

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Ing. Petr Koška

**ASPEKTY SPOLEHLIVOSTI PŘI ANALÝZE RIZIK
V PROCESU POSUZOVÁNÍ SHODY**

(Vyjadřování nejistoty výsledků při zkoušení účinnosti kotlů
pro ústřední vytápění)

**ASPECT OF RELIABILITY IN COMPATIBILITY EVALUATION
OF RISK ANALYSIS PROCESS**

(Expressing uncertainty of efficiency value when testing
central heating liquid fuel boilers)

ZKRÁCENÁ VERZE PH.D. THESIS

Obor: 23-07-9 Strojírenská technologie

Školitel: Doc. Ing. Alois Fiala, CSc. (VUT Brno)

Oponenti: Prof. Ing. Jaroslav Nenadál, CSc. (VŠB TU Ostrava)
Doc. RNDr. Bohumil Maroš, CSc. (VUT Brno)
Ing. Zdeněk Tomáš, CSc. (ALSTOM POWER, a.s. Brno)

Datum obhajoby: 9. 7. 2003

KLÍČOVÁ SLOVA

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

KEY WORDS

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

Disertační práce je uložena na oddělení vědy a výzkumu fakulty strojního inženýrství v Brně, Technická 2, 616 69 Brno.

OBSAH

1 ÚVOD.....	5
2 POSUZOVÁNÍ SHODY	5
3 FORMULACE CÍLŮ PRÁCE	5
4 VÝPOČET NEJISTOTY VÝSLEDKU ZKOUŠKY.....	6
4.1 ODHAD STANDARDNÍ KOMBINOVANÉ NEJISTOTY	6
4.2 ROZŠÍŘENÁ NEJISTOTA.....	7
5 ÚČINNOST KOTLŮ	7
5.1 MĚŘENÍ ÚČINNOSTI KOTLE PŘÍMOU METODOU	7
5.2 STANOVENÍ JMENOVITÉHO TEPELNÉHO VÝKONU KOTLE	7
5.2.1 Výpočet jmenovitého tepelného výkonu	7
5.2.2 Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty tepelného výkonu.....	9
5.2.3 Odhad standardních nejistot při měření tepelného výkonu	9
5.2.4 Výpočet rozšířené nejistoty hodnoty tepelného výkonu.....	11
5.3 STANOVENÍ TEPELNÉHO PŘÍKONU KOTLE	13
5.3.1 Výpočet tepelného příkonu	13
5.3.2 Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty tepelného příkonu ...	14
5.3.3 Odhad standardních nejistot při měření tepelného příkonu.....	15
5.3.4 Výpočet rozšířené nejistoty hodnoty tepelného příkonu	16
5.4 STANOVENÍ ÚČINNOSTI KOTLE.....	16
5.4.1 Výpočet účinnosti kotle	16
5.4.2 Odhad standardní kombinované nejistoty	17
5.4.3 Odhad standardních nejistot při měření účinnosti	17
5.4.4 Výpočet rozšířené nejistoty.....	17
6 ZÁVĚR.....	18
7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	20
8 ŽIVOTOPIS.....	21
9 ABSTRACT	22

1 ÚVOD

Tato práce se zabývá vyjadřováním nejistot výsledků při zkoušení a ověřování parametrů výrobků. Experimentální část práce je zaměřena na vyjadřování nejistot výsledků při zkoušení kotlů pro ústřední vytápění na kapalná paliva, a to konkrétně výsledků při stanovování tepelného výkonu kotle, tepelného příkonu kotle a účinnosti kotle stanovované přímou metodou.

2 POSUZOVÁNÍ SHODY

Účinnost kotle jako parametr patří mezi provozní vlastnosti, jejichž hodnota se posuzuje ve vztahu k předepsaným požadavkům. Každý výrobce nebo dovozce musí před uvedením výrobku na trh realizovat soubor zkoušek, měření či kontrol, kde jeho povinností je prvotně dokázat a následně dokazovat, že stanovené požadavky na danou provozní vlastnost výrobek plní. Uvedeným dokladem může být například certifikát shody vydaný autorizovanou osobou, který potvrzuje, že:

A. Pro rozsah tepelných výkonů ≤ 400 kW musí být účinnost kotle:

a) účinnost při maximálním výkonu (jmenovitý tepelný výkon) (P_n):

$$\geq 84 + 2 \cdot \log P_n;$$

b) účinnost při sníženém výkonu ($0,3 \cdot P_n$):

$$\geq 80 + 3 \cdot \log P_n.$$

B. Pro rozsah tepelných výkonů > 400 kW musí být účinnost kotle:

a) účinnost při maximálním výkonu (P_n):

$$\geq 89,2 \ %;$$

b) účinnost při sníženém výkonu ($0,3 \cdot P_n$):

$$\geq 87,8 \ %.$$

Zkoušení typu kotlů určených k ústřednímu vytápění na kapalná paliva se provádí podle technické normy ČSN EN 304 [16], kde je definován cílový požadavek na přesnost stanovení účinnosti kotle: „Aby účinnost kotle mohla být stanovena s přesností ± 2 %, musí se zvolit měřicí přístroje vyhovující přípustným chybám měření“.

3 FORMULACE CÍLŮ PRÁCE

Při posuzování shody dané vlastnosti výrobku s předepsaným požadavkem dochází k porovnávání dvou hodnot, a to hodnoty zjištěné při zkoušce a hodnoty požadované (stanovené). Při posuzování shody hraje roli i nepřesnost, s jakou byl

odhad výsledku zkoušky proveden. Výsledek zkoušky se uvádí jako intervalový odhad s nejistotou.

Cílem této práce je:

- navrhnout postup pro vyjadřování nejistoty výsledku při zkoušení účinnosti kotlů přímou metodou, a to postup vycházející z kovariačního zákona pro šíření nejistot,
- provést výpočet nejistoty při zkoušce účinnosti kotle a na základě kvantifikace hodnot provést analýzu vlivu jednotlivých měřených veličin na nejistotu výsledku zkoušky,
- na základě analýzy vlivu jednotlivých měřených veličin stanovit požadavky na velikost standardních nejistot, s jakými lze maximálně dané veličiny stanovovat.

