



# OSOBNÝ POČÍTAČ AKO SÚRADNICOVÝ ZAPISOVAČ PERSONAL COMPUTER LIKE A COORDINATE WRITER

JURAJ VEREŠ – BOHUMÍR BRACHTÝR – VLADIMÍR CVIKLOVIČ

---

## Abstract

This contribution is oriented for construction of measuring device, which measure and display functional physical dependency. The measuring of physical dependency give us chance better understand their fundamentals, causality, mutual relations and post application achieved knowledge to practice. By the fast, accurate measurements we can reduce some kinds of environment influence as a result is better credibility and quality of measure, too.

**Key words:** measuring device, function dependency, charts

---

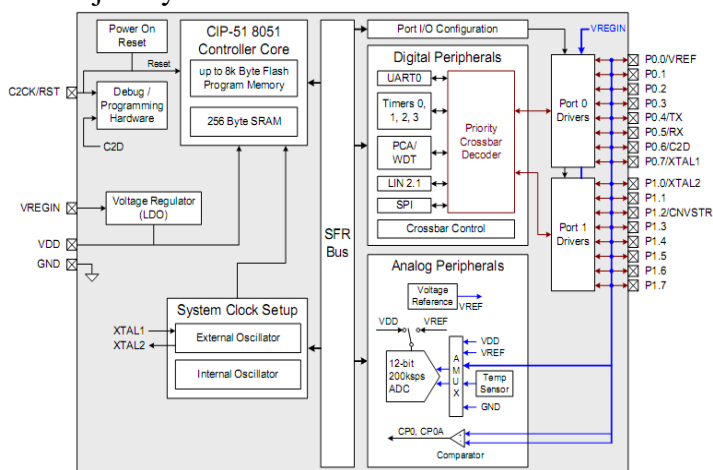
## Úvod

V elektrotechnike sa často vyskytuje potreba merania rôznych závislostí. Typickým príkladom je napríklad voltampérová charakteristika. Výsledkom takéhoto merania potom zvyčajne je grafické znázornenie závislosti. V minulosti sa na priame vykresľovanie používal mechanický systém nazývaný aj ako súradnicový zapisovač. No dnes už je zastaraný, preto som sa vo svojej diplomovej práci zaoberal zostavením zariadenia, ktorého cieľom je na základe nameraných hodnôt, či už napätia alebo prúdu, zostaviť graf. Meracie zariadenie pritom musí byť dostatočne presné a grafické znázornenie musí byť prehľadné.

## Materiál a metódy

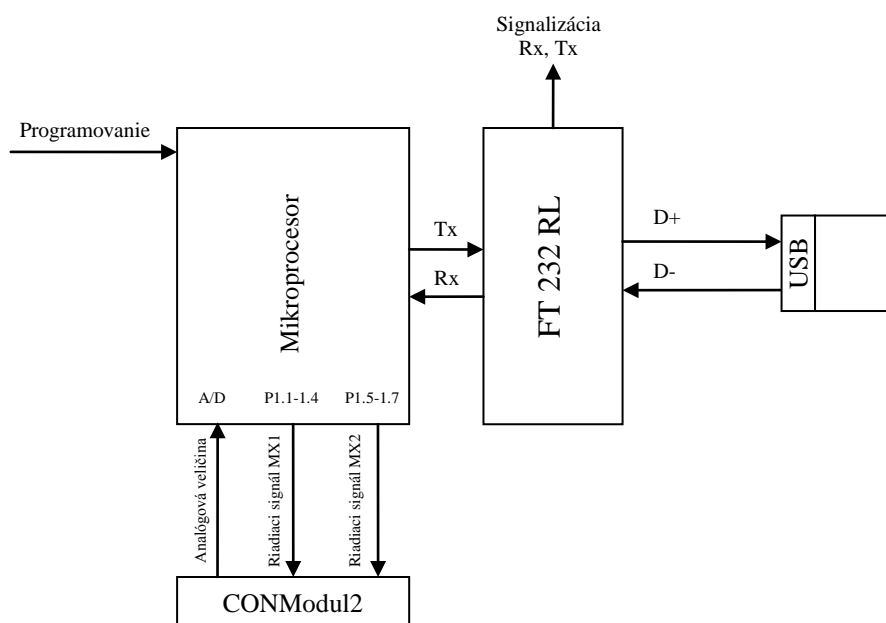
Na meranie priebehov fyzikálnych veličín sa používajú rôzne snímače. Nasnímaný priebeh fyzikálnej veličiny má na výstupe snímača formu digitálneho alebo analógového signálu. Väčšina snímačov má však analógový výstup, kde funkciou zmeny fyzikálnej veličiny na vstupe snímača je zmena elektrickej veličiny na jeho výstupe. Meranie analógových veličín sa v dnešnej dobe robí zväčša pomocou A/D prevodníkov a to predovšetkým vtedy, ak sú namerané hodnoty určené na ďalšie spracovanie. Konštrukcia meracieho zariadenia je z praktického hľadiska rozdelená na 2 časti – Modul1 a Modul2. Každý z modulov je vyhotovený na vlastnom plošnom spoji, s vlastným prívodom a stabilizáciou napätia. Oba moduly sú navzájom prepojené cez konektor CONModul2. Ústrednú časť Modulu 1 tvorí mikroprocesor od spoločnosti Silicon Laboratories, konkrétne model C8051F530A. Ten umožňuje nielen meranie prostredníctvom integrovaného prevodníka, ale zároveň umožňuje komunikáciu s počítačom. Pre tento model je charakteristický 12 bitový sigma delta A/D prevodník. Vďaka integrovanému multiplexoru môže byť vstup A/D prevodníka pripojený na ktorýkoľvek zo 16 vývodov, okrem iného aj na integrovaný teplotný senzor. Mikroprocesor ďalej obsahuje vlastný zdroj referenčného napätia

