

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

Fakulta strojní

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie



Bakalářská práce

**Možnosti SW hodnocení nastavení kalibračních
lhůt měřidel**

Autor: Andrej Ribarovski

Studijní program: Teoretický základ strojního inženýrství

Vedoucí práce: Ing. Jan Urban

Praha 2023

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Ribarovski** Jméno: **Andrej** Osobní číslo: **501316**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Možnost SW hodnocení nastavení kalibračních lhůt měřidel.

Název bakalářské práce anglicky:

Possibility of SW assessment the calibration interval set-up for measurement device

Pokyny pro vypracování:

Popis SW vybavení pro evidenci měřidel v reálném provozu.
Analýza stávajícího stavu práce s kalibračními lhůtami.
Doporučení ke zlepšení práce s kalibračními lhůtami.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jan Urban ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **31.03.2023** Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Jan Urban
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, software atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne:

.....

Podpis autora

Poděkování

Rád bych poděkoval panu Ing. Janu Urbanovi, vedoucímu mé bakalářské práce, za cenné rady a odborné vedení při psaní této práce. Současně děkuji společnosti Škoda Auto a.s. za poskytnutí všech potřebných podkladů.

Anotace

Hlavním cílem této bakalářské práce je seznámit se s možnostmi nastavení optimálních kalibračních lhůt měřidel ve společnosti Škoda Auto a.s. V teoretické části práce jsou vysvětleny základní pojmy z oblasti metrologie, je zde popsáno členění měřidel a způsob, jakým se měřidla kalibrují. Praktická část je zaměřena na systém pro evidenci a správu měřidel Palstat CAQ. Zabývá se analýzou aktuálního stavu práce s kalibračními lhůtami a obsahuje doporučení ke zlepšení celkové efektivity, spočívající v digitalizaci naměřených dat z procesu kalibrace měřidel za účelem dalšího zpracování.

Klíčová slova: měřidlo, kalibrace, kalibrační lhůta, Palstat CAQ

Annotation

The main aim of this bachelor thesis is to learn about the possibilities of setting optimal calibration intervals for measuring devices in Škoda Auto a.s. The theoretical part of this thesis explains the basic concepts of metrology and describes the classification of measuring instruments and the method how they are calibrated. The practical part focuses on the Palstat CAQ system for registration and management of measuring instruments, deals with the analysis of current state of work with calibration intervals and contains recommendations for improving overall efficiency through the digitization of measured data from the calibration process for further processing.

Key words: measuring device, calibration, calibration interval, Palstat CAQ

Obsah

1	ÚVOD	8
2	METROLOGICKÁ NÁVAZNOST	9
2.1	ŘETĚZEC NÁVAZNOSTI.....	9
2.2	ROZDĚLENÍ MĚŘIDEL.....	10
2.2.1	<i>Etalony</i>	10
2.2.2	<i>Pracovní měřidla stanovená</i>	12
2.2.3	<i>Pracovní měřidla nestanovená</i>	13
2.2.4	<i>Certifikované referenční materiály</i>	13
3	KOMUNÁLNÍ MĚŘIDLA (JEDNOROZMĚRNÉ MĚŘENÍ)	14
3.1	POSUVNÉ MĚŘÍTKO	14
3.1.1	<i>Nejčastější chyby při měření s posuvným měřítkem</i>	15
3.2	MIKROMETR.....	18
3.2.1	<i>Postup odečtu hodnoty ze stupnice</i>	19
3.3	ČÍSELNÍKOVÝ ÚCHYLKOMĚR.....	20
4	VÍCEROZMĚRNÉ MĚŘENÍ	21
4.1	DIGITÁLNÍ MIKROSKOP.....	21
4.1.1	<i>Konstrukce světelných senzorů</i>	23
4.1.2	<i>CCD sensor</i>	23
4.1.3	<i>CMOS sensor</i>	24
5	KALIBRACE	25
5.1	KALIBRAČNÍ POSTUPY	25
5.1.1	<i>Kalibrace mikrometrického měřidla</i>	25
5.1.2	<i>Kalibrace digitálního mikroskopu</i>	29
5.2	KALIBRAČNÍ INTERVAL.....	31
5.3	VYBRANÉ METODY STANOVENÍ KALIBRAČNÍHO INTERVALU.....	32
5.3.1	<i>Prvotní stanovení kalibračního intervalu</i>	32
5.3.2	<i>Metody přehodnocení kalibračního intervalu</i>	32
6	PALSTAT CAQ	37
6.1	EVIDENCE A SPRÁVA MĚŘIDEL VE SPOLEČNOSTI ŠKODA AUTO A.S.	39
6.1.1	<i>Karta Seznam</i>	40
6.1.2	<i>Karta Měřidlo</i>	40
6.1.3	<i>Karta Poznámka</i>	42

6.1.4	<i>Karta Kalibrace</i>	43
6.1.5	<i>Karta Meziuhutní ověřování</i>	44
6.1.6	<i>Karta Opravy</i>	45
6.1.7	<i>Specifika záznamu pro stanovená měřidla</i>	46
7	PRÁCE S KALIBRAČNÍMI LHŮTAMI	47
7.1	ANALÝZA AKTUÁLNÍHO STAVU NASTAVENÍ KALIBRAČNÍCH LHŮT	47
7.2	DOPORUČENÍ KE ZLEPŠENÍ	48
7.2.1	<i>Digitalizace naměřených dat</i>	48
7.2.2	<i>Vyhodnocení nastavené kalibrační lhůty</i>	52
7.2.3	<i>Meziuhutní ověřování</i>	54
8	ZÁVĚR	55
	POUŽITÁ LITERATURA	57
	SEZNAM OBRÁZKŮ	60
	SEZNAM TABULEK	61

1 Úvod

Správné nastavení kalibračního intervalu je klíčovým prvkem pro efektivní správu měřidel a měřících strojů v jakékoliv společnosti. Příliš časté kalibrace způsobují zbytečné plýtvání finančními prostředky a ztrátu času, kdy by mohlo měřidlo plnit svůj hlavní účel. Naopak při příliš dlouhém kalibračním intervalu se zvyšuje riziko, že měřidlo přestane vyhovovat určitým požadavkům, což v krajním případě může vést k ohrožení celé výroby.

Cílem této závěrečné práce je popsat způsob evidence a správy měřidel ve společnosti Škoda Auto a.s., analyzovat a zhodnotit aktuální práci s kalibračními lhůtami a na základě získaných poznatků navrhnout doporučení, která povedou ke zlepšení v oblasti nastavování optimálních kalibračních intervalů pro různé měřicí přístroje.

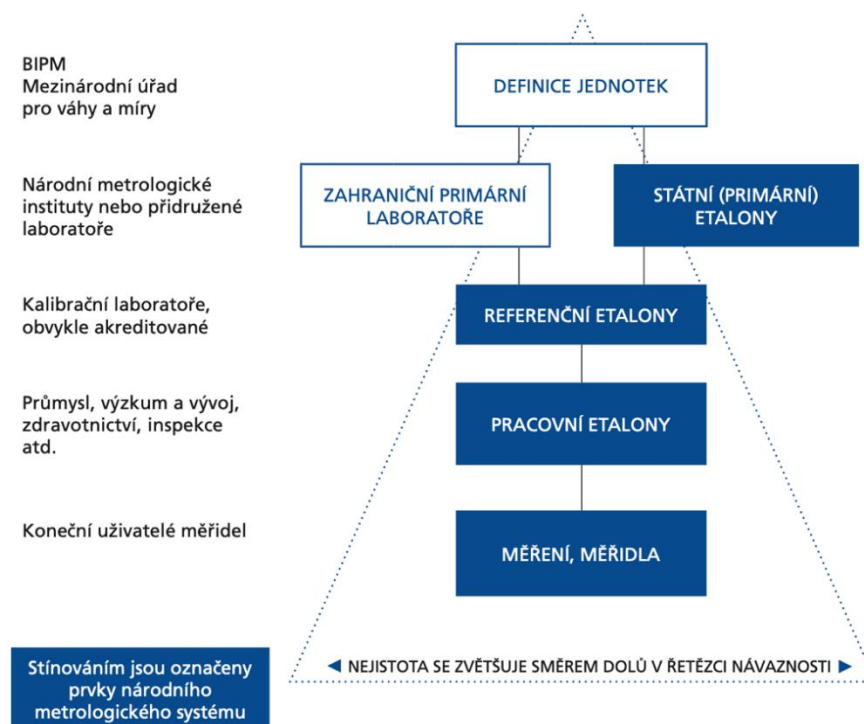
2 Metrologická návaznost

Již od počátku civilizace byla jistá forma metrologie součástí každodenního života. Porovnávání délek a hmotností různých předmětů bylo důležitým aspektem férového obchodování. Pro tyto potřeby byly jednotky jako např. loket zcela dostatečné, ale s vývojem společnosti rostly požadavky na jejich sjednocení a vztahení k mezinárodním referencím. [1]

2.1 Řetězec návaznosti

Každá měřená hodnota obsahuje nejistotu, která může být způsobena mnohými faktory. Pro správné porovnání výsledku měření se zadanou referenční hodnotou je zcela zásadní dodržet návaznost měření pomocí nepřerušovaného řetězce, kde má každý prvek přesně danou svoji nejistotu. [1]

Dle definice metrologické návaznosti musí být hodnota měřené veličiny vztažena k stanovené referenci prostřednictvím zdokumentovaného nepřerušovaného řetězce. Díky tomu je zajištěno, že výsledek měření nebo hodnota daného etalonu jsou přímo vztaženy k referencím na vyšší úrovni. Na konci řetězce je primární etalon, který je vztažen k samotné definici jednotky. Schéma řetězce návaznosti je zobrazeno na Obr. 1. [1] [2]



Obr. 1 - Řetězec metrologické návaznosti [3]

Koncový uživatel může získat návaznost na nejvyšší mezinárodní úrovni jednak přímo od národního metrologického institutu nebo od sekundární akreditované laboratoře. V důsledku různých mezinárodních ujednání lze návaznost získat i u laboratoře, která má sídlo v zahraničí. [1]

2.2 Rozdělení měřidel

V České republice je nejdůležitějším metrologickým právním dokumentem zákon č. 505/1990 Sb., *o metrologii*, na jehož základě je měřidlo definováno jako zařízení sloužící k určení hodnoty měřené veličiny. Měřidla se dále dělí na etalony, pracovní měřidla stanovená, pracovní měřidla nestanovená a certifikované referenční materiály. [4]

2.2.1 Etalony

Za účelem smysluplného měření je velice důležité srovnání naměřené hodnoty se známou referencí. Je nutné definovat jednotkovou hodnotu jakékoliv fyzikální veličiny tak, aby byla akceptována na mezinárodní úrovni. Ovšem samotná definice jednotkové hodnoty není dostatečná, musíme být schopni ji změřit, uchovat a dále reprodukovat na měřidla nižší úrovně. Etalon (standard) je definován jako „*realizace dané veličiny, se stanovenou hodnotou veličiny a přidruženou nejistotou měření, používaná jako reference.*“ [2] Dobrý systém etalonů je nezbytný pro mezinárodní obchodování, pomáhá dosáhnout zaměnitelnosti dílů ve výrobě a pomáhá výrobcům přesvědčit zákazníky o kvalitě nabízených produktů. [5]

Etalony se dále rozdělují na:

a) Primární etalony

Pro přesné definování fyzikální veličiny existuje právě jeden primární etalon, který je pečlivě uchován a skladován za přesně daných atmosférických podmínek tak, aby neměnil svojí referenční hodnotu. Primární etalony se používají pouze pro porovnání s etalonem nižší úrovně. [5]

b) Sekundární (státní) etalony

Státní etalony mají podle zákona nejvyšší metrologickou úroveň v dané oblasti měření v příslušném státě. V České republice jsou schvalovány Úřadem pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ), který specifikuje jejich způsob výroby, uchování a používání. [4]

Na Obr. 2 je zobrazen platino-iridiový státní etalon hmotnosti, který byl získán v roce 1999 z BIMP (Mezinárodní úřad pro míry a váhy). Etalon je skladován ve dvojitém skleněném poklopu a k manipulaci s ním slouží speciální kleště, které zabraňují povrchovému poškození. Při poslední kalibraci v roce 2021 byla naměřena hmotnost $1\text{ kg} + 0,148\text{ mg} \pm 0,021\text{ mg}^1$. [6]



Obr. 2 - Státní etalon hmotnosti [7]

c) Referenční etalony

Aby nedocházelo k nadměrnému opotřebování primárních a sekundárních etalonů, jsou používány pouze ve speciálních případech, kdy je nutné potvrdit nejvyšší metrologickou návaznost. Referenční etalony se již běžně používají v laboratořích pro kalibraci dalších, obvykle pracovních etalonů. [2] [5]

d) Pracovní etalony

Pracovní etalony se nejčastěji používají v dílnách a laboratořích ke kalibraci různých měřidel a systémů. Obvykle bývají vyrobeny z méně kvalitních materiálů, než etalony vyšší úrovně a v důsledku nepřetržitého řetězce porovnávání obsahují největší nejistotu. Příkladem pracovního etalonu mohou být koncové měřky, viz Obr. 3. [2] [5]

¹ Aktuální informace v době psaní této práce



Obr. 3 - Koncové měřky [8]

2.2.2 Pracovní měřidla stanovená

Stanovená měřidla definuje Ministerstvo průmyslu a obchodu (MPO) v zákoně č. 505/1990 Sb. k povinnému ověřování vzhledem k jejich významu v závazkových vztazích (např. prodej nebo poskytnutí služeb), pro stanovení pokut a sankcí, pro ochranu zdraví nebo životního prostředí, nebo pro ochranu veřejných zájmů. Všechna stanovená měřidla, včetně doby platnosti ověření, jsou uvedena ve vyhlášce č. 345/2002 Sb. Níže uvedená tabulka obsahuje krátký přehled vybraných stanovených měřidel. [4]

Tab. 1 - Příklad stanovených měřidel [9]

Položka	Obor měření, druh měřidla	Doba platnosti ověření
1.1.1	Délková měřidla na metrové zboží	2 roky
1.1.4	Taxametry	2 roky
2.2.1	Silniční rychloměry používané při kontrole dodržování silničního provozu	1 rok
2.3.2	Přístroje na měření tlaku krve	2 roky
3.1.1	Elektronické teploměry lékařské a zvěrolékařské	2 roky
7.4.2	Analyzátory alkoholu v dechu	1 rok

2.2.3 Pracovní měřidla nestanovená

Pracovní měřidla jsou zákonem definována jako všechna měřidla, která nejsou etalonem ani stanoveným měřidlem. Způsob návaznosti a určení kalibračních lhůt pracovních měřidel si stanoví uživatel sám pomocí svých etalonů nebo u jiných metrologických subjektů. [4]



Obr. 4 - Pracovní měřidlo nestanovené (mikrometr) [10]

2.2.4 Certifikované referenční materiály

Referenční materiály mají přesně dané složení nebo vlastnosti, které certifikoval ČMI (Český metrologický institut), AMS (Autorizované metrologické středisko) nebo akreditovaný výrobce těchto materiálů. Slouží především ke kalibraci nebo ověřování přístrojů, vyhodnocování měřících metod a určování vlastností materiálů. Příkladem mohou být tvrdoměrné destičky s certifikovanou hodnotou tvrdosti, které se používají ke kalibraci tvrdoměrů. [4]



Obr. 5 - Tvrdoměrné destičky [11]

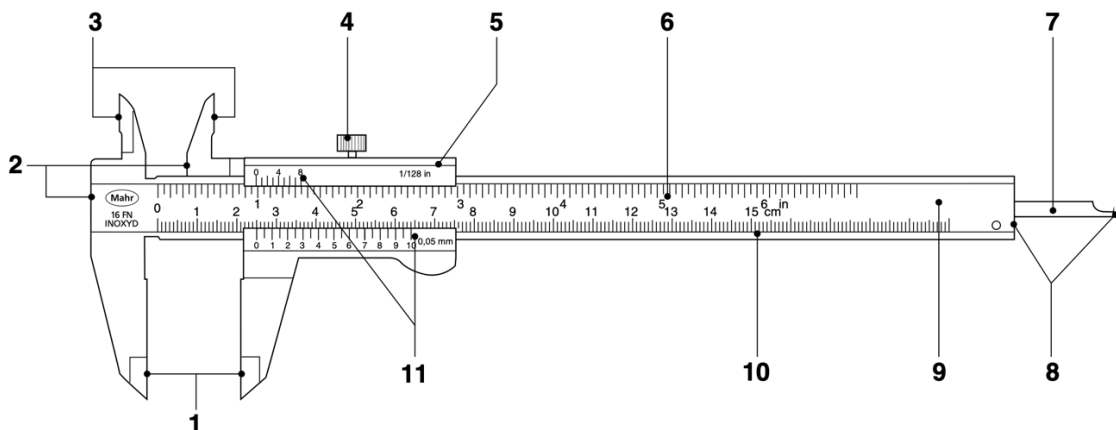
3 Komunální měřidla (jednorozměrné měření)

Komunální měřidla jsou jednoduchá, mechanická a přenosná zařízení, která slouží k rychlému určení základních rozměrů dané součásti (tloušťka, průměr).

