

APLIKACE NOSITELNÉ ELEKTRONIKY PRO MONITOROVÁNÍ STAVU NOSITELE U SPECIÁLNÍCH ODĚVŮ

Diplomová práce

Studijní program: N3106 – Textilní inženýrství
Studijní obor: Oděvní a textilní technologie

Autor práce: **Bc. Jaroslav Lír**
Vedoucí práce: doc. Ing. Antonín Havelka, CSC



An application of wearable electronics for monitoring the state of a wearer in special clothing

Diploma thesis

Study programme: B3107 – Textil
Study branch: 3107R004 – Clothing and textile technologies

Autor: **Bc. Jaroslav Lír**
Supervisor: doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jaroslav Lír**
Osobní číslo: **T14000019**
Studijní program: **N3106 Textilní inženýrství**
Studijní obor: **Oděvní a textilní technologie**
Název tématu: **Aplikace nositelné elektroniky pro monitorování stavu
nositele u speciálních oděvů**
Zadávací katedra: **Katedra oděvnictví**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Rešerše - význam nositelné elektroniky, možné aplikace, současný stav této problematiky, dostupné elektronické sestavy na trhu pro aplikaci elektroniky do speciálních oděvů pro vojsko a policii.
2. Návrh snímačů pro nositelnou elektroniku pro monitorování průstřelu a poškození oděvu.
3. Odzkoušení nositelné elektroniky zabudované do T - Shirt.
4. Návrh konkrétní aplikace na oděvech, vyhodnocení spolehlivosti, údržby při praktických zkouškách.

Rozsah grafických prací: dle rozsahu dokumentace

Rozsah pracovní zprávy: cca 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

- TAO, Xiaoming. Intelligent textiles and clothing: technology and applications. Editor H Mattila. Cambridge: Woodhead, 2006, 506 s. ISBN 18-456-9005-2.
- TAO, Xiaoming. Wearable electronics and photonics: technology and applications. Editor H Mattila. Boca Raton FL: CRC Press, 2005, 250 s. ISBN 08-493-2595-1.
- CHO, Gilsco. Smart clothing: technology and applications. Editor H Mattila. Boca Raton, FL: CRC Press, 2010, 275 s. ISBN 978-142-0088-526.
- VINCENZINI, P a Rita PARADISO. Smart textiles: "smart textiles" : proceedings of the focused session A-11 "smart textiles" of symposium A "Smart materials and micro/nanosystems", held in Acireale, Sicily, Italy, June 8-13 2008 as part of CIMTEC 2008 - 3rd International conference "Smart materials, structures and systems". UK: Trans Tech Publications Ltd, c2009, 180 s. ISBN 39-081-5826-5.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.
Katedra oděvnictví

Datum zadání diplomové práce: 11. listopadu 2015

Termín odevzdání diplomové práce: 13. května 2016


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka




doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 11. listopadu 2015

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 5. 5. 2017

Podpis:

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu doc. Ing. Antonínu Havelkovi, CSc za jeho užitečné rady a připomínky, které mi při zhotovení této práce udělil. Rád, bych poděkovat své rodině za podporu a důvěru ve mně vloženou.

Bibliografická citace práce

LÍR, Jaroslav. Aplikace *nositelné elektroniky pro monitorování stavu nositele u speciálních oděvů*. Liberec, 2017. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní. Vedoucí práce doc. Ing. Antonín Havelka CSc.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá odzkoušením záznamu průstřelu oděvu pomocí vodivých drah, které jsou aplikovány do první vrstvy oděvu přiléhající na tělo. Zaměřuje se navržením struktury těchto drah a vyvinutím kontrolní elektroniky pro ozbrojené složky.

Rešeršní část je zaměřena na možnosti využití nositelné elektroniky v oděvu. Jsou zde uvedeny možnosti aplikace vodivých drah do oděvu pomocí různých technologií. Také jsou zde zobrazeny dostupné elektronické systémy pro ozbrojené složky.

Konkrétní navržené řešení je popsáno v experimentální části této diplomové práce. V první části jsou odzkoušeny vybrané technologie pro záznam průstřelu oděvu včetně praktické ozkoušení vzorků pomocí palné zbraně. Druhá část je věnována navrhnutím elektroniky, která vyhodnocuje stav nositele, a její aplikace do vojenského stejnokroje.

Klíčová slova

Nositelná elektronika, vojenské triko, vodivá nit, výšivka, střelba, mikroprocesor PIC32MX

Abstract

The purpose of this diploma thesis is to try out the record of the garment shot using conductive trajectories which are applied into the first layer of the base clothing. It focuses on designing the structure of these trajectories and developing control electronics for armed forces.

The search part is theoretical and is focused on the possibilities of the use of wearable electronics in the garment. There are listed the possibilities of an application of conductive trajectories into the garment using various technologies. There are also pictured (shown) available electronic systems for armed forces.

An experimental part consists of the two parts. In the first part there are tried several technologies for the record of the garment shot including practical testing using firearms. The second part is focused on designing the electronics which evaluates the state of the wearer, and its application into the army T-shirt.

Keywords

Wearable electronics, army T-shirt, conductive thread, embroidery, shooting, microprocesor PIC32MX

Obsah

1. Úvod.....	12
2. Cíle práce.....	13
3. Rešerše	14
3.1. Nositelná elektronika	14
3.2. Aplikace nositelné elektroniky	15
3.1.1. Pro lékařské použití	15
3.1.2. Pro sportovní použití	18
3.1.3. Zaznamenání digitálních informací ve tkanině	18
3.2. Speciální oděvy pro vojsko a policii.....	19
3.2.1. Košile GTVM.....	20
3.2.2. Triko od firmy Blücher	21
3.3. Možnosti aplikace vodivých drah na oděv	22
3.3.1. Elektricky vodivé nitě pro vyšití vodivé dráhy	22
3.3.2. Tisk vodivých drah pomocí vodivého inkoustu	23
3.3.3. Tisk vodivých drah pomocí 3D tiskárny	24
4. Praktická část.....	25
4.1. Odzkoušení mechanických vlastností měděného drátku	25
4.1.1. Pevnost a tažnost měděného drátku při přetrhu	25
4.1.2. Mechanická odolnost měděného drátku při dvoj ohybu	27
4.2. Odzkoušení průstřelu pomocí palné zbraně.....	30
4.2.1. Příprava vzorků	30
4.2.2. Zkouška průstřelem	32
4.3. Měření elektrické vodivosti šicích nití	34
4.4. Odzkoušení nových vzorků průstřelu pomocí palné zbraně.....	37
4.4.1. Příprava vzorků	37
4.4.2. Kontrolní elektronika nových vzorků	38
4.4.3. Nová zkouška průstřelu pomocí palné zbraně.....	40
4.5. Zkouška praktické údržby	42
4.6. Vybrání zvolené technologie	45
4.7. Zhotovení vodivých drah v triku	46
4.7.1. Vojenské triko	46
4.7.2. Vytvoření a rozdělení výšivky	47
4.7.3. Vyšití vodivých drah na vyšívacím stroji.....	48
4.7.4. Rozměrová analýza hotového výrobku	50
4.8. Řídící elektronika	51
4.8.1. Schéma zapojení.....	52
4.8.2. Princip činnosti.....	53
4.8.3. Deska plošného spoje	63
4.9. Ozkoušení kontrolní elektroniky	64
4.10. Propojení vodivých drah s modulem	65
4.11. Zdrojový kód.....	66
5. Závěr.....	68
Použitá literatura	70
Seznam obrázků	73
Seznam tabulek	74
Seznam grafů.....	74
Přílohy	75

Seznam symbolů a zkratk

DPS	deska plošného spoje
PC	počítač
USB	Universal Serial Bus
LED	Light Emitting Diode
CD	Compact disc
UART	Universal asynchronous reciver and transmitter

1. Úvod

Nositelná elektronika v oděvech je záležitostí posledních dvaceti let. V dnešní době zájem o tuto technologii výrazně stoupá ve všech odvětvích lidské činnosti. Zájem je především v oblasti zdravotnictví, ve sportu, a u ozbrojených složek. Dříve bylo velice složité elektronické systémy do oděvu zakomponovat, především kvůli rozměrům elektronických součástek a jejich pevnému pouzdru. Díky novým technologiím lze dnes např. pomocí 3D tiskárny tisknout elektronické součástky na bázi uhlíku přímo na textilii. Tyto systémy zvyšují komfort při nošení a díky integrovaných sledovacích prvků v oděvu zvýšit ochranu nositele. Důvodem, proč se touto problematikou zabývat je velký rozmach technologie a zvýšení konkurenceschopnosti při výrobě high-tech oděvů, o které je v dnešní době obrovský zájem. Inovace jsou dnes nedílnou součástí každého výrobního podniku, který se touto problematikou zabývá.

Tato diplomová práce popisuje implementaci elektronických obvodů do oděvu pro detekci průstřelu. Rešeršní část je zaměřena na možné aplikace vodivé dráhy jako snímače detekce průstřelu a dostupné elektronické systémy, které se již na trhu vyskytují. Praktická část je věnována odzkoušení mechanických a elektronických vlastností vybraného druhu vodivé dráhy. Dále je zde odzkoušena funkčnost vodivých drah pro detekci průstřelu pomocí palné zbraně. Nedílnou součástí testování bylo odzkoušení možnosti údržby pro praktické používání výrobku. Materiál s nejlepšími vlastnosti byl vyšit do vojenského trika, ve formě lokačních sekcí. V poslední části je zobrazena kontrolní elektronika, která detekuje přerušenu vodivou dráhu a naměřené informace posílá bezdrátově externímu zařízení. Je zde uvedeno schéma zapojení, návrh desky plošného spoje a popis jednotlivých činností elektronických obvodů, ze kterých se celé zařízení skládá. V poslední řadě je zde uveden zdrojový kód, který je nahraný v mikroprocesoru a řídí činnost celého zařízení. Pro možnost odpojení kontrolní elektronky od oděvu, jsou jak na desce plošného spoje, tak na konci vodivých drah umístěny konektory pro snadné odpojení a možnost snadné údržby celého výrobku.

2. Cíle práce

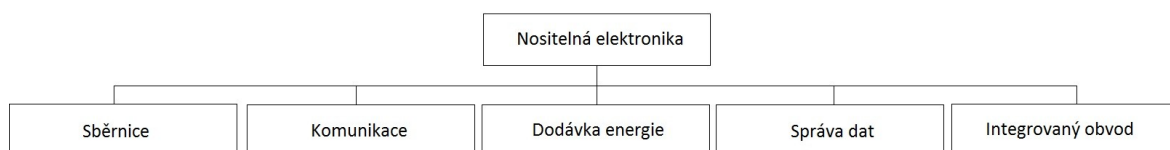
Cílem této diplomové práce bylo vytvořit nositelnou elektroniku se zaměřením pro ozbrojené složky jako je armáda ČR a zásahové jednotky policie ČR. Tato práce byla zpracována pro zájem armády ČR, která oslovila Technickou univerzitu v Liberci, aby se touto problematikou zabývali, protože mají veliký zájem o tuto technologii a chtěly by jí zavést do výstroje armády ČR. Toto téma je v dnešní době velmi aktuální a je o ní veliký zájem. Tyto oděvy mohou obsahovat různé senzory zakomponované v oděvu, které monitorují zdravotní stav nositele. Záznam průstřelu oděvu pomocí sítí vodivých drah dokáže přesně určit místo průniku balistickou střelou nebo bodnou zbraní. Tyto informace lze v jednodušším případě zobrazovat přímo na oděvu nositele pomocí displejů či signalizačních LED, nebo odesílat vyhodnocená data do velitelského stanoviště, pro přehled zdravotního stavu celé jednotky. Cílem této diplomové práce je vytvořit síť vodivých drah, které budou lokalizovat průstřel dotyčné osoby. Lokalizace záznamu průstřelu oděvu je implementována jak do přední tak do zadní části oděvu, pro možnost zjištění, zda střela nezůstala v těle postiženého. Důležitou částí je odzkoušení mechanických a elektrických vlastností záznamové dráhy, aby se došlo ke zjištění, zda zvolená technologie vyhovuje parametrům jak při vypracování výrobku, tak při jeho nošení. Pro možnost praktické údržby oděvu je důležité odzkoušet jeho odolnost při praní, protože při vykonávání těchto povolání dochází k vysoké fyzické námaze a tím i zvýšená tvorba potu, která se vsákne do oděvu. Nedílnou součástí oděvu je vyhodnocovací elektronika, která zaznamenává veškeré informace. Tuto elektroniku je nutné kvůli konkrétnosti aplikace navrhnout, a to způsobem, aby výsledný elektronický systém byl co nejmenší a bylo ho možné snadně zakomponovat do oděvu. Řídící elektronika musí obsahovat veškeré elektronické obvody, aby byla plně funkční a nepotřebovala ke svému chodu další zařízení. Nedílnou součástí elektroniky je systém pro bezdrátový přenos naměřených dat. Součástí diplomové práce je návrh konkrétní aplikace na oděvu a to vojenského trika, které používá armáda ČR. V poslední řadě je nutné řídicí elektroniku odzkoušet připojením na vodivé dráhy, které jsou implementovány ve vojenském triku a zjistit funkčnost vyhodnocení této aplikace.

3. Rešerše

3.1. Nositelná elektronika

Pokroky ve výpočetní a komunikační technice spolu s mikro a nanotechnologiemi umožňují bezproblémovou integraci elektroniky a flexibilních senzorů do oděvu. Sensory jsou vyrobeny z textilních materiálů a jsou velmi pružné. Chytré textilie se mohou rozdělit do tří kategorií. První jsou pasivní systémy, které monitorují informace z okolního prostředí. Druhé jsou aktivní systémy, které reagují na okolní prostředí a snaží se přizpůsobit okolním vlivům. Poslední skupinou jsou velmi chytré systémy, které jsou vědomé a dokáží se učit a samy přizpůsobovat novému prostředí. Pasivní systémy nevyžadují přítomnost snímačů v oděvu. U velmi chytrých systému je nutná kombinace snímačů, pohonných a řídicích jednotek, které spolu komunikují pomocí datových linek. [1]

Elektronika v oděvu může informovat o změnách fyziologických vlastnostech nositele jako je: monitorování respirace, tep, tlak, EKG, teplota, míra pocení. Dnes lze aplikovat elektroniku jako je: mobilní telefon, MP3 přehrávač, tištěná klávesnice nebo dokonce minipočítač s připojením na internet. Existují tři sofistikované technologie nositelné elektroniky. Blokovaná technologie spojuje všechna dostupná zařízení. Tyto systémy jsou odnímatelné z oděvu. Vestavěná elektronika, která je integrována do oděvu pomocí mikro elektrických obalových technologiích. Poslední jsou vláknové technologie, kde všechna zařízení jsou ve formě vláken nebo tkanin. Na obrázku č. 1 je znázorněna typická konfigurace nositelné elektroniky. [2]



Obrázek č. 1 struktura nositelné elektroniky převzato z [3]

3.2. Aplikace nositelné elektroniky

Nositelná elektronika má v dnešní době velké uplatnění v mnoha oborech lidské činnosti.

3.1.1. Pro lékařské použití

Nositelné zdravotnické zařízení nabízejí obrovskou výhodu při monitorování dotyčné osoby a včasné odhalení příznaků. Tato platforma je koncipována pro vzdálené monitorování zdravotního stavu. Zařízení obsahují řadu snímačů, které monitorují tělesné a fyziologické parametry jako jsou tepová frekvence, elektrokardiogram (EKG), tělesná aktivita, krevní tlak, množství kyslíku v krvi. Nejširší využití těchto měření je v armádě, medicíně nebo sportu. Sensory jsou vyrobeny z optických, piezoelektrických a elektrokunduktivních vláken. Kontrolní elektronika označována jako BGV, sbírá veškeré informace z těchto snímačů, data uchovává a připravuje na bezdrátový přenos do lékařského zařízení. Tyto systémy umožňují zobrazovat data na oděvu a informovat nositele o jeho zdravotním stavu.[4]

Defibrillator

Tradiční systémy v biomedicíně používají lepidla, aby měřící elektrody držely k pokožce a vodivý gel, aby se snížila impedance mezi pokožkou a měřícím zařízením. Pokroky s analogovou měřící technikou, která má vysokou vstupní impedanci umožnily tvorbu suchých elektrod bez použití gelů. Tyto měřící elektrody jsou textilní a lze je jednoduše implementovat do oděvu. Aby měření bylo kvalitní, používají se nanovlákněné struktury senzorů, které mají vyšší povrchovou plochu snímání.[5]

Dnes existuje oděv, ve kterém je implementován defibrilátor, který při potížích okamžitě provede lékařskou pomoc. Jakmile elektrody defibrilátoru zaznamenají nepravidelný chod srdce, je vydáno zvukové varování a následně je do elektrod vpuštěn proud. Poté je oznámena poloha nejbližší nemocnice.[6]

Elektroencefalografie (EEG)

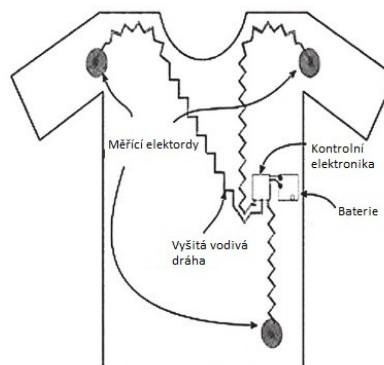
Měřením mozkových vln a aktivit mozku lze detekovat psychický stav nositele. Díky možnostem měření těchto vln lze určit, zda je dotyčná osoba ve stresu, nebo lze tímto způsobem detekovat epileptické záchvaty. Na obrázku č. 3 je zobrazen prototyp čepice, ve které jsou implementovány elektrody pro měření mozkových vln. Zařízení měří mozkové vlny alfa. Na čepici jsou umístěny 3 RGB LED, které barevně zobrazují frekvenční aktivitu mozku. [7]



Obrázek č. 2 čepice monitorující EEG převzato z[8]

elektrokardiogram (EKG)

Měření činnosti srdce je jedním z nejdůležitějších monitorovacích procesů, které lze na lidském těle měřit. Pomocí měřících elektrod, které jsou umístěny v oděvu se měří průběh činnosti lidského srdce. Na obrázku č. 4 je vyobrazeno triko pro měření EKG. Toto triko má tři měřící elektrody. Z elektrod vede naměřený elektrický signál pomocí elektricky vodivých nití, které jsou zašity do oděvu do řídicí elektroniky. Řídicí elektronika shromažďuje data, která jsou po připojení k počítači stažena a lékařským personálem vyhodnocena. [9]



Obrázek č. 3 triko se senzory EKG převzato z [10]

Měření diabetes a tlaku v obuvi

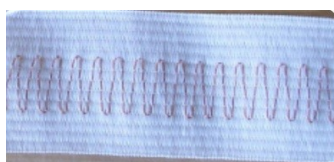
Institut Franhoufer vyvinul nositelnou elektroniku, která je aplikována v ponožce. Tato elektronika měří množství cukru v krvi a velikost zatížení v dolní končetině. Tyto senzory jsou na bázi elastomeru (DES), které mohou být integrovány pomocí tkaní, pletení, lepením či všíáním. Tyto senzory mohou snímat množství cukru v krvi a nositele, který je postižen nemocí diabetes. Toto zařízení umožňuje včasné varování před nízkou hladinou cukru a informovat o včasné podání potřebných léčiv. V ponožce jsou také integrovány senzory na snímání tlaku, které jsou vyrobeny také z elastomeru. Čtyřicet snímačů měří kompresní zatížení a distribuci rozložené síly. Senzory jsou rozmístěny v dolní části chodidla, ve špičce a v oblasti kotníku, aby bylo dosaženo trojrozměrného rozložení. Pokud se zvýší tlak na měřené končetině, senzory tuto změnu indikují a pomocí bezdrátového přenosu vyšlou varovný signál pro nositele. [11]



Obrázek č. 4 ponožka měřící diabetes a tlak. Převzato z [12]

Aplikace pro měření činnosti dýchání

Pro měření činnosti dýchání se používá pružná pletenina, ve které je vyšita vodivá dráha. Tato pletenina je upnuta kolem hrudníku a sleduje pohyb hrudního koše. Vlivem roztahováním materiálu se mění vzdálenost mezi vodivými drahami. Vlivem vzdálenosti drah se mění magnetická indukce v obvodu. Kontrolní elektronika tuto veličinu snímá a vyhodnocuje činnost dýchání.[13]



Obrázek č. 5 čidlo pro měření dechu převzato z [14]

3.1.2. Pro sportovní použití

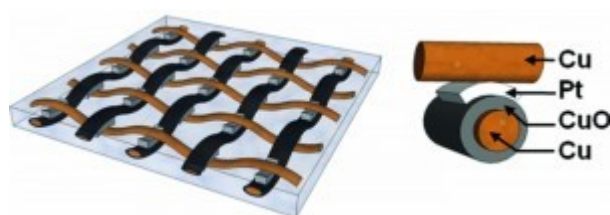
Tato aplikovaná elektronika napomáhá sportovcům optimalizovat své sportovní výkony a upravit zátěž při výkonu. Čidla, která jsou zabudována v oděvech, monitorují životní funkce nositele, jako je tepová frekvence, činnost dýchání nebo svalové namáhání. V dnešní době je o tyto oděvy veliký zájem a proto jejich dostupnost stále větší a výzkumem této elektroniky se zabývá čím dál více společností. Firma SmartLife Technology Limited vyvinula tričko pro monitorování tělesného stavu nositele při sportovních aktivitách. Na obrázku č. 6 je zobrazeno sportovní tričko od této firmy.[15]



Obrázek č. 6 Monitorovací triko pro sportovce. Převzato z [16]

3.1.3. Zaznamenání digitálních informací ve tkanině

Tkanina, která byla vyvinuta v NASA, umí uchovat digitální informace a funguje jako paměť počítače. Základem elektroniky je tvořen mřížkou, z měděných drátů. Horní měděný drát je bez nánosu, spodní drát je potažen oxidem mědi. Na každém vazném bodu je materiál opatřen kouskem platiny. Data jsou ukládána v povlaku oxidu mědi. Tento proces se nazývá odporové přepínání. Zapisování dat probíhá obdobně jako do paměti RAM. Pro zápis bitů se používá napětí 3V. Celková kapacita paměti je definovaná počtem vazných bodů. Použitý měděný drátek má průřez 1mm. Takto vytvořená paměť dokáže uchovat informace po dobu až 115dní.[17]



Obrázek č. 7 Tkanina s digitálním záznamem. Převzato z [18]

3.2. Speciální oděvy pro vojsko a policii

Textilie pro neprůstředné vesty nebo vnitřních částí oděvů nošených přímo na kůži jsou vybavena integrovaným elektronickým výpočetním systémem. Senzory, které jsou spojeny s komunikačním zařízením, automaticky reagují na podmínky z okolního prostředí nebo na reakci těla nositele. Používají se různé metody včlenění senzorů a elektrických obvodů do materiálu jako je tkaní, pletení a vyšívání. Například vazný bod, sestavený z kovových vláken, může být použit jako datová linka pro posílání informací. Shromážděné údaje ze snímačů jsou bezdrátově přenášeny na velitelské stanoviště. V tabulce č. 1 jsou uvedeny parametry, které se používají v oděvech pro ozbrojené složky.[19]

Typ monitorování	Typ informace	Mechanismy
Monitorování zdravotního stavu	Fyziologické procesy člověka	Elektrokardiografie (EKG)
		Elektromyografie (EMG)
		Elektroencefalografie (EEG)
		Měření potu, detekce zásahu
Lokalizace vojáka	Umístění, identifikace	GPS a bezdrátová zařízení
Komunikace	Výměna informací	Pevné i bezdrátové připojení
Monitorování teploty	Sledování tepla, chladu, stresu	Aktivní řízení teploty pomocí výhřevu v oděvu.