1,5 alebo 2,2V. Tento model mikroprocesora dokáže komunikovať s počítačom prostredníctvom UART – sériovej linky RS232. Dnes však toto rozhranie stráca na popularite, aj keď v priemysle sa často používa spolu s rôznymi modifikáciami. Z tohto dôvodu bol na Modul1 umiestnený integrovaný obvod FT232RL. Jeho úlohou je „prekonvertovať“ rozhranie sériovej linky na oveľa modernejšie rozhranie USB. Vďaka tomu sú odstránené problémy s konektivitou predovšetkým u moderných notebookov, ktorých väčšina nemá konektor sériovej linky.



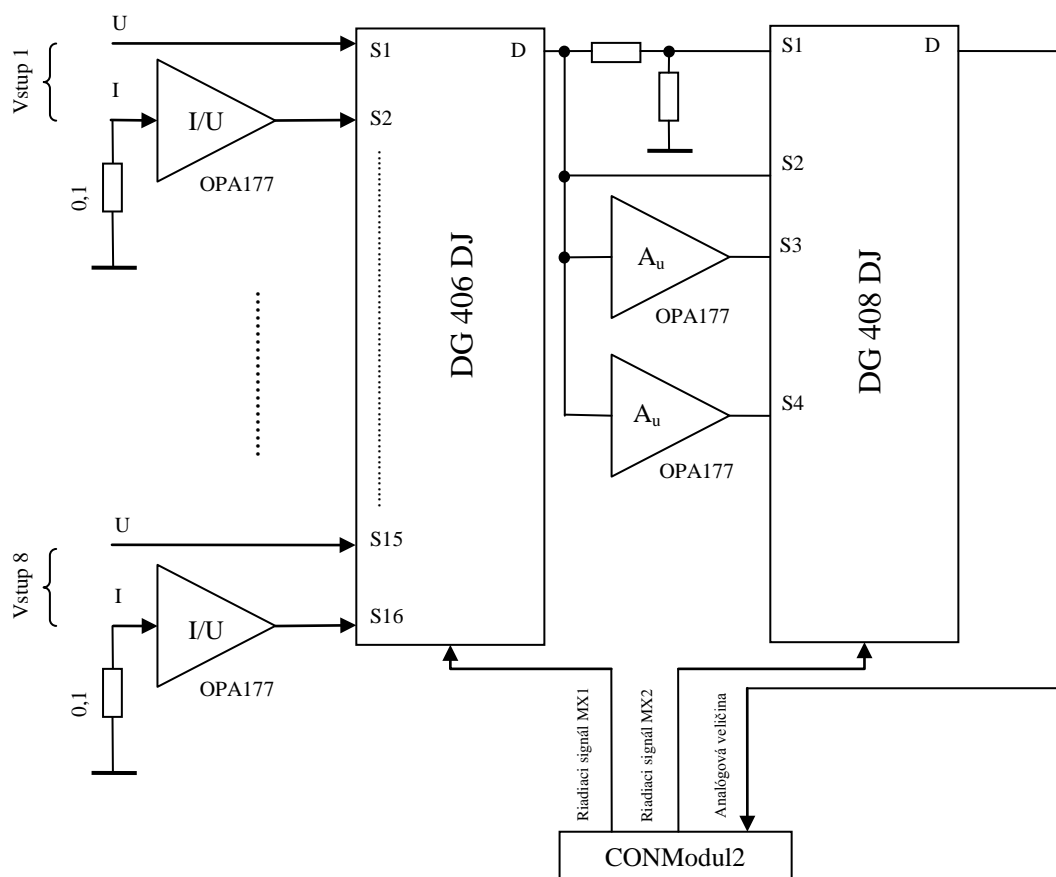
Obr. 1 Bloková schéma použitého mikroprocesora