3.1 Posuvné měřítko

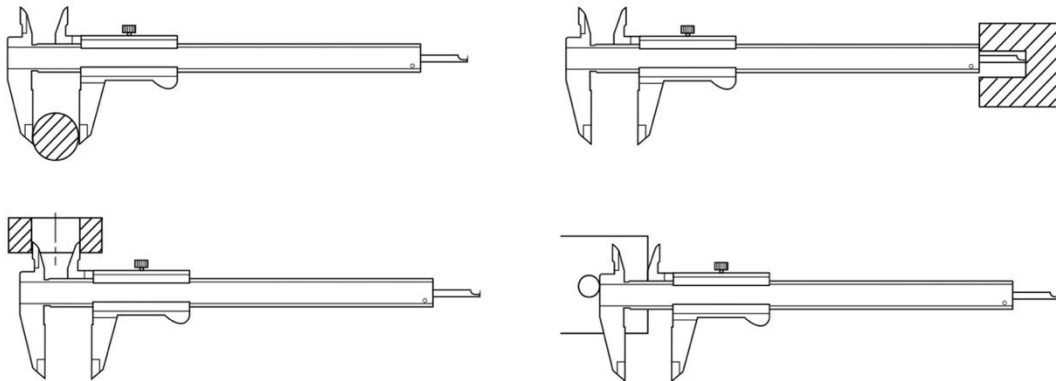
Posuvné měřítko, viz Obr. 6, se skládá z hlavní stupnice, která je vyrytá na pevném rámu ve tvaru písmene L a posuvné stupnice (nonius). Hlavní stupnice je rozdělena na dílky po milimetrech, nonius má dílky o něco menší. Nejčastěji je na noniu 50 nebo 20 dílků, tím je dosaženo rozlišení 0,02 mm resp. 0,05 mm. Posuvné měřítko se vyrábí z nerezové nebo nástrojové oceli. [5]

- 1 - Čelisti pro vnější měření
- 2 - Odsazené plochy pro stupňovité měření
- 3 - Čelisti pro vnitřní měření
- 4 - Aretační šroub
- 5 - Posuvná část
- 6 - Hlavní stupnice
- 7 - Hloubkoměr
- 8 - Měřicí plochy hloubkoměru
- 9 - Pevný rám
- 10 - Referenční plocha
- 11 - Nonius



Obr. 6 - Posuvné měřítko [12]

Hlavní rám posuvného měřítka ve tvaru písmene L slouží také jako pevná měřicí čelist. Pohyblivá čelist s noniem se může posouvat po celé délce hlavní stupnice, která je vyryta na hlavním rámu. Aretační šroub umožňuje upnutí nonia na pozici, ve které operátor změřil daný rozměr a tím usnadní přesný odečet hodnoty. Posuvné měřítko v sobě obsahuje i hloubkoměr. Různé způsoby využití posuvného měřítka jsou zobrazeny na Obr. 7. [5]

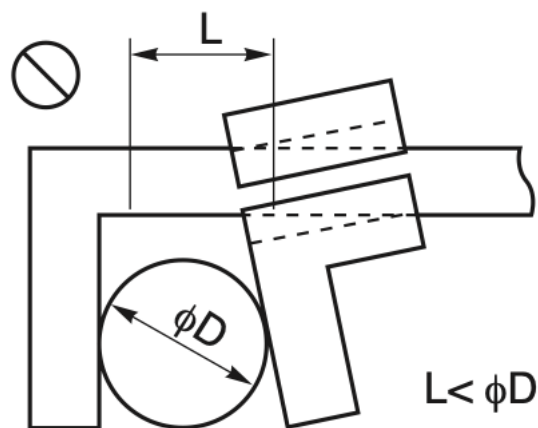


Obr. 7 - Možnosti měření s posuvným měřítkem [12]

3.1.1 Nejčastější chyby při měření s posuvným měřítkem

a) Měřicí síla

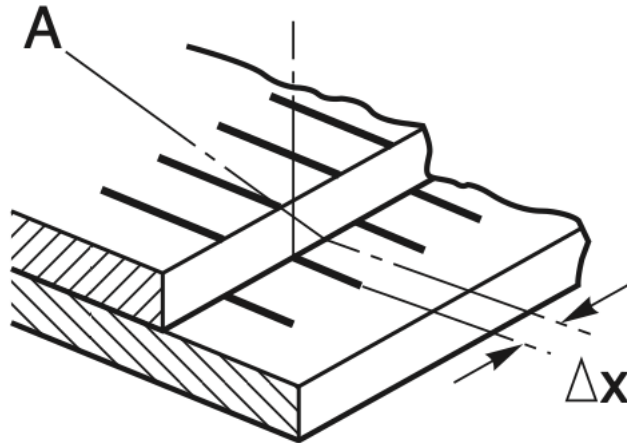
Pro správné měření je velice důležité odhadnout sílu, kterou obsluha vyvíjí na čelisti. V případě, že operátor působí na posuvné měřítko příliš velikou silou, dochází k nadměrnému opotřebení nástroje a může dojít i k poškození měřené součásti. Zároveň dochází k vyosení posuvné čelisti viz Obr. 8. [5]



Obr. 8 - Použití nadměrné síly [13]

b) Chyba paralaxy

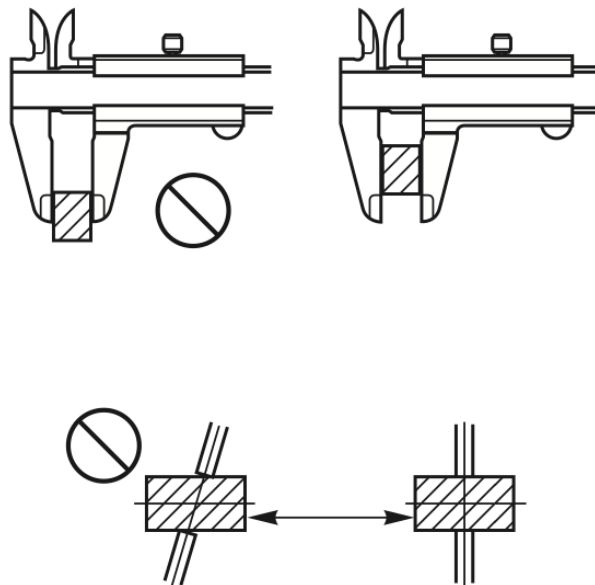
Naměřená hodnota se musí odečítat při kolmém pohledu na stupnici, aby se zamezilo chybě paralaxy Δx , která vzniká při pohledu ze směru A, jak je zobrazeno na Obr. 9. [13]



Obr. 9 - Chyba paralaxy [13]

c) Vnější měření

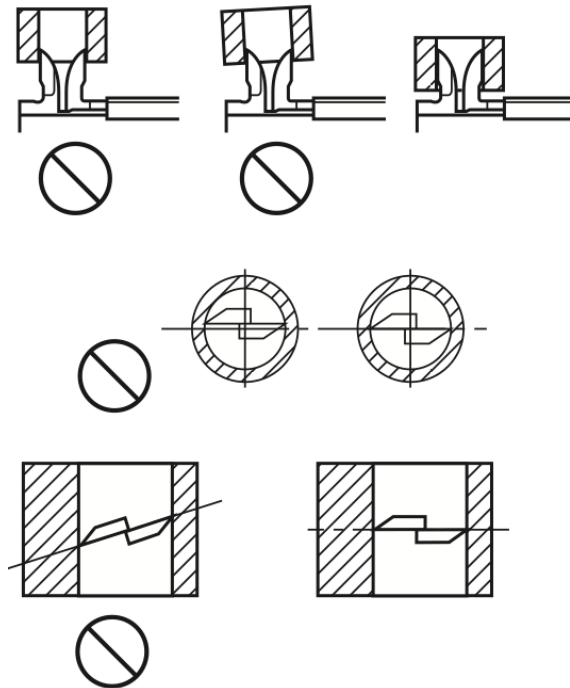
Při měření vnějších rozměrů je důležité umístit součást co nejbližší k hlavní stupnici. Zároveň měřicí čelisti musí dosedat kolmo na měřenou plochu. [13]



Obr. 10 - Měření vnějších rozměrů posuvným měřítkem [13]

d) Vnitřní měření

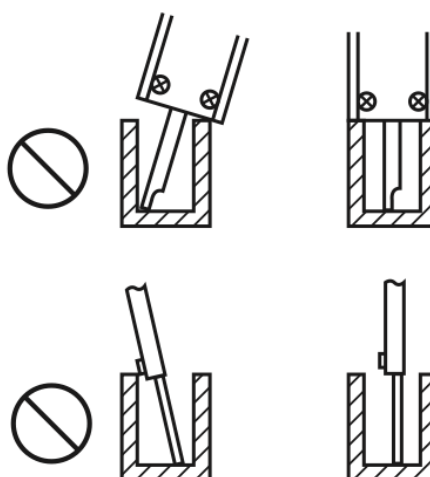
Při měření vnitřních rozměrů je opět důležité měřit co nejbližší k hlavní stupnici. V případě měření průměru díry musí být čelisti vycentrovány na střed. Pro správné zjištění šířky drážky je nutné, aby čelisti dosedly kolmo na měřenou plochu. Oba případy jsou schematicky zobrazeny na Obr. 11. [13]



Obr. 11 - Měření vnitřních rozměrů posuvným měřítkem [13]

e) Měření hloubkoměrem

Měřicí plocha hloubkoměru musí vždy dosedat kolmo na povrch součásti. [13]



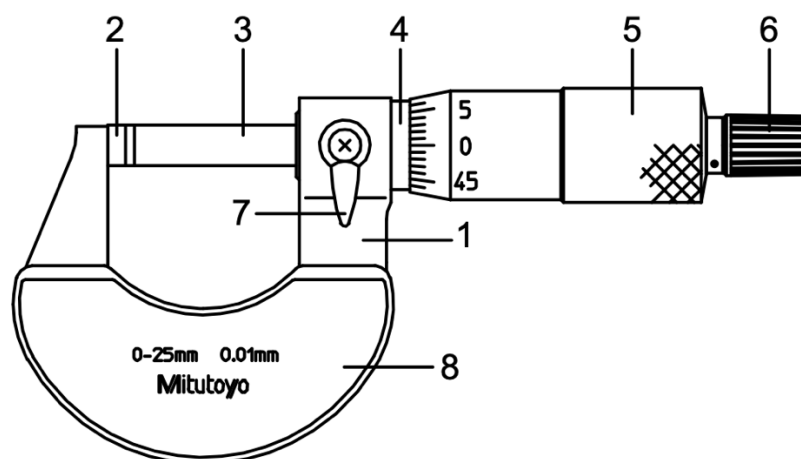
Obr. 12 - Měření hloubky [13]

3.2 Mikrometr

Mikrometr poskytuje lepší rozlišení a vyšší přesnost měření než posuvné měřítko. Osa měřeného objektu leží v ose stupnice mikrometru a tím dochází k lepšímu dodržení Abbého principu, který říká, že maximální přesnost může být dosažena pouze v případě, že stupnice leží v jedné linii s osou měřené součásti. [5]

Na Obr. 13 je zobrazen třmenový mikrometr, který se skládá z rámu ve tvaru písmene C s pevným dotykem a pohyblivého vřetena. Pohyb vřetena je zajištěn pomocí přesného mikrometrického šroubu. Na pouzdru a bubínku je vyryta stupnice. Když na sebe obě měřicí plochy dosedají, tak se nulová značka na bubínku shoduje s nulovou značkou na pouzdru. Aretace zabraňuje pohybu vřetena při odečítání hodnoty. Řehtačka zajišťuje používání konstantní měřicí síly, čímž se sníží vliv uživatele na nepřesnost při měření. Rozsah mikrometru nejčastěji bývá 25 mm s rozlišením 0,001 mm. [5]

- 1 - Rám
- 2 – Pevný dotek
- 3 – Měřicí vřeteno
- 4 - Pouzdro
- 5 - Bubínek
- 6 - Řehtačka
- 7 - Aretace
- 8 – Izolační kryt



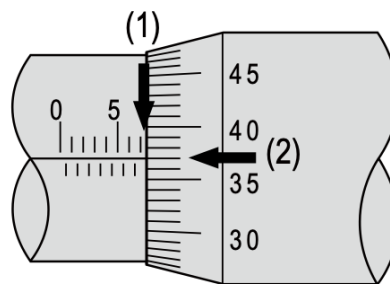
Obr. 13 - Třmenový mikrometr [14]

3.2.1 Postup odečtu hodnoty ze stupnice

Stupnice na pouzdru je rozdělena na dílky po 0,5 mm. Na bubínku je obvykle 50 dílků a jedna otáčka způsobí posunutí vřetena právě o 0,5 mm. Tímto způsobem je možné odečítat s rozlišením 0,01 mm. Při použití další stupnice na pouzdru (nonius) se rozlišení sníží na 0,001 mm. [5]

a) Odečet ze standardní stupnice

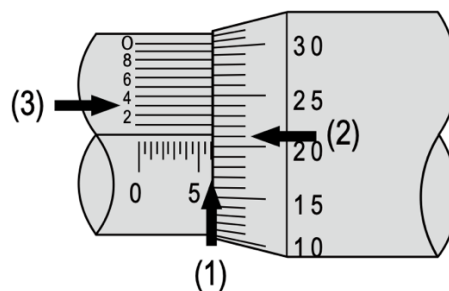
V tomto případě je na hlavní stupnici na pouzdru (1) odečtena hodnota 7 mm, na bubínku (2) se odečte 37 dílků, které odpovídají 0,37 mm. Celkem se z mikrometru určí hodnota 7,37 mm.



Obr. 14 - Standardní stupnice mikrometru [14]

b) Odečet z noniové stupnice

Mikrometr s noniovou stupnicí má rozlišení 0,001 mm. V případě zobrazeném na Obr. 15 je na pouzdru (1) odečteno 6 mm, na bubínku (2) 0,21 mm a na noniu (3) jsou odečteny 3 dílky, které odpovídají 0,003 mm. Celková hodnota indikovaná na mikrometru je 6,213 mm.

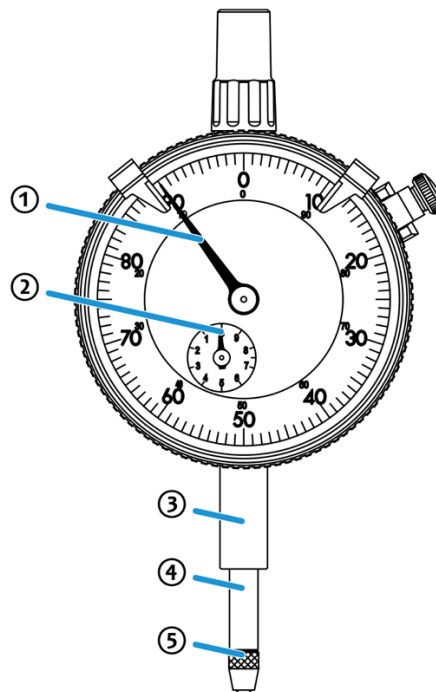


Obr. 15 - Noniová stupnice mikrometru [14]

3.3 Číselníkový úchylkoměr

Úchylkoměr, viz Obr. 16, se primárně používá k rychlému porovnání určitého rozměru na vyrobené součásti s požadovanými specifikacemi, danými např. výrobním výkresem. Výsledkem měření je odchylka od jmenovitého rozměru. Skládá se z kruhové stupnice, měřicího doteku a ručičky, která přímo indikuje naměřenou odchylku. [5]

- 1 - Ručička
- 2 – Malá ručička (počítadlo otáček)
- 3 – Stopka
- 4 – Měřicí tyčka
- 5 – Měřicí dotek

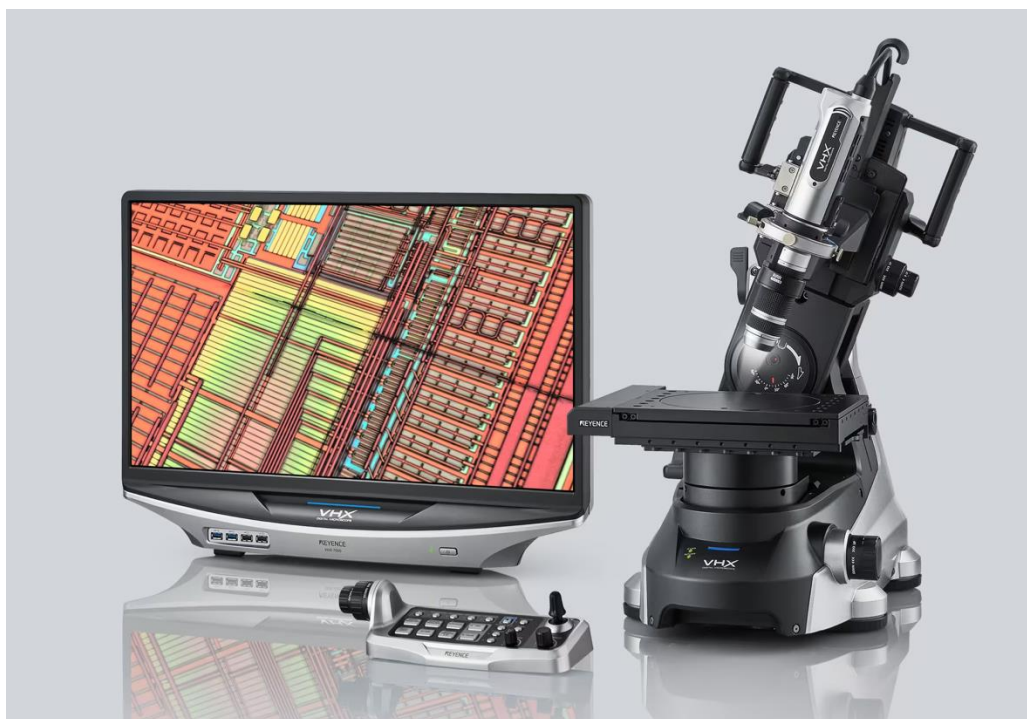


Obr. 16 - Číselníkový úchylkoměr [15]

