

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

Ing. PETR FRANK

Teze disertační práce

Metodika zabezpečování optimální přesnosti měření
v souladu s metrologickou konfirmací

The Optimal Accuracy of Measurement Assurance
in Accordance with Metrological Confirmation

BRNO 2009

Obsah

1	ÚVOD	3
2	SOUČASNÉ POSTUPY ZABEZPEČOVÁNÍ PŘESNOSTI MĚŘENÍ.....	4
2.1	Nejistota měření	4
2.1.1	Nejistota a posuzování shody	5
2.1.2	Zdroje nejistoty měření	5
2.1.3	Nejistota typu A	6
2.1.4	Nejistota typu B	6
2.1.5	Kombinovaná nejistota	7
2.1.6	Rozšířená nejistota	7
2.1.7	Shrnutí problémů při vyjadřování nejistoty měření	7
2.2	Kalibrační intervaly	8
2.3	Konfirmační systém	9
3	ŘEŠENÍ PROBLÉMŮ VZNIKAJÍCÍCH PŘI ZABEZPEČOVÁNÍ PŘESNOSTI MĚŘENÍ	11
3.1	Nejistota měření - Návrh řešení vybraných problémů	11
3.1.1	Postup vyjadřování nejistoty měření	11
3.1.2	Určování a popis zdrojů nejistoty	12
3.1.3	Výpočet nejistoty typu A	12
3.1.3.1	Testy rozložení pravděpodobnosti	13
3.1.4	Výpočet nejistoty typu B	13
3.1.5	Vliv nelinearity na výslednou kombinovanou nejistota	14
3.1.6	Rozšířená nejistota	14
3.1.6.1	Výpočet stupňů volnosti nejistoty typu B	14
3.1.6.2	Stanovení koeficientu krytí	15
3.2	Kalibrační intervaly	16
3.2.1	Porovnání vybraných metod	16
3.2.1.1	Optimalizace nákladů na kalibrace	17
4	PRAKTICKÁ APLIKACE: ZKOUŠENÍ PŘEPĚŤOVÝCH OCHRAN.....	17
4.1	Analýza zdrojů nejistot	18
4.2	Výpočet nejistoty	20
4.2.1	Nejistota měření při kontrole parametrů generátoru	20
4.2.2	Nejistota měření zkoušení přepět'ové ochrany	21
4.3	Zhodnocení výsledků a doporučení dalšího vývoje měření přepět'ových ochran	22
5	ZÁVĚR	23
6	LITERATURA.....	24
6.1	Odborné publikace autora související s disertační prací:	25
7	PETR FRANK - ODBORNÝ ŽIVOTOPIS	26
8	ABSTRACT	27

1 ÚVOD

V současné době se průmyslová výroba potýká s požadavky na stále vyšší kvalitu. U posuzované produkce je potřeba transparentním a kvalifikovaným způsobem určit skupinu sledovaných parametrů výrobků, které se budou sledovat a řídit. Vzhledem k velkým nárokům na výslednou jakost začíná být problémem zajištění dostatečně přesného a objektivního měření vybraných parametrů. Jedná se o oblast, ve které se stále hledají nové metodiky nejenom pro měření, ale také pro vyjadřování výsledku tohoto měření. Právě vyjadřováním a zabezpečováním se zabývá tato disertační práce, která je primárně zaměřená na elektrotechnickou výrobu, ale její závěry se dají analogicky aplikovat i na jiná průmyslová odvětví.

Kvantitativní posuzování parametrů objektů, které člověka obklopují, bylo vždy neodmyslitelnou součástí jakékoliv výroby, výzkumu nebo také obchodu. V současné době nabývá však velice rychle na významu přesnost a spolehlivost s jakou jsme schopni měřit. Moderní průmyslová výroba a vědecký výzkum se totiž již bez kvalitních výsledků elektrotechnických měření neobejdou. Naměřené hodnoty slouží k další syntéze nebo k posuzování shody v kritických aplikacích. V obou těchto případech může nesprávně vyjádřená přesnost měření implikovat nesprávné závěry. Zaručená správnost měření a validita jeho výsledků je neodmyslitelná i v případech zajišťování bezpečnosti lidí a majetku.

V minulosti sloužila k posouzení přesnosti měření tzv. *chyba měření*, která udává odchylku naměřené hodnoty od hodnoty konvenčně pravé. Problémem však byla nejednotnost metodiky jejího výpočtu, a z toho plynoucí nejednoznačnost a špatná přenositelnost výsledků měření. V současné době nahrazuje chybu měření nový parametr vyjadřující přesnost a spolehlivost, a to tzv. *nejistota měření*. Cílem nejistoty je vyjádřit interval okolo naměřené hodnoty tak, aby v něm byla skutečná hodnota měřené veličiny obsažena s požadovanou pravděpodobností.

Při výpočtu nejistoty měření však vzniká celá řada problémů, protože v konkrétních případech je obtížné naplnit její obecnou definici. Problémy mohou vzniknout ve všech fázích postupu vyjadřování nejistoty měření. Není například zcela jasné, jakým způsobem zahrnout silné nelineární korelace vstupních veličin, jak stanovit stupně volnosti u informací získaných z vnějších zdrojů nebo jak volit rozdělení pravděpodobnosti. Právě analýza a vyřešení problémů vznikajících při vyjadřování nejistoty měření je prvním cílem této disertační práce.

Z hlediska zabezpečování výsledku měření je nejistota měření pouze jedním ze základních faktorů, důraz je ale kladen také na mnoho dalších činitelů. K zajištění kvality měření jako takového slouží tzv. *metrologická confirmace*. Metrologická confirmace je definována jako soubor činností požadovaných k zajištění takového stavu měřidla, aby vyhovovalo zamýšlenému používání. Stejně jako u vyjadřování nejistoty měření však vzniká problém s naplněním obecných požadavků v konkrétních případech. Proto je dalším cílem této práce analýza požadavků na metrologickou confirmaci a návrh postupu jejího zavedení do laboratoře.

Důležitou součástí konfirmačního systému je volba kalibračních intervalů měřicího vybavení, která je zároveň jedním z hlavních nástrojů zajišťování požadované přesnosti měření. Problematika volby délky kalibračního intervalu úzce souvisí s nejistotou měření, které zde slouží jako požadavek na přesnost a zároveň je nedílnou součástí protokolu o kalibraci. Existuje několik metod, jak kalibrační interval navrhnout. Tato disertační práce si klade za cíl porovnat v současnosti používané metody, zanalyzovat jejich nedostatky a následně zvážit možnosti jejich použití. Součástí řešení je také vypracování postupu pro výběr vhodné metody tak, aby byla uvažována nejistota měření a splněny všechny požadavky kladené metrologickou confirmací.

V současné době je při zajišťování přesnosti a spolehlivosti výsledků měření problémem nedostatek konkrétních návodů, které by obecné požadavky metrologické konfirmace uváděly do praxe. Částečně to vyplývá z komplexnosti problematiky, kvůli které není ani z principu možné předem detailně vypracovat obecné postupy pro všechny druhy měření. Proto by měl být pro každé měření zpracován na míru nový postup metrologické konfirmace tak, aby vyhovoval definovaným požadavkům. To vyžaduje hluboké znalosti metrologie, statistiky, počtu pravděpodobnosti a hlavně znalost daného měřicího systému a měřicí metody. V praxi se bohužel začalo uplatňovat přejímání postupů z jiných aplikací a zjednodušujících návodů. Zjednodušené postupy jsou použitelné pouze za určitých podmínek, a proto jejich používání není ve všech případech vhodné. Tato disertační práce si proto klade mimo jiné za cíl zjistit, za jakých podmínek lze konkrétní zjednodušení používat.

Řada laboratoří a podniků řeší dilema zavedení systému metrologické konfirmace pomocí outsourcingu či aplikace specializovaného softwaru. To však není vždy zárukou správného naplnění normativních a legislativních požadavků. Pokaždé je třeba provést analýzu všech předpokladů, a na základě ní navrhnout postup metrologické konfirmace, potažmo délku kalibračních intervalů a způsob vyjadřování nejistoty měření. Z tohoto důvodu je cílem této disertační práce rozbor všech faktorů, které mohou mít na implementaci konfirmačního systému vliv. Na základě tohoto rozboru, kterým identifikuje kritická místa, jsou pak doporučeny vhodné postupy zavedení a udržování konfirmačního systému.

Přínosem disertační práce je tedy vyřešení některých problémů, které mohou vzniknout při zabezpečování přesnosti výsledku měření, a to v celé šíři této oblasti, od vyjadřování nejistoty měření, přes návrh kalibračních intervalů, až po naplnění požadavků metrologické konfirmace. Součástí disertace je i praktická aplikace teoretických závěrů ve zkušební laboratoři výrobního podniku HAKEL spol. s r. o.

2 SOUČASNÉ POSTUPY ZABEZPEČOVÁNÍ PŘESNOSTI MĚŘENÍ

Současný stav v metrologii a standardizaci lze označit jako čas zavádění nových postupů. Jsou zde cíle – požadavky, a začínají se objevovat cesty – návody, jak těchto požadavků dosáhnout. Je zde však ještě celá řada pochybností, jak o cestách naplnění požadavků, tak o požadavcích samotných. Je ještě třeba zpracovat celou řadu problémů, a to na teoretické i praktické úrovni.

2.1 Nejistota měření

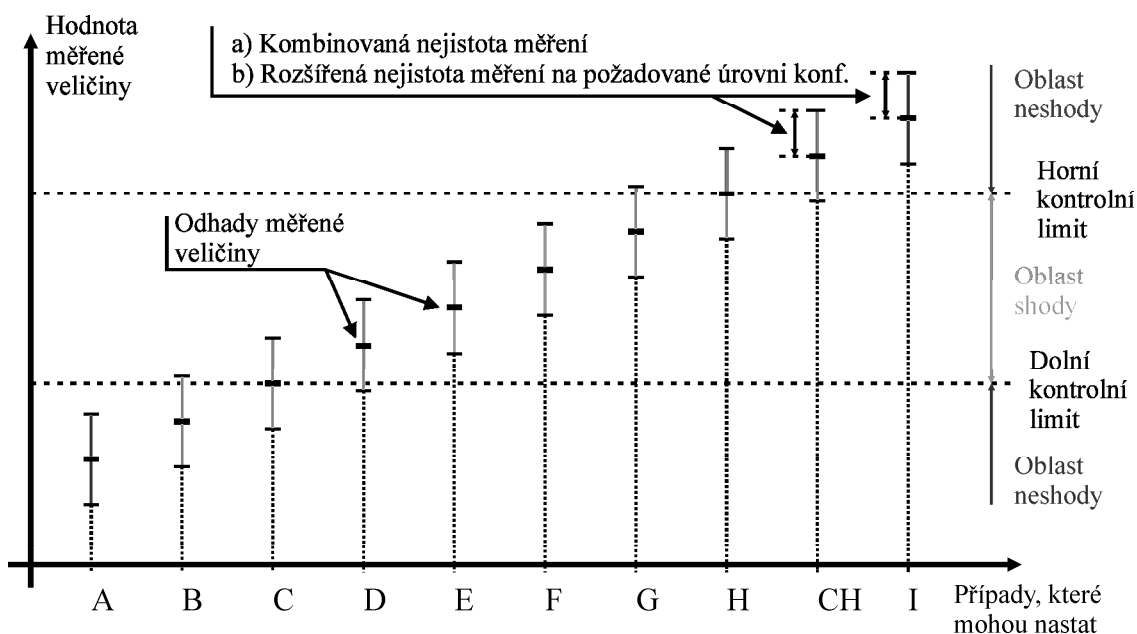
Definice nejistoty měření jako technického termínu a postup pro její vyjadřování vychází z dokumentu Mezinárodní organizace pro standardizaci „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“. V současné době je platná nejnovější verze tohoto dokumentu z roku 1995 [1], ve které jsou opraveny některé chyby staršího vydání. Tento dokument vznikl delší dobu jako reakce na požadavek pracovní skupiny BIMP a byl výsledkem práce jak BIMP, tak expertů z IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP a OIML. Již zmiňovaným přínosem tohoto dokumentu je zejména sjednocení metodiky vyjadřování nejistoty měření. Přes velmi pečlivé zpracování vyvstalo při zpracovávání nové problematiky několik sporných pasáží. Dokumentu je na jedné straně vytýkána malá teoretická rozpracovanost, a na straně druhé inženýři namítají, že i v aktuální podobě je „Guide“ nebo „GUM“, jak bývá [1] často nazýván, špatně aplikovatelný do praxe, a to právě pro svou obecnost. Příkladem takové kritiky je např. [3]. Některé hlasy, jako např. [4] dokonce napadají celý koncept nejistoty měření jako takové. Následující výklad a analýza vyjadřování nejistoty měření vychází právě z dokumentu GUM a většina problémů, které budou rozváděny, mají příčinu právě v neúplnosti, či na druhé straně komplikovanosti tohoto dokumentu. Přes tyto výhrady

zůstává faktem, že standardizace výpočtu nejistoty měření přispěla k celosvětově jednotnému způsobu vyjadřování přesnosti měření, a tím i ke kompatibilitě mezi státy a obory.

