



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

STANOVENÍ NEJISTOTY MĚŘENÍ

EXPRESING UNCERTAITY OF MEASURENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MARTIN ADAMEC

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR KOŠKA, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Martin Adamec

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Metrologie a řízení jakosti (3911T032)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Stanovení nejistoty měření

v anglickém jazyce:

Expressing uncertainty of measurement

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Problematika úkolu spočívá ve stanovení nejistot měření měřicího zařízení pro měření průtokových charakteristik ventilů a termostatických hlavíc.

Cíle diplomové práce:

1. Analyzovat metodiku provádění měření.
2. Vytvořit model pro odhad standardní kombinované nejistoty výsledku měření.
3. Kvantifikovat jednotlivé složky standardních nejistot.
4. Analyzovat vliv jednotlivých složek na vyjádření nejistoty.
5. Provést konečný odhad standardní kombinované a rozšířené nejistoty.

Seznam odborné literatury:

1. Guide to the expression of uncertainty in measurement. International Organization for Standardization. 1993. ISBN 92-67-10188-9.
2. ČSN EN 215:2004. Ventily pro otopná tělesa s regulátorem teploty - Požadavky a zkušební metody. ČSNi, Praha. 2004.
3. ČSN ISO 5168:2006. Měření průtoku tekutin - Postupy pro vyhodnocování nejistot. ČSNi, Praha. 2006.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Koška, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

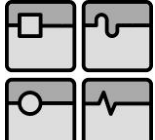
V Brně, dne 16.11.2010



doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

ABSTRAKT

Tato diplomová práce je zaměřena na problémy nejistoty měření a to především na jejich stanovení a určení na praktické úloze. Práce je složena ze tří částí. Teoretická část řeší problematiku týkající se nejistot na teoretické úrovni, přechod od chyby měření k nejistotě měření, objasnění základních pojmů z této problematiky opírající se o normu ČSN ISO 5168 a jiné legislativní podklady. Další část je zaměřena na regulaci teploty, termostatických hlav a ventilů, jejich historii, rozdělení, obecné využití a legislativní podklady zastoupené normou EN 215. Praktická část navazuje na předchozí oddíly. V této části stanovuji nejistotu měření zařízení na zjišťování průtokových charakteristik termostatických hlav a ventilů. Všechny zjištěné výsledky a poznatky jsou uvedeny v závěru.

KLÍČOVÁ SLOVA

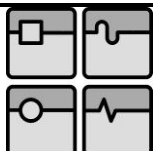
Nejistota měření, průtokové charakteristiky, termostatický ventil, termostatická hlavice, průtok, teplota.

ABSTRACT

Master's thesis is focused on measurement uncertainty problems, particularly on the uncertainty determination and then on the practical application. The thesis is divided into three parts. A theoretical part deals with issues concerning uncertainties on the theoretical level, transition from the measurement error to the measurement uncertainty. This part also clarifies the basic terms concerning this issues based on "ČSN ISO 5168" standard and another legislative materials. The other part is focused on temperature regulations by thermostatic heads and valves. This part also handles thermostatic heads and valves history, division, generally use and legislative background represented by standard „EN 215“. Practical part follows previous sections. I am determining the measure uncertainty of thermostatic heads and valves flow characteristic determining device. All the results and knowledge obtained are given in the conclusion of the thesis.

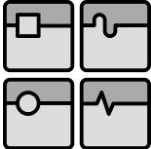
KEY WORDS

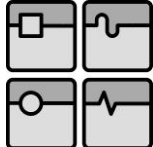
Uncertainty of measurent, flow charakteristic, thermostatic head, thermostatic valve, flow rate, temperature.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 6
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ADAMEC, M. *Stanovení nejistoty měření*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 76 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Koška, Ph.D.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 7
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

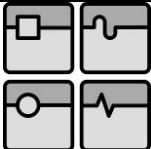
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 8
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

PROHLÁŠENÍ

Místopřísežně prohlašuji, že jsem byl seznámen s předpisy pro vypracování diplomové práce a že jsem celou diplomovou práci vypracoval samostatně. Při vypracování diplomové práce jsem respektoval ustanovení předpisů pro diplomové práce a jsem si vědom toho, že v případě jejich nedodržení nebude moje diplomové práce vedoucím diplomové práce přijata.

V Brně dne 27.května 2011

.....
podpis

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 9
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

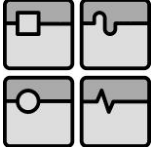
PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Petru Koškovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Jiřímu Toulovi za zajištění podkladů, dokumentů, informací a dat o produkci organizace a Doc. Ing. Josefu Štětiňovi, Ph.D. za cenné připomínky z oblasti termomechaniky.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své mamince za finanční a morální podporu během celého studia.

OBSAH

Úvod.....	11
1 Problematika nejistot měření	12
1.1 Základní pojmy a definice z oblasti nejistot měření.....	12
1.2 Přístupy ke kvantifikaci nejistoty výsledku	17
1.3 Přechod od chyby měření k nejistotě měření.....	17
1.4 Legislativa spojená s nejistotou měření	21
1.5 Postup pro odhad nejistoty	22
1.6 Kovariační zákon	25
1.7 Vyhodnocení standardních nejistot.....	26
1.8 Kombinovaná standardní nejistota.....	31
1.9 Rozšířená kombinovaná nejistota	31
1.10 Vyjadřování výsledků.....	31
2 Regulace teploty	33
2.1 Termostatické ventily a termostatické hlavice	33
3 Stanovení nejistoty měření měřicího zařízení.....	39
3.1 Specifikace měřené veličiny a postup měření.....	39
3.2 Definice matematického modelu	55
3.3 Identifikace zdrojů nejistot pro určení standardních nejistot.....	55
3.4 Kvantifikace standardních nejistot ovlivňujících veličiny	59
3.5 Výběr nezanedbatelných nejistot	66
3.6 Určení standardní kombinované nejistoty výpočtem.....	66
3.7 Výpočet celkové nejistoty.....	68
ZÁVĚR.....	69
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	70
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	70
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	71

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 11
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

ÚVOD

Moje diplomová práce je zaměřena na stanovení nejistoty měření, analyzování metodiky provádění měření, vytvoření modelu pro odhad standardní a kombinované nejistoty výsledku měření a kvantifikování jednotlivých složek nejistoty měření. Základním výstupem této práce je stanovení nejistoty průtokových charakteristik při měření termostatických hlavice a ventilu s použitím měřicího zařízení pro zjišťování průtokových charakteristik, včetně analyzování vlivu jednotlivých složek a provedení konečného odhadu standardní kombinované nejistoty.

Měřicí zařízení na stanovení průtokových charakteristik termostatických hlavice a ventilů, u kterého budu zjišťovat nejistotu, se nachází ve společnosti Honeywell se sídlem v Brně-Slatině. Firma Honeywell patří k světovým lídrům v oblasti energetiky, kam termostatické ventily a hlavice spadají. Cením si prostoru, který mi tato firma v zastoupení Ing. Jiřího Toulky, jenž se stal rovněž i konzultantem diplomové práce, poskytla. Nejvíce si cením možnosti praktického využití výsledku, nebo modelu, který vznikne.

Při tvorbě diplomové práce jsem si čím dál více uvědomoval provázanost metrologie s oborem energetika (zejména ve formě regulace). Klíčovou literaturou se staly normy ČSN EN 215 (Ventily pro otopná tělesa s regulátorem a zkušební metody), TNI 01 0115 (mezinárodní metrologický slovník), ČSN ISO 5168 (Měření průtoku tekutin - Postupy pro vyhodnocení nejistot).

1 PROBLEMATIKA NEJISTOT MĚŘENÍ

V dnešní vyspělé technické době se kvalita stává klíčovým faktorem konkurenceschopnosti, který má zásadní dopad na prosperitu daného podniku nebo skupení. S tím souvisí i vývoj metrologie (věda o měření), která stojí v pozadí neustále zmiňované kvality. Správné měření zvyšuje hodnotu, kvalitu a efektivnost produkce. O nutnosti měření vypovídají i částky do něj vložené. Náklady spojené s měřením činí ve vyspělém průmyslu 10 až 15 % z výrobních nákladů. Naneštěstí je měření ovlivňováno řadou nepříznivých faktorů, které nám mohou správnou hodnotu zkreslit, ať už směrem k lepšímu nebo horšímu výsledku.

Úkolem moderní metrologie je minimalizovat tyto ovlivňující faktory, které ovšem nikdy nemůžeme zcela vymazat. Za předpokladu, že tyto ovlivňující faktory nejdou minimalizovat, je potřeba s nimi smysluplně pracovat. Zároveň je kladen čím dál větší důraz na význam přesnosti a spolehlivosti, s jakou jsem schopni měřit. Jedna z doprovodných věcí souvisejících s tímto procesem je přechod od přiřazení chyby měření k dané hodnotě k výstižnějšímu vyjádření nejistoty měření. Chyba měření udává rozdíl mezi konvenčně pravou hodnotou a hodnotou naměřenou. Nejistota měření v sobě skýtá celou řadu faktorů a činitelů, které nepřesnost měření obsahuje. Ve snaze o co nejkompletnější popis těchto složek mnohdy narážíme na meze našeho poznání vztahující se k procesu měření. Je nezbytné na výsledek měření nahlížet komplexně. Chceme-li, aby výsledek měření byl plnohodnotnou informací, vždy k němu musíme přiřadit i správnou nejistotu měření. Mnohdy je u reálného měření velice těžké naplnit obecnou definici, protože nastává celá řada problémů.

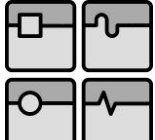
Základními požadavky kladenými na metrologicky ověřený systém je uvádění nejistoty výsledku zkoušky jako parametr, který by podával odpovídajícím způsobem požadovanou informaci o kvalitě naměřeného výsledku zkoušky. Nejistota měření se stala nástrojem, který popisuje kvalitu naměřeného výsledku zkoušky nebo kalibrace. V minulosti tímto nástrojem byla chyba měření, která ovšem nedávala potřebným způsobem požadované informace.

1.1 Základní pojmy a definice z oblasti nejistot měření

K dobrému pochopení problematiky nejistot měření je důležité si vysvětlit a sjednotit definice a termíny spojené s touto problematikou. V různých normách, ať už našich nebo zahraničních, se pro pojmy z oblasti nejistoty měření používají různé definice s podobným významem. Různé normy nabízejí různé definice. Citace z norem podléhají aktuálnímu znění platnému ke dni vzniku této diplomové práce.

Prostředek popisující nejistotu měření je nejistota výsledku zkoušky. V TNI 01 0115 najdeme pojem:

Výsledek měření: „Soubor hodnot veličiny přiřazený měřené veličině společně s jakoukoliv další dostupnou relevantní informací“⁷⁾

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 13
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Z této definice vyplývá hned několik skutečností. Pro je nás nejpodstatnější, že pokud chceme mít výsledek měření kompletní, musí obsahovat informace týkající se nejistoty měření. Výstupem měření může být:

- Indikace
- Nekorigovaný výsledek
- Korigovaný výsledek

Norma TNI 010115 definuje konečný údaj výsledku měření (Y: skutečnou hodnotu měřené veličiny), jako výsledek skládající se ze dvou hodnot

- Výsledku vlastní zkoušky (y: odhad skutečné hodnoty měřené veličiny)
- Nejistota odhadu měřené veličiny (U: nejistota odhadu měřené veličiny)

Matematické vyjádření výsledku zkoušky píšeme ve tvaru:

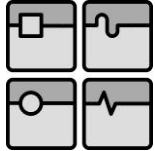
$$Y=y\pm U \quad (1)$$

Aplikace této rovnice znamená, že odhadem při zkoušce měřené skutečné veličiny Y je získaná hodnota proměnné „y“. Takto získaný interval je $\langle y - U ; y + U \rangle$, který obsahuje s určitou „velkou“ pravděpodobností hodnotu, která může být oprávněně přiřazena skutečné hodnotě veličiny Y. Skutečnou hodnotu Y bychom byli schopni získat pouze za předpokladu naprosto přesného měření, což nám bohužel dosud známé přístroje a postupy v metrologii neumožňují, proto jsou skutečné hodnoty neurčitěho charakteru.

Shodně s pokyny TNI 01 0115 je nejistota definovaná:

Nejistota měření: „Nezáporný parametr charakterizující rozptýlení hodnot veličiny přiřazených k měřené veličině na základě použité informace“⁷⁾

Zmiňovaným parametrem může být například směrodatná odchylka (popřípadě její násobky, polovina šířky intervalu) za stanovené konfidenční úrovně. Nejistota měření neobsahuje pouze jednu složku, ale je složena z více složek. Jedna skupina může být charakterizovaná ze statistického vyhodnocení a to směrodatnou odchylkou. Jiná skupina může být charakterizována rovněž směrodatnými odchylkami a to z pravděpodobnostního rozložení na základě zkušenosti zhodnocovatele nebo různých informací souvisejících s procesem, měřidlem atd. Předpokládá se, že výsledkem měření je nejlepší odhad hodnoty měřené veličiny. To se zakládá na předpokladu, že k rozptylu přispívají všichni přispěvatelé a to i ti, kteří jsou výsledkem systematických vlivů, což mohou být složky spojené s korekcemi a referenčními etalony.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 14
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Další definici můžeme nalézt v normě ČSN ISO 3534-1

Nejistota měření: „Odhad přiřazený k výsledku zkoušky a charakterizující interval hodnot, o němž se tvrdí, že uvnitř něho leží správná hodnota“⁽⁵⁾

Dle této definice můžeme usuzovat obdobné poselství jako v předchozí citaci. Norma nabádá k rozlišování mezi nejistotou a odhadem přiřazeným k výsledku zkoušky, který je charakterizován pomocí intervalu hodnot, o němž se tvrdí, že uvnitř něj leží střední hodnota. Takový odhad je spíše mírou shodnosti než nejistotou, který má být používán, pokud není dostupná pravá hodnota. Za předpokladu záměny střední hodnoty za pravou hodnotu by se měl užívat výraz: „náhodná složka nejistoty“.

Definici nejistoty nemusíme hledat pouze v českých normách, ale najdeme ji i v zahraničních. Například německá norma udává:

DIN 1319-1

Nejistota (uncertainty): „Parametr vyplývající z měření, které slouží spolu s výsledkem měření k charakterizování rozsahu hodnot pro pravou hodnotu měřené veličiny“⁽¹⁰⁾

Za touto definicí můžeme hledat obdobné sdělení jako u předchozích definic, které se nacházejí v českých normách. Takto vymezená definice je technickým termínem a není přípustné, aby byla zaměňována za pochybnost. Vyjádříme-li nejistotu, získáme údaj o měření, který nám znázorňuje, s jakou pravděpodobností se na výsledek můžeme spolehnout.

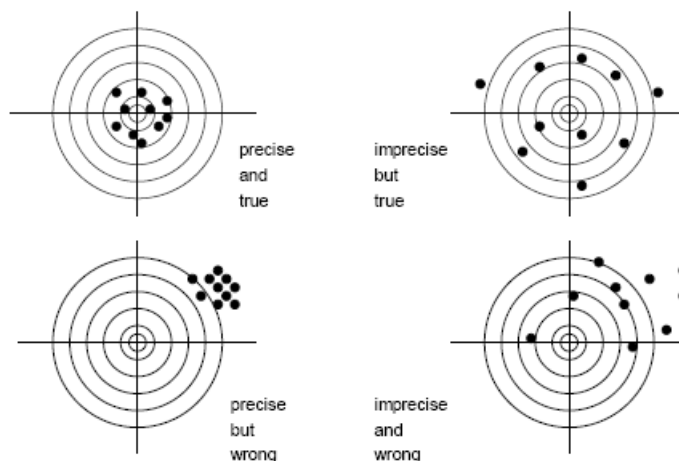
Dle předchozího textu nalezneme podobné vyjádření nejistoty, ze kterého může být usuzováno, že každý výsledek je odhadem skutečné měřené veličiny. Proto je považován za komplexní jen tehdy, pokud je doprovázen i údajem o nejistotě vyplývající z tohoto údaje.

Dále je nutné si ujasnit a vysvětlit související pojmy, protože v různých statistických a normách můžeme objevit nejednoznačnost těchto pojmů. Podle TNI 010115 je:

Přesnost měření: „Těsnost shody mezi výsledkem měření a pravou hodnotou měřené veličiny“⁽²⁾

Z textu vyplývá, že přesnost je kvantitativní pojem. Přesnost používáme jako nadřazený výraz mezi pravou a naměřenou hodnotou. Přesnost je kombinací správnosti a pravdivosti, což znamená vliv náhodných a systematických faktorů.

Definice podle prvního oddílu normy ČSN ISO 5725 je: Přesnost (správnost a shodnost) metod a výsledků měření. K popsání pojmu „přesnost“ se používá tato norma dvou termínů „správnost“ a „shodnost“. Grafické znázornění můžeme vidět na obrázku, který vám vysvětlí zmiňované pojmy pomocí zásahu na střeleckých terčích (Obrázek 1).



Obrázek 1 - Model terčů pro znázornění pravdivosti a preciznosti

Zdroj: Eurolab [online]. srpen 2006 [cit. 2011-05-25]. Pokyn pro vyhodnocení nejistoty měření výsledků kvantitativních zkoušek. Dostupné z WWW: <http://www.eurolab.cz/data/dokumenty/NejistotyTZ%201_2006f.pdf>.

„Správnost“ - správnost se týká těsnosti shody mezi aritmetickým průměrem velkého počtu výsledků zkoušek a pravou hodnotou nebo přijatou referenční hodnotou. Významu „shodnost“ je přiřazován těsnosti shody mezi výsledky zkoušek. V některé literatuře je pojem stejného významu. V minulosti se termín správnost používal po určitý čas pouze pro jednu složku a tou byla správnost. Později se ukázalo, že to může znamenat pro mnohé posun výsledku od referenční hodnoty, bez zřetele na to, co způsobuje tento posun (systematické nebo náhodné chyby).

Ve statistických souvislostech je termín strannost používán po delší dobu, avšak tento termín vyvolával námitky u určitých profesí. Bylo vyzdviženo kladné hledisko zavedením termínu správnost.

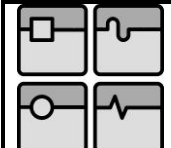
Definice podle technické normy ČSN ISO 3534-1 je:

Přesnost; extraktnost : “ Těsnost shody mezi výsledkem zkoušky a přijatou referenční hodnotou“⁽⁵⁾

Z textu vyplývá, že tento použitý termín zahrnuje kombinaci náhodných složek a složky tvořené společnou systematickou chybou nebo vychýlením.

Správnost podle téže normy je definována jako:

Správnost: „těsnost shody mezi průměrnou hodnotou získanou z velké řady výsledků zkoušek a přijatou referenční hodnotou“

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 16
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Mnohdy je také správnost označována jako „přesnost průměru“, což vyplývá z definice, ale používání tohoto výrazu se nedoporučuje.

Strannost; vychýlení: „rozdíl mezi střední hodnotou výsledku zkoušek a přijatou referenční hodnotou“⁵⁾

Z textu vyplývá, že strannost je souhrnná systematická chyba v opaku k náhodné chybě. Systematická chyba se může skládat z jednoho nebo více přispívatelů, kteří k ní mohou přispívat.

Shodnost; preciznost, „těsnost shody mezi nezávislými výsledky zkoušek získanými za předem specifikovaných podmínek“⁵⁾

Z definice vyplývá: Shodnost není ve vztahu k pravé nebo konvenčně pravé hodnotě. Je vyjadřována pomocí míry neshodnosti a počítá se jako směrodatná odchylka výsledku zkoušky. Pod pojmem nezávislé výsledky zkoušky se rozumí takové výsledky, které nejsou závislé na žádném předchozím výsledku na témže nebo podobném objektu. Kvantitativní míra shodnosti je závislá na předem stanovených podmínkách a to mírou rozhodující. S touto definicí souvisí pojmy opakovatelnosti a reprodukovatelnosti.

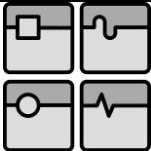
Opakovatelnost, podmínky opakovatelnosti zahrnují:

- Stejný postup
- Stejnou laboratoř
- Stejnou obsluhu
- Stejně vybavení
- Opakování v krátkých časových intervalech

Reprodukovatelnost, zahrnuje:

- Stejný postup
- Různé laboratoře
- Různou obsluhu
- Různé vybavení

Stanovit postup v případě shodnosti je poměrně jednoduché. U pravdivosti se jedná o náročnější zjištění. Jedním z vhodných postupů je určení vhodného refe-

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 17
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

renčního materiálu. Shodnost mnohdy bývá také jinak nazývána preciznost. Ve své diplomové práci se budu držet pojmu uváděných v normách.