4 VÝPOČET NEJISTOTY VÝSLEDKU ZKOUŠKY

4.1 ODHAD STANDARDNÍ KOMBINOVANÉ NEJISTOTY

Odhad standardní kombinované nejistoty výsledku zkoušky se provádí podle kovariačního zákona pro šíření nejistot [7], který definuje obecný vztah mezi standardní kombinovanou nejistotou výsledku zkoušky y a standardními nejistotami měřených veličin x_i :

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

kde

- $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ je funkcí několika proměnných x_i ,
- $u(x_i, x_j)$ 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 . Při vzájemné nezávislosti měřených veličin lze kovariační zákon pro šíření nejistot (1) psát jako Gaussův zákon pro šíření nejistot ve tvaru:

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

kde

- $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ je funkční (deterministická) závislost měřených veličin x_i ,
- $\partial y / \partial x_i$ jsou parciální derivace vyjadřující, jak se mění hodnota y se změnou veličiny x_i ,

- $u(x_i)$ je standardní nejistota měřené veličiny x_i vyjádřená například jako směrodatná odchylka (nebo její násobek) nebo polovina šířky intervalu, jehož konfidenční úroveň je stanovena [15].

4.2 ROZŠÍŘENÁ NEJISTOTA

Rozšířená nejistota výsledku zkoušky se vypočítá ze standardní kombinované nejistoty vynásobením zvoleným koeficientem rozšíření. Při volbě hodnoty koeficientu rozšíření k je nutno uvážit několik faktorů:

- na jaké hladině spolehlivosti se bude výsledek uvádět,
- jaké jsou poznatky o uvažovaném rozdělení měřených veličin,
- jaké jsou poznatky o počtu hodnot, které byly použity při odhadu náhodných vlivů.

Ve většině případů je doporučován koeficient rozšíření $k = 2$. Když se jedná o normální rozdělení, poskytuje koeficient rozšíření $k = 2$ interval, který obsahuje přibližně 95 % hodnot dané distribuce.

5 ÚČINNOST KOTLŮ

5.1 MĚŘENÍ ÚČINNOSTI KOTLE PŘÍMOU METODOU

Účinnost kotle přímoou metodou se vypočte podle vzorce:

$$\eta_K = \frac{Q}{Q_B} \quad (3)$$

kde

- Q (= Q_N pro měření účinnosti kotle při jmenovitém tepelném výkonu) je tepelný výkon kotle ve W;
- Q_B je tepelný příkon kotle ve W.

Standardní kombinovaná nejistota $u_c(\eta_K)$ hodnoty účinnosti kotle bude záviset:

- na standardní nejistotě $u(Q)$, s jakou bude stanovena hodnota tepelného výkonu kotle Q ,
- na standardní nejistotě $u(Q_B)$, s jakou bude stanovena hodnota tepelného příkonu kotle Q_B .

5.2 STANOVENÍ JMENOVITÉHO TEPELNÉHO VÝKONU KOTLE

5.2.1 Výpočet jmenovitého tepelného výkonu

Tepelný výkon kotle se měří jako množství tepla předané teplotně nosné látce přímo v okruhu kotle, a to buď přímo měřením hmotnostního průtoku studené vody na výstupní teplotu a teplotním nárůstem, nebo měřením hmotnostního průtoku

vytápěcí vody cirkulující v okruhu kotle a teplotním nárůstem. Jmenovitý tepelný výkon se počítá podle vztahu:

$$Q_N = W_1 \cdot c_{w1} \cdot (t_W - t_E) \quad (4)$$

kde

- Q_N je jmenovitý tepelný výkon ve W;
- W_1 je hmotnostní průtok studené vody na vstupu do zařízení nebo ohřáté vody na výstupu ze zařízení v $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$;
- c_{w1} je střední měrná tepelná kapacita vody při $(t_R + t_E)/2$ v $\text{J}\cdot(\text{kg}\cdot\text{K})^{-1}$;
- t_E je teplota vstupní studené vody ve $^{\circ}\text{C}$;
- t_W je výstupní teplota vody ve $^{\circ}\text{C}$;
- t_R je vstupní teplota vody do kotle ve $^{\circ}\text{C}$.

Výpočet jmenovitého tepelného výkonu se provádí z průměrných hodnot jednotlivých odečtů zaznamenaných během doby zkoušení (odečet hodnot po třiceti minutách). Hodnoty změřené při zkoušce (zkouška kotle pro ústřední vytápění na kapalné palivo s jmenovitým výkonem 870 kW při použití lehkého topného oleje) jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1 Hodnoty měřených veličin - jmenovitý tepelný výkon

Č.	W_1 [$\text{kg}\cdot\text{hod}^{-1}$]	c_{w1} [$\text{kJ}\cdot(\text{kg}\cdot\text{K})^{-1}$]	t_R [$^{\circ}\text{C}$]	t_W [$^{\circ}\text{C}$]	t_E [$^{\circ}\text{C}$]
1.	8820,2	4,1767	70,62	90,50	4,08
2.	8831,9	4,1767	70,51	90,58	4,08
3.	8815,6	4,1767	70,39	90,36	4,08
4.	8826,5	4,1767	70,46	90,53	4,06
5.	8822,7	4,1767	70,57	90,75	4,06
6.	8835,6	4,1767	70,48	90,58	4,08
7.	8810,8	4,1767	70,54	90,45	4,08
8.	8821,8	4,1767	70,52	90,48	4,06
9.	8826,8	4,1767	70,46	90,54	4,08
10.	8819,2	4,1767	70,58	90,62	4,08
Průměrné hodnoty brané k výpočtu					
-	8 823,2 $\text{kg}\cdot\text{hod}^{-1}$ = 2,45 $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$	4 176,7 $\text{J}\cdot(\text{kg}\cdot\text{K})^{-1}$	-	90,6 $^{\circ}\text{C}$	4,1 $^{\circ}\text{C}$
Jmenovitý tepelný výkon $Q_N = 885\,147\text{ W}$					

Při měření jednotlivých veličin byla použita měřidla:

- elektromagnetická váha pro měření hmotnostního průtoku vody – hodnota dílku $d = 100\text{ g}$, rozšířená nejistota kalibrace váhy U do 0,5 % relativních;
- mechanické stopky s přesností 0,01 min;

- teploměr – měřicí ústředna ADIS, snímače Pt, Pt100, Pt-TI, rozšířená nejistota kalibrace U do 1 % relativních.