Tabulka 1 sledované veličiny u vojenských oděvů. Převzato z [20]

Začlenění nositelné elektroniky do vojenských uniforem dokáže zajistit sofistikované funkce, jako je fyziologické monitorování stavu nositele popřípadě zajištění tohoto komfortu začleněním elektrického odporového drátu ve formě topení. Voják by měl být v dobré fyzické kondici a plnit své povolání. Sledování zdravotního stavu může přispět ke zvýšení pohotovosti a zrychlení zdravotnických léčebných postupů.[21]

3.2.1. Košile GTVM

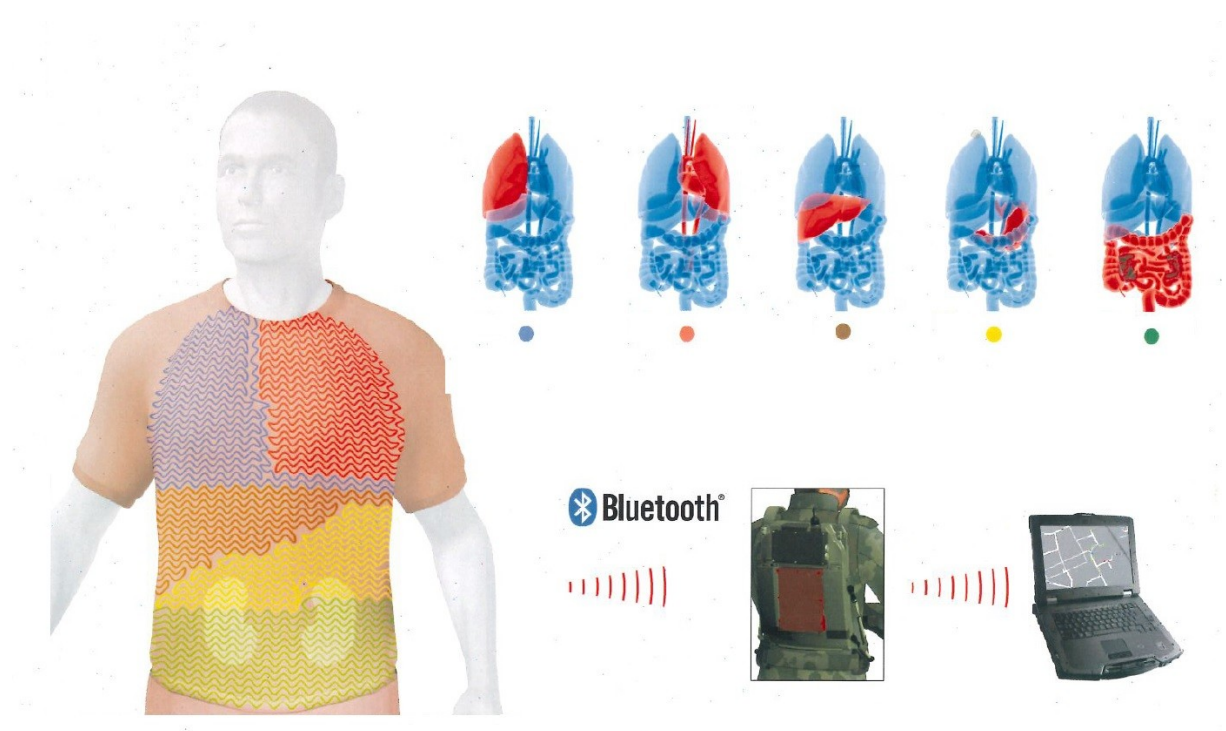
Tato košile je vyvinuta pro armádu spojených států a umí monitorovat záznam průstřelu oděvu a možnost připojení různých monitorovacích senzorů. Výzkum je zaměřen pro aplikaci při bojových podmínkách. Pro dedukci záznamu průstřelu jsou do tkaniny implementována optická vlákna. Tyto vlákna jsou aplikovány přímo do struktury tkaniny. K těmto vláknům je možné připojit i monitorovací čidla. Čidla pro monitorování tělesných funkcí jsou připojena přímo k tělu a jsou pomocí konektoru propojeny s inteligentní košilí a vytváří tím pružnou základní desku. Tato košile je vyrobena z jednoho kusu tkaniny a je bez švů. Vzhledem k tomu, že snímače je možné od oděvu odpojit, lze tyto snímače přemístit na libovolnou část oděvu. Tato funkce je velmi praktická při možnosti připojení čidel na různý typ osob s různými tělesnými rozměry. Optická vlákna fungují také jako sběrnice naměřených dat, lze proto připojit různá čidla pro měření činnosti dýchání, měření tepové frekvence, popř. hlasový přenos pomocí integrovaného mikrofonu. Proto lze tento výrobek uzpůsobit i komerčním účelům, jako jsou například hasičské sbory, které mohou měřit např. množství kyslíku v okolí hasiče apod. První prototyp byl vyvinut s odnímatelnou kontrolní elektronikou, nyní je systém plně aplikován v oděvu. Tato košile umožňuje detekovat přesné umístění problému a pomocí bezdrátové komunikace během sekund odeslat zjištěná data.[22]



Obrázek č. 8 košile s optickými vlákny. převzato z [23]

3.2.2. Triko od firmy Blücher

Triko je vyhotoveno ke kontrole záznamu průstřelu oděvu a monitorování životních funkcí. Monitorování záznamu průstřelu je rozděleno do několika zón, které lokalizují zásah na konkrétní části lidského těla. Zóny jsou rozděleny pro monitorování lidských orgánů v pření části těla. Zahrnují kontrolu levé a pravé plíce, jater, žaludku, tenkého a tlustého střeva. Zóny monitorují všechny druhy záznamu při porušení oděvu jako je balistická střela nebo bodná zbraň. Další funkcí této monitorovací sítě je měření životních funkcí nositele. Oděv měří činnost dýchání, měření tepové frekvence a měření tělesné teploty nositele. Triko je vyhotoveno pro dobrý komfort při nošení, je flexibilní a umožňuje se přizpůsobit tvaru lidského těla. Triko je vzhledem k údržbě možné prát. Kontrolní elektronika je zabudována přímo v oděvu, a pomocí bezdrátového zařízení bluetooth posílá naměřené informace do vojensky taktické vesty, kde je implementována řídicí a komunikační elektronika. Hlavní řídicí elektronika, která je umístěna v taktické vestě, obsahuje modul pro určení zeměpisné polohy GPS. Tato elektronika odesílá data do počítače. Na mapě v počítači se zobrazují lokační body všech monitorovaných vojáků. Pokud je na mapě zobrazen bod červenou barvou je voják zraněný a potřebuje lékařské ošetření, pokud je zobrazen zeleně, je vše v pořádku. Modrý bod na mapě zobrazuje měřící stanoviště.[24]



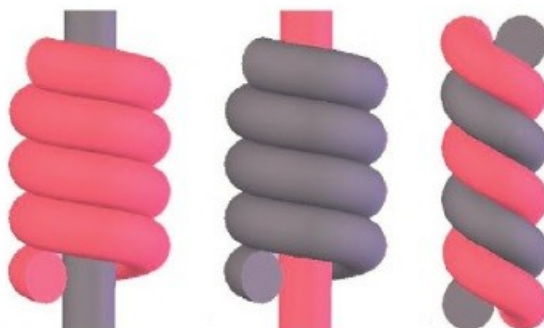
Obrázek č. 9 rozdělení vodivých drah pro záznam průstřelu převzato z [25]

3.3. Možnosti aplikace vodivých drah na oděv

Aby bylo možné propojovat elektronická zařízení v oděvu, je nutné vytvořit elektricky vodivou dráhu, která bude jednotlivé zařízení propojovat. Pro možnost detekce průstřelu je nutné na oděvu vytvořit vodivou síť. Je několik možností, jak tuto aplikaci uskutečnit. Základním způsobem vytvoření vodivé sítě je pomocí tkaní a pletení, kde jsou vloženy eklekticky vodivé komponenty přímo do struktury materiálu. Problém nastává při propojování jednotlivých konců vodivých drah. Toto propojení je značně komplikované a navíc spojené konce nevydrží velké mechanické namáhání. V poslední řadě je možnost použití této technologie velmi časově náročná. Níže jsou uvedeny možné technologie, které by mohly být použity pro možnost aplikace vodivé dráhy v oděvu pro záznam průstřelu.

3.3.1. Elektricky vodivé nitě pro vyšívané vodivé dráhy

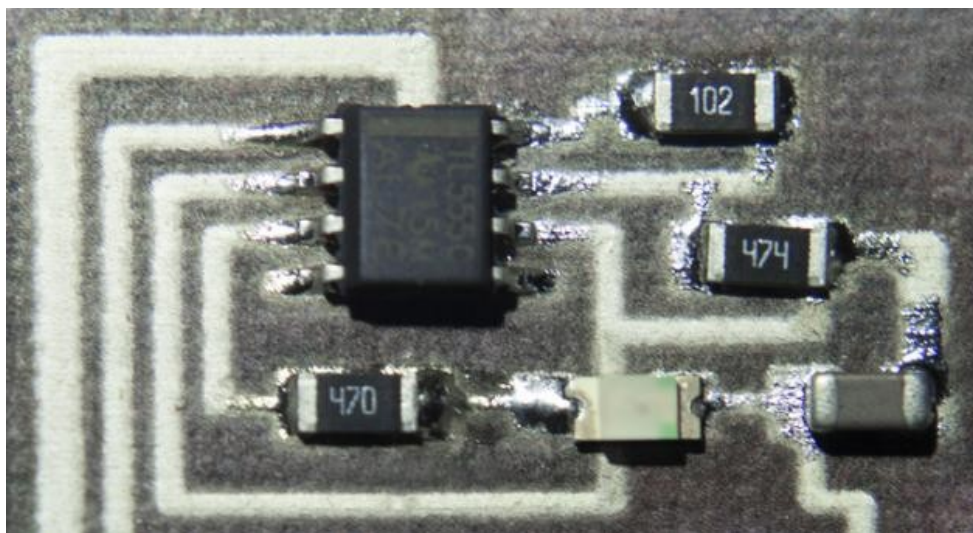
Elektricky vodivé nitě jsou v dnešní době již běžně dostupnou záležitostí. Jednou z možností výroby polymerních vodivých přízí je smíchání kovových vláken nebo drátků přímo do standardní polymerové příze. Příze mohou být vyrobeny standardními technologiemi, jako je prstencové spřádání nebo rotorové spřádání. Takto vyrobené příze mají díky kovovým částem velice nízký elektrický odpor. Na obrázku č. 9 jsou znázorněny techniky výroby těchto přízí. Červenou barvou jsou znázorněny polymerní vlákna, šedou barvou jsou znázorněny kovové vlákna. Druhá metoda výroby vodivé příze je pomocí tzv. galvanického pokovení. Na standardní polymerní příze je nanášena kovová vrstva, tím se stávají příze elektricky vodivé. Nejběžněji se používají kovy stříbro, zlato, nikl a kobalt.[26]



Obrázek č. 10 tvary vodivých přízí převzato z [27]

3.3.2. Tisk vodivých drah pomocí vodivého inkoustu

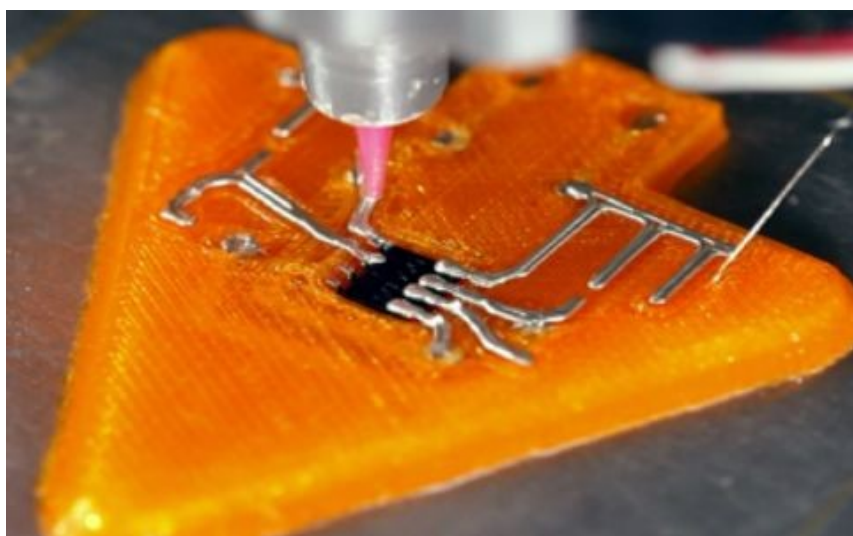
Výroba ohebných tištěných spojů pomocí digitálního tisku je na textilních materiálech vzhledem k jejich elastičnosti velmi výhodné. V dnešní době již existují inkousty, které umí vést elektrický proud. Inkousty jsou na bázi kovů, uhlíku či vodivých polymerů. Nejlepší vodivý inkoust je na bázi nano stříbra. V tiskové hlavě se nacházejí dvě nádobky, v jedné je dusičnan stříbrný a v druhé kyselina askorbová. Když se tyto dvě chemikálie spojí, vznikne chemická reakce, ze které vniknou částičky nano stříbra. Vodivé inkousty, které se dnes používají, nemají ještě takovou elektrickou vodivost, jako kovy. Tato nevýhoda této snížení elektrické vodivosti je především při přenosu dat, která mohou být na větší přenosovou vzdálenost ztracena. Záleží především na zvoleném typu inkoustu a podkladovém textilním materiálu. Touto technologií lze miniaturizovat elektronická zařízení v oděvech. Výhodou této technologie je vysoká produktivita při výrobě vodivých cest a jednoduchosti nanesení vodivé vrstvy. Nevýhodou této technologie je odolnost proti mechanickému poškození a při údržbě. Protože je vrstva inkoustu pouze na materiál nanesená, vlivem tření materiálu o sebe dochází k odstraňování vrstvy, až může dojít k její přerušení. [28],[29]



Obrázek č. 11 natištěné vodivé dráhy na textilu převzato z [30]

3.3.3. Tisk vodivých drah pomocí 3D tiskárny

3D tisknutí elektronických obvodů je další možností, jak aplikovat vodivou dráhu na textilii. V dnešní době se již vyrábějí materiály do 3D tiskáren, které jsou elektricky vodivé. 3D tiskárna funguje na principu nasnášení vrstev materiálu. Materiál je ve formě prášku nebo struny. Tisková hlava se pohybuje nad deskou tiskárny a pomocí malé trysky, která je zabudována v tiskové hlavě je protlačován materiál. Elektricky vodivé struny jsou vyrobeny na bázi grafitu nebo termoplastických vodivých polymerů. Mezi velké výhody této technologie je snadná výroba prototypů. Nevýhodou 3D tisku na textil je malý výběr vodivých materiálů, které následně nezatvrdnou a zůstanou po nanesení v elastickém stavu. Pomocí polymeru a vosku lze dnes tisknout i některé elektronické součástky. Tímto způsobem lze dnes natisknout součástky jako kondenzátor, cívku, tranzistor či LED.[31], [32]



Obrázek č. 12 tisk vodivé dráhy pomocí 3D tisku převzato z [33]

Pro možnost aplikace vodivé dráhy pro záznam průstřelu oděvu, byla vybrána technologie vyšívání pomocí eklekticky vodivých nití. Tento typ metody byl dále odkusován, jestli vybrané materiály jsou pro tuto aplikaci vyhovující. Důvodem vybrání této technologie byla cena a dostupnost technologie. V poslední řadě je tato technologie z hlediska mechanických odolností na dobré úrovni oproti jiným technologiím.

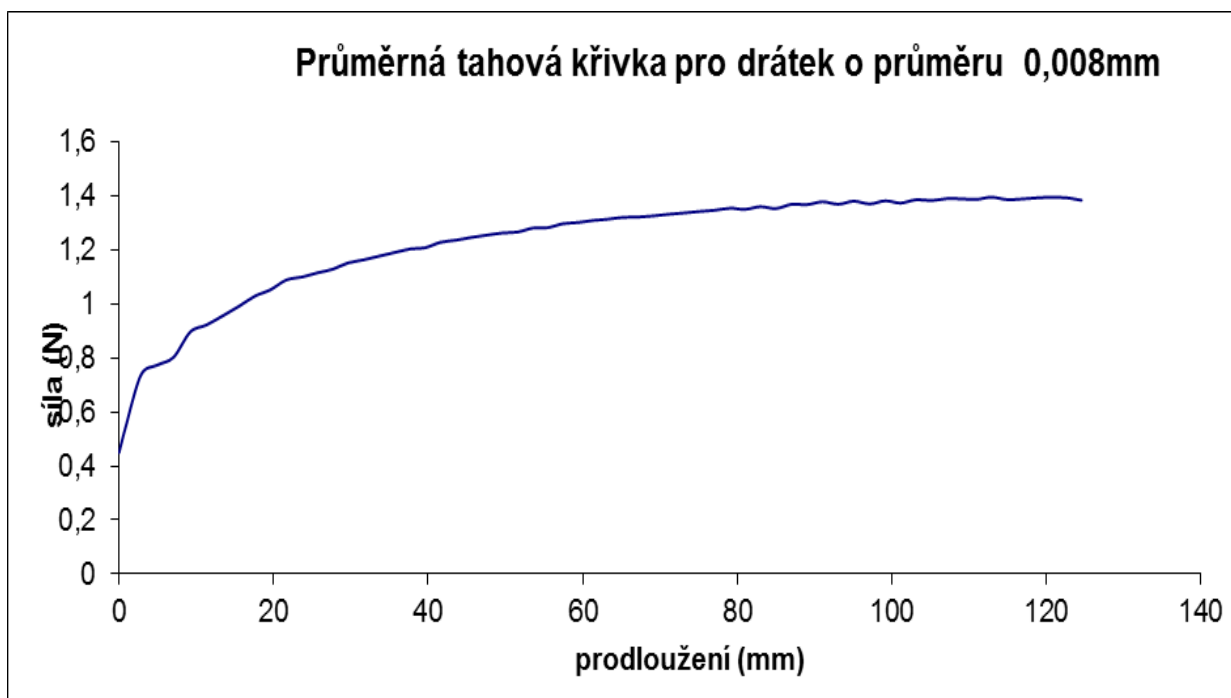
4. Praktická část

4.1. Odzkoušení mechanických vlastností měděného drátku

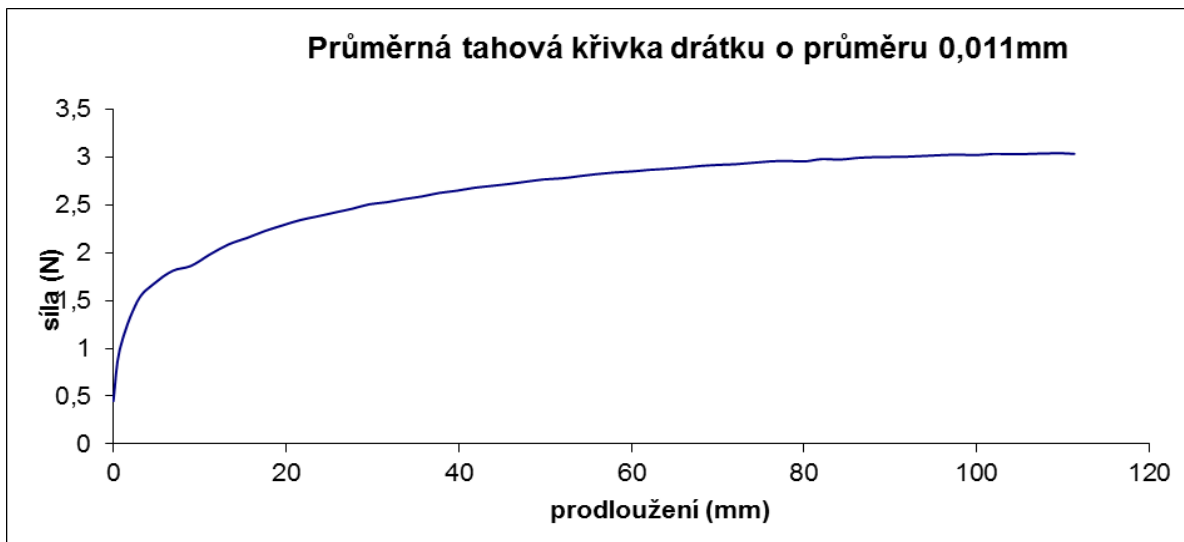
Měděný drátek je pro možnost aplikace vodivé dráhy do oděvu velice vhodný především pro jeho elektrické vlastnosti. Elektrický odpor mědi je velice malý v řádech $m\Omega$. Nevýhodou mohou být mechanické vlastnosti, měď je velmi tažný materiál, proto je nutné před aplikací do oděvu odzkoušet tyto vlastnosti.

