

# System pro vývoj a testování tištěných senzorů

Karel Šíma

Katedra technologií a měření  
Fakulta elektrotechnická  
Západočeská univerzita v Plzni  
karels@ket.zcu.cz

## System for Development and Testing of the Printed Sensors

**Abstract – The paper focuses on the design and the realization of the testing system for printed sensors. In the first part of this paper describes the requirements to the system. The second part of this paper informs about the hardware of the testing unit. And the third part contains information about parts of the whole system and interconnection between parts: Android application, web application, and hardware of testing unit.**

*Keywords – Android; NFC/RFID; Printed sensors; Testing; Testing system.*

### I. ÚVOD

Současnou dobu lze označit jako počáteční milník čtvrté průmyslové revoluce nazývané Průmysl 4.0. Hlavní vizí Průmyslu 4.0 je především vysoká automatizace v oblasti výroby, která bude realizována pokročilými kyberfyzikálními systémy. Tyto systémy zajistí vysokou kvalitu a rychlost veškerých výrobních procesů. Dále tento trend razantně sníží chybovost ve výrobě. Z tohoto důvodu společnosti, budou také sledovat další procesy, u kterých implementace moderních technologií bude snižovat celkové náklady. [1]

Ve vizí Průmyslu 4.0 jsou logistické procesy v důležitosti hned za výrobou. Jelikož výrobky budou vysoce kvalitní, rychle vyrobené a také se bude snižovat míra chybné výroby. Ztráty v oblasti výroby tedy budou minimální. Ztráty ale stále můžeme očekávat v logistickém řetězci výrobce – dodavatel – zákazník. Ztráty v tomto řetězci jsou způsobeny nejčastěji špatnými podmínkami v průběhu jednotlivých logistických procesů. Mnohá odvětví totiž vyžadují specifické podmínky během těchto procesů. Příkladem může být konstantní teplota, vlhkost, přítomnost inertní atmosféry nebo zatemnění během transportu. Pro sledování podobných parametrů se jeví jako velmi vhodná tištěná flexibilní elektronika. Jedná se o elektroniku, která je vysoce flexibilní a tvorba tištěných plošných spojů má velmi nízké náklady. Z těchto důvodů se flexibilní tištěná elektrotechnika začíná objevovat v oblasti tzv. „chytrých obalů“. [1]

Zjednodušeně lze chytré obaly charakterizovat jako obalový materiál, který je schopen podat informaci o tom zda byly dodrženy přepravní podmínky. Konvenční flexibilní elektronika je pro masovou aplikaci v oblasti obalových materiálů příliš drahá. Cenově přijatelnějším řešením je právě tištěná flexibilní elektronika, která může být osazována i konvenčními integrovanými obvody a součástkami. Konvenční součástky, ale mohou omezovat flexibilitu celého systému. Také mají vysoké nároky na parametry kontaktování. Jako hlavní vizí oblasti flexibilní tištěné elektroniky lze považovat kompletně tištěný flexibilní senzorický systém, tato vize je ale velmi vzdálená.

Současnou vizí (dle technologických možností) je transformace co nejvíce elementů do tištěné podoby. Nejvíce zvládnutá je oblast tvorby vodivých motivů vodivými tiskařskými inkousty a pastami. Další perspektivní oblastí tištěné flexibilní elektroniky se stává oblast tištěné flexibilní sensoriky. Tato oblast je sice mladá ale lze pozorovat velmi dynamický se rozvoj. Z tohoto důvodu, je cílem této práce, návrh a realizace systému pro sběr dat, které budou sloužit k optimalizaci a dalšímu vývoji tištěných senzorů. [1]

## II. POŽADAVKY NA SYSTÉM

Systém jako celek, má v první fázi umožňovat pohodlné testování tištěných senzorů teploty a vlhkosti. Testování bude probíhat jak v laboratorně řízeném prostředí tak i v podmínkách reálného prostředí. V další fázi by se mělo jednat o možnost připojení senzorů citlivých na plynné látky. Testovací jednotka tedy musí nabízet určitou variabilitu.

Jelikož se jedná o vývoj a výzkum sensorických elementů uplatnitelných v oblasti obalových materiálů, byl kladen důraz na možnost bateriového provozu testovacích jednotek se senzory. Bateriové napájení usnadní především testování v podmínkách reálného prostředí. Dále byla požadována přítomnost referenčního měřicího prvku pro teplotu a relativní vlhkost. Referenční prvek pro tyto veličiny totiž umožní ověření výsledků měření tištěných senzorů během testování v reálném prostředí.