1.2 Přístupy ke kvantifikaci nejistoty výsledku

V technické praxi se v současnosti uplatňují tyto dva přístupy - přístup modelový a empirický. Ve své práci se přidrím přístupu modelového, protože tento přístup je v technické praxi rozšířenější.

1.2.1 Modelový přístup

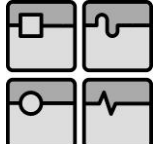
Tento postup je založen na detailním rozboru všech vstupních veličin, které do procesu měření vstupují, a následné kumulaci dílčích složek. Hlavním záměrem této metody je individuální rozbor a následné vyhodnocení dílčích veličin a jejich dílčích příspěvků. Tento postup vychází z analýzy dílčích veličin v matematickém modelu, který definuje funkci pro určení výsledné veličiny zkoušky. Pro kumulaci dílčích složek, které mají nezanedbatelný význam, vycházíme z kovariačního zákona pro šíření nejistot za předpokladu závislosti vstupních veličin. Za předpokladu nezávislosti vstupních veličin potom aplikujeme Gaussův zákon pro šíření nejistot.

1.2.2 Empirický přístup

Tento postup, mnohdy označován jako postup „shora dolů“, je založen na principu kumulativního vyhodnocování sdružených veličin bez dílčích experimentální kvantifikace nejistot jednotlivých vstupních veličin. Tyto postupy jsou založeny na principu na zjišťování celkové výkonnosti metody navržené a aplikované, tak aby se zahrnuly vlivy tolika zdrojů nejistoty, jak jen to je možné. Stěžejními údaji v těchto postupech jsou typicky preciznost a vychýlení (vysvětlení v textu výše), které získáváme z validačních studií prováděných v laboratořích, řízení kvality, mezi laboratorních validačních studií jednotlivých postupů nebo ze zkoušení způsobilosti. Tento přístup nepodává informace o velikosti jednotlivých složek. Je mnoho institucí, které se snaží o větší rozšíření tohoto postupu do praxe, jako platného a často praktičtějšího řešení. Dokument GUM tento postup nezavrhne za předpokladu, že jsou plně dodrženy a respektovány jeho zásady.

1.3 Přejít od chyby měření k nejistotě měření

V současné době můžeme zjistit hodnotu kvantitativně popsaného parametru pouze měřením. Definice měření je soubor činnosti, jejíž cílem je stanovit hodnotu měřené veličiny. Bohužel nejsme schopni určit tuto hodnotu s absolutní přesností, protože tzv. pravá hodnota je neurčitelná. Získaný výsledek měření jakož to hodnota, která je získána měřením, se vždy od pravé hodnoty liší. Z těchto důvodů se vyja-

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 18
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

druje přesnost. Přesnost je kvantitativní pojem a proto, aby byla možnost ji použít v technické praxi, musí být popsána kvantitativně (číselně). Toho je dosaženo po přiřazení parametru k výsledku měření, který by tuto míru přesnosti vyjádřil. Funkci tohoto parametru v minulosti plnila chyba měření. Jejíž volná definice je rozdíl mezi výsledkem měření a pravou hodnotou. Teorie chyb, jehož moderního pojetí je zakladatel Jacob Bernoulli (1645-1705), je založena na těchto základních zásadách:

- Existuje pravá hodnota měřené veličiny.
- Pravá hodnota měřené veličiny není poznatelná.

Ovšem v tomto případě nastává problém v tom, že pravá hodnota je neurčitá. Tudíž i chyba měření v tomto případě nelze určit. Zjistitelná by byla pouze v případě ideálního měření, tj. měření bez ovlivňujících faktorů, což je v současné i blízké době nereálné. Tento problém byl odstraněn při zavedení termínů konvenčně pravá hodnota. Tímto pojmem se má na mysli hodnota, která je přisuzována blíže určené veličině a je přijata, někdy i konvencí jako hodnota, která je dostačující pro její účel. K této hodnotě se aplikuje i chyba měření. Tento přístup v sobě skrývá řadu nevýhod:

- Výsledky jsou špatně přenositelné.
- Klesá možnost jejich využití.
- Nejsou vhodné k porovnávání.
- Nevíme, s jakou pravděpodobností se na danou chybu můžeme spolehnout.

1.3.1 Kvalifikace chyb

Chybu měření dělíme z několika pohledů do několika skupin. Dvě základní skupiny jsou podle místa vzniku a podle původu vzniku.

Chyby měření podle místa vzniku dělíme do čtyř základních skupin:

1. Instrumentální chyby

Jsou způsobeny konstrukcí měřicího přístroje a určují jeho kvalitu. U řady přístrojů jsou známy a garantovány výrobcem.

2. Metodické chyby

Souvisejí s použitou metodikou stanovení výsledků měření, jako je odečítání dat, organizace měření, eliminace vnějších vlivů atd.

3. Teoretické chyby

Souvisí s použitým postupem měření. Jde zejména o principy měření, fyzikální modely měření, použité parametry atd.

4. Chyby zpracování dat

Jde o chyby numerické, metody a chyby způsobené užitím nevhodných metod statistického vyhodnocení.

Podle původu (příčiny vzniku) můžeme chyby měření rozdělit do tří skupin:

1. Chyby hrubé – omyly, náhodné chyby

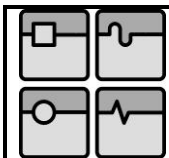
Vznikají buď přehlédnutím při měření, nebo použitím vadného měřicího přístroje. Kontrolou se dají poměrně snadno odhalit a jejich vliv na měření je možné vyloučit.

2. Chyby soustavné – systematické

Jsou způsobeny neustále stejnou příčinou. Navenek se většinou projevují tak, že při mnohonásobném opakování téhož měření je naměřená hodnota soustavně vyšší nebo nižší než skutečná hodnota. Systematické chyby je možné zdokonalením měřicí metody a použitím nezávislých měřících metod zcela omezit. Lze je rozdělit do 4 skupin:

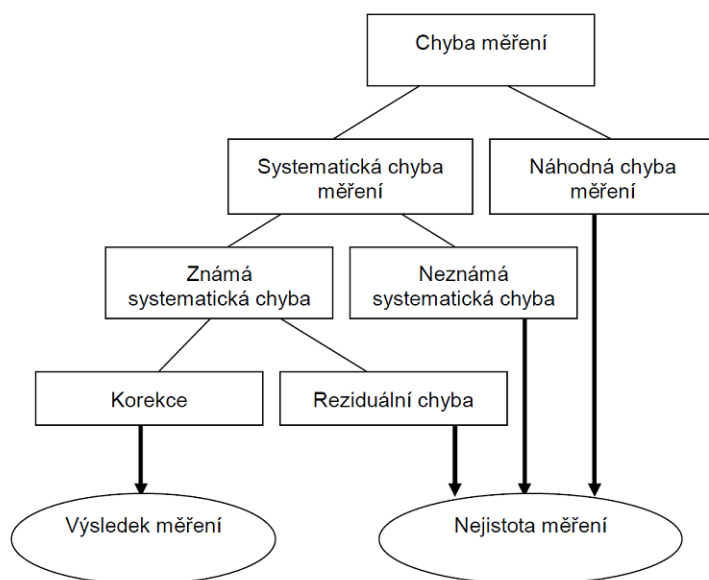
- chyby metody
- chyby metody vyhodnocení
- chybné stanovení podmínek měření
- chyby přístrojů

Systematické chyby měřících přístrojů se dělí na **aditivní** (chyba nastavení nulové hodnoty) a **multiplikativní** (chyba citlivosti). Typ a velikost chyby přístroje bývají garantovány výrobcem.



3. Chyby nahodilé

Nejeví známky pravidelnosti, nedaří se objevit jejich příčiny ani odstranit jejich vliv na měření. Přestože tyto chyby není možné odstranit, je možné je metodami matematické statistiky popsat a určit jejich vliv na přesnost měření. Působením nahodilých chyb se samotná měřená veličina stává nahodilou veličinou. Výsledkem opakovaného měření této veličiny je řada hodnot $x_1, x_2, \dots, x_n$. Takto získané hodnoty jsou **náhodným výběrem** z takzvaného **základního souboru**.



Obrázek 2 – Druhy chyb měření a jejich zohlednění při stanovení výsledku

Zdroj: Eurolab [online]. srpen 2006 [cit. 2011-05-25]. Pokyn pro vyhodnocení nejistoty měření výsledků kvantitativních zkoušek. Dostupné z WWW: <http://www.eurolab.cz/data/dokumenty/NejistotyTZ%201_2006f.pdf>.

Z výše uvedených důvodů se v minulosti přešlo z chyby měření na vyjadřování měření podle parametru nejistoty měření. Nejistota měření je přidružena k výsledku a slouží k charakterizování rozptylu, který by původně mohl být přisuzován k měřené veličině.

Základní rozdíl spočívá v tom, že chyba měření je rozdíl mezi naměřenou a pravou hodnotou a nejistota měření je intervalem, kterým říkáme, s jakou pravděpodobností naměřená hodnota v daném intervalu leží. Stejně jako u chyby měření i u nejistoty měření platí základní zásada:

- Výsledek měření není náhodná veličina.

1.4 Legislativa spojená s nejistotou měření

Dalším důvodem, proč pro vyjadřování nepřesnosti v měření bychom měli používat přístup nejistotový před chybovým, je jednoznačnost, která je zajištěna základními dokumenty vyjadřování nejistoty měření. Přestože dokumenty ohledně nejistot měření definují jednoznačný význam a jednoznačnou metodiku pro měření nejistot, problém nastává v nejednoznačné interpretaci nebo nejsou naplněny všechny požadavky, které dokumenty ukládají. Přes všechny problémy je dnes nejistota měření široce užívaná a respektována jako jednoznačný parametr výsledku měření, ať už ve standardizaci nebo legislativě.

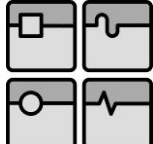
Historicky vzato, základním dokumentem zabývajícím se výše uváděnou problematikou je „Pokyn pro vyjadřování nejistot měření (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, dále jen GUM)“, který byl vydán společně organizacemi BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP a OIML. Počátek vzniku tohoto textu začíná v roce 1977, kdy na základě poznání, že neexistuje jednotný mezinárodně uznávaný přístup k vyjadřování nejistot, byla na popud CIPM vznesena žádost k BIPM, aby byl tento dokument vypracován. I přesto, že tento zakládací dokument je starý více než 30 let, stále tato problematika budí jisté vzrušení. V současné době je platná nejnovější verze z roku 1995, kde už najdeme opraveny chyby starších vydání. Za výhody tohoto dokumentu se dá označit sjednocení metodik vyhodnocování nejistoty měření.

Dokumentu je často vytýkána malá teoretická vypracovanost. Mnohdy se můžeme setkat z řad odborníků na tuto problematiku s názorem upozorňujícím na špatnou aplikovatelnost do praxe, zvláště pro svou přílišnou obecnost. Pojetí dokumentu GUM tudíž vychází z těchto elementárních pravidel:

- Všechny složky jsou kvantifikovány standardní odchylkou.
- Všechny systematické chyby můžeme vyrovnat a jakákoliv nejistota je tudíž nejistota téhle korekce.
- Interval nejistoty je symetrický.

Další text bude vycházet právě z tohoto dokumentu a s ním souvisejících přidruženým zdrojům.

Současné pojetí problematiky vyjadřování nejistoty vychází z tohoto výše jmenovaného dokumentu a je plně uznávané po celém vyspělém technickém světě. Některé české technické normy vyjadřování nejistoty přímo vyžadují, a z pohledu legislativy je povinné vyjadřování nejistoty, všude tam, kde to nařizuje zákon (obory související z lidským zdravím a BOZP). V současné době zakořenění této problematiky můžeme nalézt i v technických normách, ať již se jedná o samostatnou definici nejistoty měření (ČSN EN ISO 10012, TNI 01 0115, ČSN 3534-1) nebo o pojmy a výrazy s touto problematikou spojené v různých technických disciplínách (ČSN ISO 5168:2006, ISO 17025). Po přistoupení České republiky do Evropské unie přejímáme některé směrnice, které nejistotu také používají. Problém spojený s normami je

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 22
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

ekonomický. Konkrétně ten, že není volně šiřitelný, ale pouze za úplatu. To na druhou stranu zaručuje určitým způsobem ochranu a originalitu norem před rozšířenou nebo nějak jinak pozměněnou normou.

1.5 Postup pro odhad nejistoty

Jakékoliv měření lze vyjádřit pomocí matematického modelu, který se dá sestavit ve tvaru:

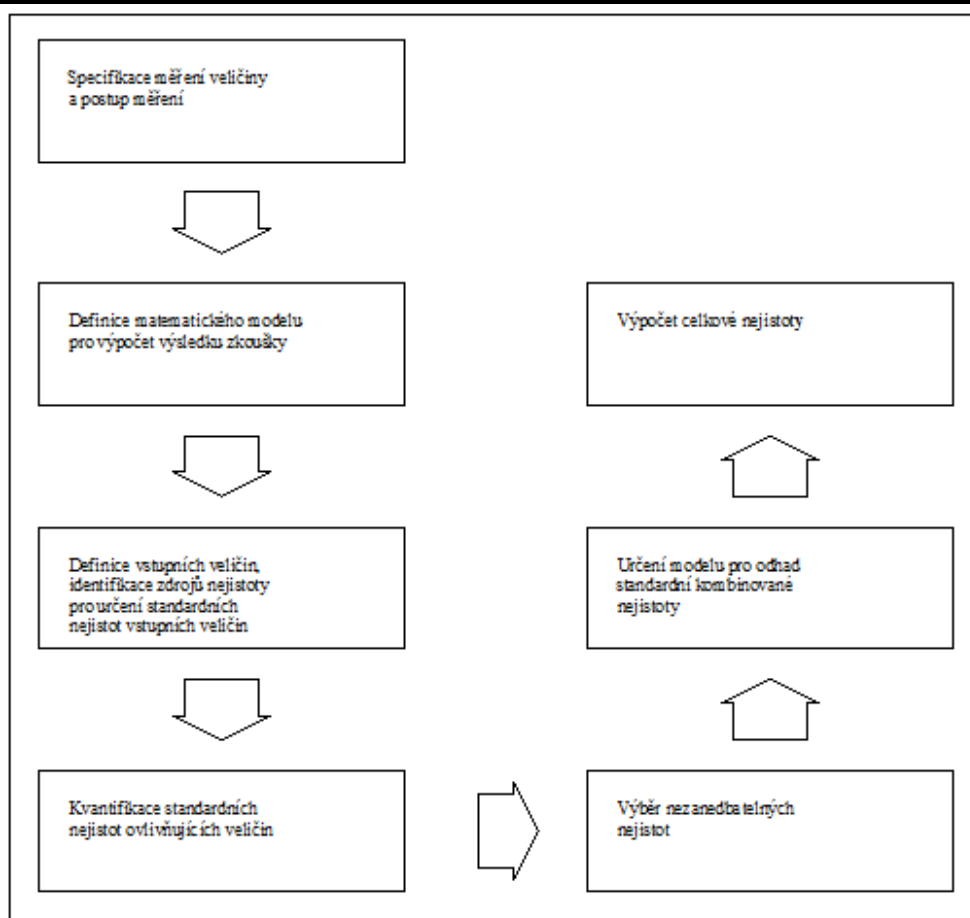
$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2)$$

y...skutečná veličina

x_i ...dílní veličina (y je funkcí proměnných x_i)

Velikost nejistoty zkoušky je závislá na velikosti dílních veličin, které do procesu vstupují. Tudíž tato hodnota odpovídá přímo stupňům znalosti, které do procesu vstupují. Základními stavebními kameny musí být rozbor veličin vstupujících do procesu měření, identifikace všech složek výsledné nejistoty a určení matematického modelu pro kombinaci dílních složek v nejistotu výsledku zkoušky.

Postup můžeme graficky vyjádřit v několika krocích:



Obrázek 3 – Postup pro odhad nejistoty

Zdroj: Vlastní tvorba

- **Specifikace měřené veličiny a postupu měření**

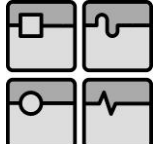
V prvním kroku je nutné si určit veličinu „y“, která se má měřit, a postup stanovení její hodnoty. Kromě stanovení konkrétního měření je nutné si specifikovat všechny přípravné kroky, což například zahrnuje odběr vzorků, příprava vzorků, podmínky, které je nutno dodržet, aby měření proběhlo správně, a v neposlední řadě i zpracování údajů.

- **Definice matematického modelu pro výpočet výsledku zkoušky**

V dalším kroku je nutná přesná specifikace všech vztahů pro výpočet nebo určení výsledku zkoušky, kde matematický model je nutné určit na základě jednoduchých základních veličin, která se dají určit přímo.

- **Definice vstupních veličin, identifikace zdrojů nejistoty pro určení standardních nejistot vstupních veličin**

Následný krok slouží pro definování veličin vstupujících do procesu, který vede k výsledku, a to na základě proměnných vystupujících v matematickém modelu. Určíme metodiku pro určení těchto dílčích složek nejistoty výsledku zkoušky. Při proce-

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 24
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

su měření musíme počítat se spoustu zdrojů nejistoty měření, které nám vstupují do procesu měření. Identifikace příspěvků k nejistotě měření je uvedena v příloze A. Jedná se o příklad z chemického odběru vzorku. Tento příklad volím i navzdory jisté vzdálenosti od oboru strojírenství pro svou názornost.

- **Kvantifikace standardních nejistot ovlivňujících veličin**

V tomto kroku provedeme číselné vyhodnocení nejistot, vyhodnocení jednotlivých příspěvků. Úkolem tohoto kroku je posoudit, jak moc je daný příspěvek významný. Vyloučí se složky, které jsou vyhodnoceny jako zanedbatelné. K tomuto účelu nám slouží pravidla, která nám stanovují významnost zdrojů nejistoty poměrem k největší.

Různé zdroje udávají různé poměry:

- EuroLab ve své zprávě z roku 2006 udává: „*jestliže se dva příspěvky liší 1/5 , pak je možné menší příspěvek ve srovnání s větším zanedbat⁽¹⁰⁾*“
- Dle profesora Němečka z Liberecké univerzity ve své knize publikuje poměr 1/6 , pak je možné příspěvek vyloučit.
- Dle českého institutu pro akreditaci (ČIA) je tento poměr 1/5.
- Dle Eurachem je tento poměr 1/3.

V tomto ohledu ji budu brát jako nevýznamnou složku, která není větší než jedna třetina složky největší.

- **Výběr nezanedbatelných nejistot**

Na základě posouzení velikosti jednotlivých standardních nejistot vybereme ty, které proces ovlivňují nezanedbatelně. Viz předchozí pravidlo.

- **Určení modelu pro odhad standardní kombinované nejistoty**

Určíme vztah pro odhad kombinované standardní nejistoty. Při tomto kroku se ohlížíme na vzájemnou závislost - nezávislost vstupních veličin.

- **Určení standardní kombinované nejistoty výpočtem**

Na princip kvantifikace standardních nejistot, popřípadě kvantifikace parciálních derivací, provedeme výpočet standardní kombinované nejistoty.

- **Výpočet rozšířené nejistoty**

Provede se výpočet celkové standardní nejistoty.

1.6 Kovariační zákon

Matematická formule, kterou nazýváme kovariační zákon, slouží k výpočtu nejistot výsledku měření. Tento zákon slouží k definici obecných vztahů mezi výslednou veličinou měřené veličiny „y“ a dílčími nejistotami, které vstupují a ovlivňují proces měření x_i . Platí v obecných případech, kdy jsou jednotlivé složky mezi sebou navzájem závislé ale i nezávislé. Matematické vyjádření Kovariačního zákona se vyjadřuje:

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

Dovolím si odcitovat z odborné publikace od docenta Fialy, jehož autorem je doktor Koška, kde popisuje kovariační zákon:

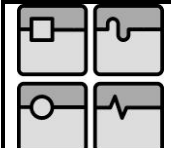
„Příspěvky jednotlivých veličin k nejistotě výsledku zkoušky jsou dány druhou mocninou součinu parciální derivace funkce vůči veličině x_i a příslušné standardní nejistoty $u(x_i)$. Člen $u(x_i)$ v prvním členu je standardní veličina x_i , popisující nejistotu stanovení vstupní veličiny x_i . Parciální derivace nacházející se v prvním členu se také někdy nazývá, bývá nazývaná citlivostní (koeficient citlivosti). Veličina $u_c(y)$ nazýváme standardní kombinovanou nejistotou, která je složena z dílčích standardních nejistot a citlivostních koeficientu. Druhý člen rovnice popisuje vzájemnou kovarianci mezi členy veličin x_i a x_j .

$$s(x, ij) = \frac{1}{n-1} \sum_{i,j=1}^k (x_{ik} - \bar{x}_i)(x_{jk} - \bar{x}_j) \quad (4)$$

Kde $s(x, ij)$ je výběrová kovariance mezi x_i a x_j , definována jako součet součinu odchylek x_j a x_i od svých průměru dělený o jedničku zmenšených počtem dvojic dělený o jedničku zmenšeným počtem dvojic (n je počet pozorovaných dvojic).

$$s(x, ij) = u(x_i)u(x_j)r_{ij}$$

Kde r_{ij} je výběrový kovariační koeficient definovaný jako poměr výběrové kovariance dvou znaků a součinu jejich výběrových směrodatných odchylek.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 26
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

$$r_{ij} = \frac{s(x, ij)}{u(x_i)u(x_j)} = \frac{\sum_{k=1}^k (x_{ik} - \bar{x}_i)(x_{jk} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^k (x_{ik} - \bar{x}_i)^2 \sum_{k=1}^k (x_{jk} - \bar{x}_j)^2}} \quad (5)$$

$s(x, ij)$... výběrová kovariance znaků x_i a x_j

$u(x_i)$ a $u(x_j)$... výběrové směrodatné odchylky x_i a x_j ⁽²⁾

Tato hodnota r_{ij} se nachází mezi čísly -1 a +1. Za předpokladu rovnosti výběrového korelačního koeficientu r_{ij} s hraničním bodem to značí o přesné lineární závislosti mezi x_i a x_j . Je-li r_{ij} roven nule je mezi x_i a x_j lineární nezávislost.