5.2.2 Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty tepelného výkonu

U měřených náhodných veličin byla prokázána vzájemná nezávislost; odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty jmenovitého tepelného výkonu byl proveden podle Gaussova zákona pro šíření nejistot (2):

$$u_c(Q_N) = \sqrt{\left(\frac{\partial Q_N}{\partial W_1}\right)^2 u^2(W_1) + \left(\frac{\partial Q_N}{\partial c_{w1}}\right)^2 u^2(c_{w1}) + \left(\frac{\partial Q_N}{\partial t_W}\right)^2 u^2(t_W) + \left(\frac{\partial Q_N}{\partial t_E}\right)^2 u^2(t_E)} \quad (5)$$

Parciální derivace a jejich kvantifikace pro naměřené hodnoty (tabulka 1) jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2 Hodnoty parciálních derivací - jmenovitý tepelný výkon

Parciální derivace	Hodnota	Parciální derivace	Hodnota
$\frac{\partial Q_N}{\partial W_1} = c_{w1} \cdot (t_W - t_E)$	361 285	$\frac{\partial Q_N}{\partial t_W} = W_1 \cdot c_{w1}$	10 233
$\frac{\partial Q_N}{\partial c_{w1}} = W_1 \cdot (t_W - t_E)$	212	$\frac{\partial Q_N}{\partial t_E} = -W_1 \cdot c_{w1}$	- 10 233

Na základě rozboru modelu pro výpočet jmenovitého tepelného výkonu (4) a modelu pro odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty tepelného výkonu (5) lze konstatovat:

- Nejistota hodnoty jmenovitého tepelného výkonu bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude změřena hodnota hmotnostního průtoku vody W_1 ;
- Nejistota hodnoty jmenovitého tepelného výkonu bude ovlivněna nejistotou, s jakou je definována hodnota střední měrné tepelné kapacity vody c_{w1} ;
- Nejistota hodnoty jmenovitého tepelného výkonu bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude změřena hodnota výstupní teploty vody t_W ;
- Nejistota hodnoty jmenovitého tepelného výkonu bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude změřena hodnota teploty vstupní studené vody t_E .

5.2.3 Odhad standardních nejistot při měření tepelného výkonu

Stanovení (výpočet) jmenovitého tepelného výkonu spočívá ve výpočtu z hodnot měřených veličin dle vztahu (4). Standardní kombinovaná nejistota hodnoty jmenovitého tepelného výkonu se získá kombinací ze standardních nejistot těchto měřených veličin dle vztahu (5).

Krok 1 - stanovení (změření) hmotnostního průtoku studené vody W_1 :

- Hmotnostní průtok studené vody jako výsledek měření je měřen jako hmotnostní úbytek studené vody za časový interval. Nejistota $u_1(W_1)$ hodnoty hmotnostního průtoku studené vody vyplývající z proměnlivosti opakovaných měření zahrnuje náhodné vlivy v procesu měření a je vyhodnocena z výběrové směrodatné odchylky aritmetického průměru. Nejistota $u_1(W_1)$ (tzv. způsob A vyhodnocení nejistoty ze souboru naměřených dat z dílčích opakovaných měření) je brána jako jediná složka standardní nejistoty hodnoty hmotnostního průtoku vody $u_1(W_1) = u(W_1)$.

Krok 2 - stanovení střední měrné tepelné kapacity vody c_{w1} :

- Střední měrná tepelná kapacita vody je hodnota tabelovaná; tabelované hodnoty střední měrné tepelné kapacity vody jsou udávány s přesností $\pm 0,5 \text{ J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$ (mezní úchylka $\pm a_{c_{w1}} = \pm 0,5 \text{ J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$). Distribuční model odpovídá rovnoměrnému pravděpodobnostnímu rozdělení a z toho pak je hodnota standardní nejistoty $u(c_{w1})$ střední měrné tepelné kapacity vody vyjádřena jako $a_{c_{w1}}/\sqrt{3}$.

Krok 3 - stanovení (změření) výstupní teploty vody t_W :

- Výstupní teplota vody t_W se měří průběžně během zkoušky teploměrem, jehož metrologická návaznost je zajištěna kalibrací. Rozšířená nejistota kalibrace teploměru (hodnota převzatá z kalibračního listu) je udávána hodnotou $U_{tw} = \pm 1 \%$ relativní. Nejistota $u_1(t_W) = U_{tw}/2$ vyplývající z nejistoty kalibrace teploměru tvoří jednu ze složek standardní nejistoty $u(t_W)$ hodnoty výstupní teploty vody.
- Hodnota výstupní teploty vody t_W je kvantifikována z průměrné hodnoty jednotlivých opakovaných odečtů zaznamenaných během měření (10 hodnot). Proměnlivost těchto hodnot je příčinou nejistoty $u_2(t_W)$ zahrnující náhodné vlivy při měření teploty; nejistota $u_2(t_W)$ je vyhodnocena výběrovou směrodatnou odchylkou aritmetického průměru.
- Hodnota výstupní teploty vody t_W bude zatížena chybou z odečtu ze stupnice měřidla, kde velikost chyby bude závislá na velikosti dílku stupnice $\varepsilon_{tw} = 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ (mezní úchylka $a_{tw} = \varepsilon_{tw}/2$). Distribuční model odpovídá rovnoměrnému pravděpodobnostnímu rozdělení a z toho pak je hodnota standardní nejistoty $u_3(t_W)$ vyplývající z chyby odečtu ze stupnice měřidla vyjádřena jako $a_{tw}/\sqrt{3}$.

Krok 4 - stanovení (změření) teploty vstupní studené vody t_E :

- Teplota vstupní studené vody t_E se měří průběžně během zkoušky teploměrem, jehož metrologická návaznost je zajištěna kalibrací. Rozšířená nejistota kalibrace teploměru (hodnota převzatá z kalibračního listu) je udávána hodnotou $U_{tE} = \pm 1 \%$ relativní. Nejistota $u_1(t_E) = U_{tE}/2$ vyplývající z nejistoty kalibrace teploměru tvoří jednu ze složek standardní nejistoty $u(t_E)$ hodnoty teploty vstupní studené vody.

