



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

MODERNÍ TRENDY V TECHNICKÉM MĚŘENÍ

MODERN TRENDS IN TECHNICAL MEASUREMENTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LADISLAV KOLLMANN

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. FRANTIŠEK VDOLEČEK, CSc.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Ladislav Kollmann

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

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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

Moderní trendy v technickém měření

v anglickém jazyce:

Modern trends in technical measurements

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Snahy o vyloučení vlivu člověka na výsledek jakékoli činnosti se stále častěji projevují také v oborech technického měření. Práce se tedy orientuje na automatizaci měření a další trendy vývoje měření.

Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je vypracování studie, která se bude zabývat moderními směry vývoje technického měření.

Doporučená osnova práce

1. Místo měření v technické praxi
2. Směry vývoje měření
3. Podrobnější analýza vybraných trendů
4. Dokumentování nových přístupů k měření na vybraném příkladu

Seznam odborné literatury:

JENČÍK, Josef; Volf, Jaromír. Technická měření : 1.vydání Praha : Vydavatelství ČVUT, 2000. 212 s. ISBN 80-01-02138-6.

CHUDÝ, Vladimír; Palenčár, Rudolf; Kureková, Eva; Halaj, Martin. Meranie technických veličín : 1.vydání Bratislava : Vydavateľstvo STU, 1999. 688s. ISBN 80-227-1275-2.

Časopisy AUTOMA a AUTOMATIZACE

Firemní literatura

Vedoucí bakalářské práce: Ing. František Vdoleček, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 19.11.2013



Ing. Jan Roupec, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

ABSTAKT

Bakalárska práca je zameraná na moderné trendy v technickom meraní. Prvá časť je venovaná postaveniu merania v technickej praxi, smerom jeho vývoja a analýze niektorých výbraných trendov. Dôraz sa kladie na snahu o objektivizáciu meracieho procesu vylúčením vplyvu človeka na výsledok merania. Záverečná časť dokumentuje nové prístupy k meraniu na vybranom príklade, ktorým je meranie dĺžky – jedna z najstarších metrologických úloh v ľudskej histórii.

ABSTRACT

Bachelor thesis is focused on modern trends in technical measurements. The first part is devoted to the measurement status in the technical practice, the trends of its development and some selected analysis of these trends. An emphasis is put on the efforts of objectification of the measurement process to eliminate a man influence on its results. The final section shows new approaches to measuring with the example, which is a measurement of length – one of the oldest metrological tasks in human history.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Meranie, meracia technika, automatizácia, senzor, číslicové meracie systémy, virtualne meracie systémy, meranie dĺžky.

KEYWORDS

Measurement, measuring equipment, automation, sensor, computer-based measurement system, virtual measurement systems, measurement of length.

PREHLÁSENIE O ORIGINALITE

Prhlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, dle pokynů vedoucího bakalářské práce. Všechny podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně uvedeny v seznamu použité literatury.

V Brně dne 29. 5. 2014

.....
podpis

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

KOLLMANN, L. *Moderní trendy v technickém měření*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 57 s., 9 s. příloh. Vedoucí bakalářské práce Ing. František Vdoleček, CSc..

POĎAKOVANIE

Chcel by som sa poďakovať Ing. Františkovi Vdolečkovi, CSc. za cenná rady a pripomienky pri vypracovaní bakalárskej práce. Moje poďakovanie patrí aj firmám Valiant-TMS Czech, s.r.o. Olomouc, TOS Olomouc a firme PRIMA BILAVČÍK, s.r.o. Uherský Brod za poskytnuté podklady a možnosť realizovania vzorových meraní.

Obsah

| | |
|--|-----------|
| ABSTAKT | 5 |
| ÚVOD..... | 11 |
| 1. Miesto merania v technickej praxi | 13 |
| 1.1 Historický prehľad | 13 |
| 1.2 Úlohy merania v súčasnosti | 14 |
| 2. Smery vo vývoji merania..... | 17 |
| 2.1 Ľudský faktor v procese merania..... | 17 |
| 2.2 Vybrané problémy merania a meracej techniky | 19 |
| 2.3 Vývoj v oblasti meracej techniky | 20 |
| 2.4 Postavenie merania a meracej techniky v procese automatizácie..... | 20 |
| 2.5 Automatizácia a virtualizácia merania..... | 21 |
| 2.6 Základná terminológia | 23 |
| 3. Podrobnejšia analýza vybraných trendov | 29 |
| 3.1 Meranie a meracia technika v automatizácii..... | 29 |
| 3.3 Prínosy modernej meracej techniky..... | 30 |
| 3.4 Inteligentné senzory | 30 |
| 3.4.1 Štruktúra inteligentných senzorov | 31 |
| 3.4.2 Požiadavky na inteligenciu senzoru..... | 32 |
| 3.4.3 Generácie senzorov | 32 |
| 3.5 Počítačové meracie systémy | 33 |
| 3.6 Virtuálna meracia technika | 36 |
| 3.7 Bezdrôtové technológie v automatizácii..... | 37 |
| 4. Dokumentovanie nových prístupov na vybranom príklade-meranie dĺžky ... | 39 |
| 4.1 Merané súčiastky | 42 |
| 4.2 Meranie klasickými meradlami | 43 |
| 4.2.1 Posuvné meradlo | 43 |
| 4.2.2 Mikrometrické meradlo | 43 |
| 4.2.3 Číselníkové odchýlkomery | 44 |
| 4.3 Meranie na meracích prístrojoch | 45 |
| 4.3.1 Prístroje na meranie kontúry, drsnosti a kruhovitosti OPTACOM | 45 |
| 4.3.2 Multisenzorové meracie stroje WERTH..... | 48 |
| 4.3.3 Mobilné súradnicové systémy FARO | 50 |
| ZÁVER | 53 |
| Literatúra | 55 |
| Zoznam príloh | |

ÚVOD

Meranie môžeme definovať ako súhrn operácií, ktorých cieľom je stanoviť hodnotu meranej veličiny. Slúži ako zdroj informácií pre vedecký a technický pokrok, analýzu a riadenie technických a technologických procesov, kontrolu kvality výrobkov a riadenie výroby, ochranu zdravia občanov, hospodárne využívanie surovín, materiálov a energií, medzinárodnú výrobnú a hospodársku spoluprácu. Vo všetkých sférach činnosti spoločnosti je meranie zdrojom objektívnych informácií a základom pre efektívne rozhodovanie, objektívne zhodnotenie stavu, zdrojov a možností ďalšieho rozvoja. Bez dostatočne presných meraní nemožno zabezpečiť úlohy spojené s hospodárením so surovinami a energiou, objektívnym zisťovaním informácií o kvalite, kontrolou čistoty prostredia, automatizáciou strojov a procesov atď. Bez základných vedomostí z teórie merania, bez poznania fyzikálnych princípov snímačov a meracej techniky, vlastností a metrologických charakteristík meracích prístrojov nemožno dnes riešiť mnohé úlohy vedy, techniky a rozvoja života spoločnosti. Snahy o objektivizáciu procesov a vylúčenie vplyvu ľudského faktora na výsledok sa stále častejšie prejavujú aj v odboroch technického merania, čo vedie k jeho automatizácii. V dnešnej dobe je možné automatizovať takmer všetky typy meraní a meracia technika sa tak stáva dôležitým a nepostrádateľným prvkom automatizácie.

Vedecko-technická disciplína, ktorá sa zaoberá meraním, jednotkami, meracími metódami, meracími prostriedkami, zásadami spracovania výsledkov meraní, zásadami zabezpečenia jednotnosti a presnosti meraní ale aj technickými a právnymi predpismi, sa nazýva *metrológia*. V súčasnosti sú okrem vedeckého a technického pokroku hnacou silou rozvoja metrologických systémov najmä politické a hospodárske zmeny, ktoré spočívajú v otvorení sa ekonomík globálnemu trhu, v uvoľňovaní pohybu tovarov a v odstraňovaní technických prekážok obchodovania.

1. Miesto merania v technickej praxi

1.1 Historický prehľad

Počiatky merania môžeme klásť do predhistórie ľudstva na počiatok civilizácie. Až do obdobia ranného novoveku okolo r.1600 súviseli merania hlavne s obchodom, stavebníctvom, astronómiou, baníctvom. Išlo najmä o merania priestorových veličín, sily, hmotnosti, objemov, dĺžky, uhlov a času. Prvý vedecký postoj k meraniu sa prejavil až u Galilea Galileiho, ktorý meranie povýšil na najdôležitejší prostriedok k získaniu nových poznatkov k budovaniu kvantitatívnych vedeckých teórií. Je známy jeho výrok, ktorý stále platí: „*Merat' všetko, čo je merateľné a čo merateľné nie je, merateľným urobiť.*“

Obdobie 17. a polovice 18. storočia sa vyznačovalo špecializáciou v technike a pokrokom vo vedeckom myslení. Od prakticko-technických povolání sa oddelili vedecké odbory. Tie sa zároveň špecializovali a využívali experiment, čím sa podporila požiadavka na čoraz presnejšie merania. Po prvýkrát sa zaviedli stupnice niektorých fyzikálnych veličín, čo umožnilo merať ich absolútne hodnoty. Vstup merania do prírodných vied umožnil získanie reprodukovateľných výsledkov fyzikálnych a chemických pokusov. To malo za následok odhalenie mnohých prírodných zákonov. Súčasne sa rozvíjala teória štatistiky a spracovania nameraných údajov.

Druhú polovicu 18. a 19. storočia charakterizuje tzv. priemyselná revolúcia. Nastal prudký rozvoj obrábacích strojov a pohonov, hutníctva, dopravnej siete a prostriedkov komunikácie. To vyžadovalo široké uplatňovanie merania dĺžok a rozvoj merania elektrických veličín. V roku 1875 bola prijatá Medzinárodná metrická konvencia a zaviedli sa jednotky metrického systému:

- a) dĺžka - meter (m),
- b) plocha - štvorcový meter (m^2),
- c) objem - kubický meter (m^3), resp. liter (l),
- d) hmotnosť - kilogram (kg),
- e) čas - sekunda (s),
- f) rýchlosť - meter za sekundu (m/s),
- g) zrýchlenie - (m/s^2),
- h) ťaž, sila - ($m \times kg/s^2$),
- i) objemová hmotnosť (hustota) - (kg/m^3),
- j) tlak - atmosféra ($1 \text{ at} = 1 \text{ m} \times kg/s^2 \text{ cm}^2$),
- k) práca, energia - ($m^2 \times kg/s$),
- l) moment zotrvačnosti - ($m^2 \times kg$),
- m) dĺžka svetelnej vlny - ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ ua}$),
- n) elektrický prúd - ampér (A),
- o) elektrické napätie - volt (V),
- p) elektrický odpor - ohm (W),
- r) elektrická práca - wattsekunda (Ws),
- s) kapacita - farad (F),
- t) intenzita elektrického poľa - volt na meter (V/m),
- u) intenzita magnetického poľa - ampér na meter (A/m).

Počiatok 20. storočia sa až do 2. svetovej vojny vyznačoval prudkým rozvojom techniky priemyslu ako aj ich špecializáciou a užším prepojením s prírodnými vedami. Rozvoj techniky umožňoval vývoj stále zložitejších meracích prístrojov a výskumných zariadení a tým aj rozvoj experimentálneho výskumu. V oblasti merania a meracej techniky sa výrazne zvýšil počet meraní, objavovali sa nové meracie princípy, zlepšovala sa presnosť meraní a zdokonaľovali sa meracie prístroje.

Obdobie od 2. svetovej vojny sa vyznačuje prudkým rozvojom vedy a jej úzkym prepojením s technikou najmä v súvislosti s vojenskými potrebami. Týkalo sa to najmä oblasti jadrovej fyziky, elektronickej riadiacej a regulačnej techniky, výpočtovej techniky, mikroelektroniky, vývoja špeciálnych materiálov. Okrem toho sa výrazne rozšírila sériová výroba. Všetky uvedené oblasti, či už v oblasti výskumu alebo realizácie si vyžadovali nesmierne množstvo meracích prostriedkov na získavanie informácií o prebiehajúcich procesoch. Nárast potreby nových meracích princíпов meracích metód a prístrojov zasiahol takmer všetky oblasti vedy a techniky ale aj ďalšie sféry spoločenského života. Meranie sa stáva stále významnejšou a rozširujúcou zložkou ľudskej činnosti. Objavujú sa údaje, že v priemyselne vyspelých krajinách objem skúšobných a meracích procesov predstavuje 10 až 15 % spotrebovanej živej práce. Veľkým tempom sa rozvíja meracia technika, informačné údaje sa prenášajú do riadiacich miest. Do značnej miery sa rozšíril vývoj prevodníkov mechanických veličín na elektrické (prípadne pneumatické alebo hydraulické) signály. Novým momentom sa stala digitalizácia analógového signálu a počítačové spracovanie nameraných údajov. Z tohto obdobia spomeniem aspoň niektoré významné objavy, vynálezy a technické riešenia súvisiace s rozvojom merania a meracej techniky.

V r.1940 sa začali vo väčšom rozsahu využívať radary, v roku 1942 bol vyvinutý nový rastrovací elektrónový mikroskop, v r.1945 vytvorili v USA prvý veľký elektronický počítač. V r.1946 bol objavený princíp atómových hodín, v r.1948 boli po prvýkrát vyrobené tranzistory a sformulovaná teória prenosu informácií. V r.1954 bola prijatá sústava jednotiek typu meter-kilogram-sekunda-ampér (MKSA), ktorá v roku 1971 prešla na sústavu SI. Sústava SI platí s istými úpravami dodnes. V r.1955 bol vyrobený riadkový snímač obrazu (skener) a autoemisný iónový mikroskop. V roku 1958 vyrobili prvé elektrické náramkové hodinky, v roku 1959 bol vyvinutý interferenčný mikroskop a v roku 1962 po prvýkrát využili laser na bezdotykové meranie vzdialenosti (telemeter). V roku 1960 pribudla do sústavy jednotiek nová definícia jednotky dĺžky a v r.1967 jednotky času. Osemdesiate a začiatok deväťdesiatych rokov sa vyznačujú rozvojom metód vyhodnocovania meraní pomocou neistôt [1].

1.2 Úlohy merania v súčasnosti

Meranie má v modernej spoločnosti nezastupiteľný význam. Tak ako platí, že bez stále náročnejších experimentov sa nedajú získať nové vedecké poznatky, tak pre každú náročnejšiu technológiu platí, že „to, čo sa nedá zmerať, nedá sa ani vyrobiť“. V súčasnosti sa úlohy merania zameriavajú najmä na tieto oblasti [1]:

1) *Vedecký a technický rozvoj.* Vo vedeckom a technickom bádání je meranie a meracia technika prostriedkom na overovanie nových hypotéz. Nové poznatky potom spätne ovplyvňujú a podnecujú rozvoj merania a meracej techniky.

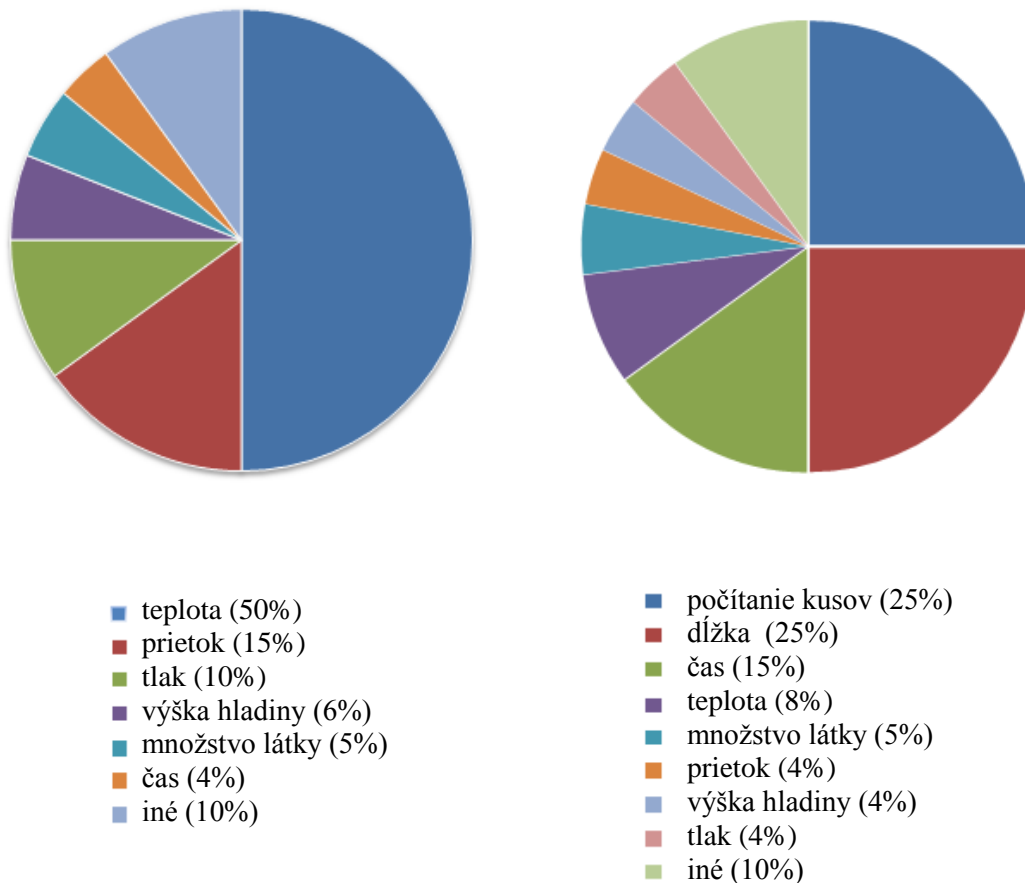
2) *Riadenie, bezpečnosť, organizácia výroby a kvalita výrobkov.* (Tab.1.1.) Ide o zabezpečenie kvalitného produktu výroby, pri ktorého plánovaní, tvorbe a používaní je

potrebné sledovať a vyhodnocovať veľmi mnoho faktorov a tiež zabezpečovať spätnú väzbu. Tieto procesy sú nemysliteľné bez zberu a spracovania informácií o prebiehajúcich procesoch. V podstate ide o dva druhy procesov:

a) spojité procesy (procesy zmeny štruktúry, zmeny látky chemickou, mechanickou, termickou, elektrickou cestou),

b) diskrétny procesy (kusová, sériová výroba - procesy látkovej premeny cestou fyzikálno-technických zmien formy a vlastností, napr. preformovanie liatím, spekanie, lisovanie, tvárnenie valcovaním, kovaním, lisovaním, ťahaním, stláčaním, ohýbaním, delenie sústružením, frézovaním, vrtaním, brúsením, dierovaním, pripojovanie nitovaním, zvarovaním, skrutkovaním, spájkovaním, lisovaním, lepením, lakovaním, galvanizovaním a pod.