Další zákon související s problematikou nejistot měření je **Gaussův zákon** pro šíření nejistot. Tento zákon použijeme při vzájemné nezávislosti vstupních veličin.

$$u_c(y) \cong \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 u^2(x_1) + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\right)^2 u^2(x_2) + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n}\right)^2 u^2(x_n)} \quad (6)$$

Kde $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ je funkcí n parametru x_i , příslušné parciální derivace jsou koeficienty citlivosti a $u(x_i)$ jsou standardní nejistoty. Každý příspěvek proměnné je dán součinem druhé mocniny odpovídající příslušné nejistoty vyjádřené ve formě směrodatné odchylky a druhé mocniny odpovídající parciální derivaci.

1.7 Vyhodnocení standardních nejistot

Pro výpočet nejistoty výsledku zkoušky musíme vyjádřit její příspěvatelé ve formě standardních nejistot $u(x_i)$. V praxi se výpočet těchto parametrů provádí dvěma způsoby.

1.7.1 Nejistota určena metodou typu A

Tuto metodu je možno použít pouze pokud máme k dispozici (nebo jsme schopni provést) opakovaná měření. Nejistota je způsobená kolísáním naměřených údajů. Mírou nejistoty typu A je výběrová směrodatná odchylka výběrového průměru. Výběrová proto, že naměřené hodnoty mají reprezentovat určitý malý výběr z prakticky nekonečného množství hodnot, kterých by mohla měřená veličina nabývat. Výběrového průměru proto, že hodnota, která se uvádí jako výsledek měření, se získá

výpočtem průměrné hodnoty jako opakovaně provedených odečtu, tedy sečtením všech hodnot a vydělením součtu počtem provedených odečtu.

Standardní nejistota typu A je pak dána vztahem:

$$u_a = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (7)$$

s...směrodatná odchylka s opakovaných měření

n...počet opakování

x_i ...jednotlivá měření

$\bar{x}$...výběrový průměr

Ke zmenšení u_a může nastat ve dvou případech:

- Při zvětšujícím se počtu měření při zachování velikosti s
- Při zmenšení rozptylu hodnot

Tento statistický způsob je jednou z možností, jak ovlivnit velikost u_a . Ovšem nastane-li případ, že počet opakování je menší než 10 a za předpokladu, že jde o Normální rozdělení, platí vztah, kde použijeme bezpečnostní faktor k_{Ua} , jenž závisí na počtu měření.

$$u_a = k_{Ua} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (7.1)$$

k_{Ua} ...bezpečnostní faktor

Tabulka hodnot bezpečnostního faktoru

Bezpečnostní faktor pro určení u_a v případě $n < 10$									
n	2	3	4	5	6	7	8	9	10 a více
k_{Ua}	7	2,3	1,7	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1

Bezpečnostní faktor slouží pro případ, že není dostatek důkazu. Jeho hodnoty jsou demotivující kvůli tomu, aby bylo vždy provedeno dostatek opakovaných měření. Trend nasvědčuje, že vzorec (7) do budoucna nebude používán, protože v případě počtu opakování pod 10 nabádá k jinému způsobu vyhodnocení (například pomocí typu B). Každopádně, v současnosti bychom se měli řídit jednoduchým doporučením:

- Opakování by nemělo být méně než 5.
- Opakování 5 až 10 v zcela výjimečných případech.
- Doporučující se provádět více než 10 opakování.

Stanovení nejistoty metodou A se musí provádět za podmínek opakovatelnosti (viz dříve), především v podmínkách, kdy zdroje nejistot typu B se nemění. Dále je důležité provádět měření v podmínkách, které jsou nejbližší běžnému stavu při měření. Je nevhodné provádět měření v laboratorních podmínkách nebo v podmínkách, kde se měření obvykle neprovádí. Opakovaná měření je vhodné provádět na místech, pro která je nejistota určena. Proto, aby všechny vlivy byly s dostatečnou přesností zahrnuty do systému měření, je nutné je nechat v systému dostatečně působit. Nejistotu typu A můžeme pro její vlastnosti stanovit pouze jednou, a dokud se nezmění v systému měření některý s přispívatelů, je stále použitelná. Měření bychom měli provádět pouze s použitím měřidla, které nám poskytují dostatečnou informaci s dostatečnou přesností. Vždy musíme volit měřidlo s dostatečnou přesností. Za předpokladu, že nemůžeme některý z předpokladu dodržet, je potřeba nahradit u_a nejistotou typu B.

1.7.2 Nejistota určena metodou typu B

Vedle nejistot typu A na proces měření působí i nejistoty typu B. Tyto zdroje nepopisujeme pomocí vyhodnocení počtu měření. Tyto zdroje označené jako typu B se vyznačují třemi základními vlastnostmi:

- Vyhodnocení nestatistickými metodami
- Jejich množství závisí na vůli zhodnocovatele.
- Jejich příspěvek nesnížíme opakovaným měřením.

Můžeme je rozdělit do dvou skupin:

- Variabilní systematické chyby
- Náhodné zdroje se známou variabilitou
- Ostatní zdroje nejistoty

Variabilní systematické vlivy

První skupina variabilní systematický vliv je charakterizován poznatelností, zpracovatelností a vyčíslitelností. Jeho působení je ale nestabilní. Skládá se ze dvou složek, stálé a proměnné (obě jsou ale známé). Typickým zástupcem je teplota působící na měřenou délku. Pokud máme nějaký zdroj, který udržuje stálou teplotu, tak tento zdroj má nastavenou stálou teplotu, kolem které kolísá teplota v pravidelných regulačních mezích. Při měření jsme povinni odstranit stálou složku systematického zdroje nebo kompenzovat. Korigujeme na referenční hodnotu zdroje. Při zpracování se uplatní pouze část proměnlivá.

Do této skupiny patří například:

- Vliv měřících kabelů
- Vliv povětrnostních podmínek

- Vliv uložení snímače
- Vliv kalibrace
- a další

Náhodné zdroje se známou variabilitou

Do druhé skupiny – **Náhodné zdroje** se známou variabilitou lze také aplikovat metodu B, a to odhadem na základě statistického rozdělení a pravděpodobnostního intervalu. V tomto případě máme pouze jedno měření a víme, že aplikací dalších měření by hodnota kolísala zanedbatelně. Přesto jsme schopni na základě zkušenosti určit možnou variabilitu. Do této skupiny můžeme zařadit:

- Vliv rozlišitelnosti měřidla
- Vliv konstant při výpočtu nepřímo měřitelné veličiny

Ostatními zdroji se rozumí zdroje, které naplňují dříve zmíněné podmínky, ale nemůžeme je zařadit do první ani druhé skupiny.

Informace potřebné k vyjádření správné nejistoty lze získat především z těchto zdrojů:

- Doporučení výrobce
- Z odborné literatury
- Z vlastního rozboru
- Z doporučení specialistů
- Z výsledku auditu

1.7.3 Nejistoty typu B lze odhadnout (vypočítat) několika způsoby

1. Pokud známe rozšířenou nejistotu, přepočteme ji na nejistotu kombinovanou.
2. Za použití statistického rozdělení a variability zdroje
3. Ze známých údajů o kombinované nejistotě (z certifikátů, tabulek, literárních zdrojů, kvantifikovaným odhadem, z doporučení od důvěryhodných zdrojů, informací atd.)

Postup pro určování nejistoty typu B určených externě

V některých případech jsou zdroje nejistoty určeny externě například u kalibrace, kde je výstupem protokol, který určuje rozšířenou výslednou nejistotu. Z ní je třeba stanovit zdroj typu B, všechny potřebné parametry jsou uvedené v protokolu. Samotný výpočet provedeme podle zmíněného vztahu:

$$u_b = \frac{U}{k} \quad (8)$$

U... rozšířená nejistota

k...koeficient rozšíření zdroje nejistoty

Postup při určování nejistot typu B podle variability známého zdroje

- 1) Prvním krokem je vytipování všech možných zdrojů nejistoty $z_1, z_2, \dots, z_n$.
- 2) Na základě převzetí informací z technické dokumentace, kalibračních listů, technických norem, údajů od výrobce, ze zkušeností zhodnocovatele nebo odhadem se určí u_{Bzj} .
 - Na základě odhadu maximálních rozsahu změn $\pm z_{\max}$. Tato volba vychází z předpokladu málo pravděpodobného překročení zvoleného rozsahu.
 - Na základě povahy $z_{\max}$, vybereme nejvhodnější pravděpodobnější rozdělení který daný výskyt hodnot v tomto intervalu nejlépe vystihuje a zvolíme χ .
 - Nejistotu typu B určíme na základě vztahu

$$u_{Bz} = \frac{\Delta z_{\max}}{\chi} \quad (9)$$

χ ...pravděpodobnostní rozdělení

$\Delta z_{\max}$...maximální rozsah změn

- 3) Celková nejistota typu B je dána geometrickým součtem nejistot jednotlivých zdrojů.

Dvě nejčastější pravděpodobnostní rozdělení jsou normálové a rovnoměrné.

Rovnoměrné rozdělení použijeme tam, kde je stejná pravděpodobnost malých a velkých odchylek od zdroje nejistoty a tam, kde je rozdělení ohraničeno v rozsahu $\pm a$.

Normálové (gaussovo) rozdělení použijeme tam, kde je velká pravděpodobnost malých odchylek od zdroje nejistoty, tam kde rozdělení není ohraničeno a pro zdroj, které se mohou pohybovat v širokém rozsahu hodnot.

Přehled všech rozdělení i s jejich hodnotami obsahuje příloha 2.

1.8 Kombinovaná standardní nejistota

Kombinovaná standardní nejistota výsledku měření je geometrickým součtem nejistoty typu A a nejistoty typu B.

$$u_c(y) = \sqrt{u_a^2 + u_{b1}^2 + u_{b2}^2 + \dots + u_{bn}^2} \quad (10)$$

u_c ...kombinovaná standardní nejistota

u_a ... nejistota typu A

u_b ...nejistota typu B

1.9 Rozšířená kombinovaná nejistota

Standardní kombinovaná nejistota $u_c(y)$ se určí s pravděpodobností $P = 68\%$, tj. tato hodnota náleží koeficientu rozšíření $k = 1$. Pokud je požadována jiná pravděpodobnost rozdělení, přepočteme standardní kombinovanou nejistotu příslušným koeficientem.

$$U = k \cdot u_c(y) \quad (11)$$

U ...celková nejistota měřené veličiny y pro příslušnou úroveň spolehlivosti

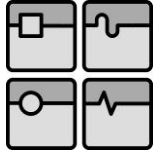
k ...koeficient rozšíření

$u_c(y)$...standardní kombinovaná nejistota měřené veličiny y

Obvykle se koeficient rozšíření nabývá hodnot $k = 2-3$. Koeficient $k = 2$ zahrnuje přibližně 95% hodnot uvažované distribuce.

1.10 Vyjadřování výsledků

Při vyjadřování výsledku je potřeba respektovat následující zásady:

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 32
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- Nejistota stanovena výpočtem nebo odhadem je nedílnou součástí zpracování výsledku a hodnota nejistoty je neoddělitelnou součástí výsledku měření.
- Přesná identifikace každého údaje udávající nejistotu tzn. je nutností, aby rozpoznatelnost každého údaje (u_a , u_b , U).
- Musí být uveden koeficient rozšíření při každé údaji o celkové (rozšířené) nejistotě.
- Možnost použití relativní nebo absolutní nejistoty

1.10.1 Správné zápisy výsledku měření

Máme několik možností správného zápisu výsledku měření

- $L = 1,17 \pm 0,17 \text{ mm}$ ($P = 95\%$)
- $L = 1,17 \pm 650 \text{ } \mu\text{m}$ ($P = 95\%$)
- $L = 1,17 \text{ mm}$ ($1 \pm 0,277$) ($P = 95\%$)
- $L = (1,17 \pm 0,17) \text{ mm}$ ($P = 95\%$)
- $L = 1,17 \text{ mm} \pm 28\%$ ($P = 95\%$)

Všechny zápisy poskytují informaci o parametru polohy. Možnost b) se vyskytuje převážně v zahraničních zdrojích. Možnost c) vyjadřuje neobvyklý, ale možný zápis a je určitým přechodem k relativní formě zápisu. Možnost e) je případ relativního vyjádření variability (podklad pro tyto formy zápisu byla literatura uvedena v seznamu literatury).

2 REGULACE TEPLOTY

Se zvyšujícími náklady se stávají věci ohledně energetiky stále aktuálnějším tématem. Tyto rostoucími náklady, které jsou vynaložené za teplo, nás nutí přemýšlet o vhodné regulaci. V dnešním technicky zaměřeném světě se vyskytují převážně budovy, které obsahují otopnou soustavu, které se navrhují na základě výpočtu tepelného výkonu. Tento princip, kterým se vypočítává tepelný výkon, se zakládá na přednostním využití oblastní výpočtové venkovní teploty, která je tabulkovou hodnotou. Skutečnost je ale taková, že tyto teploty (tabulková a skutečná) se značně liší, a proto v mnoha případech dochází velmi často k předimenzování otopné soustavy. Takto předimenzovaný systém znamená pro uživatele vyšší náklady na vytápění, protože teplo nebývá v těchto případech správně využito a dochází ke ztrátám. Existuje hned několik možností jak ztráty snížit. Jednou z nich je vytvořit vhodnou regulaci vytápění. Otázkou zůstává jakým způsobem zvolit odpovídající regulaci.

Základní požadavky jsou téměř vždy stejné:

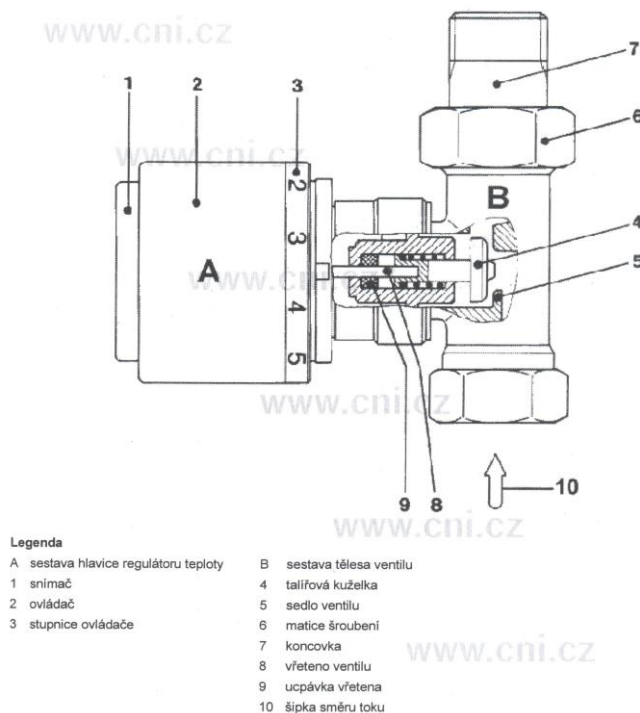
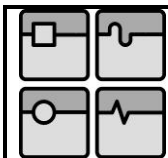
- minimální náklady
- spolehlivost
- technicky jednoduché ovládaní

Mnohdy se stane, že je regulace zvolena nesprávně, ba co více mnohdy značně nelogicky. Jednou z možností splňující výše vypsané požadavky je regulace vytápění pomocí termostatických ventilů a hlavice.

2.1 Termostatické ventily a termostatické hlavice

Většina domácností v dnešní době používá teplovodního ústředního vytápění (dále otopná tělesa). Jak již bylo zmíněno v předchozím textu, růst energie nás nutí obětovat nové možnosti regulace, což přispívá ke snižování cen za energii. Efektivním krokem ke snížení nákladu je používání termostatických hlavice a ventilu. Téměř každá otopná soustava využívá ke zprostředkování vyvinutého tepla otopné tělesa, jejichž hlavní účel je vhodný přenos do vytápěných prostor.

Potom velmi často nastává situace, kdy se prostor stává přetopeným, což uživatel nejčastěji řeší větráním (např. otevřením okna). Teplo je zbytečně vypouštěno do venkovního prostoru, což je značně neekonomické a neekologické. V tomto případě je velmi vhodné použít k zamezení této situace termostatických ventilu a hlavice. Schéma termostatických ventilů a hlavice vidíme na obrázku 3.



Legenda	
A	sestava hlavice regulátoru teploty
B	sestava tělesa ventilu
1	snímač
2	ovládač
3	stupnice ovládače
4	talířová kuželka
5	sedlo ventilu
6	matice šroubení
7	koncovka
8	vřeteno ventilu
9	ucpávka vřetena
10	šipka směru toku

Obrázek 1 – Schematický náčrt sestavy ventilu s regulátorem teploty s vestavěným snímačem

Obrázek 3 - termostatický ventil s termostatickou hlavici

Zdroj: ČSN EN 215. Ventily pro otopná tělesa s regulátorem teploty-Požadavky a zkušební metody. Praha : Český normalizační institut, 2004. 34 s.

2.1.1 Termostatické ventily

Termostatický ventil (dále ventil) se skládá z těla ventilu a vložky ventilu. Vložka ventilu je vložena (prakticky zašroubovaná) do těla ventilu. Rozlišení jednotlivých vložek ventilů je v provedení kuželky. Ta může mít různý tvar, což ovlivňuje objemový průtok protékajícího média. Množství protékajícího otopného média určuje zdvih kuželky ventilu, který je řízen pomocí termostatické hlavice (princip termostatické hlavice v dalším textu). Nastavení vložky ventilu je dán průtokovým součinitelem k_v , který určuje objemový průtok (m^3/h) vody při tlakové ztrátě 1 bar na ventil. Dnešní termostatické ventily jsou vyráběny ve dvou provedeních.

- S pevně nastavenou hodnotou
- S nastavitelnou hodnotou



Obrázek 4 – Termostatický ventil

Zdroj: RYBKA, Pavel. *Vytapeni.tzb-info.cz* [online]. 21.9.2009 [cit. 2011-05-25]. Využití termostatických ventilů a termostatických hlavice pro regulaci vytápění. Dostupné z WWW: <<http://vytapeni.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/5917-vyuziti-termostatickych-ventilu-a-termostatickych-hlavice-pro-regulaci-vytapeni>>.

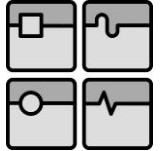
Hodnota k_v se určuje z průtokového diagramu termostatického ventilu (v obou jmenovaných případech). Průtokový diagram vykresluje závislost tlakové ztráty na průtoku otopného media. Určení správné hodnoty k_v ventilu je úkolem projektanta, když se navrhuje otopná soustava. Ventily jsou vybírány v závislosti na navržené hodnotě. Součástí průtokového diagramu je tabulka, která uvádí, jaká hodnota odpovídá nastavení jakému nastavení vložky ventilu. Termostatické ventily jsou pro upotřebení v domácnostech nejčastěji vyráběny v rozměrech 3/8", 1/2", 3/4". Současné nabízené ventily se vyrábějí pro použití otopného media do 130 °C. Na přiloženém obrázku vidíme řez termostatického ventilu.



Obrázek 5- Termostatický ventil

Zdroj: RYBKA, Pavel. *Vytapeni.tzb-info.cz* [online]. 21.9.2009 [cit. 2011-05-25]. Využití termostatických ventilů a termostatických hlavice pro regulaci vytápění. Dostupné z WWW: <<http://vytapeni.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/5917-vyuziti-termostatickych-ventilu-a-termostatickych-hlavice-pro-regulaci-vytapeni>>.

