $f$  byl proveden podle Gaussova zákona pro šíření nejistot (4)

$$u_c(f) \cong \sqrt{\left(\frac{\partial(f)}{\partial p_g}\right)^2 \cdot u^2(p_g) + \left(\frac{\partial(f)}{\partial p_a}\right)^2 \cdot u^2(p_a) + \left(\frac{\partial(f)}{\partial p_s}\right)^2 \cdot u^2(p_s) + \left(\frac{\partial(f)}{\partial t_g}\right)^2 \cdot u^2(t_g)}$$

Tabulka 65: Parciální derivace a jejich hodnoty

| Parciální derivace  | Hodnota | Parciální derivace  | Hodnota |
|---|---------|---|---------|
| $\frac{\partial f}{\partial p_g} = \frac{0,28438}{273,15 + t_g}$  | 0,001   | $\frac{\partial f}{\partial p_a} = \frac{0,28438}{273,15 + t_g}$                              | 0,001   |
| $\frac{\partial f}{\partial p_s} = -\frac{0,28438}{273,15 + t_g}$ | -0,001  | $\frac{\partial f}{\partial p_a} = -\frac{0,28438 \cdot (p_a + p_g - p_s)}{(273,15 + t_g)^2}$ | -0,003  |

Tabulka 66: Standardní nejistota – stanovení faktoru  $f$

| Krok 6 – stanovení faktoru $f=0,96247$<br>Specifikace dílčích nejistot  |
|---|
| $u_c(f) \cong \sqrt{\left(\frac{\partial(f)}{\partial p_g}\right)^2 \cdot u^2(p_g) + \left(\frac{\partial(f)}{\partial p_a}\right)^2 \cdot u^2(p_a) + \left(\frac{\partial(f)}{\partial p_s}\right)^2 \cdot u^2(p_s) + \left(\frac{\partial(f)}{\partial t_g}\right)^2 \cdot u^2(t_g)} =$ $= \sqrt{0,001^2 \cdot 0,006^2 + 0,001^2 \cdot 0,994^2 + (-0,001)^2 \cdot 0,003^2 + (-0,003)^2 \cdot 0,03^2} =$ $= 0,001$ |

Standardní kombinovaná nejistota spotřeby paliva se určí dle vztahu (39)

$$u_c(V_{r(10)}) \cong V_{r(10)} \cdot \sqrt{\left(\frac{u(f)}{f}\right)^2 + \left(\frac{u(V)}{V}\right)^2} = 2,671 \cdot \sqrt{1,08 \cdot 10^{-6} + 2,55 \cdot 10^{-5}} = 0,014 \text{ m}^3$$

## PŘÍLOHA B – Stanovení nejistoty vlhkosti v průběhu měření

### Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty vlhkosti v průběhu měření

Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty vlhkosti v průběhu měření byl proveden podle Gaussova zákona pro šíření nejistot (4)

$$u_c(h_m) \cong \sqrt{\left(\frac{\partial(h_m)}{\partial\varphi}\right)^2 \cdot u^2(\varphi) + \left(\frac{\partial(h_m)}{\partial p_a}\right)^2 \cdot u^2(p_a) + \left(\frac{\partial(h_m)}{\partial p_s}\right)^2 \cdot u^2(p_s)} \quad (40)$$

Tabulka 67: Parciální derivace a jejich hodnoty

| Parciální derivace   | Hodnota |
|--|---------|
| $\frac{\partial h_m}{\partial \varphi} = \frac{10 \cdot p_s}{p_a - 0,01 \cdot \varphi \cdot p_s} + \frac{0,1 \cdot \varphi \cdot p_s^2}{(p_a - 0,01 \cdot \varphi \cdot p_s)^2}$ | 0,28    |
| $\frac{\partial h_m}{\partial p_s} = \frac{10 \cdot \varphi}{p_a - 0,01 \cdot \varphi \cdot p_s} + \frac{0,1 \cdot \varphi^2 \cdot p_s}{(p_a - 0,01 \cdot \varphi \cdot p_s)^2}$ | 0,42    |
| $\frac{\partial h_m}{\partial p_a} = -\frac{10 \cdot \varphi \cdot p_s}{(p_a - 0,01 \cdot \varphi \cdot p_s)^2}$   | -0,01   |