Z pohľadu veličín sa najviac merajú obr. 1 :



Obr.1 Percentuálne zastúpenie meraných veličín a) v prípade spojitých procesov
b) v prípade diskrétnych procesov.

V strojárstve ide hlavne o tieto veličiny: dĺžka, uhly, odchýlky tvaru, geometria ozubenia, závitov, klinov, hmotnosť, sila a moment, mechanický výkon, frekvencia, vibrácie, teplota, tlak, vlhkosť, mechanické vlastnosti materiálov, prietok.

Súčasťou meracích procesov je aj kalibrácia a overovanie meradiel v akreditovaných laboratóriách.

3) *Ochrana zdravia a života občanov.* Vo vyspelých krajinách sa táto oblasť stáva zvlášť dôležitá. Ide o merania súvisiace s bezpečnosťou pri práci, merania v zdravotníctve a stále viac o merania súvisiace s tvorbou a ochranou životného prostredia.

4) *Meranie tvoriace podklad finančných transakcií.*

5) *Ochrana občana - spotrebiteľa.* Ide o meranie súvisiace s kontrolou výrobkov v záujme ochrany spotrebiteľa a užívateľa výrobkov, o kontrolu bezpečnostných parametrov, ale aj parametrov spoľahlivosti a deklarovaného množstva, napr. v prípade baleného tovaru.

2. Smery vo vývoji merania

Meranie poskytuje informácie nevyhnutné pre normálny chod výrobných i nevýrobných odvetví hospodárstva každého technicky vyspelého štátu, pre riadenie strojov a optimalizáciu procesov ako aj pre porovnávanie vlastností výrobkov a hodnotenie ich kvality. Hlavne v poslednom období v súvislosti s rozvojom nových technológií, mikroelektroniky a výpočtovej techniky badať nebývalý rozvoj využitia nových fyzikálnych princípov merania, meracích prostriedkov ale aj metód spracovania signálov a nameraných údajov a riadenia procesov. Nasadenie mikroprocesorov vyžaduje matematizáciu meracích procesov a prácu s modelmi.

Charakteristické trendy v rozvoji merania v súčasnosti sú [3]:

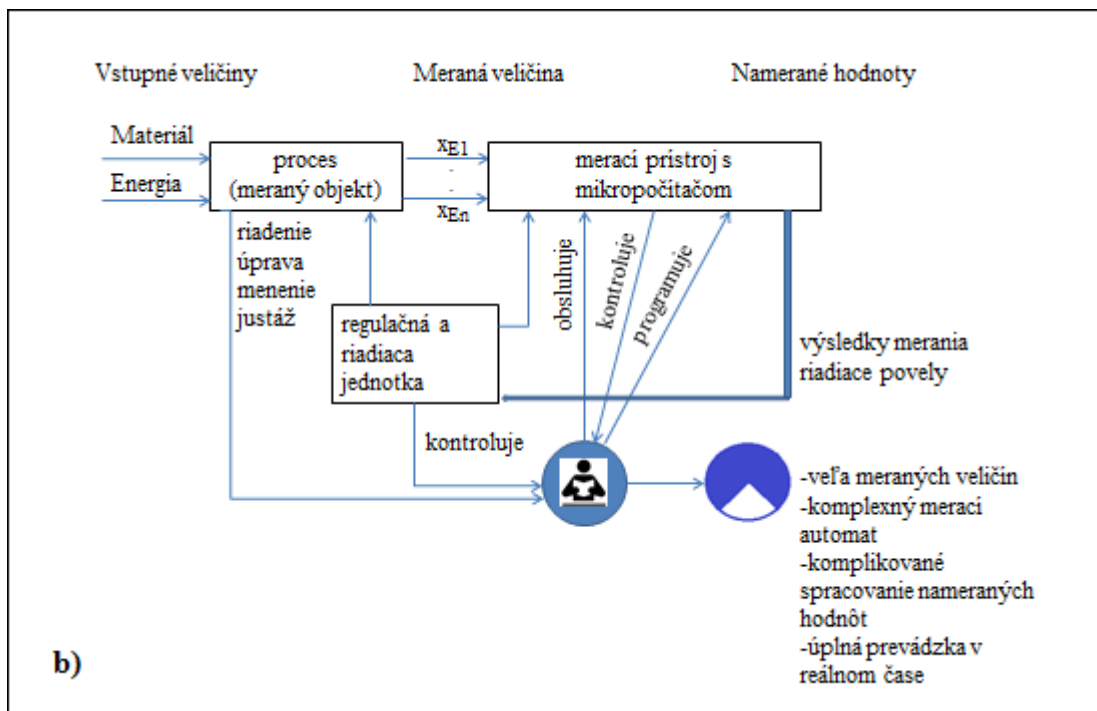
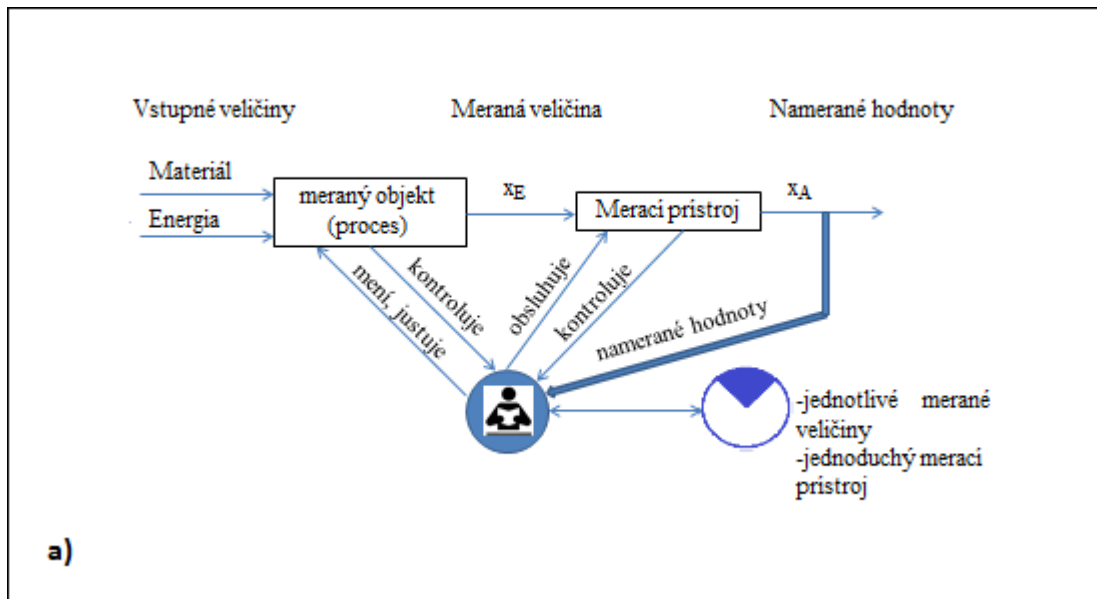
- prudký technický vývoj meracej techniky a zvyšovanie jej presnosti, spoľahlivosti a flexibility
- uplatnenie elektroniky, výpočtovej techniky a automatizácie v meracej technike a metrológii, meraní a spracovaní signálov a nameraných údajov, virtuálna interpretácia
- realizácia etalónov základných jednotiek na základe kvantových javov a univerzálnych fyzikálnych konštánt
- trend ku vzájomnému uznávaniu výsledkov meraní a skúšok v medzinárodnom meradle systémov riadenia akosti, akreditácie a certifikácie.

Rozvoju merania treba venovať pozornosť najmä z týchto hľadísk [2]:

- rozvoj princípov merania
- rozvoj meracích prístrojov
- rozvoj metód spracovania nameraných hodnôt a vyhodnotenia meraní
- rozvoj metód a prostriedkov zabezpečenia jednotnosti merania
- rozvoj metód a prostriedkov riadenia meracích procesov

2.1 Ľudský faktor v procese merania

Každé meranie je nejakým spôsobom ovplyvňované človekom. Tento je v konečnom dôsledku zdrojom najväčších a nepredvídateľných chýb, ktoré nie je možné nijakým spôsobom korigovať. Manuálne meranie je náročné, častokrát neuskutočniteľné, neefektívne a ekonomicky nevýhodné. Preto tak ako v mnohých iných činnostiach, aj v odboroch technického merania sa stále častejšie prejavujú snahy o vylúčenie vplyvu človeka na výsledok merania. Merač sa stáva organizátorom, kontrolórom, vyhľadávačom a riešiteľom problémov, hľadačom chýb a rozhodcom (Obr.2) [2]. Počítač ho odbremení od jednoduchších úloh, aby mohol vykonávať zložitejšie. Využitím počítačových meracích systémov možno už realizovať automatizované meranie, ktoré po spustení nevyžaduje prítomnosť experimentátora. Vylúčením ľudského faktora z meracieho reťazca možno eliminovať zdroj chýb, ktoré zaťažujú jeho výsledok (chyby osobné).



Obr.2 Úloha človeka (merača) v procese merania pri použití a) klasickej meracej techniky, b) meracej techniky s mikropočítačom. [2]

2.2 Vybrané problémy merania a meracej techniky

Pri riešení problémov týkajúcich sa meracej techniky a zabezpečovania akosti sa treba zamerať na tieto oblasti [2]:

Problémová analýza

- poznávanie a rozlišovanie pátracích problémov (prieskumné merania) a problémov opakovania (merania výrobkov a procesov)
- rozčlenenie formulácií riešenia pri realizácii hardwaru a softwaru
- diferenciacia medzi rôznymi formami komunikovania (človek-stroj, človek-človek, stroj-stroj)

Procesová analýza

- pochopenie súvislostí medzi materiálnymi, energetickými a informačnými veličinami
- skúšanie komplexných parametrov akosti
- používanie zjednotených termínov a definícií, symbolov a skratiek, tabuliek a zoznamov, výkresov a obrazov

Postavenie úloh merania

- rozdiel medzi úlohami merania s úplnou alebo neúplnou zárukou riešenia, preloženie ťažiska z kontroly výrobku na riadenie procesu
- rozdiel medzi formuláciami riešenia pomocou matematických alebo heuristických algoritmov
- vplyv merača na výsledok merania

Realizácia hardwaru

- vývoj a zhotovenie výkonných, spoľahlivých a hodnotných senzorov s elektrickým výstupom na snímanie elektrických a predovšetkým neelektrických veličín
- vývoj a výroba výkonných a hodnotných spojovacích článkov ako prevodníky A/D, multiplexory, indikátory, matrice, prevodníky kódov a budiace stupne pre rôzne interfejsy, napájače a akčné členy - zvýšenie „stupňa inteligencie“ meracích prístrojov, testerov, senzorov

Realizácia softwaru

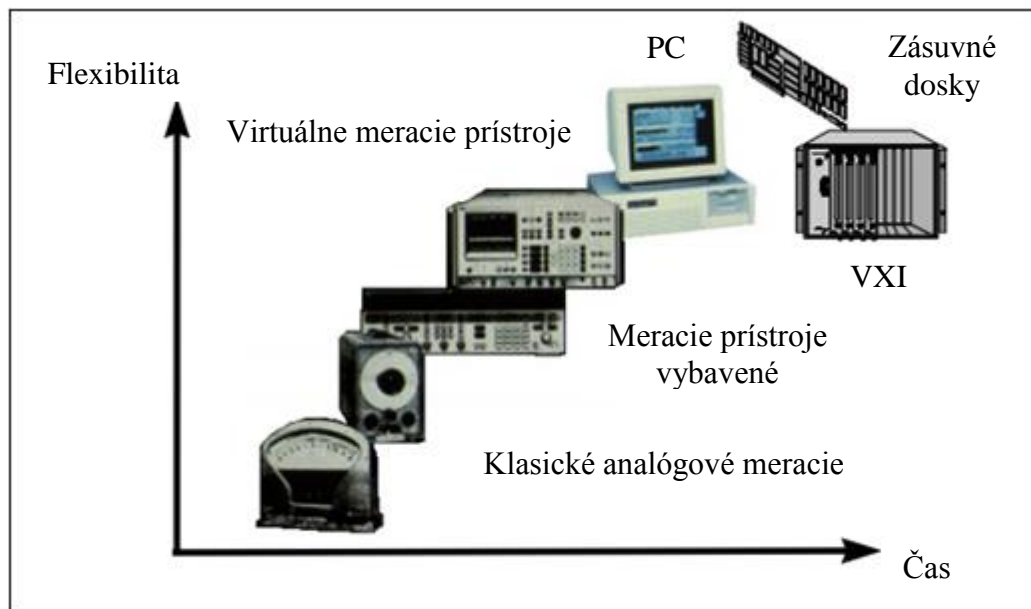
- vypracovanie stratégií merania s optimálnymi nákladmi a ich zakotvenie do meracích predpisov a výpočtových programov
- prechod od programovania ad hoc k štruktúrnemu programovaniu
- vytvorenie knižníc programov s programovými systémami, programami a rutinou pre úlohy meracej techniky

Zjednocovanie a štandardizácia

- vypracovanie jednotných termínov a definícií, symbolov a skratiek, tabuliek, výkresov, obrázkov
- určenie parametrov na vyhodnocovanie funkčných a ekonomických vlastností senzorov, meracích prístrojov a meracích a počítačích komplexov

2.3 Vývoj v oblasti meracej techniky

Rovnako ako sú jednoduché pracovné nástroje a stroje (sústruhy, frézky, vŕtačky...) dopĺňané v hromadnej výrobe vysoko efektívnymi automatmi (automatické sústruhy, číslicovo riadenými obrábacími strojmi...), pribúdajú k existujúcim meracím prístrojom vysoko produktívne meracie a skúšobné počítače, ktoré vykonávajú za sebou nasledujúce meracie pracovné postupy (operácie). Vynakladá sa veľké úsilie na to, aby sa meracia a skúšobná technika prispôbovali intenzívnejším technologickým procesom čo do presnosti, produktivity, spoľahlivosti a flexibility. Integráciou mikroprocesorovej techniky do meracích prístrojov vzniká kvalitatívna zmena v meracej technike a nové možnosti na inštaláciu cenovo výhodných automatizovaných inteligentných meracích systémov vo výskume i výrobe. Klasické analógové meracie prístroje sa postupne nahrádzajú tzv. virtuálnymi (obr.3).



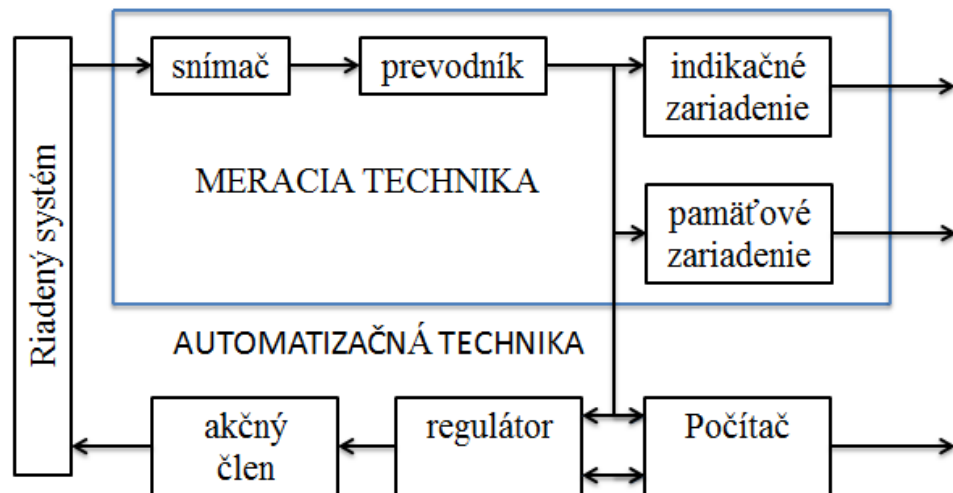
Obr.3 Vývoj meracej techniky v čase z hľadiska narastajúcej flexibility. [4]

2.4 Postavenie merania a meracej techniky v procese automatizácie

Automatizáciu možno charakterizovať ako proces, v ktorom fyzickú a duševnú činnosť človeka nahrádza činnosť technických prostriedkov. Spojená je s používaním výpočtovej, meracej a automatizačnej techniky pri riadení strojov, procesov a zariadení. Odstraňuje subjektívne vplyvy človeka na výrobný proces a umožňuje stabilný a bezpečný chod procesov, ktoré by nebolo inak možné realizovať. Meranie a meracia technika je neoddeliteľnou súčasťou automatizácie. Prvky meracej techniky vytvárajú informačnú časť

automatických riadiacich systémov (obr.4) [5], pričom vlastnosti meracieho zariadenia v rozhodujúcej miere ovplyvňujú dosiahnutú kvalitu riadenia.

S istým nadnesením možno povedať, že na jeho kvalite sa v prvom rade podpisuje kvalita meracej techniky, až potom nasleduje samotný riadiaci systém. Inými slovami: **Kvalitne môžeme regulovať len to, čo dokážeme zmerať s dostatočnou presnosťou** [6].