4.1.1. Pevnost a tažnost měděného drátku při přetrhu

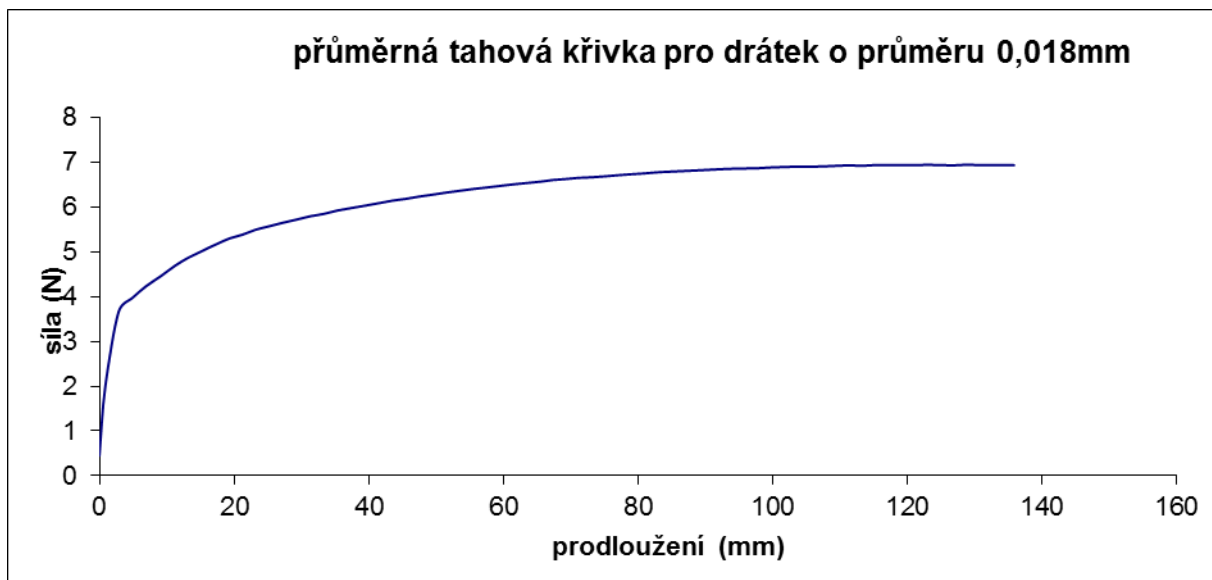
Pevnost a tažnost byla měřena na trhačce. Měření probíhalo podle normy CSN EN ISO 2062 (80 0700). Okolní teplota při měření byla 25°C a vlhkost 62%. Upínací délka vzorku byla 500mm a rychlost posuvu čelistí byla nastavena na 500mm/min. Byly odzkoušeny tři průměry měděných drátků a to 0,008mm, 0,011mm a 0,018mm. V příloze A, jsou tabulky s naměřenými hodnotami. Bylo provedeno pět měření na každém drátku. Z těchto výsledků byly spočítány průměrné hodnoty pevnosti a tažnosti, které byly zaznamenány do grafů, čímž se vytvořila průměrná tahová křivka.



Graf 1 Průměrná tahová křivka pro drátek 0,008mm



Graf 2 Průměrná tahová křivka drátku 0,011mm



Graf 3 Průměrná tahová křivka drátku 0,018mm

Z naměřených výsledků je patrné, že měděné drátky nemají velkou pevnost ale zato velké prodloužení. Měděný drátek o průměru 0,008mm dosáhl průměrné pevnosti 1,5N. Tato hodnota je velice nízká, proto tento drátek není vhodný pro aplikaci vodivé dráhy do oděvu. Měděný drátek o průměru 0,011mm dosáhl průměrné pevnosti 3N. Ani tato pevnost není dostačující pro aplikaci vodivé dráhy. Měděný drátek o průměru 0,018mm dosáhl průměrné pevnosti 8N. Tato hodnota je vyhovující pro aplikaci jako vodivá dráha v oděvu. Mechanická odolnost je důležitá především při šití, aby měděný drátek vydržel mechanické namáhání při tvorbě stehu. Pro mechanické vlastnosti byl měděný drátek o průměru 0,018mm vybrán pro aplikaci při dalším testování vzorků.

4.1.2. Mechanická odolnost měděného drátku při dvoj ohybu

Toto testování je důležité pro zjištění, zda měděný drátek je dostatečně odolný pro aplikaci v oděvu. Při nošení oděvu dochází k deformaci materiálu, především při ohnutí, což může mít negativní vliv na odolnost měděného drátku proti poškození. Tato zkouška je založena na principu ohýbání materiálu a počítání počtu cyklů do přerušení vodivé dráhy. Zkouška se skládá ze dvou částí. První část je odzkoušení odolnosti samotného měděného drátku, druhá část je zaměřena na odolnost měděného drátku zašitým v materiálu.

Měděný drátek byl testován na zařízení Sinus. Toto zařízení se skládá ze dvou částí a to pohonné jednotky a výkyvného ramena. Toto rameno vykonává kývavý pohyb v úhlu 180°. Bylo nastříháno 10 vzorků měděného drátku o průměru 0,018mm na délku 10cm. Na pět vzorků bylo připevněno závaží o hmotnosti 2,5g a na druhých pět bylo připevněno závaží o hmotnosti 5g. Tyto vzorky byly připevněny na kyvné rameno. Po zapnutí zařízení se počítal počet cyklů do přetržení drátku. Z naměřených hodnot se se spočítal průměr.



Obrázek č. 13 zařízení na dvoj ohyb

vzorek č.	počet cyklů (5g)	počet cyklů (2,5g)
1	87	358
2	93	361
3	96	363
4	99	370
5	100	373

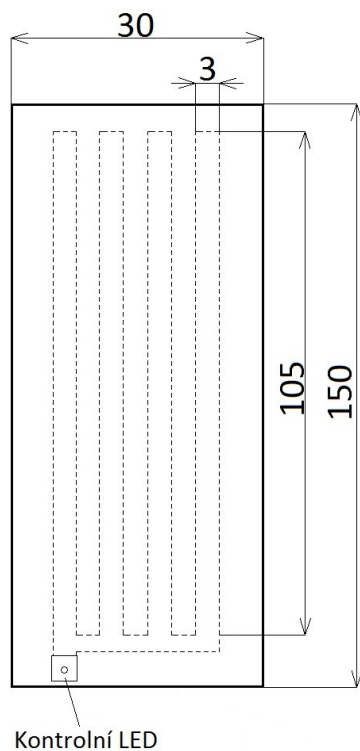
Tabulka 2 naměřené hodnoty dvoj ohybu drátku

Z naměřených hodnot vyplývá, že na pevnost měděného drátku má velký vliv jeho zatížení. Vzhledem k tomu, že oděv je zatížen převážně svou vlastní tíhou, která je minimální, lze považovat 365 cyklů za akceptovatelnou hodnotu a měděný drátek z hlediska dvojohybu vyhovuje pro aplikaci vodivé dráhy v oděvu.

Odkoušení měděného drátku na dvojohyb zašitého v materiálu probíhá podobným způsobem ale na jiném přístroji. Jako šitý materiál byly použity dvě vrstvy košiloviny. Do tohoto materiálu byly vyšity vodivé dráhy dle obr.15. Vrchní nit byla použita 100% polyesterová, místo spodní nítě byl použit měděný drátek. Celkem byly ušity čtyři zkušební vzorky. Dva vzorky byly testovány zatížením pomocí závaží o hmotnosti 35g, druhé dva vzorky byly zatíženy závažím o hmotnosti 500g. Závaží bylo připevněno ke spodní části vzorku pomocí skřípce. Vzorek byl do přístroje upevněn pomocí jehliček, které jsou umístěny v kivném ramenu. Po zapnutí stroje se počítal počet cyklů do přerušení vodivé dráhy. Přerušení vodivé dráhy bylo sledováno pomocí kontrolní LED. Výsledky jsou uvedeny v tabuce č.3.



Obrázek č. 14 zařízení pro dvoj ohyb vodivých drah



Obrázek č. 15 technický náčrt vzorku dvoj ohybu

Vzorek č.	Počet cyklů (500g)	Počet cyklů (35g)
1	452	1084
2	94	214
průměr	273	649

Tabulka 3 naměřené hodnoty dvoj ohybu všitého drátku

Z naměřených výsledků vyplývá, že měděný drátek je dostatečně odolný proti dvoj ohybu a pro aplikaci jako vodivé dráhy do oděvu je vyhovující.

4.2. Odzkoušení průstřelu pomocí palné zbraně

Tato zkouška je velmi důležitá pro zhodnocení použitelnosti celé aplikace. Výsledkem by se mělo dojít ke zjištění, zda zvolená technologie je použitelná pro finální výrobek.

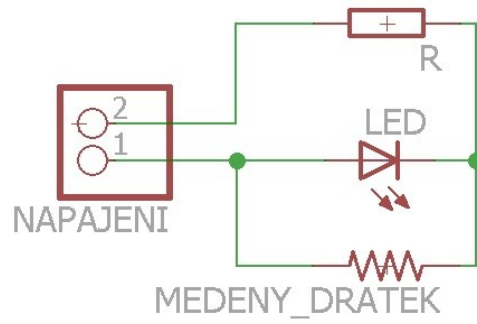
4.2.1. Příprava vzorků

Pro zkoušku průstřelu pomocí střelné zbraně bylo potřeba vyrobit pět vzorečků, do kterých se bude na střelnici střílet. Vzorky se skládají ze dvou částí a to ušití vodivých drah a vyrobení kontrolní elektroniky.

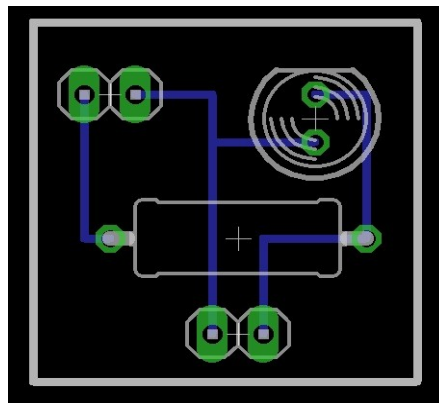
Po předpokladu, že výsledný produkt bude spodní část vrchového oděvu, byl zvolen zkušební materiál košilovina. Materiál byl nastříhán na obdélníky o rozměrech 15x30cm. Následně byly vystřižené kusy tkaniny přeloženy na polovinu, aby se vytvořila sendvičová vrstva. Následně bylo na poloautomatickém šicím stroji, který umožňuje našívání etiket nastavit počet stehů v horizontální a vertikálním směru. Díky tomuto nastavení bylo možné zajistit stejný počet stehů ve všech vyšívaných drahách a u všech vzorků. Vrchní nit byla standartní polyesterová, místo spodní nitě byl na cívku navinut měděný drátek o průměru 0,18mm. Na všech pět vzorků byla vyšita vodivá dráha podle schématu vis. obr.18. Dále bylo potřeba vytvořit kapsičky, do kterých se umístí baterie, která napájí elektronickou kontrolní část. Kapsička je zhotovena ze stejného materiálu jako zkušební vzorek. Na kapsičku byl ustřížen materiál obdélníkového tvaru o rozměrech 5,5x13,5cm. Materiál byl přeložen podélně, a to tak, aby konce byly od sebe vzdáleny 1cm. Následně byl materiál po obou stranách sešit obnitkovacím stehem. Tyto výsledné kapsičky byly přišity ke spodním částem vzorku pomocí vázaného stehu.

Signalizační elektronika se skládá z kontrolní LED, která signalizuje přerušení vodivé dráhy a rezistoru. Na obr.16 je znázorněno schéma zapojení. Elektrický odpor měděného drátku je malý oproti elektrickému odporu přechodu PN LED. Pokud měděný drátek není přerušen, protéká elektrický proud přes tento měděný drátek a LED nesvítí. Pokud je měděný drátek přerušen, začne elektrický proud procházet přes LED, která se rozsvítí. Celé zařízení je napájeno z 9V baterie. Předřadný rezistor je spočítán podle vzorce č.1. Elektronika je zhotovena na desku plošného spoje a je přistehována ke vzorku.

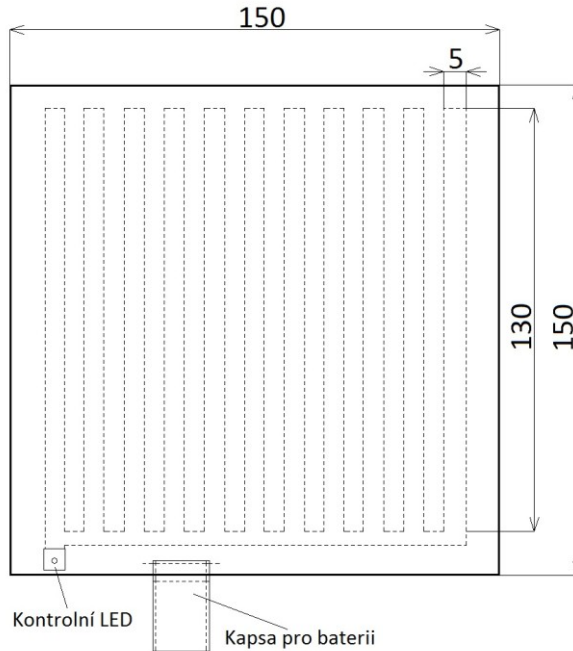
$$R = \frac{U}{I} = \frac{7}{0,02} = 350 \sim \underline{360\Omega} \quad (1)$$



Obrázek č. 16 schéma zapojení kontrolní led



Obrázek č. 17 DPS kontrolní LED



Obrázek č. 18 technický nákres zkušebního vzorku

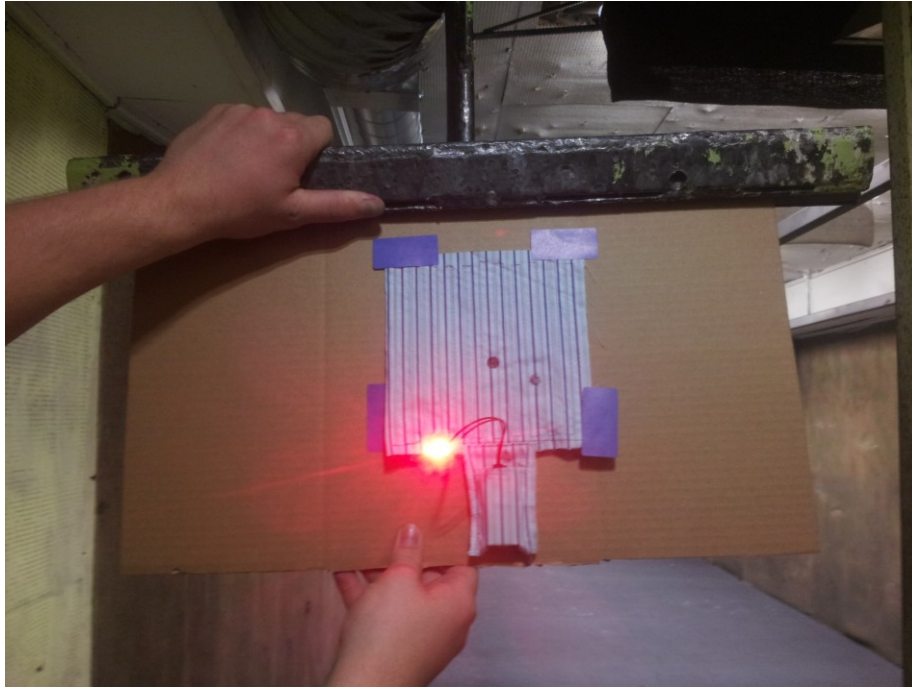
4.2.2. Zkouška průstřelem

Praktická zkouška záznamu průstřelu oděvu probíhala na střelnici Armyarms v Liberci. Veškeré zkoušky probíhaly se střelnou zbraní Glock 17 ráže 9mm. Tato ráže byla vybrána z důvodu, že většina ozbrojených složek používá standardně tuto ráži. V případě armády ČR, která používá větší ráže je zaručeno, že při přerušení vodivé dráhy ráží 9mm dojde zaručeně k přerušení i ostatních větších ráží.

Zkušební vzorek byl nalepen pomocí samolepek ke kartonové desce. Tato deska byla nutná k tomu, aby bylo možné vzorek připevnit na pojezdovou část v palném prostoru. K řídicí elektronice byla připojena 9V baterie pomocí kolíkového konektoru a baterie byla umístěna do přišité kapsičky. Výsledný vzorek byl připevněn pomocí skřipce na pojezdovou část a umístěn na vzdálenost 10m od palebné čáry. Tato vzdálenost byla záměrně zvolena kvůli velikosti vzorku, aby bylo možné zaručeně zasáhnout zkušební vzorek. Po každém výstřelu do vzorku proběhla vizuální kontrola kontrolní LED, jestli nesvítí a tím pádem nezaznamenala přerušení vodivé dráhy. Pokud nesvítila, proběhl další výstřel do vzorku. Tento postup se opakoval, dokud se kontrolní LED nerozsvítila. Po přerušení vodivé dráhy byl vzorek vyměněn za nový a pokus se opakoval. V tabulce níže jsou uvedeny počty zásahů, které byly nutné k přerušení vodivé dráhy.

Č. vzorku	Počet zásahů do přerušení vodivé dráhy
1	2
2	1
3	3
4	1
5	2

Tabulka 4 výsledky zkoušky ze střelby s roztečí 0,5mm



Obrázek č. 19 praktická zkouška vzoru ze střelnice

Z výsledků zkoušky vyplývá, že vzdálenost 0,5mm mezi vodivými drahami není vyhovující. Při experimentu u vzorků docházelo k tomu, že kulka prošla mezi vodivými drahami, materiál se roztáhl, ale vodivá dráha se nepřerušila a tím pádem nedošlo k signalizaci kontrolní LED a průstřel tím pádem nebyl zaznamenán. Pro akceptovatelnost finálního výrobku je důležité, aby záznam přerušeni vodivé dráhy byl už po prvním výstřelu, proto je nutné přepracovat vzdálenost mezi vodivými drahami a experiment opakovat.

4.3. Měření elektrické vodivosti šicích nití

Elektricky vodivé nitě jsou vhodné jako aplikace vodivé dráhy do oděvu především kvůli jejich mechanickým vlastnostem a zlepšením komfortu při nošení oproti měděnému drátku. U elektricky vodivých nití je z hlediska elektrických vlastností nejdůležitější jejich elektrická vodivost. Velmi nízká elektrická vodivost vylučuje kompatibilitu s řídicí elektronikou, tudíž by tato vodivá nit nemohla být aplikována jako vodivá dráha do oděvu.

Pro zjištění elektrické vodivosti byly zkoumány tři druhy nití s různou elektrickou vodivostí. Všechny tři nitě byly polyesterové s přidáním vodivé substance. Tento element je vodivý kov a to ve vodivé niti s označením 30A to je měď a ve vodivých nitích s označením 5 a 25I to je nerez. Rozdíl mezi vodivou nití s označením 5 a 25I je pouze v množství vodivého elementu, kde vodivá nit 5 má tohoto vodivého elementu méně. Tyto vodivé elementy jsou zapředeny do svazku s polyesterovými vlákny. Jemnost všech tří nití je stejná a to 110dtex. Na obrázcích níže jsou vyhotoveny snímky z mikroskopu jednotlivých vodivých nití. Zobrazené snímky vodivých nití jsou zvětšeny 100x.



Obrázek č. 20 elektricky vodivá nit 30A

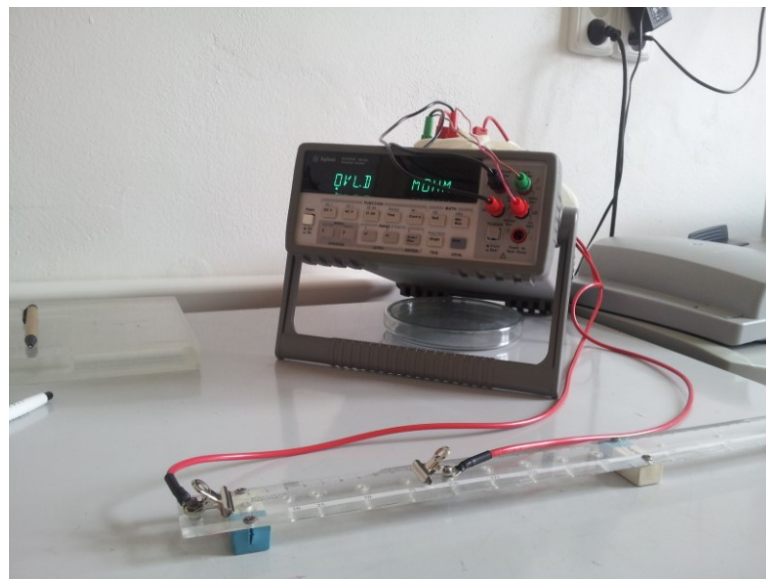


Obrázek č. 21 elektricky vodivá nit 5

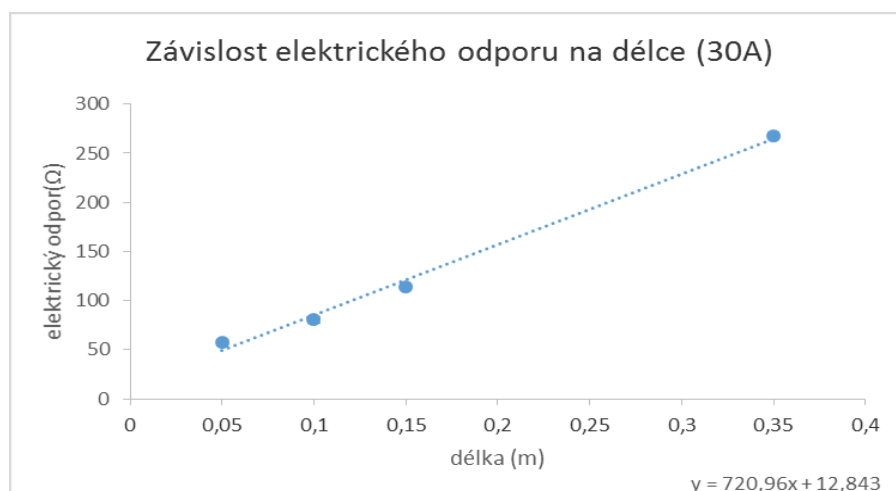


Obrázek č. 22 elektricky vodivá nit 25I

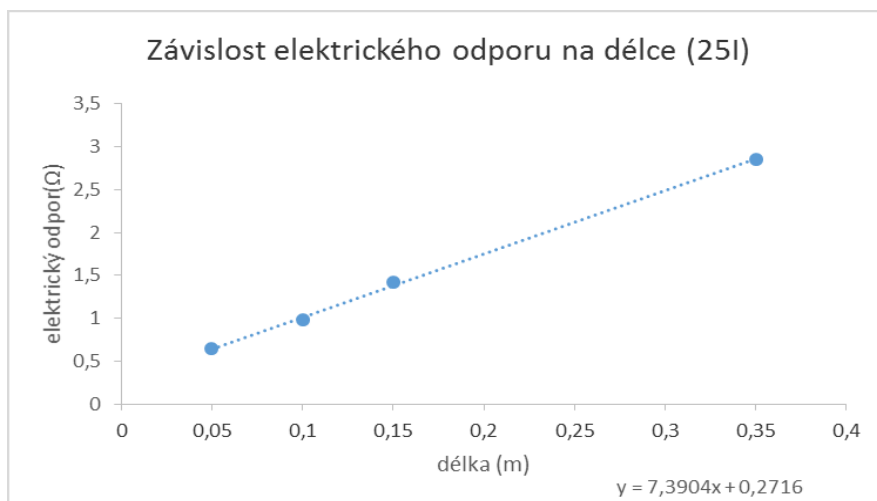
Měření probíhalo na měřícím přístroji Agilent 53131A. Vodivá nit byla upnuta do skřipců, které byly propojeny s měřícím přístrojem. Tyto skřipce bylo možné posouvat po pravítku a tím měnit vzdálenost mezi měřenými body. Každá vodivá nit byly proměřena ve vzdálenostech 5cm, 10cm, 15cm a 35cm. V příloze B je tabulka s naměřenými hodnotami. Z naměřených hodnot byly vyhotoveny grafy, které zobrazují závislost elektrického odporu na délce vodivé nitě. Okolní podmínky při měření byly následující: teplota 24°C a vlhkost 60%.