Současný stav si přesto žádá další vývoj, protože jakékoliv nejasnosti a chybné interpretace mohou roli nejistoty jako jednoznačného parametru výsledku měření zpochybnit. Nacházíme se teprve v počáteční fázi, kde je naznačen obecný směr, nikoliv však všechny konkrétní technologie postupů. Ty musí teprve vypracovat a potvrdit praxe. Následující text rozebírá vyjadřování nejistoty měření krok po kroku a analyzuje možnosti vzniku nejednoznačnosti v použité metodice.

2.1.1 Nejistota a posuzování shody

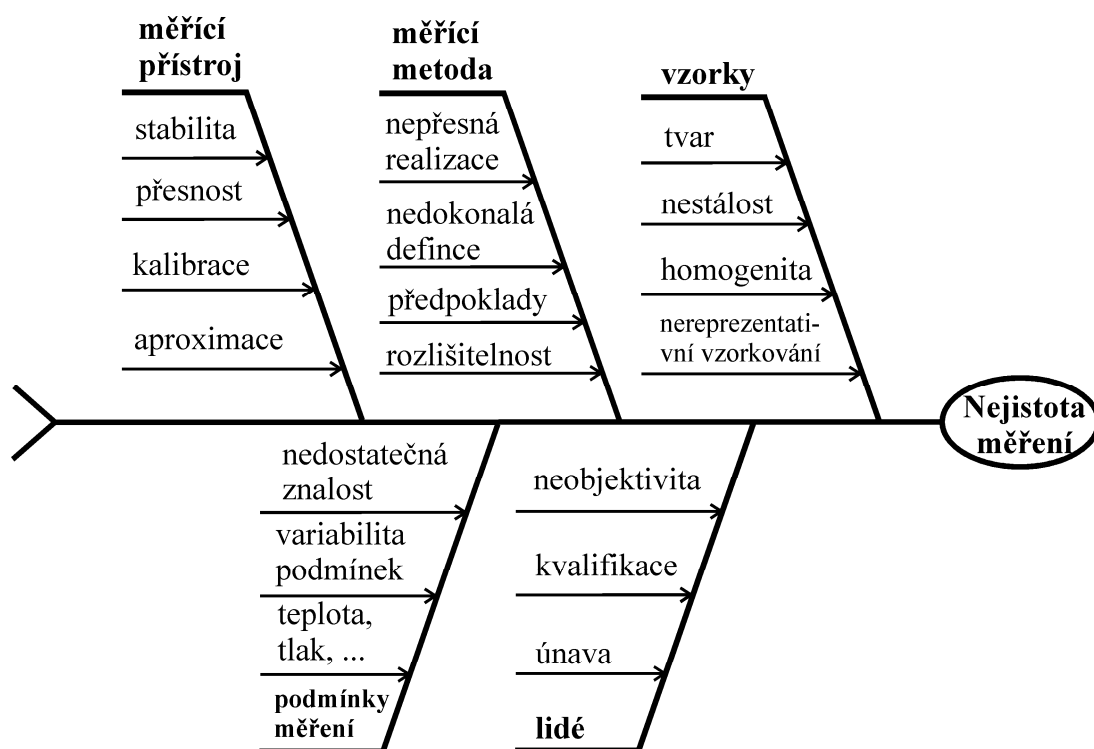
Nejistota měření má zásadní význam při posuzování shody, které v principu spočívá v porovnání naměřené hodnoty s požadavky na měřený parametr. Tento typ vyhodnocování je v praxi tou nejběžnější formou zpracování výsledků. V podstatě jde o to zjistit, zda měřený parametr překročil či nepřekročil určitou mez, nebo zda je v rozmezí stanoveném intervalem. Protože žádný výsledek měření nemůže být naprosto přesný, tak vznikají problémy s posuzováním výsledků, které se dostávají do blízkosti vymezené hranice neshody. Na Obr. 1 je zobrazena role nejistoty při posuzování shody.



Obr. 1: Role nejistoty měření pro posuzování shody

2.1.2 Zdroje nejistoty měření

Pro výpočet nejistoty měření je nutné identifikovat všechny její zdroje. Jsou to vlivy, které jsou příčinou naší pochybnosti o správnosti výsledku měření. V praxi existuje mnoho zdrojů nejistoty.



Obr. 2: Příklad Ishikawa diagramu pro identifikaci zdrojů nejistot měření

Pro každý významný zdroj nejistoty se musí vyjádřit příslušná nejistota.

2.1.3 Nejistota typu A

Pro nejistoty typu A je ve většině případů nejdostupnějším odhadem očekávané hodnoty veličiny q , která se náhodně mění a pro kterou bylo získáno za stejných podmínek měření n nezávislých měření q_k , aritmetický průměr nebo střední hodnota $\bar{q}$ z n měření.

Obecný vztah pro nejistotou typu a je:

$$u_A = \sqrt{\frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(x_i - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j \right)^2}{n}}. \quad (2.1)$$

2.1.4 Nejistota typu B

Řádné určení standardní nejistoty typu B vyžaduje shromáždění dostupných informací pro získání přehledu založeného na zkušenostech a všeobecných znalostech, které mohou být získány praxí

S vyjadřováním nejistoty typu B mnohem více problémů než u typu A. Je zde totiž mnohem větší prostor pro odborné úsudky, které se mohou značně lišit. Pokud není toto zahrnuto do výsledné rozšířené nejistoty, tak to může být příčinou různých výsledků pro stejné měření a tím prakticky padá význam nejistoty jako jednoznačného parametru měření. Proto je důležité slovně popsat způsob výpočtu nejistoty typu B, aby bylo jasné, co vše je v této nejistotě zahrnuto.

2.1.5 Kombinovaná nejistota

Kombinovanou standardní nejistotou se označuje míra nejistoty výsledku měření, která byla získána z několika složek nejistot.

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i^{(k)}} \frac{\partial f}{\partial x_j^{(k)}} u(x_i^{(k)}, x_j^{(k)}) \quad (2.2)$$

2.1.6 Rozšířená nejistota

Rozšířená nejistota leží na požadované pravděpodobnostní hladině, za pomoci koeficientu krytí

$$U = k \cdot u_c(y) \quad (2.3)$$

Problémem ale je, že koeficient krytí ve skutečnosti není roven koeficientu normálního rozložení, takže nemůžeme bez jakékoliv další analýzy prohlásit, že $k = 2$ pro 95,45 % a $k = 3$ pro 99,73 %. V praxi se tento problém řeší za pomoci Studentova rozdělení pravděpodobnosti, a koeficient krytí se pak spočítá jako koeficient Studentova rozdělení

$$U_p = k_p u_c(y) \approx t_p(v) u_c(y) \quad (2.4)$$

Podle [1] je pro výpočet efektivních stupňů volnosti v_{ef} doporučen tzv. *Welch-Satterthwaitův vztah*. Podle něj se efektivní stupně volnosti v_{ef} vypočítají jako

$$v_{ef} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}}, \text{ kde } v_{ef} \leq \sum_{i=1}^N v_i \quad (2.5)$$

2.1.7 Shrnutí problémů při vyjadřování nejistoty měření

Provedená analýza odhalila několik bodů při vyjadřování nejistoty, při kterých mohou vzniknout problémy. Problémy jsou přitom myšleny komplikace takového charakteru, které mohou způsobit to, že výsledná vypočítaná nejistota nebude odpovídat skutečné přesnosti měření. Odhalená úskalí jsou:

- identifikace všech podstatných zdrojů nejistoty měření (problém spočívá v systematickém určování zdrojů, které jsou specifické pro různá měření)
- volba správného předpokladu rozložení pravděpodobnosti pro výpočet složek nejistoty typu A (problém spočívá v odhadu rozložení z omezeného souboru dat, a také v metodickém zařazení odhadu rozložení do procesu výpočtu nejistoty měření)
- stanovení nejistoty typu B (protože složky nejistoty typu B jsou „všechny složky, které nejsou typu A“, tak je spektrum problémů, které mohou vzniknout široké. V podstatě se musí pro každou složku stanovit metoda, jakou nejistota odhadne)
- stanovení počtů stupňů volnosti pro složky nejistoty typu B (stanovení stupňů volnosti je problém, protože při zvolené metodě se může zdát, že je nekonečné, ale přitom můžeme jinou metodou dospět k úplně jiné nejistotě a stupně volnosti by tedy měly být malé)
- odhalení významné korelace a její správné zahrnutí do výpočtu nejistoty měření (problém vzniká při stanovení míry a způsobu korelace. Korelace totiž nemusí být

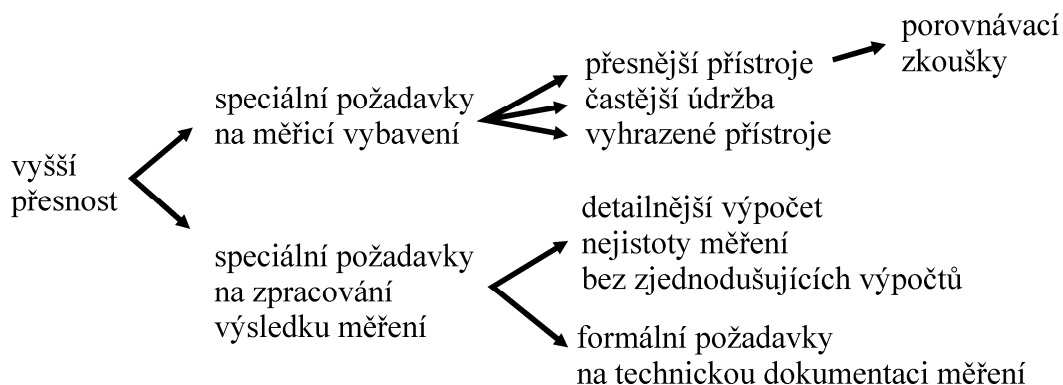
lineární a také se často stává, že je dostatek dat vstupních veličin, ale není možné určit, které dvojce hodnot spolu souvisejí. Vzniká také otázka, jak rozpoznané nelineární korelace zahrnout do výpočtu nejistoty)

- správné stanovení kombinované nejistoty měření (kromě zmíněného problému s korelacemi vstupních veličin existuje také otázka, zda je dostatečný vztah s derivacemi prvního řádu)
- stanovení rozšířené nejistoty tak, aby výsledný interval $U \pm y$ obsahoval pravou hodnotu měřené veličiny opravdu s požadovanou pravděpodobností (je třeba správně stanovit koeficient krytí, to znamená stanovit efektivní stupně volnosti kombinované nejistoty)

2.2 Kalibrační intervaly

Kalibrace je proces porovnávání měřicího přístroje s etalonem. Aby se zajistila spolehlivost přesnosti výsledků kalibrace, musí mít kalibrace prokazatelnou návaznost. Zásadním problémem je stanovení, s jakou frekvencí je třeba kalibraci provádět. Hlavním faktorem, který určuje, jak často se kalibrace bude provádět, je požadovaná přesnost měření.

Kalibrační měření je v principu stejné jako každé jiné měření, přesto jej lze určitým způsobem považovat za samostatnou oblast. Liší se specifickým účelem, ze kterého vyplývají speciální požadavky, zejména na přesnost a správnost provedení měření. Také legislativa rozlišuje zkušební a kalibrační laboratoře.