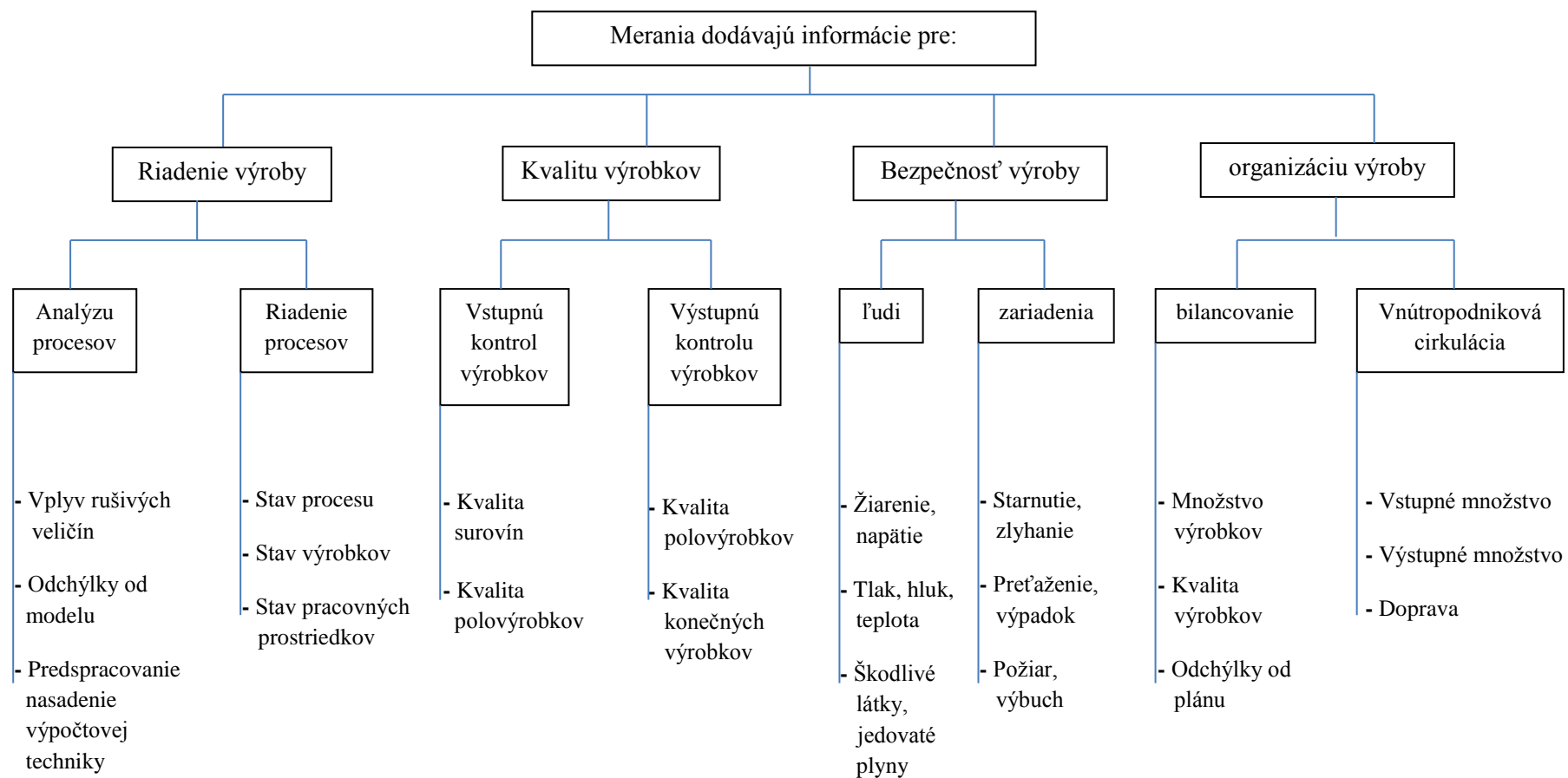
Obr.4 Meracia technika ako súčasť automatizácie. [5]

2.5 Automatizácia a virtualizácia merania

V Tab.2. [2] sú prehľadne zhrnuté jednotlivé vývojové etapy meracej techniky, získavania a spracovania meracích informácií a riadenia procesov. Tak pri výrobných ako aj pri meracích procesoch prebieha *trend od mechanizácie cez čiastočnú až po úplnú automatizáciu*. K existujúcim meracím prístrojom pribúdajú nové vysoko produktívne meracie a skúšobné počítače, ktoré vykonávajú samočinne za sebou nasledujúce meracie pracovné operácie. Mikroelektronika, najmä mikropočítačová technika, poskytuje nové možnosti na inštaláciu decentralizovaných automatizovaných inteligentných systémov vo výskume i výrobe. Na druhej strane meranie a meracia technika je neoddeliteľnou súčasťou automatizácie.

Od r.1986 nastupuje virtuálna interpretácia, technická disciplína, ktorá zažíva veľký rozvoj vo vývoji, výskume i v rôznych oblastiach priemyslu. Jej rozvoj a všeobecné rozšírenie sprístupnil systém grafického programovania LabVIEW (z angl. Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench). Prostredie LabVIEW je vhodné nielen k programovaniu systémov pre meranie a analýzu signálov, riadenia a vizualizácie technologických procesov rôznej zložitosti, ale tiež k programovaniu zložitých systémov ako je napr. robot. Programové vybavenie LabVIEW sa uplatňuje v oblasti testovania a merania, priemyselnej automatizácie i analýzy údajov [7].

Tab.1 Získavanie informácií z merania vo výrobe. [2]



2.6 Základná terminológia

Meranie je proces zberu, prenosu a spracovania informácie o meranej veličine s cieľom získať kvantitatívny výsledok jej porovnaním so zvolenou stupnicou, alebo jednotkou veličiny v tvare vhodnom pre ďalšie použitie človekom, alebo strojom [8].

Výskumné a vývojové meranie - slúži k rozvoju nových technických disciplín, získavaniu nových vedeckých poznatkov a poznatkov o vyvíjanom zariadení. Vyžaduje sa jeho vysoká presnosť a reprodukovateľnosť.

Laboratórne meranie - slúži k overovaniu a kalibrácii etalónov, normálov a pracovných prístrojov.

Priemyselné meranie - slúži k zaisteniu bezporuchového a hospodárneho priebehu technologického procesu a k dosiahnutiu správnych vlastností výrobku.

Záručné (garančné) meranie - slúži k získavaniu informácií o tom, či technologické zariadenie vykazuje parametre garantované výrobcom. Všetky meracie prístroje musia mať platné atesty úradného overenia, ktoré garantované výrobcom.

Princíp merania - fyzikálny jav, ktorý je základom merania.

Meracia metóda - systém pravidiel súhrn pracovných postupov, podľa ktorých sa meranie vykoná.

Merané veličiny a ich jednotky - sú pojmy popisujúce javy, stavy telesa a látky.

Podmienky merania - sú hodnoty iných (tzv. rušivých) veličín zúčastnených na meraní.

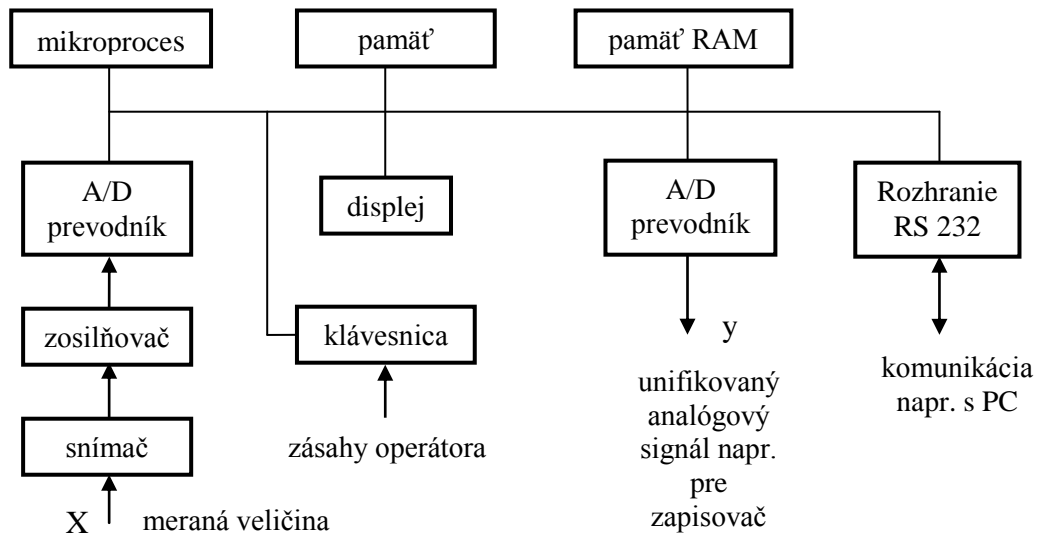
Meracie prostriedky - technické prostriedky potrebné na uskutočnenie meraní, sú to meracie prístroje s príslušenstvom a pomocné zariadenia.

Merací prístroj - technický prostriedok (meradlo), ktorý slúži na prenos meranej veličiny na príslušný údaj (analogové, digitálne, riadené mikroprocesorom, virtuálne).

Meracie zariadenie - súprava technických prostriedkov určených na meranie. Zahŕňa všetky meradlá a pomocné meracie zariadenia nevyhnutné k aplikácii danej metódy. Podľa spôsobu merania a údajov meranej veličiny môžeme prístroje rozdeliť na

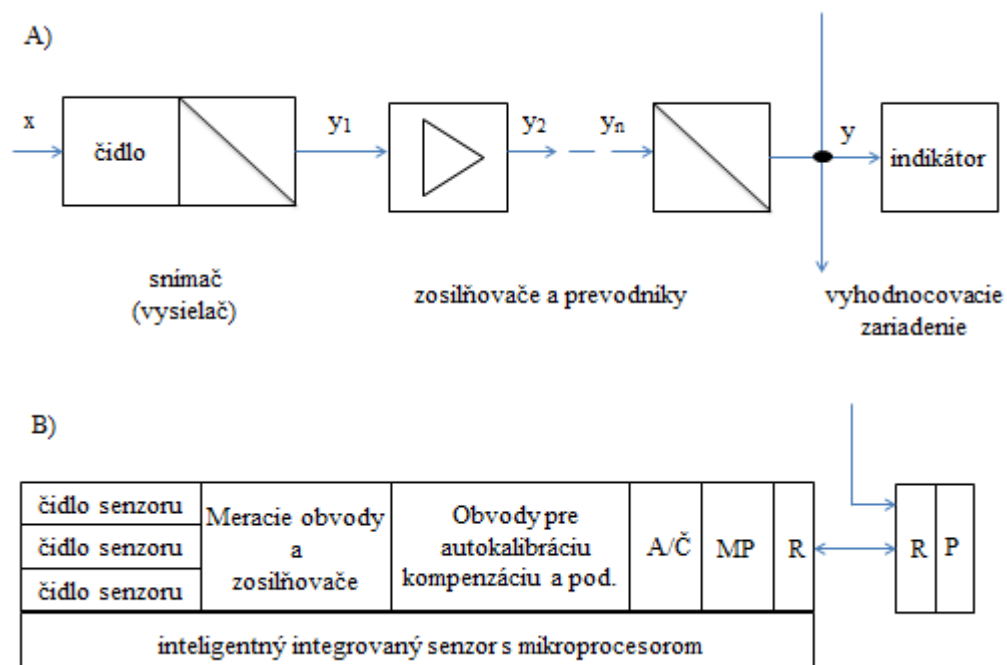
- analógové meracie prístroje*, ktoré spojitú zmenu meranej veličiny merajú i udávajú spojitou. Patria sem všetky elektromechanické meracie systémy ručičkové a vláknové.
- číslicové (digitálne) meracie prístroje*, ktoré menia meranú analógovú veličinu na diskretnú a spojitú zmenu udávajú v číslicovom (diskretnom) tvare.

- meracie prístroje riadené mikroprocesorom*, obr.5 [5]. Mikroprocesor je programovateľný logický obvod. S ostatnými obvodmi komunikuje po dátovej, riadiacej a adresovej zbernici. Pamäť ROM slúži iba na čítanie a je v nej uložený program pre riadenie merania. Pamäť RAM umožňuje zápis aj čítanie dát, sú v nej uložené namerané dáta, kalibračné konštanty ap. Rozhranie RS 232 je elektronický obvod umožňujúci komunikáciu prístroja s počítačom. Operátor komunikuje s prístrojom cez klávesnicu a displej.



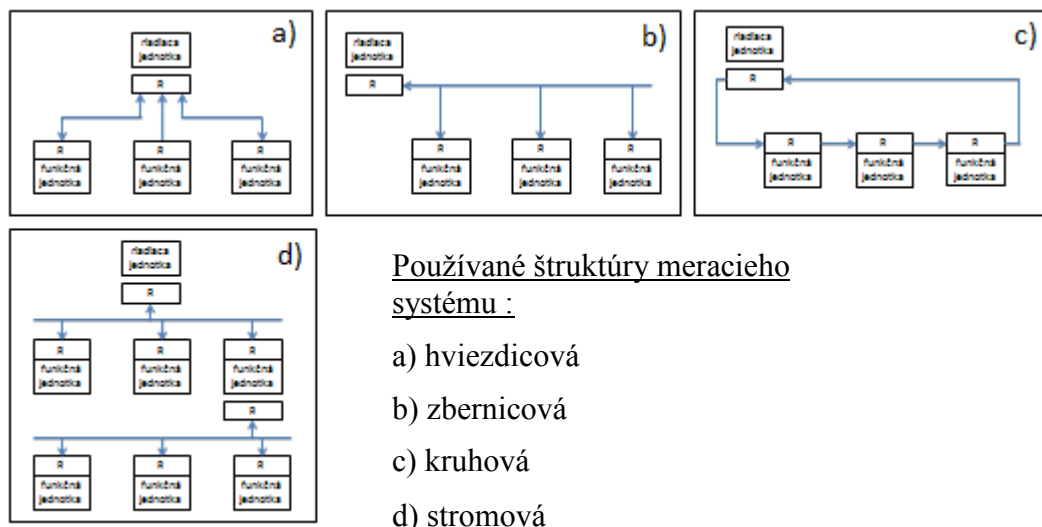
Obr.5 Bloková schéma meracieho prístroja riadeného mikroprocesorom. [5]

Meracie reťazce - súbor prostriedkov určených na meranie, prenos a spracovanie informácií o meranej veličine. Predstavuje súbor snímačov, meradiel, meracích prístrojov, prevodníkov, meracích kanálov, prostriedkov analógovej a číslicovej techniky, výpočtových prostriedkov, snímačov a registračných zariadení spojených do jedného funkčného celku za účelom požadovaného merania a spracovania informácií o meranej veličine obr.6 [9].



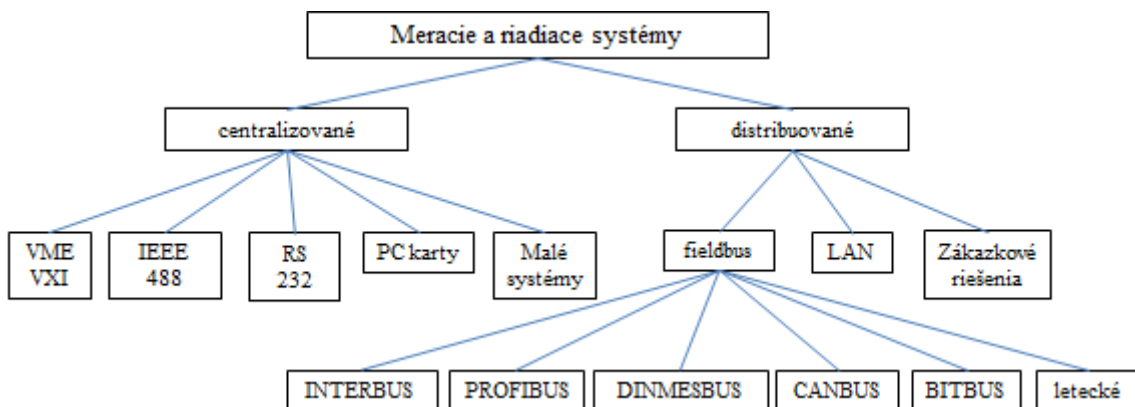
Obr.6 Blokové schémy meracích reťazcov: a) klasický, b) inteligentný (A/Č- analógovo-číslcový prevodník, MP- jednočipový mikropočítač alebo zbernicový systém, R- rozhranie, P-nadradený počítač). [9]

Číslicové meracie systémy (ČMS) - zostava elektronických zariadení a ich prepojení, metód a programových sekvencií, ktorá umožňuje komplexné riešenie meracích úloh (zmeranie skúmaných veličín, nastavenie akčných veličín, zber nameraných dát, spracovanie, ukladanie, atď.) vrátane ich automatizovaných realizácií. Moderné meracie a testovacie systémy sa neobídu bez využitia počítačovej techniky, a preto pod pojmom merací systém si predstavujeme číslicový merací systém riadený počítačom „Computer-based Measurement System“. Klasický merací prístroj sa potom označuje „Stand-alone Measurement System“ [10]. Používané štruktúry MS sú zobrazené na obr.7 [11].



Obr. 7 Používané štruktúry meracích systémov. [11]

Podľa usporiadania merania delíme MS na centralizované (laboratórne a diagnostické merania) a distribuované (priemyselné monitorovacie systémy).



Obr.8 Rozdelenie meracích a riadiacich systémov podľa usporiadania merania. [12]
 Podrobnejšie informácie k tejto problematike ako aj k možnostiam pripojenia k počítaču, zberu, prenosu, spracovaniu dát a programovaniu meracích systémov možno nájsť v literatúre [11,13].

Automatizácia - proces, v ktorom fyzickú a duševnú činnosť človeka nahrádza činnosť technických prostriedkov. Základom automatizácie je riadenie. Rozlišujeme tieto základné formy riadenia obr.8. [5]:

- *ovládanie* - riadenie bez spätnej väzby (kontroly)

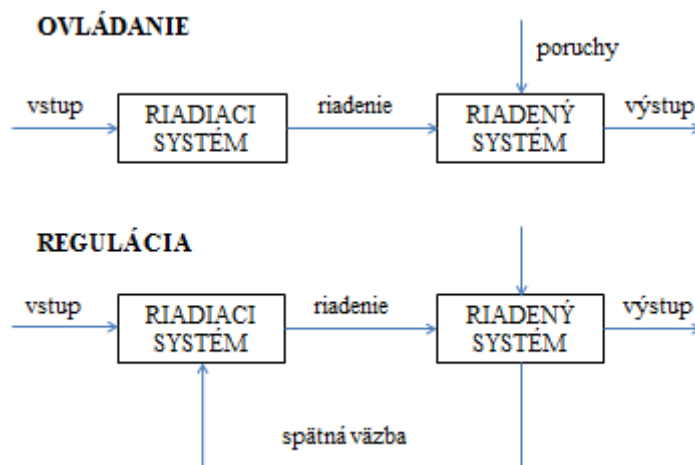
- *regulácia* - riadenie so spätnou väzbou. Ide o udržiavanie určitej fyzikálnej veličiny na konštantnej hodnote alebo podľa nejakého pravidla sa meniacej hodnote. Hodnoty sa zrovnávajú s hodnotou, ktorú má veličina mať. Do procesu sa zasahuje v tom zmysle, aby sa odstránili zistené odchýlky.