Při měření se nejprve nastaví nulová hodnota na úchylkoměru pomocí koncové měřky. Následně se pod měřicí dotek umístí součást a odchylka se odečte přímo ze stupnice. Rozsah měření se pohybuje od 1 do 25 mm, čím je úchylkoměr přesnější, tím se zmenšuje i jeho rozsah. [5]

4 Vícerozměrné měření

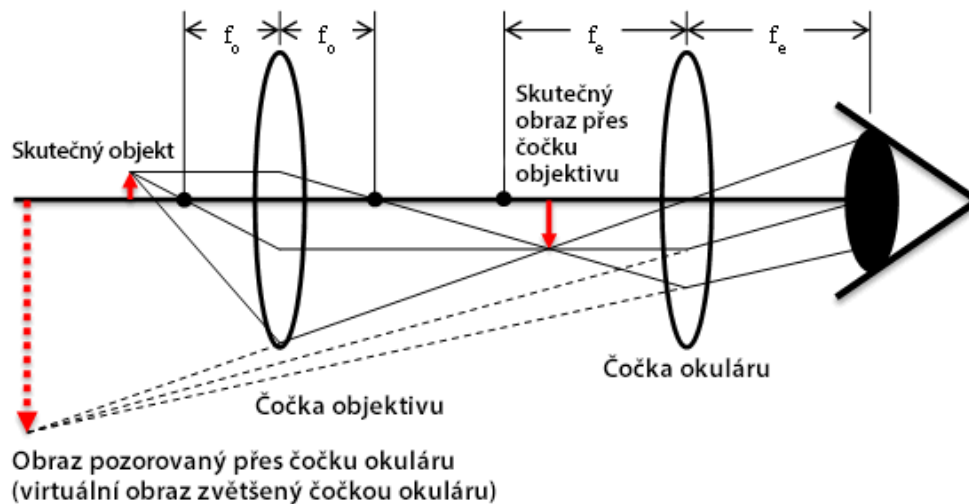
Měření, která se provádějí ve více osách, vyžadují daleko složitější a komplikovanější přístroje než při základním 1D (jednorozměrném) měření. Tato zařízení navíc v sobě zahrnují měřicí elektroniku a často i vyhodnocovací SW a určení ideálního kalibračního intervalu je z tohoto důvodu mnohem náročnější než u komunálních měřidel. Příkladem těchto přístrojů může být souřadnicový měřicí stroj, laser skener nebo digitální mikroskop. Pro účely této práce bude dále popsán základní princip fungování digitálního mikroskopu a následně porovnání náročnosti jeho kalibrace s vybraným komunálním měřidlem.



Obr. 17 - Digitální mikroskop Keyence VHX-7000 [16]

4.1 Digitální mikroskop

Klasický optický mikroskop se skládá z čočky objektivu, čočky okuláru a tubusu. Pozorovaný objekt se zvětší čočkou objektivu a když je zaostřen, je možné vidět jeho zvětšený obraz přes čočku okuláru. Celkové zvětšení mikroskopu je poté součinem zvětšení jednotlivých čoček. Schematicky je princip zobrazen na obrázku níže. [17]



Obr. 18 - Princip zobrazování na klasickém mikroskopu [17]

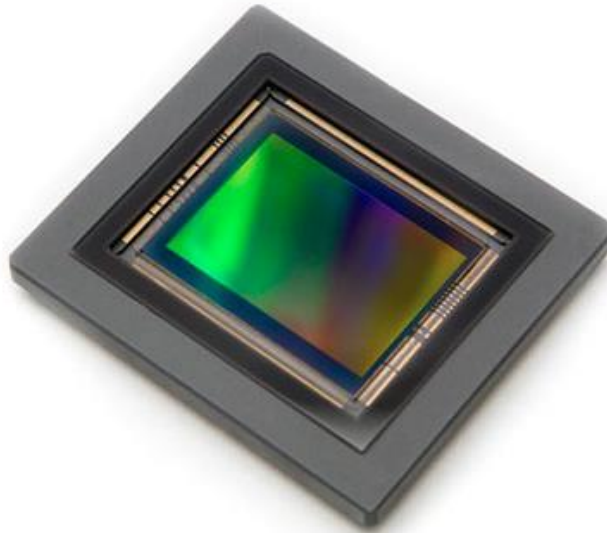
V moderní mikroskopii je analogový světelný detektor, jako např. lidské oko, nahrazen digitální kamerou. Snímek zachycený digitálním mikroskopem je poté přenášen do počítače, kde pomocí vhodného SW probíhá samotné pozorování a vyhodnocení měření. Na Obr. 19 je zobrazena plně integrovaná snímací hlava digitálního mikroskopu Keyence VHX-7000. [18]



Obr. 19 - Integrovaná snímací hlava Keyence [16]

4.1.1 Konstrukce světelných senzorů

Světelné senzory jsou polovodičové elektronické součástky složené z fotodetektorů. Každý detektor zachycuje fotony dopadající na jeho plochu a převádí je na elektrický signál, který je úměrný snímanému množství světla. Tento signál je dále převeden na digitální informaci, která může být uložena nebo zobrazena. Nevýhodou tohoto principu je, že při převodu jakéhokoliv analogového signálu na digitální se část informace vždy ztratí. Porozumění tomu, jaká část informace se ztratí a znalosti, jak tyto ztráty minimalizovat jsou kritickými aspekty moderní mikroskopie. Nejpoužívanější typy senzorů jsou CCD (charge coupled device) a CMOS (complementary metal oxide semiconductor). Na Obr. 20 je zobrazen CMOS snímač Canon 120MXS s velikostí pixelu $2,2 \times 2,2 \mu\text{m}$. [19]



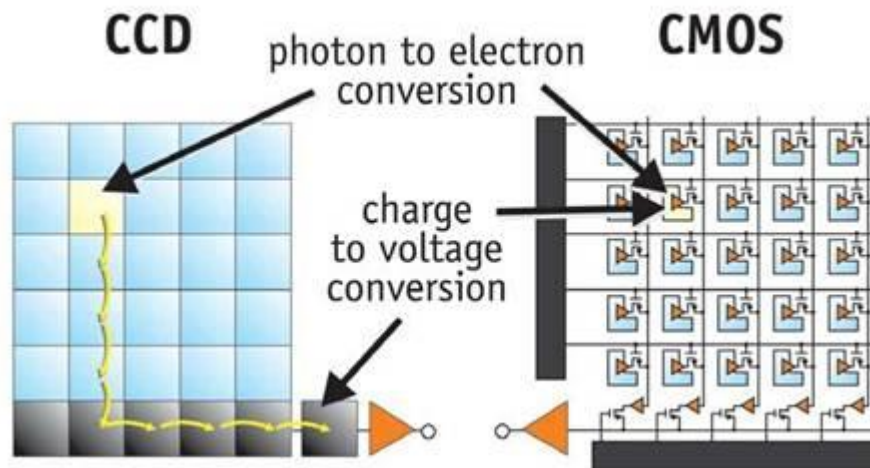
Obr. 20 - Snímač CMOS Canon 120MXS [20]

4.1.2 CCD sensor

CCD sensor je složen z dvourozměrného pole fotodiody, viz Obr. 21. Během pořizování obrazu se v každé fotodiodě (pixelu) hromadí elektrický náboj, který se následně přesouvá přes ostatní diody až do výstupního zesilovače, kde je přeměněn na odpovídající napětí. Další přidaná elektronická zařízení poté redukuje šum, digitalizují získané informace a ukládají je do paměti počítače. Největší nevýhodou CCD senzorů je rychlost pořizování snímků. Začít pořizovat nový snímek je možné, až když se všechny náboje přenesou do zesilovače. [19]

4.1.3 CMOS senzor

Také CMOS senzory jsou složeny z fotodiod, které přeměňují dopadající fotony na elektrický náboj. Největším rozdílem je, že přeměna náboje na napětí neprobíhá až v zesilovači, ale na každém pixelu zvlášť. Tím dojde k výraznému zkrácení doby potřebné k vyhodnocení a pořizování snímků je mnohem rychlejší. Nevýhodou je horší světelná citlivost v porovnání s CCD. [19] [21]



Obr. 21 - Konstrukce CCD a CMOS senzorů [21]

5 Kalibrace

Kalibrace je dle mezinárodního slovníku (VIM) definovaná jako „činnost, která za specifikovaných podmínek v prvním kroku stanoví vztah mezi hodnotami veličiny s nejistotami měření poskytnutými etalony a odpovídajícími indikacemi s přidruženými nejistotami měření a ve druhém kroku použije tyto informace ke stanovení vztahu pro získání výsledku měření z indikace.“ [2] Hlavním cílem kalibrace je tedy zajistit metrologickou návaznost daného měřidla a ověřit, že splňuje předepsanou přesnost. Kalibrace se nejčastěji provádí porovnávacím měřením na etalonu vyšší třídy přesnosti. Je nezbytné, aby zjištěná odchylka měření byla menší než požadovaná přesnost měřidla. V opačném případě musí být měřidlo opraveno nebo vyřazeno. [5]

5.1 Kalibrační postupy

Při provádění kalibrační činnosti je velmi důležité postupovat podle přesně stanoveného postupu, aby všechna měřidla stejného typu byla kalibrována podle stejných kalibračních kroků. Níže je popsán kalibrační postup mikrometrického měřidla a srovnání náročnosti této kalibrace s kalibrací složitějšího měřicího zařízení (digitální mikroskop). Veškeré informace jsou čerpány z interních dokumentů společnosti Škoda Auto a.s. a ŠKODA Metrologie.

5.1.1 Kalibrace mikrometrického měřidla

Tento kalibrační postup se vztahuje na kalibraci digitálních a analogových mikrometrických měřidel na vnější měření, s horní hranicí měřeného rozměru 1000 mm a s rozlišením 0,01 mm a 0,001 mm. Normy a předpisy, které souvisejí s tímto postupem [22]:

- ČSN 25 1401:1987
- ČSN 25 1472:1987
- ČSN EN ISO 3611:2001
- DIN 863-1:2017, -2, -3:1999
- EA 4/02
- TNI 01 0115

a) Měřidla a pomůcky potřebné ke kalibraci

- sada koncových měrek

- sada válečkových trnů
- délkoměr
- planparalelní skleněná měrka
- ocelová kulička pro kontrolu rovnoběžnosti dvou ploch
- přípravek pro kontrolu přitlačné síly
- pomůcky k demontáži a seřízení mikrometrů
- čisticí prostředky

b) Podmínky kalibrace

Kalibrace se provádí při přesně dané a stabilní teplotě. Kalibrovaný mikrometr spolu s příslušným etalonem musí být umístěny po určitou dobu v místnosti s referenční teplotou. [22]

c) Předběžná kontrola a příprava ke kalibraci

Měřidlo je třeba vyčistit benzinem a vytřít do sucha. Proveďte se kontrola, zda není měřidlo mechanicky poškozeno nebo zkorodováno. Ověřte se, jestli označení na měřidle odpovídá dodanému dokladu. [22]

d) Vizuální kontrola

I. Měřicí plochy

Povrchy měřicích ploch nastavovací měrky a nastavovacího válečku nesmí být mechanicky poškozeny a musí být bez koroze. Pokud jsou měřicí plochy lehce poškozeny, upraví se např. lapovacím papírem a následně se opět očistí. [22]

II. Čárková stupnice

Celá stupnice včetně číslic musí být dobře čitelná a všechny čárky musí mít stejnou šířku. [22]

III. Digitální stupnice

Všechny číslice se nastaví na hodnotu „8“ a zkontroluje se, zda jsou dobře čitelné. [22]

e) Funkční zkouška

Při pohybu mikrometrického šroubu nesmí být znatelná žádná vůle a chod musí být plynulý. Bubínek nesmí při otáčení házet ani se zachytávat o trubku. Při použití aretace se vzdálenost měřicích ploch nesmí změnit o více než 2 μm . Je třeba také zkontrolovat všechny funkce digitální jednotky. [22]

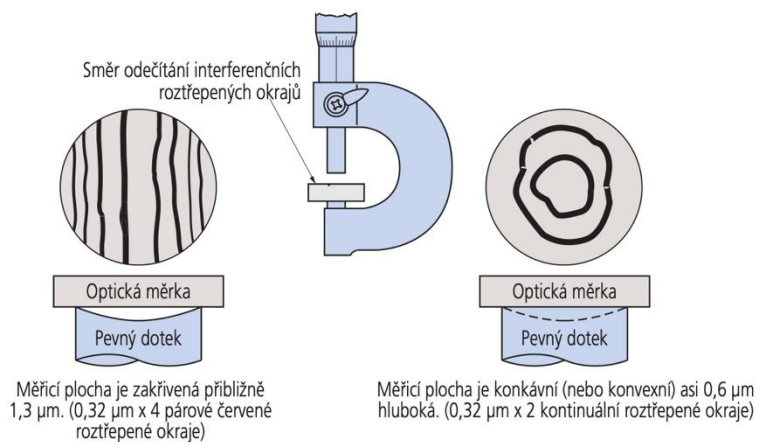
f) Měření metrologických parametrů mikrometru

I. Kontrola měřicí síly

Kontrola se provádí pomocí přípravku. Měřicí síla mezi doteky musí být v určitém rozsahu (dle interních předpisů) a v celém měřicím rozsahu má být tato síla přibližně konstantní. [22]

II. Rovinnost měřicích ploch

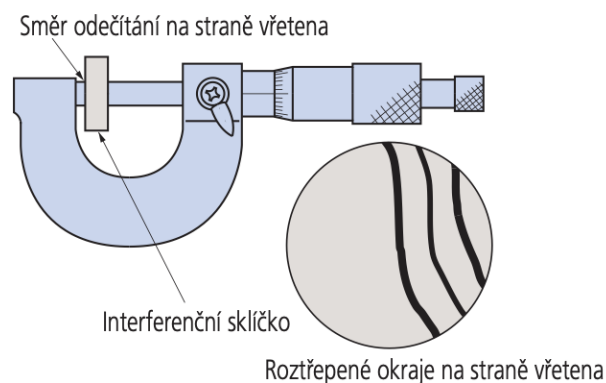
U etalonových měřidel se kontrola provádí planparalelní skleněnou měrkou a vyhodnocení probíhá pomocí interferenčních proužků. Schematicky je tato metoda zobrazena na Obr. 22. U pracovních měřidel a nastavovacích měrek probíhá kontrola pomocí nožového pravítka. [22]



Obr. 22 - Měření rovinnosti měřicích ploch mikrometru [23]

III. Rovnoběžnost měřicích ploch

Rovnoběžnost se kontroluje planparalelní skleněnou měrkou, která se vloží mezi měřicí doteky a sevře se jimi. Celkový počet interferenčních proužků nesmí překročit určitý počet, který odpovídá dovolené toleranci. Princip kontroly je zobrazen na Obr. 23. [22]



Obr. 23 - Měření rovnoběžnosti měřicích ploch mikrometru [23]

IV. Kontrola nulového nastavení mikrometrů

U mikrometrů s rovinnými doteky a rozsahem do 25 mm se zkontroluje nulové nastavení, které odpovídá dolní mezi měřicího rozsahu. Při rozsahu nad 25 mm se použijí koncové měřky. Pokud mikrometr nevyhovuje, musí se seřídít. [22]

V. Kontrola chyby měření

Chyba měření mikrometru je kontrolována pomocí koncových měrek. Provádí se série 5 měření, z kterých se vypočítá průměrná hodnota. Zjištěná maximální odchylka nesmí překročit mezní dovolenou chybu (podle hodnot MPE^2 , DIN 863-1 nebo interních předpisů ŠKODA Metrologie). Naměřené hodnoty se postupně zaznamenávají do tabulky, viz Tab. 2. [22]

Tab. 2 - Naměřené hodnoty při kalibraci mikrometru [22]

Jmenovitá hodnota [mm]	Průměrná naměřená hodnota [mm]	Maximální chyba indikace [μm]
100,00	100,00	1,0
102,50	102,501	2,0
105,10	105,102	2,0
107,70	107,702	3,0
110,30	110,302	2,0
112,90	112,902	3,0
115,00	115,002	3,0
117,60	117,602	2,0
120,20	120,202	3,0
122,80	122,803	3,0
125,00	125,00	0,0

² Maximum Permissible Error = největší dovolená chyba

g) Měření metrologických parametrů hloubkoměru

Kontrola se provádí na průměrné desce s dvojicí koncových měrek téže jmenovité hodnoty. Zároveň se zkontroluje stav dosedací plochy. Celková zjištěná odchylka musí být menší než mezní dovolená chyba. [22]

h) Vyhodnocení a rozhodnutí

Na základě výsledků zkoušek, uvedených výše, rozhodne operátor, který prováděl kalibraci, zda měřidlo vyhovuje či nevyhovuje stanoveným požadavkům. Výsledek se zanesse do dokladu měřidla a do protokolu o kalibraci. [22]

i) Protokol o kalibraci

Veškeré náležitosti a požadavky na protokol o kalibraci jsou dány interním předpisem ŠKODA Metrologie. Originál protokolu se předá objednavateli kalibrace a v elektronické formě se vloží do vhodného SW (např. Palstat CAQ). [22]

5.1.2 Kalibrace digitálního mikroskopu

Formální a obsahové náležitosti postupu kalibrace digitálního (měřicího) mikroskopu jsou stejné nebo velice podobné jako v případě postupu, jenž je popsán v předchozí kapitole. Z tohoto důvodu zde bude uveden pouze princip měření metrologických parametrů.