Avšak samotný integrovaný obvod nedokáže vyriešiť softvérové náležitosti komunikácie prostredníctvom USB, preto výrobca na svojich stránkach umiestnil ovládač, ktorého inštalácia je potrebná z hľadiska funkčnosti komunikácie. Stiahnutý ovládač vytvorí v počítači virtuálny sériový port, ktorý umožní softvérovú komunikáciu so zariadením prostredníctvom komunikačného štandardu RS232 aj keď fyzicky ide o port USB.



Obr. 2 Bloková schéma Modulu 1

Ústrednými časťami Modulu2 sú dva analógové multiplexory. Účelom prvého z nich – DG406DJ je prepínanie medzi jednotlivými vstupmi meracieho zariadenia, tak napät'ovými ako aj prúdovými. Tento multiplexor má 16 vstupov, no my sme využili iba 8 z nich. Ďalším v poradí je analógový multiplexor DG408DJ. Jeho úlohou je zmena meracieho rozsahu zariadenia. Aby zariadenie dokázalo pomerne presne (vzhľadom na šum) merať aj veľmi malé vstupné napät'ové signály (snímače) boli do obvodu pridané dva precízne operačné zosilňovače OPA177. Ich zosilnenie je variabilné, nastaviteľné viacotáčkovým potenciometrom podľa požiadaviek používateľa. Ďalšou výhodou operačných zosilňovačov je manuálna kompenzácia offsetu. Vzhľadom na to, že zariadenie má merať prúd, súčasťou zapojenia sa stali aj prevodníky I/U. Sú tvorené opäť operačnými zosilňovačmi OPA177 v neinvertujúcom zapojení. Vstup každého z nich je pripojený na drôtový rezistor s hodnotou  $0,1 \Omega$ , na ktorom prechodom prúdu vzniká úbytok napätia maximálne  $100\text{mV}$ , pri zohľadnení maximálnych vstupných parametrov meracieho zariadenia. Zosilňovače majú opäť nastaviteľné zosilnenie a nastaviteľný offset, aby bola umožnená kompenzácia nepresnosti drôtových rezistorov. Napájanie všetkých spomenutých častí obvodu musí byť symetrické, preto sa v napájacej časti nachádza DC/DC menič z  $5\text{V}$  na  $\pm 15\text{V}$ .