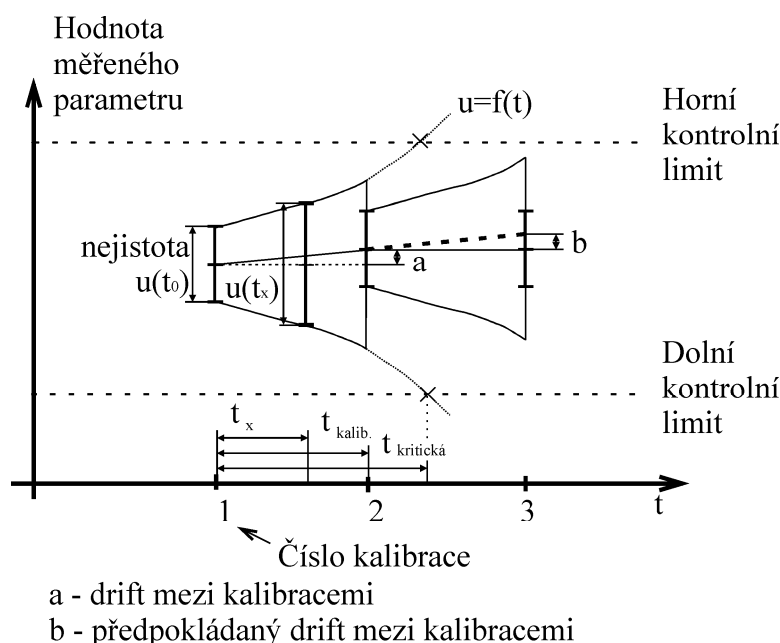
Obr. 3: Požadavky na kalibrační měření

V současnosti se pro určování kalibračního intervalu používají jak statistické, tak algoritmické metody. Statistické metody se pokoušejí řešit problém, jak udržet měřicí vybavení v mezích stanovených konfirmačními požadavky, resp. v mezích stanovených požadavky na přesnost a správnost výsledku měření tak, že se snaží najít takový kalibrační interval, který by odpovídal určité pravděpodobnosti, kdy výsledná nejistota zůstane v požadovaných mezích i na konci kalibračního intervalu. Statistické metody vyžadují data z rozsáhlé kalibrační historie, a proto se obtížně implementují do praxe. Na druhou stranu ve spojení s výpočetní technikou jsou statistické metody silným nástrojem pro určování kalibračních intervalů.

Algoritmické metody pracují většinou na principu rozhodování o zkrácení, či prodloužení kalibračního intervalu na základě naměřených údajů v průběhu kalibrace. Tyto metody mají v současné době široké uplatnění, ale také řadu nevýhod. Často je k dispozici tak malá kalibrační historie, že výsledky algoritmických metod lze považovat za náhodné.

Základní problém tkví v tom, že reálná měření nikdy neprovádíme v čase kalibrace, ale dlouho po ní. Jak už bylo napsáno výše, tak měřicí vybavení mění svoje vlastnosti s časem, to

znamená, že nejistota vycházející z kalibrace platí pouze v čase kalibrace a pak zákonitě stoupá.



Obr. 4: Role nejistoty a jejího růstu v procesu určování kalibračních intervalů

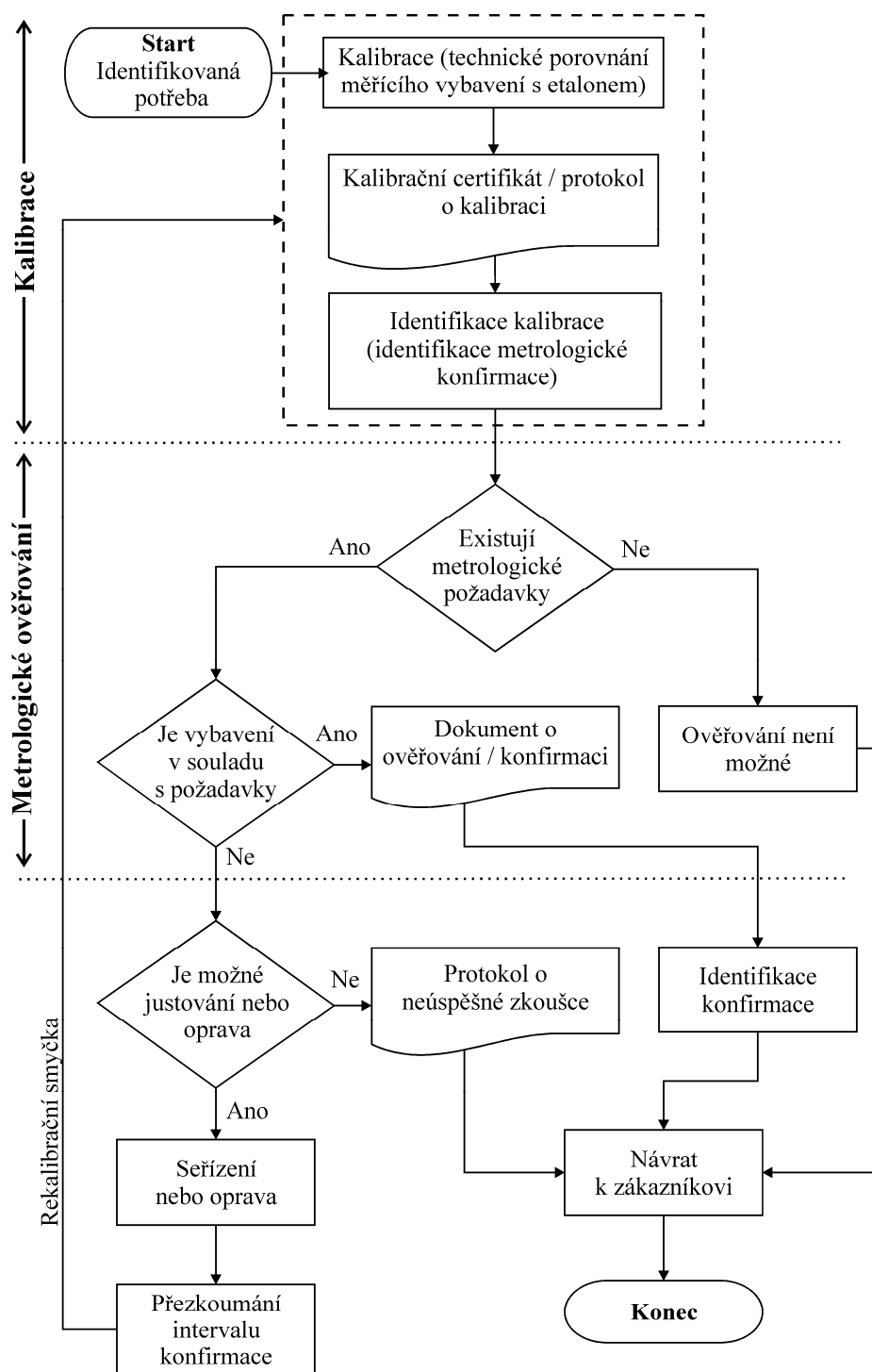
V praxi existuje mnoho metod určování kalibračních intervalů. Mezi nejsložitější patří metoda užívající Weibullova rozložení a tzv. metoda A3.

Při návrhu kalibračních intervalů se vždy potýkáme s nedostatkem údajů. Tudíž je každá metoda výpočtu kalibračního intervalu odhadem. Naším cílem je zajistit metrologické charakteristiky měřidla s požadovanou pravděpodobností. Pochybnosti nás nutí kalibrační interval zkracovat, přestože to sebou nese zvýšené náklady.

2.3 Konfirmační systém

Konfirmační systém je takový systém, který zajišťuje přesnost a správnost měření. Konfirmační systém nahlíží na měření z procesního hlediska, ale to neznamená, že je jednoduchým systémem zabývajícím se měřením jen obecně. Naopak. Konfirmační systém zajišťuje problematiku měření v celé šíři a do nejmenších podrobností.

Na následujícím Obr. 5: je znázorněno schéma celého procesu metrologické konfirmace, které osvětluje souvislost jeho jednotlivých částí.



Obr. 5: Proces metrologické konfirmace měřicí techniky (zpracováno dle [2])

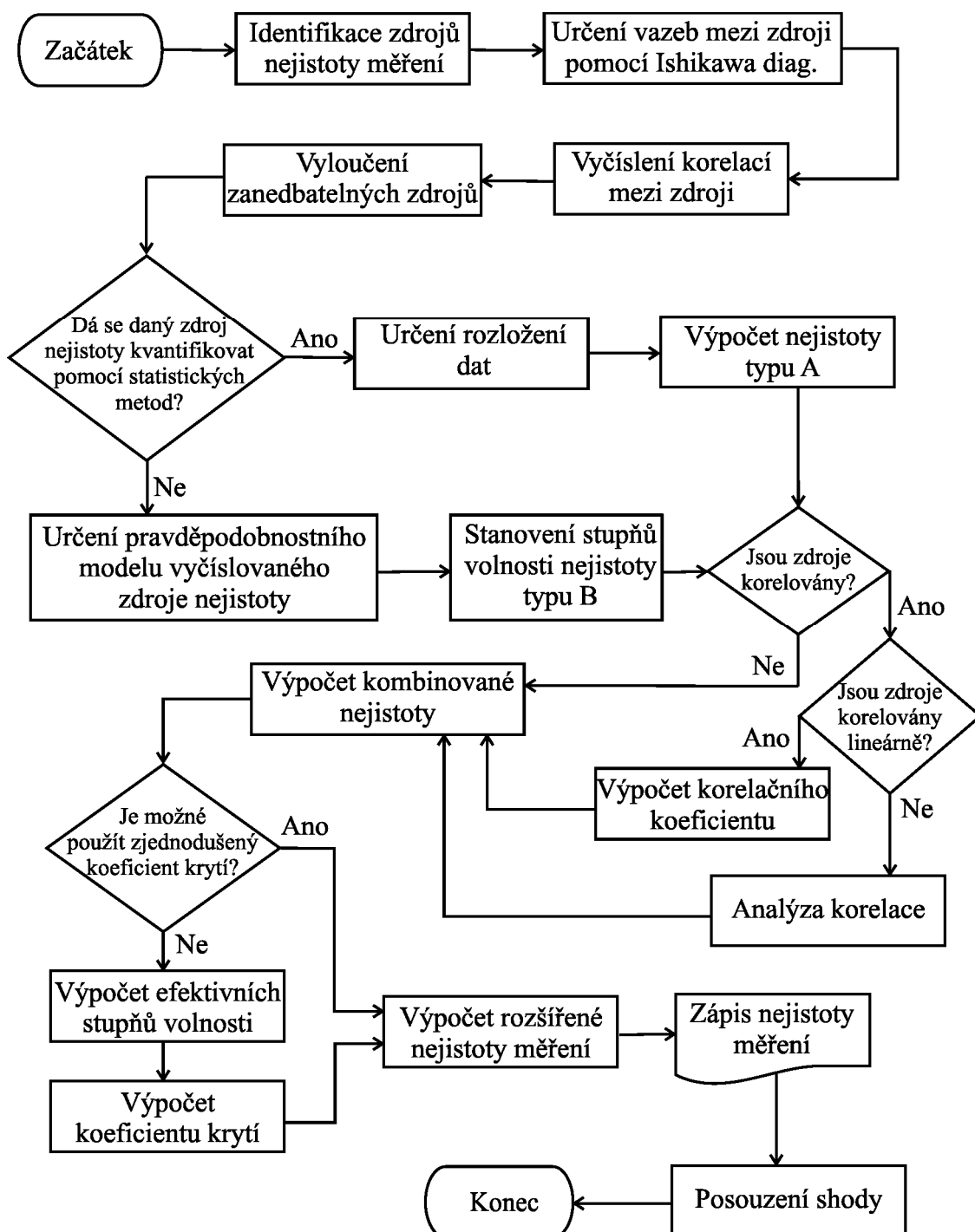
Konfirmační systém je třeba vybudovat, řídit a neustále udržovat. Komplexní návod pro vybudování konfirmačního systému není možno vypracovat, už z toho důvodu, že procesy měření se budou významně lišit podle oblasti aplikace a požadované přesnosti. Z metrologického hlediska je nejpodstatnější částí konfirmačního systému kalibrace a vyjadřování přesnosti měření. Jakým způsobem tyto oblasti řídit a vyřešit možná úskalí, je rozebráno v syntetické části disertační práce.

3 ŘEŠENÍ PROBLÉMŮ VZNIKAJÍCÍCH PŘI ZABEZPEČOVÁNÍ PŘESNOSTI MĚŘENÍ

3.1 Nejistota měření - Návrh řešení vybraných problémů

3.1.1 Postup vyjadřování nejistoty měření

Postup vyjadřování nejistoty měření, se dá popsat následujícím vývojovým diagramem.