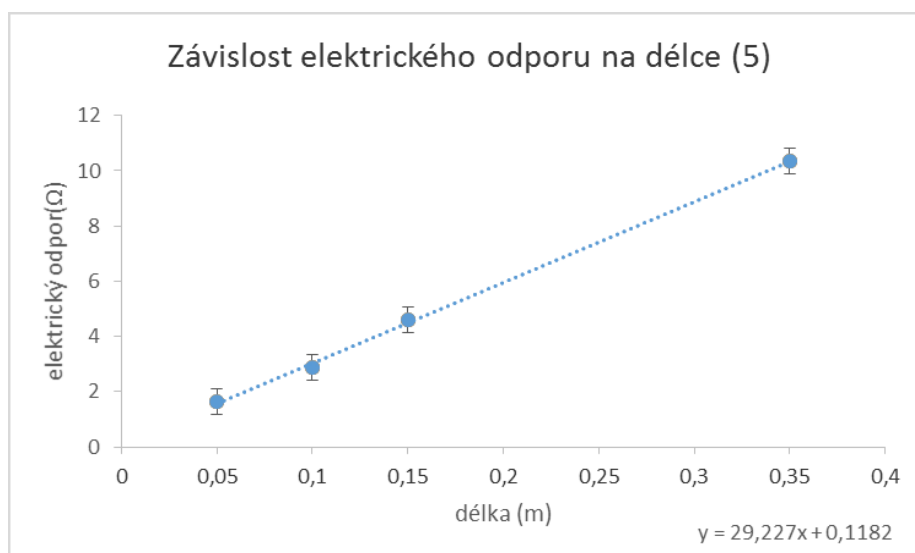
Obrázek č. 23 měřící stanoviště pro elektrickou vodivost



Graf 4 závislost elektrického odporu na délce (30A)



Graf 5 závislost elektrického odporu na délce (25I)



Graf 6 závislost elektrického odporu na délce (5)

Z výsledků měření bylo zjištěno, že vodivá nit 30A má největší elektrickou vodivost a to 721Ω/m. Tato vodivá nit je nevyhovující pro aplikaci jako vodivá dráha do oděvu. Vodivá nit 5 má elektrickou vodivost 29,2Ω/m. Ani tato vodivá nit není vyhovující jako vodivá dráha v oděvu. Vodivá nit 25I má elektrickou 7,4Ω/m. Tato vodivá nit má velmi dobré elektrické vlastnosti a proto byla vybrána k dalším testovacím zkouškám. Pro aplikaci vodivé dráhy v oděvu je z hlediska elektrických vlastností tato vodivá nit vyhovující.

4.4. Odzkoušení nových vzorků průstřelu pomocí palné zbraně

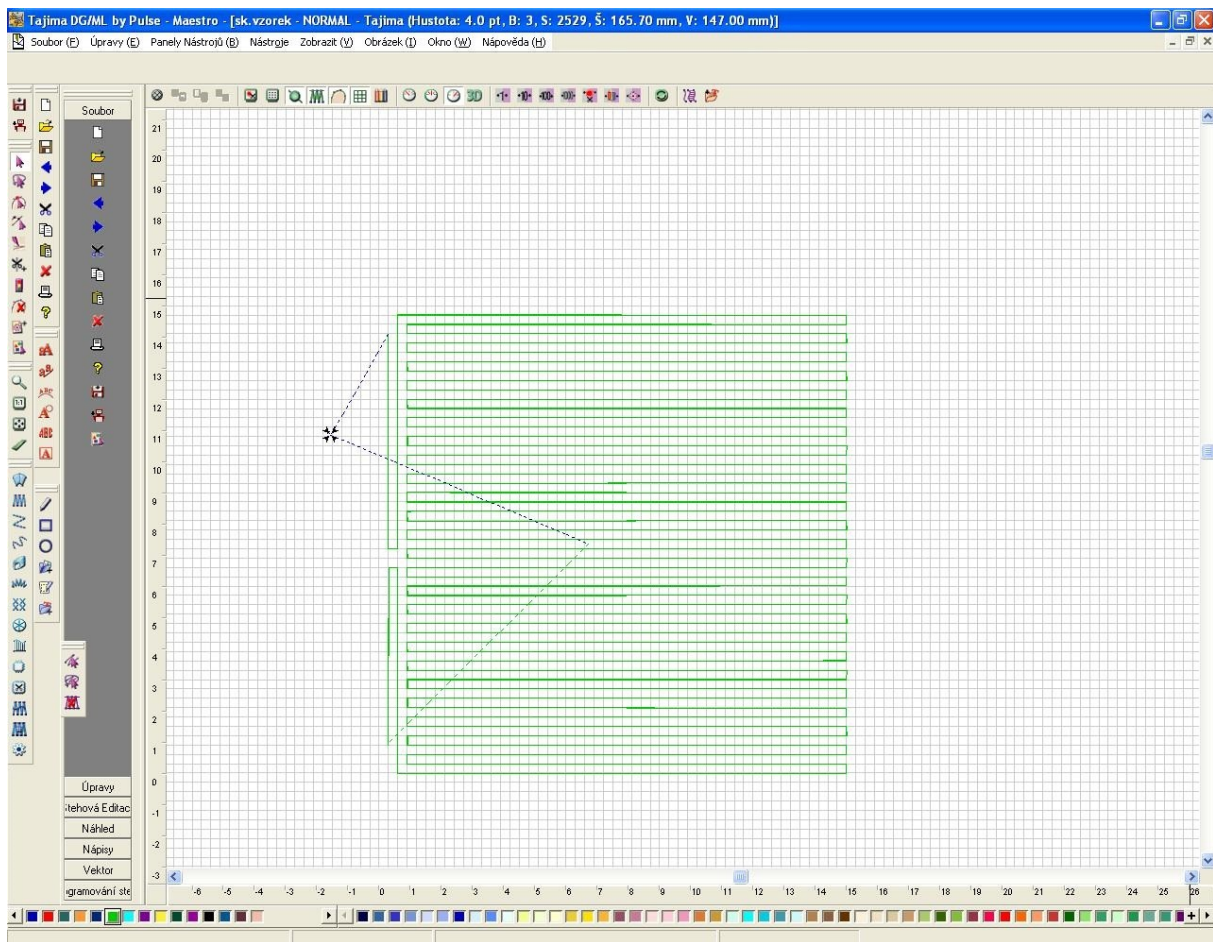
Po předchozím testování bylo zjištěno, že vodivé dráhy jsou příliš vzdáleny od sebe. U nových vzorků byla stanovena vzdálenost mezi vodivými drahami na 3mm. Byly testovány dva druhy vzorků, první s aplikací měděného drátku a druhé s aplikací elektricky vodivé nitě.

4.4.1. Příprava vzorků

Výroba zkušebních vzorků se technologicky lišila od vzorků předchozích. Tyto vzorky byly zhotovovány na vyšívacím stroji Tajima TEC-C. Tato technologie byla zvolena především díky přesnosti vyšívacího stroje. Vyšívací stroj má posun materiálu pomocí krokových motorů, čímž lze zajistit, aby vodivé dráhy byly vyšity na vzorek vodorovně vedle sebe a všechny byly ve stejné vzdálenosti od sebe. Druhým aspektem zvolení této technologie byla vyšší rychlost vyšití vodivých drah oproti standartnímu šití na šicím stroji.

Materiál, na který se vyšívaly vodivé dráhy byl změněn z košiloviny na zátažnou pleteninu. K záměně došlo z důvodu, že finální výrobek je vojenské triko, které je zhotoveno ze zátažné pleteniny. Díky této záměně je zaručena dobrá shoda výsledku průstřelu zkušebního vzorku a finálního výrobku. Protože je pletenina elastický materiál vůči košilovině, která je tkaná, byla vložena na rubní stranu vzorku netkaná výztužná textilie, která zpevní materiál při vyšívání a nedochází k deformaci stehu. Velikost zkušebního vzorku zůstala zachována, jen se zmenšily vzdálenosti mezi vodivými drahami z 5mm na 3mm. Vzhledem k tomu, že jsou použity dvě různé technologie vodivých drah, musela se použít nová kontrolní elektronika, která byla umístěna na střed dolního okraje vzorku a byla připevněna pomocí velcro pásky. Při vyšívání byly konce vodivých drah vyšity delší, než ke kontrolní desce. Tyto vodivé dráhy byly následně vypárány, aby vodivé konce dosáhly až ke konektoru, který je umístěn na desce kontrolní elektroniky. Jako vrchní nit byla použita vyšívací 100% polyester, jako spodní nit byl použit měděný drátek a elektricky vodivá nit.

Vyšívka byla vyhotovena v programu Tajima DG/ML. Vodivé dráhy ve vyšívce byly naprogramovány jako rovný vázaný steh. Program byl nahrán na disketu 3,5“ a následně nahrán do vyšívacího stroje. V příloze na CD, je uložen soubor na vyšití zkušebního vzorku pod názvem sk.vzorek.pxf.



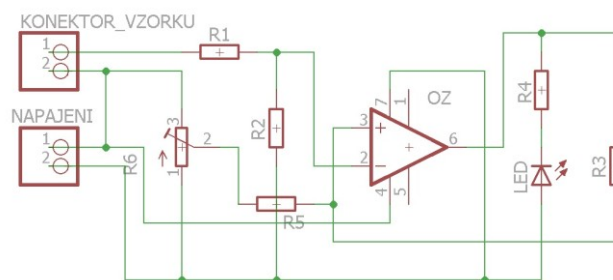
Obrázek č. 24 program výšivky vzorků

4.4.2. Kontrolní elektronika nových vzorků

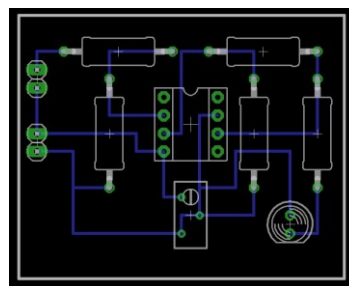
Vzhledem k tomu, že elektricky vodivá nit má vyšší elektrický odpor oproti měděnému drátku, který ho má zanedbatelný, původní kontrolní elektronika by nefungovala při záznamu průstřelu vzorku právě s elektricky vodivou nití. Bylo nutné vyvinout novou kontrolní elektroniku, která by fungovala na oba typy vzorků. Nejednodušší řešení bylo použít operačního zesilovače, u kterého se dá nastavovat difference mezi jeho vstupy a tím lze jednoduše programovat vstupní impedanci zkušebních vzorků.

Na obrázku níže je uvedeno schéma zapojení. Celé zapojení je koncipováno jako neinvertující zesilovač. Operační zesilovač byl vzhledem napájecímu napětí, které je 9V vybrán UA741CP, který je dimenzován na toto napětí. Pouzdro zesilovače bylo zvoleno 8P/DIP. Rezistory R_1 a R_2 tvoří na neinvertujícím vstupu operačního zesilovače odporový dělič, jejich hodnota vzhledem k impedanci zkušebních vzorku byla stanovena na hodnotu 510Ω . Protože je napájecí napětí 9V a dioda červené barvy má vstupní napětí pouze v rozmezí 1,6-2V do série s LED vložen předřadný odpor o hodnotě 470Ω . Rezistor R_3 tvoří

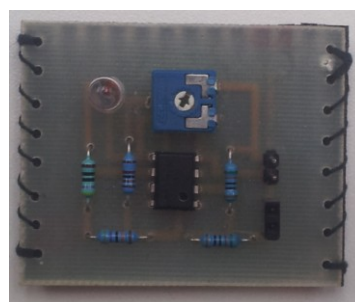
zpětnou vazbu operačního zesilovače. Pomocí potenciometru R_6 o jmenovité hodnotě $270\text{k}\Omega$ je nastavována diference mezi vstupy operačního zesilovače. Při připojení zkušební vzorku ke konektoru na desce vznikne na invertujícím vstupu záporný potenciál. Na výstupu operačního zesilovače je přivedeno záporné napětí. Kontrolní LED má na pinech kladný a záporný potenciál a LED svítí. Pomocí potenciometru se nastavuje napětí na neinvertujícím vstupu až do té doby, dokud se oba potenciály nevyrovnají na stejnou úroveň. Při nastavení této hodnoty se na výstupu operačního zesilovače objeví kladný potenciál. LED má na obou pinech kladný potenciál a tím pádem LED nesvítí. Po přerušení vodivé dráhy se změní impedance na invertujícím vstupu na nekonečno, změní se diference mezi vstupy operačního zesilovače, která už není nulová a na výstupu zesilovače se objeví záporné napětí a LED svítí. Díky této elektronice lze jednoduše sledovat přerušení vodivé dráhy jak u měděného drátku tak u elektricky vodivé nitě.[34]



Obrázek č. 25 schéma zapojení kontrolní elektroniky



Obrázek č. 26 DPS kontrolní elektroniky



Obrázek č. 27 Kontrolní elektronika

4.4.3. Nová zkouška průstřelu pomocí palné zbraně

Praktická zkouška průstřelu pomocí palné zbraně byla provedena na stejné střelnici a se stejnou palnou zbraní. Bylo odzkoušeno deset vzorků, do pěti byla vyšita vodivá dráha s měděným drátkem, do zbylých pěti byla vyšita vodivá dráha s elektricky vodivou nití. Celý průběh zkoušky byl zaznamenán na videokameru a záznam z této zkoušky je nahrán na přiloženém CD této diplomové práce.

Nejprve byly testovány vzorky s měděným drátkem. Vzorky byly připevněny na kartonovou desku pomocí samolepek. Na zkušební vzorek se pomocí velcro pásky připevnila kontrolní elektronika. Do přišívané kapsičky ke vzorku byla vložena 9V baterie, která se pomocí vodičů připojila k zobrazovací elektronice pomocí kolíkové lišty. Na zbylé dvě kolíkové lišty se připojily konce vodivé dráhy, které byly taktéž opatřeny kolíkovou lištou. Pomocí potenciometru se nastavila hodnota, aby LED nesvítila. Takto připravený vzorek byl umístěn na pojezdové rameno a umístěn 10m ve vzdálenosti od palebné čáry. Střelba do vzorku se opakovala tolikrát, dokud nebyla přerušena vodivá dráha a kontrolní LED se nerozsvítila. Testování vzorků s elektricky vodivou nití probíhalo stejně. Počet zásahů do přerušení byl zaznamenán do tabulky, která je uvedena níže.



Obrázek č. 28 prostřelený vzorek s měděným drátkem



Obrázek č. 29 prostřelený vzorek s vodivou nití

Č. vzorku	Počet zásahů do přerušení dráhy (měděný drátek)	Počet zásahů do přerušení dráhy (elektricky vodivá nit)
1	1	1
2	1	1
3	1	1
4	1	1
5	1	1

Tabulka 5 Výsledek zkoušky průstřelu vzorku s roztečí 3mm

Z praktické zkoušky vyplynulo, že rozteč mezi vodivými dráhami ve vzdálenosti 3mm je vyhovující. Tato zkouška prokázala, že aplikace takto zabudovaných vodivých drah pro záznam průstřelu oděvu je plně spolehlivá a lze tvrdit, že při každém zásahu jak palnou či bodnou zbraní bude tento záznam vždy zaznamenán.

4.5. Zkouška praktické údržby

Možnost údržby oděvu je důležitý parametr při praktickém užívání. Finální výrobek je určen především pro ozbrojené složky, jako je armáda ČR a speciální jednotky policie ČR. Při vykonávání těchto povolání dochází k vysoké fyzické námaze při niž dochází k nadměrné tvorbě potu, který se vsákne do oděvu. U armády ČR navíc dochází k nadměrnému zašpinění oděvu vlivem prostředí, kde povolání své vykonávají. Proto možnost údržby výrobku je velmi důležitá pro možnost opakovaného nošení.

Elektronické systémy zpravidla nevydrží nadměrné mechanické namáhání vlivem pracího procesu a dále velmi špatně snáší působení vody a pracích prostředků, při niž dochází k oxidaci na elektronických součástkách. Proto má zabudovaná elektronika propojovací konektor mezi deskou plošného spoje a vodivými drahami pro možnost odpojení a vyjmutí z oděvu a tím pádem možnost údržby samotného oděvu.

Praktickou zkoušku je nutné odzkoušet. Při praktických zkouškách byly testovány dvě technologie. První s aplikací měděného drátku jako vodivé dráhy a druhá aplikace elektricky vodivé nitě jako vodivé dráhy. Pro zkoušení byl zakoupena zátěžná pletenina, se složením 100% bavlna, která byla stejná, jako finální výrobek. Tento materiál byl nastříhán na deset vzorků o rozměrech 250x250mm. Před samotným vyšitím vodivé dráhy je nutno materiál rozměrově stabilizovat, proto byly vzorky vyprány v bubnové pračce. Parametry při praní byly následující: teplota praní 40°C, otáčky bubnu 800 otáček/min a délka pracího cyklu 45min. Po praní byly vzorky usušeny. Následně byla do pěti vzorků vyšita vodivá dráha vodivá dráha s aplikací měděného drátku, který byl použit jako spodní nit. Do zbylých pěti vzorků byla vyšita vodivá dráha pomocí elektricky vodivé nitě. Tato nit byla taktéž použita jako spodní. Jako vrchní nit byla použita v obou případech standardní vyšivací 100% polyesterová. Poté byla u všech vzorků zkontrolována průchodnost vodivých drah pomocí ohmmetru. Po odečtení hodnot ze symbolů údržby z finálního výrobku byla zvolena teplota praní 60°C. Otáčky pracího bubnu i délka cyklu praní byla zachována s předešlými hodnotami při praní vzorků. Jako čisticí médium byl zvolen práškový prací prášek.

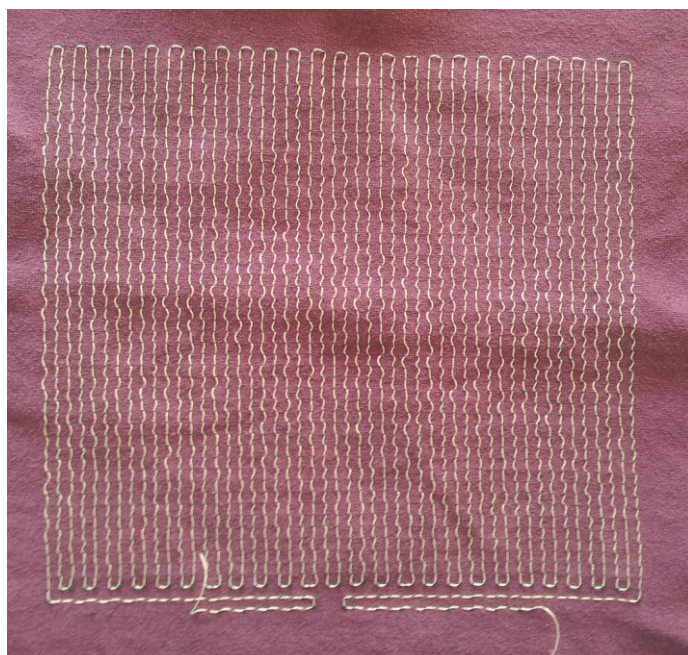
Bylo provedeno pět cyklů praní. Po každém cyklu byly vzorky usušeny a proměřena elektrická průchodnost vodivých drah. U vzorku s elektricky vodivou nití byla proměřena navíc elektrická vodivost, jestli vlivem praní nedochází k její změně.

Cyklus praní	Vzorek č.	Přerušení měděného drátku	Přerušení elektrické vodivé nitě	Vodivost elektricky vodivé nitě
1	1	Nepřerušeno	Nepřerušeno	61Ω
	2	Nepřerušeno	Nepřerušeno	71,5Ω
	3	Přerušeno	Nepřerušeno	80,3Ω
	4	Nepřerušeno	Nepřerušeno	68Ω
	5	Nepřerušeno	Nepřerušeno	79,6Ω
2	1	Nepřerušeno	Nepřerušeno	63,2Ω
	2	Nepřerušeno	Nepřerušeno	73Ω
	3	-	Nepřerušeno	78,4Ω
	4	Přerušeno	Nepřerušeno	65,6Ω
	5	Přerušeno	Nepřerušeno	81,2Ω
3	1	Přerušeno	Nepřerušeno	60,3Ω
	2	Přerušeno	Nepřerušeno	71Ω
	3	-	Nepřerušeno	88,7Ω
	4	-	Nepřerušeno	67,2Ω
	5	-	Nepřerušeno	77Ω
4	1	-	Nepřerušeno	58,5Ω
	2	-	Nepřerušeno	74,1Ω
	3	-	Nepřerušeno	77,2Ω
	4	-	Nepřerušeno	63,9Ω
	5	-	Nepřerušeno	82,6Ω
5	1	-	Nepřerušeno	62,9Ω
	2	-	Nepřerušeno	75Ω
	3	-	Nepřerušeno	82,8Ω
	4	-	Nepřerušeno	66,3Ω
	5	-	Nepřerušeno	83,4Ω

Tabulka 6 výsledky po pracích cyklech



Obrázek č. 30 vzorek po prání měděný drátek



Obrázek č. 31 vzorek po prání- vodivá nit

Po pracích cyklech se došlo k závěru, že měděný drátek není vhodný pro aplikaci vodivé dráhy v oděvu, protože většina vzorků vydržela pouze dva maximálně tři cykly praní. U elektricky vodivé nitě nedošlo k přerušení vodivé dráhy a zároveň se nezměnil její elektrický odpor. Elektricky vodivá nit je vyhovující jako vodivá dráha do oděvu.

