

# Textrody pro dlouhodobé měření EKG integrované ve Smart textiliích

Tomáš Bystrický, Radek Soukup, Aleš Hamáček

Katedra technologií a měření

Fakulta elektrotechnická

Západočeská univerzita v Plzni

bystrict@ket.zcu.cz

## Textrodes for Long-term Measurement of ECG Integrated in Smart Textiles

**Abstract** – This paper presents research and development of fully integrated textile electrodes for continuous measurement of electrocardiograph (ECG) signals. These Textrodes are fully integrated, skin friendly, antibacterial, flexible and washable. In close cooperation with two SME textile companies were done woven and embroidered electrodes integrated in a sport top, chest strap and functional T-shirt. Textile electrodes brings more comfort and freedom for patients, convalescents and athletes too, during long term monitoring of physiological signals.

*Keywords* – smart textile; textile electrodes; measurement; electrocardiograph; health care monitoring; woven technique; embroidered technique

### I. ÚVOD

Smart textilie jsou definovány jako textilní produkty, které kombinují vlákna, nitě a příze dohromady s pletenými, tkanými, vyšívanými nebo jinak integrovanými elektronickými strukturami, které umožňují interakci s prostředím nebo člověkem. Obor smart textilií je stále na začátku, přesto je po těchto produktech velká poptávka a vrůstá i počet možností, kam lze smart textilie aplikovat. [1] Smart textilie, nebo také e-textilie lze rozdělit do třech kategorií a to:

- Pasivní smart textilie založené na senzorech, schopné snímat prostředí nebo tělesné funkce člověka
- Aktivní smart textilie integrující sensorický systém a řídicí jednotku
- Velmi chytré smart textilie, které jsou schopné měřit parametry prostředí nebo člověka, vyhodnotit je a podle toho upravit svoje chování

Jednou z těch hlavních možností využití je lékařství a zdravotní péče, speciálně pak pro dlouhodobé sledování životních funkcí u pacientů po zraněních, operacích a také při domácím ošetřování. Textilie a obecně oděvy jsou nejbližším materiálem pro člověka, který každodenně používá a zajišťuje mu pohodlí. Proto je velmi žádané, použít oděv jako substrát pro sensorové systémy, které mohou zajišťovat měření, zatímco je zachován přirozený, komfortní stav pacienta. Díky vodivým textilním vláknům je možné do oděvu integrovat bežešvé flexibilní elektrody, které jsou prodyšné a nedráždivé. [2] Cílem tohoto výzkumu je vyvinout pratelné, vyšívané a pletené elektrody pro nepřetržité měření EKG. Výhodou pletených elektrod je jejich přímá integrace, během pletení samotné základní látky, díky tomu pletení elektrody nepřidává další proces do výroby. Pletené i vyšívané vzorky elektrod byly vyrobeny ve spolupráci s komerčními partnery.

## II. VODIVÁ VLÁKNA

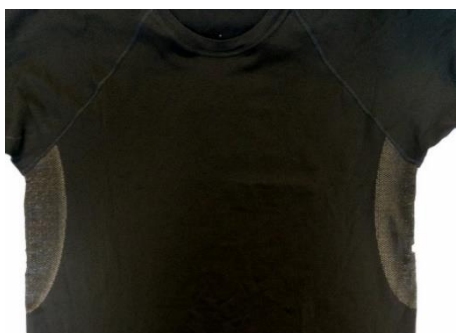
Nejčastěji používaná vlákna pro výrobu textilních elektrod a vodivá propojení, můžeme rozdělit do tří skupin a to: a) monofilní kovové vlákno, b) monofilní polyamidové, nebo PET, PES vlákno ovrstvené tenkou metalickou vrstvou, která zajišťuje jeho vodivost a c) hybridní šicí nitě, kombinující běžná nevodivá textilní vlákna a kovové mikrodrátky. Textilní vlákna tvoří nosnou složku udávající mechanické parametry nitě, kde jsou spleteny dohromady s kovovými mikrodrátky ve specifickém poměru. Během vývoje elektrod byly postupně vyzkoušeny tři druhy vodivých vláken, z toho dva běžně dostupné komerční produkty SilveR.STAT® a X-Static®. Oba dva typy jsou zástupci druhé skupiny vodivých nití, kombinující nevodivé vlákno ovrstvené tenkou stříbrnou vrstvou. Třetí použitý vzorek je hybridní šicí nit, vyvinutá ve spolupráci s VÚB a.s. Tato nit kombinuje PES vlákna a vodivé mosazné mikrodrátky.