- Hodnota teploty vstupní studené vody t_E je kvantifikována z průměrné hodnoty jednotlivých opakovaných odečtů zaznamenaných během měření (10 hodnot). Proměnlivost těchto hodnot je příčinou nejistoty $u_2(t_E)$ zahrnující náhodné vlivy při měření teploty; nejistota $u_2(t_E)$ je vyhodnocena výběrovou směrodatnou odchylkou aritmetického průměru.
- Hodnota teploty vstupní studené vody t_E bude zatížena chybou z odečtu ze stupnice měřidla, kde velikost chyby bude závislá na velikosti dílku stupnice $\varepsilon_{tE} = 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ (mezní úchylka $a_{tE} = \varepsilon_{tE}/2$). Distribuční model odpovídá rovnoměrnému pravděpodobnostnímu rozdělení a z toho pak je hodnota standardní nejistoty $u_3(t_E)$ vyplývající z chyby odečtu ze stupnice měřidla vyjádřena jako $a_{tE}/\sqrt{3}$.

Kvantifikace standardních nejistot měřených veličin je provedena v tabulce 3. Z výsledků dosažených při měření lze učinit následující dílčí závěry:

1. Hmotnostní průtok vody W_1 byl měřen gravimetricky elektromechanickou váhou a vyhodnocován jednotkou jako hmotnostní průtok za časový interval. Vyhodnocení nejistoty výběrovou směrodatnou odchylkou aritmetického průměru je jedinou složkou standardní nejistoty hodnoty hmotnostního průtoku vody $u(W_1)$.
2. Standardní nejistota $u(c_{w1})$ hodnoty střední měrné tepelné kapacity vody je ve své absolutní podobě konstantní pro jakoukoli hodnotu střední měrné tepelné kapacity vody.
3. Dominantní složkou standardní nejistoty při měření výstupní teploty vody je nejistota $u_1(t_W)$ vyplývající z nejistoty kalibrace teploměru. Ostatní dvě složky $u_2(t_W)$ a $u_3(t_W)$ jsou zanedbatelné (o řád nižší); nejistota vyplývající z proměnlivosti opakovaných měření a nejistota vyplývající z chyby odečtu ze stupnice měřidla neovlivňuje dominantně hodnotu standardní nejistoty výstupní teploty vody.
4. Dominantní složkou standardní nejistoty při měření teploty vstupní studené vody je nejistota $u_1(t_E)$ vyplývající z nejistoty kalibrace teploměru a nejistota $u_3(t_E)$ vyplývající z chyby odečtu hodnoty ze stupnice měřidla. Nejistota $u_2(t_E)$ je zanedbatelná (při použití kritéria, kdy jako zanedbatelné složky se berou ty dílčí nejistoty, které jsou menší jako jedna třetina složky největší); nejistota vyplývající z proměnlivosti opakovaných měření neovlivňuje dominantně hodnotu standardní nejistoty teploty vstupní studené vody.

5.2.4 Výpočet rozšířené nejistoty hodnoty tepelného výkonu

Standardní kombinovaná nejistota hodnoty jmenovitého tepelného výkonu se určí dle vztahu (5):

$$u_c(Q_N) = \sqrt{\left(\frac{\partial Q_N}{\partial W_1}\right)^2 u^2(W_1) + \left(\frac{\partial Q_N}{\partial c_{w1}}\right)^2 u^2(c_{w1}) + \left(\frac{\partial Q_N}{\partial t_w}\right)^2 u^2(t_w) + \left(\frac{\partial Q_N}{\partial t_E}\right)^2 u^2(t_E) =}$$

$$= \sqrt{361285^2 \cdot 0,0006^2 + 212^2 \cdot 0,29^2 + 10233^2 \cdot 0,455^2 + (-10233)^2 \cdot 0,037^2} =$$

$$= \sqrt{46990 + 3780 + 21678475 + 143354} = 4677W$$

Tabulka 3 Standardní nejistoty – jmenovitý tepelný výkon

Popis nejistoty	Výpočet	Standardní nejistota	
		absolutní	relativní
Krok 1: stanovení hmotnostního průtoku vody $W_1 = 2,45 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$.			
Specifikace dílčích nejistot:			
$u_1(W_1)$ – nejistota hodnoty vyplývající z proměnlivosti opakovaných měření	$\sqrt{\frac{\sum (W_{1,i} - \bar{W}_1)^2}{n(n-1)}}$	$0,0006 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$	$0,02 \%$
$u(W_1) = u_1(W_1) = 0,0006 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ absolutně, event. $u(W_1) = u_1(W_1) = 0,02 \%$ relativně			
Krok 2: stanovení střední měrné tepelné kapacity vody $c_{w1} = 4\,176,7 \text{ J}\cdot(\text{kg}\cdot\text{K})^{-1}$			
Specifikace dílčích nejistot:			
$u_1(c_{w1})$ – nejistota hodnoty vyplývající z přesnosti stanovení	$\frac{a_{c_{w1}}}{\sqrt{3}} = \frac{0,5}{\sqrt{3}}$	$0,29 \text{ J}\cdot(\text{kg}\cdot\text{K})^{-1}$	$0,007 \%$
$u(c_{w1}) = u_1(c_{w1}) = 0,29 \text{ J}\cdot(\text{kg}\cdot\text{K})^{-1}$ absolutně, event. $u(c_{w1}) = u_1(c_{w1}) = 0,007 \%$ relativně			
Krok 3: stanovení výstupní teploty vody $t_w = 90,6 \text{ }^\circ\text{C}$.			
Specifikace dílčích nejistot:			
$u_1(t_w)$ – nejistota hodnoty vyplývající z nejistoty kalibrace teploměru	$U_{t_w} = \pm 1 \%$	$0,453 \text{ }^\circ\text{C}$	$0,5 \%$
$u_2(t_w)$ – nejistota hodnoty vyplývající z proměnlivosti opakovaných měření	$\sqrt{\frac{\sum (t_{w,i} - \bar{t}_w)^2}{n(n-1)}}$	$0,039 \text{ }^\circ\text{C}$	$0,04 \%$
$u_3(t_w)$ – nejistota hodnoty vyplývající z chyby odečtu ze stupnice měřidla	$\frac{a_{t_w}}{\sqrt{3}} = \frac{0,05}{\sqrt{3}}$	$0,029 \text{ }^\circ\text{C}$	$0,03 \%$
$u(t_w) = \sqrt{u_1^2(t_w) + u_2^2(t_w) + u_3^2(t_w)} = 0,455 \text{ }^\circ\text{C}$ event. $u(t_w) = 0,5 \%$ relativně			
Krok 4: stanovení teploty vstupní studené vody $t_E = 4,1 \text{ }^\circ\text{C}$.			
Specifikace dílčích nejistot:			
$u_1(t_E)$ – nejistota hodnoty vyplývající z nejistoty kalibrace teploměru	$U_{t_E} = \pm 1 \%$	$0,021 \text{ }^\circ\text{C}$	$0,5 \%$
$u_2(t_E)$ – nejistota hodnoty vyplývající z proměnlivosti opakovaných měření	$\sqrt{\frac{\sum (t_{E,i} - \bar{t}_E)^2}{n(n-1)}}$	$0,009 \text{ }^\circ\text{C}$	$0,2 \%$