Obr. 6: Vývojový diagram výpočtu nejistoty měření se všemi důležitými prvky

3.1.2 Určování a popis zdrojů nejistoty

Při identifikaci zdrojů nejistot může posloužit metoda 5-Why, ale musíme si dát pozor na její přímočarost, která sice pomůže odhalit kořen problému, ale může také přispět k přehlédnutí některých významných vedlejších vlivů. Proto musíme metodiku kombinovat s Ishikawa diagramem.

Při analýze zdrojů nejistoty se dopracujeme k různým příčinám, které se liší významem. Pokud budeme provádět tuto analýzu opakovaně pro další a další měření, tak zjistíme, že některé zdroje se často opakují. Dokonce i ty zdroje, které jsou specifické pro daný měřicí přístroj, se objevují v lehké variaci u jiných měření. Z toho vyplývá, že je možné sestavit takový seznam zdrojů nejistot, ve kterém by se nacházely všechny druhy zdrojů, které mohou být významné. Je třeba kontinuálně získávat informace od různě zaměřených odborníků, a tyto informace uchovávat a třídit. Hierarchie a vazby mezi jednotlivými zdroji nejistot jsou totiž a) věcí náhledu a za b) budou se měnit s tím, jak se bude seznam rozšiřovat.

Je možné, že se tímto směrem bude vývoj v budoucnu ubírat, ale předpokládám překážky hlavně v pochopení formulací v takovémto to živém univerzálním seznamu zdrojů nejistot. Jakmile přestane být v záplavě velkého množství popsaných zdrojů patrné, co se kterým vlastně myslí, nebo toto odlišení bude vyžadovat komplexní studium celého seznamu, tak je jasné, že v konečném důsledku by byla unikátní analýza nakonec účinnější než univerzální seznam. V souvislosti s rozšiřováním možností informačních technologií a sdílení informací může být ale cesta systematizování poznanych zdrojů nejistot nakonec hybným směrem vývoje.

3.1.3 Výpočet nejistoty typu A

Zkoumané vztahy pro odhad směrodatné odchylky, respektive rozptylu byly:

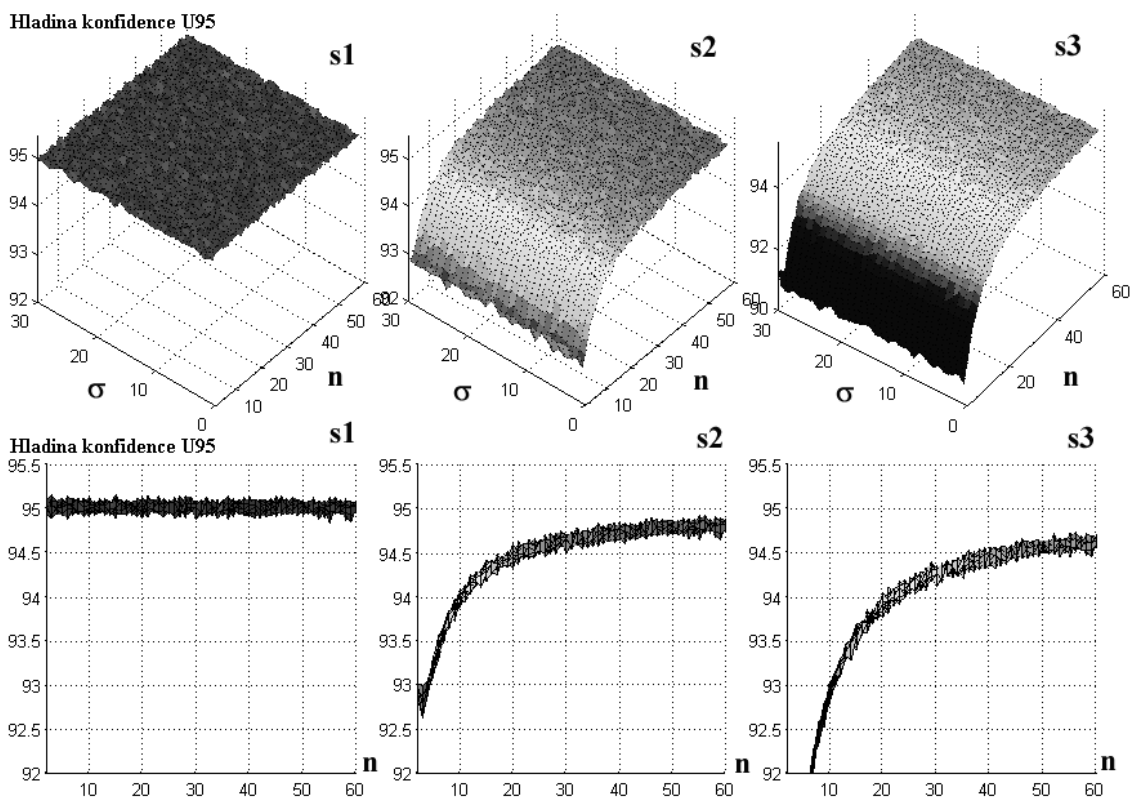
$$s_1 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (3.1)$$

$$s_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (3.2)$$

$$s_3 = \frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (3.3)$$

hodnoty dostatečné z hlediska relevantních dat, ale další analýzu, která by měla z 1 získán tak, že byly dány dohromady kladné i záporné odchylky. Teoreticky by totiž měly být stejné a jejich sdružení v jisté míře kompenzuje nízký počet opakování.

Na Obr. 7 jsou zobrazeny dosažené konfidenční hladiny pro různé kombinace počtu měřených hodnot a směrodatných odchylek sledovaného procesu. Posuzovaná rozšířená nejistota měření byla počítána na cílovou hladinu pravděpodobnosti 95 %. Definici rozšířené nejistoty dostal pouze výpočet, při které byl použit pro odhad standardní odchylky vzorec (3.1). Neznamená to apriori, že jsou metody (3.2) a (3.3) nesprávné, znamená to pouze, že jsou nepoužitelné k výpočtu nejistoty měření dle postupů v [1].



Obr. 7: Konfidenční hladina rozšířené nejistoty U_{95}

3.1.3.1 Testy rozložení pravděpodobnosti

Normalitu rozložení je ale potřeba prověřovat pomocí testování. Metodika testu se bude lišit zejména podle počtu naměřených vzorků. Od metodiky a zkoumaných dat se dále odvíjí spolehlivost testu. Pro měření je obzvláště vhodný tzv. W-test, který se používá pro rozsah 3-50 hodnot.

V disertační práci je na praktickém příkladu ukázáno, že kontrola normality rozložení naměřených dat nemusí být složitou záležitostí a lze ji aplikovat do praxe jako běžnou součást výpočtu nejistoty

3.1.4 Výpočet nejistoty typu B

Výpočet nejistoty typu B je obecně náročnější než výpočet nejistoty typu A, protože klade zvýšené požadavky na praktické zkušenosti s používaným měřicím vybavením. Protože při většině měření drtivě převažuje nejistota typu B nad nejistotou typu A, tak právě způsob odhadu nejistoty typu B určuje velikosti výsledné rozšířené nejistoty. Proto je potřeba věnovat mu patřičnou pozornost.

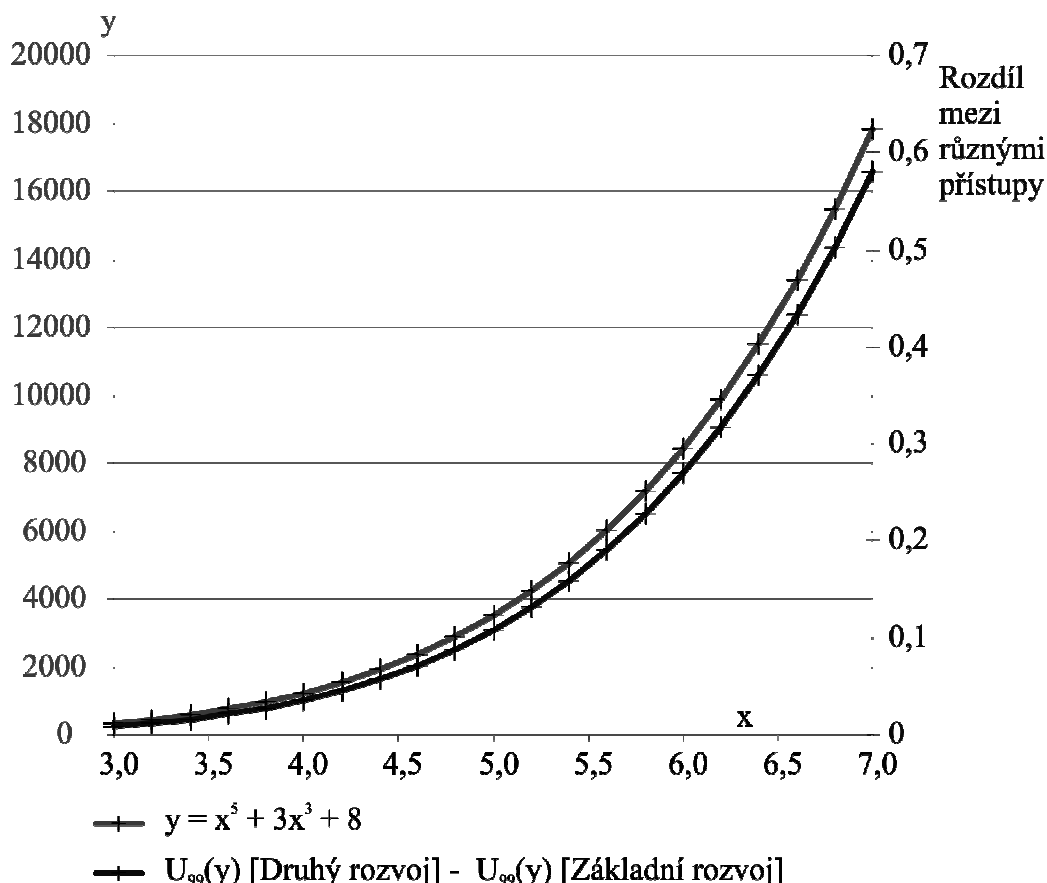
Vodítkem při odhadu rozložení pravděpodobnosti může být také teoretická analýza použité měřicí metody. Pokud zanalyzujeme jednotlivé součásti měřicího zařízení a jejich vlivy na výsledek měření, tak v souhrnu dostaneme poměrně přesnou představu o tom, jak bude rozložena výsledná chyba měření. Čím více vlivů do měření vstupuje, tím obtížnější je rozložení odhadnout. Při praktických měřeních se tento velký počet neznámých vlivů v konečném důsledku sdružuje a zjednodušuje.

3.1.5 Vliv nelinearity na výslednou kombinovanou nejistotu

Disertační práce zkoumá vliv nelinearity na výpočet kombinované nejistoty. Při nelinearitách se teoreticky může uplatňovat člen:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j} \right) + \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial^3 f}{\partial x_i \partial x_j^2} \right] u^2(x_i) u^2(x_j) \quad (3.4)$$

Analýza prokázala, že vliv tohoto členu na výslednou nejistotu bude ve většině případů zanedbatelný. Viz konkrétní případ na Obr. 8.



Obr. 8: Výstupní veličina y a absolutní rozdíl mezi aproximacemi při výpočtu nejistoty.

Disertace se též zabývá vlivem vzájemné nelineární korelace vstupních veličin. S tím, že řešením tohoto problému může být kompletní matematický model nebo naopak velice jednoduchá inženýrská analýza maximálního možného vlivu.

3.1.6 Rozšířená nejistota

Zásadní problémem je stanovení správné míry tohoto rozšíření, tedy koeficientu krytí k . Při jeho určování je potřeba nejdříve stanovit stupně volnosti pro každou vstupní nejistotu a z nich pak stanovit efektivní stupně volnosti

3.1.6.1 Výpočet stupňů volnosti nejistoty typu B

V praxi rozšířeným zjednodušením je používání nekonečných stupňů volnosti pro nejistotu typu B (viz [5]). To může být velice zavádějící a nepravdivé. Možným řešením je:

- Nepoužívat nekonečné stupně volnosti, pokud je to alespoň trochu možné, a nějakou cestou se pokusit o výpočet stupňů volnosti. Jako vhodná se jeví metoda doktora Castrupa, jejíž popis byl uveřejněn v [7] a [8]. Jinou možností je použití přístupu doktora Halla [9], při kterém pro odhad nejistoty měření využívá metodu Monte Carlo.
- Když nekonečné stupně volnosti použijeme, tak musíme zajistit věrohodnost nejistot typu B. Toho můžeme dosáhnout pomocí kalibrace, znalostí rozdělní možné chyby a někdy nadhodnocením nejistoty.