4.6. Vybrání zvolené technologie

Byly odzkoušeny dva druhy technologie vodivé dráhy a to použití měděného drátku a elektricky vodivé nitě. U měděného drátku vzhledem k vlastnostem materiálu byly odzkoušeny mechanické vlastnosti a to pevnost a tažnost, dále odolnost vůči cyklickému ohýbání samotného materiálu a cyklické namáhání měděného drátku zašitého do plošné textilie. Měděný drátek se po testování ukázal jako vhodný pro možnost aplikace vodivé dráhy v oděvu. U elektricky vodivé nitě byly zjišťovány její elektrické vlastnosti, a to její elektrická vodivost. Po proměření elektrické vodivosti se došlo k závěru, že elektricky vodivá nit z elektrických vlastností vyhovuje. Nejdůležitější zkouškou celé aplikace je praktické odzkoušení přerušení vodivé dráhy pomocí palné zbraně. Po tomto testování obě aplikace vyhovovaly kritériím testování.

Bylo nutné rozhodnout, kterou technologii zvolit pro implementaci do finálního výrobku. Při testování údržby se zjistilo, že měděný drátek nevydrží mnoho cyklů praní, tím pádem se pro finální výrobek stává nevyhovujícím. Proto se jako vhodná aplikace vodivé dráhy do oděvu zvolila elektricky vodivá nit. Jednou z důležitých vlastností tohoto oděvu je komfort nošení. Při vyšití zkušebního vzorku do trika se došlo k zjištění, že výrobek je vzhledem množství vyšitých vodivých drah velice tuhý, a při mechanické deformaci oděvu, tento oděv zůstává v tomto stavu, oproti elektricky vodivým nitím, kde při této zkoušce se oděv vrátil téměř do původního stavu. V poslední řadě docházelo při oblečení trika s vyšitým měděným drátkem k nepříjemnému škrábání na pokožce, a to i přes to, že přes vodivé dráhy byla nalepena podšívka, která měla této nepříjemný efekt eliminovat.

4.7. Zhotovení vodivých drah v triku

Pro aplikaci vodivých drah pro záznam průstřelu oděvu byla zvolena spodní část vrchového oděvu a to vojenské tričko, které používá armáda ČR. Tričko bylo zvoleno, protože ozbrojené složky, které používají neprůstřelné vesty, tím pádem, kdyby aplikace byla zvolena do jiné části oděvu, nebylo by zaručeno, že kulka prošla do těla monitorované osoby.

4.7.1. Vojenské triko

Vojenské triko, vyrobené firmou Jitex bylo zakoupeno army shopu na rybníčku v Liberci. Velikost byla zvolena 88-92. Toto triko je zhotovené z jedolící hladké zátažné pleteniny s materiálovým složením 100% bavlna. Níže jsou uvedeny symboly údržby, které jsou uvedeny na etiketě trika.



Obrázek č. 32 symboly údržby. Převezato z[35]

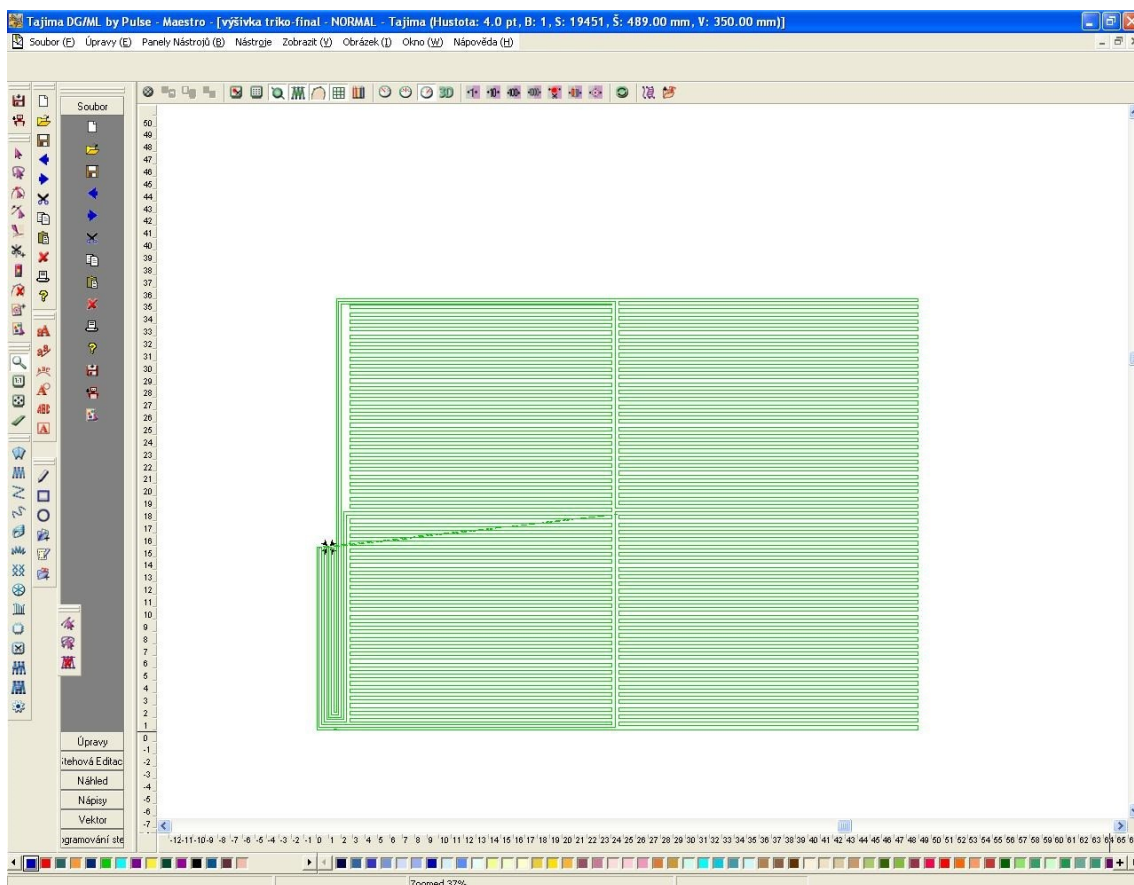
U tohoto trika bylo nutné provést fixaci před samotným vyšitím vodivých drah. Tato operace je důležitá především kvůli údržbě výrobku, pokud by výrobek nebyl teplotně stabilizován a byly do něj vyšity vodivé dráhy, při následné údržbě by došlo ke srážení výrobku a tím i deformaci těchto vodivých drah, které by přestali plnit svou funkci. Tričko bylo vypráno v bubnové pračce. Parametry praní byly následující: teplota praní 60°C, rychlost otáčení bubnu 800 otáček/min a délka pracího cyklu 45min. Prací prášek byl použit práškový. Po vyprání výrobku došlo k jeho usušení a následném vyžehlení pomocí ruční žehličky.

Aby bylo možné triko upnout do vyšívacího rámu stroje, bylo nutné triko rozčlenit na díly, které lze do tohoto rámu upnout. Tričko bylo obráceno na rubní stranu a byly vypárány oba boční švy a oba rukávové švy. Díky této operaci se získalo oddělení předního a zadního dílu, které už bylo možné upnout do vyšívacího rámu.

4.7.2. Vytvoření a rozdělení výšivky

Výšivka byla naprogramována v programu Tajima DG/ML. Velikost výšivky byla koncipována k velikosti vyšivacího rámu. Velikost vyšivacího rámu je 53x35cm. Vzhledem k bezpečnosti vyšití, aby přítlačná patka nenarazila do vyšivacího rámu, byla stanovena velikost maximální velikost výšivky 52x34cm. Vodivé dráhy byly rozděleny do sekcí, kde každá sekce monitoruje životně důležité části lidského těla. Rozdělení sekcí se na předním a zadním dílu lišilo. Na předním dílu byla výšivka rozdělena do čtyř sekcí. Vrchní pravá sekce monitoruje zásah v oblasti srdce a levé plíce. Vrchní levá sekce monitoruje stav v oblasti pravé plíce. Dolní pravá sekce sleduje záznam průstřelu v oblasti žaludku, slinivky a dutiny břišní. Dolní levá sekce kontroluje průstřel v oblasti jater a také dutiny břišní. Díky velikosti výšivky je pokryta monitorovací oblast všech důležitých orgánů lidského těla. Na zadním dílu je výšivka rozdělena pouze do dvou sekcí. Tyto sekce mají dvojí význam. První je kontrola zásahu palnou zbraní zezadu, druhá je kontrola, jestli kulka, která zasáhla dotyčnou osobu prošla zepředu skrz celé tělo, nebo zůstala v těle postiženého. Horní část výšivky monitoruje oblast srdce a plic, dolní část výšivky sleduje průstřel v oblasti ledvin a dutiny břišní. Všechny konce eklekticky vodivých nití, které vedou ze sekcí jsou přivedeny do jednoho místa kvůli možnosti snadného propojení s řídicí elektronikou. Sběrný bod je umístěn v pravé dolní části předního dílu a v levé dolní části u dílu zadního. Zrcadlové umístění sběrných bodů je záměrné z důvodu svedení všech vodivých drah do jednoho místa.

Pro vyšití vodivých drah byl použit rovný vázaný steh s počtem 4stehů/1cm. Vrchní nit byla vybrána vyšivací 100% polyesterová. Barva vrchní nitě byla záměrně vybrána zelená olivová, aby byla co nejvíce podobná materiálu, ze které je vojenské triko zhotovené. Jako spodní nit byla použita elektricky vodivá nit. Naprogramovaný postup vyšití sekcí byl vzhledem ke sběrnému bodu následující: u předního dílu je nejprve vyšita pravá horní sekce, následně pravá dolní sekce, po ní následuje levá dolní sekce a nakonec levá horní. U zadního dílu je nejprve vyšita horní sekce a následně po ní dolní sekce. Tento postup byl zvolen z důvodu, aby se elektricky vodivé nitě nekřížily ve sběrném bodu a nedocházelo tak k vzájemnému propojení sekcí. Před každým vyšitím vodivé cesty byla dráha této cesty prodloužena v dolním kraji o vzdálenost 10cm. Po vyšití této vzdálenosti bylo nastaveno zapoštění v počtu dvou stehů, aby nedocházelo k páráni vodivé dráhy. V příloženém CD jsou připojeny dva soubory, kde je naprogramovaná výšivka pro přední díl a zadní díl. Pro přední díl je to výšivka PD.pxf a pro zadní díl výšivka ZD.pxf.



Obrázek č. 33 program na vyšítí vodivých drah do oděvu

4.7.3. Vyšítí vodivých drah na vyšívacím stroji

Vyšívání probíhalo na vyšívacím stroji Tajima TEC-C. Protože je triko zhotovené z pleteniny, která je pružná a výsledná vyšívací plocha velká, bylo nutné před vyšíváním materiál zpevnit. Materiál byl zpevněn jak z lící tak z rubní strany výztužnými materiály. Na rubní stranu byla použita netkaná textilie o plošné hmotnosti 40g/m^2 . Na lící stranu byla použita silná folie Aquina s tloušťkou $90\mu\text{m}$ a plošnou hmotností 300g/m^2 . Oba výztužné materiály jsou rozpustné ve vodě a proto je lze po vyšítí jednoduše odstranit.

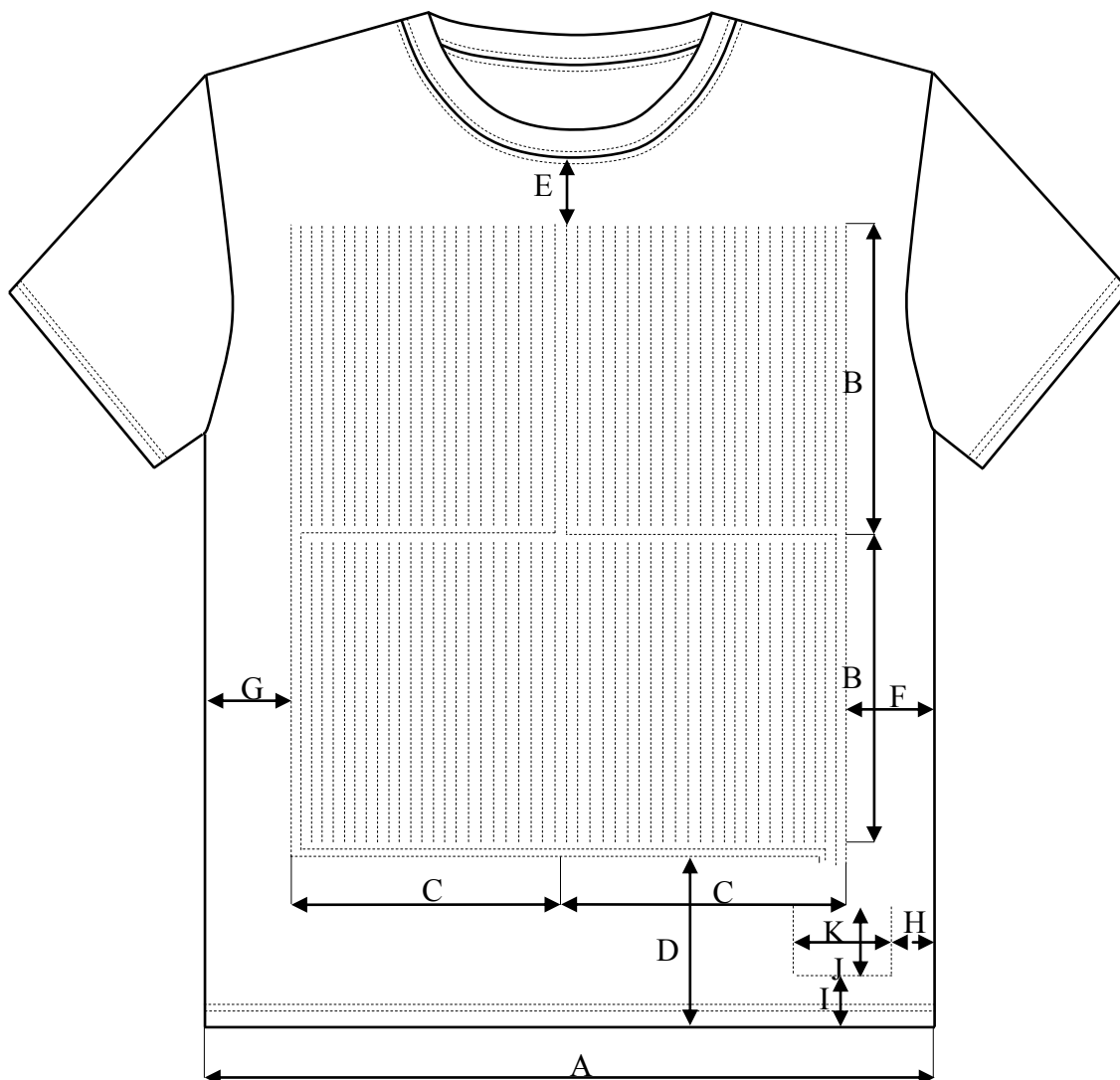
Do hliníkového vyšívacího rámu se vložila netkaná textilie, na ní byl vložen přední díl trika a následně byla vložena folie. Výsledná sendvičová vrstva byla postupně upínána do rámu, aby byl materiál ve všech místech dostatečně napnutý. Vzhledem k veliké ploše kontrolních sekcí a tím i spojená velká spotřeba elektricky vodivé nitě, bylo nutné po vyšítí dvou sekcí stroj pozastavit a vyměnit zásobu spodní nitě. Velmi důležitým faktorem je, aby nedošlo během vyšívání sekcí k přetrhu nitě, proto byly otáčky stroje nastaveny na 200 otáček/min. Po vyšítí předního dílu, se triko vyjmulo z rámu, vložil se zadní díl a proces se opakoval.



Obrázek č. 34 Vyšívání vodivých drah

Následně bylo triko vypráno v bubnové pračce, aby se vypraly výztužné materiály. Po praní se triko usušilo a ruční žehličkou vyžehlilo. U konců elektricky vodivých drah se z rubní strany na přední díl přišila nakládaná kapsa, do které se vloží kontrolní elektronika. Kapsa je přišita k oděvu dvounitným vázaným stehem. Rozměr kapsy odpovídá velikosti kontrolní elektroniky. Velikost plošného spoje je 75x50mm. Na závěr bylo nutné opět triko sešít. Při vyšívání došlo k malé deformaci materiálu, čímž došlo k deformaci dolního kraje oděvu. Dolní okraj je zpracován spodem krycím stehem. Tento steh musel být vypárán, a dolní okraj byl zastřižen. Boční a rukávové švy byly sešity třínitným obnitkovacím stehem. Na konec na dolním kraji byla vytvořena švová záložka a následně spodní okraj byl zašit stehem třídy 600 spodem krycí. Z rubní strany pro zvýšení komfortu nošení byla přes vodivé dráhy aplikována lepkavá podšívka. Podšívka byla vyříznuta o 1cm větší na každé straně, než je rozměr výšivky na laseru, aby nedocházelo k třepení konců. V polepovacím lisu při teplotě 130°C, tlaku 4kPa a času 25s byla podšívka přilepena k rubní straně výšivky.

4.7.4. Rozměrová analýza hotového výrobku



Rozměr	Hodnota (cm)
A	48
B	23,5
C	17
D	15
E	3,5
F	7,5
G	6,5
H	2
I	3
J	5,5
K	7,5

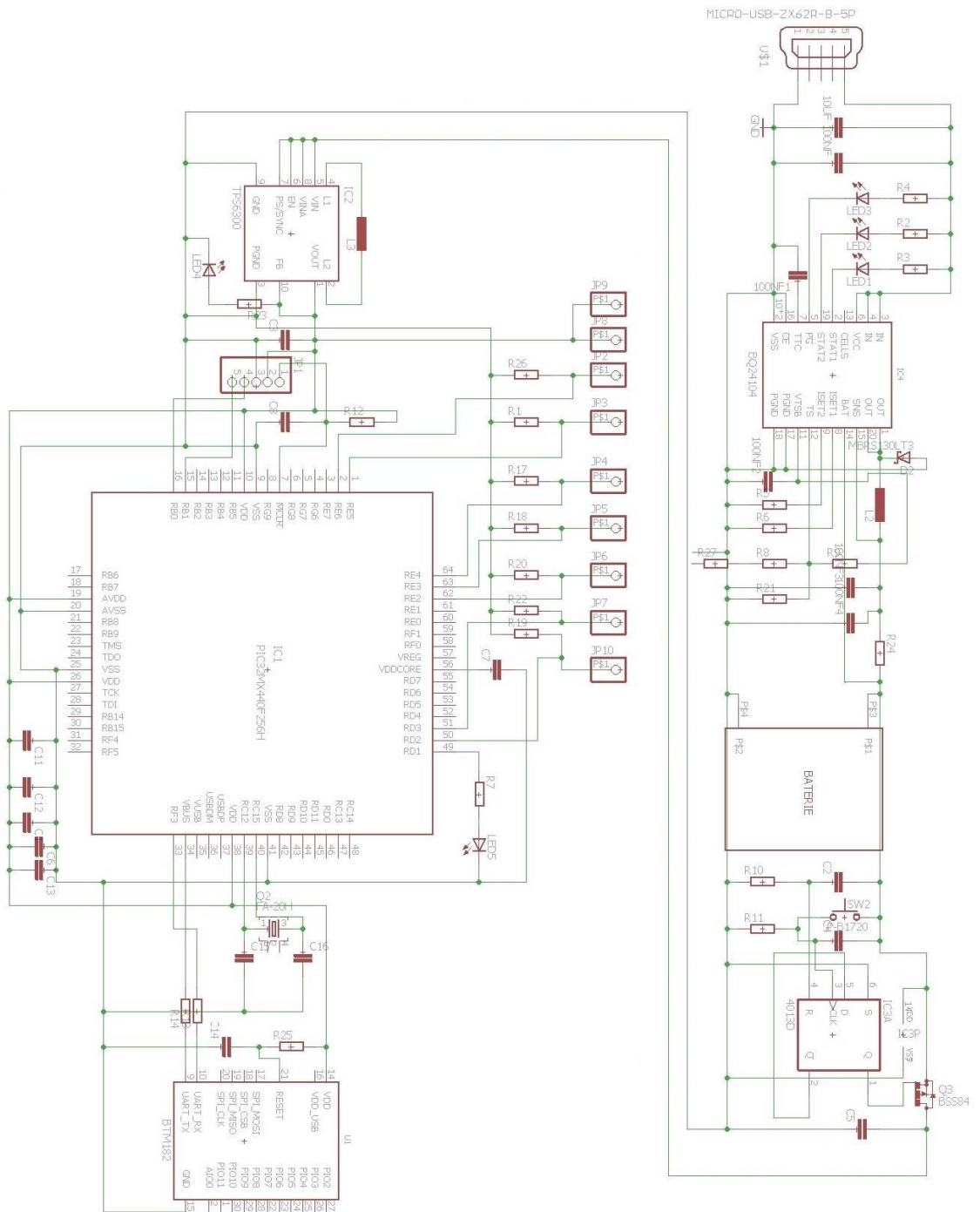
Tabulka 7 rozměry hotového výrobku

4.8. Řídící elektronika

Řídící elektronika byla vyvíjena konkrétně pro tuto aplikaci, tím pádem ji nelze použít do jiného typu výrobku. Bylo nutné vyvinout elektroniku, která bude fungovat jako jednotný celek a bude implementována na jednu desku plošného spoje. Při vývoji desky bylo přihlédnuto k rozměrům desky a s tím souvislost velikosti elektronických součástek, aby bylo možné desku jednoduše vložit do oděvu a aby elektronika nevadila při nošení tohoto oděvu. Důraz byl kladen také na mechanickou a vodě odolnou odolnost výrobku, protože výsledný produkt je vyvíjen pro ozbrojené složky.

Výsledný produkt sestává z několika sekcí. Tyto sekce jsou vzájemně propojeny a tvoří výsledný produkt. Sekce lze rozdělit do pěti sekcí. Každá sekce má jinou funkci. První sekce se stará o kontrolu baterie, druhá ovládá přívod elektrické energie do zbylé části systému, třetí řídí a udržuje stabilní napětí ve zbytku systému čtvrtá kontroluje stav přerušování vodivých drah a posílá vyhodnocená data dál a pátá sekce přijímá vyhodnocená data a posílá bezdrátově naměřená data do externích zařízení. Kompletní elektronika byla vyvíjena v programu Eagle 7.4.0. V tomto programu bylo zhotoveno schéma zapojení a návrh desky plošného spoje. V důsledku velikosti zvolených elektronických součástek nebylo možné desku plošného spoje vyrobit pomocí osvitů díky světlu UV. Výsledná deska byla vyrobena průmyslově firmou Pragoboard. V příloze na CD jsou uloženy soubory z programu Eagle. Tyto soubory obsahují schéma zapojení, návrh desky plošného spoje a tzv. gerber data, která obsahují zdrojový kód pro CNC stroje. Veškeré elektronické součástky, s výjimkou kontrolního čipu nabíjení baterie, který byl zakoupen ve firmě Mouser, byly součástky pořízeny ve firmě TME electronic component.