Na základě rozboru modelu pro výpočet vlhkosti v průběhu zkoušky (36) a modelu pro odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty vlhkosti v průběhu zkoušky (40) lze konstatovat

- Nejistota hodnoty vlhkosti v průběhu zkoušky  $h_m$  (dílní výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota vlhkosti  $\varphi$  (pozorovaná veličina).
- Nejistota hodnoty vlhkosti v průběhu zkoušky  $h_m$  (dílní výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota parciálního tlaku  $p_s$  (pozorovaná veličina).
- Nejistota hodnoty vlhkosti v průběhu zkoušky  $h_m$  (dílní výsledek zkoušky) bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota atmosférického tlaku  $p_a$  (pozorovaná veličina).



## Odhad standardních nejistot rozboru dílčích složek

### Krok 1 – stanovení vlhkosti $\varphi$

- Vlhkost  $\varphi$  se měří vlhkoměrem, jehož metrologická návaznost je zajištěna kalibrací. Rozšířená nejistota kalibrace vlhkoměru je udána hodnotou  $U(\varphi) = 1,5\%$  (hodnota převzata z kalibračního listu). Nejistota  $u_1(\varphi) = U(\varphi)/2$  vyplývající z nejistoty kalibrace vlhkoměru je jednou ze složek standardní nejistoty  $u(\varphi)$  vlhkosti.
- Vlhkost  $\varphi$  bude zatížena chybou z odečtu ze stupnice měřidla, kde chyba bude závislá na velikosti dílku stupnice  $e(\varphi) = 0,1\%$ . Mezní úchylka  $a(\varphi) = e(\varphi)/2$ . Distribuční model odpovídá rovnoměrnému pravděpodobnostnímu rozdělení a z toho pak je hodnota standardní nejistoty  $u_2(\varphi)$  vyplývající z chyby z nepřesnosti při odečtu ze stupnice vyjádřena jako  $a(\varphi)/\sqrt{3}$ .

Tabulka 68: Standardní nejistota – vlhkosti

| Krok 1 – stanovení objemového průtoku paliva $\varphi = 41\%$               |  |        |
|---|--|--------|
| Specifikace dílčích nejistot  |  |        |
| $u_1(\varphi)$ – nejistota hodnoty vyplývající z kalibrace vlhkoměru        | $U_1(\varphi) = \pm 2,5\%$                           | 0,5 %  |
| $u_2(\varphi)$ – nejistota hodnoty vyplývající z odečtu ze stupnice měřidla | $\frac{a_\varphi}{\sqrt{3}} = \frac{0,05}{\sqrt{3}}$ | 0,03 % |
| $u(\varphi) = \sqrt{u_1^2(\varphi) + u_2^2(\varphi)} = 0,5\%$ absolutně     |  |        |

### Krok 2 – stanovení parciálního tlaku $p_s$

- Parciální tlak vody je tabelovaná hodnota. Tato hodnota parciálního tlaku vody se udává s přesností  $\pm 0,005$  mbar (mezní úchylka  $\pm a_{ps} = \pm 0,005$  mbar). Hodnota standardní nejistoty  $u(p_s)$  parciálního tlaku vody je podle distribučního modelu, odpovídajícímu rovnoměrnému pravděpodobnostnímu rozdělení, vyjádřena jako  $a_{ps}/\sqrt{3}$ .

Tabulka 69: Standardní nejistota – parciálního tlaku

|  |   |            |
|--|---|------------|
| Krok 4 – stanovení parciálního tlaku vody $p_s = 26,93$ mbar     |   |            |
| Specifikace dílčích nejistot:                                    |   |            |
| $u_1(p_s)$ – nejistota hodnoty vyplývající z přesnosti stanovení | $\frac{a_{p_s}}{\sqrt{3}} = \frac{0,005}{\sqrt{3}}$ | 0,003 mbar |
| $u(p_s) = u_1(p_s) = 0,003$ mbar absolutně                       |   |            |

### Krok 3 – stanovení atmosférického tlaku $p_a$

- Atmosférický tlak  $p_a$  se měří u zkoušky barometrem, jehož metrologická návaznost je zajištěna kalibrací. Rozšířená nejistota kalibrace tlakoměru je udána hodnotou  $U(p_a) = 0,2\%$  (hodnota převzata z kalibračního listu). Nejistota  $u(p_a) = U(p_a)/2$  vyplývající z nejistoty kalibrace tlakoměru je jednou ze složek standardní nejistoty  $u(p_a)$  atmosférického tlaku.