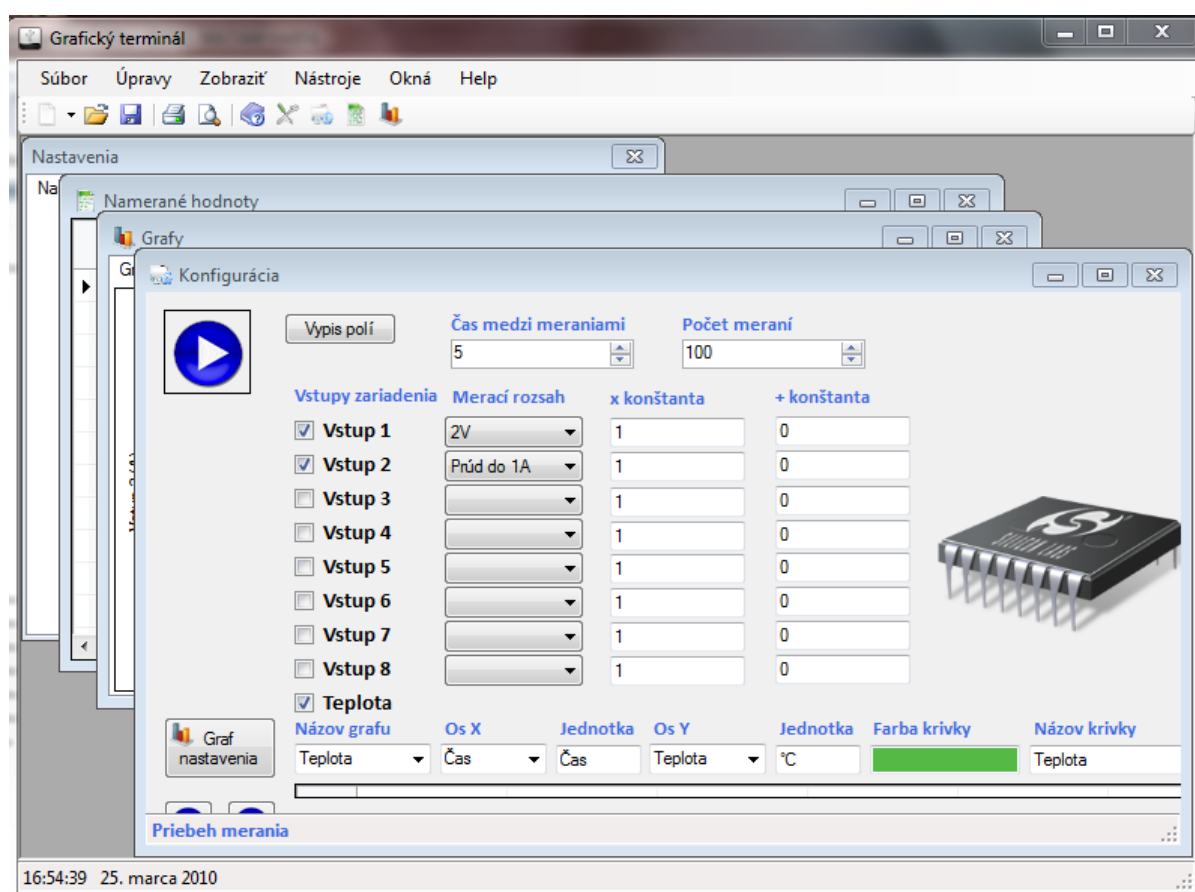


Obr. 3 Bloková schéma Modulu 2

Hardvérová časť meracieho zariadenia neobsahuje žiadnu grafickú zobrazovaciu jednotku. Na tento účel bol preto navrhnutý počítačový softvér. Bol objektovo naprogramovaný v programovacom jazyku C# v prostredí Microsoft Visual Studio. V podstate sa jedná o MDI aplikáciu s jedným dominantným formulárom, v ktorom sa uskutočňujú všetky nastavenia priebehu merania i samotná komunikácia s meracím

zariadením za účelom zberu a vyhodnocovania nameraných údajov. Veľký dôraz sa kládol predovšetkým na univerzálnosť a vytvorenie „user friendly“ prostredia. Základné funkcie programu možno zhrnúť do niekoľkých nasledujúcich bodov:

- Automatické vyhľadanie sériového portu, na ktorý je pripojené meracie zariadenie
- Nastavenie korekcie pre každý merací rozsah a pre každý vstup zvlášť
- Nastavenia priebehu merania (čas medzi jednotlivými meraniami, počet meraní, výber jednotlivých vstupov, nastavenie meracích rozsahov, ...)
- Funkcia „x konštanta“ a „+ konštanta“, ktoré umožnia užívateľovi prípadné korekcie nameraných hodnôt
- Nastavenia tvorby grafu (jednotky oboch osí, farba priebehu, popis, hodnoty osí, ...)
- Prehľadné zobrazenie nameraných hodnôt v tabuľke a ich následný export do viacerých formátov súborov
- Funkcia „Rýchle grafy“ – zobrazenie časového priebehu jednotlivých nameraných hodnôt konkrétneho vstupu meracieho zariadenia
- Základné nástroje práce s grafmi („zoom“, zobrazenie hodnoty jednotlivých bodov, ...)
- Export výsledného grafu do niektorého z obrázkových formátov