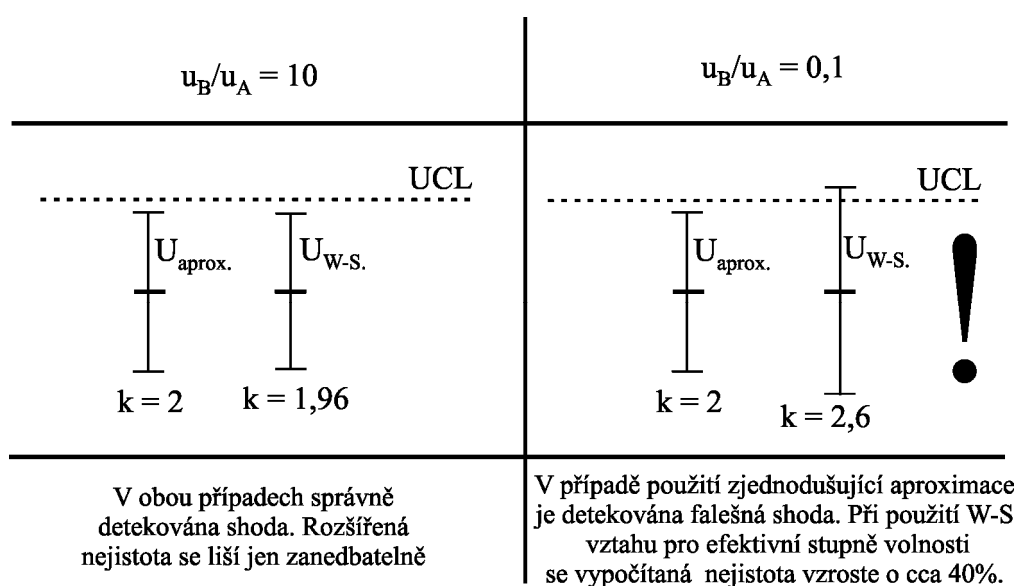
3.1.6.2 Stanovení koeficientu krytí

V praxi se používá rozšířená aproximace $k = 2$ pro 95% a $k = 3$ pro 99% úroveň confidence. Disertační práce grafickým řešením dokázala, že toto může být v některých případech zavádějící. Výsledkem práce je jasné stanovené použitelnosti této aproximace.

Tab. 3.1: Použitelnost aproximace koeficientu krytí v případě přímých měření

poměr u_B / u_A	Použitelnost aproximace koeficientu krytí ($k = 2$ pro $p = 95\%$)
$<2; \infty)$	plná
$<1; 2)$	pro $\nu_A, \nu_B \geq 15$
$<0,5; 1)$	pro $\nu_A, \nu_B \geq 50$
$<0; 0,5)$	nepřípustná

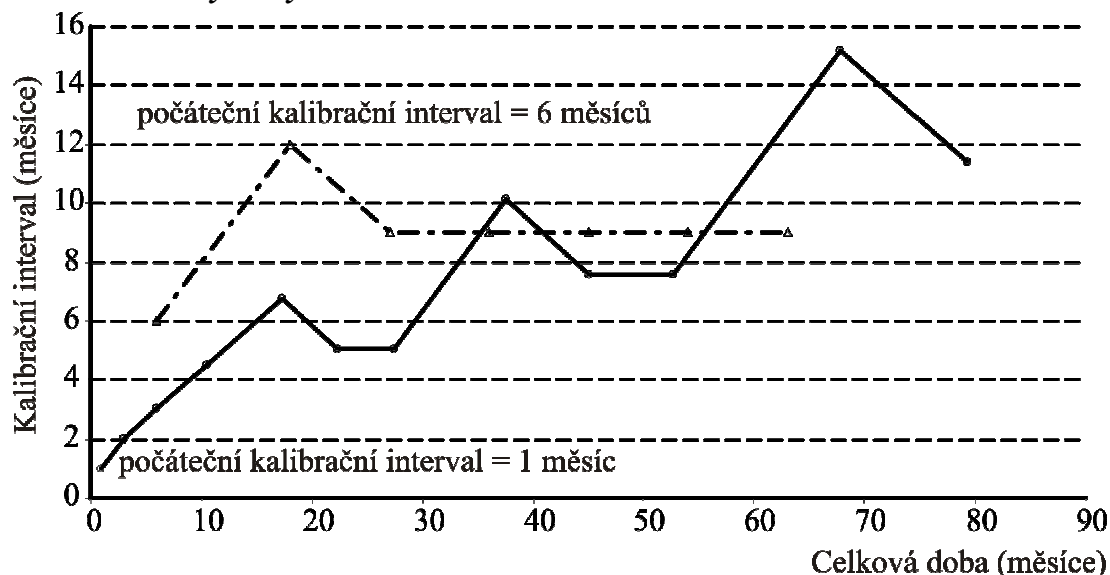
Na Obr. 9 je vidět, že pokud nastane případ, kdy převládá podíl nejistoty typu B, což je v praxi nejčastější situace, tak je rozdíl mezi zjednodušujícím $k = 2$ a exaktně vypočítaným koeficientem krytí zanedbatelný. Pokud ale bude mít nejistota typu A nad nejistotou typu B navrch, nelze zjednodušení $k = 2$ bez analýzy používat, protože může dojít k podhodnocení rozšířené nejistoty. Po pochopení tohoto problému lze pro rozhodnutí o použitelnosti koeficientu krytí $k = 2$ používat uvedenou tabulku Tab. 3.1.



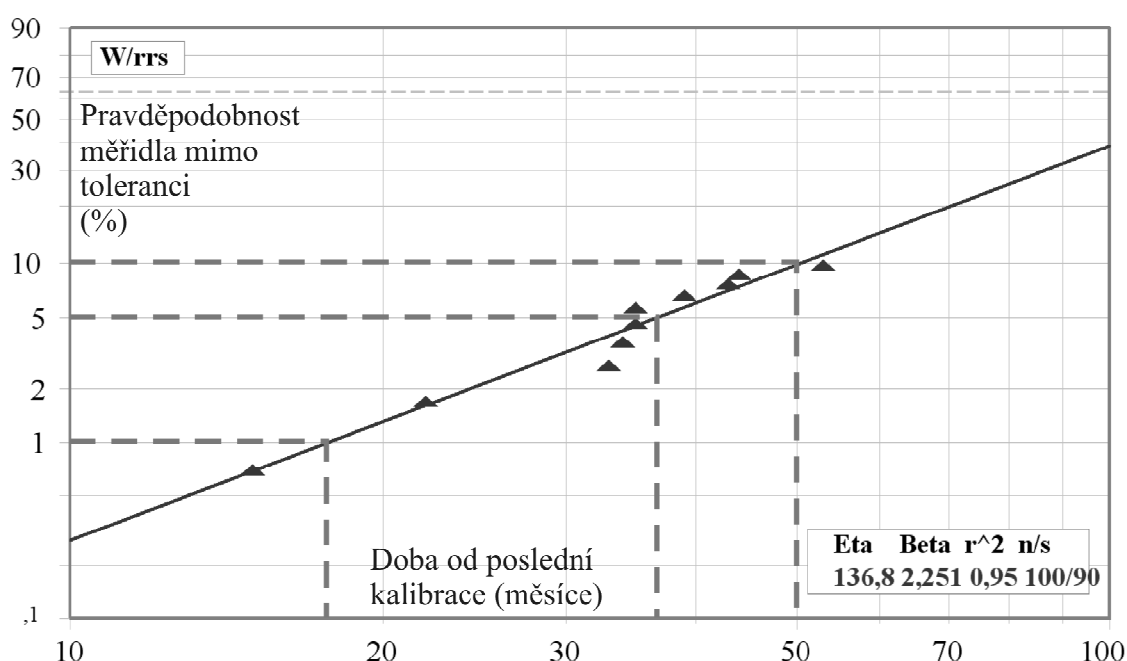
Obr. 9: Porovnání rozšířených nejistot, určených na základě aproximovaného a vypočteného

3.2 Kalibrační intervaly

3.2.1 Porovnání vybraných metod



Obr. 10: Vývoj kalibračních intervalů pomocí algoritmické metody A3 s různým počátečním krokem (1 měsíc; 6 měsíců)



Obr. 11: Kalibrační intervaly založené statistickým přístupem pomocí Weibullova rozložení

Uvedené srovnání potvrzuje výchozí premisu, že statistické metody mají zásadní problém ve sběru dat. Algoritmické metody mohou zase dávat výsledky, které jsou od reálné situace celkem vzdálené.

Z analýzy provedené v disertační práci plyne jasná potřeba kombinování více přístupů. Uvedené metody si nekonkurují, spíše se doplňují.

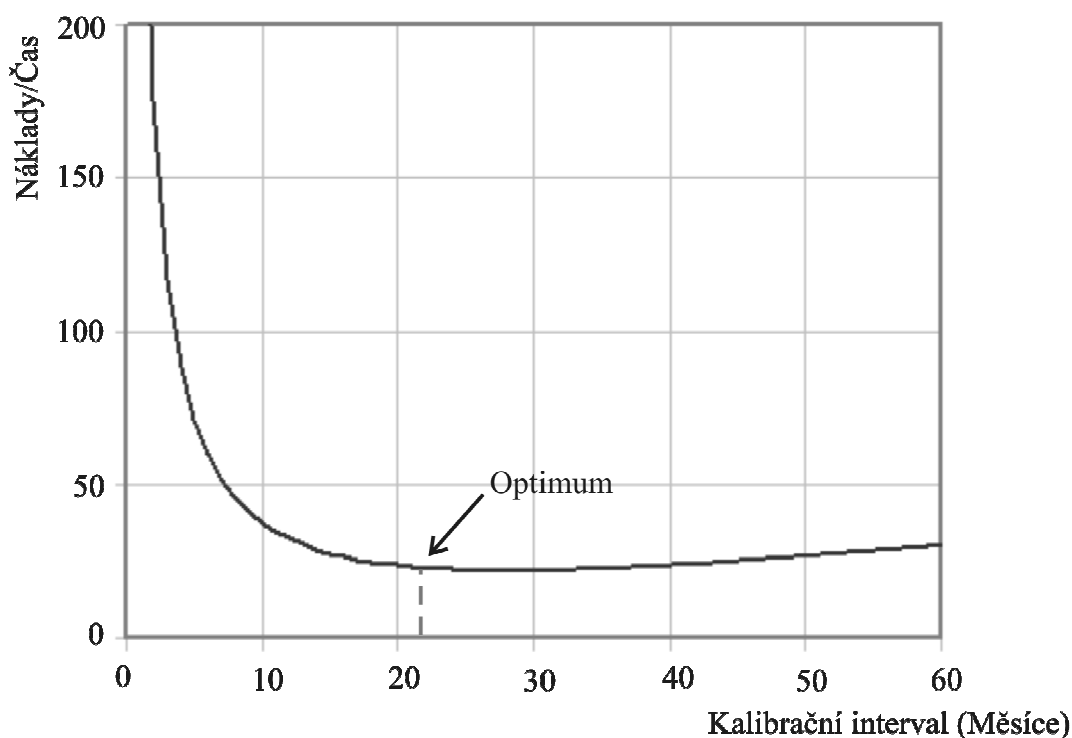
Dle mého názoru je nejvhodnější následující postup: Začít s pevnými kalibračními intervaly, které mají návaznost na ostatní procesy v podniku. V případě, že by některý přístroj nevyhověl, tak by bylo vhodné okamžitě nasadit algoritmickou metodu pro zkrácení intervalu. Zároveň by se v čtenějších intervalech prováděl test pomocí „metody černou skříňkou“. Data z tohoto testu by se zaznamenávala a po načerpání dostatečného množství porovnávacích měření by se použila jako vstup do statistické metody.