Použitý etalon je v tomto případě skleněné měřítko nebo skleněná deska. Postup spočívá v měření vzdálenosti rysek na skleněném měřítku, případně tvarových prvků na skleněné desce a následný optický odečet naměřených hodnot při vhodném zvětšení. Měřítka se vyrovná do osy přístroje, pořídí se snímek etalonu a pomocí SW měřicí funkce se ohraničí rysky. Chyba indikace ve směru osy z se kontroluje pomocí koncových měrek. Počet a rozložení měřených bodů se zvolí podle potřeb uživatele, minimálně se však musí změřit 5 délek v rozmezí od nejmenší měřitelné³ po největší měřitelné vzdálenosti. Vzhledem ke kontrole opakovatelnosti se tato měření provádí alespoň 3x. Vůle ve vedení a polohových šroubech se zkontroluje opakovaným, obousměrným najížděním na stejnou rysku. Naměřené hodnoty se opět zaznamenávají do přehledné tabulky, Tab. 3. [22]

³ Vzdálenost dvou rysek etalonu

Tab. 3 - Naměřené hodnoty při kalibraci digitálního mikroskopu [22]

Objektiv	Zvětšení	Jmenovitá hodnota [μm]	Naměřená hodnota [μm]	Maximální odchylka [μm]
Rovina x, y				
ZS 20	20x	500	500,35 - 502,10	2,1
ZS 20	20x	11 000	11 003,77 - 11 004,11	4,11
ZS 20	30x	500	498,82 - 504,14	4,14
ZS 20	30x	7 000	6 998,84 - 7 000,75	1,16
ZS 20	50x	400	400,03 - 401,69	1,69
ZS 20	50x	4 000	3 997,31 - 3 998,28	2,69
ZS 20	100x	300	299,43 - 301,49	1,49
ZS 20	100x	2 000	2 000,02 - 2 001,02	1,02
ZS 20	100x stitching ⁴	4 000	4 030,87	30,87
ZS 20	100x stitching	10 000	10 076,31	76,31
ZS 20	150x	100	100,12 - 100,98	0,98
ZS 20	150x	1 500	1 500,70 - 1 501,06	1,06
ZS 20	200x	100	100,16 - 100,70	0,7
ZS 20	200x	1 000	1 000,18 - 1 000,38	0,38
ZS 200	200x	100	100,05 - 100,37	0,37
ZS 200	200x	1 000	1 000,19 - 1 000,21	0,21
ZS 200	300x	50	50,05 - 50,25	0,25
ZS 200	300x	700	700,00 - 700,33	0,33
ZS 200	500x	50	49,94 - 50,11	0,11
ZS 200	500x	500	500,09 - 500,30	0,3
ZS 200	500x stitching	300	300,05 - 300,97	0,97
ZS 200	500x stitching	800	800,30 - 800,63	0,63
ZS 200	1 000x	40	40,02 - 40,08	0,08
ZS 200	1 000x	200	200,00 - 200,10	0,1
ZS 200	1 500x	30	30,01 - 30,07	0,07
ZS 200	1 500x	150	150,00 - 150,04	0,04
ZS 200	2 000x	10	10,00 - 10,05	0,05
ZS 200	2 000x	100	100,01 - 100,02	0,02
Osa z				
ZS 20	100x	5 000	4 997,79 - 4 999,58	2,21
ZS 20	200x	5 000	4 995,11 - 4 996,54	4,89
ZS 200	200x	500	495,85 - 503,44	4,15
ZS 200	300x	500	497,72 - 502,66	2,66
ZS 200	500x	500	500,41 - 502,56	2,56

⁴ Stitching = skládání obrazu z více zorných polí

Rozsah měřených vzdáleností je závislý na počtu použitých objektivů a potřebách uživatele, nicméně jak je patrné z porovnání velikostí Tab. 2 a Tab. 3, kalibrace složitějších vícerozměrných měřicích přístrojů je tedy vždy mnohem rozsáhlejší a časově více náročná než u jednoduchých komunálních měřidel. Zároveň je pro analýzu nastavení optimálních kalibračních lhůt nutné mít naměřená data uložena v digitální formě a ruční přepis z kalibračního protokolu je velmi nepraktický. Z tohoto důvodu je nutné zajistit jistou formu automatického přenosu naměřených hodnot z kalibrovaného přístroje přímo do vyhodnocovacího SW (podrobněji bude tato problematika popsána v kapitole 7.2.1).

5.2 Kalibrační interval

Důležitým aspektem pro udržení schopnosti provádět návazná a spolehlivá měření je určení maximální doby mezi jednotlivými kalibracemi. Při nastavování optimální délky kalibračního intervalu je zásadní minimalizovat riziko, že měřidlo přestane splňovat dané specifikace a zároveň minimalizovat náklady spojené s kalibrační činností. Pokud je interval nastaven na příliš dlouhou dobu, může dojít k nespolehlivému a nepřesnému měření, což povede k ohrožení celé výroby. Naopak bezdůvodně krátký interval vede ke zbytečnému nárůstu nákladů na kalibraci. [24] [25]

Nejdůležitější faktory, které ovlivňují délku kalibračního intervalu:

- doporučení výrobce
- typ měřidla/přístroje
- požadovaná přesnost
- náchylnost k opotřebení
- četnost a náročnost používání
- okolní podmínky (teplota, vlhkost, znečištění, vibrace atd)
- data získaná z předchozích kalibrací
- historie údržby a oprav
- frekvence mezilhůtního ověření
- přeprava a způsob skladování
- znalosti obsluhy

5.3 Vybrané metody stanovení kalibračního intervalu

Způsob stanovení kalibračního intervalu je komplexní matematicko-statistický proces, který vyžaduje mít k dispozici přesná data získaná při kalibracích. Vzhledem k existenci mnoha různých metod neexistuje žádný jednotný univerzální způsob, kterým je možné stanovit interval pro všechny typy měřidel a přístrojů. Vybrané metody jsou podrobněji popsány níže. [24]

5.3.1 Prvotní stanovení kalibračního intervalu

Prvotní rozhodnutí o nastavení délky kalibračního intervalu je založeno na následujících faktorech:

- doporučení výrobce měřidla
- očekávaná četnost a náročnost používání
- vliv prostředí
- požadovaná nejistota měření
- maximální dovolená chyba
- změny v nastavení přístroje
- vliv měřené veličiny (např. vysoká teplota termočlánků)
- shromážděná a publikovaná data o stejném nebo podobném měřidle

Rozhodnutí by mělo být provedeno osobou, která má odborné znalosti v oblasti měření a kalibrace. Délka intervalu musí být odhadnuta tak, aby maximální chyba při měření nepřekročila toleranční pásmo. [24]

5.3.2 Metody přehodnocení kalibračního intervalu

Jakmile je stanoven pravidelný kalibrační interval, může změna jeho délky optimalizovat vyváženost mezi náklady na kalibrační činnost a riziky spojené s používáním nevyhovujícího měřidla. Prvotně nastavený interval nebude pravděpodobně ideální, a to z mnoha důvodů, např.:

- měřidlo může být méně spolehlivé, než se očekávalo
- četnost a způsob používání může být jiný, než se předpokládalo
- trend z minulých kalibrací indikuje, že se interval může bez zvýšeného rizika prodloužit

K přehodnocení délky intervalu existuje celá řada metod. Optimální varianta pro dané měřidlo se určí na základě typu vstupních dat. Pevně stanovené intervaly bez jakéhokoliv přehodnocení jsou považovány za méně spolehlivé a nedoporučují se. [24]

a) Automatické přenastavení („Staircase“)

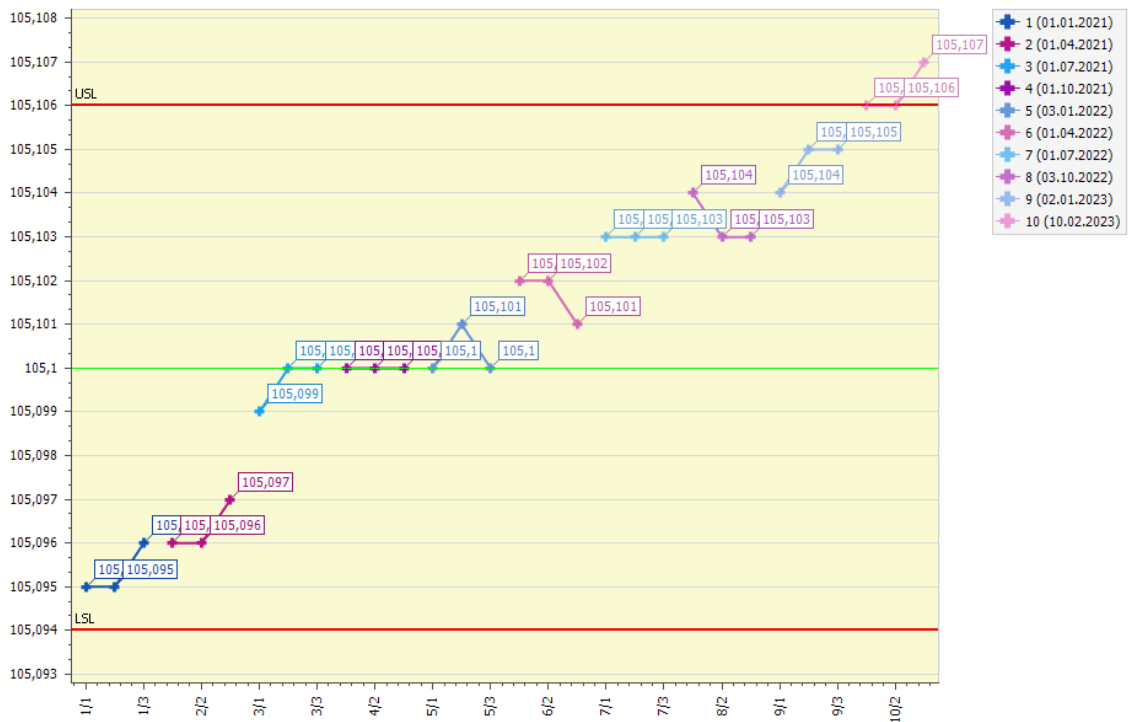
Pokaždé, když je měřidlo pravidelně kalibrováno, dochází ke změně doby kalibračního intervalu. V případě, že zjištěná odchylka dosahuje maximálně např. 80 % dovolené chyby, dojde k prodloužení tohoto intervalu, v opačném případě se interval zkrátí. [24]

Tato metoda umožňuje poměrně rychlou odezvu a přenastavení původního intervalu, současně neklade vysoké nároky na uživatele. Nevýhodou je náročnější sledování platnosti kalibrace, protože každé měřidlo může mít různý kalibrační interval. Zároveň není vzata do úvahy celá kalibrační minulost přístroje, ale pouze poslední záznam, což může nepříznivě ovlivnit pohled na chování daného měřidla. [24] [26]

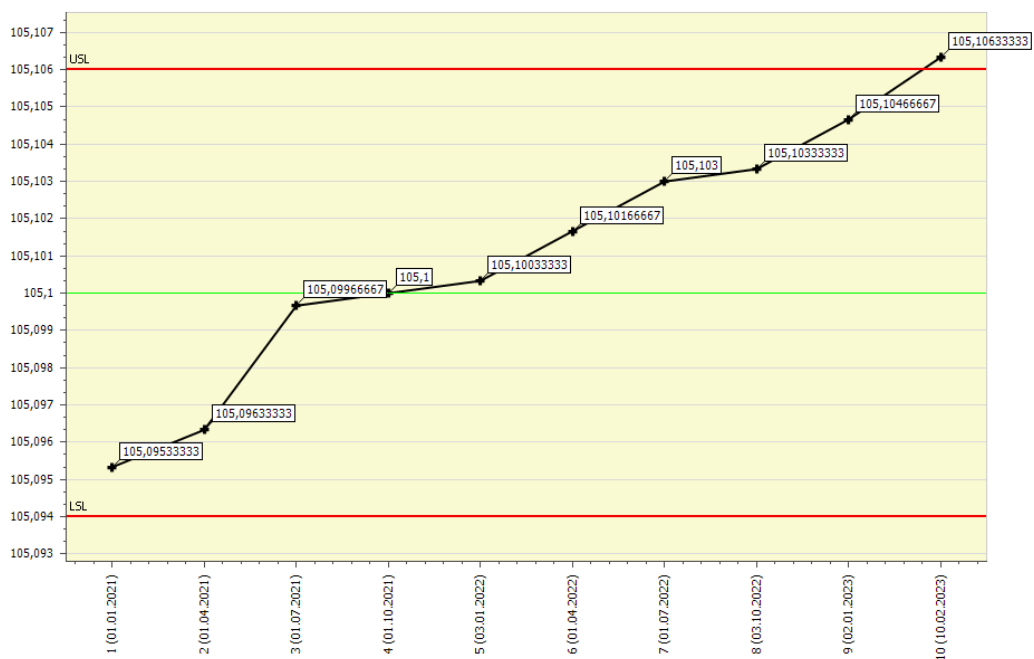
b) Kontrolní graf („Control chart“)

Tato metoda je jedním z nejdůležitějších nástrojů statistické kontroly kvality (SQC). Výsledky kalibrace jsou zaznamenávány v čase a vynášeny do grafu, z něhož je možné konstatovat nejen rozptyl naměřených hodnot viz Obr. 24, ale i trend znehodnocování daného měřidla viz Obr. 25. Díky těmto záznamům se dá predikovat následný vývoj odchylky a tím i upravit délka kalibračního intervalu. [24]

Nevýhodou této metody je poměrně složitá aplikace v praxi. Pro ideální sběr dat je nutné automatizovat celý proces kalibrace. Rovněž je nezbytné mít dostatek záznamů z předešlých kalibrací k určení chování a vývoje odchylky, teprve poté je možné korigovat dobu intervalu. [24]



Obr. 24 - Kontrolní graf – zobrazení rozptylu odchylky



Obr. 25 - Kontrolní graf – trend vývoje odchylky

c) Metoda „In use time“

Princip této metody je totožný s předchozí, ale kalibrační interval se vyjadřuje v hodinách používání daného zařízení místo kalendářních měsíců. Měřidlo je vybaveno časovačem, který měří jeho skutečné využití. Příkladem může být

termočlánek používaný v extrémních teplotách nebo měřidla podléhající mechanickému opotřebení. [24]

Výhodou je, že náklady na kalibraci souvisejí přímo s dobou používání přístroje a zároveň dochází ke kontrole jeho využívání. Nevýhodou je, že tuto metodu nelze použít pro všechny typy měřidel (etalony, zařízení, která vykazují zhoršování metrologických vlastností v čase nebo při uložení a manipulování). Zároveň jsou přítomny i vysoké počáteční náklady spojené s instalací časovačů a proškolením uživatelů, aby s nimi dokázali správně pracovat. [24]

d) Průběžné zkoušky během používání („Black box testing“)

Tato metoda je vhodná pro komplexní přístroje nebo měřicí konzole. Vybrané charakteristiky jsou kontrolovány pravidelně (jednou denně nebo i častěji) pomocí přenosného kalibračního nástroje („black box“), který je vyrobený speciálně pro tuto činnost. Jakmile je zjištěna chyba překračující maximální přípustný limit, je přístroj vrácen k celkové kalibraci. Hlavní výhodou je, že uživatel má pravidelný přehled o aktuálním stavu daného zařízení. Případná nečekaná chyba nebo porucha je téměř okamžitě odhalena a nedojde tak k ohrožení měření, či dokonce výroby. Nedostatkem může být samotná konstrukce kalibračního nástroje a rozhodnutí, které charakteristiky se mají kontrolovat. Chyba, která nebyla detekována, zkreslí povědomí o skutečném stavu přístroje, kdy uživatel předpokládá, že je vše v pořádku, nicméně přístroj již nemusí vyhovovat požadovaným specifikacím. Zároveň vlastnosti kalibračního nástroje nemusí být v čase neměnné a měly by být též kontrolovány. [24]

e) Algoritmická metoda

Algoritmická metoda v sobě zahrnuje dva základní faktory. Jednak historické výsledky kalibrací (zjištěná odchylka leží nebo neleží v toleranci), tak i míru překročení tolerančního pásma. Analýza těchto dvou faktorů může vést k vytvoření algoritmu, který upraví kalibrační interval. Příklad takového algoritmu je uveden níže.

$$NI = CI \cdot (W_1 \cdot X + W_2 \cdot Y + W_3 \cdot Z)$$

Kde,

NI = nově upravený kalibrační interval

CI = původně nastavený kalibrační interval

W_1, W_2, W_3 = koeficienty, které zahrnují míru důležitosti předchozích kalibrací