Tabulka 70: Standardní nejistota – atmosférického tlaku

|  |                      |           |
|--|----------------------|-----------|
| Krok 3 – stanovení atmosférického tlaku $p_a = 994,45$ mbar      |                      |           |
| Specifikace dílčích nejistot                                     |                      |           |
| $u_1(p_g)$ – nejistota hodnoty vyplývající z kalibrace tlakoměru | $U(p_a) = \pm 0,2\%$ | 0,99 mbar |
| $u(p_a) = u_1(p_g) = 0,99$ mbar absolutně                        |                      |           |

Standardní kombinovaná nejistota vlhkosti se určí dle vztahu (40)

$$\begin{aligned}
 u_c(h_m) &\cong \sqrt{\left(\frac{\partial(h_m)}{\partial\varphi}\right)^2 \cdot u^2(\varphi) + \left(\frac{\partial(h_m)}{\partial p_a}\right)^2 \cdot u^2(p_a) + \left(\frac{\partial(h_m)}{\partial p_s}\right)^2 \cdot u^2(p_s)} = \\
 &= \sqrt{0,28^2 \cdot 0,5^2 + 0,42^2 \cdot 0,003^2 + (-0,01)^2 \cdot 0,99^2} = 0,14 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}
 \end{aligned}$$

**PŘÍLOHA C - Posouzení se základními požadavky na výrobek specifikovanými  
v Příloze I Směrnice 90/396/EHS (v příloze č. 1 NV č. 22/2003 Sb.)**

Tabulka 71a – posuzování shody

| Základní požadavek |   | Použitá norma, technický předpis   |
|--------------------|---|--|
| <b>1</b>           | <b>VŠEOBECNÉ PODMÍNKY</b>   |  |
| <b>1.1</b>         | Spotřebiče musí být konstruovány a vyráběny tak, aby fungovaly bezpečně a neohrožovaly osoby, domácí zvířata nebo majetek při běžném používání, jak je definováno v článku 1, odstavec 4 této Směrnice.   | ČSN EN 483:2000 čl. 5<br>ČSN EN 625:1997 čl. 4.1-4.4   |
| <b>1.2</b>         | Všechny spotřebiče při uvádění na trh musí:<br>-být vybaveny technickými návody určenými pro pracovníka provádějícího instalaci<br>-být vybaveny návodem k obsluze a údržbě určeným pro uživatele<br>-být opatřeny vhodným upozorněním, které musí být uvedeno i na obalu<br>-návody a upozornění musí být v úředním jazyce nebo jazycích členských států, do kterých se spotřebiče distribuují.  | ČSN EN 483:2000 čl. 8.2.1<br>ČSN EN 625:1997 čl. 7.2, 7.2.1<br>ČSN EN 483:2000 čl. 8.2.2<br>ČSN EN 625:1997 čl. 7.2, 7.2.2<br>(ČSN 06 1008:1997 čl. 12.2)<br>(Zákon č. 634/1992 Sb. § 8 – 11)<br>ČSN EN 483:2000 čl. 8.1.4, 8.1.5<br>ČSN EN 483:2000 čl. 8.2.4 |
| <b>1.2.1</b>       | Technické návody určené pro pracovníka provádějícího instalaci musí obsahovat všechny údaje k montáži, seřízení a údržbě, jež jsou vyžadovány k zajištění toho, aby jmenované operace byly správně provedeny a aby spotřebič mohl být bezpečně provozován. Návody musí zejména specifikovat:<br>-druh použitého plynného paliva<br>-použitý připojovací přetlak plynného paliva<br>-požadovaný přívod čistého vzduchu<br>- pro přívod vzduchu podporujícího hoření<br>- pro zabránění vytvoření směsi nespáleného paliva<br>-podmínky týkající se způsobu odvádění spalin<br>-u hořáků s nuceným proudem vzduchu a u topných těles, které budou vybaveny těmito hořáky, jejich charakteristiky, požadavky na montáž, které napomohou splnění základních požadavků platných u kompletních spotřebičů, a bude-li třeba, seznam kombinací doporučených výrobcem. | ČSN EN 483:2000 čl. 8.2.1  |
| <b>1.2.2</b>       | Návod k obsluze a údržbě, který je určen pro uživatele, musí obsahovat všechny informace požadované pro bezpečné používání a musí zejména upozorňovat uživatele na jakákoliv omezení při používání.   | ČSN EN 483:2000 čl. 8.2.2<br>ČSN EN 625:1997 čl. 7.2.2<br>(Zákon č. 185/2001 Sb. § 10)   |