$u_3(t_E)$ – nejistota hodnoty vyplývající z chyby odečtu ze stupnice měřidla	$\frac{a_{t_E}}{\sqrt{3}} = \frac{0,05}{\sqrt{3}}$	0,029 °C	0,7 %
$u(t_E) = \sqrt{u_1^2(t_E) + u_2^2(t_E) + u_3^2(t_E)} = 0,037^\circ\text{C}$ event. $u(t_E) = 0,9 \%$ relativně			

Rozšířená nejistota hodnoty jmenovitého tepelného výkonu se určí dle vztahu (zvolený koeficient rozšíření $k = 2$ odpovídá hladině spolehlivosti přibližně 95 %):

$$U = k \cdot u_c(Q_N) = 2 \times 4677 = 9354 \text{ W}$$

Dílčí závěr k měření jmenovitého tepelného výkonu: velikost standardní kombinované nejistoty hodnoty jmenovitého tepelného výkonu bude dominantně ovlivňovat měření výstupní teploty vody t_W . Sumarizace stanovených nejistot při měření jmenovitého tepelného výkonu je uvedena v tabulce 4.

Tabulka 4 Nejistota při měření jmenovitého tepelného výkonu

Popis nejistoty	Absolutní	Relativní
Jmenovitý tepelný výkon $Q_N = 885\,147 \text{ W}$		
Standardní kombinovaná nejistota	4 700 W	0,5 %
Rozšířená nejistota	9 400 W	1,0 %

5.3 STANOVENÍ TEPELNÉHO PŘÍKONU KOTLE

5.3.1 Výpočet tepelného příkonu

Tepelný příkon kotle se počítá podle vztahu:

$$Q_B = B \cdot H_U \quad (6)$$

kde

- Q_B je tepelný příkon ve W;
- B je hmotnostní průtok paliva v $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$;
- H_U je výhřevnost v $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Výpočet tepelného příkonu se provádí z průměrných hodnot jednotlivých odečtů zaznamenaných během doby zkoušení. Hodnoty změřené při zkoušce (zkouška kotle pro ústřední vytápění na kapalné palivo s jmenovitým výkonem 870 kW při použití lehkého topného oleje) jsou uvedeny v tabulce 5.

Při měření jednotlivých veličin byla použita měřidla:

- elektromagnetická váha pro měření hmotnostního průtoku paliva – hodnota dílku $d = 100 \text{ g}$, rozšířená nejistota kalibrace váhy U do 0,5 % relativních;

- mechanické stopky s přesností 0,01 min.

5.3.2 Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty tepelného příkonu

U měřených náhodných veličin byla prokázána vzájemná nezávislost; odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty tepelného příkonu byl proveden podle Gaussova zákona pro šíření nejistot (2):

$$u_c(Q_B) = \sqrt{\left(\frac{\partial Q_B}{\partial B}\right)^2 u^2(B) + \left(\frac{\partial Q_B}{\partial H_U}\right)^2 u^2(H_U)} = Q_B \cdot \sqrt{\left(\frac{u(B)}{B}\right)^2 + \left(\frac{u(H_U)}{H_U}\right)^2} \quad (7)$$

Tabulka 5 Hodnoty měřených veličin – tepelný příkon

Čas odečtu	m [kg]	h [s]	B [kg.h ⁻¹]	H _U [MJ.kg ⁻¹]
-	106,332	-	-	-
9:12	90,112	720	81,099	42,73
9:19	80,654	420	81,068	42,73
9:24	73,897	300	81,084	42,73
9:31	64,438	420	81,075	42,73
9:39	53,625	480	81,095	42,73
9:45	45,515	360	81,098	42,73
9:50	38,757	300	81,092	42,73
9:57	29,297	420	81,093	42,73
10:02	22,540	300	81,086	42,73
10:08	14,431	360	81,090	42,73
Průměrné hodnoty brané k výpočtu				
-	-	-	81,08 kg.h ⁻¹ = 0,0225 kg.s ⁻¹	42 730 kJ.kg ⁻¹
Tepelný příkon Q _B = 961 425 W				

Parciální derivace ve vztahu (7) a jejich kvantifikace pro naměřené hodnoty (tabulka 5) jsou uvedeny v tabulce 6.

Tabulka 6 Hodnoty parciálních derivací - tepelný příkon

Parciální derivace	Hodnota	Parciální derivace	Hodnota
$\frac{\partial Q_B}{\partial B} = H_U$	42 730 000	$\frac{\partial Q_B}{\partial H_U} = B$	0,0225

Na základě rozboru modelu pro výpočet tepelného příkonu (6) a modelu pro odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty tepelného příkonu (7) lze konstatovat:

- a) Nejistota hodnoty tepelného příkonu bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude změřena hodnota hmotnostního průtoku paliva B ;
- b) Nejistota hodnoty tepelného příkonu bude ovlivněna nejistotou, s jakou bude stanovena hodnota výhřevnosti H_U .