4.8.1. Schéma zapojení



4.8.2. Princip činnosti

Kontrolér nabíjení baterie

Aby bylo možné nabíjet baterii, která je implementována v zařízení, a nemusel se používat externí adaptér, byl na desku plošného spoje umístěn integrovaný obvod BQ21104 od firmy Texas Instruments, který řídí celý nabíjecí cyklus baterie. Tento integrovaný obvod byl záměrně vybrán, protože použitá baterie je typu Li-Ion. Tento obvod umí nabíjet baterie Li-Ion a Li-polymer a to jak jedno článkové, tak dvoučlánkové. Typ pouzdra tohoto čipu je VQFN(20), který svými rozměry 3,5x4,5mm lze dobře implementovat na desku plošného spoje a tím zmenšit výslednou velikost desky. Tento čip je plně automaticky, nemusí se programovat, a hlídá veškeré parametry při nabíjení. Čip kontroluje, jestli je připojená baterie, hlídá nabíjecí čas, který je nastaven ve vnitřním časovači. Maximální doba nabíjecího cyklu je 5 hodin. Tato funkce je velmi důležitá při defektu na baterii, pokud baterie není plně funkční a nelze ji nabít na plnou kapacitu, čip zastaví po nastaveném čase cyklus nabíjení a pomocí signalizačních LED zobrazí defektní stav. Dále je v čipu kontrolní obvod, jestli baterie není ve zkratu, jestli ano, zastaví okamžitě cyklus nabíjení. Na výstupu čipu je PWM obvod, který řídí nabíjecí proud baterie. Nabíjecí proud také ovlivňuje teplota baterie při nabíjení. Pokud by se baterie příliš zahřívala, tak díky z hodnoty termistoru se nabíjecí proud sníží. Teplota je snímána v rozmezí 0°C do 45°C teploty baterie. Po ukončení nabíjecího cyklu, obvod automaticky přejde do tzv. spacího módu. Vstupní napětí na čipu lze použít v rozmezí 4,35V až 16V. Teplotní závislost pro spolehlivý chod čipu je v rozmezí od -40°C do 125°C. Výstupní nabíjecí napětí je pro jeden článek 4,2V a pro dvou článků 8,4V. Spotřeba elektrického proudu při spacím módu je pouhých 3,5μA. Výstupní nabíjecí proud lze pomocí indukční cívky, kondenzátoru a měřicího rezistoru měnit od 0,5A do 2A. Změnou elektrického lze ovlivnit rychlost nabíjení baterie.[36]

Nabíjecí proud	0,5A	1A	2A
Výstupní cívka	22μH	10μH	4,7μH
Výstupní kondenzátor	4,7μF	10μF	22μF
Měřicí rezistor	0,2Ω	0,1Ω	0,05Ω

Tabulka 8 parametry součástek kontroléru nabíjení. Převzato z[37]

Elektrické zapojení bylo koncipováno pro nabíjení jedno článkové Li-Lon baterie. Pro připojení externího napájení byl zvolen vzhledem ke standardizaci napájecích konektorů v elektronických zařízeních konektor micro USB. Konektor byl k možnosti jednoduchému připojení přívodního napájecího kabelu umístěn na horní levý kraj desky. Za konektorem jsou umístěny kondenzátory pro stabilizaci při kolísání napětí a filtrování rušivých kmitů. Kondenzátory mají kapacitu $10\mu\text{F}$ pro stabilizaci napětí a 100nF pro filtrování kmitů. Pro možnost nabíjení baterie z počítače, kde jsou nastaveny maximální proudové hodnoty $0,5\text{A}$ na USB konektor, byly hodnoty elektronických součástek na výstupu koncipovány tak, aby nabíjecí proud byl $0,5\text{A}$. Cívku L2 a měřicí odpor R24, přes které protéká nabíjecí proud, jsou dimenzovány na maximální proudovou hodnotu 1A . Rezistory R8 a R9 tvoří odporový dělič, který snímá napěťovou hodnotu z termistoru R21. Tato napěťová hodnota je přivedena do pinu TS, který řídí velikost nabíjecího proudu. Termistor má základní hodnotu $10\text{k}\Omega$. Rezistor R9 má hodnotu $9,31\text{k}\Omega$, rezistor R8 má mít hodnotu $442\text{k}\Omega$. Tato hodnota součástky se nevyrobí, proto byl rezistor sestaven ze dvou rezistorů R8 a R27 zapojených v sérii. Rezistor R8 má hodnotu $430\text{k}\Omega$ a rezistor R27 má hodnotu $12\text{k}\Omega$. Sečtením těchto hodnot se dostane požadovaná hodnota. Rezistory R5 a R6 slouží k nastavení časové základy. Vzhledem ke zvolení použité baterie byla jejich hodnota stanovena na $7,5\text{k}\Omega$.

Pro kontrolu správného chodu nabíjení slouží tři kontrolní LED. Tyto LED jsou připojeny k pinům řídicího obvodu. Výstupy z těchto pinů je možné přivést k digitálním vstupům procesoru a lze proces nabíjení sledovat pomocí tohoto kontroléru. Pro snadnou kontrolu byly barvy LED zvoleny takové, které odpovídají standardům barevného značení. LED modré barvy je připojena k pinu PG. Tato LED signalizuje připojení externího napětí a napájení integrovaného obvodu. Červená LED signalizuje stav nabíjení. Tato LED svítí po celou dobu nabíjecího procesu. Zelená LED signalizuje stav, kdy je baterie plně nabitá. Tato LED se rozsvítí až po dokončení nabíjecího procesu. Díky tomu, že kontrolér umí sledovat stav baterie a možné defekty s ní, jsou v tabulce níže uvedeny zobrazovací stavy, které signalizují poruchu. Protože je vstupní napětí 5V , musely být k LED připojeny předřadné rezistory R2, R3 a R4. Hodnota byla vypočítána na hodnotu $1\text{k}\Omega$. Hodnota předřadných rezistorů je záměrně spočítána větší, aby bylo možné připojit i vyšší vstupní napětí než 5V a LED nebyly zničeny.[38]

stav	Červená LED	Zelená LED
Baterie nepřipojena	Nesvítí	Nesvítí
Proces nabíjení	svítí	Nesvítí
Baterie Nabita	nesvítí	svítí
Nabíjení podřízené termistoru	Bliká (0,5Hz)	Nesvítí
Chyba časovače nabíjení	Bliká (0,5Hz)	Nesvítí
Chyba časovače rychlého nabíjení	Bliká (0,5Hz)	Nesvítí
Spánkový režim	Nesvítí	Nesvítí

Tabulka 9 kontrolní LED kontroléru nabíjení Převzato z [39]



Obrázek č. 35 stav nabíjení



Obrázek č. 36 stav nabito

Zdroj elektrické energie

Zdrojem elektrické energie pro celé zařízení je jedno článková Li-Lon baterie. Vzhledem k miniaturizaci celého zařízení, byla vybrána baterie s rozměry 25x25x5mm. Baterie má při plném nabití napětí 3,65V. Kapacita baterie je 1,33wh. Pro lepší mechanickou odolnost a zároveň lepší odolnost proti proniknutí vody byla na baterii připevněna PVC fólie. Tato fólie byla vyříznuta na laseru. Z vnitřní strany fólie byla aplikovaná oboustranná lepicí páska a následně byla baterie touto folií obalena. U Li-Lon baterií nesmí překročit napětí na baterii minimální hodnotu a to 2,8V. Pod touto hodnotou už nelze baterii znovu nabít a baterie je zničená. Aby se tomuto defektu zabránilo, je na baterii umístěna kontrolní elektronika, která nedovolí poklesu baterie pod minimální mez. Pokud se napětí baterie blíží k hodnotě 2,8V, integrovaný obvod na baterii odpojí výstupní piny a z baterie už není možné dále odebírat elektrickou energii a je nutné baterii znovu nabít. Integrovaný obvod také kontroluje maximální odebíraný proud z baterie, aby nedošlo ke zničení baterie. Pokud odebíraný elektrický proud překročí maximální mez, tento obvod odpojí výstupní piny baterie. Tato funkce je praktická při možném zkratu v obvodu, kdy nedojde ke zničení baterie i postižené části obvodu. Baterie je propojena s obvodem pomocí dvou měděných lanek o průřezu 0,2mm². Kladný pól je označen červenou barvou izolace, záporný je označen modrou barvou izolace. Baterie je připevněna k desce plošného spoje pomocí oboustranné lepicí pásky.

Jednotlačítkové ovládání

Aby bylo možné zařízení zapnout a vypnout, aniž by se museli použít velké aretační vypínače, které by nebyly vhodné pro tuto aplikaci, byl použit systém jednotlačítkového ovládání. Díky tomuto zapojení je možné použít mikrospínač, který lze jednoduše zakomponovat na desku plošného spoje. Je více způsobů, jak tuto aplikaci realizovat. Pro jednoduchost byla vybrána aplikace pomocí obvodu CMOS 4013. Celé zapojení pracuje na principu bistabilního klopného obvodu, který neumožňuje náhodné překlopení obvodu. Tento obvod obsahuje dva klopné obvody typu D. Pro realizaci tohoto zapojení stačí použít jeden tento obvod, druhý zůstává nezapojený. Pouzdro čipu bylo vybráno v provedení smd, velikost pouzdra je dip 14. Tento obvod umí pracovat ve velkém rozsahu vstupního napětí, což k možnosti kolísání napětí baterie je potřebné. Napájecí napětí je v rozsahu -0,5V až 18V. Pracovní teplotní rozsah obvodu je v rozmezí od -40°C do 125°C. Elektrická spotřeba při zapnutí obvodu je pouhých 10mA. Tento obvod je trvale připojen k baterii. Aby nedocházelo k vybíjení baterie během tzv. stand-by režimu, to je režim, kdy je zařízení vypnuté, ale část

elektrického obvodu musí být napájena kvůli zapnutí toho obvodu, je integrovaný obvod 4013 nejlepší volbou. Při vypnutém zařízení tento obvod neodebírá žádný elektrický proud z baterie. Díky tomuto parametru se zvyšuje výdrž nabití baterie. Toto zařízení může být v nečinnosti delší dobu a nedochází k žádným nežádoucím energetickým unikům.[40]

U tohoto zapojení byl použit klopný obvod D s označením IC3A. Napájecí napětí integrovaného obvodu je přivedeno na piny 14 a 7, kde na pin 14 je přivedeno kladné napětí a na pin 7 je přivedeno napětí záporné. Aby při připojení baterie nedocházelo ke generování náhodných stavů v obvodu, je k pinu 4, který je označován jako reset, připojen RC článek, který podrží obvod v řádu ms v resetovém nastavení, dokud se systém během počátečních kmitů nestane stabilní a tím pádem nemohlo dojít k náhodnému generování výstupních stavů. Kondenzátor C2 o jmenovité hodnotě $1\mu\text{F}$ je nabíjen přes rezistor R10, který má hodnotu $100\text{k}\Omega$. Po dobu nabíjení kondenzátoru je obvod v resetovém nastavení. Zvětšením kapacity lze časovou základnu prodloužit na libovolnou časovou hodnotu. Pro účely tohoto obvodu je hodnota $1\mu\text{F}$ více než dostačující. Pin 6, který je označován jako set, je připojen k zápornému napětí z baterie. Pin 5 s označením D, je definován jako vstupní data. Díky digitálním hodnotám přiváděných na tento vstup lze překlápet obvod. Tento vstup je připojen k invertujícímu výstupu. Invertující výstup je na pinu 2 a je označován jako Q negace. Toto propojení zajišťuje zpětnou vazbu obvodu. Když je na vstup přivedena logická jednička, tj. napětí 3,3V na negovaném výstupu je logická nula. Při hodnotě logická nula na vstup je na invertovaném výstupu logická jednička. Na pinu 1, který je označován Q, je výstup klopného obvodu. Logické hodnoty na tomto výstupu jsou opačné než na inverzním výstupu, tj. když je na negovaném výstupu logická jednička, na výstupu je logická nula a naopak. Celé překlápění obvodu je řízeno pomocí pinu 3, který je označován jako hodiny. Obvod se překlápí při přivedení náběžné hrany impulzu. Standardně se používá externí generátor impulzů, které mají obdélníkový průběh. V tomto případě je nutné pouze jedno překlápění stavu, které je realizováno pomocí mikropínače. Tlačítko je zapojeno z jedné strany na kladné napájecí napětí, z druhého vývodu je propojeno s rezistorem, který je zapojen v sérii s tlačítkem. Tento rezistor R11, je ochrana proti zkratu, aby při stisknutí tlačítka nedošlo k přímému spojení kladného a záporného pólu. Hodnota rezistoru je stanovena na $100\text{k}\Omega$. Paralelně k tlačítku je připojen kondenzátor C4, který má jmenovitou hodnotu 10nF . Tlačítko je mechanické, a proto dochází při jeho stisknutí ke kmitům. Tyto kmity by mohly být zaznamenány klopným obvodem a tento obvod by se mohl překlápet po dobu kmitů. Tento kondenzátor filtruje tyto kmity a zaručí vstup pouze jednoho impulzu. Když tlačítko není stisknuté, je na pinu hodin

logická nula. Při stisknutí tlačítka se objeví na pinu logická jednička a obvod se vlivem náběžné hrany impulzu překlopí. Tlačítko se může držet stisknuté libovolnou dobu, ale obvod se překlopí pouze jednou, protože je nastavený pouze na náběžnou hranu. Po opětovném stisknutí tlačítka přijde další impuls na pin hodin a obvod se znovu překlopí. Protože výstup z integrovaného obvodu není dimenzovaný na velký proud, piny jsou dimenzovány pouze na proudovou hodnotu 50mA, bylo nutné připojit na výstup tranzistor, který bude pracovat v režimu jako spínač. Tranzistor byl kvůli možnostem tohoto zapojení vybrán FET P kanál, který je řízen pomocí elektrického pólu přivedeným na vstup Gate. Tranzistor je v provedení smd, v pouzdru SOT 23. Maximální procházející proud tranzistorem je 20A. Tranzistor je otevřen při přivedení záporného pólu na řídicí elektrodu. Při přivedení logické nuly z výstupu klopného obvodu na Gate, je tranzistor otevřený a tím pádem je propojen zbytek elektrického obvodu s baterií. Po stisknutí tlačítka se obvod překlopí, z výstupu klopného obvodu je přivedena logická jednička, tranzistor se uzavře a přeruší se elektrický obvod mezi baterií a zbylou částí systému. Díky tomuto zapojení lze jednoduše zapnout a vypnout řídicí elektroniku a tím šetřit elektrickou energii z baterie.

DC/DC měnič

Protože celý elektrický obvod je napájen z baterie, u které při vybití dochází k poklesu napětí, bylo nutné do obvodu zařadit prvek, který toto kolísání bude kompenzovat. Elektronické součástky jako je mikroprocesor a bluetooth jsou velmi citlivé na napájecí napětí. Při kolísání napětí se mohou dostat do resetového režimu a tím by zařízení nebylo funkční. V zařízení je použita jedno článková Li-Ion baterie, která při plném nabití má napětí 3,6V a toto napětí klesá až na hodnotu 2,8V. Napájecí napětí řídicího obvodu je 3,3V, proto je nutné vybrat elektronický obvod, který bude toto napětí po celou dobu chodu baterie konstantně udržovat. Nejlepší řešení pro toto zapojení je elektronická součástka DC/DC měnič. Na desce plošného spoje je použit integrovaný obvod TPS63031DSKT od firmy Texas Instruments. Pouzdro součástky je v provedení smd a je v pouzdru QFN 10, jehož rozměry jsou 2,5x2,5mm. Tento obvod umí konstantně držet výstupní napětí na 3,3V. Efektivita transformace energie je 96%, maximální výstupní proud součástky je 800mA. Zařízení má spotřebu elektrické energie pouhých 50 μ A. Pracovní teplota integrovaného obvodu je v rozmezí od -40°C do 150°C. Zařízení pracuje ve dvou režimech. Když je vstupní napětí v rozmezí 3,6 až 5,5V, obvod pracuje v režimu jako stabilizátor napětí a sráží napěťovou hodnotu na 3,3V. Pokud vstupní napětí klesne pod hodnotu 3V, zařízení pracuje v režimu

jako napěťová pumpa a zvedá výstupní napětí na hodnotu 3,3V. Na vstupu je umístěn kondenzátor C5, který má hodnotu 4,7 μ F a stabilizuje případné zákmity vstupního napětí. Na piny 2 a 4 je připojena cívka s indukčností 1,5 μ H. Přes tuto cívku protéká výstupní proud, proto je cívka dimenzována na proudovou zátěž 1A. K výstupnímu pinu je připojen kondenzátor C3, který vyrovnává případné kolísání napětí. Hodnota kondenzátoru je 10 μ F. Pro možnost kontroly zapnutí systému je na výstupu z měniče připojena kontrolní LED zelené barvy. Protože je výstupní napětí 3,3V a maximální napájecí napětí LED je pouhých 2,6V, byl do série s LED vložen předřadný rezistor R23. Hodnota rezistoru je spočítána podle vzorce níže. Při zapnutí elektrické energie do systému pomocí jednotlačítkového ovládacího tlačítka se LED rozsvítí. Tato LED je pouze kontrolní, nemá vliv na chod celého systému, proto při potřebě snížení spotřeby elektrické energie, tím pádem zvýšení doby výdrže zařízení na baterii, lze tuto LED odpájet z desky plošného spoje. Odstraněním této LED se ušetří spotřeba elektrického proudu o 20mA.[41]

$$R_{23} = \frac{U}{I} = \frac{0,7}{0,02} = 35 \sim 36 \quad (2)$$

Mikroprocesor PIC32MX440F512H

Tento mikro kontrolér vyhodnocuje přerušení vodivých drah, tyto informace zpracuje a připraví data pro bezdrátové odeslání. Tento mikroprocesor je od firmy Microchip. Řada 32MX je nejvyšší výkonová řada, kterou tato firma vyrábí. Procesor byl vybrán z důvodu jeho vysoké výpočetní kapacity, velkém množství vstupních a výstupních pinů a kompaktnímu pouzdru součástky TQFP64, kterou lze dobře zakomponovat na desku plošného spoje. Mikroprocesor je dimenzovaný na vyšší výkon, než je pro tuto aplikaci potřebné. Důvodem je možnost rozšíření této aplikace a přidání dalších kontrolních prvků jako např. digitální hlídání stavu baterie, připojení čidel pro různá měření veličin. Kmitočet procesoru je řízen pomocí externího krystalu, jehož kmitočet je nastaven hodnotou 20MHZ. Komunikační rozhraní procesoru jsou následující: 2x I2C, IRDA, SPI, USB otg a 2x UART. Do procesoru byl nahrán ovládací program, který po připojení napájecího napětí řídí celý chod procesoru.[42]

Parametr	Hodnota
Kapacita paměti SRAM	8kB
Kmitočtové taktování	80MHZ
Pracovní napětí	2,3-3,6V
Počet vstupů/výstupů	51
Druh architektury	M4K 32bit
Velikost programu	512kB
Počet čítačů 32bit	1
Počet čítačů 16bit	5
Vestavěný generátor	32kHz, 8MHz

Tabulka 10 parametry tranzistoru. Převzato z [43]

Na desku plošného spoje jsou kondenzátory C1, C6, C11, C12 a C13, které mají kapacitu 100nF. Tyto kondenzátory jsou filtrační a eliminují možné vzniklé rušení, které by se mohlo naindukovat v napájecí části obvodu. Pro dobrou eliminaci rušení jsou kondenzátory umístěny na desce plošného spoje rovnoměrně a co nejbližší k napájecím pinu procesoru. Po obou stranách krystalu jsou umístěny blokační kondenzátory o jmenovité hodnotě 18pF, které udržují konstantní kmitočet krystalu. Krystal je připojen k procesoru pomocí pinů 39 a 40. Na pinech 33 a 34 je umístěna sběrnice UART. Pomocí této sběrnice komunikuje procesor s bluetooth modulem. Pin 33 je TX a pin 34 je RX. Na pin 56 je připojený kondenzátor o hodnotě 10μF, který vyrovnává vnitřní napájecí napětí v procesoru. Aby při připojení napájecího napětí se stačily nabít všechny kondenzátory v obvodu, než začne procesor pracovat, je na pin 7, který je označován jako MCLR připojen RC článek. Tento článek tvoří rezistor R12 o hodnotě 10kΩ a kondenzátor C8 o jmenovité hodnotě 100nF. Při přivedení napájecího napětí je na MCLR přivedena logická jednička a procesor je v tzv. resetovacím stavu. Po nabití kondenzátoru je přivedena na pin logická nula a procesor spustí nahraný program. Aby bylo možné do mikroprocesoru nahrát ovládací program, je na desku plošného spoje umístěna kolíková lišta. Tato lišta má rozteč 2,54mm a je typ zdířka kruhovitěho tvaru. Lišta má pozlacené konektory proti zabránění oxidaci kontaktů. Lišta obsahuje pět pinů. Zapojení pinů je následující: první pin je připojen ke vstupu MCLR, druhý je propojen s kladou větví napájecího napětí, třetí je propojen se záporným napájecím napětím, čtvrtý vede do pinu 16 na mikroprocesoru označovaný PGD a pátý pin je propojen s pinem 15 na procesoru a je označován PGC.[44]

Pro odzkoušení při oživování desky, je vložena na desku plošného spoje kontrolní LED modré barvy. LED je připojena na pin procesoru 49 s označením RD1. Protože je napětí z procesoru 3,3V a LED je dimenzována na napětí 3V, byl vložen do série s LED předřadný rezistor R7. Jeho hodnota byla určena podle vzorce vis. Níže. Tato LED po odzkoušení byla naprogramována jako kontrolní. Při přerušení jedné z vodivých drah se LED rozblíká s frekvencí 0,5Hz.