K vyšším formám riadenia patrí :

- *optimálne riadenie* - riadenie, pri ktorom je systém schopný vyhľadať najvhodnejšie pôsobenie a dosiahnuť tak čo najlepšie chovanie systému s maximálnou účinnosťou alebo v čo najkratšom čase

- *adaptívne riadenie* - riadenie, pri ktorom je systém schopný meniť svoju štruktúru a parametre tak, aby proces prebiehal stále optimálne

- *umelá inteligencia* - najvyšší stupeň riadenia, pri ktorom umele vytvorený systém má schopnosť rozpoznávať predmety, javy, analyzovať vzťahy medzi nimi a vytvárať si modely okolia, robiť účelné rozhodnutia a predvídať ich dôsledky, riešiť problémy vrátane objavovania nových zákonitostí a zdokonaľovania svojej činnosti [14].



Obr.9 Bloková schéma systému ovládania a riadenia. [5]

Virtuálny merací prístroj - podstatou virtuálneho prístroja je doplnenie otvorenej architektúry PC tým, čo mu chýba, aby mohol plniť úlohu meracieho prístroja. V oblasti hardwaru je to zásuvná multifunkčná karta vybavená konektorom pre zasunutie tejto karty do systémovej dosky PC (sloty ISA, EISA, dnes štandardné PCI zbernice). Úlohou tejto zásuvnej meracej dosky je prevod meraných analógových signálov na číslo a vstup binárnych signálov. V oblasti softwaru je to vhodný program pre počítač, ktorý realizuje všetky meracie prístroje a tak plní úlohu jeho pevného programového vybavenia.

Neoddeliteľnou súčasťou aplikácie predstavujúcej virtuálny prístroj je grafické rozhranie k užívateľovi (čelný panel virtuálneho prístroja) [4].



Obr.10 Čelný panel virtuálneho prístroja. [15]

Porovnanie niektorých vlastností bežných a virtuálnych meracích prístrojov je zhrnuté v Tab.3..

Tab.3 Porovnanie vlastností bežného a virtuálneho meracieho prístroja. [4]

| Tradičný prístroj | Virtuálny prístroj |
|---|---|
| Charakter a vlastnosti definované predajcom | Charakter a vlastnosti definované užívateľom |
| HW významnejší | SW významnejší |
| Funkčne špecifikovaný | Aplikačne špecifikovaný |
| Nákladný | Lacný, prekonfigurovateľný |
| Pevne definované meracie funkcie | Pružné funkčné možnosti |
| Inovačný cyklus 5-10 r. | Inovačný cyklus 1-2 r. |
| Vysoké vývojové a údržbové náklady | Náklady na vývoj využívajú výsledky vývoja HW a SW prostriedkov výpočtovej techniky |

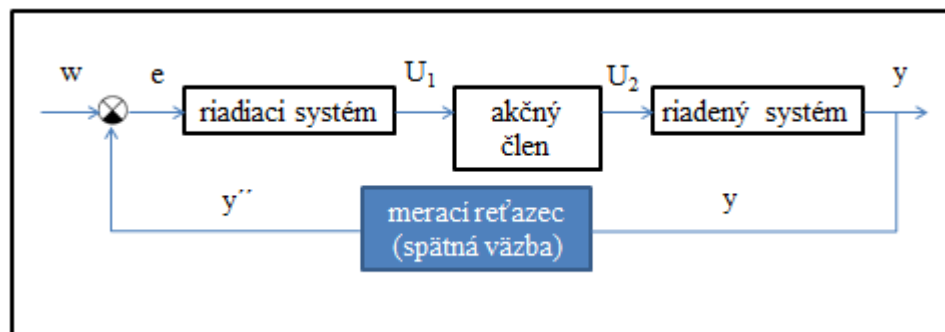
Tab.2 Vývojové etapy meracej techniky, získavania a spracovania informácií a riadenia procesov. [2]

| Vývojové etapy | | Cieľ | Prostriedky | Stimulujúci hardware | Získavanie meracích informácií | Spracovanie meracích informácií | | | Riadenie procesov | |
|----------------|-------------------------------------|---|---|--------------------------|---------------------------------------|--|----------------------|---------------------------|--|------------------------------|
| | | | | | | funkčne | priestorovo | energeticky | | |
| Do r.1940 | Klasická meracia technika | Meranie stavov jednotlivých objektov | Využitie klasickej prístrojovej techniky (takmer bez teórie) | Merací prístroj | Decentrálne, prevažne mechanicky | Decentrálne, paralelne | | Manuálne, paralelne | De- c- e- n- t- r- á- l- n- e | Ma- nu- ál- n- e |
| 1940-1950 | Kontrolná technika | Kontrola stavu jednotlivých objektov | Vývoj klasickej teórie systémov | Regulátor | Decentrálne, mechanicky, elektricky | Decentrálne, paralelne | | Manuálne, paralelne | | |
| 1950-1960 | Automatizačná technika | Automatizácia úsekov tratí | Využitie klasickej teórie systémov | Merací prevodník | Decentrálne, elektricky, mechanicky | Decentrálne | Centrálne, paralelne | Strojovo, paralelne | | |
| Od r.1960 | Procesová výpočtová technika | Automatizácia veľkých celkov | Vývoj modernej teórie systémov | Procesový počítač | Decentrálne, prevažne elektricky | Centrálne, sériovo | | Strojovo, sériovo | | |
| Od r.1975 | Mikroprocesorová výpočtová technika | Automatizácia veľkých systémov (materiálová, energetická, informačná) | Použitie meracej a výpočtovej techniky, hľadanie výkonných teórií | Mikroprocesorový počítač | Decentrálne, Elektricky, elektronicky | Centrálne, decentrálne, kváziparalelne | | Strojovo, kvázi-paralelne | | |

3. Podrobnejšia analýza vybraných trendov

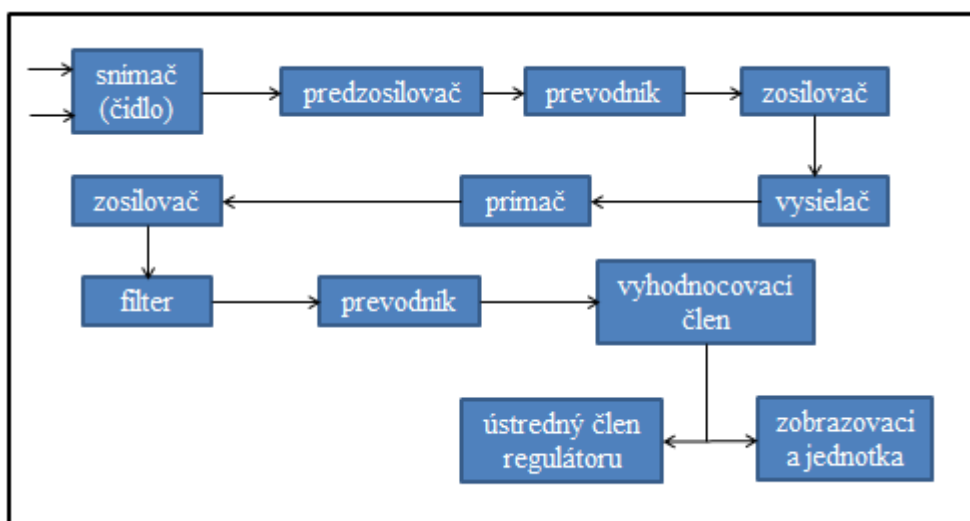
3.1 Meranie a meracia technika v automatizácii

Pri použití automatických systémov v praxi nás zaujíma výsledok celého regulačného procesu zvyčajne hodnoteného z hľadiska pojmov kvality regulácie. Pri tomto klasickom pohľade na reguláciu a automatizáciu sa spravidla všetko odvíja od dominantného postavenia regulátora v regulačnom obvode. Na celú situáciu sa však môžeme pozrieť aj z pohľadu meracej techniky, ktorá má v regulačnom obvode svoje nezastupiteľné miesto a v istom ponímaní možno dokonca povedať, že má v ňom výsadné postavenie. Jej prostredníctvom je totiž realizovaná spätná väzba, ktorá dodáva informácie do regulátora. Ak meracia technika neplní spoľahlivo svoju funkciu a dodá do regulátora skreslené údaje o stave sledovaných veličín, sústavu nedokáže regulovať ani najdokonalejší riadiaci systém [6].



Obr.11 Schéma uzavretého regulačného obvodu. [6]

Na obr.11 je znázornená schéma regulačného obvodu ako zostava štyroch podsystémov, ktoré možno ďalej rozkresliť do podrobnejšej zostavy jednotlivých prvkov. Nás zaujíma predovšetkým spätnoväzbový člen, t.j. merací reťazec. Jeho všeobecná štruktúra je na obr.12..



Obr.12 Všeobecné usporiadanie meracieho reťazca. [6]

Každý prvok tohto reťazca prináša svoje konkrétne vlastnosti, takže je potrebné venovať pozornosť parametrom týchto prvkov tak ako výslednému chovaniu celku. Presnosť výraznejšie ovplyvňuje predovšetkým snímač, vysielač a prijímač, zatiaľ čo rádovo presnejšie sú prevodníky a zosilňovače, ktorých vplyv na výsledok možno niekedy dokonca zanedbať. V praxi sa len výnimočne zhoduje správna (pravá) hodnota meranej veličiny s jej hodnotou nameranou prostredníctvom meracej techniky. Rozdiel medzi nimi je chybou merania, ktorá by podľa súčasnej metodiky medzinárodných metrologických predpisov mala byť uvedená ako neistota merania. Pri meraní v automatizácii sa ako zdroj neistôt uplatňujú neznáme a nekompensované vplyvy prostredia, nevhodná meracia metóda, nevhodný výber meracej techniky, zjednodušené spracovanie nameraných dát, rušivé vplyvy pri diaľkovom prenose dát a pod. U bežných aplikácií možno predpokladať, že neistoty ktoré do systému vnesie meracia technika, budú zachované, popr. ešte pôsobením regulátora zväčšené [6].

3.3 Prínosy modernej meracej techniky

Súčasnú meracie prístroje nadobúdajú stále zložitejšiu štruktúru, ktorá jednak integruje stále väčší počet prvkov podľa schémy na obr.12, jednak v sebe zahŕňajú ďalšie prvky dodávajúce snímaču jeho vlastnú inteligenciu. V týchto reťazcoch má prednosť snímač-čidlo, ktorého výstupom je zmena elektrickej veličiny v závislosti na zmene vstupnej meranej veličiny poprípade nasleduje elektrický prevodník pre ľahšie spracovanie signálu v následných prvkoch reťazca. Dnešná moderná meracia technika obsahuje elektronické obvody, ktoré na báze procesoru či počítača umožňujú ďalšie rôznorodé spracovanie nameraného signálu. Za isté vrcholy súčasnej meracej techniky možno považovať predovšetkým dve varianty riešenia. Prvou sú inteligentné (smart) snímače, druhou variantou sú počítačové systémy osadené meracou kartou a doplnené softwarom podporujúcim meranie a riadenie.

3.4 Inteligentné senzory

V oblasti vývoja senzorov sa prejavuje rastúce úsilie napodobniť technicky (umelo) zmyslové orgány človeka a s nimi spojené inteligentné úkony pri získavaní a spracovaní informácii. Ide najmä o rozšírenie pozorovateľnosti stavov a dejov, pričom sa d'alekosiahle prekračujú prirodzené hranice zmyslových orgánov osoby vykonávajúcej meranie, ale aj o to aby sa človek vylúčil z často sa opakujúcich procesov [2].

Senzor je funkčný prvok tvoriaci výstupný blok meracieho reťazca, ktorý ako jediný člen meracieho reťazca je v priamom styku s meraným objektom (prostredím). Senzor je ekvivalentom k pojmom snímač, prevodník alebo detektor. Citlivá časť senzoru sa označuje čidlo. Senzor sníma sledovanú veličinu a tú podľa určitého princípu transformuje na meranú veličinu (vo väčšine prípadov je touto veličinou elektrická veličina). Niektoré senzory neelektrickú veličinu transformujú priamo na číslicový signál. Meracia veličina je ďalej spracovaná ďalšími funkčnými blokmi meracieho reťazca. Na konci tohto reťazca je indikačné zariadenie, ktoré nás informuje o stave sledovanej veličiny alebo nadväzuje regulačný systém, ktorý podľa vopred daných pravidiel ovplyvňuje sledovanú veličinu. Vo väčšine prípadov číslicového spracovania nameraného signálu je výstup tvorený buď číslicovým meracím prístrojom, ktorý je vybavený rozhraním pre diaľkové spracovanie

dát, alebo na výstupe je priamo rozhranie umožňujúce prenos nameraných dát. Rozhranie je spoločná hranica, ktorá má presne definované charakteristiky pripojenia ako fyzického, tak signálového, funkčného i procedurálneho. Pri senzoroch sa najčastejšie používa sériové rozhranie podľa európskeho odporúčenia CCITT a amerického odporúčenia EIA, a to RS-232-C a RS-485. Zatiaľ čo u rozhrania RS-232-C je dosah prenosu dát pri rýchlosti 20kb/s 15m, u RS-485 je to do vzdialenosti 1200 metrov s maximálnou rýchlosťou 20 Mb/s. Ďalším sériovým rozhraním je Ethernet. Rozhranie môže bez problémov prenášať informáciu vysokými rýchlosťami od 10Mb/s do 1000Mb/s po krútenej dvojlinke i po optickom vlákne. Poslednou skupinou sú rozhrania pre bezdrôtový prenos dát, kam patria Bluetooth, WiFi a IrDA. Pre náročnejšie merania sa dá použiť paralelné rozhranie ako je IEEE 4. Vďaka rýchlemu vývoju elektroniky, ktorý viedol k vývoju nových prvkov a systémov, došlo aj k rozvoju elektronických obvodov aj pre spracovanie signálov získaných z čidiel neelektrických veličín. Vďaka nutnosti zlučiteľnosti senzorov a nadväzujúcich analógových obvodov boli vyvinuté tzv. inteligentné senzory, ktoré vychádzajú z technológie spojenia čidla s nadväzujúcimi integrovanými analógovými obvodmi na tom istom kremíkovom čipe [16].

3.4.1 Štruktúra inteligentných senzorov

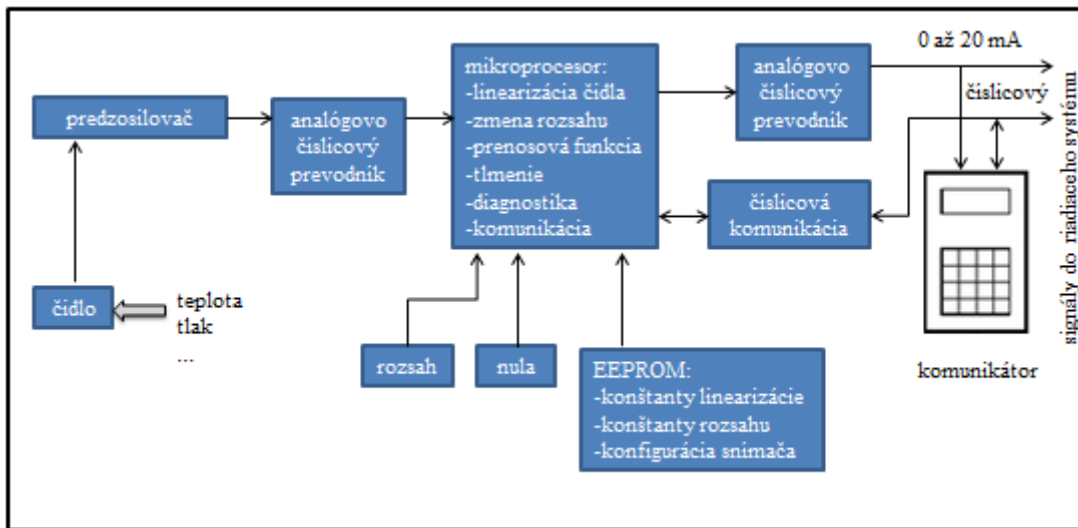
Štruktúru inteligentných senzorov možno rozdeliť na tri časti:

1.vstupná časť- zaisťuje vstup meraných veličín, prevádza ich na elektrickú veličinu a tú prevádza na vhodný, prípadne i normovaný elektrický signál a zaisťuje ochranu senzoru proti pôsobeniu nežiadúcich vstupných veličín, či vplyvu okolia. Môžu ju vytvoriť prevodníky, membrány, zosilovače, stabilizátory, atď. jeden inteligentný senzor môže obsahovať viac čidiel rôznych veličín - hlavná veličina tak môže byť korigovaná vzhľadom k rušivým veličinám, napr. teplote. Môže tak zaisťovať prepínanie viac vstupných veličín, adresovanie v rade, v slučke či poli meraných bodov.

2.vnútoraná časť- spracováva vstupný signál, zaisťuje nastavenie nulovej hodnoty, kompenzáciu vplyvu okolia, linearizáciu v celom rozsahu vstupných veličín, autokalibráciu meracej funkcie. Je tvorená A/D a D/A prevodníkmi, pamäťami, komparátormi, generátormi, mikroprocesormi. U najvyšších stupňov inteligentných senzorov sa využívajú prostriedky umelej inteligencie.

3.výstupná časť- zaisťuje komunikáciu senzoru s následnými zariadeniami, signalizáciu vlastnej funkcie a stavu, prípadne prevod číslcového signálu na normalizovaný analógový výstupný signál, signalizáciu meranej veličiny. Môže umožňovať miestne i diaľkové ovládanie. Dôležitou úlohou je ochrana pred pôsobením nežiadúcich javov na výstupe. Je tvorená obvodmi elektrických signálov [16].

Jadrom snímača v prevedení smart je mikroprocesor, čo umožňuje kvalitatívne novú úroveň komunikácie snímača s okolím, ktorú dopĺňa miestna prezentácia výsledkov merania s veľkou presnosťou. Schéma usporiadania takéhoto snímača je na obr.13 [6].



Obr.13 Schéma snímača v prevedení smart. [6]

Prínosom je prítomnosť funkcií ako sú napr. voľba rozsahu, nastavenie nuly, nastavenie pásma necitlivosti, linearizácie, kompenzácie vplyvov prostredia a autodiagnostika, prítomnosť korekčných a kalibračných obvodov atď. Obrovskou výhodou je predovšetkým to, že všetko sa nachádza priamo pri zdroji diania, t.j. v spoločnom telese snímača. Vďaka týmto funkciám je možné korigovať nepriaznivé vplyvy okolia a spolu s autokalibráciou výrazne spresniť hodnoty dodávané ďalším členom regulačného obvodu.