V nejjednodušší rovině se dá říci, že uživatel řídí hodnotu pomocí zdvihu kuželky. K tomuto účelu můžeme používat ruční hlavici, která se aplikuje na ventil, kde se změnou polohy postupně reguluje průtok (pevný trn ruční hlavice tlačí na vřeteno kuželky ventilu). Avšak nejrozšířenějším způsobem regulace pomocí průtoku media je použití termostatické hlavice.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 36
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

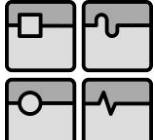
2.1.1.1 Vložka ventilu

V obou uvedených příkladech je hodnota k_v určována z průtokového diagramu termostatického ventilu. Tento průtokový diagram slouží k určování závislosti tlakové ztráty k průtoku otopného media. Navrhnout správnou hodnotu k_v je úlohou projektanta. Dodavatel potom vybírá vhodný termostatický ventil podle navržené hodnoty. Pokud dodavatel vybere termostatické ventily s pevnou hodnotou k_v , je úkolem montážního dělníka správně nastavit určenou hodnotu. Hodnota k_v je dána odpovídajícím číslem, které je uvedeno na vložce termostatického ventilu. V druhém případě, kdy je použit termostatický ventil s nastavitelnou hodnotou, montážní dělník nenastavuje přímou hodnotu průtokového součinitele k_v ale číslo, které je uvedeno v projektu. Součástí průtokového diagramu je z pravidla tabulka, která udává, jaká hodnota k_v souhlasí jakému nastavení vložky ventilu. Nastavení ventilu by vždy měla provádět profesionální firma, protože při nesprávné manipulaci může dojít ke změně hydrauliky otopné soustavy a tím je ohrožena správná činnost vytápění.

2.1.1.2 Termostatické hlavice

Účel termostatické hlavice (dále TH) je regulace teploty vzduchu v prostoru. Aby tato termostatická hlavice splnila svůj účel, musí být správně nasazena na termostatický ventil. Princip TH je založen na tepelné dilataci kapalin, plynů nebo pevné látky. Na základě změny okolní teploty v TH dochází k roztahování teplotně citlivé látky. Tuto tepelně roztažnou látku obsahuje řídicí snímač, který bývá obsažen v TH. Za předpokladu, že je TH nainstalována na termostatickém ventilu, roztahování a stahování tepelně má účinek na vřeteno kuželky termostatického ventilu, čímž dochází k uzavírání nebo otevírání průtoku média obsaženého v otopné soustavě. Individuální regulace je zajištěna tím, že každý termostatický ventil obsahuje jednu termostatickou hlavici. TH obsahuje stupnici (většinou hodnoty 1-5), jejíž hodnoty souhlasí s teplotou vzduchu v pracovním prostoru. Regulace si řídí sám uživatel manipulací TH nastavením na určitou teplotu (číslo na stupnici TH). Následná regulace teploty ve vytápěných prostorách je pak prováděna automaticky na principu popsaném výše.

Výhodou TH je její automatická reakce na venkovní teploty, ale i na teplo vyprodukované v bytě jako vedlejší činnost spotřebičů nebo žárovek, rovněž reaguje na teplo vyvolané slunečním svitem, které se do pokoje dostává skrze okna. Ne vždy musí být teplotní snímač součástí teplotní hlavice, některé termostatické hlavice se nabízejí v provedení s oddělením teplotním spínačem. Teplotní senzor je pak propojen s termostatickou hlavici prostřednictvím kapiláry. Toto řešení se volí v případě, že není dostatečné proudění okolního vzduchu kolem termostatické hlavice, potom se může teplotní senzor instalovat do prostoru s dostatečným prouděním vzduchu. Dalším typem termostatických hlavice jsou hlavice s dálkovým ovládáním. Stupnice

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 37
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

s otočnou částí je umístěna mimo termostatický ventil. Princip je podobným již zmíněným variantám.



Obrázek 6 - Termostatická hlavice v celochromovém provedení

Zdroj: RYBKA, Pavel. *Vytapeni.tzb-info.cz* [online]. 21.9.2009 [cit. 2011-05-25]. Využití termostatických ventilů a termostatických hlavice pro regulaci vytápění. Dostupné z WWW: <<http://vytapeni.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/5917-vyuziti-termostatickych-ventilu-a-termostatickych-hlavice-pro-regulaci-vytapeni>>.

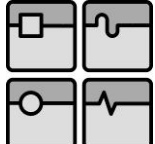
V dnešní době se termostatické hlavice stávají čím dál více také bytovým doplňkem. Tyto hlavice jsou dodávány v různých barevných provedeních, ale i různých materiálových provedeních. Například termostatická hlavice určena do koupelny je v materiálovém provedení k tomu určeném (celochromová). Další typ hlavice je určen pro veřejné prostory. Charakteristika těchto hlavice je ve větší odolnosti díky použitým speciálním materiálům. Podle statistických údajů při vhodně zvolené kombinaci všech prvků může být výsledná úspora až 15 %, což při dnešních cenách energií je již značná částka.

Dalšími typy termostatických hlavice jsou hlavice určené pro veřejné prostory. Tyto hlavice se vyznačují především vysokou odolností z hlediska funkčnosti a mechanického opotřebení.



Obrázek 7 - Termostatická hlavice

Zdroj: RYBKA, Pavel. *Vytapeni.tzb-info.cz* [online]. 21.9.2009 [cit. 2011-05-25]. Využití termostatických ventilů a termostatických hlavice pro regulaci vytápění. Dostupné z WWW: <<http://vytapeni.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/5917-vyuziti-termostatickych-ventilu-a-termostatickych-hlavice-pro-regulaci-vytapeni>>.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 38
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

2.1.2 Výhody a nevýhody

Některá starší otopná tělesa používají pouze regulační kohouty. Tyto kohouty však pouze škrtí průtok otopného média. Neumí automaticky regulovat vytápění v daném prostoru. Zde může nastat případ, kdy při přetopení teplo proudí dále do prostoru. Jediná možnost regulace je uzavírání (otevírání) kohoutu a to pouze pokud je fyzicky nějaká osoba v místnosti. Tento způsob je ne hospodárný a neefektivní. Tento způsob (ne)regulace je již zastaralý.

Regulace pomocí termostatického ventilu a hlavici nám umožňuje plynulou regulaci a to i za nepřítomnosti uživatele. Vzhledem k tomu, že každý termostatický ventil obsahuje jednu hlavici, je princip regulace prostorově individuální. Na většině termostatických hlavici se nachází stupnice (nejčastěji 1-5), která nám usnadňuje regulaci. Kde číslu 1 odpovídá teplota nastavení 14°C a číslu 5 teplota 28°C (každý výrobce může mít teplotu individuální). Můžeme se setkat i s nastavením 0, to znamená úplné uzavření přívodu otopného media. Na některých termostatických hlavících se také objevuje symbol *, což charakterizuje nastavení protinámrazové teploty (teplota okolo 5 °C). Mezi další výhody uváděné výrobcem patří výměna vložky ventilu bez nutnosti vypuštění otopné soustavy. Tento princip regulace je v porovnání s ostatními systémy levnější, jednodušší na ovládání a údržbu.

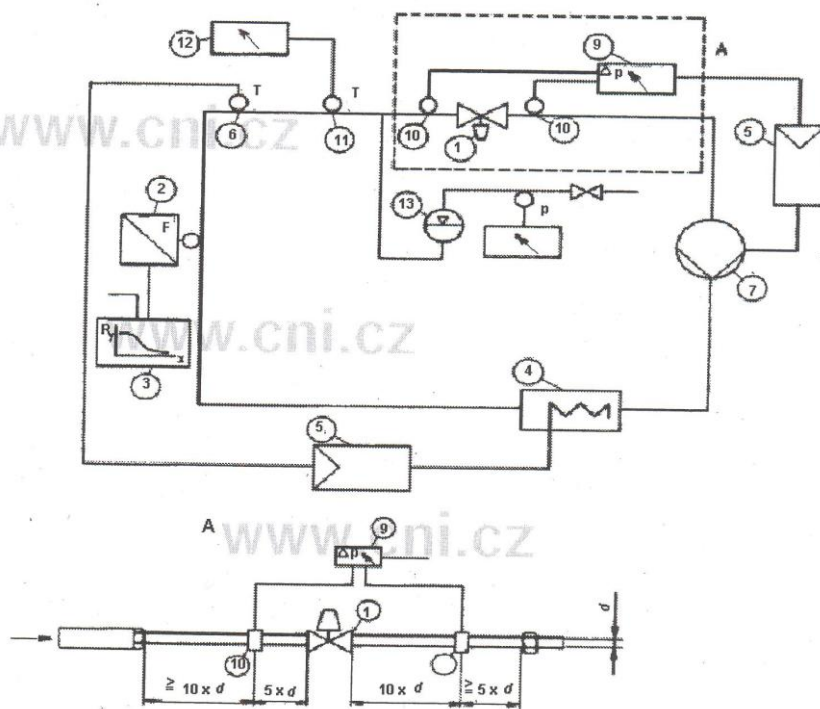
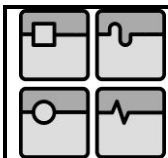
3 STANOVENÍ NEJISTOTY MĚŘENÍ MĚŘÍCIHO ZAŘÍZENÍ

Praktická část této diplomové práce je zaměřena na stanovení nejistot měření měřícího zařízení pro měření průtokových charakteristik ventilů a termostatických hlav. Tato část navazuje na předchozí části, v kterých se snažím teoretické poznatky převést do aplikovatelné podoby. Pro stanovení výsledné nejistoty měření se přidrží práce návodu, který je publikován v kapitole 2.7 Postup pro odhad nejistoty.

Toto měřící zařízení, které je sestavené podle normy ČSN EN 215, se nachází ve společnosti Honeywell v Brně-Slatině. Norma ČSN EN 215 je v této problematice hlavním literárním pramenem, především pro analýzu měřícího zařízení a prováděné postupy.

3.1 Specifikace měřené veličiny a postup měření

Pro dosažení průtokových charakteristik ventilů se sestaví měřící zařízení pro měření průtokových charakteristik ventilů a termostatických hlav (dále jen zařízení) s měřícím okruhem, který obsahuje prvky znázorněné na obrázku 8. Toto zařízení je sestrojeno podle normy ČSN EN 215, kde je podrobně popsáno v bodě 6.1.1 Zařízení pro zjišťování průtokových charakteristik spolu s grafickým znázorněním.

**Obrázek 8 - Termostatická hlavice**

Zdroj: ČSN EN 215. Ventily pro otopná tělesa s regulátorem teploty-Požadavky a zkušební metody. Praha : Český normalizační institut, 2004. 34 s.

Legenda

1 zkušební vzorek, 2 průtokoměr F, 3 souřadnicový zapisovač R(x teplota, y průtok), 4 ohříváč, 5 regulátor teploty, 6 snímač teploty, 7 oběhové čerpadlo, 8 regulátor tlakového rozdílu, 9 diferenční tlakoměr, 10 měřící místo tlakového rozdílu, 11 snímač teploty, 12 teploměr.

Zařízení sestaveno podle nákresu, které obsahuje všechny členy. Toto zařízení slouží k provádění zkoušek různého charakteru. Výstupem ze zařízení je graf (x=teplota, y = průtok), ze kterého se posuzují charakteristiky potřebné k vyhodnocení zkoušek průtokových charakteristik a zkoušek dlouhodobé provozní způsobilosti.

3.1.1 Rozbor normy ČSN EN 215

Základní normou problematiky spojené s termostatickými ventily je norma ČSN EN 215 Ventily pro otopná tělesa s regulátorem teploty - Požadavky a zkušební metody, která byla vydána jako změna normy ČSN EN 215 v září roku 2006. Norma

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 41
 	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

nahrazuje ČSN EN 215-1 z července 1994 a ČSN 13 7361 z května 1995. Tato norma je českou verzí normy EN 215:2004 a má status české národní normy. V současné době je norma platná bez jakýchkoliv omezení.

Tato evropská norma určuje termíny a definice, požadavky a zkušební metody na ventily pro otopná tělesa s regulátorem teploty. Vztahuje se na dvoucestné ventily s regulátorem teploty buď s předvolbou, anebo bez ní, která jsou dále určena na namontování na otopná tělesa. Slouží jako část teplovodních soustav s maximální teplotou vody do 120 °C a jmenovitého tlaku PN 10. Norma obsahuje i stanovené rozměry, materiály a údaje o připojení čtyř sérií přímých a rohových ventilů s regulátorem teploty o jmenovitém tlaku $\leq$ PN 10.

3.1.2 Termíny a definice z normy ČSN EN 215

Pro účely stanovení nejistoty měřicího zařízení je důležité si vysvětlit několik pojmů související s problematikou.

Dle normy ČSN EN 215 (seznamu použitých zdrojů 3) je uveden :

Charakteristický průtok (characteristic flow rate)

$q_{m\ s}$ [kg/h]

Průtok vody, který je dosažen při teplotě bodu S-2K, při tlakovém rozdílu 10 kPa (0,1 baru) a při požadovaném nastavení.

Jmenovitý průtok (nominal flow rate)

$q_{m\ N}$ [kg/h]

Charakteristický průtok v mezipoloze ovladače v souladu s 6.2.1.2; u ventilů s regulátorem teploty a s předvolbou se za jmenovitý průtok považuje průtok, který je dosažen tehdy, je-li předvolba vyražena z činnosti.

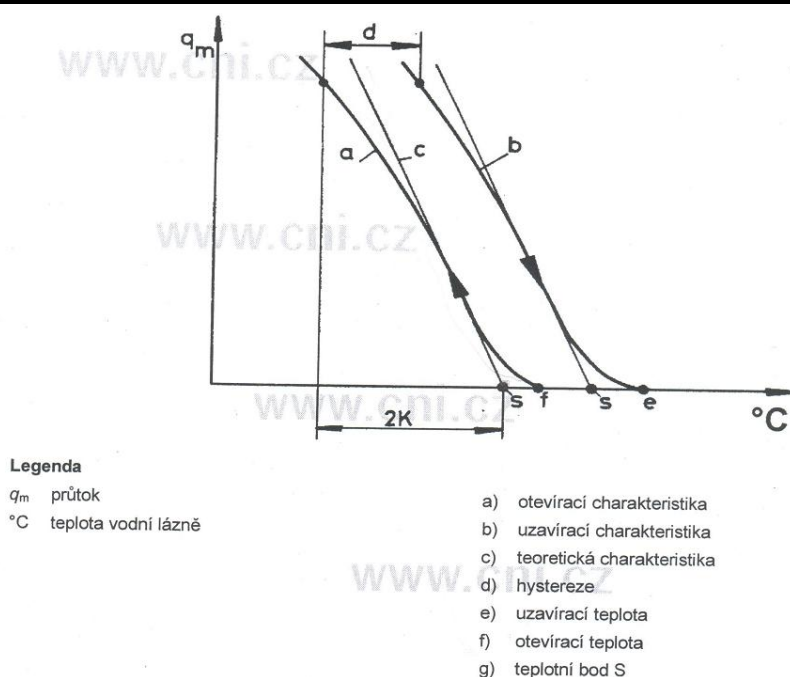
Maximální průtok (maximal flow rate)

$q_{m\ max}$ [kg/h]

Maximální průtok vody, kterého lze dosáhnout při tlakovém rozdílu 10 kPa (0,1 bar).

Hystereze (hysteresis)

Teplotní rozdíl mezi dosaženými otevíracími a uzavíracími charakteristikami při stejném průtoku (viz obrázek x).



Obrázek 9 – zaznamenávání teoretické charakteristiky

Zdroj: ČSN EN 215. *Ventily pro otopná tělesa s regulátorem teploty-Požadavky a zkušební metody*. Praha: Český normalizační institut, 2004. 34 s.

Vliv tlakového rozdílu (differential pressure influence)

Rozdíl mezi teplotními body S na teoretických uzavíracích charakteristikách dosažených při různých tlakových rozdílech

Vliv statistického tlaku (influence of static pressure)

Teplotní rozdíl mezi dvěma uzavíracími charakteristikami zaznamenanými do grafu při různých statistických tlacích a při stejném průtoku

Vliv teploty vody (water temperature effect)

Rozdíl teplot snímače odpovídající odchylce průtoku způsobené změnou teploty vody protékající ventilem

Vliv teploty okolí u ventilů s regulátorem teploty s přednášecím dílcem (influence of ambient temperature on thermostatic valves with transmission elements)

Teplotní rozdíl dosažený při stejném průtoku mezi dvěma otevíracími charakteristikami, přičemž jedna je zaznamenána s teplotním rozdílem mezi snímačem a

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 43
 	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

převáděcím členem a druhá bez teplotního rozdílu (ventily v souladu s 3.2.2 až 3.2.4).

Uzavírací doba (response time)

Časový interval potřebný pro změnu průtoku po skokové změně teploty vzduchu; tato změna průtoku odpovídá předem stanovenému rozdílu teplot v souladu s 6.4.1.13.

Teplota snímače (sensor temperature)

Ověřená teplota snímače; při zkoušce je stejná jako teplota vodní lázně.

Tlakový rozdíl (difference pressure)

Δp [Pa]

Rozdíl tlaku mezi vstupní a výstupní částí ventilu

Uzavírací charakteristika a otevírací charakteristika (closing curve and mening curve)

Grafické znázornění závislosti průtoku vody na teplotě snímače v průběhu uzavírání a otevírání ventilu při stálém tlakovém rozdílu a při stejném nastavení snímače (viz obr 5)

Uzavírací a otevírací teplota (closing temperature and mening temperature)

Teplota snímače odečtena z uzavírací nebo otevírací charakteristiky při nulovém průtoku (viz obr. 5)

Teoretická charakteristika (teoretici curve)

Přímka, která prochází body $0,5 q_{ms}$ a $0,25 q_{ms}$ na charakteristice sestrojené v souladu s 6.2.2 (viz obrázek 5).

Teplotní bod S (temperature point S)

Průsečík teoretické charakteristiky s osou $x q_m = 0$ v souladu s 6.2.2 (viz obr 5).

3.1.3 Značky a zkratky

Značka	Popis	Jednotka
Q_m	průtok	kg/h
$Q_{m\ N}$	jmenovitý průtok	kg/h
$Q_{m\ s}$	charakteristický průtok	kg/h
$Q_{m\ max}$	maximální průtok	kg/h
$Q_{m\ s\ max}$	q při nastavení ovladače na maximální hodnotu	kg/h
$Q_{m\ s\ min}$	q při nastavení ovladače na minimální hodnotu	kg/h
$Q_{m\ x1}$ $Q_{m\ x2}$	průtoky jako pomocné veličiny pro měření uzavírací doby	kg/h
t_s	teplota snímače, která odpovídá charakteristickému průtoku	°C
$t_{s\ max}$	t při nastavení ovladače na maximální teplotu	°C
$t_{s\ min}$	t s při nastavení ovladače na maximální teplotu	°C
S	teplotní bod	°C
Δp	tlakový rozdíl	Pa
K	teplotní rozdíl	Kelvin

3.1.4 Rozbor požadavků na termostatické ventily a termostatické hlavice

Dle normy ČSN EN 215 (dále jen normy) musí všechny ventily a termostatické hlavice splňovat požadavky touto normou určené. Požadavky můžeme rozčlenit do tří kategorií (viz tabulka) :

- Mechanické vlastnosti
- Provozní vlastnosti
- Dlouhodobá provozní způsobilost a odolnost proti působení teploty

3.1.4.1 Mechanické požadavky

Norma nařizuje, které mechanické zkoušky a za jakých podmínek musí být prováděny na termostatickém ventilu. Tyto nařízení se nachází v kapitole 6.3, zkoušky mechanických vlastností jsou seřazeny dle informací vzatých z normy. V sloupci nazvaném označení je označení podle normy. Sloupec označený jako nejistota zna-

čí, zda zařízení pro měření průtokových charakteristik ventilů a termostatických hlavice má vliv na výsledek zkoušky.

Dle normy v kapitole 6.3 Zkoušky mechanických vlastností nalezneme podrobný popis zkoušek včetně zařízení, na kterém se mají provádět. Žádná z těchto zkoušek k provedení nepoužívá měřicí zařízení pro měření průtokových charakteristik ventilů a termostatických hlavice, a proto nemá nejistota tohoto zařízení vliv na výsledek žádné zkoušky, kterými se zkoušejí mechanické zkoušky.