Tabulka 71b – posuzování shody

| Základní požadavek |  | Použitá norma, technický předpis  |
|--------------------|--|---|
| 1.2.3              | Upozornění uváděná na spotřebiči a jeho obalu musí jasně uvádět druh použitého plynného paliva, připojovací přetlak paliva a všechna omezení při používání, zejména omezení, kdy spotřebič musí být instalován pouze v prostorách s dostatečným větráním.                    | ČSN EN 483:2000 čl. 8.1.2, 8.1.3, 8.1.4, 8.1.5<br>(Zákon č. 477/2001 Sb. § 6) |
| 1.3                | Vybavení, o nichž se předpokládá, že budou součástí spotřebiče, musí být konstruována a vyráběna tak, aby splňovala přesně svůj určený účel, jsou-li zabudována podle návodů k montáži.  |   |
| 2                  | <b>MATERIÁLY</b>   |   |
| 2.1                | Materiály musí odpovídat svému zamýšlenému účelu a musí být odolné proti technickým, chemickým a tepelným vlivům, jimž budou podle předpokladu vystaveny.  | ČSN EN 483:2000 čl. 5.3<br>ČSN EN 625:1997 čl. 4.1                            |
| 2.2                | Vlastnosti materiálů, které jsou důležité z hlediska bezpečnosti, musí zaručit výrobce nebo dodavatel spotřebiče.  | -   |
| 3                  | <b>KONSTRUKCE A VÝROBA</b>   |   |
| 3.1                | <i>Všeobecně</i>   |   |
| 3.1.1              | Spotřebiče musí být konstruovány tak, aby při běžném používání nemohlo dojít ke zhoršení jejich bezpečnosti vlivem nestability, deformace, poškození nebo opotřebení.  | ČSN EN 483:2000 čl. 5.3, 5.4<br>ČSN EN 625:1997 čl. 4.1                       |
| 3.1.2              | Výskyt kondenzace při uvádění do provozu nebo při používání nesmí ovlivnit bezpečnost spotřebičů.  | ČSN EN 483:2000 čl. 5.3.6   |
| 3.1.3              | Spotřebiče musí být konstruovány a vyrobeny tak, aby se minimalizovalo riziko výbuchu vlivem požáru vnějšího původu.   | ČSN EN 483:2000 čl. 5.4.3   |
| 3.1.4              | Spotřebiče musí být konstruovány tak, aby nemohlo dojít k proniknutí vody a nežádoucího vzduchu do okruhů, jimiž proudí palivo.  | ČSN EN 483:2000 čl. 5.4.3.1<br>ČSN EN 625:1997 čl. 4.3                        |
| 3.1.5              | V případě běžného kolísání pomocné energie musí spotřebiče trvale bezpečně fungovat.   | ČSN EN 483:2000 čl. 5.5   |
| 3.1.6              | Abnormální kolísání nebo výpadek pomocné energie nebo její obnovení nesmí vyvolat nebezpečnou situaci.   | ČSN EN 483:2000 čl. 5.4.7   |
| 3.1.7              | Spotřebiče musí být konstruovány a vyrobeny tak, aby se předešlo nebezpečí úrazu elektrickým proudem.<br>V oblasti, kde se aplikuje Směrnice 73/23/EHS, se soulad s bezpečnostními cíli z hlediska nebezpečí úrazu elektrickým proudem považuje za splnění tohoto požadavku. | ČSN EN 483:2000 čl. 5.5<br>ČSN EN 60335-1:1997<br>ČSN EN 50165:1999           |