3.4.2 Požiadavky na inteligenciu senzoru

Požiadavky na inteligenciu v jednotlivých častiach senzoru:

- 1) *vo vstupnej časti*: prevod fyzikálnej, chemickej alebo biologickej veličiny na elektrickú, zosilnenie a filtrácia signálu, linearizácia prevodnej charakteristiky, normovanie signálu, ochrana proti pôsobeniu parazitárnych veličín a pod.
- 2) *vo vnútornej časti*: analógovo-číslicový prevod, autokalibrácia elektrickej alebo neelektrickej časti meracieho reťazca, aritmetické operácie, číslcová linearizácia, štatistické vyhodnocovanie nameraných dát, hľadanie medzí, možnosť pridania umelej inteligencie, kde je senzor schopný na základe modelu a učiacich sa princípov rozoznať, či sú namerané dáta vierohodné alebo nie.
- 3) *vo výstupnej časti*: unifikácia analógových výstupných signálov, komunikácia prostredníctvom integrovaného rozhrania so zbernicovým systémom, číslcovo-analógový prevod a pod.

3.4.3 Generácie senzorov

Vlastnosti senzorov môžeme porovnávať na základe rôznych kritérií (presnosť, rozsah, výstupný signál, parazitné vplyvy a pod.). Zhrnutím týchto porovnaní dostaneme skupiny (generácie) senzorov, ktoré sa od seba kvalitatívne líšia.

1.generácia - pre konštrukciu senzorov sa využívajú základné fyzikálne javy. Sú to predovšetkým senzory odporové, indukčné, kapacitné, ionizačné, termoelektrické,

piezoelektrické a pod. ich vývoj je v podstate ukončený. Výnimočne sa u tejto generácie stretávame s novými technológiami, použitím nového materiálu a konštrukcií.

Celkom výnimočne sa stretávame s použitím nových fyzikálnych javov. O túto generáciu sa opiera súčasná automatizačná technika.

2.generácia - typické pre túto skupinu senzorov je využitie polovodičov a fyzikálnych javov spojených s polovodičmi. Ich nástup úzko súvisí s rozvojom polovodičovej techniky. Tieto senzory sa vyznačujú výrazne lepšími parametrami, predovšetkým pokiaľ ide o citlivosť, miniatúrne rozmery, dynamické vlastnosti, presnosť a ďalšie. Hľadajú sa nové fyzikálne javy, nové materiály. Dochádza k čiastočnému alebo úplnému zlúčeniu elektronickej časti informačného reťazca s čidlom. Vytvárajú sa hybridné alebo integrované senzory. Vývoj tejto generácie nie je ukončený. Preto je ďalej venovaná pozornosť predovšetkým tejto generácii.

3.generácia - u predchádzajúcich dvoch generácií senzorov je na výstupe vždy elektrický výstupný signál. Rýchly vývoj v optických systémoch si žiada dokonalejšie senzory. Tieto senzory s možnosťou napojenia optických vlákien na iné vlnovody alebo na laserové lúče súhrnne nazývame mikro-elektro-mechanické systémy (MEMS). Názov MEMS sa využíva aj mimo optoelektroniku, čisto optoelektronické systémy nazývame MOEMS (mikro- optoelektro-mechanické systémy). Tretia generácia je reprezentovaná senzormi optoelektrickými alebo svetlovodnými. Na ich výstupe je svetelný tok. Táto generácia nadväzuje na prenos signálu pomocou svetlovodov a využíva z toho vyplývajúce výhody. Ide predovšetkým o problém rušenia senzorov elektrickými alebo magnetickými poľami, možnosť prenosu signálu na väčšie vzdialenosti, veľká šírka pásma a niektoré ďalšie výhody. Tieto senzory sú v štádiu výskumu a vývoja. Niektoré typy sa však už sériovo vyrábajú. Veľmi zaujímavú skupinu tejto generácie predstavujú svetlovodné senzory. U nich pôsobí meraná neelektrická veličina na parametre svetlovodu tak, že je priamo ovplyvňovaný svetelný tok. Senzory tohto typu môžu mať výrazne väčšiu citlivosť a podstatne menšie rozmery než senzory pracujúce s prevodom na elektrický signál.

3.5 Počítačové meracie systémy

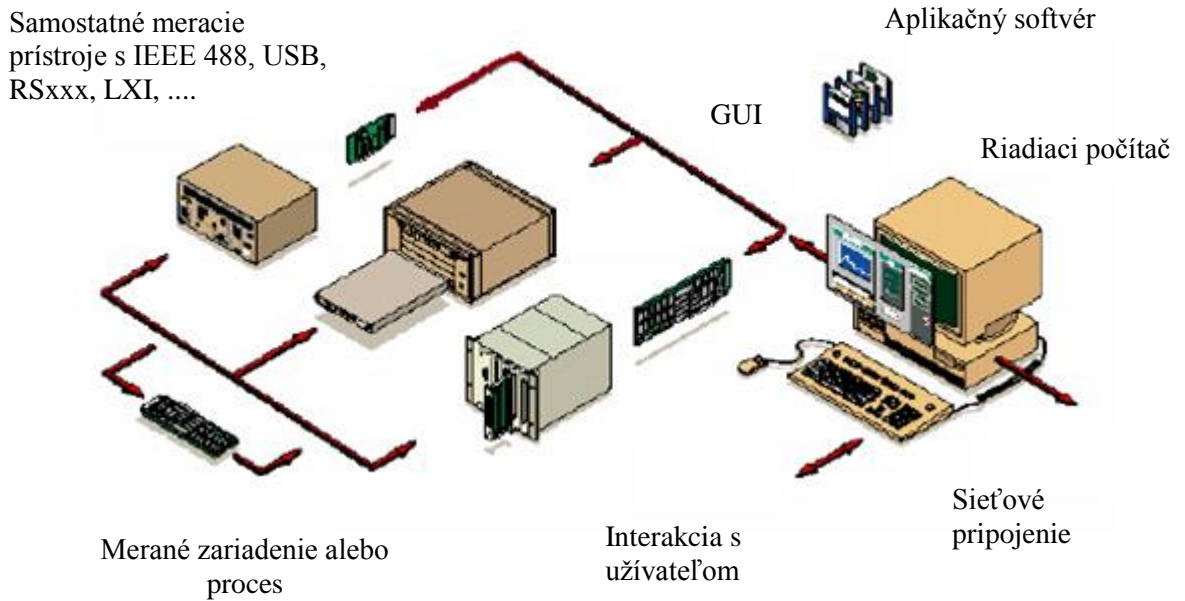
Využitím počítačových číslicových meracích systémov (ČMS) možno realizovať automatizované meranie, ktoré po spustení nevyžaduje prítomnosť experimentátora. Presnosť, spoľahlivosť a jednoduchá obsluha systému je daná použitým hardwarovým zariadením a vytvoreným programom obsahujúcim jednotlivé meracie sekvencie.

Vývoj posledných niekoľko rokov smeruje k rozdeleniu meracích systémov do dvoch základných skupín. Na meracie systémy:

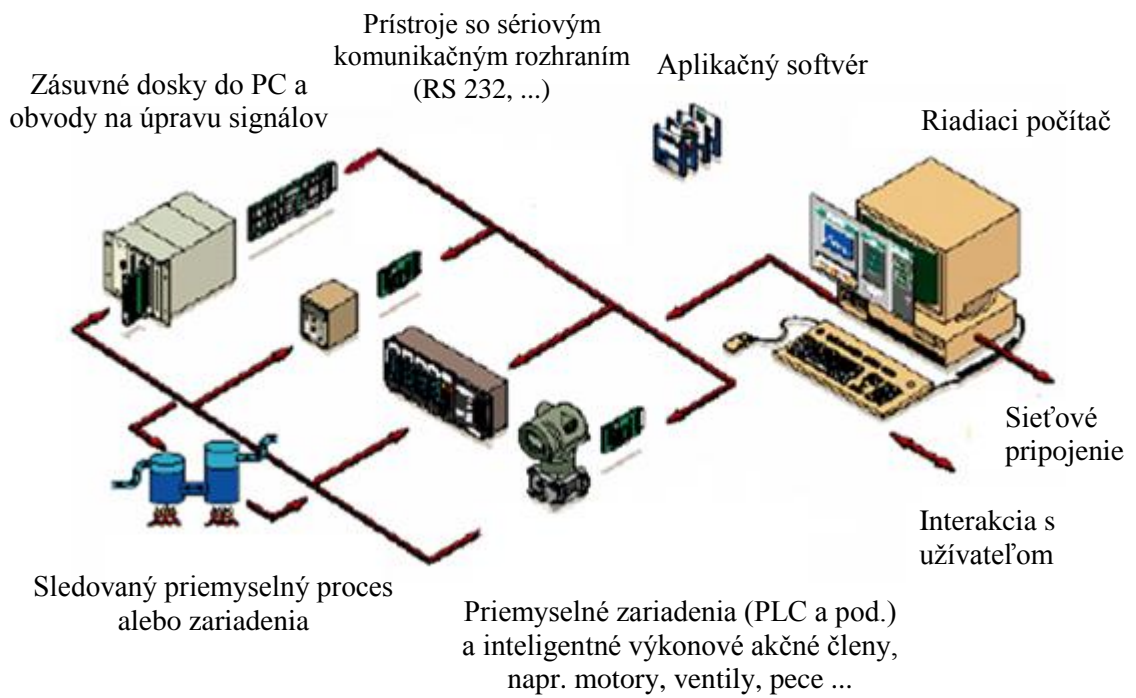
- pre laboratórnu prevádzku (obr.14)
- pre priemyslovú prevádzku (obr. 15)

Modulárne systémy na báze
PXI, VXI, VME, a pod.

Zásuvné dosky
do PC s obvody
na úpravu
signálu



Obr.14 Príklad meracieho systému – laboratórium. [16]



Obr.15 Príklad meracieho systému – priemysel. [16]

Laboratórna prevádzka:

- krátke pripojovacie vedenia snímačov
- centralizované meranie
- malé súhlasné napätia,
- nízke alebo vôbec žiadne rušivé napätie
- nie je nutné galvanické oddelenie výstupov
- sú vyžadované rýchle dotazovacie cykly
- jedná sa väčšinou o centralizované merania
- meracie prístroje sú väčšinou v klasickom stolnom prevedení
- často sa mení prevedenie a usporiadanie merania

Priemyselná prevádzka:

- dlhé pripojovacie vedenia snímačov
- decentralizované merania
- veľké súhlasné napätia
- väčšinou vysoké rušivé napätia
- galvanické spojenie je príčinou porúch a havárií a je preto nutné inštalovať dokonalé galvanické oddelenie
- priemerné dotazovacie cykly na merané veličiny
- meracie prístroje umiestené v robustných skrinách zabezpečených proti vnikaniu prachu, vlhkosti a často v iskrovo bezpečnom prevedení
- projektovaná trvanlivosť dlhodobá, požiadavka na veľmi vysokou spoľahlivosť
- použitie špecializovaných procesorových staníc namiesto klasického PC [13].

Počítačový ČMS môže byť založený tak na klasických samostatne stojacich meracích prístrojoch prepojených cez rôzne komunikačné rozhrania s počítačom, tak aj na použití zásuvných meracích kariet do počítača.

Ako primárne prvky ČMS zvyčajne pracujú senzory - čidlá. Signály zo senzorov sú niekedy upravované vstupnými prvkami systému, obvody úpravy signálu (predzosilňovače, filtre a pod.), pre pripojenie signálov do systému. Upravené a prevedené signály sú potom prenesené vhodným rozhraním do počítača a vyhodnotené.

Pri vývoji meracích aplikácií sa používajú programové vývojové prostredia, ktoré aplikáciu umožňujú podľa potreby i priebežne modifikovať. Dnešní užívatelia si teda môžu sami navrhnuť a zostaviť vlastný merací systém. Programovaním ČMS sa rozumie tvorba programovej aplikácie (užívateľského rozhrania), určenej na riadenie celého systému alebo jeho jednotlivých častí. Konkrétne programovanie ale závisí na rade faktorov, najmä na type riadiaceho modulu (počítača), použitého operačného systému a vývojového prostredia. V najčastejšie používanom operačnom systéme MS Windows má užívateľ limitovanú možnosť riadiť časovanie toku dát. V náročnejších aplikáciách sa preto používa špeciálna kategória ČMS tzv. *Real-Time* meracie systémy. Tieto systémy používajú prístroje s veľmi rýchlymi procesormi a špeciálnymi operačnými systémami.

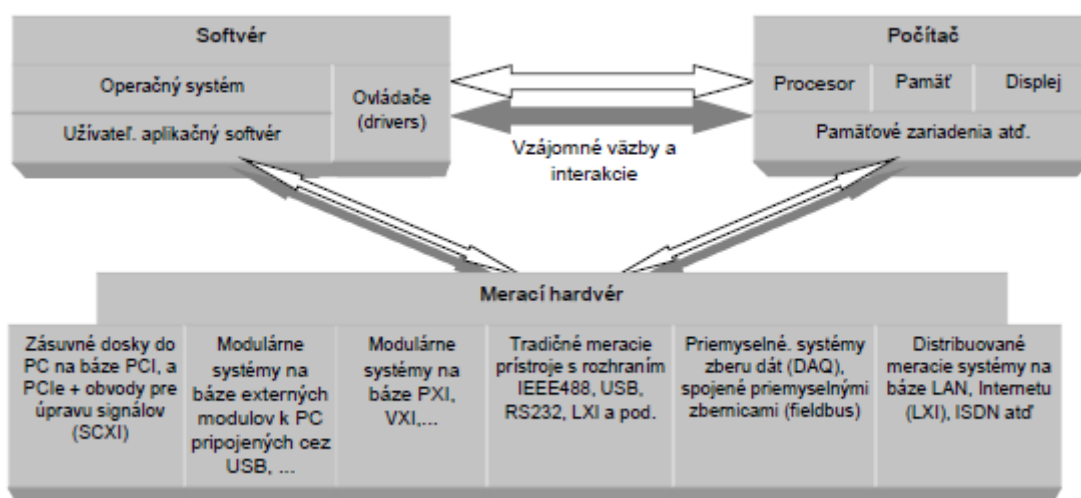
Meracie systémy sa z pohľadu modifikovateľnosti delia na otvorené a uzatvorené. *Otvorený* je systém, v ktorom je riadenie založené na hlavnom počítači (PC, priemyselný počítač, riadiaca jednotka modulárneho systému ap.), s možnosťou jednoducho dopĺňať

systém o nové moduly sprostredkujúce rôzne ďalšie funkcie. Otvorenosť môže byť zaistená v rôznych vrstvách štruktúry komplexného ČMS. Otvorený ČMS sa môže totiž skladať aj z niekoľkých vzájomne komunikujúcich uzatvorených ČMS. Dôležitou vlastnosťou otvoreného ČMS je jeho prípadná modularita.

Uzatvretý systém je založený na jednoúčelovom systéme s integrovanou elektronikou. Použitá je autorizovaná technológia ovládania systému, zobrazenia analýza dát. Každý ČMS musí používať nejaké zariadenie pre komunikáciu medzi systémom a pracovníkom obsluhy. Toto *užívateľské rozhranie*, označované HMI (Human Machine Interface), má zväčša grafickú podobu aplikácie zobrazovanej na monitore počítačového ČMS. Na obrazovke sú zobrazené digitálne displeje podobné tým, ktoré sa používajú v klasických meracích prístrojoch. Operátor-užívateľ môže meniť vstupné parametre pomocou klávesnice, myši a grafických ovládačov podobne ako u klasického prístroja [10].

3.6 Virtuálna meracia technika

Súčasná technológia umožňuje zložitý analógový obvod nahraďovať výkonným meracím, dáta spracujúcim zariadením-DAQ (Data AcQuisition) a DSP (Digital Signal Processing) softwarom. Všetko je potom riadené z hlavného počítača, vzniká tzv. *virtuálna prístrojová technika*. Jej základným princípom je jednak odstránenie zložitého návrhu elektroniky a jej ladenia, ale hlavne možnosť použitia jedného meracieho DAQ zariadenia pre viac rozdielnych aplikácií. Konečné použitie vytvoreného ČMS tak určuje programátor-užívateľ a nie výrobca zariadenia. **Virtuálny merací prístroj** (virtual instrument) spracúva získané údaje reprezentujúce reálne signály prevažne softwarovo podľa vytvorených algoritmov a programových sekvencií. Vo virtuálnom meracom prístroji je teda „meranie“ uskutočňované softwarovo (obr.16). Charakteristickou vlastnosťou virtuálneho ČMS je možnosť tzv. upgrade t.j. využitia nových verzií hardwaru alebo softwaru bez zásadnej zmeny v zostave systému ale vedúce k vyššiemu výkonu, nižším nákladom, jednoduchosti obsluhy [10].



Obr.16 Schéma virtuálnych meracích systémov. [17]

Vďaka možnosti vzdialeného prístupu k jednotlivým meracím prístrojom realizovaného pomocou PC, užívateľ môže byť fyzicky vzdialený od vlastného merania prakticky na ľubovoľnú vzdialenosť bez toho, aby to ovplyvnilo kvalitu merania. Samozrejme nič nemôže nahradiť priamy kontakt s meracím pracoviskom, avšak táto nevýhoda je potlačená tým, že umožňujú na malom priestore vytvoriť inak fyzicky nezvládnuteľné pracovisko. Napríklad vykurovanie a vetranie veľkých hál, pomocou sústavy vzduchotechniky, ovládanie veľkých el. rozvodní i celej elektrorozvodnej sústavy. Ďalšou výhodou je, že vo svojej podstate nevyžadujú prítomnosť človeka pri meraní, čo sa priaznivo prejavuje v aplikáciách, kde fyzická prítomnosť obsluhy ani nie je možná (aktívna zóna jadrovej elektrárne).

Virtuálna inštrumentácia má tiež uplatnenie v priemysle, kde robustné priemyselné počítače využívajú rovnaké platformy a protokoly prenosu dát ako osobné počítače. Tým je zaručená ľahká prenositeľnosť aplikácie z laboratórnych podmienok do praxe.

Existuje viacero možností na tvorbu softwarového vybavenia virtuálnych meracích systémov. Je tu možnosť naprogramovania systému v ktoromkoľvek programovacím jazyku. Týmto postupom sa vytvárajú najefektívnejšie systémy, avšak úsilie vynaložené na ich vytvorenie mnohonásobne prevyšuje zisk.

Ďalšou možnosťou sú štandardné programovacie jazyky, ktoré obsahujú podporu pre tvorbu Human interface a správu komunikačných kanálov. Mnohým programovateľným užívateľom sú tieto systémy najbližšie, pretože poskytujú účinné a jednoduché nástroje na tvorbu aplikácií, pričom zachovávajú relatívne veľkú voľnosť. Príkladom je systém CVI od National Instruments.