Označení	Vlastnost	Cíl zkoušky	Nejistota
5.2.1	Odolnost vůči přetlaku, těsnost sestavy tělesa ventilu	V průběhu zkoušky v souladu s 6.3.1 nesmí nastat únik ve spojích ani ve stěnách tělesa.	Ne
5.2.2	Těsnost ucpávky vřetena	V průběhu zkoušky v souladu s 6.3.3 nesmí ucpávkou unikat vzduch.	Ne
5.2.3	Odolnost sestavy tělesa ventilu vůči ohybovému momentu	Ventil musí odolat zatížení podle 6.3.4 bez zhoršení trvalých provozních vlastností a musí vyhovovat požadavkům při následných zkouškách. Trvalá deformace se neposuzuje.	Ne
5.2.4	Odolnost ovladače vůči namáhání v krutu	Po zkoušce podle 6.3.6. nesmějí být viditelná žádná poškození ani trvalá deformace.	Ne
5.2.5	Odolnost ovladače vůči namáhání ohybovým momentem	Po zkoušce podle 6.3.6. nesmějí být viditelná žádná poškození ani trvalá deformace.	Ne
5.2.6	Vyměnitelnost těsnění ucpávky vřetena	Těsnění ucpávky vřetena musí být vyměnitelné při připojení ventilu bez nutnosti vypuštění vody z otopné soustavy.	Ne

Vzhledem k povaze zkoušek se dále těmito mechanickými zkouškami nebudu zabývat, protože nevyžadují ke svému provedení zařízení na měření průtokových charakteristik.

3.1.4.2 Provozní vlastnosti

Dle normy ke stanovení průtokových charakteristik použijeme hodnoty veličin zjištěné v normě podle bodu 6. 2. Charakteristiky ventilu s regulátorem teploty. Tuto část uvádím v kapitole 3.1.5 této práce. Zkoušky provozních vlastností jsem rozdělil do dvou skupin a to podle zkušebního zařízení, které jsou určeny pro jejich stanovení.

- **Zkoušky provedené za pomoci zařízení pro zjišťování průtokových charakteristik a zařízení pro zkoušení ventilu s regulátorem teploty ve vodní lázni**

První skupina pro provedení zkoušky používá zařízení prezentované v normě v kapitole 6.1.1. Zařízení pro zjištění průtokových charakteristik (v této práci v kapitole 3.1) a zařízení prezentované v normě 6.1.2 Zařízení pro zkoušení ventilu s regulátorem teploty ve vodní lázni.

Označení	Vlastnosti	Požadavky	Použité charakteristiky
6.4.1.1	Jmenovitý průtok a průtok při S-1 K	Zaznamenaná se bod S v souladu s metodou popsanou v 6.2.2. Průtoky při S-2 K a S-1 K se zjistí na charakteristice č. 3 (obrázek 9). Průtok při S-2 K odpovídá jmenovitému průtoku.	Číslo 3
6.4.1.2	Charakteristický průtok u ventilů s regulátorem teploty s předvolbou	U ventilů s regulátorem teploty s předvolbou se při každém daném nastavení předvolby zaznamenaná charakteristika č. 3 (obrázek 9). Jestliže existují více než tři daná nastavení předvolby, provádí se zkouška pouze pro maximální a minimální nastavení a při jednom nastavení Zvoleném zkušebnou. Zjistí se průtok při S-2 K. Tento průtok odpovídá charakteristickému průtoku.	Číslo 3

6.4.1.3	Maximální průtok	Měří se průtok v mezipoloze ovladače, přičemž snímač se vystaví poloze (2 x1) °C a tlakovému rozdílu 10 kPa (0,1 bar) s tolerancí x 2%. Poté se porovná maximální dosažený průtok na charakteristice č. 3 (obrázek 9) s průtokem změněným podle odstavce 1. Větší z těchto dvou je maximální průtok.	Číslo 3
6.4.1.4	Charakteristický průtok při maximálním a minimálním nastavení ovladače	Použije se metoda popsaná v 6.2.2. Průtok při S-2K ($q_{m\ s\ min}$ a $q_{m\ s\ max}$) se získá z charakteristik 1 a 2 (viz obrázek 9).	Číslo 1; Číslo 2
6.4.1.5	Teplota snímače při nastavení ovladače na minimální a maximální teplotu	Teploty snímače ve vztahu k průtokům a se získají z charakteristik 1 a 2 (viz obrázek 9).	Číslo 1; Číslo 2
6.4.1.6	Změna průtoku ochranným víčkem	Hlavice regulátoru teploty se nahradí ochranným víčkem. Nastaví se průtok mezi 0,9 násobkem a 1,2 násobkem jmenovitého průtoku při tlakovém rozdílu 10 kPa (0,1 bar). Průtok se nastavuje vždy ve směru uzavírání. Příslušná poloha se označí. Poté se podle údajů výrobce nastaví poloha odpovídající snížení teploty o 1K a změří se výsledný průtok. Z charakteristiky č. 4 (viz obrázek 9) se zjistí teploty snímače při obou průtocích. Stanoví se teplotní rozdíl v K.	Číslo 4
6.4.1.7	Hystereze při jmenovitém průtoku	Hystereze je teplotní odchylka v K při jmenovitém průtoku mezi otevírací charakteristikou a uzavírací charakteristikou (č. 3 a 4 na obrázku 9), které byly zaznamenány bezprostředně jedna po druhé.	Číslo 3; Číslo 4
6.4.1.8	Vliv tlakového rozdílu	Je vyjádřen jako vzdálenost mezi teplotními body S v K na teoretických uzavíracích charakteristikách č. 4 a 6 na obrázku 9.	číslo 4; Číslo 6

6.4.1.9	Vliv statického tlaku	Vliv statistického tlaku je vyjádřen jako rozdíl teplot v K při jmenovitém průtoku mezi uzavíracími charakteristikami č. 4 a 7 na obrázku 9.	Číslo 4; Číslo 7
6.4.1.10	Rozdíl teplot mezi teplotním bodem S a otevírací teplotou nebo uzavírací teplotou	Zaznamená se rozdíl v K mezi příslušnými teplotními body S a teplotou pro uzavření ventilu a pro otevření ventilu (f) z příslušných charakteristik, jak je znázorněno na obrázku 5.	
6.4.1.11	Vliv teploty okolí na ventily s regulátorem teploty s přednášecími částmi	Vliv teploty okolního prostředí je vyjádřen jako rozdíl teplot v K při jmenovitém průtoku mezi otevíracími charakteristikami č.3 a 5 na obrázku 9.	číslo 3; číslo 5

- Zkouška používá zařízení prezentované v normě v kapitole 6.1.1. Zařízení pro zjištění průtokových charakteristik (v této práci v kapitole 3.1) a zařízení prezentované v normě 6.1.3 Zařízení pro zkoušení ventilu s regulátorem teploty v proudě vzduchu.

Vliv teploty vody

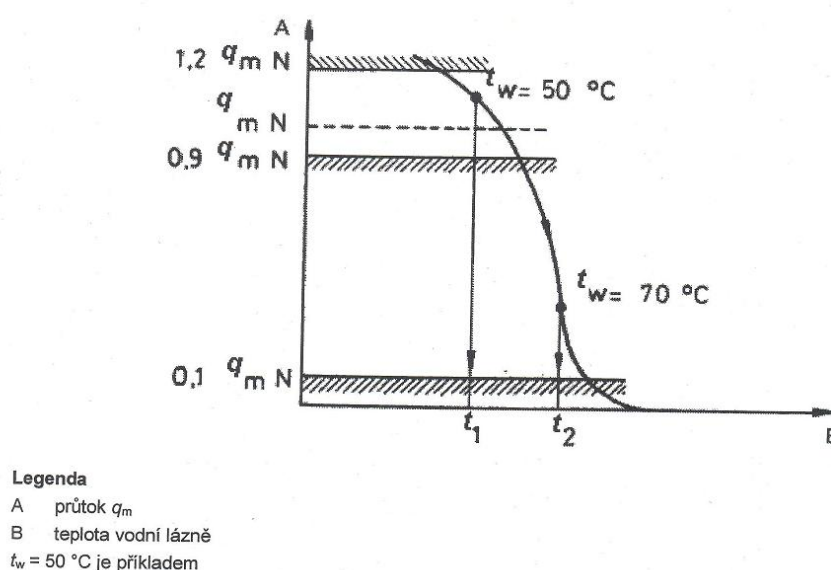
„Teplota vzduchu se sníží nejméně o 6 K pod uzavírací teplotu. Poté se zvyšuje teplota vzduchu tak dlouho, až průtok vody ventilem dosáhne 0,9 násobku až 1,2 násobku jmenovitého průtoku v ustáleném stavu. Poté se změří průtok vody a zaznamená se na uzavírací charakteristice č. 4. Teplota vody se zvýší nejméně na 70 °C a vyčká se do dosažení ustáleného stavu. Během této doby nesmí teplota vzduchu klesnout, avšak smí se zvýšit nejvíce o 0,2 K. Měří se průtok vody a zaznamená se také uzavírací charakteristice č. 4 (viz obrázek 16). Musí se zjistit změna nejméně o 0,1 násobek jmenovitého průtoku, jinak se musí měření opakovat při mírně zvýšené teplotě vody. Z rozdílů teplot mezi body $t_2 - t_1$, které lze získat z uzavírací charakteristiky, a ze zvýšení teploty vzduchu se zjistí vliv teploty vody podle následujícího vzorce: Vliv teploty vody v K“:

$$30K \cdot \frac{t_2 - t_1 - \Delta t_L}{\Delta t_w}$$

kde

t_1 je teplota odečtena na uzavírací charakteristice při nižší teplotě vody;
 t_2 je teplota odečtena na uzavírací charakteristice při vyšší teplotě vody;
 Δt_i je zvýšení teploty vzduchu;

Δt_w je zvýšení teploty vody;



Obrázek 10 - Zaznamenání vlivu teploty vody na uzavírací charakteristiku č.4

Zdroj: ČSN EN 215. Ventily pro otopná tělesa s regulátorem teploty-Požadavky a zkušební metody. Praha : Český normalizační institut, 2004. 34 s.

Uzavírací doba

Vychází se teploty o 6 K nižší, než je uzavírací teplota. Poté se teplota vzduchu zvyšuje až do dosažení průtoku $q_{m \times 1}$ (obrázek 17). Tato hodnota má být mezi 0,9 násobkem a 1,2 násobkem jmenovitého průtoku. Vyčká se do dosažení ustáleného stavu.

Bod $q_{m \times 1}$ se dosadí do uzavírací charakteristiky č. 4 (obrázek 9) a k teplotě, která odpovídá tomuto bodu, se připočte 1,5 K. Odečten odpovídající nový průtok $q_{m \times 2}$ na uzavírací charakteristice č. 4 (obrázek 9). Poté se skokově zvýší teplota vzduchu o K a změří se doba, za kterou se dosáhne průtoku $q_{m \times 2}$ (viz obrázek 17).

3.1.4.3 Zkoušky dlouhodobé provozní způsobilosti a zkouška proti působení teploty

Poslední skupinou zkoušek, jež musí termostatické ventily a hlavice vyhovovat, jsou zkoušky dlouhodobé provozní způsobilosti a zkouška působení teploty. Na tyto zkoušky má vliv zkoumané měřicí zařízení ve formě použití charakteristik z výstupu grafu (teplota/průtok). Jedná se o jedinou charakteristiku číslo 3. Vše je seřazené v přehledné tabulce. V této tabulce se řídí označení zkoušek dle označení podle normy. V posledním sloupci je číslo charakteristiky potřebné k provedení zkoušky. Dále, je popsána v tomto oddíle ještě kapitola 6.5 Časový plán (značení podle normy). Informace a skutečnosti z této kapitoly nesouvisí přímo se zařízením, u kterého stanovuji nejistotu, a proto není tato kapitola brána do úvahy. Popis zkoušek převzán z normy ČSN EN 215 v seznamu použitých zdrojů odkaz 5.

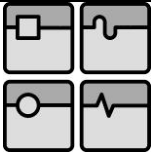
Označení	Název zkoušky	Charakteristika
6.4.2.1	Mechanická zkouška dlouhodobé provozní způsobilosti	Číslo 3
6.4.2.2	Tepelná zkouška dlouhodobé provozní způsobilosti	Číslo 3
6.4.2.3	Zkouška odolnosti proti působení	Číslo 3

- **Mechanická zkouška dlouhodobé provozní způsobilosti**

Před touto zkouškou se zaznamenává charakteristika č.3 (obrázek 9) a vyznačí se nastavení ovladače. Poté se ventil připojí k zařízení, které přivádí vodu při teplotě $(90 \pm 2)^\circ \text{C}$ a statistickém tlaku 100 kPa (1 bar). Tlakový rozdíl při uzavřeném ventilu se nastaví na 60 kPa (0,6 bar) v rozmezí $\pm 2\%$. S ovladačem se provede 5000 cyklů. Doba potřebná pro jedno otočení musí být přibližně 10 s, přičemž se při otáčení nesmí dotknout mechanické zářázky. V každém bodě obratu pohybu ovladače se musí dodržet prodleva 5s. Teplota působící na snímač musí být taková, aby bylo umožněno dokonalé uzavření a otevření ventilu.

Pro mechanické zkoušky dlouhodobé provozní způsobilosti se musí ventil s regulátorem teploty uložit v otevřené poloze nejméně na 24 h při teplotě okolního prostředí.

Po této zkoušce se ovladač opakovaně nastaví do vyznačené polohy a zaznamená se charakteristika č. 3 (obrázek 9). Stanoví se jmenovitý průtok a teplota

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 51
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

snímače při jmenovitém průtoku dosaženém jak před zkouškou, tak po zkoušce dlouhodobé provozní způsobilosti.

- **Tepelná zkouška dlouhodobé provozní způsobilosti**

Před touto zkouškou se zaznamená charakteristika č.3 (obrázek 9). Natavení ovladače se v průběhu celé zkoušky nemění. Poté se ventil připojí k zařízení, které umožňuje střídavé ponoření sestavy hlavice regulátoru teploty 5 000 krát do dvou vodních lázní s teplotami $(15 \pm 1) ^\circ\text{C}$ a $(25 \pm 1) ^\circ\text{C}$. Voda v obou lázních nesmí obsahovat žádné přísady, které nejsou výrobcem výslovně povoleny. Zkouška se provádí bez průtoku vody ventilem. Hlavice regulátoru teploty musí setrvat v každé lázni nejméně 30 s.

Je nutné se ujistit, zda se ventil s regulátorem teploty v průběhu ponoření do vodní lázně s teplotou $25 ^\circ\text{C}$ zcela uzavírá a otevírá alespoň tak, aby byl dosažen jmenovitý průtok při ponoření do vodní lázně s teplotou $15 ^\circ\text{C}$. V opačném případě se doba ponoření prodlouží.

Po tepelné zkoušce dlouhodobé provozní způsobilosti se musí ventil s regulátorem teploty uložit v otevřené poloze nejméně na 24 hodin při teplotě okolního prostředí.

Po této zkoušce se ještě jednou zaznamená charakteristika č. 3 (obrázek 9). Stanoví se jmenovitý průtok a teplota snímače při dosaženém jmenovitém průtoku před zkouškou a po zkoušce dlouhodobé způsobilosti.

- **Zkouška odolnosti proti působení teploty**

Před touto zkouškou se zaznamená charakteristika č. 3 (viz obrázek 9). Vyznačí se nastavení ovladače. Poté se ovladač nastaví do polohy pro expedici a ventil s regulátorem teploty se znovu zabalí buď jako kompletní ventil, nebo odděleně v souladu s výrobcem stanoveným způsobem balení. Zabalený ventil se ponechá v klidném ovzduší při teplotě $-20 ^\circ\text{C}$ po dobu 6 h a poté při teplotě $50 ^\circ\text{C}$ dalších 6 h. Následně se nastaví kompletní ventil s regulátorem teploty a při nastavení ovladače na minimální hodnotu se vystaví teplotě $40 ^\circ\text{C}$ po dobu 6 h.

Po této zkoušce se ventil s regulátorem teploty ponechá v otevřené poloze nejméně 24 h při teplotě okolního prostředí.

Ovladač se znovu nastaví do vyznačené polohy a ještě jednou se zaznamená charakteristika č. 3 (obrázek 9). Stanoví se jmenovitý průtok a teplota snímače při jmenovitém průtoku. Jenž byl dosažen před zkouškou a po zkoušce odolnosti proti působení teploty.

3.1.5 Charakteristiky ventilů s regulátorem teploty

Dle normy je stanoveno 7 charakteristik, pomocí kterých posuzujeme provozní vlastnosti ventilů. Charakteristiky se vynášejí do grafu pomocí zkušebního zařízení popsaném v kapitole 3.1 této práce a zkušebního zařízení popsaného dle normy ČSN EN 215 v kapitole 6.2.1.

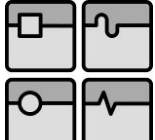
Za předpokladu, že nejsou u metod uvedeny jiné hodnoty, provádí se měření za následujících podmínek:

- Při statickém tlaku na vstupu do ventilu 100 kPa (1 bar) s tolerancí $\pm 10\%$
- Při statickém rozdílu 10 kPa (0,1 bar) s tolerancí $\pm 2\%$
- Teplota vody protékající ventilem s regulátorem teploty se udržuje při $(50 \pm 2)^\circ \text{C}$
- Teplota vodní lázně nesmí kolísat více než 3 K/h

Číslo charakteristiky*	Název charakteristiky
1	Otevírací charakteristika při nastavení ovladače na minimální teplotu
2	Otevírací charakteristika při nastavení ovladače na maximální teplotu
3	Otevírací charakteristika v mezipoloze ovladače
4	Uzavírací charakteristika v mezipoloze ovladače
5	Otevírací charakteristika u ventilů s regulátorem teploty a s přednášecími částmi v mezipoloze ovladače**
6	Uzavírací charakteristika v mezipoloze ovladače a při tlakovém rozdílu větším než 10 kPa (0,1 bar)
7	Uzavírací charakteristika v mezipoloze ovladače a při statickém tlaku 1 000 kPa (10 bar)

* V normě se charakteristiky vedeny pod číselným označením, na který se odkazuje text v normě, toto značení pro lepší harmonizaci s normou uvádím v prvním sloupečku.

** V této charakteristice se norma odkazuje na body 3.2.2 až 3.2.4, což dle normy jsou ventil s regulátorem teploty s vestavěným ovladačem dálkovým snímačem, 3.2.3 ventil s regulátorem teploty s dálkovým snímačem a ovladačem 3.3.4, ventil s regulátorem teploty s dálkovým ovladačem dálkovým snímačem.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 53
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

3.1.5.1 Otevírací charakteristika při nastavení ovladače na minimální teplotu (charakteristika č.1) a při jeho nastavení na maximální teplotu (charakteristika č. 2)

Ovladač se nastaví na minimální teplotu. Vychází se z teploty převyšující nejméně o 2 otevírací teplotu; teplota snímače se sníží až na hodnotu o 3 K pod otevírací teplotu, přičemž se zaznamená otevírací charakteristika. Poté se ovladač nastaví na maximální teplotu a výše uvedený postup se opakuje pro minimální nastavenou hodnotu.

3.1.5.2 Otevírací charakteristika v mezipoloze ovladače (Charakteristika č3)

Nastaví se mezipoloha ovladače, při které je otevírací teplota na otevírací charakteristice v rozmezí od 20°C do 24°C . Vychází se z teploty převyšující nejméně o 2 K otevírací teplotu; Teplota snímače se sníží na hodnotu o 6 K pod otevírací teplotu a zaznamená se uzavírací charakteristika.

3.1.5.3 Uzavírací charakteristika v mezipoloze ovladače (Charakteristika č. 4)

Nastavení ovladače zůstává beze změny, vychází se z teploty nejméně o 4 K pod otevírací teplotou. Teplota snímače se zvýší na 1 K nad uzavírací teplotu a zaznamená se uzavírací charakteristika.

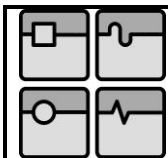
3.1.5.4 Otevírací charakteristika u ventilů s regulátorem teploty a s přenašecími částmi podle 3.2.2 až 3.2.4 v mezipoloze ovladače (charakteristika č.5)

Nastavení ovladače zůstává beze změny, převáděcí člen včetně jeho přenašecí části v délce 1 m se ponoří do vodní lázně. Vodní lázeň musí mít stálou teplotu ($10 \pm 0,1$) K nad teplotou snímače, při níž se dosáhne jmenovitého průtoku. Zbýlá část s přenašecí částí, snímač a dálkový ovladač u ventilů s regulátorem teploty v souladu s 3.2.4 se ponoří do vodní lázně.

Vychází se z teploty převyšující nejméně o 2 K otevírací teplotu; teplota snímače se sníží až o 3 K pod otevírací teplotu a zaznamená se otevírací charakteristika.