Tabulka 71c – posuzování shody

| Základní požadavek |   | Použitá norma, technický předpis  |
|--------------------|---|---|
| 3.1.8              | Všechny části spotřebiče, které jsou pod tlakem, musí být odolné mechanickým a tepelným namáháním, kterým jsou vystaveny, aniž by došlo k jakékoli deformaci ovlivňující bezpečnost.  | ČSN EN 483:2000 čl. 6.2.3<br>ČSN EN 625:1997 čl. 5.2.1.1  |
| 3.1.9              | Spotřebiče musí být konstruovány a vyrobeny tak, aby porucha bezpečnostních, ovládacích nebo regulačních zařízení nevedla k nebezpečné situaci.   | ČSN EN 483:2000 čl. 5.4.4, 5.4.4.6.2, 5.6.1, 5.6.4, 5.6.6, 5.6.7<br>ČSN EN 625:1997 čl. 4.4, 5.2.1.2, 5.2.1.3 |
| 3.1.10             | Je-li spotřebič vybaven bezpečnostními nebo ovládacími zařízeními, nesmí být fungování bezpečnostních přístrojů narušeno funkcí ovládacího zařízení.  | ČSN EN 483:2000 čl. 5.6, 5.6.1  |
| 3.1.11             | Všechny části spotřebičů, které jsou seřizeny nebo nastaveny při výrobě a se kterými by uživatel ani pracovník provádějící instalaci neměli manipulovat, musí být vhodně zajištěny.   | ČSN EN 483:2000 čl. 5.5, 5.6.2.1  |
| 3.1.12             | Ruční ovládače a ostatní ovládací a regulační zařízení musí být jasně označeny a musí být opatřeny vhodnými instrukcemi tak, aby se zabránilo jakékoli chybě při manipulaci. Jejich konstrukce musí vylučovat náhodnou manipulaci.          | ČSN EN 483:2000 čl. 5.5, 5.6.3.2  |
| 3.2                | <b>Únik nespáleného paliva</b>  |   |
| 3.2.1              | Spotřebiče musí být konstruovány tak, aby množství unikajícího paliva nebylo nebezpečné.  | ČSN EN 483:2000 čl. 5.4.3.1, 6.2.1  |
| 3.2.2              | Spotřebiče musí být konstruovány tak, aby množství paliva, které unikne z hořáku při zapalování, opakovaném zapalování a při zhasnutí plamene, bylo omezeno, aby se tak zabránilo nebezpečné-mu hromadění nespáleného paliva ve spotřebiči. | ČSN EN 483:2000 čl. 5.6.5, 6.5.4, 6.5.5, 6.5.5.2, 6.5.5.2.3, 6.5.5.2.4  |
| 3.3                | <b>Zapalování</b>   |   |
|                    | Spotřebiče musí být konstruovány tak, aby při běžném používání:<br>-zapalování a opakované zapalování proběhlo plynule<br>-bylo zajištěno spolehlivé šíření plamene.  | ČSN EN 483:2000 čl. 5.6.5, 6.4.2, 6.4.2.1, 6.5.5.2<br>ČSN EN 483:2000 čl. 5.6.5, 6.4.2, 6.4.2.1, 6.5.5.2      |
| 3.4                | <b>Spalování</b>  |   |
| 3.4.1              | Spotřebiče musí být konstruovány tak, aby při běžném používání byla zajištěna stabilita plamene a aby spaliny neobsahovaly nepřijatelné koncentrace zdraví škodlivých látek.  | ČSN EN 483:2000 čl. 6.4.2, 6.5.8, 6.6.1   |