5.3.3 Odhad standardních nejistot při měření tepelného příkonu

Stanovení (výpočet) tepelného příkonu spočívá ve výpočtu z hodnot měřených veličin dle vztahu (6). Standardní kombinovaná nejistota hodnoty tepelného příkonu se získá kombinací ze standardních nejistot těchto měřených veličin dle vztahu (7).

Krok 1 - stanovení (změření) hmotnostního průtoku paliva B :

- Hmotnostní průtok paliva jako výsledek měření je měřen jako hmotnostní úbytek paliva za časový interval. Nejistota $u_1(B)$ hodnoty hmotnostního průtoku paliva vyplývající z proměnlivosti opakovaných měření zahrnuje náhodné vlivy v procesu měření a je vyhodnocena z výběrové směrodatné odchylky aritmetického průměru. Nejistota $u_1(B)$ (tzv. způsob A vyhodnocení nejistoty ze souboru naměřených dat z dílčích opakovaných měření) je brána jako jediná složka standardní nejistoty hodnoty hmotnostního průtoku paliva $u_1(B) = u(B)$.

Krok 2 - stanovení výhřevnosti paliva H_U :

- Výhřevnost paliva je stanovována kalorimetrickou metodou [18]. Daná metoda je validovaná s uvedením parametru přesnosti, resp. parametru mez opakovatelnosti r : „Dva po sobě získané výsledky stanovení jedním pracovníkem jsou spolehlivé (při 95% pravděpodobnosti), když rozdíl mezi nimi nepřevyšuje 130 kJ/kg“. Směrodatná odchylka opakovatelnosti s_r charakterizující standardní nejistotu $u(H_U)$ hodnoty výhřevnosti a zahrnující proměnlivost opakovaných (párových) měření se počítá jako $s_r = r/(2\sqrt{2})$.

Kvantifikace standardních nejistot měřených veličin je provedena v tabulce 7.

Tabulka 7 Standardní nejistoty – tepelný příkon

Popis nejistoty	Výpočet	Standardní nejistota	
		absolutní	relativní
Krok 1: stanovení hmotnostního průtoku paliva $B = 0,0225 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$. Specifikace dílčích nejistot:			
$u_1(B)$ – nejistota hodnoty vyplývající z proměnlivosti opakovaných měření	$\sqrt{\frac{\sum (B_i - \bar{B}_1)^2}{n(n-1)}}$	$1,1 \cdot 10^{-6} \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$	0,005 %
$u(B) = u_1(B) = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ absolutně, event. $u(B) = u_1(B) = 0,005 \%$ relativně			

Krok 2: stanovení výhřevnosti paliva $H_U = 42\,730\,000 \text{ J.kg}^{-1}$

Specifikace dílčích nejistot:

$u_1(H_U)$ – nejistota hodnoty vyplývající z přesnosti stanovení	$s_r = \frac{r}{2 \cdot \sqrt{2}} = \frac{130000}{2,8}$	46 429 J.kg ⁻¹	0,1 %
$u(H_U) = u_1(H_U) = 46\,429 \text{ J.kg}^{-1}$ absolutně, event. $u(H_U) = u_1(H_U) = 0,1 \%$ relativně			

5.3.4 Výpočet rozšířené nejistoty hodnoty tepelného příkonu

Standardní kombinovaná nejistota hodnoty tepelného příkonu se určí dle vztahu (7):

$$u_c(Q_B) = \sqrt{\left(\frac{\partial Q_B}{\partial B}\right)^2 u^2(B) + \left(\frac{\partial Q_B}{\partial H_U}\right)^2 u^2(H_U)} =$$

$$= \sqrt{42730000^2 \cdot (1,1 \cdot 10^{-6})^2 + 0,0225^2 \cdot 46429^2} = \sqrt{2209 + 1091299} = 1046W$$

Rozšířená nejistota hodnoty tepelného příkonu se určí dle vztahu (zvolený koeficient rozšíření $k = 2$ odpovídá hladině spolehlivosti přibližně 95 %):

$$U = k \cdot u_c(Q_B) = 2 \cdot 1046 = 2092W$$

Dílčí závěr k měření tepelného příkonu: velikost standardní kombinované nejistoty hodnoty tepelného příkonu bude dominantně ovlivňovat měření výhřevnosti H_U . Sumarizace stanovených nejistot při měření tepelného příkonu je uvedena v tabulce 8.

Tabulka 8 Nejistota při měření tepelného příkonu

Popis nejistoty	Absolutní	Relativní
Tepelný příkon $Q_B = 961\,425 \text{ W}$		
Standardní kombinovaná nejistota	1 100 W	0,1 %
Rozšířená nejistota	2 200 W	0,2 %

5.4 STANOVENÍ ÚČINNOSTI KOTLE

5.4.1 Výpočet účinnosti kotle

Účinnost kotle stanovovaná přímou metodou se počítá podle vztahu (3), a to z hodnot tepelného výkonu ($Q_N = Q$) a tepelného příkonu Q_B . Výpočet účinnosti byl proveden pro změřené hodnoty při zkoušce kotle pro ústřední vytápění na kapalné palivo s jmenovitým výkonem 870 kW při použití lehkého topného oleje:

- Jmenovitý tepelný výkon $Q = Q_N = 885\,147\text{ W}$
- Tepelný příkon $Q_B = 961\,425\text{ W}$.

5.4.2 Odhad standardní kombinované nejistoty

Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty účinnosti byl proveden podle Gaussova zákona pro šíření nejistot (2):

$$u_c(\eta_K) = \sqrt{\left(\frac{\partial \eta_K}{\partial Q}\right)^2 u^2(Q) + \left(\frac{\partial \eta_K}{\partial Q_B}\right)^2 u^2(Q_B)} = \eta_K \cdot \sqrt{\left(\frac{u(Q)}{Q}\right)^2 + \left(\frac{u(Q_B)}{Q_B}\right)^2} \quad (8)$$

Parciální derivace a jejich kvantifikace pro naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 9.