3.1.5.5 Uzavírací charakteristika v mezipoloze ovladače při tlakovém rozdílu větším než 10 kPa (0,1 bar) (charakteristika č.6)

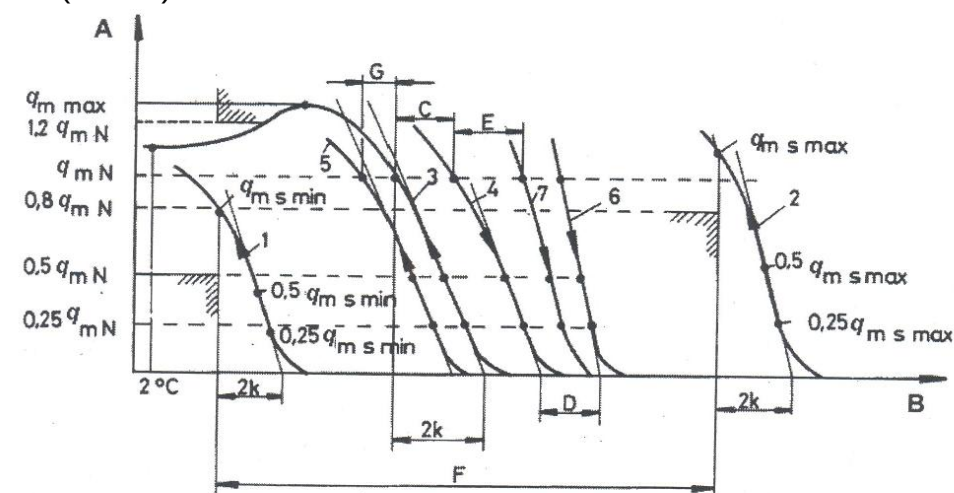
U ventilů s regulátorem teploty s vestavěným snímačem se bezprostředně po měření podle 6.2.1.3 analogicky zaznamená uzavírací charakteristika při tlakovém rozdílu 60 kPa (0,6 bar) s tolerancí ± 2 %. U ventilů s regulátorem teploty s přenašecími částmi v souladu 3.2.2 až 3.2.4 se po měření, které je popsáno



v 6.2.1.4, zaznamenaná charakteristika. Jestliže je maximální přípustný tlakový rozdíl podle údaje výrobce nižší než 60 kPa (0,6 bar), musí být zkouška provedena s tímto tlakovým rozdílem.

3.1.5.6 Uzavírací charakteristika v mezipoloze ovladače a při statistickém tlaku 1 000 kPa (10 bar) (charakteristika č.7)

Stejným způsobem, který je popsán v 6.2.1.3, a bezprostředně po měření popsaném v 6.2.1.5 se zaznamenaná uzavírací charakteristika při statistickém tlaku 1 000 kPa (10 bar) s tolerancí 2%.



Legenda

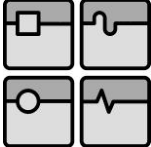
- A průtok, q_m
- B teplota vodní lázně, °C
- C hystereze
- D vliv tlakového rozdílu
- E vliv statického tlaku
- F rozmezí teplot snimače mezi maximální a minimální polohou nastavení ovladače
- G vliv teploty okolního prostředí u ventilů s regulátorem teploty s přenášecími částmi

Obrázek 11- Zaznamenání vlivu teploty vody na uzavírací charakteristiku č.4

Zdroj: ČSN EN 215. Ventily pro otopná tělesa s regulátorem teploty-Požadavky a zkušební metody. Praha : Český normalizační institut, 2004. 34 s.

3.1.6 Závěr specifikace měřené veličiny a postup měření

Ze skutečností popsanych v předchozím textu vyplývá, že výstupem ze zařízení, u něhož mám stanovit nejistotu měření, jsou grafická vyjádření závislosti průtoku na teplotě, jež je prezentováno v normě jako obrázek 9 – charakteristiky ventilů s regulátorem teploty a v této práci jako obrázek 11. Tento graf vykresluje 7 charakteristik popsanych výše, které jsou potřebné k provedení zkoušek provozních vlastností a zkoušek dlouhodobé provozní způsobilosti. Nejistota zařízení bude vztažena jednak k průtoku q_m (kg/h) a k teplotě vodní lázně °C (různé rozmezí popsané v Kelvinech). Vzhledem k tomu, že laboratoř ve společnosti Honeywell je vnitropodniková, je jejím úkolem je vyhodnocovat pouze charakteristiky číslo 3 a číslo 4 spojené s tímto zařízením, tak aby kontrolovali odchylky ve výrobě. Výsledky testu z této

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 55
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

laboratoře jsou pouze vnitropodnikové a nejsou dále nikde publikovány. K provádění zkoušek, ke kterým laboratoř nedisponuje zkušebními zařízeními, využívá univerzitní zkušební laboratoř umístěnou v německém Stuttgartu. Jedná se především o zkoušky, ke kterým je potřebné zařízení 6.1.3 Zařízení pro zkoušky s regulátorem teploty v proudu (značení podle normy).

Laboratoř je klimatizována s konstantní teplotou 22 °C s tolerancí ±1 °C. Zařízení pro zkoušku ventilu s regulátorem teploty v proudu potřebného pro provedení zkoušek 6.4.1. 12 vliv teploty vody a 6.4.1.13 uzavírací doba se v podniku nenachází, proto nebudu nejistotu zařízení vztahovat k těmto konkrétním zkouškám (značená dle normy).

Nejistota zařízení se může projevit na nejistotě vztahené k teplotě a nejistotě vztahené k hmotnostnímu průtoku.

3.2 Definice matematického modelu

Z odkazu na kapitolu 1.6, použiji k výpočtu standardní směrodatné odchylky Gaussův zákon ve tvaru vztahu 12, tudíž neuvažuji o vzájemné závislosti proměnných x_n :

$$(y) \cong \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 u^2(x_1) + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\right)^2 u^2(x_2) + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n}\right)^2 u^2(x_n)} \quad (12)$$

3.3 Identifikace zdrojů nejistot pro určení standardních nejistot

Na systém měření působí několik rozdílných vlivů. Samotné zařízení je vybaveno měřicími a regulačními prvky na snímání teploty, tlaku a průtoku. Na celkovou nejistotu, která přísluší měřicímu zařízení průtokových charakteristik, přispívají dvě teplotní soustavy. První je médium protékající okruhem skrze ventil a druhý je teplotní vliv způsobený teplotou vodní lázně. Dále k nejistotě přispívají vlivy, které nejsou součástí technického provedení měřicího zařízení na měření průtokových charakteristik ani přidruženého stroje s vodní lázní. Všechny tyto vlivy si rozdělíme na systémy, které jsou v určité vzájemnosti (závislosti) mezi sebou, a tyto systémy dále na podsystémy (subsystémy). Médiiem v měřicím zařízení je voda bez jakýchkoliv příměsí. Tabulka, která je sestavena na principech popisující různé vlivy na teplotu/průtok, je v příloze 3.

Číslo	Název systému	Označení systému	Vliv na nejistotu zařízení
Systémy okolí			
1	Vliv prostředí ve kterém se nachází měřící zařízení	S1	Ano
2	Vliv variability měřicího systému	S2	Ano
3	Vliv na používání přístroje	S3	Ne
Systémy stroje			
4	Vliv systému teploty oběžného media v zařízení 6.1.1 (značení dle normy)	S4	Ano
5	Vliv systému tlaku v zařízení 6.1.1 (značení dle normy)	S5	Ano
6	Vliv systému zaznamenávání průtokových charakteristik zaznamenávacím zařízením	S6	Ano
7	Vliv systému kontroly teploty vodní lázně v zařízení 6.1.2 (značení dle normy)	S7	Ne

Systémy okolí

Mezi systémy počítám

- ***Vliv prostředí, ve kterém se nachází měřící zařízení S1***

Zde se jedná o podmínky klimatizované laboratoře, ve které se uskutečňuje samotné měření. Dle sdělení ze společnosti Honeywell jsou podmínky v laboratoři udržované na hodnotě 22 °C, přičemž teplota kolísá v rozmezí dvou stupňů (tolerance ± 1 °C), tlak je na hodnotě atmosférického tlaku.

- ***Vliv variability měřicího systému S2***

Zde se jedná o vliv, který se zjišťuje za pomoci opakovaného měření a vyhodnocení pomocí statistiky. Tato nejistota je získána na principu provedení experimentu za podmínek opakovatelnosti. Vzhledem k povaze údajů slouží pouze k interním potřebám firmy, a proto nemohou být poskytnuty pro potřeby této práce.

• Vliv obsluhy na používání přístroje S3

Tento vliv by se projevoval, pokud by nastávala přímá ovlivnitelnost se způsobem umístění termostatické hlavice do míst k tomu určených. Po konzultaci s vedoucím vnitropodnikové laboratoře se došlo k poznatku, že k tomuto efektu nedochází. Tudíž nebude se tato dílčí nejistota promítat do celkové nejistoty průtoku ani teploty nejistoty měření.

Systémy stroje

Každé zařízení na měření průtoku bude tuto hodnotu měřit v objemovém průtoku, dle normy je používán hmotnostní průtok vztah mezi těmito veličinami, jenž vychází ze zákonitosti nestlačení vody:

$$q_m = q_v \cdot \zeta(t) \quad (13)$$

q_v ... Oběmový průtok

q_m ... hmotnostní průtok

ζ ... hustota v závislosti na teplotě

• Vliv systému teploty oběžného média v zařízení 6.1.1 (značení dle normy) S4

Médiiem je voda bez příměsí, úkolem tohoto zařízení je kontrolovat teplotu oběhového média, teplota vody je 50 °C s tolerancí $\pm 2^\circ\text{C}$. Tento systém se skládá z prvků: ohříváč, snímač teploty, regulátor teploty. Ohříváč plní funkci ohřevu vody, jeho případné výkyvy od požadované funkce zachytí a vyrovnávají další dva členy. Snímač ovlivňuje regulátor, vlivy regulátoru a vlivy snímače se sčítají. Výsledek má přímý vliv na teplotu, nepřímo ovlivňuje průtok pomocí hustoty vody podle vztahu 15.

Průtok je ovlivněn přes vztah:

$$q_m = \dot{m} = S \cdot \zeta \cdot w = q_v \cdot \zeta(t) \quad [\text{kg/s}] \quad (14)$$

S ... průřez

w ... rychlost média

$\zeta(t)$... Hustota v závislosti na teplotě

Vztah pro vyjádření hustoty v závislosti na teplotě je:

$$\varsigma(t) = 1006 - 0,26t - 0,0022t^2 [kg/cm^3] \quad (15)$$

t... teplota

$\varsigma(t)$... Hustota v závislosti na teplotě

K určení průřezu a dalších veličin je potřeba znát charakteristické rozměry trubek. Tyto rozměry se nachází v normy EN ISO 6708.

- **Vliv systému tlaku v zařízení 6.1.1 (značení dle normy) S5**

Tento systém slouží k regulaci tlaku dle normy. Skládá se ze tří členů regulátoru tlakového rozdílu, čerpadlo, expanzní nádrž. Expanzní nádrž nemá na konečnou nejistotu vliv, proto o tomto členu dále nebudu uvažovat. Expanzní čerpadlo plní funkci dodavatele tlaku, je přímo podřízený regulátoru diferenčního tlaku. Tlak, jenž bude mít vliv na teplotu nebo průtok, je statický tlak, jehož hodnota je 100 kPa (1 bar) s tolerancí $\pm 10\%$. Dle normy další požadavek na veličinu tlaku je tlakový rozdíl, jenž se nám do nejistoty nepromítne, týká se pouze ventilu. Tlak nám nepřímo ovlivní jak teplotu, tak průtok. Teplotu nám ovlivní přes rovnici energetických ztrát v potrubí podle.

Vztah pro ztráty v potrubí:

$$\Delta p = \zeta \frac{w^2}{2} \varsigma(t) = c \cdot q_v \cdot \Delta t [Pa] \quad (16)$$

Δp ...tlakový rozdíl

w^2 ...rychlost média v potrubí

ς ...hustota vody

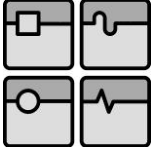
c...kapacita

q_v ...objemový průtok

Δt ...teplotní rozdíl

ζ ...ztráty v potrubí

Po získání všech parametrů vyjádříme vliv příspěvku na teplotu a na průtok. Dle normy statický tlak $100 \text{ kPa} \pm 10\%$, což odpovídá hodnotě 20 kPa . Po aplikaci ztrátové rovnice a stanovení ostatních proměných, bychom získali hodnotu pro teplotu a průtok. Tento systém je sestaven z diferenciálního tlakoměru a čerpadla. U čerpadla předpokládáme malou nejistotu, která by mohla ovlivnit změnu tlaku. Vzhledem ke statickému tlaku půjde o rozdíl zanedbatelný. Vlivy nejistot čerpadla, proto zanedbáme.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 59
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Průtok je tímto systémem také dále ovlivněny a to přes vztah Δp (změna tlaku) $\rightarrow$ w (rychlost kapaliny v potrubí) $\rightarrow q_m$ (objemový průtok).

- **Vliv systému zaznamenávání průtokových charakteristik zaznamenávacím zařízením S6**

Tento systém je vzhledem k jeho potřeba, dále rozlišit na tři podsystémy:

- **Podsystém zapisovacího zařízení S6.1**

Prvním podsystémem je samotné zapisovací zařízení a jeho nepřesnost při vynášení změřených hodnot do grafu. Tato nepřesnost se může projevit jak na teplotě, tak na průtoku.

- **Podsystém průtoku S6.2**

Druhým podsystém je kontrola systémů průtoku v zařízení. Člen, jenž ovlivňuje tento podsystém, je průtokoměr. Tento systém nemá vliv na teplotu, ale má pouze přímý vliv na průtok, jenž se zjistí pomocí kalibračního listu.

- **Podsystém teploty S6.3**

Třetí podsystém je kontrola systému teploty do zaznamenávacího zařízení, jeho členové jsou snímač teploty a teploměr, jenž má přímý vliv na teplotu a nemá vliv na průtok.

- **Vliv systému kontroly teploty vodní lázně v zařízení 6.1.2 (značení dle normy) S7**

Tento systém se projevuje v nárůstu tlaku, když se termostatický ventil uzavře, dojde k časově omezenému nárůstu tlaku, což nepřímo ovlivní teplotu a průtok avšak tento výkyv tlaku pojme zařízení 8 (regulátor tlakového rozdílu) a 9 (diferenciální tlakoměr). Proto nebudeme dále počítáno s vlivem toho systému.

3.4 Kvantifikace standardních nejistot ovlivňujících veličiny

Výstupem ze zařízení na měření průtokových charakteristik je graf závislosti teploty na průtoku. Nejistota způsobená tímto zařízením se bude projevovat jak na teplotě, tak na průtoku. V předchozím oddílu byly vlivy rozděleny do skupin. Kriteériem rozdělení bylo konstrukční, nebo funkční závislost jednotlivých prvků měřicího stroje. Dále byly definovány vztahy, jak příslušné systémy působí na teplotu a průtok, přes fyzikální vyjádření ve formě vzorců. Výsledná celková standardní nejistota vztahující se k teplotě je popsána v kapitole 3.6.1 a výsledná celková standardní nejistota vztahující se k průtoku je popsána v kapitole 3.6.2.

3.4.1 Stanovení nejistoty systému vzhledem k teplotě

3.4.1.1 u_{ta} -nepřesnost snímání teploty

- Nepřesnost z kalibrace u_{ta1}**

Nepřesnost z kalibrace způsobují dle normy členy 11 (snímač teploty) a 12 (teploměr). Ve své práci tyto dva prvky slučuji v jeden systém (pro jejich funkční závislost), který by měl jeden výstup v podobě jednoho kalibračního listu. V současnosti se každý člen kalibruje zvlášť.

Tato nejistota by se stanovila získáním údajů z kalibračního listu, kde se udává rozšířená nejistota a koeficient rozšíření

$$u_{ta1} = \frac{U}{k} \quad (17)$$

U...rozšířená nejistota

k... koeficient rozšíření

- Nepřesnost z odečtu hodnoty u_{ta2}**

Na základě povahy nepřesností, která je daná velikostí jednoho dílu stupnice teplooměru, by se aplikovalo pravděpodobnostní rozdělení normálové, kterému odpovídá $\chi = \sqrt{3}$.

$$u_{ta2} = \frac{\Delta z_{max}}{\chi} \quad (18)$$

χ ...pravděpodobnostní rozdělení

Δz_{max} ...maximální rozsah změn

- Nepřesnost způsobená vlivem prostředí u_{ta3}**

Dle informací uvedené v předchozím textu, je teplota laboratorní místnosti $22 \pm 1^\circ\text{C}$. Zde by byl aplikován stejný vztah jako u předchozí nejistoty odečtu hodnot.

$$u_{ta3} = \frac{\Delta z_{max}}{\chi} \quad (19)$$

χ ...pravděpodobnostní rozdělení

Δz_{max} ...maximální rozsah změn

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 61
 	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Na základě povahy nepřesnosti, je hodnota $\Delta z_{\max} = 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, což plyne z tolerance teploty v místnosti. I zde by se aplikovalo pravděpodobnostní rozdělení normálové, kterému odpovídá $\chi = \sqrt{3}$.

3.4.1.2 u_{tb} -nepřesnost z difference teploty oběžného média

Nepřesnost difference z teploty oběžného média způsobují dle normy prvky 5 (regulátor teploty) a 6 (snímač teploty). Dále obsahuje vliv z teploty vody protékajícího média. Která se dle stanovení normy udržuje na teplotě $50 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

- **Nepřesnost z kalibrace prvku u_{tb1}**

Prvky dle značení normy 5 a 6 slučují v jeden systém, kde by výstupem byl jeden kalibrační list, který by obsahoval výstupní data o rozšířené nejistotě a koeficientu rozšíření zdroje. Tyto data by se aplikovali do vzorečku. V současnosti se každý prvek kalibruje zvlášť.

$$u_{tb1} = \frac{U}{k} \quad (20)$$

U...rozšířená nejistota

k... koeficient rozšíření

- **Nepřesnost z teploty oběžného média u_{tb2}**

Dle informací uvedené v předchozím textu je teplota oběžného média $50 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Zde by byl aplikován vztah:

$$u_{tb2} = \frac{\Delta z_{\max}}{\chi} \quad (21)$$

χ ...pravděpodobnostní rozdělení

$\Delta z_{\max}$...maximální rozsah změn

Na základě povahy nepřesnosti je hodnota $\Delta z_{\max} = 4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, což plyne z tolerance teploty oběžného média dané normou. I zde by se aplikovalo pravděpodobnostní rozdělení normálové, kterému odpovídá $\chi = \sqrt{3}$.

3.4.1.3 u_{tc} - nepřesnost způsobená zapisovacím zařízením

Nepřesnost způsobenou zapisovacím zařízením vnáší dle normy prvek 3 (souřadnicový zapisovač R).

- **Nepřesnost daná zápisem zapisovacího zařízení u_{tc}**

Tato hodnota by byla zjištěná z experimentu a posléze vyhodnocená jako směrodatná odchylka aritmetického průměru. Dle vztahu:

$$u_{tc} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} \quad (22)$$

s...směrodatná odchylka s opakovaných měření

n...počet opakování

t_i ...jednotlivá měření

$\bar{t}$...výběrový průměr teploty

3.4.1.4 u_{td} - nepřesnosti plynoucí z nepřímých vlivů

Nepřesnost plynoucí z nepřímých vlivů jsou způsobeny tlakovou diferencí systémů. Dle normy je statický tlak na vstupu ventilu 100 kPa (1 bar) s tolerancí $\pm 10\%$. K dalším vlivům nepřesnostem plynoucím z veličiny tlaku a jejich členů způsobují zařízení označené dle normy člen 8 (regulátor tlakového rozdílu) a člen 9 (diferenciální tlakoměr). I zde by pro funkční závislost byly tyto prvky sloučeny do jednoho systému. Vzhledem ke skutečnosti nepřímého působení vlivu tlaku, by se hodnota teploty musela vypočítat dle vztahu 15 a 16. Výsledná hodnota pro teplotu by byla aplikována do následujících vzorců.

- **Nepřesnost z kalibrace prvku u_{td1}**

Prvky dle značení normy 8 (regulátor tlakového rozdílu) a 9 (Diferenciální tlakoměr) slučují v jeden, kde by výstupem byl jeden kalibrační list, který by obsahoval výstupní data o rozšířené nejistotě a koeficientu rozšíření zdroje. Tyto data by se aplikovali do vzorce:

$$u_{td1} = \frac{U}{k} \quad (23)$$

U...rozšířená nejistota

k... koeficient rozšíření

Vzhledem k tomu, že se jedná o nepřímý vliv, tlak by musel být přepočítán podle vzorců 15 a 16 na teplotní hodnoty udávané ve °C.