Z důvodu plánovaného testování mimo laboratoř (v reálných podmínkách), byl vznešen požadavek na přítomnost některé moderní bezdrátové technologie a možnost ovládání systému za pomoci chytrého mobilního telefonu.

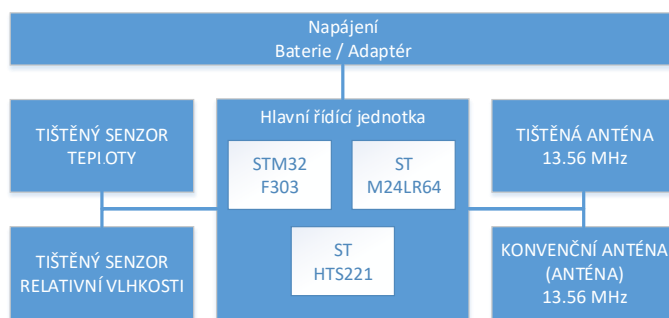
## III. NÁVRH HARDWAROVÉ ČÁSTI SYSTÉMU

Pro systém byl zvolen mikrokontrolér od společnosti ST, konkrétně se jedná o STM32 F303. Tento mikrokontrolér má vyvážené vybavení a zároveň i nízkou spotřebu a především disponuje sedmi komparátory. Tyto komparátory jsou pro podobný systém důležité, jelikož se využívají pro měření impedance elektrochemických tištěných senzorů. Dalším kladem tohoto mikrokontroléru jsou velmi úsporné režimy provozu, což je důležité pro bateriový provoz.

Pro systémovou referenci teploty a relativní vlhkosti byl hledán vhodný integrovaný sensorický systém. Jako tento referenční prvek byl zvolen sensorický obvod od společnosti ST HTS221. Přesnost tohoto senzoru pro měření teploty je  $\pm 0.5$  °C, v rozmezí od +15 do +40 °C a pro měření relativní vlhkosti  $\pm 3.5\%$  rH, 20 to +80% rH. Tyto parametry byly shledány jako dostačující pro plánované využití.

Pro bezdrátovou komunikaci byla kvůli energetické nenáročnosti zvolena technologie NFC/RFID dle ISO/EIC 15693. Tato technologie je podporovaná mnohými chytrými mobilními telefony s operačním systémem Android. To umožňuje vytvořit systém, který bude konfigurovatelný chytrým mobilním telefonem. Pro tuto funkcionalitu byl vybrán obvod ST M24LR. Jedná se o integrovaný obvod, který obsahuje EEPROM paměť s duálním komunikačním rozhraním I2C a NFC/RFID. [2]

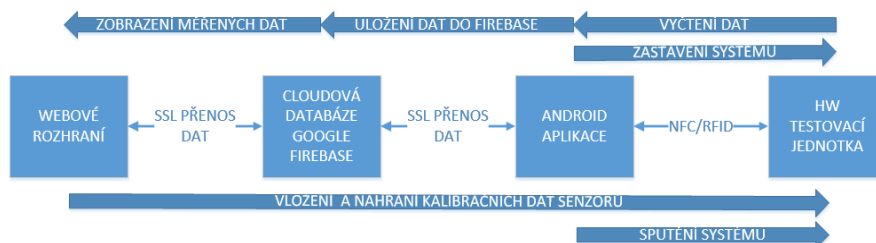
Jednotka bude vyrobena jako deska, která bude umožňovat připojování tištěných elementů přes FPC konektory. To znamená vysokou variabilitu při testování a možnost rychlé výměny testovaných vzorků. Dále bude také umožňovat přes FPC konektor připojení tištěné antény pro frekvenci 13,56 MHz. Blokové schéma testovací jednotky systému je zobrazeno na obrázku I.



**Obrázek I. Blokové schéma testovací jednotky**

#### IV. TESTOVACÍ SYSTÉM

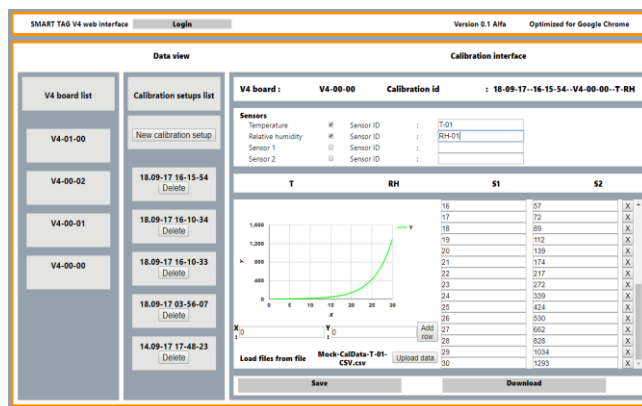
Pro snadné ovládání tohoto systému bylo vytvořeno webové rozhraní a mobilní aplikace pro OS Android. Všechny tyto části následně vytvářejí komplexní systém. Blokové schéma celého komplexního systému je zobrazeno na obrázku II.