Tabulka 9 Hodnoty parciálních derivací – účinnost kotle

Parciální derivace	Hodnota	Parciální derivace	Hodnota
$\frac{\partial \eta_K}{\partial Q} = \frac{1}{Q_B}$	0,0000011	$\frac{\partial \eta_K}{\partial Q_B} = -\frac{Q}{Q_B^2}$	-0,0000009

5.4.3 Odhad standardních nejistot při měření účinnosti

Výpočet hodnoty účinnosti kotle se provádí z hodnoty (jmenovitého) tepelného výkonu a tepelného příkonu. Standardní kombinovaná nejistota hodnoty účinnosti se získá kombinací ze standardních nejistot těchto stanovovaných veličin dle vztahu (8).

Krok 1 - stanovení (jmenovitého) tepelného výkonu Q :

- Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty (jmenovitého) tepelného výkonu se provádí dle metodiky uvedené v kapitole 5.2. Standardní kombinovaná nejistota hodnoty tepelného výkonu má velikost 0,5 % relativních (pro stanovenou hodnotu tepelného výkonu $Q = Q_N = 885\,147\text{ W}$ je $u_c(Q_N) = u(Q) = 4\,700\text{ W}$).

Krok 2 - stanovení tepelného příkonu Q :

- Odhad standardní kombinované nejistoty hodnoty tepelného příkonu se provádí dle metodiky uvedené v kapitole 5.3. Standardní kombinovaná nejistota hodnoty tepelného příkonu má velikost 0,1 % relativních (pro stanovenou hodnotu tepelného příkonu $Q_B = 961\,425\text{ W}$ je standardní nejistota $u_c(Q_B) = u(Q_B) = 1\,100\text{ W}$).

5.4.4 Výpočet rozšířené nejistoty

Standardní kombinovaná nejistota hodnoty účinnosti se určí dle vztahu (8):

$$u_c(\eta_K) = \sqrt{\left(\frac{\partial \eta_K}{\partial Q}\right)^2 u^2(Q) + \left(\frac{\partial \eta_K}{\partial Q_B}\right)^2 u^2(Q_B)} =$$

$$= \sqrt{0,0000011^2 \cdot 4700^2 + (-0,0000009)^2 \cdot 1100^2} = \sqrt{0,000022 + 0,0000009} = 0,005$$

$$\eta_K = 0,5 \% \text{ absolutních}$$

Rozšířená nejistota hodnoty účinnosti kotle se určí dle vztahu (zvolený koeficient rozšíření $k = 2$ odpovídá hladině spolehlivosti přibližně 95 %):

$$U = k \cdot u_c(\eta_K) = 2 \times 0,5 = 1,0 \% \text{ absolutních}$$

Sumarizace stanovených nejistot při měření účinnosti kotle je uvedena v tabulce 10.

Tabulka 10 Nejistota při měření účinnosti kotle

Popis nejistoty	Absolutní	Relativní
Účinnost kotle $\eta_K = 92,1 \%$		
Standardní kombinovaná nejistota	0,5 %	0,54 %
Rozšířená nejistota	1,0 %	1,1 %

Uvádění výsledku v protokolech:

- $\eta_K = (92,1 \pm 1,0) \%$
- hodnota účinnosti kotle $\eta_K = 92,1 \%$ je stanovena s rozšířenou nejistotou $U = 1,1 \%$.

Rozšířená nejistota je vypočtena s použitím koeficientu rozšíření $k = 2$, což odpovídá hladině spolehlivosti přibližně 95 %.

6 ZÁVĚR

- 1) Byla navržena metodika pro odhad standardní kombinované nejistoty a rozšířené nejistoty pro výsledky zkoušek při stanovování účinnosti kotlů na kapalná paliva přímou metodou, včetně metodiky pro vyjadřování nejistot výsledků při stanovování tepelného výkonu a tepelného příkonu.
- 2) Navržené metodiky vychází z přístupu „step by step“ (rozbor jednotlivých složek měřených veličin krok po kroku).
- 3) Byla ověřena oprávněnost modelu pro odhad standardní kombinované nejistoty při zkoušení účinnosti kotlů, tepelného výkonu i tepelného příkonu vycházející z Gaussova zákona pro šíření nejistot.

- 4) Byl potvrzen požadavek, že hodnotu účinnosti kotle stanovovanou přímou metodou lze vyjadřovat s rozšířenou nejistotou do 2 % relativních.
- 5) Na základě experimentální kvantifikace výsledků při výpočtu účinnosti kotle přímou metodou lze konstatovat, že jako dominantní nejistota se ukazuje nejistota hodnoty tepelného výkonu, která je v absolutní podobě více než o řád větší nejistoty hodnoty tepelného příkonu (nejistota hodnoty tepelného výkonu tvoří 96% příspěvek k nejistotě hodnoty účinnosti – viz tabulka 11). Posuzovány byly nejistoty v Gaussově zákoně, které vzniknou jako mocnina součinu parciální derivace funkce a příslušné standardní nejistoty veličiny. Při plnění požadavku viz závěr ad 4) lze konstatovat, že hodnota tepelného výkonu se musí stanovovat s nejistotou do 1 % relativně.
- 6) Na základě experimentální kvantifikace výsledků při stanovení tepelného výkonu lze konstatovat, že jako dominantní nejistota se ukazuje nejistota hodnoty výstupní teploty vody, která tvoří 99% příspěvek k nejistotě hodnoty tepelného výkonu – viz tabulka 11. Posuzovány byly nejistoty v Gaussově zákoně, které vzniknou jako mocnina součinu parciální derivace funkce a příslušné standardní nejistoty veličiny. Nejistota hodnoty teploty vstupní studené vody tvoří přibližně 0,6% příspěvek k nejistotě tepelného výkonu, nejistota hodnoty měrné tepelné kapacity vody tvoří přibližně 0,02% příspěvek k nejistotě tepelného výkonu a nejistota hodnoty hmotnostního průtoku tvoří přibližně 0,2% příspěvek k nejistotě tepelného výkonu. Při naplnění požadavku viz závěr ad 5) lze konstatovat, že hodnota výstupní teploty vody se musí stanovovat s nejistotou do 1 % relativně.