Tabulka 71d – posuzování shody

| Základní požadavek |  | Použitá norma, technický předpis                                      |
|--------------------|--|---|
| 3.4.2              | Spotřebiče musí být konstruovány tak, aby při běžném používání nedošlo k žádnému náhodnému úniku spalin.   | ČSN EN 483:2000 čl. 5.4.3.2, 6.2.2                                    |
| 3.4.3              | Spotřebiče s odvodem spalin mimo místnost musí být konstruovány tak, aby za abnormálních podmínek odvádění spalin nedocházelo k hromadění spalin v místnosti v nebezpečném množství.   | -   |
| 3.4.4              | <b>Koncentrace CO</b><br>Lokální spotřebiče k vytápění v domácnostech a průtokové ohřívače vody, které nemají zajištěno odvádění spalin mimo místnost, nesmějí způsobit v místnosti nebo prostoru takovou koncentraci oxidu uhelnatého, která by ohrožovala zdraví osob s přihlédnutím k předpokládané době jejich pobytu v místnosti nebo prostoru. | -   |
| 3.5                | <b>Racionální využití energie</b>  |   |
|                    | Spotřebiče musí být konstruovány tak, aby zajistily racionální využití energie s ohledem na stav techniky a bezpečnostní hlediska.   | ČSN EN 483:2000 čl. 6.7.1, 6.7.2<br>ČSN EN 625:1997 čl. 5.3           |
| 3.6                | <b>Teploty</b>   |   |
| 3.6.1              | Části spotřebičů, které jsou určeny k umístění na podlahu nebo v blízkosti jiných ploch, nesmějí dosáhnout teplot, které jsou pro okolí nebezpečné.  | ČSN EN 483:2000 čl. 6.4.1.2, 6.4.1.3                                  |
| 3.6.2              | Teplota povrchu ručních ovládacích prvků spotřebičů, které jsou určeny k manipulaci, nesmí být pro uživatele nebezpečná.   | ČSN EN 483:2000 čl. 5.5, 6.4.1.1                                      |
| 3.6.3              | Teploty povrchu vnějších částí spotřebičů, které jsou určeny pro domácí použití, s výjimkou ploch nebo částí určených ke sdílení tepla, nesmějí být při provozních podmínkách zdrojem nebezpečí pro uživatele a zvláště pro děti, u nichž je nutno vzít v úvahu přiměřenou reakční dobu.   | ČSN EN 483:2000 čl. 5.5, 6.4.1.2, 6.4.1.4                             |
| 3.7                | <b>Potraviny, užitková (pitná) voda</b>  |   |
|                    | Bez dotčení pravidel Společenství v této oblasti nesmějí materiály a komponenty používané na konstrukci spotřebiče, které přicházejí do styku s potravinami, pitnou a užitkovou vodou, zhoršit jejich jakost.  | ČSN EN 625:1997 předmluva a čl. 4.1<br>(Vyhláška MZd č. 409/2005 Sb.) |

**PŘÍLOHA D - Posouzení se základními požadavky na výrobek specifikovanými směrnici 92/42/EHS (NV č. 25/2003 Sb.).**

Tabulka 72: Splnění požadavků dle čl. 5 směrnice 92/42/EHS (dle § 2 NV č. 25/2003 Sb.).

| Účinnost při jmenovitém výkonu |                           |                         |                                       |
|--------------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Typ kotle                      | Střední teplota vody (°C) | Požadovaná účinnost (%) | Použitá norma, technický předpis      |
| Standardní kotle               | 70                        | $\geq 84+2 \log P_n$    | ČSN EN 483 ZMĚNA<br>A2:2002 čl. 6.7.1 |
| Účinnost při částečném výkonu  |                           |                         |                                       |
| Typ kotle                      | Střední teplota vody (°C) | Požadovaná účinnost (%) | Použitá norma, technický předpis      |
| Standardní kotle               | $\geq 50$                 | $\geq 80+3 \log P_n$    | ČSN EN 483 ZMĚNA<br>A2:2002 čl. 6.7.2 |

Tabulka 73: Vyhodnocení požadavků pro označování kotlů dle čl. 6 směrnice 92/42/EHS (dle § 4 NV č. 25/2003 Sb.).

| Účinnost při jmenovitém výkonu |                           |                      |                      |
|--------------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|
| Typ kotle                      | Střední teplota vody (°C) | Účinnost (%)         |                      |
|                                |                           | Požadavek na ★       | Požadavek na ★★★     |
| Standardní kotle               | 70                        | $\geq 84+2 \log P_n$ | $\geq 87+2 \log P_n$ |
| Účinnost při částečném výkonu  |                           |                      |                      |
| Typ kotle                      | Střední teplota vody (°C) | Účinnost (%)         |                      |
|                                |                           | Požadavek na ★       | Požadavek na ★★★     |
| Standardní kotle               | $\geq 50$                 | $\geq 80+3 \log P_n$ | $\geq 83+3 \log P_n$ |

Symbolem ★ je vyjádřena energetická účinnost kotle.