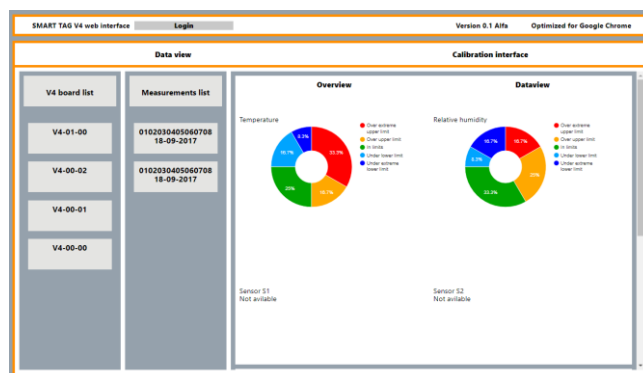
**Obrázek II. Blokové schéma testovacího systému**

Jak je patrné z obrázku II. testovací jednotku je možno přímo ovládat skrze Android aplikaci. Jedná se o vyčítání dat, zastavení systému, nastavení parametrů a spuštění systému. Vyčtená data se mobilním zařízením ukládají do interní databáze SQLite a skrze internetové připojení jsou data ukládána ještě do cloudové NoSQL databáze Google Firebase. V této databázi jsou také ukládána kalibrační data, která lze přes webové rozhraní zadat. Kalibrační data uložená v cloudové databázi lze kdykoliv mobilní aplikací stáhnout a nahrát je do testovacího systému.

Grafická podoba uživatelského rozhraní webové aplikace je zobrazeno na obrázku III. a IV.

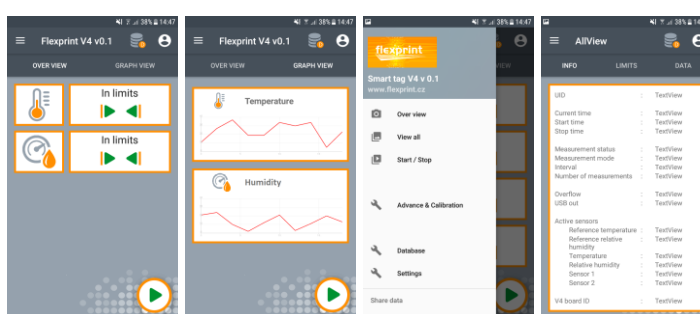


**Obrázek III. Grafické rozhraní webové aplikace pro tvorbu kalibračních dat**



**Obrázek IV.** Grafické rozhraní webové aplikace pro prohlížení změřených dat

Grafická podoba uživatelského rozhraní aplikace pro Android je znázorněna na obrázku V.



**Obrázek V.** Grafické rozhraní Android aplikace pro ovládání testovací jednotky

## V. ZÁVĚR

Představený systém pro vývoj a testování tištěných senzorů byl navržen s ohledem na současné trendy v oblasti testovací techniky a softwarového inženýrství. Byl kladen důraz na jednoduché a intuitivní uživatelské rozhraní.

Uživatelský komfort je zajištěn přehlednou webovou aplikací a aplikací pro OS Android. Tyto dvě aplikace jsou propojeny pomocí cloudové databáze a díky tomuto propojení nemusí uživatel například pracně exportovat a kopírovat potřebné soubory a data. Veškeré části systému se nacházejí v současné době v první fázi vývoje, jsou plně funkční a nyní bude následovat fáze prvního alfa testování. Po ukončení alfa testování dojde k případnému doladění problémů a chyb. Následně bude systém již využíván pro vývoj a testování tištěných senzorů v rámci beta testování.

## PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2017-008 a projektu SGS-2015-020: Technologické a materiálové systémy v elektrotechnice.

## LITERATURA

- [1] GILCHRIST Alasdair. Industry 4.0: the industrial internet of things. New York, NY: Springer Science+Business Media, 2016. ISBN 978-1-4842-2046-7.
- [2] BANKS, Jerry. RFID applied. Hoboken: Wiley, c2007. ISBN 978-0-471-79365-6.