U kritických měřicích zařízení, u kterých špatně změřená hodnota může znamenat velkou finanční ztrátu, by se měla dávat přednost čtenějšímu kalibrování. Ideální by bylo zařazení ověřování metodou černé skříňky před každým měřením.

3.2.1.1 Optimalizace nákladů na kalibrace

Při výpočtu kalibračních intervalů se velice často opomíjí náklady na kalibraci.. Může se zdát, že z ekonomického hlediska je nejvýhodnější mít kalibrační intervaly co nejdelší, ne-li žádné.. Ve skutečnosti může být kratší interval mnohem levnější. Je to proto, že kromě nákladů spojených s kalibrací musíme počítat s náklady, které vzniknou vinou toho, že nekalibrované měřidlo způsobí v lepším případě reklamaci výrobku, v horším případě selhání výrobku v aplikaci s následkem havárie.

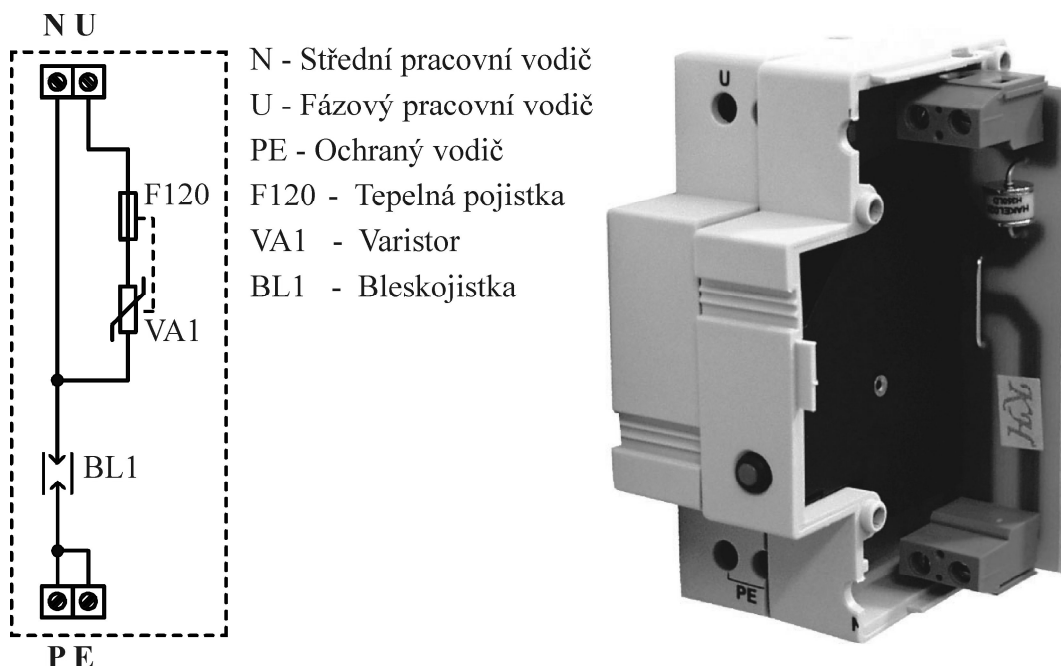
V disertační práci je rozebrán praktický příklad optimalizování nákladů dle nákladové funkce



Obr. 12: Závislost nákladů na kalibračním intervalu, vypracováno za pomoci [6]

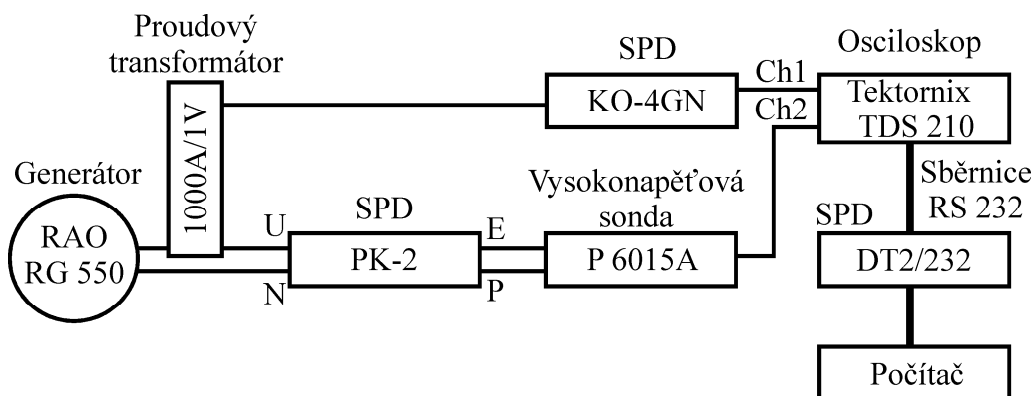
4 PRAKTICKÁ APLIKACE: ZKOUŠENÍ PŘEPĚŤOVÝCH OCHRAN

Pro demonstraci výpočtu nejistot měření bylo testování přepěťových ochrany. Konkrétně ochrany PK 2 třídy III fy HAKEL spol. s r. o.. Výrobce dal pro účely disertační práce k dispozici akreditovanou měřicí laboratoř.



Obr. 13: Vnitřní zapojení přepětové ochrany PK 2 spolu s fotografií vnitřku ochrany (Zpracováno z [10] a fotografie autora)

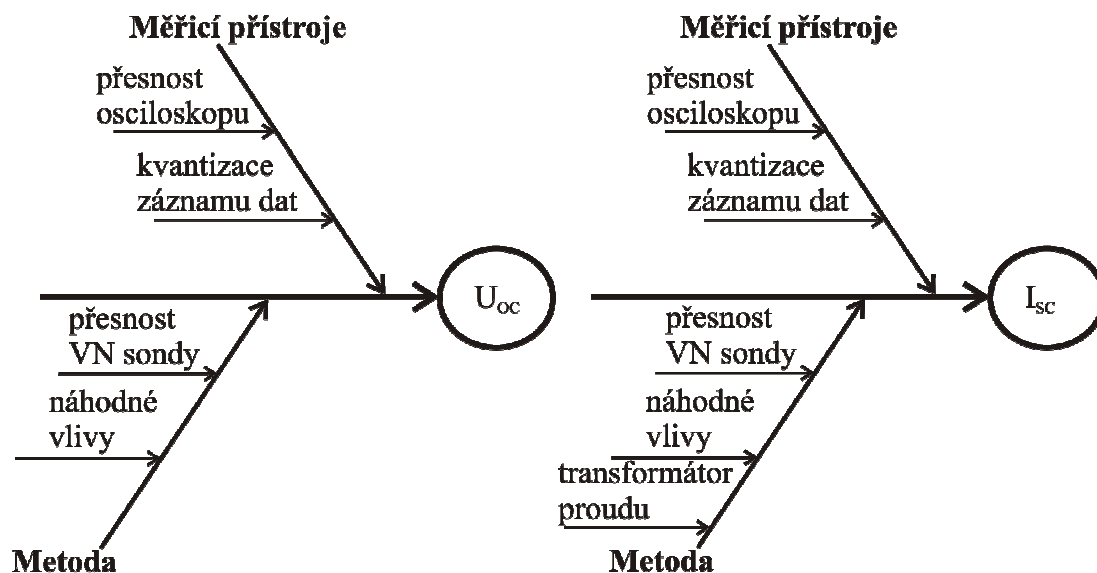
Ochrany tohoto typu se zkouší pomocí kombinovaného generátoru, který generuje přepětí, které se přivádí na vstup přepětové ochrany. Poté se sleduje rychlost reakce přepětové ochrany a průběh zbytkového napětí. Ochrany třídy III, se zkouší hybridním (kombinovaným) generátorem napětí při chodu naprázdno $U_{OC} 1,2/50 \mu s$ a zkratovým proudem $I_{SC} 8/20 \mu s$, přičemž je zadáno napětí při chodu naprázdno a tvar proudu je nastaven pomocí zkušební impedance.



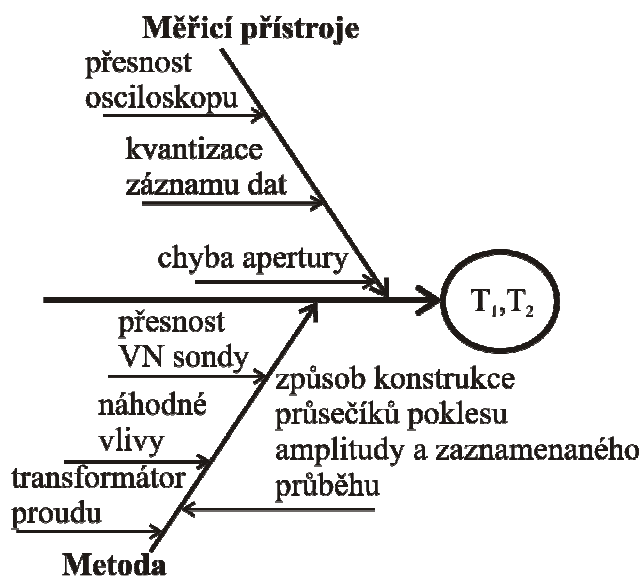
Obr. 14: Schéma zapojení měřicího pracoviště

4.1 Analýza zdrojů nejistot

Na následujících Obr. 15 a Obr. 16 jsou znázorněny Ishikawa diagramy pro stanovení zdrojů nejistoty U_{OC} , I_{SC} , T_1 a T_2 při ověřování správné funkce generátoru.



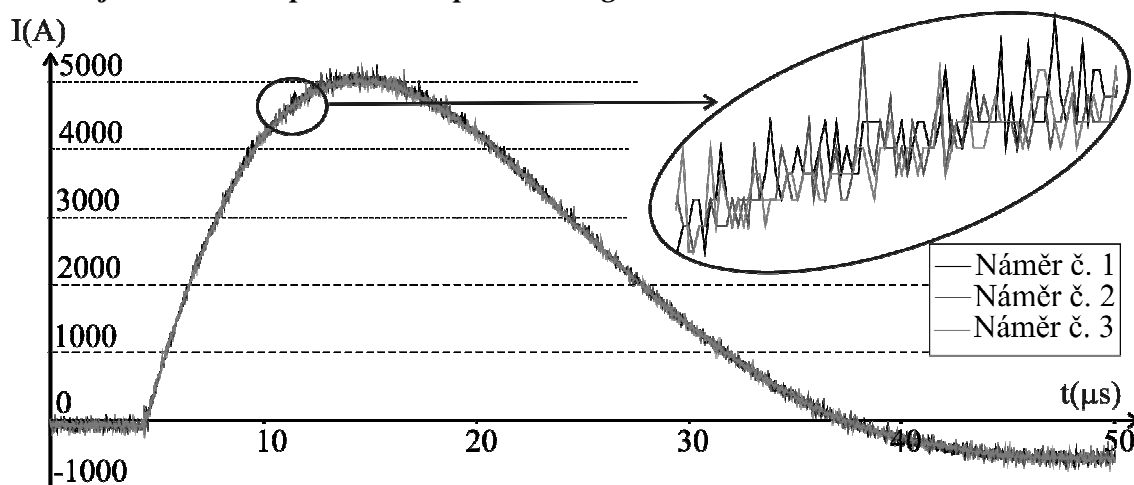
Obr. 15: Ishikawa diagram pro měření maximálního napětí a proudu při ověřování charakteristik kombinovaného generátoru



Obr. 16: Ishikawa diagram pro měření doby čela a týlu impulzu při ověřování charakteristik kombinovaného generátoru