X, Y, Z = koeficienty, které zahrnují výsledek přechozích kalibrací

Jednotlivé koeficienty mohou být nastaveny dle potřeb individuálních laboratoří, které provádějí kalibrace a nastavují intervaly. Pro názornou ukázkou je možné stanovení koeficientů zobrazeno v Tab. 4 a Tab. 5. [27]

Tab. 4 - Koeficienty zahrnující výsledek předchozí kalibrace [26]

Výsledek kalibrace	Koeficienty X, Y, Z
Odchylka v toleranci	1
Odchylka mimo toleranci, maximálně o šířku tolerančního pásma	0,8
Odchylka mimo toleranci, maximálně o dvě šířky tolerančního pásma	0,6
Odchylka mimo toleranci, maximálně o čtyři šířky tolerančního pásma	0,4
Odchylka mimo toleranci, maximálně o šest šířek tolerančního pásma	0,3

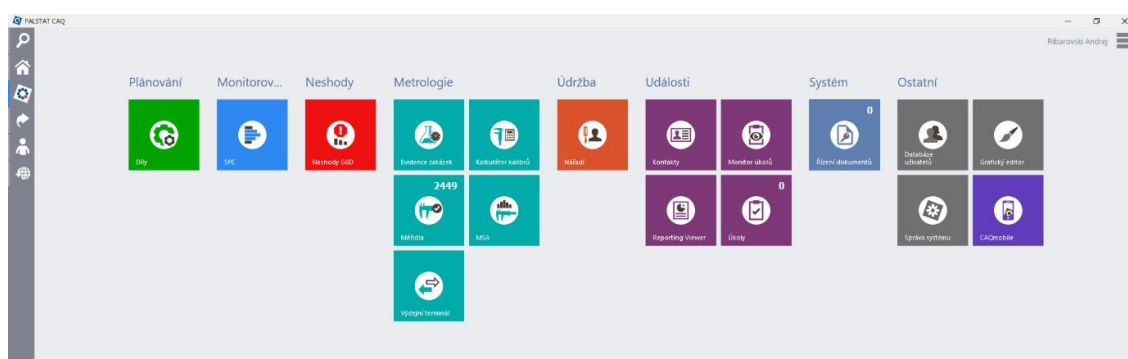
Tab. 5 - Koeficienty zahrnující míru důležitosti předchozích kalibrací [26]

Koeficient	Pořadí kalibrace	Hodnota koeficientu
W_1	Nejnovější kalibrace	0,8
W_2	Minulá kalibrace	0,2
W_3	Předminulá kalibrace	0,1

Výhodou těchto algoritmických metod je poměrně snadný výpočet a následné upravení kalibračních lhůt. Problematické může být správné nastavení koeficientů tak, aby měřidla splňovala individuální požadavky uživatelů. Neexistuje žádné jednotné řešení pro všechny typy přístrojů a každá laboratoř musí provést vhodné úpravy. [26] [27]

6 Palstat CAQ

Společnost PALSTAT s.r.o. byla založena v roce 1992 a od té doby nabízí profesionální řešení v oblasti řízení kvality nejen v České republice, ale po celém světě. SW Palstat CAQ, vyvinutý touto společností, poskytuje možnost vybudování efektivního systému řízení kvality ve firmách všech velikostí. Mezi nejznámější společnosti, které používají tento SW patří Škoda Auto a.s., Hyundai Motor Manufacturing Czech s.r.o. nebo Bosch Powertrain s.r.o. Samotná aplikace má modulární vzhled, viz Obr. 26, který zajišťuje snadné splnění specifických požadavků ze strany zákazníka a pomáhá k celkové uživatelské přehlednosti. Současně je program určen k implementaci mezinárodních norem, např. ČSN EN ISO 9001⁵, IATF 16949⁶ nebo VDA⁷. [28]



Obr. 26 - Úvodní obrazovka SW Palstat CAQ

Moduly jsou rozděleny do následujících kategorií:

- **Plánování**

Plánování jakosti je soubor procesů, který definuje a určuje činnosti nezbytné k zajištění, že jsou splněny všechny nároky a požadavky zákazníka na daný výrobek nebo službu. Současně je oblast plánování zaměřena na podporu v předvýrobní etapě a pomáhá celému procesu od začátku vývoje až po zahájení výroby. [28]

- **Monitorování**

Tento modul aplikuje metody pro monitorování a měření procesů systému managementu kvality. Použité metody prokazují schopnost procesů dosáhnout

⁵ Požadavky na systém managementu kvality (QMS)

⁶ Norma pro systém managementu kvality v automobilovém průmyslu

⁷ Normy pro systém managementu kvality v automobilovém průmyslu vydané Německou asociací automobilového průmyslu (VDA = Verband der Automobilindustrie)

požadovaných výsledků a umožňují sledovat charakteristiky výrobků, aby se ověřilo, že jsou splněny veškeré požadavky. Důkazy o shodě se stanovenými požadavky jsou elektronicky ukládány a záznamy obsahují informace o osobách, které výrobek uvolnily. [28]

- **Neshody**

SW Palstat CAQ umožňuje společností zajistit, že výrobek, který nesplňuje určité požadavky, je identifikován a řízen tak, aby se zamezilo jeho použití nebo dodání zákazníkovi. Zacházení s neshodným produktem je stanoveno a řízeno podle metodiky Global 8D a probíhá následovně [28]:

- provedení opatření, které vede k odstranění zjištěné závady
- schválení použití nebo dodání výrobku se zjištěnou neshodou na základě udělení výjimky příslušným orgánem nebo osobou
- provedení opatření, které zamezí původnímu použití daného výrobku

- **Metrologie**

Moduly v oblasti metrologie zajišťují evidenci měřidel a umožňují provádět záznamy o provedení kalibrační činnosti včetně automatických výpočtů nejistot. U měřidel je možno zaznamenávat výpůjčky z výdejen a návaznost na výrobní operace. [28]

- **Údržba**

V této kategorii modulů je umožněno vybudování účinného systému pro plánování preventivní údržby a řízení výdejen náradí pro výrobu s možností sledování technického stavu a kvality. [28]

- **Události**

Tato oblast je určena pro sledování úkolů a událostí, které vznikly při řízení společnosti v oblasti managementu kvality. Dále slouží k uložení a dlouhodobé archivaci dokumentů v souladu s normami ISO a zákonem o archivnictví. Modul také obsahuje databázi partnerů (dodavatelé, zákazníci) včetně funkcí CRM⁸. Současně modul umožňuje tvorbu vlastních reportů nad daty v systému Palstat CAQ pro účely sledování aktuálních informací a přezkoumání systému managementu kvality vedením. [28]

⁸ Řízení vztahu se zákazníky (CRM = Customer relationship management)

- **Systém**

V tomto modulu je umožněno plánovat, provádět a dokumentovat různé audity nebo prověrky. Zároveň je oblast Systém určena k řízení a správě dokumentů, probíhá zde tvorba, připomínkování, schvalování a následná elektronická distribuce v počítačových sítích. [28]

6.1 Evidence a správa měřidel ve společnosti Škoda Auto a.s.

Systém Palstat CAQ se ve společnosti Škoda Auto a.s. používá již od přelomu tisíciletí a v současné době eviduje desítky tisíc měřidel. Díky neustálému kontaktu s vývojáři se SW stále vylepšuje a reaguje na veškeré normativní a legislativní předpisy a na speciální požadavky ze strany automobilky. Pro školící a testovací potřeby byla založena fiktivní výdejna s názvem „XXX“, ve které může uživatel provádět jakékoliv záznamy a úpravy, aniž by došlo k ohrožení reálné ostré databáze vinou chybně provedené operace. Veškeré zásady a principy popsané níže budou ilustrovány na měřidlech, která jsou umístěna právě v této fiktivní výdejně.

Pro správu a evidenci měřidel slouží modul Měřidla, který je součástí oblasti Metrologie v systému Palstat CAQ. Modul je rozdělen na 6 karet (Seznam, Měřidlo, Poznámka, Kalibrace, Mezilhůtní ověřování a Opravy), z nichž každá obsahuje specifická pole, která souvisejí s danou činností. Výhody elektronické evidence a správy měřidel jsou [22]:

- práce v počítačové síti, přístup k databázi kdykoliv a odkudkoliv
- jednoduché vyhledávání měřidel podle různých filtrů
- rychlé ověření stavu platnosti kalibrace
- možnost uložení dokumentů k měřidlům
- export dat do formátu XLS (Microsoft Excel)
- dohledání historie provedených změn
- tvorba vlastních kalibračních protokolů
- grafické zvýraznění měřidel podle různých kritérií

Elektronická evidence je povinná pro etalony interních kalibračních míst, stanovená měřidla, pracovní měřidla a referenční materiály. Na orientační měřidla⁹ se tato povinnost nevztahuje. V případě výpadku systému se veškeré změny zaznamenávají do příslušného

⁹ Orientační měřidla jsou určena pouze pro informativní měření, která nemají vliv na kvalitu výrobku, bezpečnost při práci či životní prostředí.

formuláře a po opětovném uvedení do provozu se tyto změny zapíší do centrální evidence dodatečně. [22]

6.1.1 Karta Seznam

Na této záložce je uveden seznam všech evidovaných měřidel a měřicích strojů. V jednotlivých sloupečcích jsou zobrazeny základní informace, které poskytují ucelený přehled o zapsaných měřidlech. Jejich množství a pořadí může uživatel jednoduše měnit a tím docílit personalizace systému podle vlastních potřeb. V seznamu lze vyhledávat pomocí rychlého nebo kombinovaného filtru s následným exportem do Excelu. Barevné podbarvení má následující význam [22]:

- bíle podbarvený řádek: chybí vyplněné údaje o platnosti kalibrace, měřidlo je na opravě nebo kalibraci
- žlutě podbarvený řádek: měřidlu v provozu končí daný měsíc platnost kalibrace
- červeně podbarvený řádek: měřidlo má propadlou kalibraci
- zeleně podbarvený řádek: měřidlo má správně vyplněnou platnost kalibrace

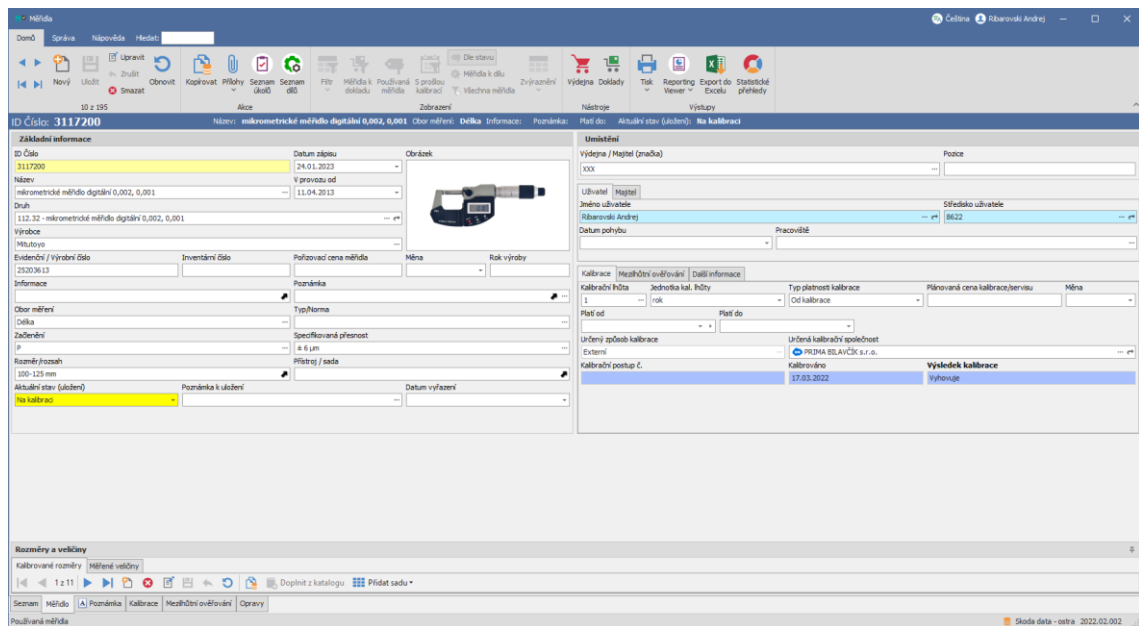
ID číslo	Název	Evidenční /	Výběra	Aktuální stav (úroveň)	Datum zápisu	V provozu od	Kalibrační lh.	Jednotka ka.	Platí od	Platí do	Určený zp.	Určení kalib.	Typ/forma	Zařazení	Specifikova	Mezihřní o.	Výrobce	Rok výroby	Polstrovac č.	Sříděčko sř.
1030247	měřidlo tlaku	1A P100	XXX	Na kalibraci	26.09.2017	02.09.2019	5	kalendářní rok	26.09.2017	31.12.2026	Externí	ISRA SURF	S	Stavené			TCM 174/ 01			
1030246	ostativ měřidlo obje	1238	XXX	Provoz měřidla/v	26.09.2017	23.06.2010	10	kalendářní rok	26.09.2017	31.12.2026	Externí	ISRA SURF	S	Stavené			vodorat	2010	399	7010
1030245	závitový kalibr vále		XXX	Provoz měřidla/v	26.09.2017	01.07.2019	10	rok	7/2019	7/2029	Externí	ČMÚ Praha	P	Stavené						7021
1030244	posunové měřidlo d.		XXX	Na kalibraci	26.09.2017	23.05.2019	5	kalendářní rok			Externí	ČMÚ Český	P	Stavené						
1030243	Microlon		XXX	Zkalibrované	26.09.2017		3	kalendářní rok			Externí	ČMÚ Brno	S	Stavené						3991
1030241	speciální měřidlo po		XXX	Provoz měřidla/v	26.09.2017	17.04.2019	10	kalendářní rok	17.04.2019	31.12.2028	Externí	Prácheň str.	P	Stavené						
1030240	ostativ měřidlo peř		XXX	Zkalibrované	26.09.2017		2	kalendářní rok			Externí	RENCHA	P	Stavené						
1030239	měřič spotřeba palva		XXX	Na kalibraci	26.09.2017		2	kalendářní rok			Externí	ČMÚ Pardub.	P	Stavené						
1030238	měřidlo tlaku	1334538	XXX	Zkalibrované	26.09.2017	27.05.2019	1	kalendářní rok	27.05.2019	31.12.2019	Externí	IMS	P	Stavené			Nafukovač s.r.o.	2017	15000,35	
1030237		15155	XXX	Zkalibrované	26.09.2017	04.04.2019	1	kalendářní rok	12.11.2018	31.12.2067	Externí	ČMÚ Český	P	Stavené						
1030236	závitový kalibr vále		XXX	Provoz měřidla/v	26.09.2017	14.01.2020	50	kalendářní rok			Externí		P	Stavené						
1030235	závitový kalibr vále		XXX	Zkalibrované	26.09.2017	03.07.2020	5	rok	9/2017	9/2022	Externí	ČMÚ Český	P	Stavené						
1030234	posunové měřidlo	1234	XXX	Zkalibrované	26.09.2017	18.02.2010	10	rok	5/2022	5/2032	Externí	Ing. JF Duc.	P	Stavené				2010	1999	7010
1030233	posunové měřidlo d.	12333	XXX	Zkalibrované	26.09.2017	27.05.2019	2	kalendářní rok	27.05.2019	31.12.2020	Externí	ČMÚ Český	P	Stavené						
1030135	dřívok měřivý skln		XXX	Na kalibraci	21.09.2017	17.04.2019	1	kalendářní rok			Externí	ČMÚ Praha	P	Stavené						8586
1030134	posunové měřidlo d.		XXX	Ve výdeji	21.09.2017	17.05.2022	2	kalendářní rok	31.05.2022		Externí	ČMÚ Český	S	Stavené						
1030133	vodorat		XXX	Zkalibrované	21.09.2017		1	kalendářní rok	21.09.2017		Externí	ČMÚ České	S	Stavené			lrohne			
1030132	posunové měřidlo d.	1234	XXX	Na kalibraci	21.09.2017		2	kalendářní rok			Externí	ČMÚ Český	P	Stavené			Starley			
1030129	posunové měřidlo		XXX	Na kalibraci	21.09.2017	21.09.2017	1	kalendářní rok			Externí	ČMÚ Praha	PN251236	P	Stavené		Presser			
1030033	posunové měřidlo m.		XXX	Na kalibraci	15.09.2017		1	rok			Interní	DOM 1	666666	P	Stavené					1000
1029859	mikrometrické měř.		XXX	základní rezervace	05.09.2017	04.01.2019	5	kalendářní rok			Interní	DOM 1	P	Uvedena v ...			Milutoyo	2017		
1029858	mikrometrické měř.	13548	XXX	Na kalibraci	05.09.2017	05.09.2017	1	kalendářní rok			Interní	DOM 1	P	Stavené			Milutoyo	2017		3812
1029856	mikrometrické měř.	12548	XXX	Na kalibraci	05.09.2017	05.09.2017	1	kalendářní rok			Interní	DOM 1	P	Uvedena v ...			Milutoyo	2017		
1029855	mikrometrické měř.	222	XXX	Na kalibraci	05.09.2017	05.09.2017	1	kalendářní rok			Interní	DOM 1	P	Uvedena v ...			Milutoyo	2017		3500
1028657	posunové měřidlo d.	156423	XXX	Provoz měřidla/v	23.03.2017	23.05.2019	1	kalendářní rok			Externí	AHborn	P	Stavené						230652 7015
1028656	posunové měřidlo d.	156423	XXX	Provoz měřidla/v	23.03.2017	23.05.2019	20	kalendářní rok	05.06.2018	31.12.2037	Externí	TESTMA	123	P	Uvedena v ...		ZEISS			3334
1028655	kalibr tlakový	454	XXX	Provoz měřidla/v	23.03.2017	23.05.2019	10	rok	9/2022	9/2032	Externí	PRDMA SBLA	P	Stavené				2017		7701

Obr. 27 - Karta Seznam v SW Palstat CAQ

6.1.2 Karta Měřidlo

Do této záložky se zaznamenávají veškeré evidenční informace o daném měřidle. Úpravy lze provádět vypsáním textu do příslušné kolony, výběrem z rozbalovacího menu případně použitím kalendáře. Způsob a formu vyplnění evidenční karty určují interní předpisy ŠKODA Metrologie, odpovědnou osobou je pracovník, který provedl záznam.