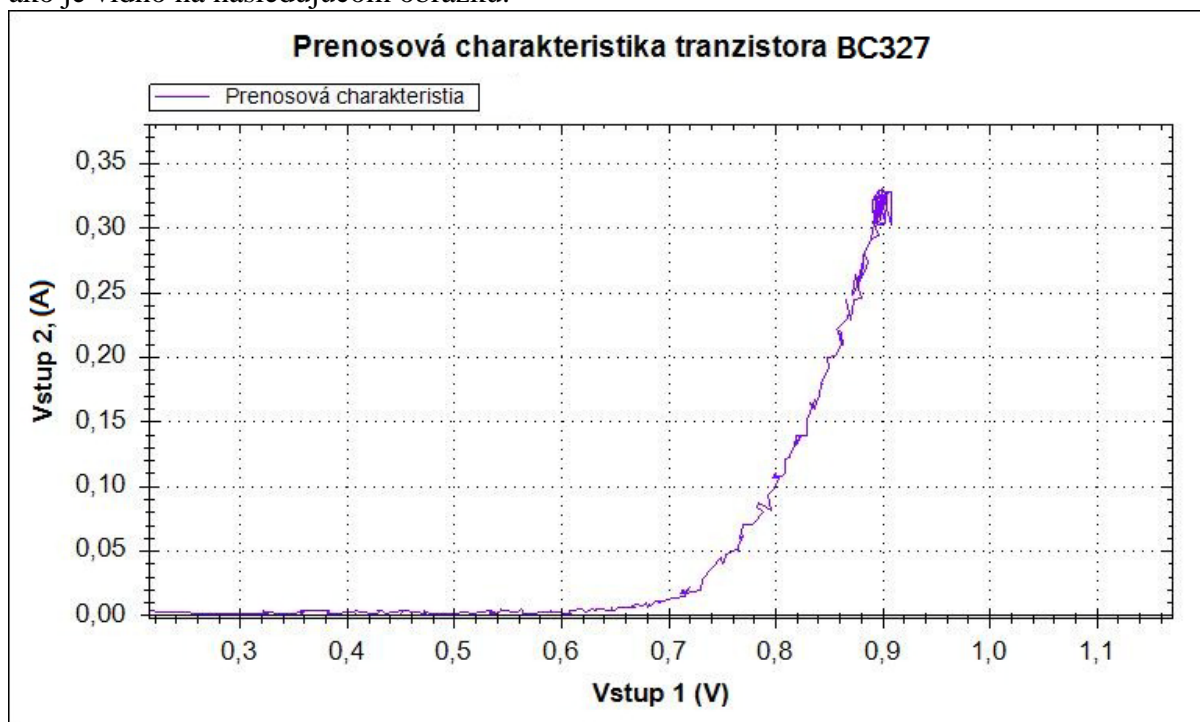


Obr. 4 Náhľad do prostredia programu

## Výsledky a diskusia

Rozlišovacia schopnosť mikroprocesora je približne 600  $\mu\text{V}$ . Je pomerom referenčného napätia a počtu bitov prevodníka. Overenie tohto tvrdenia je v praxi možné len

za určitých špecifických podmienok vzhľadom na všade prítomné rušenie. Kvôli rušeniu, ktoré je závislé na prostredí v ktorom prebieha meranie taktiež vznikajú veľké nepresnosti, ako je vidno na nasledujúcom obrázku.



Obr. 5 Nepresnosti v meraní spôsobené rušením

Na obrázku sa nachádza zjavné deformovanie krivky vplyvom rušenia (krivka exponenciálneho priebehu), kde merané napätie kmitalo v rozmedzí  $\pm 20$  mV. Z toho vyplýva, že veľkú pozornosť treba venovať predovšetkým privádzajúcim vodičom a filtrácii napájacieho napätia. Samozrejme ani to nepomôže v prípade rušeného zdroja, ktorým je napájaný meraný obvod. Svoju časť rušenia produkujú aj samotné obvody, predovšetkým multiplexory. Operačné zosilňovače sú precízne, takže rušenie spôsobené šumom by malo byť minimálne, rovnako nesmieme zabudnúť na kvantizačný šum samotného A/D prevodníka. Tieto parametre však výrobca neudáva. Ďalšou chybou, ktorá sa vyskytuje počas samotného merania je nielen samotná strata údajov vplyvom chyby počas prenosu, ale výrobca udáva, že integrovaný sigma delta A/D prevodník produkuje chybu  $\pm 1$  LSB INL. S tým treba počítať, pretože to nie je nič výnimočné. Problémom však je, že tieto chyby sú merateľné len veľmi ťažko. Preto krivka, ktorá je zobrazená na predchádzajúcom obrázku nikdy nebude mať krásny čistý exponenciálny tvar, bez rôznych prekmitov a zvlnení. Určitým riešením, ktoré sa ponúka v tejto situácii je zaradenie integračného členu na analógový vstup mikroprocesora. Ak vezmeme do úvahy prechodové odpory jednotlivých multiplexorov, ktoré majú pri napájaní  $\pm 15$ V prechodový odpor  $100\Omega \pm 5\%$ , do obvodu potom stačí zapojiť kondenzátor o určitej kapacite. My sme použili keramický kondenzátor s kapacitou 100 nF. Toto riešenie pomohlo odstrániť väčšinu rušenia a pritom obvod zostal dostatočne citlivý na rýchle zmeny napätia. To však zo sebou prinieslo ďalší problém a to, že na nezaťaženom vstupe A/D prevodníka umelo stúpne napätie na hodnotu referenčného napätia. Tento problém bol odstránený premostením vstupu A/D prevodníka zaťažovacím rezistorom  $1k\Omega \pm 5\%$ . Po úspešnom vyriešení hardvérovej časti zostáva otázkou samotná dynamika merania. Túto časť najviac ovplyvňuje softvér. Po mnohých optimalizáciách celého programu sme sa dokázali dostať na vzorkovaciu frekvenciu 40 Hz pre paralelné meranie na dvoch vstupoch. Riadiaci