Poslednou možnosťou sú grafické programovacie jazyky, ktoré umožňujú veľmi rýchlu intuitívnu tvorbu aplikačného softvéru. Práca s nimi je pohodlná a spočíva prakticky len v nakreslení akéhosi vývojového diagramu. Na druhej strane majú principiálne obmedzené možnosti a daňou za pohodlie pri tvorbe je nižšia efektivita behu programu, ale v poslednom čase sa aj tento faktor citeľne zlepšuje. Príkladom môže byť LabView od National Instruments, alebo HPVEE od Agilent (Hewlett Packard).

Na záver treba pripomenúť, že jednotlivé komponenty systému sú na sebe nezávislé aj softvérové a teda je úplne ľahostajné, akým systémom sú jednotlivé komponenty tvorené. V prípade záujmu o hlbšie zoznámenie sa s danou problematikou možno odporučiť navštíviť stránku www.ni.com kde sa záujemca môže zoznámiť s programovým vybavením, ako aj s hardvérom pre tieto systémy od popredného výrobcu [18].

3.7 Bezdrôtové technológie v automatizácii

Ešte pred niekoľkými rokmi bolo nasadenie bezdrôtových technológií v automatizácii skôr utópiou ako realitou. Prudký rozvoj bezdrôtových technológií v automatizačnej technike je podmienený významným rozvojom bezdrôtových technológií v informačných a komunikačných systémoch. Komunikačné a informačné technológie sú nevyhnutnou súčasťou automatizačnej techniky a preto i nové bezdrôtové technológie sa takto dostávajú do automatizačnej techniky, pretože umožňujú rad aplikácií riešiť ďaleko efektívnejšie a to z hľadiska technického aj ekonomického. Celý rad aplikácií bezdrôtových technológií je iniciovaný požiadavkami na spektrum nových funkcií moderných distribuovaných riadiacich systémov. Napríklad je potrebné zahrnúť do distribuovaného systému rôzne zariadenia na rozsiahlom území, pre ktoré je potrebné komunikačné rozhranie na stredné

alebo veľké vzdialenosti, kde bežné klasické drôtové technológie zbernicových systémov nevyhovujú, alebo sú menej efektívne po stránke údržby aj prevádzky alebo nie sú realizovateľné.

Pre také aplikácie sa využívajú bezdrôtové technológie, ktoré disponujú nízkou spotrebou, spoľahlivosťou prenosu a kvalitným zabezpečením spoločne s miniaturizáciou a integráciou čiastkových komponentov do zabudovaných systémov.

V meracích a riadiacich systémoch sa momentálne používa celý rad bezdrôtových technológií. Okrem GSM (Global System for Mobile Communications) medzi najbežnejšie štandardy s dostupnými špecifikáciami patrí Bluetooth (IEEE 802.15.1.), WLAN (IEEE 802.11), WPAN (IEEE 802.15.4 / ZigBee), DECT a IrDA. Presadzujú sa najmä nové bezdrôtové štandardy ako Wireless USB, WiMaX, ZigBee, ktoré vyplňujú medzeru v doposiaľ používaných štandardoch a s výhodou odstraňujú ich nedostatky týkajúce sa bezpečnosti prenosu, manažmentu spotreby, zapojenia do sieťových architektúr a predovšetkým účinnosti prenosu. V oblasti WLAN – WiFi sa bude skôr používať bezdrôtový priemyselný Ethernet, ktorý bude oveľa lepšie zabezpečený pre riadiace úlohy reálneho času, ako je napríklad bezdrôtový PROFINET a iné. Predpokladaným trendom bude nástup týchto technológií nielen v bežnej komunikačnej technike, ale predovšetkým v riadiacich automatoch a elektronických obvodoch, kde budú tieto bezdrôtové systémy štandardne integrované [19].

4. Dokumentovanie nových prístupov k meraniu na vybranom príklade-meranie dĺžky

Ako príklad na dokumentovanie nových prístupov k meraniu som si zvolil meranie dĺžky, keďže som mal možnosť merať na 2D a 3D-súradnicových systémoch a porovnať toto meranie s meraním klasickým posuvným meradlom a mikrometrom.

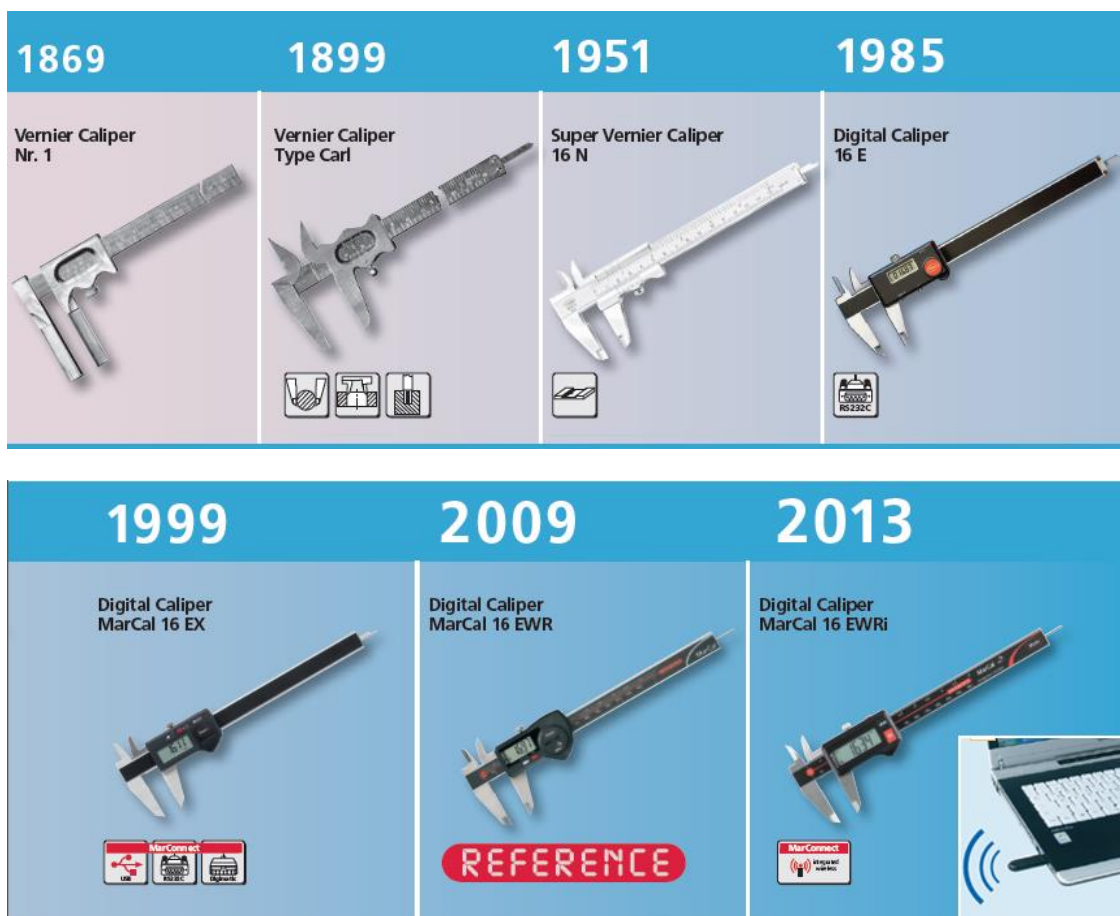
Meranie dĺžky patrí medzi najstaršie metrologické úlohy v ľudskej histórii. S rozvojom modernej techniky sa kladú nové požiadavky aj na meranie tejto veličiny ako aj na presnosť tohto merania. S meraním dĺžky sa neoddeliteľne spája meranie polohy, vzdialenosti, rozmeru a odchyliet rozmeru.

Dĺžka je jednou zo základných veličín sústavy SI. Jednotkou dĺžky je 1 meter (m), ktorý je definovaný ako dráha, ktorú prebehne svetlo za časový interval 1/299 792 458 sekundy.

Najdôležitejšie princípy a metódy merania ako aj popis meracích prístrojov možno nájsť napr. v literatúre [1,2].

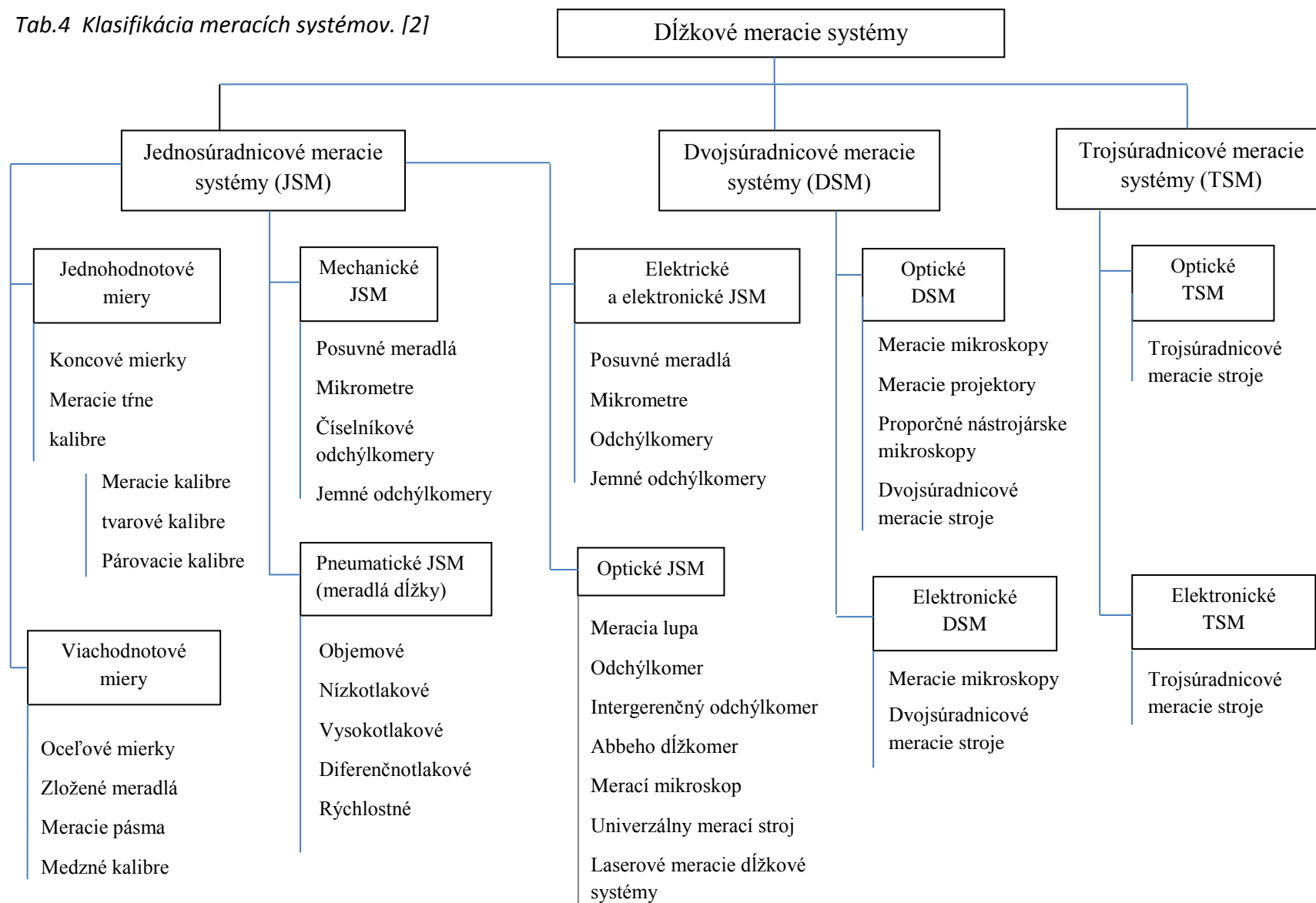
Prehľadná klasifikácia meracích systémov je uvedená v Tab.4 [2].

Na ilustráciu ako prebieha vývoj pri klasických meracích prístrojoch možno uviesť ako príklad zdokonaľovanie posuvného meradla od klasického k digitálnemu s integrovaným vysielateľom pre bezdrôtový prenos hodnôt obr.17 [20].

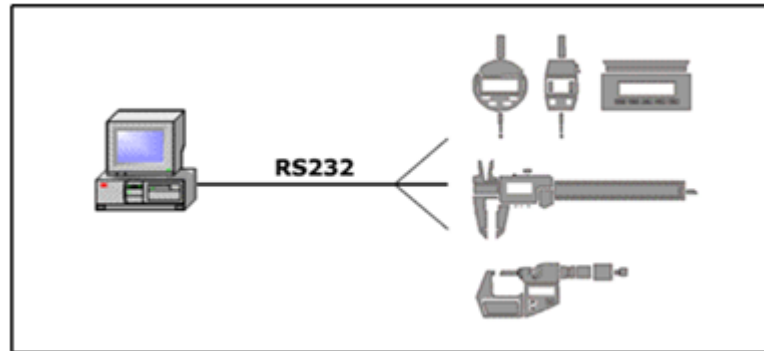


Obr.17 Vývoj a zdokonaľovanie posuvného meradla. [20]

Tab.4 Klasifikácia meracích systémov. [2]



Pokrok v elektronike postavil na kvalitatívne novú úroveň aj klasické meracie prostriedky (ktoré v súčasnosti patria do bežnej výbavy strojárskych ale i nestrojárskych podnikov) a ich použitie vid'.obr.18 [21].



Obr.18 Kvalitatívne nová úroveň klasických meracích prostriedkov a ich použitia.[21]

Hlavnou oblasťou použitia meracej techniky dĺžky je meranie v priestore definovaných telies vyrábaných v sortimente približne 10^6 rozličných súčiastok. Na každej je potrebné dodržať v predpísaných toleranciách najmenej dva, veľakrát 50 aj viac rozmerov. Zvýšila sa presnosť obrábacích strojov, takže vo výrobe sa čoraz viac využívajú meradlá dĺžky s chybou rádovo v mikrometroch. Úplne nové možnosti prináša rozvoj moderných technológií, najmä laserovej meracej techniky.

Typické inteligentné meracie prístroje v oblasti merania dĺžok sú dvoj- a trojsúradnicové meracie prístroje. Merané subjekty sa snímajú bod po bode. Zabudovaný mikropočítač organizuje preberanie dát merania, vypočítava požadované odchýlky mier, tvaru a polohy a vykonáva transformáciu súradníc ako i opravu systematických chýb meradla a teploty. Merania prebiehajú nepriamo. Všetky závislosti sa vyrátajú po bodovom snímaní objektu podľa známych zákonitostí analytickej geometrie. Tak sa popri jednoduchých telesách ako sú valce, hranoly, platne, gule dajú premeriavať pomocou viacsúradnicových meracích prístrojov aj zložitejšie útvary ako sú závit, ozubené kolesá, turbínové lopatky či členité súčiastky odlievané pod tlakom. Komfortné, nákladné inteligentné meracie systémy umožňujú aj dialógový styk so subjektom merania a riadia merací proces príslušnými informáciami pre subjekt merania. Ako komunikačné prostriedky sa uprednostňujú zobrazovacie jednotky s alfanumerickým a grafickým výstupom. Drahé meracie automaty so vstavaným počítačom treba vo výrobnej kontrole ako aj v podnikovej a štátnej metrologii chápať nie ako náhradu ale ako doplnok konvenčných prostriedkov merania. Dajú sa zasadiť pri riadení kvality priamo do systémov CAD/CAM, ktoré umožňujú konštrukciu a výrobu pomocou počítača [2].

4.1 Merané súčiastky

Na meranie bol použitý hriadeľ z frézky, a kontúrový kus zo zvarovacieho prípravku podskupiny karosérie.



Obr.19 Súčiastky (hriadeľ a kontúrový kus) použité na meranie.

4.2 Meranie klasickými meradlami

4.2.1 Posuvné meradlo

Posuvné meradlá sú jednoduché ručné meradlá pre zisťovanie dĺžkových rozmerov súčiastok. Je možné nimi merať vonkajšie i vnútorné rozmery, hĺbky či odsadenia. Štandardné posuvné meradlo využíva princíp nónia pre delenie stupnice, ktorý bol vynájdený v 17.storočí. Pri meraní posuvným meradlom indikuje nulová ryska nónia rozmer, ktorého hodnotu je potrebné odčítať pomocou nóniovej stupnice. Od osemdesiatych rokov sa začali používať digitálne posuvné meradlá, kde nónius nahradil inkrementálny snímač a číslicový displej (najčastejšie s rozlíšením 0,01mm). Tolerancia rovinnosti a priamosti meracích plôch dosahuje 10 μm , rovnobežnosť je v tolerancii 15 μm . Pri meraní najčastejšie vznikajú chyby spôsobené nedokonalým dotykom meracích a meraných plôch, nesprávnou polohou meradla, opotrebovaním alebo nepresnou výrobou plôch čeľustí prípadne nepresným odčítaním hodnoty [22].

| | |
|---|---|
| Typy: | digitálne, mechanické |
| Rozsahy [mm]: | (0-80), (0-150), (0-600), (0-1000) atď. |
| Delenie (nónická diferencia) [mm]: | 1/10 (0,1); 1/20 (0,05); 1/50 (0,02) |
| Maximálna dovolená chyba mechanických PM [μm]: | (75+0,05L) pre delenie 1/10 (50+0,05L) pre delenie 1/20 (24+0,02L) pre delenie 1/50 kde L je meraná dĺžka v [mm] |



Obr.20 Digitálne posuvné meradlo.[23]

4.2.2 Mikrometrické meradlo

Mikrometrické meradlá sú meradlá dĺžok, ktoré využívajú pre polohovanie presnú skrutku s malým stúpaním, tzv. mikrometrickú skrutku, ktorá polohuje meracie dotyky. Vďaka tomuto princípu merania je mikrometer presnejší ako posuvné meradlo. Koncept mikrometra bol vynájdený v 17. storočí. Pre získanie vyššej presnosti odčítania môže aj

mikrometrické meradlo obsahovať nónius. Väčšina mikrometrických meradiel obsahuje rapkáč, ktorý slúži na vyvodenie vhodnej meracej sily. Najbežnejším mikrometrickým meradlom je strmeňový mikrometer na meranie vonkajších rozmerov. Aj mikrometre existujú v prevedení s digitálnym zobrazovačom a štandardne ponúkajú meranie s presnosťou až na 0,001 mm. Mikrometrické meradlá sú konštruované s vysokou tuhosťou a sú tepelne izolované pre elimináciu vplyvu teploty rúk obsluhy [22].