Pro monitorování přerušení vodivé dráhy v oděvu je použita metoda pomocí odporového děliče. Ze všech sekcí vodivých drah je použit jeden vývod. Tyto vývody jsou spojeny do jednoho uzlu a jsou připojeny ke kladnému napětí. Zbylé konce jsou jednotlivě připojeny k monitorovacím pinům. V tabulce č.10 jsou uvedeny názvy sekcí, názvy kontrolních pinů a barevné značení. Mezi kontrolní pin a záporné napětí je vložen rezistor o hodnotě 10kΩ. S vodivou dráhou tvoří odporový dělič. Tako vysoká hodnota rezistoru je vybrána kvůli snížení spotřeby elektrické energie celého zařízení. Čím vyšší elektrický odpor bude implementován do děliče, tím menší elektrický proud poteče přes vodivé dráhy. Pokud vodivá dráha není přerušena, je na monitorovacím pinu mikroprocesoru logická jednička. Pokud se vodivá dráha přeruší, objeví se na snímacím pinu logická nula. Tyto změny procesor vyhodnotí a podle nahraného programu odešle zprávu s příslušným označením přerušené dráhy. Monitorovací piny jsou nastaveny jako digitální, takže snímají pouze napěťovou hodnotu logické jedničky a logické nuly. Jednotlivé propojení sekcí jsou kvůli možné záměně barevně označeny.

Pin procesoru	Barva vodiče	Sekce
RE3	Fialová	Zadní horní
RE6	Žlutá	Zadní dolní
RE2	Šedá	Přední pravá dolní
RE5	Zelená	Přední levá horní
RE4	Modrá	Přední levá dolní
RD3	Bílá	Přední pravá horní
RD2	Červená	Napájení
-	Oranžová	Napájení sk. Vzorek
-	Černá	Sk. vzorek

Tabulka 11označení propojovacích pinů

Bluetooth modul

Tento modul umožňuje posílat vyhodnocená data z mikroprocesoru do externího zařízení, které obsahuje zařízení bluetooth. Zařízení je koncipováno na samostatné desce plošného spoje, které je zakoupeno jako již hotový modul. Zařízení je vloženo na řídicí desku a pomocí pájecích bodů je deska elektricky i mechanicky spojena s řídicí elektronikou. Bluetooth modul umí komunikovat s několika rozhraními jako jsou: UART, SPI a USB. V této aplikaci byla zvolena komunikace pomocí protokolu UART.

Parametr	Hodnota
Pracovní teplota	-40°C až 150°C
Napájecí napětí	3 až 3,6V
Výstupní výkon	4dBm
Citlivost antény	-80dBm
Rozměr modulu	25x14,5x2,2mm
Spotřeba el. proudu při spánkovém režimu	40μA
Spotřeba el. proudu při vysílání	58mA

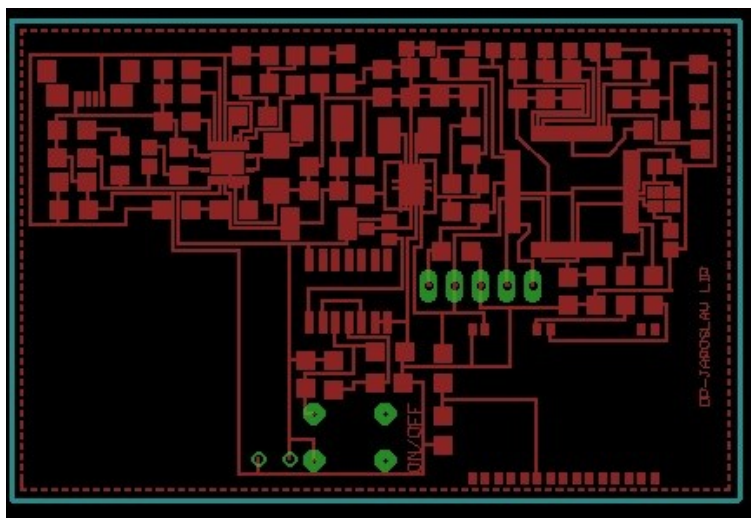
Tabulka 12 parametry bluetooth modulu. Převzato z [45]

Zařízení je nutno před prvním spuštěním nakonfigurovat. Aby to bylo možné, jsou na desce plošného spoje umístěny dva rezistory R13 a R14. Nejprve je k ploškám na desce plošného spoje připojen programátor a jsou nakonfigurovány parametry bluetooth. Nastavuje se jméno zařízení, heslo pro spárování dvou zařízení, komunikační rychlosti pro přenos dat a konfigurační pojistky. Po naprogramování modulu jsou na desku připájeny rezistory, které mají nulový odpor a fungují pouze jako přemostění signálu. Aby mohla být skutečně komunikace mezi mikroprocesorem a bluetooth modulem, musejí být piny z procesoru překříženy s druhým zařízením. Pin z procesoru označovaný jako TX je přiveden na pin bluetooth s označením RX. Výstupní pin RX je přiveden na zařízení bluetooth na pin TX. Pro správný chod zařízení je na pin 21 s označením reset připojen RC člunek. Tento člunek se skládá z rezistoru R25, který má hodnotu 10kΩ a kondenzátoru C14, který má kapacitu 100nF. Tento člunek podrží po dobu 5ms zařízení v tzv. resetovém nastavení. Po tuto dobu se stihnou nabít veškeré kondenzátory na desce a nenastane možný poruchový stav. Toto zařízení pouze přeposílá informace, tj. přijme z mikroprocesoru zprávu ve formě textu a přepoše jí do externího zařízení.[46]

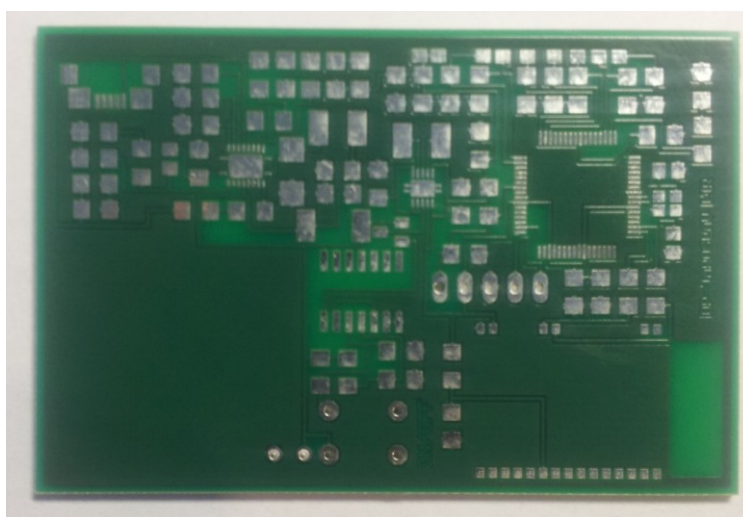
Název zařízení: DP-LIR

Heslo pro spárování: 3851

4.8.3. Deska plošného spoje

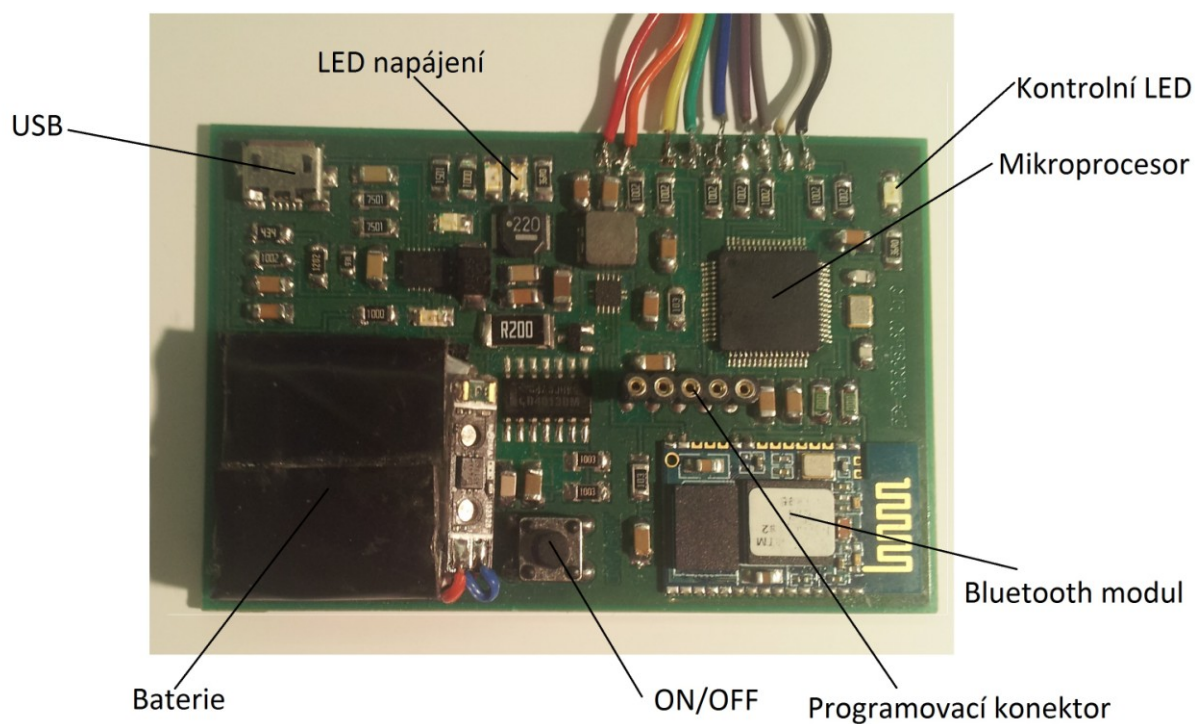


Obrázek č. 37 DPS řídicí elektroniky trika



Obrázek č. 38 DPS řídicí elektroniky trika

Deska plošného spoje je vyrobena z materiálu Fr4. Tloušťka izolační desky je 1,5mm a tloušťka plátování 35 μ m. Pro ochranu proti oxidaci vodivých cest a lepšímu pájení při osazování součástek byla plocha ošetřena nepájivou ochrannou maskou zelené barvy. Pro dobré uchycení cínu jsou pájivé plošky ošetřeny Hal, což je nanesení cínu v lázni. Veškeré díry, které jsou na desce, jsou vyvrtány vrtákem o průměru 0,8mm. Aby deska měla požadovaný rozměr, je okraj desky oříznut pomocí CNC frézy. Velikost elektronických součástek je v provedení smd a jejich pouzdro nese označení 1206, kromě kondenzátorů C15, C16, rezistoru R7, které jsou v pouzdře 0806. Dioda D2 a rezistor R24 jsou v pouzdře 2512. Mikrotlačítko je v provedení THT, a je osazeno do předvrtaných děr. Vedle tlačítka je nápis ON/OFF, který upozorňuje, kde je možné systém vypnout a zapnout.



Obrázek č. 39 popis řídicí elektroniky

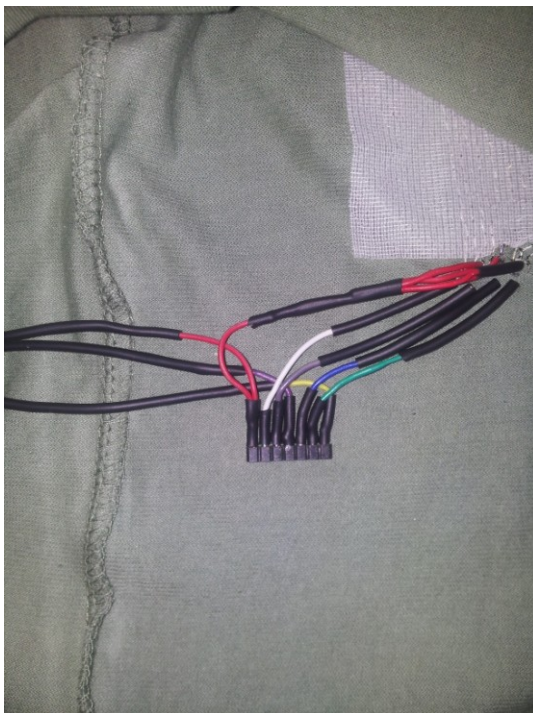
4.9. Ozkoušení kontrolní elektroniky

Elektronika byla ozkoušena pomocí jednotlivého připojování vodivých drah. Zařízení bylo spárováno s počítačem, a pomocí programu Hercules byly sledovány příchozí data ze zařízení. K zařízení byl připojen jeden obvod pro zjištění záznamu průstřelu oděvu, a sledovala se odeslaná informace. Pak byl obvod odpojen. Po odpojení obvodu je v počítači zobrazila informace o přerušení dráhy. Tímto způsobem byly ozkoušeny všechny vodivé dráhy a z výsledků vyplynulo, že řídicí elektronika a vodivé dráhy jsou plně funkční. Na závěr byla otestována výdrž zařízení na baterii. Při plném provozu vydrží celé zařízení v chodu kolem osmi hodin. Tuto výdrž by šlo zvýšit snížením frekvence odesílání dat, které jsou nyní stanoveny na jednu sekundu.

4.10. Propojení vodivých drah s modulem

Mezi deskou plošného spoje a vodivými drahami je propojovací páskový vodič. Tento vodič je z jedné strany připájen na vodivou plošku a z druhé strany je opatřen kolíkovou lištou, která má rozteč 2,54mm. Kolíková lišta má pozlacené konektory, aby se zvýšila ochrana před oxidací. Přes pájené kontakty je vložena smršťovací bužírka o průměru 1mm. Tato izolace zvyšuje ochranu spoje proti proniknutí vody a ke zvýšení mechanické odolnosti pájeného spoje. Konektor je typu zástrčka.

Ze stany vodivých drah je použit stejný typ konektoru akorát je použit typ zásuvka. Aby bylo možné jednoduše konektory propojit, a nedošlo k chybnému zapojení vlivem otočení konektoru o 180°, jsou pomocí šicí jekly na elektricky vodivou nit nasazeny bužírky, které mají stejnou barvu, jako je barevné značení na páskovém vodiči. Elektricky vodivé nitě jsou jednotlivě připájeny ke konektoru. Aby se zvýšila mechanická odolnost spoje, jsou kontakty následně zalepeny elektricky vodivým lepidlem. Na odhalené konce vodivých nití je nutné vložit smršťovací bužírku průměru 1mm. Elektricky vodivé nitě jsou totiž vodivé i na svém povrchu, a vzhledem k jejich umístění by mohlo při nošení výrobku dojít k jejich spojení, a tím dojde ke spojení obvodu sekcí a řídicí elektronika by vyhodnotila chybný záznam.



Obrázek č. 40 připojení vodivých drah k elektronice

4.11. Zdrojový kód

```
sbit led    at RD1_bit;
sbit cerna at RD2_bit;
sbit bila  at RD3_bit;
sbit seda  at RE2_bit;
sbit fialova at RE3_bit;
sbit modra  at RE4_bit;
sbit zelena at RE5_bit;
sbit zluta  at RE6_bit;
```

```
void main() {
  trisD1_bit = 0;
  trisD2_bit = 1;
  trisD3_bit = 1;
  trisE2_bit = 1;
  trisE3_bit = 1;
  trisE4_bit = 1;
  trisE5_bit = 1;
  trisE6_bit = 1;
```

```
  led=1;
  delay_ms (5000);
  led=0;
```

```
  while(1){
```

```
    if (cerna == '0') {
      led=1;  }
    else {
      led=0; }
```

```
    if (bila == '0') {
      led=1;  }
    else {
      led=0; }
```

```
    if (seda == '0') {
      led=1;  }
    else {
      led=0; }
```

```
    if (fialova == '0') {
      led=1;  }
    else {
      led=0; }
```

```
    if (modra == '0') {
      led=1;  }
```

```
else {  
led=0; }  
  
if (zelena == '0') {  
led=1; }  
else {  
led=0; }  
  
if (zluta == '0') {  
led=1; }  
else {  
led=0; }  
  
/*led=1;  
delay_ms(500);  
led=0;  
delay_ms(500);*/  
  
}  
}
```

5. Závěr

Cílem byl návrh systému a výrobu funkčního prototypu vojenského trika, které zaznamenává průstřel oděvu.

Na začátku bylo důležité odzkoušet použitou technologii záznamu průstřelu oděvu, pro možnost detekci zásahu. Byly použity dva materiály a to měděný drátek a elektricky vodivá nit. Byly použity tři průměry měděného drátku. Na měděném drátku byla odzkoušena jeho pevnost a tažnost. Z výsledku měření byl vybrán drátek s nejvyšší pevností. Aby drátek vydržel při nošení oděvu, ve kterém dochází k mechanickým deformacím materiálu, byla zjišťována jeho odolnost při cyklickém namáhání pomocí dvoj ohybu. Testoval samotný měděný drátek a drátek zašitý v sendvičové vrstvě materiálu. Výsledky měření ukázaly, že odolnost vodivé dráhy při dvoj ohybu je dostačující. U elektricky vodivé nitě, je nejdůležitější vlastnost elektrická vodivost. Byly proměřeny tři typy elektricky vodivých nití. Z výsledků měření byla vybrána nit, která měla nejnižší elektrický odpor, který je důležitý pro dobrý přenos eklektických informací. Výsledný prototyp byl odzkoušen palnou zbraní pro simulaci reálných podmínek. U první série vzorků se bylo zjištěno, že vzdálenost mezi vodivými drahami je příliš velká a je nutné jí zmenšit a experiment znovu opakovat. U druhé série vzorků se zmenšenými vzdálenostmi mezi vodivými drahami se došlo k závěru, že aplikace takto zvolených vodivých drah je plně funkční a pro aplikaci do vojenského trika je velmi vhodná. Nedílnou součástí testování je možnost údržby výrobku. Byly otestovány oba dva typy vzorků při pěti cyklech praní. Po proměření průchodnosti vodivých cest se ukázalo, že měděný drátek není vhodný pro aplikaci vodivé dráhy, protože vydržel pouze dva cykly praní. Do výsledného výrobku byla zvolena elektricky vodivá nit pro její odolnost při praktické údržbě.

Do vojenského trika, které používá armáda ČR byly vyšity vodivé dráhy do sekcí, aby bylo možné přesně detekovat místo zásahu. Na předním dílu jsou dráhy rozděleny do čtyřech sekcí, v zadním dílu do sekcí dvou. Všechny konce vodivých drah byly svedeny do jednoho místa pro možnost připojení řídicí elektroniky.

Řídicí elektronika je vyrobena ze standardních elektronických součástek, které jsou umístěny na desku plošného spoje. Kontrolní elektronika snímá přerušení vodivé dráhy. Naměřená data jsou následně odesílána pomocí bezdrátového přenosu do externích zařízeních. Na desce plošného spoje je umístěna také kontrolní LED, která při přerušení

jakékoliv vodivé dráhy začne blikat. Celé zařízení bylo prakticky odzkoušeno. Při testování nedošlo k žádné chybě a elektronika pracovala bez jakýchkoliv problémů.

Elektronika byla vyvinuta speciálně pro tuto aplikaci, a je proto originální ve svém složení elektronických obvodů. Vyvinutí celého systému bylo velmi složité, protože se musely zakomponovat jednotlivé bloky do jednoho celku. Ohled při vývoji byl brán především pro uplatnění aplikace, která musí obstát v extrémních podmínkách.

Závěrem je doporučení aplikovat tuto technologii do funkčního trika, které má lepší termofyziologický komfort oproti triku vyrobeného z bavlny.

Použitá literatura

- [1]. Tao, Xiaoming. Weable electronic and photonic. ISBN 1-85573-605-5
- [2]. Tilak, Dias. Electronic textiles: Smart fabrics and wearable technology. ISBN 978-0-08-100223-0
- [3]. Tao, Xiaoming. Weable electronic and photonic. ISBN 1-85573-605-5
- [4]. L. Van Langenhove. Smart textiles for medicine and healthcare: Materials, systems application. ISBN 978-1-84569-293-3
- [5]. L. Van Langenhove. Smart textiles for medicine and healthcare: Materials, systems application. ISBN 978-1-84569-293-3
- [6]. L. Van Langenhove. Smart textiles for medicine and healthcare: Materials, systems application. ISBN 978-1-84569-293-3z
http://amper.ped.muni.cz/jenik/nejistoty/html_tree/node16.html
- [7]. BrainWise. [ONLINE]. [citováno 2017-4-8] Dostupné z <http://wearable.mlog.taik.fi>
- [8]. BrainWise. [ONLINE]. [citováno 2017-4-8] Dostupné z <http://wearable.mlog.taik.fi>
- [9]. L. Ashok Kumar, C. Vigneswaran. Electronics in Textiles and clothing: Design, product and application. ISBN 978-1-4987-1551-5
- [10]. L. Ashok Kumar, C. Vigneswaran. Electronics in Textiles and clothing: Design, product and application. ISBN 978-1-4987-1551-5
- [11]. Wearable textile technology helps diabetic patients. [ONLINE]. [citováno 2017-4-10] Dostupné z <http://digitalhealthage.com/wearable-textile-technology-helps-diabetic-patients/>
- [12]. Wearable textile technology helps diabetic patients. [ONLINE]. [citováno 2017-4-10] Dostupné z <http://digitalhealthage.com/wearable-textile-technology-helps-diabetic-patients/>
- [13]. L. Van Langenhove. Smart textiles for medicine and healthcare: Materials, systems application. ISBN 978-1-84569-293-3
- [14]. Technologie konstrukce smart oděvů. [ONLINE]. [citováno 2017-4-15] Dostupné z http://www.kmi.tul.cz/studijni_materialy/data/2014-01-13/10-10-12.pdf
- [15]. Smartlife technology garments that sense. [ONLINE]. [citováno 2017-4-16] Dostupné z <http://crunchwear.com/smartlife-technology-garments-that-sence/>

- [16]. Smartlife technology garments that sense. [ONLINE]. [citováno 2017-4-16] Dostupné z <http://crunchwear.com/smartlife-technology-garments-that-sence/>
- [17]. Wearble electronic. [ONLINE]. [citováno 2017-4-20] Dostupné z <https://www.extremetech.com/computing/97387-wearable-elctronics-nasa-develops-memory-storing-e-textilie-material>
- [18]. Wearble electronic. [ONLINE]. [citováno 2017-4-20] Dostupné z <https://www.extremetech.com/computing/97387-wearable-elctronics-nasa-develops-memory-storing-e-textilie-material>
- [19]. Tilak, Dias. Electronic textiles: Smart fabrics and wearable technology. ISBN 978-0-08-100223-0
- [20]. Tao, Xiaoming. Weable electronic and photonic. ISBN 1-85573-605-5
- [21]. Paul Kiekens, Sundaresan Jayaraman. Intelligent textiles and clothing for ballistic and NBC protection: Technology and cutting edge. ISBN 978-94-007-0576-0
- [22]. Smart clothing [ONLINE]. [citováno 2017-4-22] Dostupné z <http://ldt.stanford.edu/~jeepark/jeepark+portfolio/cs147hw8jeepark.html>
- [23]. Smart clothing [ONLINE]. [citováno 2014-4-22] Dostupné z <http://ldt.stanford.edu/~jeepark/jeepark+portfolio/cs147hw8jeepark.html>
- [24]. Informační brožura od firmy Blücher.
- [25]. Informační brožura od firmy Blücher.
- [26]. Tilak, Dias. Electronic textiles: Smart fabrics and wearable technology. ISBN 978-0-08-100223-0
- [27]. Tilak, Dias. Electronic textiles: Smart fabrics and wearable technology. ISBN 978-0-08-100223-0
- [28]. Charakteristic Electrical Characterization of Conductive Ink Layers on Textile Fabrics [ONLINE]. [citováno 2017-4-28] Dostupné z <http://dit.upc.es/lpdntt/rius/wew/paper29.pdf>
- [29]. Tisknutí elektrických obvodů. [ONLINE]. [citováno 2017-4-28] Dostupné z <http://cdr.cz/clanek/chcete-si-elektricke-obovody-tisknout-sami-brzy-budete-mit-moznost>
- [30]. Tisknutí elektrických obvodů. [ONLINE]. [citováno 2017-4-28] Dostupné z <http://cdr.cz/clanek/chcete-si-elektricke-obovody-tisknout-sami-brzy-budete-mit-moznost>
- [31]. 3D tisk. [ONLINE]. [citováno 2017-4-30] Dostupné z <https://www.easycnc.cz/inpage/informace-o-technologiech-3d-tisku>