počítač dokáže vyslať príkaz na meranie každú 1 ms, čo je dané použitou komponentou pri návrhu softvéru. Celý problém spočíva v samotnom výpočte nameranej hodnoty a kontrole prijatých údajov. Pri meraní jedného vstupu sa vzorkovacia frekvencia zvýšila až na 100 Hz.

## Záver

Z doposiaľ prevedených meraní sa dá jednoznačne povedať, že kvalita a teda i percentuálna chyba celého merania sú závislé na vplyvoch okolitého prostredia a použitých prostriedkoch. Preto treba veľkú pozornosť venovať predovšetkým príprave samotného merania, aby výsledky merania boli čo najpresnejšie. Aj keď vplyvy prostredia budú dostatočne eliminované, netreba zabúdať na spomenuté chyby, ktoré sa vyskytujú počas merania a ktoré sú dané konštrukciou samotného zariadenia. Tieto faktory spôsobujú skreslenie a zašumenie grafického priebehu. To však nepredstavuje problém, pretože namerané údaje sa dajú vyexportovať do Excelu, kde je možné po patričných úpravách dosiahnuť naozaj uspokojujúcich grafických priebehov. Vzorkovacia frekvencia 40Hz pri paralelnom meraní na dvoch vstupoch nie je príliš veľká, ale vďaka nej je čiastočne eliminovaný vplyv teploty na meranie. Otvorenou možnosťou zostáva aj použitie iného mikroprocesora s integrovanými D/A prevodníkmi. Ich použitím a po pridaní ďalšej hardvérovej časti by meranie prebehlo automaticky. Tým sa minimalizuje riziko ľudskej chyby a určite zlepši presnosť (v zmysle bodov meranej charakteristiky, v ktorých dochádza jej výrazným alebo náhlym zmenám) i linearita merania.

Význam konštrukcie meracieho zariadenia spočíva v tom, že komerčne na trhu nie je dostupné meracie zariadenie, ktoré je univerzálne určené na meranie vzájomných závislostí fyzikálnych veličín. Ďalšia prednosť konštrukcie spočíva v samotnej rýchlosti merania, vďaka čomu je minimalizovaný vplyv teploty na merané zapojenie. Aj tento faktor podnietil vznik zariadenia. Hoci celej konštrukcii treba venovať ešte ďalšiu pozornosť z hľadiska lepšej filtrácie šumu a rušení, čo predstavuje riešiteľný problém. Stanovený cieľ práce bol bez väčších problémov úspešne dosiahnutý.

## Súhrn

Príspevok je orientovaný na konštrukciu meracieho zariadenia, ktoré meria a zobrazovanie funkčných fyzikálnych závislostí. Meranie závislostí nám umožňuje lepšie pochopenie ich podstaty, súvislostí, vzájomných vzťahov a následnú aplikáciu získaných poznatkov do praxe. Pomocou rýchlych, presných meraní môžeme obmedziť niektoré vplyvy prostredia, výsledkom toho je lepšia vierohodnosť a tiež kvalita merania.

**Kľúčové slová:** meracie zariadenie, funkčná závislosť, grafy

*Tento príspevok vznikol vďaka odborným konzultáciám, ktoré mi poskytli  
Ing. Vladimír Cviklovič a Ing. Bohumír Brachtýr.*