Typy - podľa princípu:

Typy - podľa konštrukcie:

Rozsahy [mm]:

Delenie [mm]:

Maximálna dovolená chyba

mechanických MM [μm]:

digitálne, mechanické

strmeňové, odpichy, hĺbkomery, na drôt,

na plech, na závity, na ozubené kolesá

(0-25), (25-50), (50-75), (75-100) atď.

0,01 (mechanické); 0,001 (digitálne)

$(4+L/100)$ pre I. triedu presnosti

$(10+L/50)$ pre II. triedu presnosti

kde L je horný rozmer meracieho rozsahu v [mm]



Obr. Mechanický a digitálny mikrometer.[23]

4.2.3 Číselníkové odchýlkomery

Číselníkové odchýlkomery sú jednoduché meracie prístroje pre presné odmeriavanie malých vzdialeností. Princíp merania spočíva v tom, že meraný lineárny pohyb je prevedený transformačným mechanizmom na rotačný pohyb ručičky indikátora. Existujú viaceré typy odchýlkomerov – s ozubeným, pákovým, pružinovým či kombinovaným prevodom. Tiež sa rozlišujú odchýlkomery s jednootáčkovým, viacotáčkovým či menej ako jednootáčkovým číselníkom.

V dnešnej dobe sa začali využívať aj digitálne odchýlkomery s číslíkovým displejom, no jednoduché verzie bez prídavných funkcií ako pamäť či indikátor ručičky na displeji nie sú plnohodnotnou náhradou klasického číselníkového odchýlkomera. Avšak pri moderných digitálnych odchýlkomeroch s prenosom dát do PC je možné i rýchle štatistické vyhodnocovanie množstva meraných dát, čo im dáva oproti čisto mechanickým odchýlkomerom značnú výhodu.

Keďže odchýlkomery vyvodlia len malý pohyb (obvyčajne pri stotínových odchýlkomeroch je to 10 až 30 mm), používajú sa najčastejšie na komparačné

meranie. Najbežnejšie je možné stretnúť sa s odchýlkomermi s najmenším dielikom rovným 0,01 mm, ale vyrábajú sa aj odchýlkomery s presnosťou 0,001 mm a aj presnejšie. Odchýlkomery s presnosťou 1 μm a menej majú štandardne menej než jednootáčkový číselník a pracovná dĺžka je väčšinou len niekoľko málo desiatok mikrometrov. Ako transformačný mechanizmus využívajú kombináciu ozubeného a pákového prevodu, prípadne veľmi presnú torznú pružinu, ktorou sa dá získať až nanometrické rozlíšenie. Dotyky odchýlkomerov sú vymeniteľné podľa požadovanej aplikácie. Tvar dotyku je zvyčajne vybraný tak, aby sa získal bodový kontakt s meranou súčiastkou [22].

| | |
|--|--|
| Typy: | digitálne, mechanické jednootáčkové, viacotáčkové, menej než jednootáčkové |
| Delenie: | posuvné, páčkové |
| Maximálna nepresnosť odchýlkomerov: | 0,01 mm; 0,001 mm; 0,0005 mm atď. - |



Obr.22 Rôzne typy odchýlkomerov .[22]

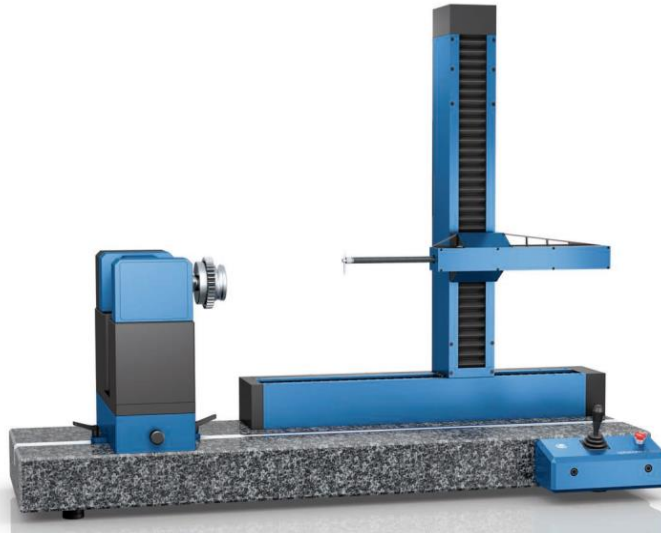
Klasickými meradlami bola zmeraná hriadeľ vo firme TOS Olomouc. Merací protokol s nameranými hodnotami vo forme tabuľky a so zoznamom použitých meradiel je súčasťou prílohy.

4.3 Meranie na meracích prístrojoch

4.3.1 Prístroje na meranie kontúry, drsnosti a kruhovitosti OPTACOM

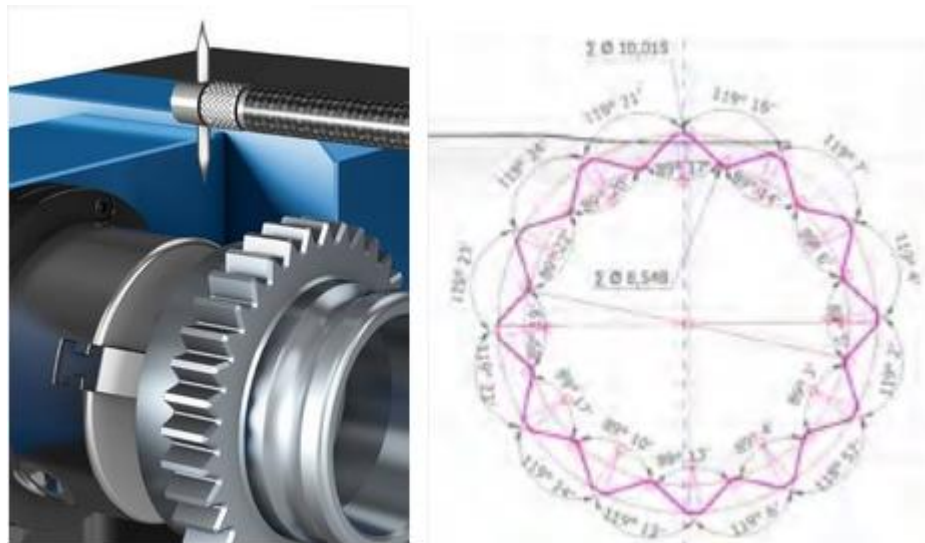
Meracie prístroje Optacom sú všestranným riešením pre rýchle a presné meranie. Umožňujú merať kontúru samostatne alebo súčasne v kombinácii s meraním drsnosti rovnako ako aj s rotačným meraním. Vďaka rotačne naklápajúcemu sa stolu je možné merať a vyhodnocovať kruhovitosť a iné odchýlky tvaru. Kontúra sa dá snímať v dvoch

smeroch: pozdĺžnom a priečnom. Prístroje majú potrebnú presnosť a pre obsluhu sú pomerne jednoduché. Optacom vyvinul softvérové algoritmy, ktoré analyzujú kontúru a automaticky vypočítajú hodnotu cut-off.



Obr.23 Prístroj OPTACOM VC-10 s rotačným naklápacím stolom.[23]

Merací prístroj Optacom VC-10 je vysoko presný prístroj, ktorý je možné rozšíriť o rotačne naklápací stôl. Jeho neistota merania je $(0,5 \pm L/100)\mu\text{m}$. Na hrote snímacieho dotyku má rozlíšenie 3nm v celom rozsahu merania. Je možné ho použiť aj pre rotačné merania a vyjadrovanie kruhovitosti alebo odchýliek tvaru.

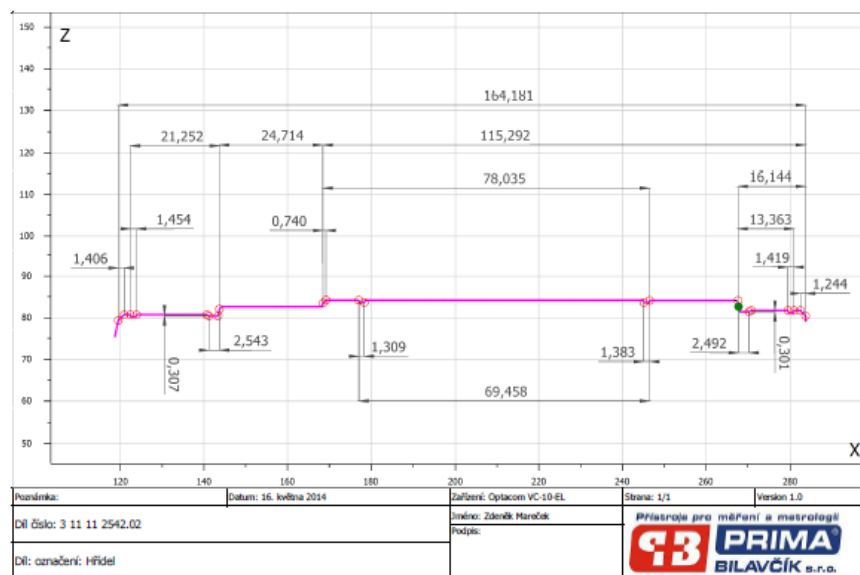


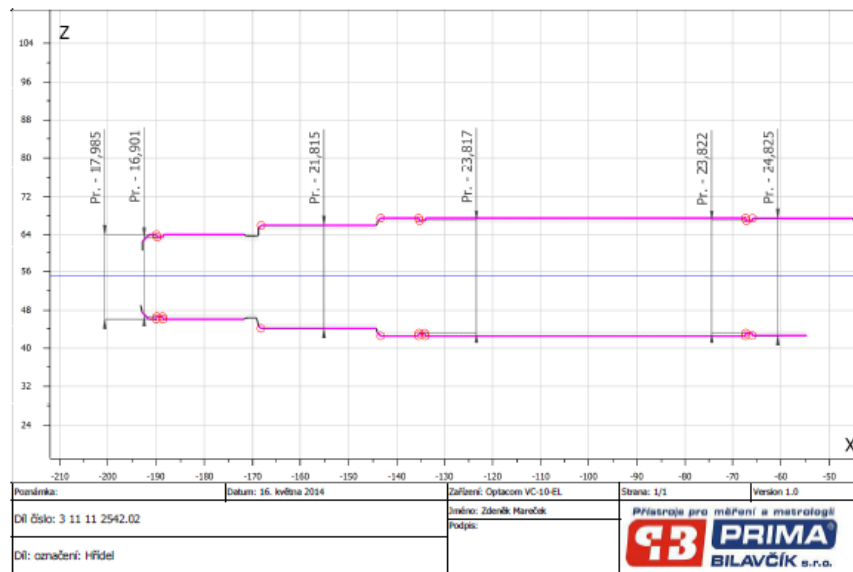
Obr.24 Rotačný naklápací stôl.[23]



Obr.25 Meranie hriadeľa na stroji OPTACOM VC-10-EL

Hriadeľ bol zmeraný na kontúrografe Optacom VC-10-EL. Meranie bolo uskutočnené dotykovou metódou – obojstranným snímacím dotyk. Vyhodnotenie prebehlo softvérom Optacom Suite 2. Merací protokol vo forme grafického výstupu a tabuľky je súčasťou prílohy.

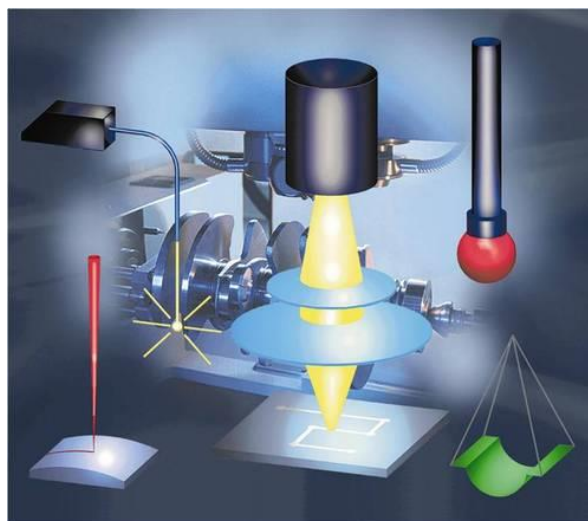




Obr.26 Meracie protokoly vo forme grafického výstupu.

4.3.2 Multisenzorové meracie stroje WERTH

Meracie systémy firmy Werth Messtechnik GmbH patria k svetovým predstaviteľom v oblasti multisenzorovej meracej technológie. Produkcia firmy sa rozšírila z klasických profil - a meracích projektorov štandardnej konštrukcie pre dvoj a troj-osé meranie na špičkovy zdokonalené až päť- osé súradnicové meracie zariadenia s niekoľkými senzormi, ako sú optika, otočná optika IP 40T, laser, plošný laser LLP, dotykový snímač, röntgenový snímač CT. Optimálne riešenie k rôznorodým objektom alebo analýzou požiadaviek je umožnené vyrobiť optimálne zariadenie vďaka modulárnemu designu prístrojov. Napríklad, keď optický snímač nedokáže merať vrtané otvory či iné neprístupné elementy, nastupuje na jeho miesto dotykové čidlo, laserový senzor alebo rotačná os.



Obr27. Multisenzorová výbava meracích prístrojov Werth.[23]

Ústredným rysom súradnicových meracích systémov Werth je senzor pre spracovanie obrazu. Prostredníctvom zákaznicky prispôbeného softwaru pre spracovanie obrazu, ktorý bol špecificky navrhnutý pre rozmerovú kontrolu, je plne automatické meranie komplikovaných dielov s extrémne nízko kontrastným povrchom vďaka obom typom horných osvitov ľahko dostupné. Možnosti využitia možno rozšíriť integráciou dotykového senzoru, laseru či mikrosondy. Motorické snímacie hlavy a meracie sondy vo voliteľných výmenníkoch dotyku zvyšujú úroveň flexibility a zabezpečia konfiguráciu špecifickým aplikáciám. Merací softvér WinWerth zabezpečuje účinnú a jednoduchú činnosť systému. Vyhodnocovací 3D-program WinWerth umožňuje vyhodnotenie všetkých geometrických charakteristík, vrátane odchýlky tvaru a polohy. Prvky sú vykreslené tak v okne grafiky ako aj numericky vo forme tabuľky alebo sú postupne radené do stromu prvkov so všetkými príslušnými vlastnosťami. Namerané hodnoty možno priamo po zmeraní zaslať do obrábacích strojov na ich korekciu [23].



Max. možná chyba:

$$E1=(0,75+L/500) \mu\text{m}$$

$$E2=(0,95+L/400) \mu\text{m}$$

$$E3=(1,5+L/300) \mu\text{m}$$

podľa noriem ISO 10360

resp. VDI/VDE 2617

Obr.28 Prístroj Wert-VideoCheck FB.[23]

Design:

Vysoko presný multisenzorový súradnicový merací stroj s pevným portálom, vzduchovými ložiskami a pohyblivým slotom.

Merací rozsah:

X=400-2000mm; Y=400-1350mm; Z=200-800mm

Dostupné senzory:

Werth video senzor pre spracovanie obrazu (IP), Werth 3D-Patch, Werth Laser senzor, kontaktný spínacie/skenovacie sondy, Werth Fiber Probe, Werth Contour Probe, atd.

Využitie:

Nástrojáreň a výroba komponentov pre automobilový priemysel (napr. vstrekovacie trysky, ventily, ozubená kolesá), elektro, plastové- či gumové komponenty alebo komponenty pre sklársky priemysel, atd.



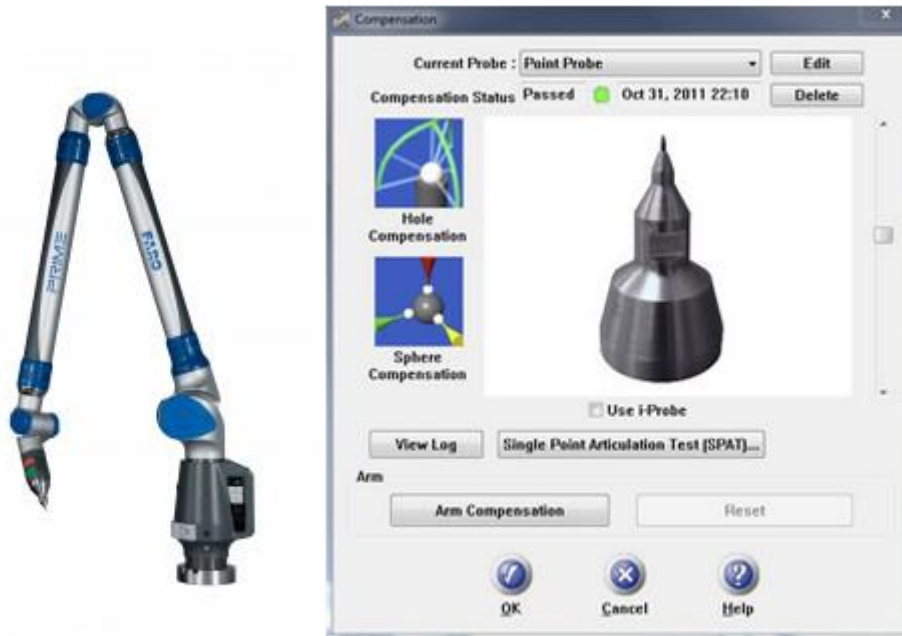
Obr.29 Meranie kontúrového kusu prístrojom Werth-VideoCheck IP 1250 - pohľad na merací stôl.

Kontúrový kus bol meraný na stroji Werth-VideoCheck IP 1250 s meracím rozsahom 1250x650x400 mm, kombináciou optiky a snímacieho dotyku (skenovacia sonda SP 600, softvér: WinWerth® verzia 732). Merací protokol je súčasťou prílohy.