TABULKA I. ODPOR POUŽITÝCH VODIVÝCH VLÁKEN

Vodivé vlákno	R [kΩ] / 1 m	
	1. skupina	2. skupina
SilveR.STAT	0,484	0,459
SilveR.STAT <sub>oxid</sub>	0,722	0,605
X-STATIC	5,283	4,777
Hybrid thread	0,0076	0,0077

Porovnání elektrického odporu jednotlivých typů vláken je uvedeno v Tabulce I., kde je navíc uvedena i hodnota vzorků SilveR.STAT<sub>oxid</sub>, který vlivem špatného skladování zreagoval s unikajícími sírany z úpravny textilií a zoxidoval. To se projevilo zvýšením hodnoty odporu na metr délky o 100-200 kΩ. Měření vláken bylo provedeno multimetrem Keithley 2612B při jejich napnutí hmotností 50g.

## III. TESTOVANÉ TEXTILNÍ ELEKTRODY



**Obrázek I. Textrody v podpaží**

Postupně během testování bylo vyrobeno několik typů textilních elektrod s různým umístěním pro jedнокanálového měření EKG. Protože je pro měření nezbytný velmi dobrý kontakt s kůží pacienta, bylo nutné experimentovat s jejich umístěním a vždy byly integrovány do elastické látky, používané pro sportovní oděvy. K lepšímu kontaktu přispívá i zvlhčení povrchu textrod, proto bylo využito umístění v podpaží (viz Obrázek I), kde je nejen velmi tenká pokožka, ale vlivem pocení dochází k udržování vlhkosti.

Právě v podpaží je ale velká svalová aktivita při pohybu paží a dochází tak nejen k rušení, ale i nadzvedávání textilie od povrchu těla. Měření tak může probíhat pouze v klidu. V tomto umístění byly vyrobeny dva typy textrod z materiálu X-STATIC s mřížkovým a eliptickým tvarem vpletení do sportovního trika.

Pro omezení vlivu pohybu svalů a rušení měření, byl další typ elektrod umístěn níže po stranách hrudníku, tak aby byla stále využita tenká pokožka na žebrech. Tyto textrody jsou vyšívané vodivými vlákny Silver.STAT do samostatného obdélníku z nepružné látky a ta je následně přišitá do elastického sportovního skampola. Třetí použitý materiál, vyvinutá hybridní nit' byla použita, díky svému velmi malému odporu, pro vyšíání malých elektrod umístěných na přední stranu hrudníku, pod velké prsní svaly. Ve stejném umístění byl vyroben ještě poslední vzorek textilních elektrod z materiálu X-STATIC, vpletených do sportovního tílka.

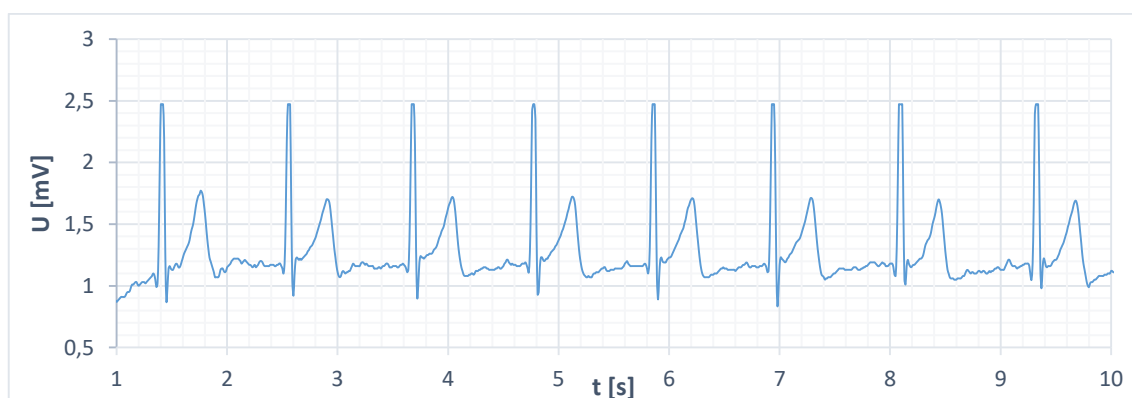


**Obrázek II. Eliptická textroda**

Pro kontaktování všech typů elektrod byly použity kovové druky (viz Obrázek II), na které se připojoval stíněný kabel běžně používaný u gelových elektrod.