Andrej Ribarovski



Obr. 28 - Karta Měřidlo v SW Palstat CAQ

Položky, které musí být vyplněny [22]:

- **ID číslo měřidla**

Číslo generuje program automaticky, slouží k jednoznačné identifikaci měřidla a uživatel nesmí toto číslo při zakládání nového měřidla přepisovat.

- **Datum zápisu, V provozu od**

Program přiřazuje automaticky, případně může vyplnit pracovník pomocí kalendáře.

- **Druh**

Program přiřazuje automaticky podle interního kódového systému členění měřidel, v případě potřeby může uživatel pole upravit.

- **Název**

Program přiřazuje automaticky podle položky „Druh“, uživatel může pole v případě potřeby upravit.

- **Výrobce**

Pole musí být vyplněno, pokud je výrobce znám.

- **Evidenční / Výrobní číslo**

- **Začlenění**

Vyplňuje pracovník přes výběrové menu podle interní dokumentace.

- **Specifikovaná přesnost**

Vyplňuje pracovník přes výběrové menu podle interní dokumentace.

- **Aktuální stav (uložení)**

Vyplňuje pracovník přes výběrové menu podle interní dokumentace.

- **Výdejna / Majitel (značka)**

- **Kalibrační lhůta**

- **Jednotka kalibrační lhůty**

- **Typ platnosti kalibrace**

- **Platí od, Platí do**

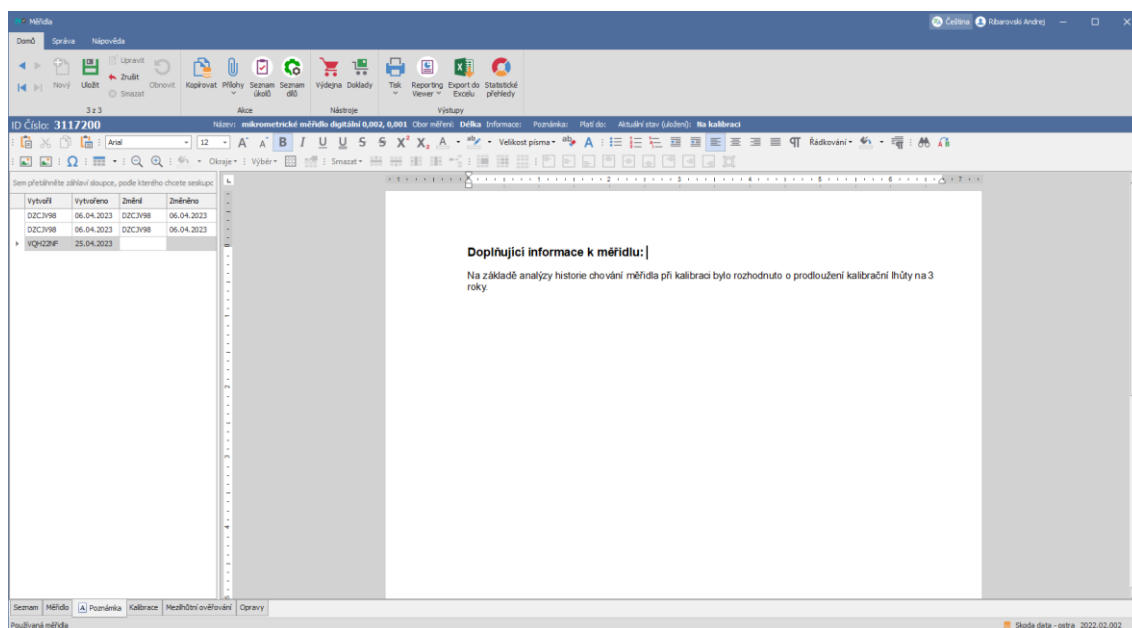
Položky musí být vyplněny, pokud je v poli „Aktuální stav (uložení)“ vybraná možnost „Provoz měřidla / V dílně“.

- **Určená kalibrační společnost**

Zbylé položky slouží k zapsání doplňujících informací podle potřeb jednotlivých uživatelů.

6.1.3 Karta Poznámka

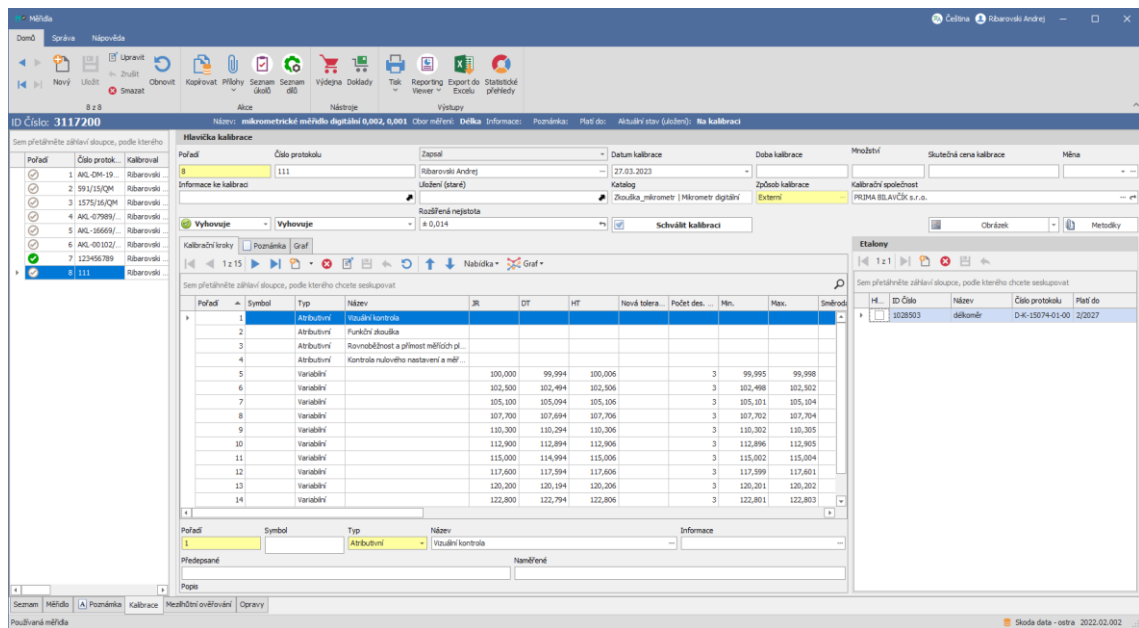
Tato karta je určena k zapsání rozsáhlejších doplňujících informací k danému měřidlu (např. výkres nebo tabulka), případně vložení samostatné přílohy. V názvu karty je indikována přítomnost poznámky značkou „A“ (pokud je značka prázdná, poznámka k měřidlu není založená). U každé poznámky je uvedeno uživatelské jméno pracovníka, který ji vytvořil a po uložení není umožněna žádná editace. [22]



Obr. 29 - Karta Poznámka v SW Palstat CAQ

6.1.4 Karta Kalibrace

Na této záložce je evidován seznam všech kalibrací vybraného měřidla. Zakládají se zde nové záznamy, do kalibračních kroků je možno zapisovat jednotlivé naměřené hodnoty a do přílohy ke kalibraci se nahrává příslušný kalibrační protokol. Po schválení kalibrace je na základě výsledku měřidlo buď uvolněno k používání na další období nebo je zablokováno. Záznam do systému provádí pracovník interní kalibrační laboratoře nebo externí dodavatel kalibračních služeb. [22]



Obr. 30 - Karta Kalibrace v SW Palstat CAQ

Položky, které musí být vyplněny [22]:

- **Pořadí**
Program vyplňuje automaticky.
- **Číslo protokolu**
Pokud existuje kalibrační protokol, musí být uložen do příloh ke kalibraci.
- **Kalibraci měřidla: zapsal, ověřil, kalibroval, kontroloval**
Vyplňuje pracovník přes výběrové menu.
- **Datum kalibrace**
Pole musí být vyplněno skutečným datem kalibrace, nikoliv dnem zapsání nebo dnem vystavení kalibračního protokolu. Program automaticky vyplňuje aktuální datum, položku lze přepsat.
- **Kalibrační společnost**
Vyplňuje pracovník přes výběrové menu.

- **Vyhovuje / Nevyhovuje**

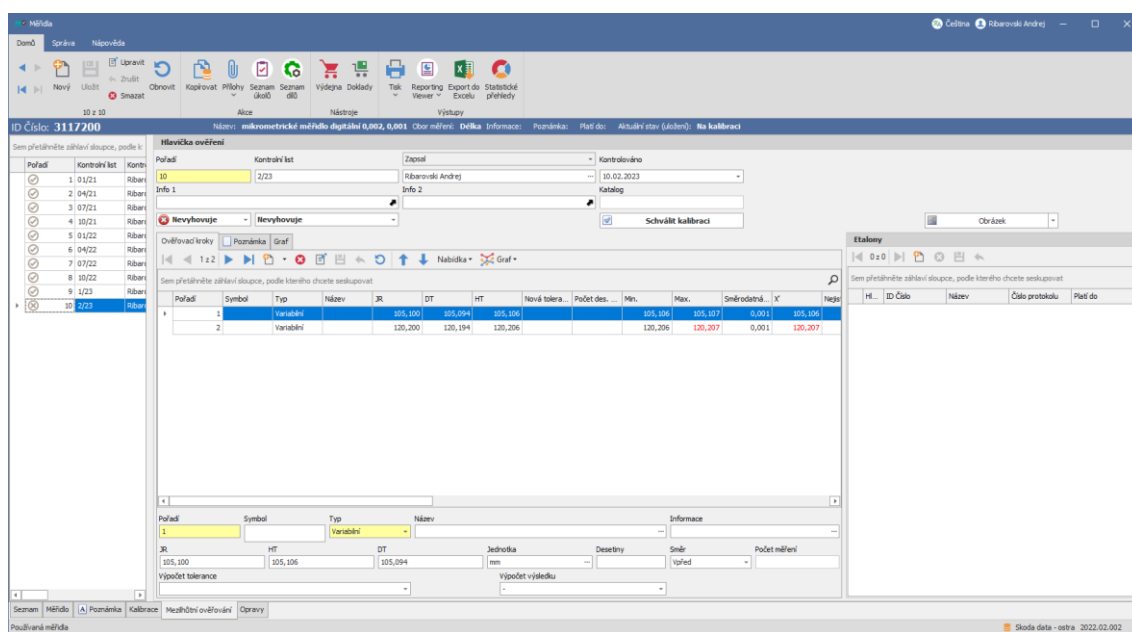
Vyplňuje pracovník na základě výsledku kalibrace.

- **Tlačítko Schválit kalibraci**

Uživatel, který provedl záznam a schválil kalibraci je zodpovědnou osobou za výrok o výsledku kalibrace a správnost záznamu. Po schválení nelze záznam o kalibraci měnit.

6.1.5 Karta Meziúhútní ověřování

Tato karta se používá pouze u měřidel, u kterých se provádí pravidelné meziúhútní kontroly. Karta se musí odemknout pomocí zaškrtávacího políčka v evidenčním listě daného měřidla. Pokud je aktivní funkce podbarvování měřidel v seznamu podle platnosti kalibrace, bude se měřidlo podbarvovat i na základě platnosti meziúhútního ověření. Práce s touto kartou je poté totožná jako se kartou Kalibrace. [22]



Obr. 31 - Karta Meziúhútní ověřování v SW Palstat CAQ

Položky, které musí být vyplněny [22]:

- **Pořadí**
Program vyplňuje automaticky.
- **Kontrolní list**
- **Meziúhútní ověření: zapsal, ověřil, kalibroval, kontroloval**
Vyplňuje pracovník přes výběrové menu.

- **Datum kontroly**

Pole musí být vyplněno skutečným datem kontroly, nikoliv dnem zapsání nebo dnem vystavení kontrolního protokolu. Program automaticky vyplňuje aktuální datum, položku lze přepsat.

- **Vyhovuje / Nevyhovuje**

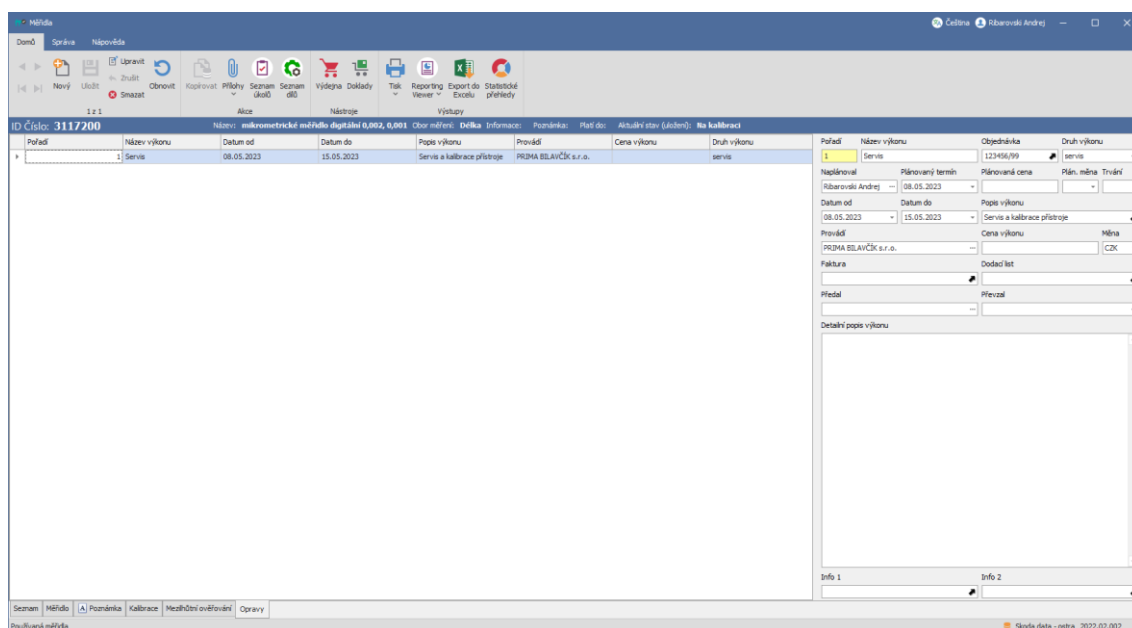
Vyplňuje pracovník na základě výsledku kontroly.

- **Tlačítko Schválit**

Uživatel, který provedl záznam a schválil kontrolu je zodpovědnou osobou za výrok o výsledku mezilhůtního ověření a správnost záznamu. Po schválení nelze záznam o kontrole měnit.

6.1.6 Karta Opravy

Záložka slouží k ukládání informací o opravách měřidla včetně přílohy příloh. Do karty je možné zapsat druh prováděné opravy, dobu trvání, kdo opravu prováděl, cenu, číslo faktury a další doplňující informace. [22]



Obr. 32 - Karta Opravy v SW Palstat CAQ

6.1.7 Specifika záznamu pro stanovená měřidla

a) Karta Měřidlo

– **Specifikovaná přesnost**

Z rozbalovacího menu je nutné vybrat možnost „*Stanovené měřidlo*“.

– **Kalibrační lhůta**

Vyplňuje se podle lhůty stanovené Vyhláškou 345/2002 v platném znění.

– **Typ platnosti kalibrace**

Z rozbalovacího menu je nutné vybrat možnost „*Od kalibrace*“.

– **Platí od / Platí do**

Je potřeba vyplnit podle vystaveného dokladu o ověření.

b) Karta kalibrace

– **Číslo protokolu**

Je potřeba vyplnit číslo Ověřovacího listu, Potvrzení o ověření nebo údaj z úřední značky.

– **Datum kalibrace**

Vyplňuje se datum, který je uveden v Ověřovacím listě nebo v Potvrzení o ověření. V případě označení měřidla úřední značkou datum záznamu ověření.

– **Přílohy – kalibrační protokoly**

Musí se vložit Ověřovací list nebo Potvrzení o ověření, v případě použití úřední značky se nahraje její obrázek (fotografie).

7 Práce s kalibračními lhůtami

Nastavením kalibračního intervalu musí být zaručeno, že dané měřidlo bude po celou tuto dobu splňovat specifické metrologické parametry. Je-li interval příliš dlouhý, tak hrozí, že měřidlo přestane tyto parametry splňovat a naměřené hodnoty nebudou dosahovat požadované přesnosti. Naopak příliš krátká kalibrační lhůta přináší zvýšené finanční náklady a snižuje časové možnosti používání měřidla v provozu.