4.3.3 Mobilné súradnicové systémy FARO

Najznámejšími výrobkami najväčšieho výrobcu mobilných súradnicových meracích strojov na svete spoločnosti FARO Technologies Inc., sú mobilné meracie stroje, známe ako meracie ramená FaroArm®. V súčasnej dobe sa vyrábajú v troch výrobných radách a v kombinácii s príslušným softwarom umožňujú rýchle a pohodlné meranie pomocou CAD dát, ale samozrejme i v prípade, keď počítačový model nie je k dispozícii. Novými radami meracích ramien Edge a Prime a sérií Fusion uvádza spoločnosť Faro na trh najvyspelejšie mobilné meracie ramená v histórii. Všetky meracie ramená sú okrem štandardnej USB komunikácie vybavené bezdrôtovým rozhraním Bluetooth, séria Edge disponuje rozhraním WiFi, Ethernet, slotom pre pamäťovú kartu a dotykovým displejom, ktorý je veľmi vhodný pre jednoduché meranie bez použitia počítača. Meracie ramená sú o 30 % ľahšie než konvenčné meracie ramená a majú zabudovanú batériu až pre 8 hodinovú prevádzku. Komfort práce s ramenom zvyšuje vstavané vnútorné vyvažovanie, neobmedzená, rotácia kĺbu a senzory preťaženia, ktoré zamedzujú v maximálnej miere vzniku chýb. Každý kĺb otočného ramena obsahuje rotačný snímač. Signály z každého kĺbu sú priebežne spracovávané a do počítača sú odosielané dáta, obsahujúce konkrétnu pozíciu zosnímaného bodu v 3D. Modelová rada Fusion je dostupná v šesťkĺbovom i sedemkĺbovom prevedení, ktoré je určené prevažne pre spoluprácu s bezdrôtovým

laserovým líniovým skenerom FARO Laser Line Probe V3. Sériu meracích ramien Prime je vyrábaná len v šesťkĺbovom prevedení. Sú veľmi vhodné pre presné kontaktné meranie za priaznivú cenu.



Obr.29 Mobilné meracie rameno Faro série Prime a výber meracieho dotyku.[23,24]

| FARO Edge Arm | | | | | | |
|-----------------------|--|----------|-----------------------|--------|---------------|-------|
| Model (merací rozsah) | Presnosť – opakovateľnosť merania jedného bodu v priestore | | Dĺžková presnosť (mm) | | Hmotnosť (kg) | |
| Počet osí | 7 | | 7 | | 7 | |
| Edge 6 (1,8m) | 0,024 mm | | ±0,034 | | 10,7 | |
| Edge 7 (2,7m) | 0,029 mm | | ±0,041 | | 10,9 | |
| Edge 12 (3,7m) | 0,064 mm | | ±0,091 | | 11,3 | |
| FARO Prime Arm | | | | | | |
| Model (merací rozsah) | Presnosť – opakovateľnosť merania jedného bodu v priestore | | Dĺžková presnosť (mm) | | Hmotnosť (kg) | |
| Počet osí | 6 | | 6 | | 6 | |
| Edge 4 (1,2m) | 0,016 mm | | ±0,023 | | 9,1 | |
| Edge 6 (1,8m) | 0,019 mm | | ±0,027 | | 9,3 | |
| Edge 8 (2,4m) | 0,024 mm | | ±0,034 | | 9,5 | |
| Edge 10 (3,0m) | 0,042 mm | | ±0,059 | | 9,75 | |
| Edge 12 (3,7m) | 0,060 mm | | ±0,085 | | 9,98 | |
| FARO Fusion Arm | | | | | | |
| Model (merací rozsah) | Presnosť – opakovateľnosť merania jedného bodu v priestore | | Dĺžková presnosť (mm) | | Hmotnosť (kg) | |
| Počet osí | 6 | 7 | 6 | 7 | 6 | 7 |
| Edge 6 (1,8m) | 0,036 mm | 0,046 mm | ±0,051 | ±0,064 | 9,3 | 9,5 |
| Edge 8 (2,4m) | 0,043 mm | 0,051 mm | ±0,061 | ±0,071 | 9,5 | 9,75 |
| Edge 10 (3,0m) | 0,074 mm | 0,089 mm | ±0,104 | ±0,124 | 9,75 | 9,98 |
| Edge 12 (3,7m) | 0,104 mm | 0,124 mm | ±0,147 | ±0,175 | 9,98 | 10,21 |

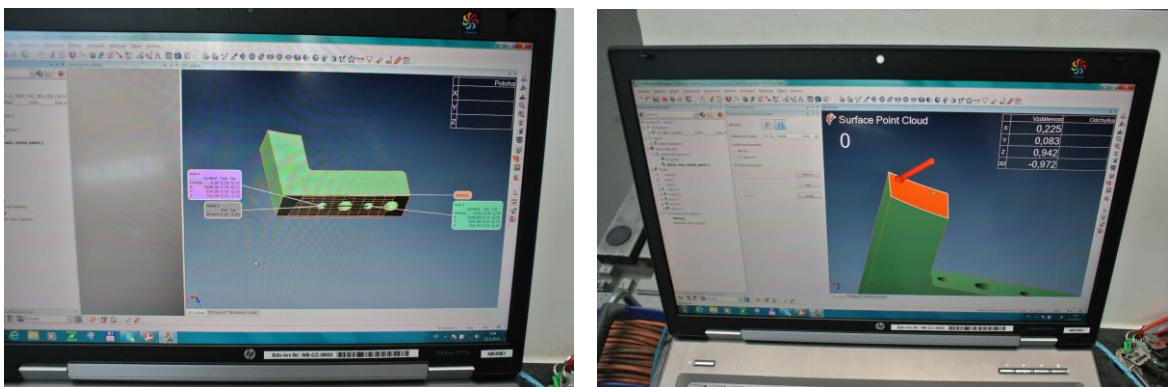
Tab.5 Modely a presnosti meracích ramien FARO.[23]

Ramená série Edge sú vždy sedemklbové s odnímateľnou rukoväťou. Možno ich vždy doplniť bezdrôtovým laserovým líniovým skenerom FARO Laser Line Probe V4 vyvinutým špeciálne pre túto radu. Celý systém potom nazývame FARO Edge Scan Arm (kombinácia merania pevným dotykom a skenovania). Systém je ideálny pre aplikácie vyžadujúce bezkontaktné merania, porovnanie s CAD dátami, 3D modelovanie. Zaručená je kompatibilita so softvérom Polyworks, Geomagic a FARO CAM2 Measure 10 [23,24] .



Obr.30 Meranie kontúry mobilným meracím ramenom FARO.

Kontúrový kus bol meraný meracím prístrojom FARO Prime 12, softvér FARO CAM2 Measure. Merací protokol je súčasťou prílohy.



Obr.31 Grafické vyhodnotenie snímania kontúrového kusu.

ZÁVER

Prvá časť bakalárskej práce (1.-3.kapitola) je venovaná pohľadu na postavenie, vývoj a súčasné trendy technického merania z teoretického hľadiska. Po preštudovaní príslušnej literatúry k danej téme by som túto problematiku zhrnul nasledovne : Meracia technika sa vždy vyvíjala v tesnom spojení s objektívnymi potrebami ľudskej spoločnosti. S jej rozvojom sa zdokonaľovala aj meracia technika. Požiadavky na kvalitu, spoľahlivosť a rýchlosť meracích procesov sa nepretržite zvyšovali a tento trend stále pretrváva..

V súčasnosti sa vynakladá veľké úsilie na to, aby sa meracia technika prispôbovala intenzívnejším technologickým procesom čo do presnosti, produktivity, spoľahlivosti a flexibility. Požiadavky na ňu vyplývajú z rozšírenia oblastí použitia ako aj z rozšírenia nových rádov a oblastí hodnôt meraných veličín. Tak ako pri výrobných, tak aj pri meracích procesoch prebieha trend od mechanizácie cez čiastočnú až po úplnú automatizáciu a v dnešnej dobe je možné automatizovať takmer všetky typy meraní. K existujúcim klasickým meracím prístrojom pribudli nové vysoko produktívne meracie a skúšobné počítače, ktoré samočinne vykonávajú za sebou nasledujúce meracie operácie. Ich výkonnosť závisí od zabudovanej programovej a riadiacej časti. Integrácia mikropočítačovej techniky do meracích prístrojov priniesla kvalitatívnu zmenu v meracej technike a poskytla nové možnosti na inštaláciu automatizovaných inteligentných meracích systémov vo výskume i výrobe.

Teória a prax meracej a automatizačnej techniky stále prechádzajú búrlivým kvalitatívnym i kvantitatívnym vývojom. Principiálne nové výrobky a ich technologické zvládnutie tento vývoj urýchľujú. Zdokonaľovanie meracej a automatizačnej techniky ovplyvňujú vynálezy z oblasti mikroelektroniky, optoelektroniky, bioniky ako aj vývoj v oblasti informačných technológií. Klasické prístupy používané v priemyselných podnikoch sú v súčasných podmienkach nedostatočné. Avšak vybudovať počítačom integrovaný systém v podniku je komplexná úloha, ktorá vyžaduje vyriešiť celý rad problémov a to nielen z oblasti meracej a automatizačnej techniky ale aj z oblasti komunikačných a informačných technológií.

Inžinierske práce obsahujú okrem rutinných aj tvorivé, intelektuálne a rozhodovacie činnosti, ktoré odrážajú zložité myšlienkové pochody ľudskeho mozgu. Ďalší posun môže priniesť vývoj v oblasti *umelej inteligencie, neurónových sietí a fuzzy logiky*, ktoré môžu sčasti simulovať a nahradiť náročné rozhodovacie a tvorivé činnosti človeka.

V druhej časti práce (4.kapitola) som mal na konkrétnom príklade dokumentovať nové prístupy k meraniu. Ako príklad som si vybral meranie dĺžky, keďže som mal možnosť merať na moderných súradnicových systémoch Optacom a Werth vo fy Prima Bilavčák, Uherský Brod a na optickom meracom prístroji Faro vo fy Valiant-TMS Czech, Olomouc. Meranie klasickými meradlami (posuvné meradlo, mikrometer, odchýlkomer) bolo realizované vo fy TOS Olomouc. Keďže ide o metódy stojace na opačných koncoch „vývojového reťazca“ meracích prístrojov rozdiely sú značné.

Automatizované meranie je vo všetkých ohľadoch progresívnejšie ako klasické meranie. Prináša komfort nielen do samotného meracieho procesu, ale aj do získavania, spracovania a vyhodnotenie nameraných hodnôt, keďže súčasťou meracích systémov je program, pomocou ktorého sú namerané dáta oveľa podrobnejšie analyzované, ľahko exportované a je tu možnosť aj spätne dohľadať prípadné nezrovnalosti. Automatizované meranie na

rozdiel od klasického umožňuje tiež aplikovať automatické korekcie k odstráneniu alebo obmedzeniu negatívneho pôsobenia vonkajších vplyvov na samotné meranie. Nevýhodou môžu byť vysoké obstarávacie náklady, časovo náročnejšia inštalácia a požiadavky na ďalšie vzdelávanie obsluhy. To sú aj dôvody, pre ktoré automatizované meracie systémy nevytlačili klasické meracie metódy. Takže aj napriek nesporným pozitívam, nie vždy musí byť automatizácia merania vhodnejšia. Hlavnú úlohu pri rozhodovaní hrá hlavne počet meraných kusov a požadovaná presnosť. Pri malom počte je zbytočné investovať finančné prostriedky do automatizácie merania. Napr. pri meraní dĺžky vyrábanej súčiastky v počte niekoľko desiatok kusov bude výhodnejšie a aj rýchlejšie merať klasickým dĺžkovým meradlom, najmä ak sa použije ich digitálne prevedenie s číslcovým displejom a prenos meraných dát priamo do počítača.

Pre väčšie podniky sa v súčasnosti automatizácia merania a zavedenie počítačom podporovaného systému stáva nutnosťou a nástrojom, ktorý môže výrazne zvýšiť konkurencieschopnosť podniku. Automatizované meracie systémy sú určené na podporu vo všetkých etapách výroby, od navrhovania súčiastky až po jej skladovanie a expedíciu. Umožňujú urýchliť a zjednodušiť tzv. inžinierske činnosti ako kreslenie, konštruovanie, dimenzovanie, projektovanie, archiváciu, vyhľadávanie, reprodukovanie a pod. Často sa pohľad na tieto systémy zjednodušuje a mnohí si ich predstavujú len vo forme samostatne pracujúceho počítača s príslušným softvérom, pričom výstup je redukovaný na namodelovanú súčiastku na monitore počítača. Na to aby automatizovaný merací systém znamenal pre podnik ekonomický prínos, je potrebné pred jeho zavedením uskutočniť celý rad analýz, aby bol vhodný pre konkrétne podmienky a existujúce systémy v podniku.

Literatúra

- [1] CHUDÝ, Vladimír; Palenčár, Rudolf; Kureková, Eva; Halaj, Martin. *Meranie technických veličín*. 1. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 1999.7-13s., 563-611s. ISBN 80-227-1275-2.
- [2] HOFMANN, Dietrich. *Priemyselná meracia technika*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1988. 24, 111, 217-8, 342-373, 530, 536-7s. ISBN 80-05-00139-8.
- [3] PETŘKOVSKÁ, Lenka; Čepová, Lenka. *Strojirenská metrologie* [online]. 1.vyd. Ostrava, FS VŠB-TU, 2011, 9.s. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: <<http://www.346.vsb.cz/Petrkovska,%20Cepova%20-%20strojirenska%20metrologie.pdf>>.
- [4] STROJVUS, Marek. *Návrh merania s využitím programu Labview*. Žilina, 2006. 2 s., 15 s. Diplomová práca na Elektrotechnickej fakulte Žilinskej univerzity na Katedre výkonových elektrotechnických systémov. Vedúci diplomovej práce Doc. Ing. Jiří Drábek, PhD.
- [5] BELAVÝ, Cyril. *Základy automatizácie a merania*. 1. vyd. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2012.12s.,14s.,108 s. ISBN 978-80-227-3839-2.
- [6] VDOLEČEK, František. Měřicí technika v automatizaci. *Automa* [online]. 2003, č.12 [cit. 2014-04-08].Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=29005.
- [7] KUČERA, S. LabVIEW . *Učebná príručka* [online]. 2010[cit.2014-03-22].Dostupné z: <<http://www.spspp.sk/userfiles/file/ELE%20-%20modernizacia%20učebných%20procesov/labview.doc>>.
- [8] MOJŽIŠ, Miroslav. *Číslicové meranie*.1.vyd. Košice: TUKE, 2010, 7-10 s. ISBN 978-80-553-0436-6.
- [9] JENČÍK, Jozef; Volf; Jaromír a kol. *Technická měření*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. 9-10 s. ISBN 80-01-02138-6.
- [10] PECHOUŠEK, Jiří. *Virtuální instrumentace: moderní způsob měření* [online]. Únor 2010 [cit. 2014-04-11]. Dostupné z: <<http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/rcptm/vi.pdf>>.
- [11] Číslicové meracie systémy [online]. 2007, 31.10.2007 [cit.2014-04-19] Dostupné z: <<http://www.n18.eu/skola/MMS/prednasky/6%5B1%5D.MMS2.ppt>>.
- [12] JAKSCH, Ivan. Číslicové měřicí systémy [online]. Liberec, 2010 [cit 2014-04-22]. Dostupné z: http://www.rss.tul.cz/download/cms/01_charakteristiky_mersys_ESF.pdf.

- [13] ŠTETINA, Jozef; Jaroš, Michal; Ramík, Pavel. *Virtuální laboratoř-Experimentální metody. Měřicí systémy* [online]. Brno: FS-VUT, 2003 [cit.2014-03-22]. Dostupné z: <<http://fme.vutbr.cz/skripta/vlab/daq/>> .
- [14] ŠVARC, Ivan. *Základy automatizace* [online].FS-VUT Brno, říjen 2002,6.s. [cit.2014-05-01]. Dostupné z : < <http://autnt.fme.vutbr.cz/svarc/ZakladyAutomatizace.pdf>>
- [15] Software LABVIEW. *Cetoni.Automation and micro systems*. [online] 2014 [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: < <http://www.cetoni.de/development/software/labview.html>>
- [16] Senzory v automatických a mechatronických sústavách. *Referaty.sk-mechatronik* [online]2014[cit.2014-04-12]10-11s. Dostupné z: <<http://referaty.atlas.sk/praktickepomocky/tahaky/55903/?print=1>>.
- [17] ŠALIGA, Ján. *Inteligentné meracie systémy* [online]. 2012 [cit.2014-04-19]. Dostupné z:<http://www.kemtold.feit.tuke.sk/Predmety/KEMT435_ACR/_materialy/Prednasky/Inteligentne%20meracie%20systemy%20uvody.pdf>.
- [18] Virtuálne meracie systémy [online]. [cit.2014-04-21] Dostupné z: <<https://www.zlw-ima.rwth-aachen.de/micro/htm/download/DownloadKosice/12sk.pdf>>.
- [19] SROVNAL, Vilém. Bezdrôtové technológie - nová éra prenosu dát? *AT&PJournal* [online].2007, č.1 [cit 2014-04-20]. Dostupné z: <<http://www.atpjournal.sk/buxus/docs/atp-2007-1-04.pdf>>.
- [20] <http://www.mahr.com/en/Products/Metrology/By-Mahr-Product-Group/MarConnect/Product-overview/Integrated-Wireless/?ContentID=15495>. Version 2014/01. [cit. 2014-05-24].
- [21] <http://www.trestik.cz/sk/automatizovany-sber-dat-z-meridel-a-pristroju-na-portu-rs232-do-ms-excel>.rs232-do-ms-excel.2011. [cit. 2014-05-10].
- [22] Laboratórium strojárskej metrológie.*Portál strojárskej metrológie* [online]. [cit. 2014-05-10].Dostupné z: < <http://web.tuke.sk/smetrologia/index.html>>.
- [23] Prima Bilavčík. Katalogy [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <<http://www.merici-pristroje.cz/download/>>.
- [24] KENDER, Štefan; Dúbravčík, Michal. *Využívanie meracích zariadení v strojárstve. Transfer inovácii* [online]. 21/2011 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <<http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/21-2011/pdf/216-220.pdf>>.

Zoznam príloh

| | | |
|-------------|--|----|
| Príloha č.1 | Výkres hriadeľa (H)..... | P1 |
| Príloha č.2 | Merací protokol (H) - tabuľka, klasické meranie | P2 |
| Príloha č.3 | Merací protokol (H , dĺžky) - tabuľka, Werth | P3 |
| Príloha č.4 | Merací protokol (H, priemery) - tabuľka, Werth..... | P4 |
| Príloha č.5 | Merací protokol (H, dĺžky) - grafický výstup, Optacom..... | P5 |
| Príloha č.6 | Merací protokol (H, priemery) - grafický výstup, Optacom | P6 |
| Príloha č.7 | Výkres kontúrový kus (K) | P7 |
| Príloha č.8 | Merací protokol (K) - grafický výstup, Werth | P8 |
| Príloha č.9 | Merací protokol (K) - grafický výstup, Faro | P9 |