#### IV. VÝSLEDKY MĚŘENÍ

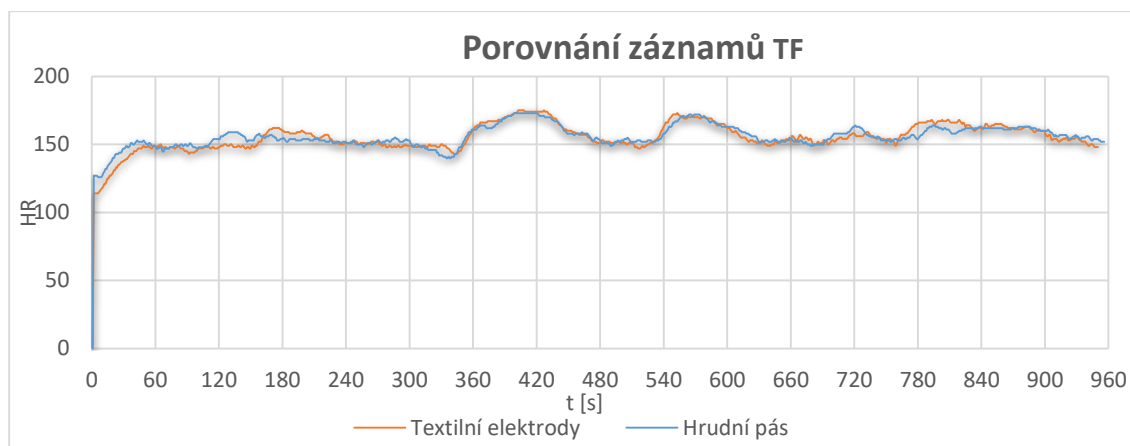
Z porovnání dvou typů pletených elektrod vyšly lépe ty s eliptickým vplétáním, protože mají větší, vodivou plochu bez přerušování nevodivými vlákny. Díky tomu jsou ale méně mechanicky odolné. Vlákna X-STATIC mají z použitých typů nejhorší vodivost a to v kombinaci s rušením kontaktu pohybem paží neposkytovalo uspokojivé výsledky. Kvůli nízké pevnosti v tahu vláken Silver.STAT je bohužel nebylo možné použít pro tuto technologii, protože se v pletacích strojích příliš často trhala. Lepších výsledků bylo dosaženo s textrodami z těchto vláken, protože mají menší odpor a lépe přilnuly k tělu, což je způsobeno i tím že vyšívání zpevňuje látku. Oproti pleteným ale mohou způsobovat mechanické podráždění pokožky při delším měření. Stejným způsobem byly vyrobeny i elektrody z hybridní šicí nitě, které mohou mít kvůli velmi dobré vodivosti jen malé rozměry 3x2cm a přesto poskytují velmi přesné výsledky. Na Obrázku III je zobrazen průběh EKG, jenž byl snímán textilními elektrodami z hybridní šicí nitě a zaznamenaný modulem MEDLAB EG05000, který ve spojení s Raspberry Pi umožňuje i online přenos sledovaných výsledků. Velmi podobných výsledků bylo dosaženo i s elektrodami z vodivých vláken Silver.STAT.



**Obrázek III. Záznam EKG změřený textrodou z hybridní šicí nitě**

Na obrázku IV jsou porovnány dva záznamy srdečního tepu z textilních elektrod, pletených z vláken X-STATIC, které byly umístěny na přední stranu hrudníku pod prsní svaly a kvalitního sportovního hrudního pásu Suunto®.

Elektronický senzor zpracovávající výsledky byl u obou typů snímačů stejný. Hrudní pásy jsou běžně používaným doplňkem sportovců pro měření tepové frekvence během aktivity. Měření proběhlo jednou osobou ve stejném tempu, na stejném okruhu s členitým terénním profilem ihned po sobě. Ze měření vyplývá, že jsou oba zaznamenané průběhy zcela srovnatelné a textilní elektrody poskytují spolehlivá data.



**Obrázek IV. Záznam srdečního tepu z 15 minutového běhu**

## V. ZÁVĚR

V průběhu vývoje bylo vyrobeno několik typů textilních elektrod z různých materiálů a tvarů, které jsou porovnávány mezi sebou. Z těchto měření zaměřených na snímání EKG vycházejí lépe elektrody vyšívané. Jedním z důvodů je lepší elektrický kontakt mezi pokožkou a elektrodou, protože vyšívané elektrody jsou mírně vystouplé a pevnější než pletené. Druhým důvodem je použití hybridních šicích nití vykazujících vyšší vodivost. Při měření pouze srdeční frekvence byly i z pletených elektrod získány věrohodné výsledky, přestože použité nitě mají řádově vyšší odpor. Tento výsledek z Obrázku IV je např. pro sportovce naprosto vyhovující z hlediska přesnosti i rychlosti a citlivosti na změnu TF. Zároveň mu však oproti klasickému hrudnímu pásu poskytují pohodlí a prodyšnost sportovního funkčního trika přiléhavého střihu. Dalším krokem vývoje je tedy překonání technologického problému při výrobě pletených elektrod z lépe vodivých vláken, např. hybridní nitě s mosaznými mikrodrátky.

## PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2016-006 a projektu TA03010286 – ELTEX Smart textilie s integrovanými elektronickými funkčními bloky nové generace pro zkvalitnění ochrany zdraví

## LITERATURA

- [1] M. Stoppa and A. Chiolerio, “Wearable electronics and smart textiles: A critical review,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 14, no. 7, pp. 11957–11992, 2014.
- [2] P. Shyamkumar, P. Rai, S. Oh, M. Ramasamy, R. Harbaugh, and V. Varadan, “Wearable Wireless Cardiovascular Monitoring Using Textile-Based Nanosensor and Nanomaterial Systems,” *Electronics*, vol. 3, no. 3, pp. 504–520, 2014.