- **Nepřesnost plynoucí ze statického tlaku u_{td2}**

Dle informací uvedených v předchozím textu, je statický tlak oběžného média 100 kPa s tolerancí $\pm 10\%$. Zde by byl aplikován vztah :

$$u_{td2} = \frac{\Delta z_{max}}{\chi} \quad (24)$$

χ ...pravděpodobnostní rozdělení

Δz_{max} ...maximální rozsah změn

Na základě povahy nepřesnosti je hodnota $\Delta z_{max} = 20\%$ ze statického tlaku, což plyne z tolerance teploty oběžného media dané normou. I zde by se aplikovalo pravděpodobnostní rozdělení normálové, kterému odpovídá $\chi = \sqrt{3}$.

Vzhledem k tomu, že se jedná o nepřímý vliv, tlak by musel být přepočítán podle vzorců 15 a 16 na teplotní hodnoty udávané ve °C.

3.4.2 Stanovení nejistoty systému vzhledem k průtoku

3.4.2.1 u_{pa} - nepřesnost snímání průtoku

- **Nepřesnost z kalibrace u_{pa1}**

Zařízení označené dle normy člen 2 (průtokoměr F), který by měl jedny výstupní data vztahující se ke kalibračního listu .

Tuto nejistotu u_{pa1} by se stanovilo získáním údajů z kalibračního listu, kde se udává rozšířená nejistota a koeficient rozšíření. Tento výsledek by byl udáván v procentech. K tomuto členu byl poskytnut kalibrační list, kde hmotnostní průtokoměr je dle informací z kalibračního listu za pevně stanovených podmínek, obsahuje následující data uvedená v tabulce :

Průtok	Chyba	Kombinovaná rozšířená nejistota
[m ₃ /hod]	[%]	[%]
0,3	0,27	0,15
0,5	0,25	0,12
1,48	0,19	0,11

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 64
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Data obsažena v kalibračním listu jsou uvedena v průtoku objemovém, pro zjištění průtoku hmotnostního je potřeba použít vztah 13.

Získaná data aplikujeme do vztahu :

$$u_{pa1} = \frac{U}{k} \quad (25)$$

U...rozšířená nejistota

k... koeficient rozšíření

- **Nepřesnost z odečtu hodnoty u_{pa2}**

Tato kalibrace by se určila ze vztahu

$$u_{pa2} = \frac{\Delta z_{max}}{\chi} \quad (26)$$

χ ...pravděpodobnostní rozdělení

Δz_{max} ...maximální rozsah změn

Na základě povahy nepřesností, která je daná velikostí jednoho dílu stupnice průtokoměru, by se aplikovalo pravděpodobnostní rozdělení normálové, kterému odpovídá $\chi = \sqrt{3}$.

3.4.2.2 U_{pb} - nepřesnost plynoucí z nepřímých vlivů

Nepřesnost plynoucí z nepřímých vlivů jsou způsobeny tolerovanou tlakovou diferencí systémů. Dle normy je statický tlak na vstupu ventilu 100 kPa (1 bar) s tolerancí $\pm 10\%$. K dalším nepřesnostem plynoucím z veličiny tlaku a jejích členů by přispívaly zařízení označené dle normy člen 8 (regulátor tlakového rozdílu) a člen 9 (diferenciální tlakoměr). I zde by pro funkční závislost byly tyto prvky sloučeny do jednoho systému. Vzhledem k tomu, že se jedná o nepřímý vliv tlaku, tento vliv by musel být přepočítán podle vzorců 13 a 16 na hodnotu nejistoty hmotnostního průtoku, udávaného v % vzhledem k tomuto průtoku. Na základě povahy nepřesnosti musí být použit vzorec 16, pro přepočet tlakové hodnoty na hodnotu průtoku pro všechny uvedené vzorce.

- **Nepřesnost z kalibrace prvku u_{pb1}**

Prvky dle značení normy 8(regulátor tlakového rozdílu) a 9(diferenciální tlakoměr) slučuji v jeden, kde by výstupem byl jeden kalibrační list, který by obsahoval výstupní data o rozšířené nejistotě a koeficientu rozšíření zdroje. Tyto data by se aplikovaly do vzorečku.

$$u_{pb1} = \frac{U}{k} \quad (27)$$

U...rozšířená nejistota

k... koeficient rozšíření

- **Nepřesnost plynoucí ze statického tlaku u_{pb2}**

Dle informací uvedené v předchozím textu je statický tlak oběžného média 100 Kpa toleranci $\pm 10\%$. Zde by byl aplikován stejný vztah:

$$u_{pb2} = \frac{\Delta z_{max}}{\chi} \quad (28)$$

χ ...pravděpodobnostní rozdělení

Δz_{max} ...maximální rozsah změn

Na základě povahy nepřesnosti je hodnota $\Delta z_{max} = 20\%$, což plyne z tolerance teploty oběžného média dané normou. I zde by se aplikovalo pravděpodobnostní rozdělení normálové, kterému odpovídá $\chi = \sqrt{3}$.

- **Nepřesnost plynoucí z difference teploty oběžného media u_{pb3}**

Tato hodnota je dle předchozího textu definována podmínkami teploty oběžného média a jeho tolerancí. Teplota je stanovena dle normy na hodnotu $55\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dle vztahu 14 a 15 by se vyjádřil vliv na průtok. Potom bychom aplikovali získanou hodnotu do vzorce:

$$u_{pb3} = \frac{\Delta z_{max}}{\chi} \quad (29)$$

χ ...pravděpodobnostní rozdělení

Δz_{max} ...maximální rozsah změn

Na základě povahy nepřesnosti je hodnota Δz_{max} rovna přepočítané hodnotě $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ dosazených do rovnice 14, což plyne z tolerance teploty oběžného media dané normou. I zde by se aplikovalo pravděpodobnostní rozdělení normálové, kterému odpovídá $\chi = \sqrt{3}$.

3.4.2.3 u_{pc} - nepřesnost způsobená zapisovacím zařízením

Nepřesnost způsobenou zapisovacím zařízením vnáší dle normy prvek 3 (soutřadnicový zapisovač R)

- **Nepřesnost daná zápisem zapisovacího zařízení u_{pc}**

Tato hodnota by byla zjištěná z experimentu a posléze vyhodnocená jako směrodatná odchylka aritmetického průměru. Dle vztahu:

$$u_{pc} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (q_{mi} - \bar{q}_m)^2} \quad (30)$$

s ...směrodatná odchylka s opakovaných měření

n ...počet opakování

q_i ...jednotlivá měření

$\bar{q}_m$...výběrový průměr teploty

Přehledné tabulky jsou přiloženy v příloze 4 pro stanovení systému vzhledem k teplotě a průtoku

3.5 Výběr nezanedbatelných nejistot

Vzhledem k povaze modelového návrhu pro stanovení nejistoty systému vzhledem k teplotě a průtoku nemůžeme jednoznačně určit bez jejich kvantifikace, které dílčí nejistoty jsou zanedbatelné a které nikoliv. Z povahy předchozího textu se lze domnívat, že zanedbatelnými nejistotami budou ty, které ke svému stanovení potřebují použití vzorců 14, 15 a 16, tudíž jedná se o nepřímé vlivy. V případě kvantifikace dílčích nejistot by byly použity doporučení uvedené v kapitole 1.5.

3.6 Určení standardní kombinované nejistoty výpočtem

Na princip kvantifikace standardních nejistot, popřípadě kvantifikace parciálních derivací, provedeme výpočet standardní kombinované nejistoty aplikací Gaussova zákona

3.6.1 Stanovení nejistoty systému vzhledem k teplotě

Nepřesnost vnímání teploty u_{ta}

$$u_{ta} = \sqrt{u_{ta1}^2 + u_{ta2}^2 + u_{ta3}^2} \quad (31)$$

Popis jednotlivých členů dle tabulky v příloze 4

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 67
 	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Nepřesnost z difference teploty oběžného media u_{tb}

$$u_{tb} = \sqrt{u_{tb1}^2 + u_{tb2}^2} \quad (32)$$

Popis jednotlivých členů dle tabulky v příloze 4

Nepřesnost způsobená zapisovacím zařízením u_{tc}

Nepřesnost plynoucí z nepřímých vlivů

$$u_{td} = \sqrt{u_{td1}^2 + u_{td2}^2} \quad (33)$$

Popis jednotlivých členů dle tabulky v příloze 4

3.6.2 Stanovení nejistoty systému vzhledem k průtoku

Nepřesnost snímání průtoku u_{pa}

$$u_{pa} = \sqrt{u_{pa1}^2 + u_{pa2}^2} \quad (34)$$

Popis jednotlivých členů dle tabulky v příloze 4

Nepřesnost plynoucí z nepřímých vlivů u_{pb}

$$u_{pb} = \sqrt{u_{pb1}^2 + u_{pb2}^2 + u_{pb3}^2} \quad (35)$$

Popis jednotlivých členů dle tabulky v příloze 4

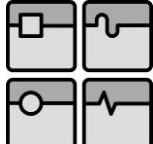
Nepřesnost způsobena zapisovacím zařízením u_{pc}

3.6.3 Standardní kombinovaná nejistota vzhledem k teplotě

$$u_t = \sqrt{u_{ta}^2 + u_{tb}^2 + u_{tc}^2 + u_{td}^2} \quad (36)$$

3.6.4 Standardní kombinovaná nejistota vzhledem k průtoku

$$u_p = \sqrt{u_{pa}^2 + u_{pb}^2 + u_{pc}^2} \quad (37)$$

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 68
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

3.7 Výpočet celkové nejistoty

3.7.1 Pro celkovou nejistotu vztaženou k teplotě

$$U_t = k \cdot u_t(t) \quad (38)$$

K je koeficient rozšíření (běžně k nabývá hodnot v rozmezí od 2 do 3); v tomto případě se volí 2.

3.7.2 Pro celkovou nejistotu vztaženou k průtoku

$$U_p = k \cdot u_p(q_m) \quad (39)$$

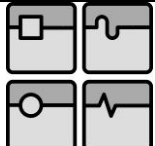
K je koeficient rozšíření (běžně k nabývá hodnot v rozmezí od 2 do 3); v tomto případě k se volí 2.

ZÁVĚR

Diplomová práce je rozčleněna do tří částí. První část je zaměřena na teoretické poznatky z oblasti stanovení nejistoty měření. V této kapitole je popsán teoretický postup pro stanovení nejistoty měření tak, aby byl snadno aplikován na příklad v oblasti energetiky, který je uveden v kapitole 3. Tato část dále obsahuje legislativní podklady, správné znázorňování výsledků podle odkazů uvedených v seznamu použitých zdrojů, popsání dvou přístupů ke stanovení nejistoty měření, definice z této oblasti, popisy a postupy k vyhodnocení jednotlivých složek. Cílem této části je informovat čtenáře stručnou, ale výstižnou formou o problémech spojených se stanovením nejistoty měření. Úskalí při tvorbě této části spočívalo v různorodosti zdrojů s touto problematikou spojených.

Druhá část informuje čtenáře o termostatických ventilech a hlavících, proč je používat, jejich technickém popisu a dalších oblastí s nimi spojenými. Tato část obsahuje rozsáhlejší doprovodnou ilustraci. Cílem této kapitoly bylo získání postačujících vědomostí z oblasti regulace teploty za pomoci prvků termostatických ventilů a hlavíc tak, aby tyto poznatky mohly být dále použity v následující kapitole.

Poslední kapitolou je stanovení nejistoty průtokových charakteristik při měření termostatických hlavíc a ventilů s použitím měřicího zařízení pro zjišťování průtokových charakteristik. V této kapitole došlo k odklonu od prvotního záměru, jímž mělo být stanovení nejistot měření měřicího zařízení pro měření průtokových charakteristik ventilů a termostatických hlavíc, jenž je stanoven v zadání diplomové práce. K tomuto odklonu došlo na základě postupného objasnění problematiky na bázi dostupných zdrojů a na základě větší využitelnosti tohoto výsledku firmou, pro kterou je tato práce vypracována. Vzhledem k vnitřním předpisům zadavatelské firmy nemohla být poskytnuta určitá data potřebná pro číselné výstupy celkových nejistot vzhledem k teplotě a průtoku ovlivňujícím průtokové charakteristiky. Data, která nepodléhají vnitřním předpisům zadavatelské firmy, jsou uvedeny v této kapitole, jedná se především o data z technických norem a některých kalibračních listů. Na tomto základě je výstupem modelový postup zpracovaný tak, aby osoba oprávněná manipulací se všemi daty mohla sestavit číselné výstupy celkové nejistoty vzhledem k teplotě a průtoku. Dále jsou v této kapitole doporučena opatření, jež by vedla ke zjednodušení a zkvalitnění postupů potřebných pro určení celkových nejistot veličin teploty a průtoku. Jedná se především o doporučení v oblasti kalibrace a oblasti termomechaniky, na jejímž základě jsou vstupující vlivy rozděleny do systému podle kritéria funkčnosti a vzájemné ovlivnitelnosti jednotlivých prvků systému. Náročnost práce je v úzkém propojení oblasti termomechanika a oblasti stanovení nejistoty měření.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 70
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] NĚMEČEK, Pavel. *Nejistoty měření*. 1. vydání 2008. Praha: česká společnost pro jakost,o.s., 2008. 96 s. ISBN 978-80-02-02089-9.
- [2] Management jakosti s podporou norem ISO 9000:2000 / Alois Fiala a kolektiv autorů. -- Praha : Dashöfer, 2000- . -- sv. (na volných listech) ;. ISBN: 80-86229-19-X (volné l. v pořadači). Sign: 2-1077.852
- [3] ČSN EN 215. *Ventily pro otopná tělesa s regulátorem teploty-Požadavky a zkušební metody*. Praha : Český normalizační institut, 2004. 34 s.
- [4] ČSN EN 215 ZMĚNA A1. *Ventily pro otopná tělesa s regulátorem teploty-Požadavky a zkušební metody* . Praha : Český normalizační institut, 2006. 15 s.
- [5] ČSN ISO 3534-1. *Statistika - Slovník a značky - Část 1: Obecné statistické termíny a termíny používané v pravděpodobnosti*. Praha : Český normalizační institut, 1994. 81 s.
- [6] ČSN ISO 5725. *Přesnost (správnost a shodnost) metod a výsledků měření - Část 1: Obecné zásady a definice*. Praha : Český normalizační institut, 1997. 23 s.
- [7] TNI 01 0115. *Mezinárodní metrologický slovník - Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)*. Praha : Český normalizační institut, 2009. 50 s.
- [8] RYBKA, Pavel. *Vytapeni.tzb-info.cz* [online]. 21.9.2009 [cit. 2011-05-25]. Využití termostatických ventilů a termostatických hlavic pro regulaci vytápěn. Dostupné z WWW:<<http://vytapeni.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/5917-vyuziti-termostatickych-ventilu-a-termostatickych-hlavic-pro-regulaci-vytapeni>>.
- [9] PERNIKÁŘ, Jiří. HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI KONTROLNÍCH PROSTŘEDKŮ. *Kvalita a Geometrické specifikace produktů* [online]. 2000, 31, [cit. 2011-05-25]. Dostupný z WWW: <http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/31_Pernikar_VUTBR.pdf>.
- [10] *Eurolab* [online]. srpen 2006 [cit. 2011-05-25]. Pokyn pro vyhodnocení nejistoty měření výsledků kvantitativních zkoušek. Dostupné z WWW: <http://www.eurolabcz.cz/data/dokumenty/NejistotyTZ%201_2006f.pdf>.
- [11] Guide to the expression of uncertainty in measurement. International Organization for Standardization. 1993. ISBN 92-67-10188-9.

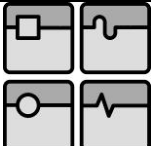
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

y	skutečná veličina
x_i	dílčí veličina (y je funkcí proměnných x_1)
$s(x,ij)$	výběrová kovariance znaků x_i x_j
$u(x_i)$ a $u(x_j)$	výběrové směrodatné odchylky x_i a x_j
k	koeficient rozšíření
U	celková nejistota měřené veličiny y pro příslušnou úroveň spolehlivosti
$u_c(y)$	standardní kombinovaná nejistota měřené veličiny y
u_b	nejistota typu B
u_a	nejistota typu A
u_c	kombinovaná standardní nejistota
$\Delta Z_{\max}$	maximální rozsah změn
χ	pravděpodobnostní rozdělení
k	koeficient rozšíření zdroje nejistoty
s	směrodatná odchylka s opakovaných měření
k_{ua}	bezpečnostní faktor
$\bar{x}$	výběrový průměr
x_i	jednotlivá měření
n	počet opakování

q_m	průtok	kg/h
$q_{m N}$	jmenovitý průtok	kg/h
$q_{m s}$	charakteristický průtok	kg/h
$q_{m max}$	maximální průtok	kg/h
$q_{m s max}$	q při nastavení ovladače na maximální hodnotu	kg/h
$q_{m s min}$	q při nastavení ovladače na minimální hodnotu	kg/h
$q_{m x1}$	průtoky jako pomocné veličiny pro měření uzavírací doby	kg/h
t_s	teplota snímače, která odpovídá charakteristickému průtoku	°C
$t_{s max}$	t při nastavení ovladače na maximální teplotu	°C
$t_{s min}$	t s při nastavení ovladače na maximální teplotu	°C
S	teplotní bod	°C
Δp	tlakový rozdíl	Pa
K	teplotní rozdíl	Kelvin

$\bar{t}$	výběrový průměr teploty
t_i	jednotlivá měření
$\overline{q_m}$	výběrový průměr teploty
q_i	jednotlivá měření
z	ztráty v potrubí
Δt	teplotní rozdíl
q_v	objemový průtok
c	kapacita
ς	hustota vody
w^2	rychlost média v potrubí
Δp	tlakový rozdíl
$\varsigma(t)$	hustota v závislosti na teplotě
$\varsigma(t)$	hustota v závislosti na teplotě
W	rychlost média
S	průřez
ς	hustota v závislosti na teplotě
q_m	hmotnostní průtok
q_v	objemový průtok

U_{pa}	nepřesnost snímání průtoku
U_{pa1}	nepřesnost kalibrace
U_{pa2}	nepřesnost z odečtu hodnot
U_{pb}	nepřesnost plynoucí z nepřímých vlivů
U_{pb1}	nepřesnost kalibrace prvků
U_{pb2}	nepřesnost plynoucí ze statického tlaku
U_{pb3}	nepřesnost plynoucí z difference oběžného media
U_{pc1}	nepřesnost způsobena zapisovacím zařízením
U_{ta}	nepřesnost snímání teploty
U_{ta1}	nepřesnost kalibrace
U_{ta2}	nepřesnost k odečtu hodnoty
U_{ta3}	nepřesnost způsobená vlivem prostředí
U_{tb}	nepřesnost z difference teploty oběžného media
U_{tb1}	nepřesnost z hlediska kalibrace
U_{tb2}	nepřesnost z teploty oběžného media
U_{tc}	nepřesnost způsobená zapisovacím zařízením
U_{td}	nepřesnost plynoucí z nepřímých vlivů
U_{td1}	nepřesnost kalibrace
U_{td2}	nepřesnost plynoucí ze statického tlaku

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 75
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

SEZNAM PŘÍLOH

Vázané přílohy

- Příloha č.1: Zdroje nejistoty z oblasti měření elektrických veličin nebo ostatních veličin
- Příloha č.2: Pravděpodobnostní rozdělení
- Příloha č.4: Stanovení nejistoty systému vzhledem k teplotě

Přílohy volně vložené

- Příloha č.3: Přehled systémů

PŘÍLOHA Č. 1

Zdroje nejistoty z oblasti měření elektrických veličin nebo ostatních veličin

Příspěvek vázaný na použité přístroje, etalony a vybavení

- a) Nejistota kalibrace nebo ověření
- b) Stabilita (časová specifikace) přístroje
- c) Dynamická chyba přístrojů
- d) Zanedbatelné systematické chyby
- e) Tření způsobené v přístroji
- f) Hystereze mrtví vchod
- g) Specifikace plynoucí z výměnných částí přístroje

Příspěvek okolního prostředí a jejich změny

- a) Vlivy silových polí
 - Magnetické
 - Elektrické
- b) Vliv meteorologických podmínek
 - Tlak, změna tlaku
 - Relativní vlhkost
 - Hustota vzduchu
 - Čistota prostředí
 - Teplota okolí a její změny
- c) Osvětlení, popřípadě tepelné vyzařování
- d) Zemní smyčky
- e) Napájení napětí, stabilita, frekvence

Příspěvek způsobený vlivem metody

- a) Ztráty, svorové proudy
- b) Interakce s měřeným předmětem
- c) Nejistota použitých konstant
- d) Vlivy reálných parametrů
- e) Odvod či přestup tepla

Příspěvek způsobený vlivem operátora

- a) Nedodržení postupu (metodik)
- b) Paralaxa (změna)
- c) Tepelné vyzařování
- d) Návyky operátora