Tabulka 11 Sumarizace výsledků

Měřená (stanovovaná) veličina	Označení	CV*	Nejistota**
Stanovení účinnosti kotle η_K			
Tepelný výkon	Q	0,9607	nejistota do 1 % relativních
Tepelný příkon	Q _B	0,0393	zanedbatelný příspěvek nejistoty
Stanovení (jmenovitého) tepelného výkonu Q			
Hmotnostní průtok vody	W ₁	0,0021	zanedbatelný příspěvek nejistoty
Měrná tepelná kapacita vody	c _{w1}	0,0002	zanedbatelný příspěvek nejistoty
Výstupní teplota vody	t _w	0,9911	nejistota do 1 % relativních
Teplota vstupní studené vody	t _E	0,0066	zanedbatelný příspěvek nejistoty

* Hodnota CV je stanovena jako poměr nejistoty stanovované veličiny (druhá mocnina součinu parciální derivace funkce vůči veličině a příslušné standardní nejistoty) a součtu nejistot všech stanovovaných veličin; CV vyjadřuje příspěvek jednotlivé veličiny k nejistotě výsledku zkoušky.

** Nejistota je kvantifikována jako součin parciální derivace funkce vůči veličině a příslušné standardní nejistoty veličiny.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BARTSCH, H. J. Matematické vzorce. Praha: Mladá fronta, 1996. ISBN 80-204-0607-7.
- [2] CYHELSKÝ, L., KAHOUNOVÁ, J., HINDLS, R. Elementární statistická analýza. Praha: Management Press, 1996. ISBN 80-85943-18-3.
- [3] ECKSCHLAGER, K., HORSÁK, I., KODEJŠ, Z. Vyhodnocování analytických výsledků a metod. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury Alfa, 1980.
- [4] MELOUN, M., MILITSKÝ, J. Kompendium statistického zpracování dat. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-1008-4.
- [5] ŠIKULOVÁ, M., KARPÍŠEK, Z. Matematika IV. Pravděpodobnost a matematická statistika. VUT FS Brno, 1987.
- [6] VOHLÍDAL, J., JULÁK, A., ŠTULÍK, K. Chemické a analytické tabulky. Praha: Grada Publishing, 1999. ISBN 80-7169-855-5.
- [7] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. International Organization for Standardization. 1993. ISBN 92-67-10188-9.
- [8] Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement. Laboratory of the Government Chemist. Eurachem. 1995. ISBN 0-948926-08-2.
- [9] Vyjadřování nejistot v kvantitativním zkoušení. Český normalizační institut, 1996.
- [10] ČSN ISO 3534-1. Statistika – slovník a značky. Část 1: Pravděpodobnost a obecné statistické termíny. 1994.
- [11] ČSN ISO 5725-1. Přesnost (správnost a shodnost) metod a výsledků měření. Část 1: Obecné zásady a definice. 1997.
- [12] ČSN ISO 5725-2. Přesnost (správnost a shodnost) metod a výsledků měření. Část 2: Základní metoda pro stanovení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti normalizované metody měření. 1997.
- [13] ČSN EN 303-1. Kotle pro ústřední vytápění – Část 1: Kotle pro ústřední vytápění s hořáky a s ventilátorem – Terminologie, všeobecné požadavky, zkoušení a značení. 1999.
- [14] ČSN EN 303-2. Kotle pro ústřední vytápění – Část 2: Kotle pro ústřední vytápění s hořáky a s ventilátorem – Zvláštní požadavky na kotle s rozprašovacími hořáky na kapalná paliva. 1999.
- [15] ČSN 01 0115. Mezinárodní slovník základních a všeobecných pojmů v metrologii. 1996.

- [16] ČSN EN 304. Kotle pro ústřední vytápění. Předpisy pro zkoušení kotlů pro ústřední vytápění s rozprašovacími hořáky na kapalná paliva. 1994.
- [17] Nařízení vlády č. 180/1999 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na účinnost teplovodních kotlů spalujících kapalná nebo plynná paliva, ve znění nařízení vlády č. 289/2000 Sb.
- [18] ČSN 65 6169. Kapalná paliva. Stanovení spalného tepla a výhřevnosti. 1986.

8 ŽIVOTOPIS

Osobní údaje

Jméno, příjmení: Ing. Petr Koška
 Zaměstnavatel: VUT FSI v Brně
 ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ
 odbor jakosti systémů a procesů
 Kontakt: +4205 4114 2204
 e-mail: koska@upef.fme.vutbr.cz
 Datum narození: 17. březen 1963
 Národnost: česká

Vzdělání

9/82 – 6/87 VUT FS v Brně, specializace přístrojová a regulační technika, Ing.
 9/78 – 6/82 Gymnázium Brno – všeobecné, zakončené maturitní zkouškou

Praxe

12/90 – doposud VUT FSI v Brně, odborný asistent, pedagogicko vědecký pracovník, akademický pracovník – asistent, specializace: certifikace, zkušebnictví, technická normalizace, metrologie, statistické řízení jakosti, management jakosti
 9/87 – 12/90 strojírenský zkušební ústav, s. p. Brno, zkušební technik pro zkoušení, schvalování a hodnocení výrobků se zaměřením na regulační techniku, strojní zařízení, měřicí techniku.

Publikace

- KOŠKA, P. Vyjadřování nejistot při zkouškách I. In Systém jakosti zkušebních laboratoří. Praha: AS-PK, 1996, s. 5 – 10.
- KOŠKA, P. Vyjadřování nejistot při zkouškách II. In Systém jakosti zkušebních laboratoří. Praha: AS-PK, 1998, s. 8 – 12.
- KOŠKA, P. Nejistoty výsledků zkoušek I. In Vyjadřování výsledků zkoušek. Brno: Asociace autorizovaných a akreditovaných zkušeben, 2002.
- KOŠKA, P. Nejistoty výsledků zkoušek II. In Vyjadřování výsledků zkoušek. Brno: Asociace autorizovaných a akreditovaných zkušeben, 2003.

9 ABSTRACT

This thesis aims at solving the issue of expressing uncertainty of figures necessary to express the boiler efficiency through direct method. Assessment of boiler efficiency is one of the operational parameters of central heating boilers and the figure representing efficiency value is subject to product certification of central heating boilers. The measured efficiency values are compared with the limit values defined by the technical standards. Objective decision-making process of boiler compatibility evaluation must be based on objective knowledge of the measured value. This thesis solves the issues of expressing the uncertainty of heat production performance of the boilers, as well as heat consumption and subsequent boiler efficiency. The above-mentioned parameters are measured through calculation of boiler efficiency by direct method.