7.1 Analýza aktuálního stavu nastavení kalibračních lhůt

Nastavení kalibračních lhůt ve společnosti Škoda Auto a.s. provádí majitel měřidla. Při prvotním stanovení se vychází z doporučení výrobce, intenzity používání, vlivu okolního prostředí, požadované přesnosti a zkušeností s podobnými měřidly. Přezkoumání a případnou změnu intervalu realizuje majitel měřidla společně s metrologem příslušné OJ (organizační jednotka), v případě etalonu s koordinátorem kalibračního místa. Pokud je v záručních podmínkách výrobce specifikována kalibrační lhůta, je nutné ji dodržet a její případné přenastavení je možné až po uplynutí záruky.

V současné době je většina kalibračních lhůt stanovena pevně a žádné další přezkoumávání neprobíhá. Tomu napomáhá i skutečnost, že záznam o kalibraci se vydává pouze jako kalibrační protokol, který je nahrán ve formátu PDF do SW Palstat CAQ a sledování např. vývoje odchylky v čase je prakticky nemožné.

Protokol o kalibraci měřidla musí obsahovat následující údaje [22]:

- název a adresa kalibračního místa
- název a číslo dokumentu
- datum kalibrace
- kalibrační postup, metoda kalibrace
- popis měřidla
- označení měřidla
- přesnost měřidla
- podmínky prostředí okolí (teplota, vlhkost)
- naměřené hodnoty a jednotky
- nejistota měření
- použité etalony

- identifikace osoby provádějící kalibraci
- výsledek kalibrace

Pro nastavení ideálních kalibračních intervalů je nezbytné začít veškeré naměřené hodnoty digitalizovat a následně sledovat chování daného měřidla v čase. Klasické papírové nebo PDF protokoly jsou v dnešní době poměrně neefektivní a ve snaze o co největší automatizaci v průmyslu je nutné přejít na nové způsoby záznamu kalibračních výsledků.

7.2 Doporučení ke zlepšení

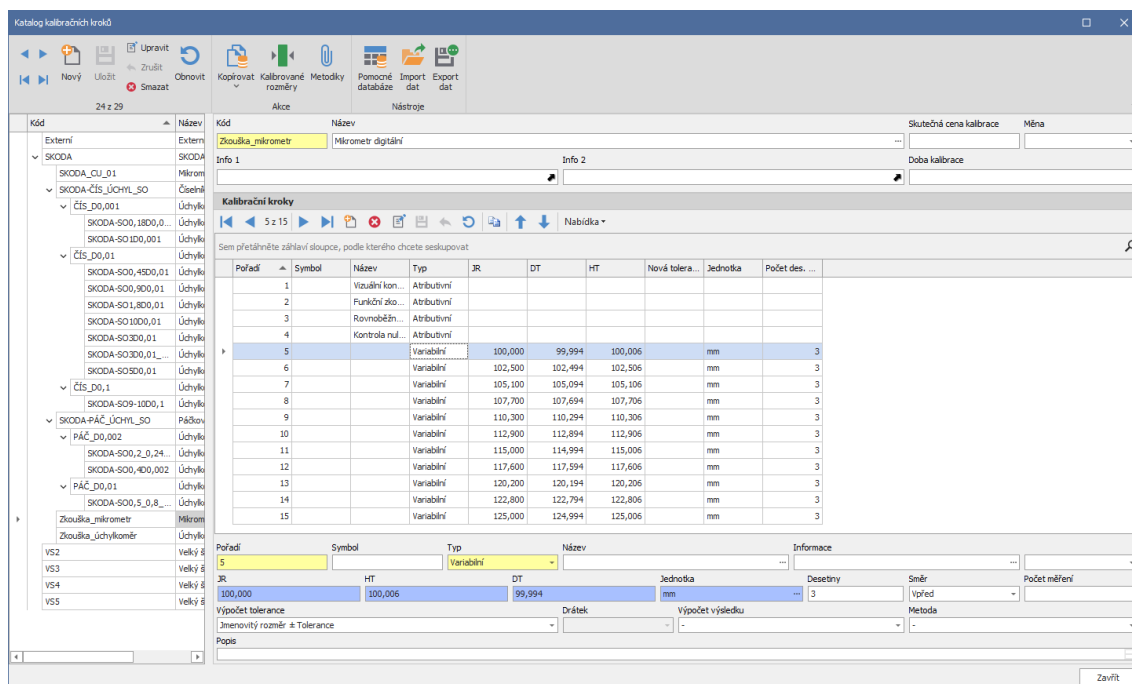
Na základě provedené analýzy aktuálního stavu nastavení kalibračních lhůt a snahy o zlepšení efektivity navrhuji provést následující změny.

7.2.1 Digitalizace naměřených dat

Jak již bylo zmíněno v textu výše, pro určení ideální kalibrační lhůty je nezbytné znát, jakým způsobem se dané měřidlo při používání v provozu opotřebovává. Aby bylo možné správně zhodnotit jeho technický stav a případně změnit nastavený kalibrační interval, je nutné disponovat dostatečným množstvím naměřených hodnot v digitální formě. Systém Palstat CAQ nabízí dva základní způsoby ukládání naměřených dat do karty *Kalibrace* příslušného měřidla. V případě kalibrace, která se provádí manuálně, operátor vloží naměřená data přes tzv. katalog kalibračních kroků. U automatických kalibrací, kde je výstupem datový soubor obsahující všechny potřebné informace, operátor tento soubor jednoduše importuje do systému.

- **Katalog kalibračních kroků**

Katalog kalibračních kroků umožňuje přehledný přepis klasických kalibračních postupů do zjednodušené elektronické verze. V levé části okna, viz Obr. 33, se nachází stromový přehled všech katalogů, které lze řadit a seskupovat podle různých kritérií (např. typ měřidla, rozsah, přesnost, atd).



Obr. 33 - Katalog kalibračních kroků

Při zakládání nového katalogu je nejprve nutné vyplnit jeho kód, který zaručuje jednoznačnou identifikaci, a název. Poté již následuje samotná tvorba kalibračních kroků, které se dělí na atributivní a variabilní. Atributivní kroky se vyznačují tím, že jejich výsledkem je pouze informace o tom, zda měřidlo vyhovuje či nevyhovuje. Používají se primárně k vizuální kontrole a funkční zkoušce. Variabilní kroky slouží k zaznamenání a následnému vyhodnocení naměřené hodnoty. Aby celý proces fungoval správně, musí být vyplněna následující pole:

- Pořadí
- Jmenovitý rozměr
- Dolní tolerance
- Horní tolerance
- Jednotka

Takto připravený katalog se po založení nové kalibrace¹⁰ načte do kalibračních kroků příslušného měřidla a operátor vyplní všechna pole podle skutečných naměřených hodnot. SW Palstat následně provede automatické vyhodnocení včetně výpočtu nejistot a kalibraci uloží. V případě potřeby je možné vygenerovat klasický protokol ve formátu PDF.

¹⁰ Katalog je nutné načíst pouze při prvním použití u daného měřidla. Při každé další kalibraci se jednotlivé kroky zkopírují z předchozího záznamu a načtení katalogu není povoleno.

- **Import dat z měřicího přístroje**

Kalibrace složitějších měřicích strojů vyžaduje desítky až stovky měření různých charakteristik a manuální přepisování do Palstatu je prakticky nemožné. Výhodou je, že tyto přístroje po spuštění programu provádí kalibraci automaticky a výstupem je datový soubor, který obsahuje všechny potřebné informace. V závislosti na typu formátu tohoto souboru se import dat dělí na přímý a nepřímý.

a) Přímý import

Přímý import naměřených dat se vyznačuje použitím nativního (vlastního) datového formátu stroje. Jelikož každý výrobce používá odlišný formát, je nutné mít pro různá zařízení vždy speciálně nastavený driver, který naměřená data přenesou do Palstatu. Pokud importovaný soubor obsahuje i jmenovité rozměry, není nutné použít katalog kalibračních kroků. Operátor po nahrání naměřených a jmenovitých hodnot kalibraci pouze potvrdí. V případě, že jmenovité hodnoty v souboru chybí, musí operátor nejprve vložit příslušný katalog do kalibračních kroků a až poté importovat daný soubor. Tento způsob je výrazně pracnější, jelikož pro každý typ měřidla musí být vytvořen vlastní katalog kalibračních kroků.

b) Nepřímý import

Druhou možností přenosu naměřených dat je použití univerzálního formátu. Aktuálně nejpoužívanější přenosový formát v automobilovém průmyslu je AQDEF (Advance Quality Data Exchange Format) vyvinutý společností Q-DAS GmbH (v současné době patřící pod Hexagon AB). Datový soubor obsahuje tzv. K-klíče a do každého jednotlivého pole se zapisuje právě jedna předem definovaná informace. K-klíče jsou podle typu ukládané informace rozděleny do pěti skupin [29]:

- K0001 až K0999: naměřené hodnoty
- K1000 až K1999: informace o dílech
- K2000 až K2999: charakteristická data
- K5000 až K5999: informace o struktuře (pouze pokud je požadováno)
- K8000 až K8999: QCC data (Quality control chart)

Pro názornost jsou některé konkrétní K-klíče zobrazeny v tabulce níže.

Tab. 6 - AQDEF K-klíče [30]

K-klíč	Charakteristika
K0001	Měřená hodnota
K0004	Datum a čas
K0008	Jméno operátora
K0010	Číslo přístroje
K1001	Číslo dílu
K1041	Číslo výkresu
K1231	Číslo měřicího programu
K2101	Nominální hodnota
K2110	Dolní toleranční limit
K2111	Horní toleranční limit
K2630	Nejistota kalibrace
K5001	Název skupiny
K5002	Popis skupiny
K5111	Skupina dílů
K8110	Typ grafu

Největší výhodou, kterou přináší používání univerzálního formátu je, že není potřeba mít na každé zařízení separátní driver, ale stačí jeden, který následně dokáže přenášet data ze všech typů měřicích strojů. Mezi další přínosy AQDEF formátu patří [29]:

- jednoduchost a transparentní struktura (pouze ASCII znaky)
- kompaktnost (všechny potřebné informace v jednom souboru)
- možnost okamžité vizualizace dat pomocí dalších Q-DAS produktů
- minimalizace chyb při přenosu dat

Následná práce s importovanými daty je totožná jako v případě nepřímého importu.

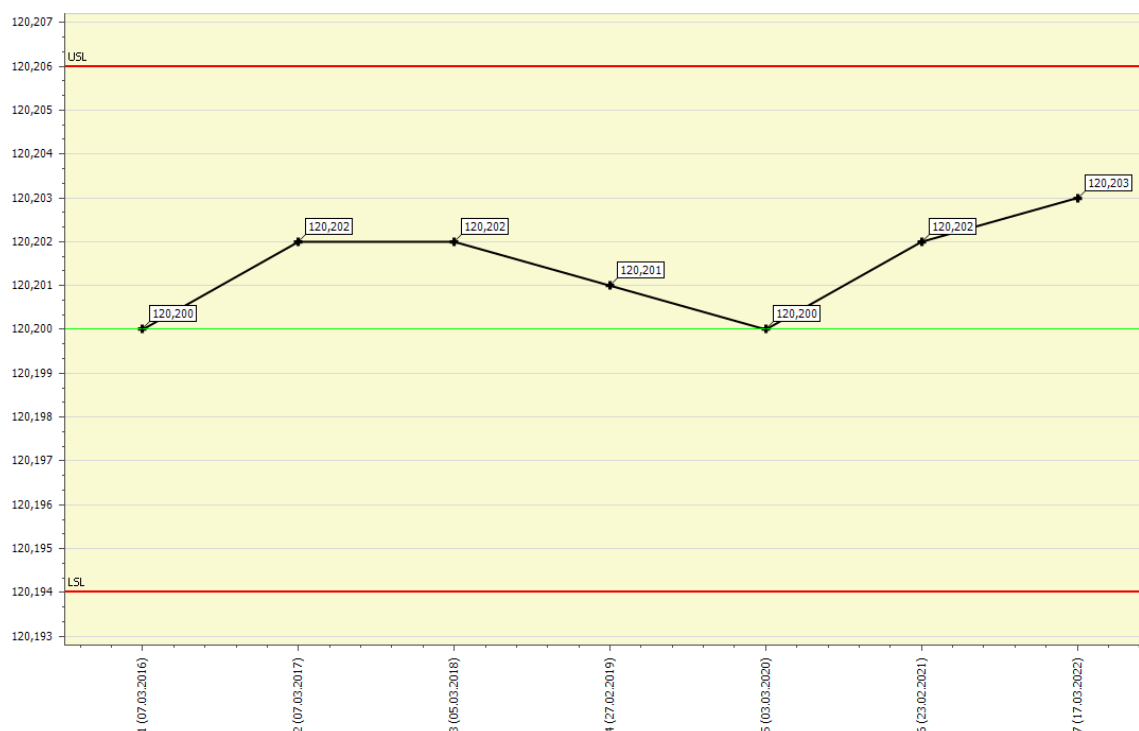
7.2.2 Vyhodnocení nastavené kalibrační lhůty

V momentě, kdy je k dispozici dostatečné množství naměřených hodnot z předchozích kalibrací, může odpovědná osoba (metrolog, vlastník měřidla) zhodnotit, zda je aktuálně nastavená kalibrační lhůta optimální, případně může tuto lhůtu změnit.

Palstat CAQ umožňuje grafické znázornění vývoje měřené hodnoty v čase. Příklad takového výstupu je zobrazen na Obr. 34. Tímto způsobem lze vykreslit časový průběh libovolného kalibračního kroku.

- **Mikrometr**

Pro následující názornou ukázkou bylo vybráno digitální mikrometrické měřidlo Mitutoyo s rozlišením 0,001 mm a rozsahem 100–125 mm. Aktuální kalibrační interval je nastaven na 12 kalendářních měsíců a bylo provedeno již 7 kalibrací. Veškeré naměřené hodnoty musely být manuálně přepsány z klasických PDF protokolů do kalibračních kroků měřidla.



Obr. 34 - Časový vývoj měřené hodnoty při kalibraci mikrometru

Na Obr. 34 je zobrazen časový vývoj měření jmenovitého rozměru 120,2 mm. Maximální dovolená chyba je v tomto případě $\pm 6 \mu\text{m}$. Z grafu je patrné, že při přejímce bylo měřidlo seřízeno a neindikovalo žádnou odchylku. Při následující kalibraci byla již určitá odchylka naměřena, ale její průběh byl v dalších letech poměrně konstantní.

Až při posledních dvou kalibracích se odchylka opět zvýšila a je zde vidět téměř lineární trend, který by v případě potvrzení příštím měřením naznačoval, že měřidlo zanedlouho překročí maximální dovolenou odchylku.

V tomto případě je poměrně zbytečné, aby kalibrační lhůta byla po celou dobu nastavena na 12 měsíců. Po zjištění, že se odchylka příliš nemění a měřidlo vykazuje stabilní chování, je vhodné interval prodloužit (např. na 18 nebo 24 měsíců). Naopak, pokud se objeví trend naznačující zhoršování metrologických vlastností, je nutné kalibrační lhůtu zkrátit např. na původních 12 měsíců, aby se zabránilo možnému používání měřidla, které nesplňuje požadovanou přesnost.

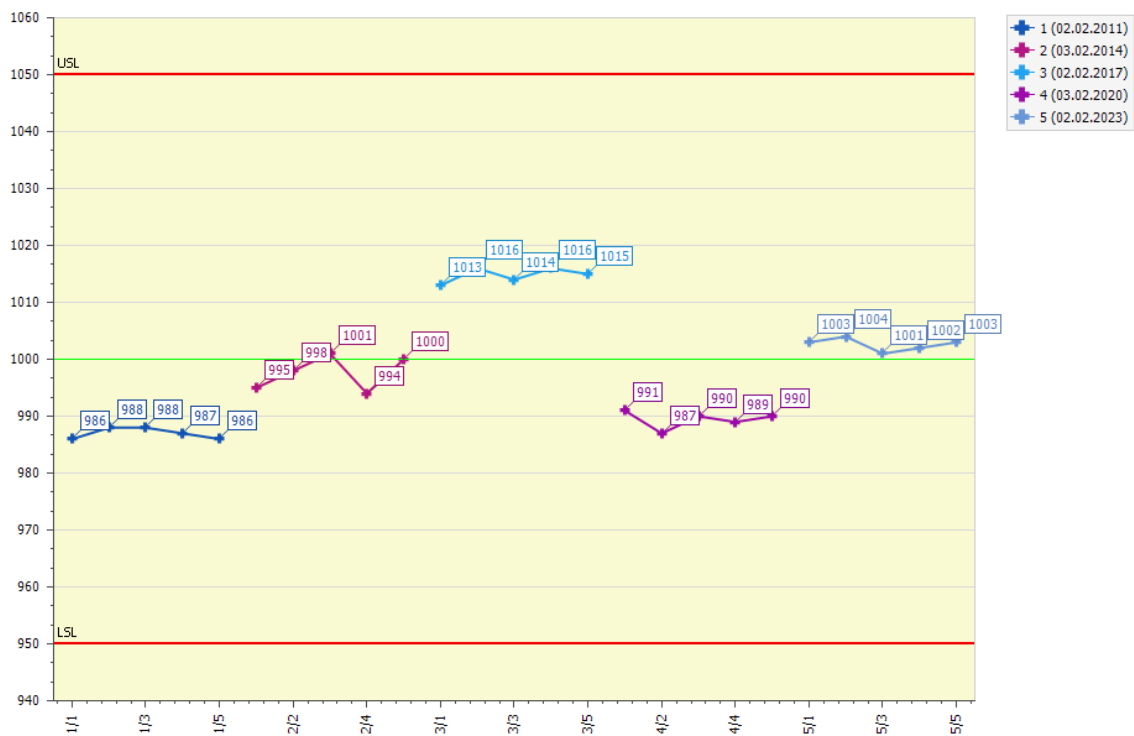
- **Digitální mikroskop**

U měřidel, kde se při kalibraci měří určitá charakteristika několikrát, je možné zobrazit časový vývoj rozptylu naměřených hodnot a tím zkontrolovat opakovatelnost daného přístroje. Spolu s časovým vývojem průměrné hodnoty je to další kritérium, které usnadní rozhodování o optimálním nastavení kalibračního intervalu.