4.2 Výpočet nejistoty

4.2.1 Nejistota měření při kontrole parametrů generátoru

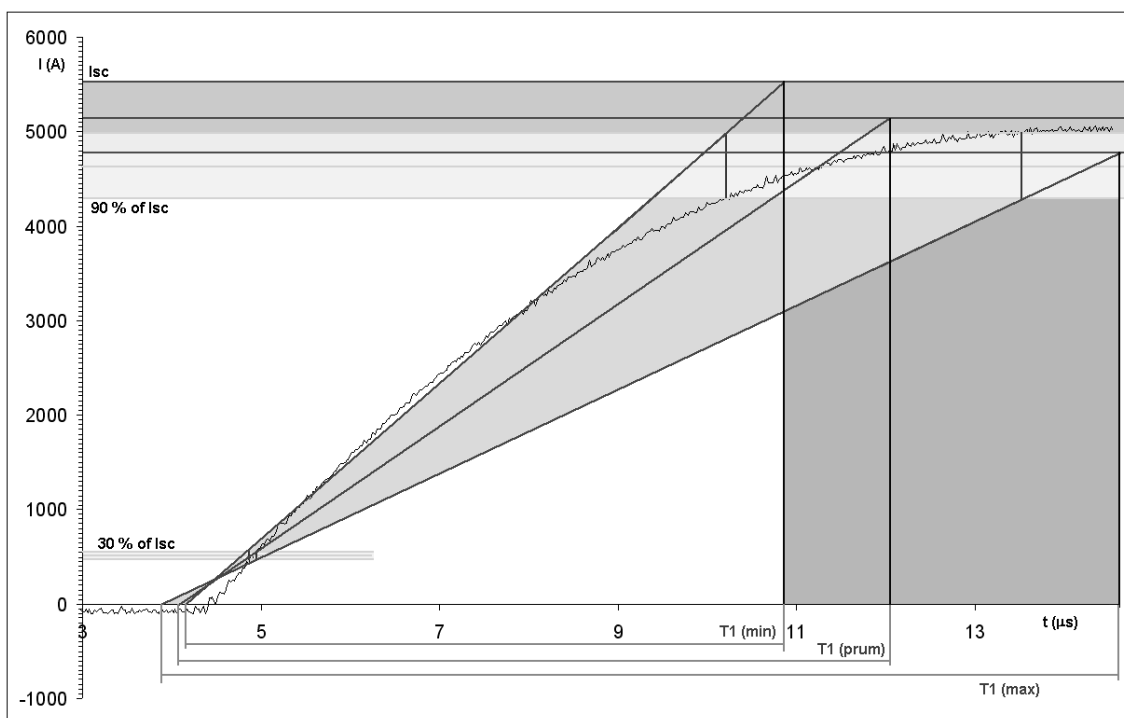


Obr. 17: Znáznornění průběhu proudu při kombinovaném režimu nakrátko a nabíjecím napětí 10 kV

Z obrázku vyplývá fakt, že všechny tři průběhy se překrývají. Náhodný faktor

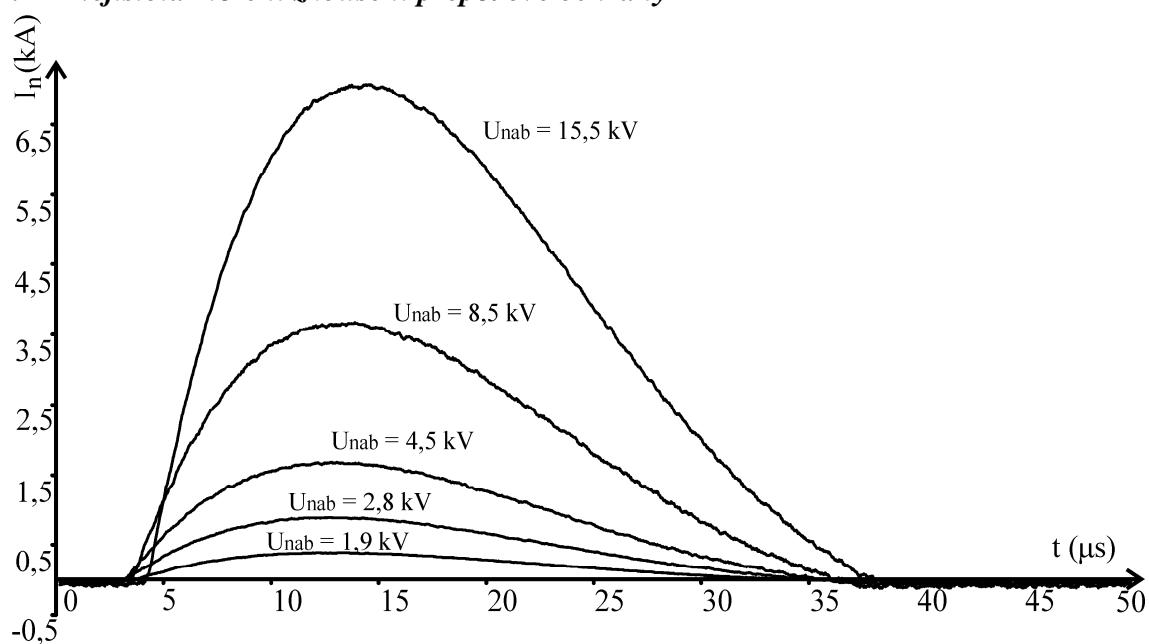
Tab. 4.1: Porovnání amplitud kombinované vlny s předepsanými požadavky

U_{nab}	Veličina	Hodnota	U_{95}	Shoda	Porovnání
1,6 kV	U_{oc} (V)	1352,00	41,60	Ano přímým porovnáním měřené hodnoty. Pomocí rozšířené nejistoty nelze plnou shodu prohlásit	Požadavek (1320 ± 40) V ┌──────────┴──────────┐ └──────────┬──────────┘ naměřeno (95% konf. interval)
10 kV	I_{sc} (A)	5146,67	375,44	Ano	Požadavek (5100 ± 500) A ┌──────────┴──────────┐ └──────────┬──────────┘ naměřeno (95% konf. interval)

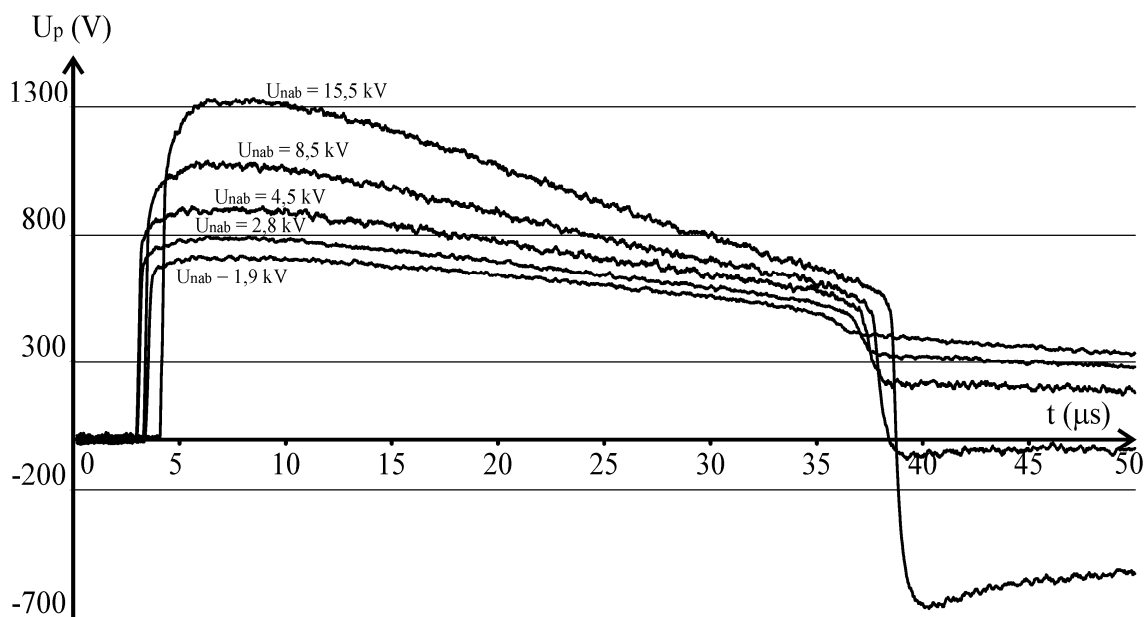


Obr. 18: Grafické řešení stanovení času T_1 včetně zahrnutí vlivu nejistoty měření (zobrazený průběh je průměrem všech třech provedených měření)

4.2.2 Nejistota měření zkoušení přepět'ové ochrany



Obr. 19: Průběh proudu při zapojení svorek U-N a při nabíjecích napětích 15,5; 8,5; 4,5; 2,8; 1,9 kV.



Obr. 20: Průběh zbytkového napětí při nabíjecích napětích 15,5; 8,5; 4,5; 2,8; 1,9 kV a zapojení svorek U-N.

V následující Tab 4.2 jsou přehledně vyjádřena odečtená maxima, tedy I_n a U_p pro všechny U_{nab} a všechny způsoby připojení testovaného vzorku.

Tab. 4.2: Výsledky měření zbytkového napětí přepětové ochrany PK-2 vč. 050553

	U_{nab}	I_n	U_p	kvant.	$U_{95}(U_p)$	$U_{95}(U_p)/U_p$ (%)		U_{nab}	I_n	U_p	kvant.	$U_{95}(U_p)$	$U_{95}(U_p)/U_p$ (%)
zap.	(kV)	(kA)	(V)	(v)	(V)		zap.	(kV)	(kA)	(V)	(V)	(V)	
UN	1,9	0,39	760	20	32,70	4,30	NU	1,9	0,46	780	20	33,14	4,25
UN	2,8	0,92	840	20	34,47	4,10	NU	2,8	0,98	860	20	34,92	4,06
UN	4,5	1,76	1000	40	55,33	5,53	NU	4,8	1,96	940	20	36,79	3,91
UN	8,5	3,76	1200	40	58,90	4,91	NU	9,0	4,00	1200	40	58,90	4,91
UN	15,5	7,36	1440	80	102,26	7,10	NU	15,5	7,20	1400	40	62,87	4,49
PEN	1,6	0,66	840	20	34,47	4,10	NPE	1,6	0,66	860	20	34,92	4,06
PEN	2,4	1,06	880	20	35,38	4,02	NPE	2,4	1,06	1040	20	39,21	3,77
PEN	5,0	2,48	960	40	54,67	5,69	NPE	4,9	2,44	1120	40	57,42	5,13
PEN	10,0	5,04	960	40	54,67	5,69	NPE	10,0	4,96	1120	40	57,42	5,13
PEN	19,0	9,40	1040	40	56,01	5,39	NPE	18,5	9,20	1080	40	56,71	5,25

V tabulce uvedené výsledky odpovídají ochranné úrovni SPD PK2, při různých nabíjecích napětích, přičemž je uvedena i rozšířená nejistota na konfidenční úrovni 95 %. Pro stanovení nejistoty byl použit koeficient krytí $k = 2$. Ochrana byla testována napětími vyššími, než je požadováno. V zapojení PEN, NPE poskytla ochrana PK2 deklarovanou úroveň U_p i při těchto zvýšených napětích a to i včetně rozšířené nejistoty.

4.3 Zhodnocení výsledků a doporučení dalšího vývoje měření přepětových ochran

Provedené měření prověřilo použitý generátor kombinované vlny a zkoušenou přepětovou ochranu PK2. Jak generátor, tak ochrana vyhověli předepsaným požadavkům.

V případě generátoru se ukázalo, že jeho ověření na vysoké konfidenční hladině je možné pouze kalibračním měřením. Kontrolní měření nedokáže prokázat plnou shodu

s předepsaným tolerančním intervalem z důvodu vyšší rozšířené nejistoty měření. Analýza postupu výpočtu doby čela a týlu vlny naznačila možnost automatizovaného vyhodnocování. Vzhledem k tomu, že všechna data jsou v počítači, tak je neefektivní ověřovat dobu čela a týlu vlny ručně. Z toho plyne doporučení pro softwarovou kontrolu správných parametrů kombinované vlny nakrátko a naprázdno.

Měření a vyhodnocování přepětové ochrany PK2 proběhlo dle teoretických předpokladů. Výpočet nejistoty měření byl v souladu s poznatky disertační práce. Zpracovávání velkého počtu naměřených hodnot bylo zdoluhavé, protože bylo nutno data nejdříve převést z formátu DSO a pak je dále zpracovat včetně dopočítání nejistoty měření pro jednotlivé průběhy. V tomto případě je opět vhodné v budoucnu tyto kroky zautomatizovat. Je neefektivní v jednom programu hodnotu zaznamenávat, v jiném zobrazovat, v další zpracovávat a nakonec vyhotovovat protokol v textovém editoru. V ideálním případě by měl být vytvořen software, který vyhotoví protokol automaticky přímo ze zaznamenaných hodnot formátu *.dso a zadaných parametrů měření.

Dokumentace zkoušek a vyjadřování nejistoty měření byla v laboratoři firmy Hakel s.r.o. na vysoké úrovni a v souladu se všemi požadavky na akreditovanou laboratoř.