Příspěvky ostatních vlivů

- a) Omyly způsobené zápisem (odečtem) hodnot

Zdroje z odběru chemického vzorku

Příspěvky k nejistotě závislé na odběru vzorků v chemickém oboru

- a) Odběr vzorků, které ne vždy zcela přesně jsou reprezentantem daného objektu
- b) Kontaminace /degradace
 - Vznikající při odběru
 - Během zpracovávání
 - Při skladování
 - Chemický rozklad vzorků
- c) Homogenizace
- d) Chemická příprava vzorků
- e) Homogenizace

Příspěvky k nejistotě závislé na vlastnostech zkoumaného materiálu

- a) Změna příslušných veličin v čase
 - Rušení nestálosti zkoumaného objektu
 - Degradace nebo stárnutí zkoumaného objektu
- b) Nehomogenita, nerovnoměrnost zkoumaného objektu
- c) Vlivy matrice /interakce

Příspěvky k nejistotě závislé na použitých metodách měření (zkoušení)

- a) Nesprávná uplatnění nebo chybná definice měřené veličiny (aproximace idealizace, hypotézy)
- b) Nejistota parametrů procesu (například podmínky okolí) a k tomu příslušící ovlivňující veličiny
- c) Nezahrnuté ovlivňující veličiny (teplota, tlak, intenzita magnetického pole)

- d) Neúplné prostorové rozlišení, neostrost, nejistota nastavení prahových hodnot diskriminátoru
- e) Meze detekce, omezená citlivost
- f) Drift přístrojů
- g) Náhodná rušení způsobená například rušivým polem
- h) Přizpůsobení nepřímých impedancí přenos měřené veličiny
- i) Chyba způsobená koincidencí
- j) Přístrojové veličiny – dynamika
- k) Různé vnímání měřených veličin
- l) Vyhodnocení údajů, číselná přesnost
- m) Nejistota získaná s mezilaboratorních pozorování

Příspěvky nejistota referenčních hodnot, na niž principiálně zkoušky stojí

- a) Nejistota certifikovaných hodnot/kalibrační hodnoty
- b) Degradace referenčních hodnot
- c) Nejistota převzatá z literárních pramenů

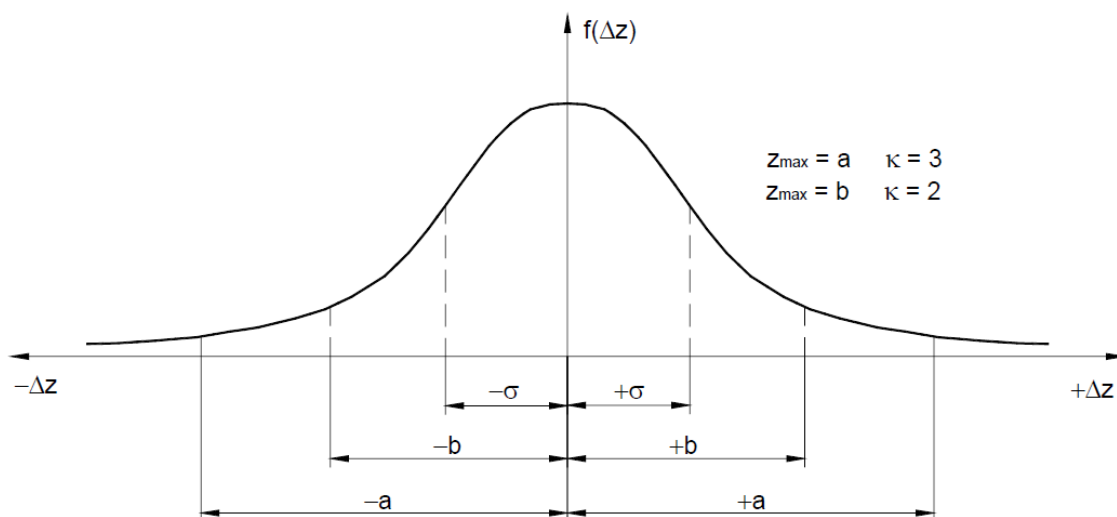
PŘÍLOHA Č. 2

Pravděpodobnostní rozdělení

V této příloze uvádím 6 nejčastějších pravděpodobnostních rozdělení

Normální (Gaussovo) rozdělení		
Z _{max}	Statistické rozdělení	Aplikace
a=2s a=3s a=hs	2 3 h	Základní rozdělení, k němuž se vztahují všechna ostatní rozdělení.
		velká pravděpodobnost malých odchylek od zdroje nejistoty
		Tam, kde rozdělení není ohraničeno .
		Pro zdroje, které se mohou pohybovat v širokém rozsahu hodnot.
Legislativní zdroje		Poznámka
TPM 0051-93	X	
VDA 5	X	
EA 4/02	X	

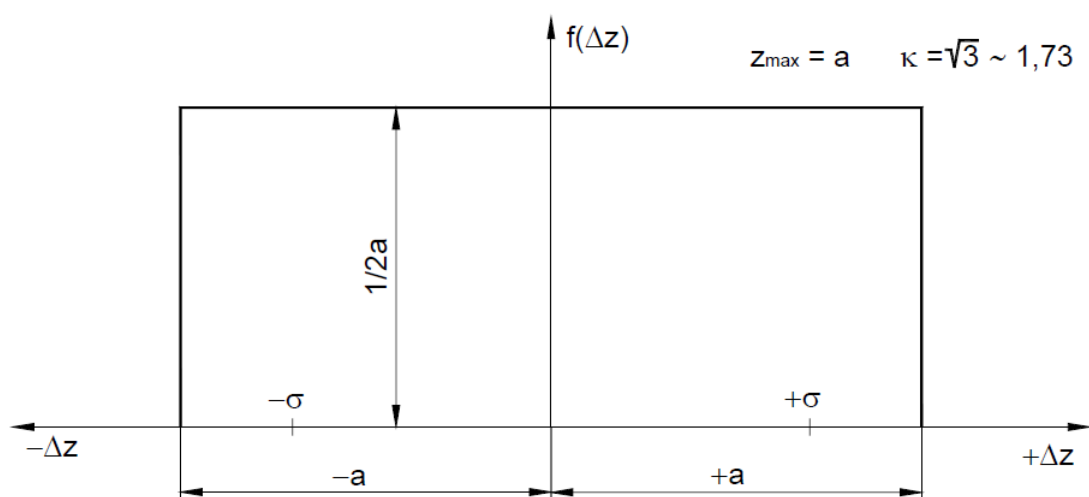
$$u_{Bi} = \frac{Z_{\max}}{\kappa}$$



Obrázek A-Normální (Gaussovo) rozdělení

Zdroj: PERNIKÁŘ, Jiří. HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI KONTROLNÍCH PROSTŘEDKŮ. *Kvalita a Geometrické specifikace produktů* [online]. 2000, 31, [cit. 2011-05-25]. Dostupný z WWW: <http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/31_Pernikar_VUTBR.pdf>.

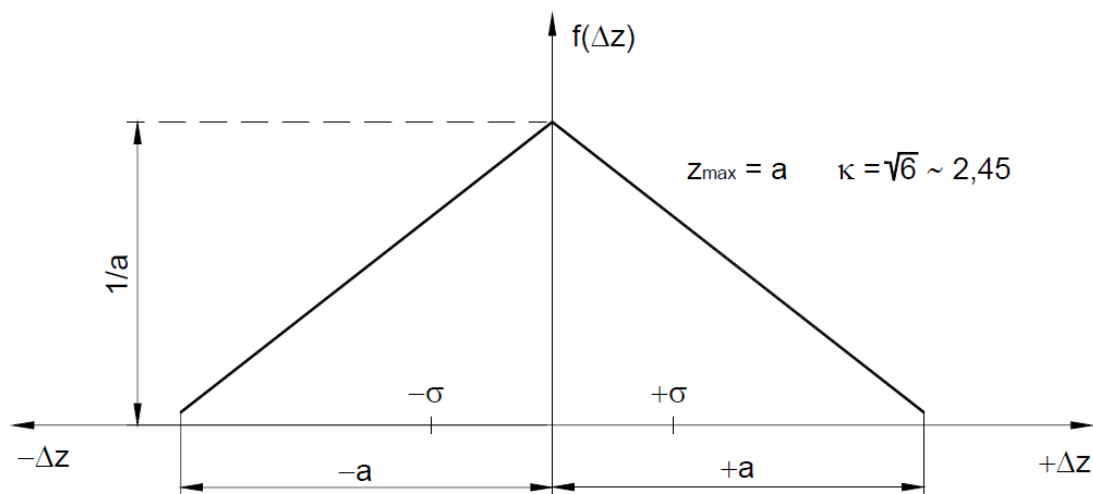
Rovnoměrné rozdělení		
Z _{max}	<i>κ</i>	Aplikace
a	1,73	stejná pravděpodobnost malých a velkých odchylek
		Rozdělení je ohraničeno (rozsahu ± a).
		Pro zdroje, které se mohou pohybovat v širokém rozsahu hodnot.
Legislativní zdroje		Poznámka
TPM 0051-93	X	
VDA 5	X	
EA 4/02	X	



Obrázek A1- Rovnoměrné rozdělení

Zdroj: PERNIKÁŘ, Jiří. HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI KONTROLNÍCH PROSTŘEDKŮ. *Kvalita a Geometrické specifikace produktů* [online]. 2000, 31, [cit. 2011-05-25]. Dostupný z WWW: <http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/31_Pernikar_VUTBR.pdf>.

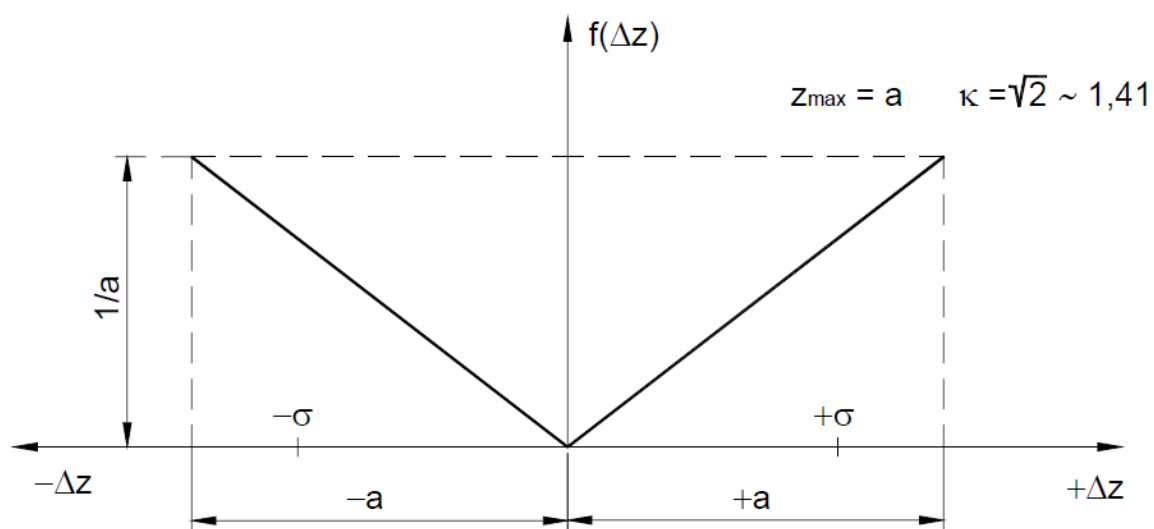
Trojúhelníkové (Simpsonovo) rozdělení		
Z _{max}	<i>κ</i>	Aplikace
a	≈2,45	Velká pravděpodobnost malých odchylek a zanedbatelná pravděpodobnost blízka mezím zdroje nejistoty (pravděpodobnost směrem k vyšším odchylkám lineárně klesá k mezím).
		Rozdělení je ohraničeno (rozsahu ± a).
		Rozdělení se chová přibližně normálně, ale je ohraničeno.
Legislativní zdroje		Poznámka
TPM 0051-93	X	
VDA 5	X	
EA 4/02	X	



Obrázek A2-Trojúhelníkové (Simpsonovo) rozdělení

Zdroj: PERNIKÁŘ, Jiří. HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI KONTROLNÍCH PROSTŘEDKŮ. *Kvalita a Geometrické specifikace produktů* [online]. 2000, 31, [cit. 2011-05-25]. Dostupný z WWW: <http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/31_Pernikar_VUTBR.pdf>.

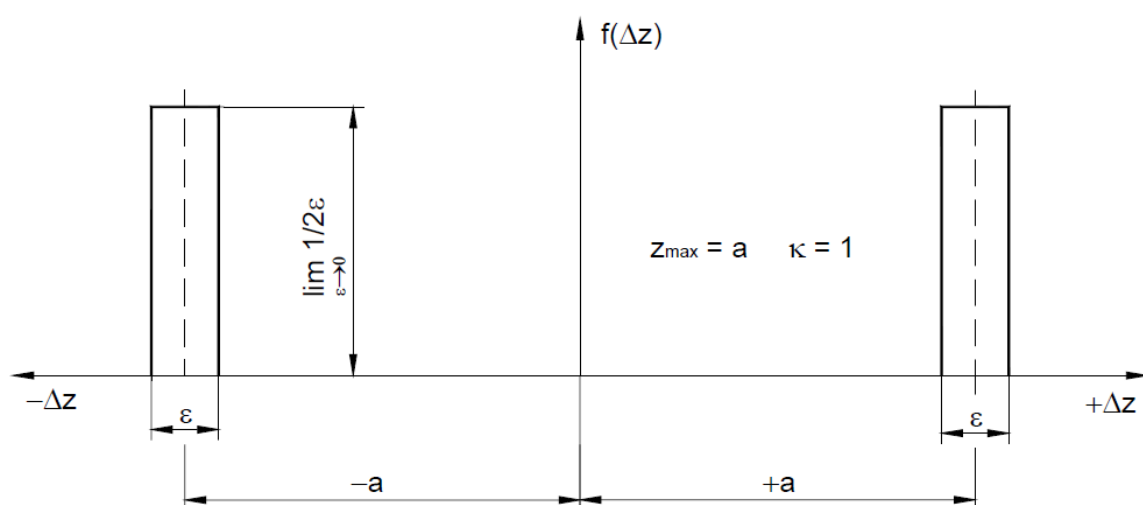
Trojúhelníkové (bimodální) rozdělení		
Z _{max}	<i>κ</i>	Aplikace
a	≈1,41	Tam, kde stoupá pravděpodobnost směrem k mezím
		Tam, kde je rozdělení ohraničeno
Legislativní zdroje		Poznámka
TPM 0051-93	X	
VDA 5		
EA 4/02		



Obrázek A3- Trojúhelníkové (bimodální) rozdělení

Zdroj : PERNIKÁŘ, Jiří. HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI KONTROLNÍCH PROSTŘEDKŮ. *Kvalita a Geometrické specifikace produktů* [online]. 2000, 31, [cit. 2011-05-25]. Dostupný z WWW: <http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/31_Pernikar_VUTBR.pdf>.

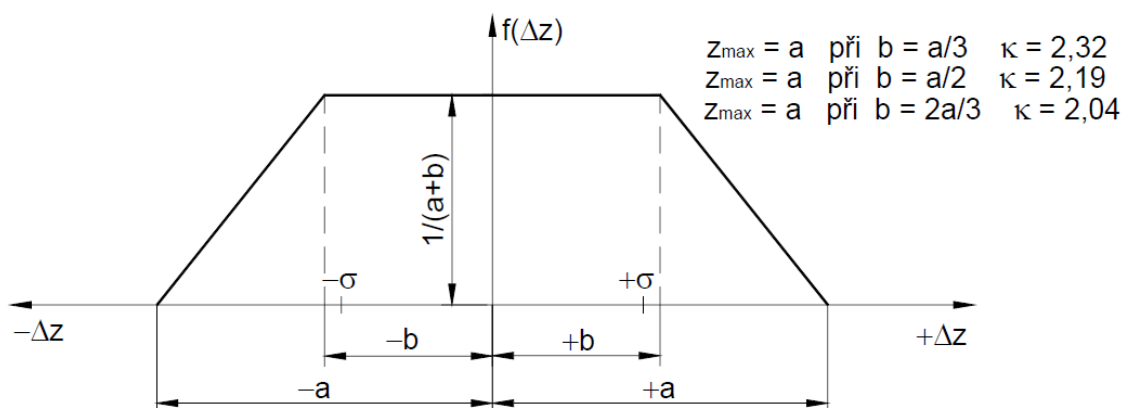
Bimodální (Diracovo) rozdělení		
Z _{max}	<i>κ</i>	Aplikace
a	≈1,41	Pravděpodobnost v rozsahu ±b rovnoměrná a pak lineárně klesá k mezím ±a
		Tam, kde je rozdělení ohraničeno (v rozsahu ±a)
Legislativní zdroje		Poznámka
TPM 0051-93	X	
VDA 5		
EA 4/02		



Obrázek A4- Bimodální (diracovo) rozdělení

Zdroj: PERNIKÁŘ, Jiří. HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI KONTROLNÍCH PROSTŘEDKŮ. *Kvalita a Geometrické specifikace produktů* [online]. 2000, 31, [cit. 2011-05-25]. Dostupný z WWW: <http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/31_Pernikar_VUTBR.pdf>.

Lichoběžníkové rozdělení		
$Z_{\max}$	κ	Aplikace
a	$\approx 1,96(b=a/3)$	teplota regulovaná klimatizací s náhodnými výskyty mimo regulační meze
	$\approx 2,19(b=a/2)$	rovnoměrné rozdělení
	$\approx 2,32(b=a/3)$	
Legislativní zdroje		Poznámka
TPM 0051-93	X	
VDA 5		
EA 4/02		



Obrázek A5- Lichoběžníkové rozdělení

Zdroj: PERNIKÁŘ, Jiří. HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI KONTROLNÍCH PROSTŘEDKŮ. *Kvalita a Geometrické specifikace produktů* [online]. 2000, 31, [cit. 2011-05-25]. Dostupný z WWW: <http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/31_Pernikar_VUTBR.pdf>.

PŘÍLOHA Č. 4

Stanovení nejistoty systému vzhledem k teplotě			
Druh nejistoty		informace o nejis- totě	Výpočet nejis- toty
Nepřesnost snímání teploty u_{ta}			
u_{ta1}	Nepřesnost kalibrace	Z kalibračního listu	$u_{ta1} = \frac{U}{k}$
u_{ta2}	Nepřesnost k odečtu hodnoty	Z rozdělení pravděpodobnosti	$u_{ta2} = \frac{\Delta z_{max}}{\chi}$
u_{ta3}	Nepřesnost způsobená vlivem prostředí	Z rozdělení pravděpodobnosti	$u_{ta3} = \frac{\Delta z_{max}}{\chi}$
Nepřesnost z difference teploty oběžného media u_{tb}			
u_{tb1}	Nepřesnost z hlediska kalibrace	Z kalibračního listu	$u_{tb1} = \frac{U}{k}$
u_{tb2}	Nepřesnost z teploty oběžného media	Z rozdělení pravděpodobnosti	$u_{tb2} = \frac{\Delta z_{max}}{\chi}$
Nepřesnost způsobená zapisovacím zařízením u_{tc}		Z provedení experimentu	$u_{tc} = \frac{s}{\sqrt{n}}$
Nepřesnost plynoucích z nepřímých vlivů u_{td}			
u_{td1}	Nepřesnost kalibrace	Z kalibračního listu	$u_{td1} = \frac{U}{k}$
u_{td2}	Nepřesnost plynoucích ze statického tlaku	z rozdělení pravděpodobnosti	$u_{td2} = \frac{\Delta z_{max}}{\chi}$

Stanovení nejistoty systému vzhledem k průtoku			
Druh nejistoty		informace o nejistotě	Výpočet nejistoty
Nepřesnost snímání průtoku u_{pa}			
u_{pa1}	Nepřesnost kalibrace	Z kalibračního listu	$u_{pa1} = \frac{U}{k}$
u_{pa2}	Nepřesnost z odečtu hodnot	Z rozdělení pravděpodobnosti	$u_{pa1} = \frac{\Delta z_{max}}{\chi}$
Nepřesnost plynoucí z nepřímých vlivů u_{pb}			
u_{pb1}	Nepřesnost kalibrace prvků	Z kalibračního listu	$u_{pb1} = \frac{U}{k}$
u_{pb2}	Nepřesnost plynoucí ze statického tlaku	Z rozdělení pravděpodobnosti	$u_{pb1} = \frac{\Delta z_{max}}{\chi}$
u_{pb3}	nepřesnost plynoucí z difference teploty oběžného media	Z rozdělení pravděpodobnosti	$u_{pb1} = \frac{\Delta z_{max}}{\chi}$
Nepřesnost způsobena zapisovacím zařízením u_{pc}		Z provedení experimentu	$u_{pc} = \frac{s}{\sqrt{n}}$