Na Obr. 35 je znázorněn rozptyl naměřených hodnot¹¹ při kalibraci digitálního mikroskopu Olympus GX 51, který má aktuální kalibrační lhůtu stanovenou na 3 roky. Specifikovaná přesnost měřidla je 5 % zobrazovaného rozsahu. Pro jmenovitý rozměr 1000 μm při 100násobném zvětšení je tolerance $\pm 50 \mu\text{m}$. I v tomto případě bylo nutné všechny naměřené hodnoty manuálně přepsat z PDF protokolů do kalibračních kroků měřidla.

Při převzetí byl mikroskop seřízen a rozptyl hodnot byl téměř nulový. V průběhu prvních třech let používání přístroje se rozptyl naměřených hodnot zvětšil, ale při následných kalibracích byl již poměrně konstantní a k dalšímu zhoršení nedošlo. Všechny naměřené hodnoty rovněž nepřesáhly maximální dovolenou chybu a pohybovaly se ve středu tolerančního pásma. Chování přístroje je tedy velice stabilní a současný kalibrační interval je možné prodloužit. Pro zachování důvěry v naměřené hodnoty by bylo vhodné provádět pravidelné mezilhůtní ověření, kterým se sníží riziko přehlédnutí nečekané poruchy.

¹¹ Některé hodnoty byly na základě interních předpisů společnosti Škoda Auto a.s. upraveny.



Obr. 35 - Časový vývoj rozptylu měřené hodnoty při kalibraci mikroskopu

7.2.3 Mezilhůtní ověřování

U složitějších měřidel (např. souřadnicové měřicí stroje) je kalibrace většinou spojena i s pravidelnou údržbou a základním servisem. Samotné měření probíhá až po očištění stroje a naměřené hodnoty neodpovídají skutečnému technickému stavu měřidla po uplynutí kalibrační lhůty. Z tohoto důvodu není možné rozhodnout o změně nastavení těchto lhůt jen na základě výsledků získaných při kalibraci a je nutné zavést další kontrolní zkoušky v průběhu používání stroje.

Rozsah a četnost zkoušky určuje metrolog příslušného oddělení. Vlastní kontrolu provádí uživatel měřidla, který zároveň výsledek zaznamená do Palstatu. Způsob vložení naměřených dat je totožný jako v případě kalibrace a je popsán v předchozích kapitolách.

Pravidelné provádění mezilhůtních kontrol přináší i další výhody než pouze možnost optimalizace kalibračních intervalů. Díky tomu, že je tato kontrola prováděna interně, může uživatel získat informace o skutečném technickém stavu měřidla téměř kdykoliv a snižuje tím riziko používání nevyhovujícího zařízení. Rozsah zkoušky rovněž nemusí být tak obsáhlý jako u kalibrace.

Kontrolní měření je vhodné provést ihned po příchodu na směnu, před zahájením sériové kontroly vyrobených dílů. Případné neshody se odhalí dříve, než ohrozí výrobu a operátor může okamžitě zajistit řádnou kalibraci a servis nevyhovujícího zařízení.

8 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá softwarovými možnostmi nastavení optimální kalibrační lhůty měřidel ve společnosti Škoda Auto a.s. V teoretické části jsem nejprve vysvětlil základní pojmy z oblasti metrologie a uvedl členění měřidel podle zákona č. 505/1990 Sb., *o metrologii*. Dále jsem se podrobněji věnoval vybraným komunálním měřidlům, popsal způsob, jakým se používají a znázornil nejčastější chyby při měření. Následně jsem porovnal náročnost kalibrace mikrometrického měřidla se složitějším měřicím zařízením (digitální mikroskop) a zjistil první nutné úpravy, které budou nezbytné k zahájení dynamizace kalibračních lhůt. V závěru teoretické části jsem se zabýval některými z dostupných metod pro stanovení ideálního kalibračního intervalu.

V praktické části jsem se nejprve musel seznámit se systémem Palstat CAQ, který slouží k evidenci a správě měřidel v celé společnosti Škoda Auto a.s. Veškeré ukázky a zkoušky jsem prováděl na měřidlech umístěných ve fiktivní výdejně s označením „XXX“, aby nedošlo k ohrožení ostré databáze. V další kapitole jsem analyzoval aktuální způsob práce s kalibračními lhůtami a na základě získaných poznatků jsem navrhnul doporučení, která povedou ke zlepšení celkové efektivity. Nejdůležitější změnou je digitalizace veškerých naměřených hodnot, získaných při interních kalibracích. Různé způsoby nahrání dat jsem detailně popsal v kapitole 7.2.1. Dále jsem provedl zhodnocení aktuálně nastavených lhůt u vybraného digitálního mikrometru a digitálního mikroskopu. Všechna naměřená data jsem nejprve z klasických kalibračních protokolů manuálně přepsal do Palstatu a následně si nechal vykreslit časový vývoj měřené hodnoty a rozptylu. Některé hodnoty musely být z důvodu interních předpisů pozměněny, ale na záměru ukázat možnost, jakým způsobem lze současné lhůty kontrolovat, to nemá žádný vliv. V posledním doporučení navrhuji u složitějších měřicích strojů zařadit mezilhůtové kontroly, za účelem zjištění skutečného technického stavu zařízení a minimalizace rizika skryté poruchy.

V současné době je zahájen proces digitalizace naměřených dat a celkové zhodnocení kalibračních lhůt bude možné až po shromáždění dostatečného množství hodnot, což může trvat i několik let. Výraznému usnadnění přenosu dat z kalibračních laboratoří ke koncovým zákazníkům pomůže zavedení mezinárodního digitálního certifikátu DCC (Digital Calibration Certificate), který je aktuálně vyvíjen v PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt).

Bakalářská práce naplnila veškeré zadané cíle a v budoucnu na ni bude možné navázat s vyhodnocením získaných dat a s nastavením ideálních kalibračních intervalů pro různá měřidla.

Použitá literatura

- [1] CZICHOS, Horst, T. SAITO a L. E. SMITH, ed. *Springer handbook of metrology and testing*. 2nd ed. Berlin: Springer, c2011. ISBN 978-3-642-16640-2.
- [2] *Terminologie z oblasti metrologie* [online]. 2. vydání. Praha: ÚNMZ, 2008 [cit. 2022-12-04]. Dostupné z: https://www.unmz.cz/files/Sborníky%20TH/Terminologie%20v%20oblasti%20metrologie_DEF.pdf
- [3] *Metrologie v kostce* [online]. 3. vydání. Praha: ÚNMZ, 2009 [cit. 2022-12-04]. Dostupné z: https://www.unmz.cz/sborniky_th/sb2009/MvK_7_vidit_hypervazby_small.pdf
- [4] *Komentovaný zákon o metrologii* [online]. Brno: ČMI [cit. 2022-12-05]. Dostupné z: <https://www.cmi.cz/komentovany%20zakon%20o%20metrologii>
- [5] RAGHAVENDRA, N.V. a L. KRISHNAMURTHY. *Engineering metrology and measurements* [online]. New Delhi: Oxford University Press, 2013 [cit. 2022-12-05]. ISBN 978-0-19-808549-2. Dostupné z: <https://www.bbau.ac.in/dept/UIET/Study%20MAaterials%20for%20EME-403.pdf>
- [6] *Státní etalon hmotnosti* [online]. Brno: ČMI [cit. 2022-12-19]. Dostupné z: <https://www.cmi.cz/statni%20etalon%20hmotnosti>
- [7] *Státní etalon hmotnosti* [online]. ÚNMZ [cit. 2022-12-12]. Dostupné z: <https://www.unmz.cz/metrologie/metrologicky-system/statni-etalony-ceske-republiky/7-statni-etalon-hmotnosti/>
- [8] *Sada ocelových koncových měrek* [online]. Mahr [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: <https://metrology.mahr.com/cs/produkty/article/4800000-404-0-endmasssatz-stahl-46-teilig-im-etui/>
- [9] *Vyhláška, kterou se stanoví měřidla k povinnému ověření a měřidla podléhající schválení typu*. In: Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2002, 345/2002 Sb. Dostupné také z: <https://www.unmz.cz/files/metrologie/úplná%20pracovn%C3%AD%20zněn%C3%AD%20předpisů/345-2002Sb-2015.pdf>
- [10] *Digital Micrometer IP65 25-50mm* [online]. Mitutoyo [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: [https://shop.mitutoyo.eu/web/mitutoyo/en/mitutoyo/01.02.01.0/Digital%20Micrometer%20IP65/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/293-231-30/index.xhtmll](https://shop.mitutoyo.eu/web/mitutoyo/en/mitutoyo/01.02.01.0/Digital%20Micrometer%20IP65/$catalogue/mitutoyoData/PR/293-231-30/index.xhtmll)
- [11] *Metal Testing Equipment* [online]. NextGen Material Testing [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://www.nextgentest.com/metal-testing-equipment/metal-hardness-testing-equipment/hardness-test-blocks>

- [12] *Caliper with vernier scale: Operating Instructions* [online]. Esslingen: Mahr [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: <https://metrology.mahr.com/fileadmin/assets/files/MarCal--16%20FN--3756613--BA--DE-EN-FR-IT--2008-01-01.pdf>
- [13] *Vernier Caliper, Depth Gage: User's manual* [online]. Mitutoyo [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: https://shop.mitutoyo.eu/media/mitutoyoData/DO/base/99mac002m9_verniercaliper_depthgage.pdf
- [14] *Outside Micrometer: User's manual* [online]. Mitutoyo, 2018 [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://shop.mitutoyo.eu/media/mitutoyoData/DO/base/99maa001a.pdf>.
- [15] *Dial Indicator: User's manual* [online]. Mitutoyo, 2020 [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <https://shop.mitutoyo.eu/media/mitutoyoData/DO/base/99MAG014A1.pdf>.
- [16] *Digitální mikroskop* [online]. Keyence [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/cscz/products/microscope/digital-microscope/vhx-7000/>
- [17] *Základní konstrukce a princip mikroskopů* [online]. Keyence [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: https://www.keyence.eu/cscz/ss/products/microscope/microscope_glossary/basic/basic_structure_and_principle_of_microscopes.jsp
- [18] BERNAS, Tytus. Basics of Digital Microscopy. *Current Protocols in Cytometry* [online]. 2005, 31(1) [cit. 2023-04-13]. ISSN 1934-9297. Dostupné z: doi:10.1002/0471142956.cy1202s31
- [19] JEROME, W. Gray (Jay). Practical Guide to Choosing a Microscope Camera. *Microscopy Today* [online]. 2017, 25(5), 24-29 [cit. 2023-04-13]. ISSN 1551-9295. Dostupné z: doi:10.1017/S155192951700061X
- [20] *See New Possibilities in 120 MP Resolution* [online]. Canon [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://canon-cmos-sensors.com/canon-120mxs-cmos-sensor/>
- [21] MEROLI, Stefano. Active Pixel Sensor Vs CCD. Who is the clear winner?. *Life of a Engineer at CERN* [online]. [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: https://meroli.web.cern.ch/lecture_cmos_vs_ccd_pixel_sensor.html
- [22] Interní dokumentace ŠKODA Metrologie
- [23] *METROLOGICKÁ PŘÍRUČKA: Pro přesné měřicí přístroje* [online]. Mitutoyo [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <http://mitoro.cz/ke-stazeni/metrologicka-prirucka.pdf>
- [24] ILAC-G24. *Guidelines for the determination of recalibration intervals of measuring equipment*. ILAC, 2022.

- [25] CHYBÍK, Antonín. *Intervaly rekalibrací pracovních měřidel* [online]. 1998 [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://www.unmz.cz/files/metrologie/výstupy%20z%20PRM/Intervaly%20rekalibrací%20pracovních%20měřidel%20-%20M29-98.pdf>
- [26] FLOUDA, Irene. *Calibration Intervals* [online]. Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), 2022 [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: https://techreg.in.ua/wp-content/uploads/2021/03/2020-06-PTB-Flouda_Calibration-Intervals.pdf
- [27] BARE, Allen. Simplified Calibration Interval Analysis. In: *NCSL International Workshop and Symposium* [online]. Savannah River National Laboratory, 2006 [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://www.isobudgets.com/pdf/calibration-interval-analysis/simplified-calibration-interval-analysis.pdf>
- [28] *Palstat CAQ systém řízení kvality* [online]. [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: <https://www.palstat.cz/cz/kvalita/>
- [29] NIEMCZYK, Stephan a Stefan WEBER. *AQDEF® – Advanced Quality Data Exchange Format* [online]. Q-DAS [cit. 2023-06-13]. Dostupné z: https://www.q-das.com/fileadmin/mediamanager/PIQ-Artikel/AQDEF_vision_reality.pdf
- [30] *Advanced Quality Data Exchange Format (AQDEF): Measuring instruments store data in the AQDEF format* [online]. Q-DAS, 2022 [cit. 2023-06-13]. Dostupné z: https://www.q-das.com/fileadmin/mediamanager/Datenformat_Dokumente/Specification_AQDEF_V6_0_0_EN_2022-01-19.pdf

Seznam obrázků

Obr. 1 - Řetězec metrologické návaznosti [3]	9
Obr. 2 - Státní etalon hmotnosti [7]	11
Obr. 3 - Koncové měřky [8].....	12
Obr. 4 - Pracovní měřidlo nestanovené (mikrometr) [10]	13
Obr. 5 - Tvrdoměrné destičky [11]	13
Obr. 6 - Posuvné měřítko [12]	14
Obr. 7 - Možnosti měření s posuvným měřítkem [12]	15
Obr. 8 - Použití nadměrné síly [13]	15
Obr. 9 - Chyba paralaxy [13].....	16
Obr. 10 - Měření vnějších rozměrů posuvným měřítkem [13].....	16
Obr. 11 - Měření vnitřních rozměrů posuvným měřítkem [13].....	17
Obr. 12 - Měření hloubky [13].....	17
Obr. 13 - Třmenový mikrometr [14].....	18
Obr. 14 - Standardní stupnice mikrometru [14].....	19
Obr. 15 - Noniová stupnice mikrometru [14]	19
Obr. 16 - Číselníkový úchylkoměr [15].....	20
Obr. 17 - Digitální mikroskop Keyence VHX-7000 [16].....	21
Obr. 18 - Princip zobrazování na klasickém mikroskopu [17].....	22
Obr. 19 - Integrovaná snímací hlava Keyence [16]	22
Obr. 20 - Snímač CMOS Canon 120MXS [20].....	23
Obr. 21 - Konstrukce CCD a CMOS senzorů [21]	24
Obr. 22 - Měření rovinnosti měřicích ploch mikrometru [23].....	27
Obr. 23 - Měření rovnoběžnosti měřicích ploch mikrometru [23]	27
Obr. 24 - Kontrolní graf – zobrazení rozptylu odchylky	34

Obr. 25 - Kontrolní graf – trend vývoje odchylky	34
Obr. 26 - Úvodní obrazovka SW Palstat CAQ	37
Obr. 27 - Karta Seznam v SW Palstat CAQ	40
Obr. 28 - Karta Měřidlo v SW Palstat CAQ	41
Obr. 29 - Karta Poznámka v SW Palstat CAQ	42
Obr. 30 - Karta Kalibrace v SW Palstat CAQ	43
Obr. 31 - Karta Mezilhůtní ověřování v SW Palstat CAQ	44
Obr. 32 - Karta Opravy v SW Palstat CAQ	45
Obr. 33 - Katalog kalibračních kroků	49
Obr. 34 - Časový vývoj měřené hodnoty při kalibraci mikrometru.....	52
Obr. 35 - Časový vývoj rozptylu měřené hodnoty při kalibraci mikroskopu	54

Seznam tabulek

Tab. 1 - Příklad stanovených měřidel [9]	12
Tab. 2 - Naměřené hodnoty při kalibraci mikrometru [22]	28
Tab. 3 - Naměřené hodnoty při kalibraci digitálního mikroskopu [22].....	30
Tab. 4 - Koeficienty zahrnující výsledek předchozí kalibrace [26].....	36
Tab. 5 - Koeficienty zahrnující míru důležitosti předchozích kalibrací [26].....	36
Tab. 6 - AQDEF K-klíče [30].....	51