Výše doporučené zautomatizování vyhodnocování zkoušek může napomoci zrychlení procesu zkoušek a může eliminovat některé lidské chyby při výpočtu. Neznamená to ovšem, že celé vyhodnocování může probíhat automaticky. Kvalifikovaný personál je vždy potřeba, aby rozpoznal nestandardní situace.

5 ZÁVĚR

Cílem této disertační práce byla analýza moderních metodik vyjadřování a zajišťování přesnosti elektrotechnických měření spolu s návrhem řešení vybraných úskalí těchto metodik. Detailní analýza dostupných materiálů ukázala, jak je problematika vyjadřování a zabezpečování přesnosti měření živá. Tři hlavní stupně této problematiky, tedy vyjadřování nejistoty měření, určování kalibračních intervalů a budování konfirmačního systému na jedné straně obsahují nejmodernější poznatky z metrologie a na straně druhé mnoho nezodpovězených otázek a výzev do budoucna.

V disertační práci se podařilo identifikovat hlavní problémy vznikajících při vyjadřování nejistoty a navrhnout jejich řešení. Konkrétně práce obsahuje návod pro systematické identifikování zdrojů nejistot, jednoznačný postup pro odhad rozptylu náhodného vlivu, doporučený postup pro ověřování rozložení měřené veličiny, postup pro reflektování stupňů volnosti nejistoty typu B, posouzení vlivu nelineární korelace na výslednou nejistotu, jasné vysvětlení role koeficientu krytí a jeho stanovování. Práce také shrnula metody určování kalibračních intervalů a porovnala vybranou algoritmickou a statistickou metodu s tím, že doporučuje použití metody využívající Weibullova rozložení a zahrnutí celkových nákladů na kalibraci do výpočtu kalibračního intervalu. Práce s těmito výsledky pokládá základ pro systematické vytváření konfirmačního systému jako celku. Dále bylo demonstrováno na praktickém příkladě měření přepětových ochran, jak může být pokročilé vyjadřování přesnosti přínosem pro celkové posuzování shody, nejen co se týká objektivity, ale i rychlosti zpracování množství získaných informací.

Tyto praktické výstupy práce napomáhají zlepšování zabezpečování přesnosti měření. Při systematizování identifikace zdrojů nejistoty nebude docházet k opomenutí významných zdrojů. Při rutinním použití vhodných statistických testů nebude docházet k zásadním pochybením při výběru rozložení pravděpodobnosti při kvantifikaci zdrojů nejistot. Pochopení vlivů korelací na výsledek měření pomůže nejenom výpočtu, ale i návrhu

samotného měření. Uznání faktu, že i nejistoty typu B mohou mít nízké stupně volnosti zase zabránil podhodnocení nejistoty. Správná volba koeficientu krytí zajistí dosažení požadované konfidenční úrovně. Výpočet kalibračního intervalu podle cílových metrologických požadavků zajistí úsporu nákladů, ať již skrze prodloužení kalibračního intervalu nebo jeho zkrácení. Systematické zvládnutí procesu vyjadřování nejistot a kalibračních intervalů, napomohou řízení celého certifikačního systému.

Výše zmíněné závěry pomohou vyřešit základní otázky, které vyvstávají při snaze stanovit optimální metodiku vyjadřování i zajišťování přesnosti měření. Na druhé straně tato práce naznačila otázky nové. Budou se v budoucnosti zdroje nejistoty určovat za pomoci mezinárodní databáze? Upustí se od používání standardizovaných zjednodušených matematických vztahů a dá se přednost používání kompletních matematických modelů? Dosáhne dynamické stanovování kalibračních intervalů širšího rozšíření? Co přinese další pokrok měřicí techniky a další požadavky na řádově vyšší přesnost a spolehlivost? To jsou otázky, na které odpoví až budoucí vývoj.

Disertační práce pokládá základ pro další teoretické i praktické řešení problémů, které vznikají při snaze objektivně popsat přesnost měření a také při snahách dosáhnout stále větší požadované přesnosti při zajištěné správnosti měření. Zároveň mohou výtahy ze syntetické části práce posloužit jako vodítko a návod pro praktické metodické pokyny v měřících laboratořích.

6 LITERATURA

- [1] BIMP, IEL, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*. Corrected and reprinted 1995. Geneva: International Organisation for Standardization, 1995. 101 s. ISBN 92-67-10188-9.
- [2] ČSN EN ISO 10012, *Systémy managementu měření - Požadavky na procesy měření a měřicí*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [3] KROUWER, J., S., KRISTIANSEN, J., Point and counterpoint (Point Critique of the Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement Method of Estimating and Reporting Uncertainty in Diagnostic Assays, Counterpoint The Guide to Expression of Uncertainty in Measurement Approach for Estimating Uncertainty: An Appraisal), *Clinical Chemistry: International Journal of Molecular Diagnostics and Laboratory Medicine*, 2003, 49:11, s. 1818-1829. ISSN 0009-9147. Dostupné z URL <<http://www.clinchem.org/cgi/reprint/49/11/1822.pdf>>
- [4] PETERSEN, P., H., JØRGENSEN, L., G., M., JENSEN, E., KYNDE, K., BRANDSLUND, I., SANDBERG, S., STAHL, M., Is GUM injurious? - Or just superfluous? (Er GUM skadelig ? - eller blot overflødig), *Klinisk Biokemi i Norden*, 2003; 15(2), s. 27-31. ISSN 1101-2013. Dostupné z URL <<http://www.westgard.com/guest24.htm>>
- [5] NIST/SEMATECH, *e-Handbook of Statistical Methods*, 2003. [cit. 2006-07-22] Dostupné z URL <<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>>
- [6] FULTON, W., WeibullSMITH™ [počítačový program], Version 4.0WH, Fulton Findings, 2004
- [7] CASTRUP, H., Estimating Category B Degrees of Freedom, In *Proceedings of Measurement Science Conference*. Anaheim: 2000. Dostupné z URL <http://www.isgmax.com/Articles_Papers/MS2000.pdf>

- [8] CASTRUP, H., *An Investigation into Estimating Type B Degrees of Freedom*, 2001, Dostupné z URL
<http://www.isgmax.com/Articles_Papers/Type%20B%20Degrees%20of%20Freedom%20Study.pdf>
- [9] HALL, B., Computer modelling of uncertainty calculations with finite degrees of freedom, *Measurement Science and Technology*, 11/2000. UK: IOP Publishing Ltd, 2000. s. 1335–1341. Dostupné z URL
<<http://www.iop.org/EJ/S/3/1971/XL7GfvWtCkGVp.VshaZvYw/article/0957-0233/11/9/311/e00911.pdf>>
- [10] HAKEL, *Svodiče napětí – katalog 2004*, Hradec Králové: HAKEL spol. s r.o., 2004

6.1 Odborné publikace autora související s disertační prací:

FRANK, P., SKŘIVÁNEK, J. **Návrh měřicího systému s uvážením vlivu nejistot měření**, TAJ02 Technické aspekty zabezpečování jakosti, VUT v Brně, Brno 2002, s. 48 - 52, ISBN 80-214-2291-2

SKŘIVÁNEK, J., FRANK, P. **Využití Poissonova rozdělení pravděpodobnosti ve statistické přejímce a v procesu řízení jakosti**, TAJ02 Technické aspekty zabezpečování jakosti, VUT v Brně, Brno 2002, s. 78 - 82, ISBN 80-214-2291-2

FRANK, P. **Control Charts in Quality Control - Shewart Charts Application**, Proceedings of 9th Conference and Competition STUDENT EEICT 2003 Volume 3, VUT v Brně, Brno 2003, s. 325 - 329, ISBN 80-214-2379-X

FRANK, P. **Suitability of Different Acceptance Sampling Techniques**, Proceedings of 9th Conference and Competition STUDENT EEICT 2003 Volume 3, VUT v Brně, Brno 2003, s. 330 - 334, ISBN 80-214-2379-X

HRUŠKA, K., FRANK, P., HRUŠKA, K. **Řízení jakosti a metrologie**, CERM, Brno 2003, ISBN 80-7204-302-1

HRUŠKA, K., FRANK, P., HRUŠKA, K. **Kontrola jakosti a zkušebnictví**, CERM, Brno 2003, ISBN 80-7204-303-X

FRANK, P. **Problémy vznikající při vyjadřování nejistoty měření**, sborník příspěvků 34. mezinárodní konference Defektoskopie 2004, Brno 2004, s. 43 - 50, ISBN 80-214-2749-3

FRANK, P. **Uncertainty in projecting of confirmation system in laboratory trstiny**, Proceedings of 10th Conference and Competition STUDENT EEICT 2004 Volume 3, VUT v Brně, Brno 2004, s. 578 - 582, ISBN 80-214-2636-5

FRANK, P. **The usability of an approximate method for coverage factor evaluation**, Instrument-making in the XXI Century. Intergation of science, education and industry. Papers of Science-technical konference, Izhevsk: IzhSTU, 2005, s. 170 - 177, ISBN 5-7526-0224-6

FRANK, P. **Výpočet rozšířené nejistoty a vyjadřování stupňů volnosti standardní nejistoty měření typu B**, Elektrotechnika, ISSN 1213-1539, 2005, roč. 2005, č. 13, s. 1 - 6.

FRANK, P. **Coverage factor approximation in expanded uncertainty evaluation**, Proceedings of 11th Conference STUDENT EEICT 2005 Volume 2, VUT v Brně, Brno 2005, s. 87 - 91, ISBN 80-214-2889-9

FRANK, P. **Způsob výpočtu rozptylu pro nejistoty typu A**, Sborník konference Statistické dny v Brně, VUT v Brně, Brno 2006, s. 23 - 24, ISBN 80-214-3214-4

7 PETR FRANK - ODBORNÝ ŽIVOTOPIS

Osobní údaje:

Jméno a příjmení: Ing. Petr Frank
Datum narození: 1979

Dosažené vzdělání

2002 – 2009 **Vysoké učení technické v Brně, fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, postgraduální studium**
Disertační práce na téma: Metodika zabezpečování optimální přesnosti
1997 – 2002 **Vysoké učení technické v Brně, fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, magisterské studium**
Diplomová práce na téma: Stanovení nejistoty při vyhodnocování vlastností elektrotechnických materiálů
1990 – 1997 **Gymnázium, Kadaň**

Praxe:

2007 – dosud Inženýr kvality v automobilovém průmyslu. TYCO Electronics s.r.o. Řízení kvality ve výrobě. Zákaznická kvalita.
2005 – 2007 VUT, FEKT, THP, Podíl na laboratorní a teoretické výuce, výpomoc na projektech
2005 Honorovaná přednáška na téma Metrologická confirmace
11995 CHERRY, spol. s r.o., Klášterec nad Ohří, výstupní kontrola mikrospínačů

Kurzy, školení a jiné aktivity:

2008 Česká společnost pro jakost: Interní audit procesu, interní audit výrobku, FMEA.
2005 – 2006 Čtyřsemestrální kurz „Řízení jakosti a metrologie“ VUT FEKT, UVEE Odbor jakosti
2003, 2004, 2005 Studentská soutěž v tvůrčí činnosti EEICT, (3. místo v roce 2004 s prací „Uncertainty in projecting of confirmation system in laboratory testing“)

Pedagogická činnost:

2002 – 2007 Vedení teoretických a praktických cvičení kurzů: Elektrotechnika, Řízení jakosti a metrologie, Zajišťování kvality v mezinárodní spolupráci, Nedestruktivní diagnostika a monitorování, Technické požadavky na hodnocení výrobku

Zapojení do grantových aktivit:

Hlavní řešitel grantu Fondu rozvoje vysokých škol č. 1674/2004 „Zavedení konfirmačního systému v laboratoři nedestruktivní diagnostiky“

8 ABSTRACT

This thesis deals with the evaluation of accuracy of measurement and achieving the required accuracy level. This includes global analysis of the uncertainty evaluation, the calibration interval design and the creation of confirmation system. Basis of this work is in identification of all possible problems, which may occur during evaluation of accuracy and achieving the required accuracy level. The analysis is followed by suggested solutions for identified problems. It means namely the selection of probability distribution in case of uncertainty type A, evaluation of degrees of freedom in case of uncertainty type B, nonlinear correlation of input values, evaluation of coverage factor, the choice of method for calibration interval design and the procedure for meeting all metrological confirmation requirements. The last part of the thesis is practical measurement and result evaluation in the field of surge protection devices. This chapter demonstrates conclusions from the syntactical part.