- [32]. 3D printing electronic components. [ONLINE]. [citováno 2017-4-30] Dostupé z <http://www.kurzweilai.net/3d-printing-basic-electronic-components>
- [33]. Print conductive layers. [ONLINE]. [citováno 2017-4-30] Dostupné z <https://www.pinterest.com/pin/388294799100310695>
- [34]. Datasheet [ONLINE]. [citováno 2017-3-18] Dostupné z <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ua741.pdf>
- [35]. Symboly údržby. [ONLINE]. [citováno 2017-3-23] Dostupné z <http://www.alenahola.cz/velikosti-a-udrzba/>
- [36]. Datasheet [ONLINE]. [citováno 2017-3-28] Dostupné z
- [37]. Datasheet [ONLINE]. [citováno 2017-3-28] Dostupné z <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4013b.pdf>
- [38]. Datasheet [ONLINE]. [citováno 2017-3-28] Dostupné z <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq41104.pdf>
- [39]. Datasheet [ONLINE]. [citováno 2017-3-28] Dostupné z <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bg41104.pdf>
- [40]. Datasheet [ONLINE]. [citováno 2017-3-28] Dostupné z <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq41104.pdf>
- [41]. Datasheet [ONLINE]. [citováno 2017-3-28] dostupné z <http://www.tme.eu/cz/documents/1d0d2ed43758f8485f8f267fa8a3/tps632031.pdf>
- [42]. Datasheet [ONLINE]. [citováno 2017-3-28] dostupné z <http://www.tme.eu/cz/documents/11867de6e597552c05554400463a4dd6/pic32mx440f512h.pdf>
- [43]. Datasheet [ONLINE]. [citováno 2017-3-28] dostupné z <http://www.tme.eu/cz/documents/11867de6e597552c05554400463a4dd6/pic32mx440f512h.pdf>
- [44]. Datasheet [ONLINE]. [citováno 2017-3-28] dostupné z <http://www.tme.eu/cz/documents/11867de6e597552c05554400463a4dd6/pic32mx440f512h.pdf>
- [45]. Datasheet [ONLINE]. [citováno 2017-3-28] dostupné z <http://www.compsys1.com/support/BTM/btm182.pdf>

Seznam obrázků

Obrázek č. 1 struktura nositelné elektroniky převzato z [3]	14
Obrázek č. 2 čepice monitorující EEG převzato z [8]	16
Obrázek č. 3 triko se senzory EKG převzato z [10]	16
Obrázek č. 4 ponožka měřící diabetes a tlak. Převzato z [12]	17
Obrázek č. 5 čidlo pro měření dechu převzato z [14]	17
Obrázek č. 6 Monitorovací triko pro sportovce. Převzato z [16]	18
Obrázek č. 7 Tkanina s digitálním záznamem. Převzato z [18]	18
Obrázek č. 8 košile s optickými vlákny. převzato z [23]	20
Obrázek č. 9 rozdělení vodivých drah pro záznam průstřelu převzato z [25]	21
Obrázek č. 10 tvary vodivých přízí převzato z [27]	22
Obrázek č. 11 natištěné vodivé dráhy na textilu převzato z [30]	23
Obrázek č. 12 tisk vodivé dráhy pomocí 3D tisku převzato z [33]	24
Obrázek č. 13 zařízení na dvoj ohyb	27
Obrázek č. 14 zařízení pro dvoj ohyb vodivých drah	28
Obrázek č. 15 technický náčrt vozku dvoj ohybu	29
Obrázek č. 16 schéma zapojení kontrolní led	31
Obrázek č. 17 DPS kontrolní LED	31
Obrázek č. 18 technický náčrt zkušební vzorku	31
Obrázek č. 19 praktická zkouška vzorku ze stělnice	33
Obrázek č. 20 elektricky vodivá nit 30A	34
Obrázek č. 21 elektricky vodivá nit 5	34
Obrázek č. 22 elektricky vodivá nit 25I	34
Obrázek č. 23 měřící stanoviště pro elektrickou vodivost	35
Obrázek č. 24 program vyšívky vzorků	38
Obrázek č. 25 schéma zapojení kontrolní elektroniky	39
Obrázek č. 26 DPS kontrolní elektroniky	39
Obrázek č. 27 Kontrolní elektronika	39
Obrázek č. 28 prostřelený vzorek s měděným drátkem	40
Obrázek č. 29 prostřelený vzorek s vodivou nití	41
Obrázek č. 30 vzorek po praní měděný drátek	44
Obrázek č. 31 vzorek po praní- vodivá nit	44
Obrázek č. 32 symboly údržby. Převzato z [35]	46
Obrázek č. 33 program na vyšítí vodivých drah do oděvu	48
Obrázek č. 34 Vyšívání vodivých drah	49
Obrázek č. 35 stav nabíjení	55
Obrázek č. 36 stav nabito	55
Obrázek č. 37 DPS řídicí elektroniky trika	63
Obrázek č. 38 DPS řídicí elektroniky trika	63
Obrázek č. 39 popis řídicí elektroniky	64
Obrázek č. 40 připojení vodivých drah k elektronice	65

Seznam tabulek

Tabulka 1 sledované veličiny u vojenských oděvů. Převzato z [20]	19
Tabulka 2 naměřené hodnoty dvoj ohybu drátku	28
Tabulka 3 naměřené hodnoty dvoj ohybu všitého drátku	29
Tabulka 4 výsledky zkoušky ze střelby s roztečí 0,5mm	32
Tabulka 5 Výsledek zkoušky průstřelu vzorku s roztečí 3mm	41
Tabulka 6 výsledky po pracích cyklech	43
Tabulka 7 rozměry hotového výrobku	50
Tabulka 8 parametry součástek kontroléru nabíjení. Převzato z[37]	53
Tabulka 9 kontrolní LED kontroléru nabíjení Převzato z [39]	55
Tabulka 10 parametry tranzistoru. Převzato z [43]	60
Tabulka 11 označení propojovacích pinů	61
Tabulka 12 parametry bluethooth modulu. Převzato z [45]	62

Seznam grafů

Graf 1 Průměrná tahová křivka pro drátek 0,008mm	25
Graf 2 Průměrná tahová křivka drátku 0,011mm	26
Graf 3 Průměrná tahová křivka drátku 0,018mm	26
Graf 4 závislost elektrického odporu na délce (30A)	35
Graf 5 závislost elektrického odporu na délce (25I)	36
Graf 6 závislost elektrického odporu na délce (5)	36

Přílohy

Příloha B- tabulka naměřených hodnot elektrické vodivosti vodivých nití

l(m)	A	B	C
	R(Ω)	R(Ω)	R(Ω)
0,05	1,2	56	0,59
	1,62	60	0,7
	1,8	52	0,66
	1,82	64	0,6
	1,77	54	0,65
průměr	1,642	57,2	0,64
0,1	2,39	78	1,02
	3,9	87	1
	2,62	88	0,96
	2,52	73	0,97
	3	76	0,96
průměr	2,886	80,4	0,982
0,15	6,8	130	1,34
	4,1	103	1,6
	4,5	100	1,41
	3,3	128	1,35
	4,3	110	1,42
průměr	4,6	114,2	1,424
0,35	10,1	280	2,91
	8,7	258	2,85
	9,6	260	2,88
	8,4	275	2,82
	14,9	268	2,8
průměr	10,34	268,2	2,852

Příloha A naměřené hodnoty pevnosti a tažnosti měděného drátku

Měděný drátek o průměru 0,0008mm											
Měření č.1		Měření č.2		Měření č.3		Měření č.4		Měření č.5		Průměrné hodnoty	
síla (N)	Prodloužení (mm)	síla (N)	Prodloužení (mm)	Síla (N)	Prodloužení (mm)	Síla (N)	Prodloužení (mm)	Síla (N)	Prodloužení (mm)	síla (N)	prodloužení (mm)
0	0,45	0	0,45	0	0,45	0	0,45	0	0,45	0,45	0
0,8295	0,4626	1,0194	0,7544	0,7623	0,6276	0,7343	0,511	0,6479	0,3438	0,53988	0,79868
2,7719	0,8264	2,9684	0,6588	2,8499	0,7998	2,6817	0,6476	2,8765	0,7558	0,73768	2,82968
5,0015	0,9476	5,0606	0,7504	4,7975	0,6816	4,7743	0,7236	4,9187	0,7658	0,7738	4,91052
7,1447	0,8236	7,3432	0,8864	6,8893	0,7672	7,0117	0,818	6,9149	0,7226	0,80356	7,06076
9,2865	0,8418	9,4818	0,9804	9,1719	0,8848	9,1531	0,8932	8,9147	0,8822	0,89648	9,2016
11,4303	0,939	11,7202	0,9446	11,3133	0,9612	11,3413	0,932	10,8173	0,8388	0,92312	11,32448
13,5917	0,9662	13,7844	1,0452	13,3763	0,942	13,4491	0,9434	13,0179	0,8878	0,95692	13,44388
15,6583	1,0442	15,849	1,0546	15,4905	0,975	15,5157	0,949	15,1309	0,9372	0,992	15,52888
17,7753	1,051	17,9674	1,0766	17,6077	1,0244	17,4887	0,9908	17,1999	1,0076	1,03008	17,6078
19,7023	1,077	19,9874	1,1104	19,6297	1,0522	19,3663	1,0202	19,2707	1,006	1,05316	19,59128
21,8167	1,1022	22,1	1,121	21,6453	1,0836	21,3839	1,063	21,2889	1,0778	1,08952	21,64696
23,9333	1,1194	24,1192	1,155	23,7601	1,0846	23,4489	1,0766	23,3997	1,0684	1,1008	23,73224
26,0507	1,136	26,2396	1,1666	25,4963	1,1162	25,5141	1,0728	25,1789	1,088	1,11592	25,69592
27,9807	1,1528	28,264	1,1734	27,2323	1,1246	27,6331	1,0988	27,2003	1,0976	1,12944	27,66208
29,7653	1,1754	30,2874	1,2146	29,2583	1,1392	29,6587	1,1254	29,1271	1,109	1,15272	29,61936
31,7875	1,1828	32,4076	1,2162	31,2815	1,1656	31,7759	1,1256	31,0049	1,13	1,16404	31,65148
33,8145	1,1974	34,434	1,2262	33,4049	1,1756	33,8015	1,1594	33,0761	1,1316	1,17804	33,7062
35,8441	1,2006	36,4666	1,2346	35,4297	1,1826	35,9209	1,1532	35,1493	1,189	1,192	35,76212
37,8763	1,2248	38,4034	1,2568	37,4603	1,201	37,8555	1,1694	37,0339	1,1704	1,20448	37,72588
39,6651	1,223	40,528	1,2628	39,4903	1,194	39,5987	1,1842	38,7267	1,1804	1,20888	39,60176
41,6913	1,2322	42,5516	1,274	41,5161	1,221	41,5769	1,206	40,5613	1,211	1,22884	41,57944
43,7163	1,2448	44,578	1,2926	43,5917	1,2328	43,6987	1,2054	42,5853	1,2092	1,23696	43,634
45,7429	1,2588	46,7028	1,3014	45,5699	1,234	45,7261	1,2186	44,6103	1,2254	1,24764	45,6704
47,7741	1,2642	48,6366	1,302	47,2641	1,2502	47,8043	1,2314	46,7347	1,2302	1,2556	47,64276
49,8991	1,2664	50,5692	1,3092	49,2449	1,2652	49,7883	1,2304	48,7673	1,2474	1,26372	49,65376
51,8315	1,271	52,4526	1,3134	51,0785	1,2578	51,8135	1,245	50,5555	1,2468	1,2668	51,54632
53,8611	1,2886	54,4838	1,3274	53,1085	1,2726	53,8377	1,2636	52,2469	1,2556	1,28156	53,5076
55,8921	1,2894	56,4228	1,3314	55,1425	1,2686	55,8661	1,281	54,1801	1,2466	1,2834	55,50072
57,9281	1,3124	58,4566	1,3324	57,0761	1,2898	57,9907	1,2716	55,9211	1,2844	1,29812	57,47452
59,9151	1,3126	60,4894	1,3552	59,2049	1,2994	60,0255	1,271	57,6139	1,2734	1,30232	59,44976
61,8997	1,325	62,6178	1,3604	61,1421	1,2946	61,8665	1,2854	59,5993	1,2846	1,31	61,42508
63,9311	1,3324	64,36	1,3468	63,1693	1,311	63,7503	1,2952	61,2955	1,288	1,31468	63,30124
66,0607	1,34	66,3372	1,3692	65,1971	1,3108	65,6845	1,296	62,9857	1,2908	1,32136	65,25304
68,0903	1,3316	68,0252	1,3592	67,0319	1,3246	67,5725	1,3002	64,9713	1,297	1,32252	67,13824
70,0259	1,3294	70,0484	1,3652	69,0101	1,3298	69,4057	1,3024	66,9529	1,3064	1,32664	69,0886
71,8045	1,3422	72,0694	1,3908	70,9805	1,3248	71,4387	1,2958	68,9785	1,3106	1,33284	71,05432
73,9093	1,3504	74,1818	1,388	72,8085	1,3284	73,5545	1,3098	71,0975	1,313	1,33792	73,11032
75,7821	1,3462	76,249	1,3876	74,6311	1,3384	75,6737	1,3218	73,1193	1,3224	1,34328	75,09104
77,7501	1,3718	78,2628	1,3904	76,6489	1,335	77,6989	1,3252	75,1481	1,317	1,34788	77,10176
79,7605	1,3588	79,9846	1,401	78,6625	1,3516	79,8031	1,3348	77,2677	1,33	1,35524	79,09568
81,4813	1,3628	81,7042	1,388	80,4839	1,331	81,9059	1,3402	79,3789	1,3322	1,35084	80,99084
83,3469	1,3652	83,7632	1,4162	82,6831	1,3608	83,6777	1,3302	81,4859	1,3326	1,361	82,99136
85,5477	1,356	85,8198	1,3902	84,6475	1,3494	85,4463	1,3404	83,5857	1,3348	1,35416	85,0094
87,6567	1,3706	87,9282	1,4166	86,5661	1,3652	87,2183	1,3384	85,6901	1,3572	1,3696	87,01188
89,7163	1,3866	90,034	1,4054	88,5811	1,355	89,3263	1,3378	87,4715	1,3572	1,3684	89,02584
91,8687	1,3822	92,1368	1,4292	90,3541	1,3758	91,3833	1,3526	89,3909	1,3566	1,37928	91,02676
93,9761	1,3756	94,3398	1,4138	92,4591	1,3558	93,2031	1,3524	91,3059	1,3528	1,37008	93,0568
95,7517	1,3864	96,4476	1,4234	94,5661	1,384	95,3125	1,3574	93,4587	1,356	1,38144	95,10732
97,8631	1,3688	98,513	1,426	96,3403	1,3584	97,4217	1,3486	95,5643	1,3536	1,37108	97,14048
99,9743	1,3878	100,523	1,4324	98,4535	1,3824	99,5325	1,3482	97,3401	1,3622	1,3826	99,16468
102,0719	1,3684	102,2436	1,4254	100,3217	1,3752	101,6823	1,347	99,4529	1,356	1,3744	101,1545
104,1777	1,3958	103,965	1,4272	102,3307	1,3804	103,6433	1,3578	101,3659	1,3712	1,38648	103,0965
106,3777	1,3938	105,9736	1,4232	104,4353	1,3766	105,6057	1,3518	103,2303	1,3734	1,38376	105,1245
108,2483	1,4	108,0818	1,4304	106,5905	1,383	107,6643	1,376	105,4301	1,3662	1,39112	107,203
110,1653	1,3952	109,9504	1,4414	108,6053	1,3794	109,6309	1,3604	107,3463	1,3718	1,38964	109,1396
111,9827	1,3906	111,8628	1,427	110,4267	1,3906	111,3533	1,3648	109,3117	1,3658	1,38776	110,9874
113,8009	1,3984	113,7276	1,4438	112,5771	1,3832	113,0737	1,3778	111,4151	1,377	1,39604	112,9189
115,6701	1,3878	115,837	1,4312	114,6365	1,3796	115,1311	1,3736	113,5199	1,3638	1,3872	114,9589
117,5905	1,3978	117,6116	1,4274	116,7509	1,3732	117,1001	1,364	115,5805	1,3862	1,38972	116,9267
119,3635	1,3948	119,6254	1,4392	118,8587	1,3894	119,0175	1,38	117,4039	1,3654	1,39376	118,8538
121,3763	1,4014	121,3034	1,4332	120,9683	1,3924	121,0347	1,3694	119,5123	1,3804	1,39536	120,839
123,0993	1,4062	123,2634	1,4354	122,8345	1,3808	122,8059	1,3682	121,2867	1,3772	1,39356	122,658
125,0137	1,3868	125,3208	1,4232	124,3171	1,355	124,9119	1,3774	123,1509	1,381	1,38468	124,5429

Měděný drátek o průměru 0,011mm											
Měření č. 1		Měření č. 2		Měření č. 3		Měření č. 4		Měření č. 5		průměrné hodnoty	
síla (N)	Prodloužení (mm)	Síla (N)	Prodloužení (mm)	Síla (N)	Prodloužení (mm)	Síla (N)	Prodloužení (mm)	Síla (N)	Prodloužení (mm)	Síla (N)	prodloužení (mm)
0	0,45	0	0,45	0	0,45	0	0,45	0	0,45	0,45	0
0,5451	0,8624	0,687	0,9192	0,965	1,0886	0,7325	0,8824	0,7075	1,1862	0,9878	0,72746
2,3973	1,378	2,786	1,5978	3,1542	1,4622	2,6865	1,55	2,7043	1,4524	1,4881	2,74558
4,2501	1,6468	4,924	1,698	5,1016	1,674	4,7721	1,6734	4,5999	1,7066	1,6798	4,7295
6,0995	1,7886	7,152	1,7792	7,1886	1,8526	7,0471	1,899	6,8779	1,744	1,8127	6,87298
8,2375	1,8484	9,291	1,872	9,421	1,8296	8,9473	1,8718	9,0137	1,8962	1,8636	8,98206
10,468	1,9148	11,19	2,0078	11,606	1,9746	11,083	1,9724	11,2403	2,033	1,9805	11,11738
12,616	2,0052	13,34	2,1196	14,092	2,086	13,277	2,1114	13,3481	2,1226	2,089	13,33502
14,964	2,147	15,31	2,1702	16,203	2,1588	15,388	2,1336	15,4569	2,1696	2,1558	15,46338
17,17	2,1846	17,18	2,221	18,365	2,2466	17,406	2,2502	17,5733	2,2434	2,2292	17,53886
19,235	2,2514	19,2	2,2864	20,335	2,2938	19,567	2,3024	19,5925	2,3066	2,2881	19,5857
21,347	2,3094	21,03	2,3482	22,445	2,336	21,629	2,3508	21,7013	2,3742	2,3437	21,62946
23,168	2,3422	22,75	2,3746	24,511	2,3878	23,646	2,4066	23,6221	2,3922	2,3807	23,54018
25,233	2,3834	24,77	2,414	26,675	2,4226	25,807	2,448	25,4981	2,4426	2,4221	25,59666
27,251	2,4232	26,89	2,4526	28,46	2,4594	27,876	2,4858	27,5673	2,484	2,461	27,60778
29,369	2,4668	28,91	2,5076	30,386	2,5032	29,898	2,545	29,6357	2,5218	2,5089	29,63946
31,39	2,494	31,03	2,5204	32,409	2,5286	31,777	2,561	31,7531	2,5508	2,531	31,6713
33,508	2,5226	33,05	2,592	34,531	2,5644	33,703	2,5696	33,7777	2,5694	2,5636	33,71446
35,536	2,5802	35,08	2,584	36,463	2,5796	35,827	2,5974	35,8055	2,6138	2,591	35,74218
37,569	2,606	37,11	2,6208	38,496	2,6178	37,763	2,6608	37,8393	2,6336	2,6278	37,75542
39,602	2,624	39,15	2,66	40,621	2,6466	39,795	2,667	39,8723	2,6584	2,6512	39,80682
41,631	2,6634	41,18	2,671	42,603	2,6718	41,826	2,6982	41,9027	2,706	2,6821	41,8275
43,663	2,675	43,06	2,706	44,593	2,6882	43,858	2,7266	43,9337	2,7104	2,7012	43,82186
45,601	2,698	44,9	2,7202	46,627	2,7066	45,85	2,7486	45,9723	2,7328	2,7212	45,79078
47,636	2,696	46,94	2,7516	48,658	2,745	47,837	2,7688	47,9121	2,765	2,7453	47,79562
49,708	2,7458	48,72	2,763	50,679	2,751	49,955	2,7854	50,0285	2,7994	2,7689	49,81894
51,869	2,7736	50,69	2,7898	52,796	2,7528	51,972	2,7956	52,0477	2,7856	2,7795	51,87514
53,886	2,769	52,71	2,803	54,916	2,7852	54,089	2,8228	53,8773	2,8326	2,8025	53,8947
55,958	2,8104	54,53	2,8302	56,941	2,8082	56,113	2,8352	55,8513	2,8358	2,824	55,8797
58,032	2,804	56,56	2,8286	58,972	2,8278	58,234	2,8724	57,8751	2,872	2,841	57,93454
60,059	2,8454	58,59	2,8574	60,996	2,8306	60,261	2,8574	59,9975	2,8688	2,8519	59,98046
62,081	2,829	60,62	2,8688	62,683	2,8684	62,285	2,895	62,0197	2,8808	2,8684	61,9375
63,911	2,854	62,74	2,8718	64,803	2,8654	64,311	2,9098	64,0463	2,8968	2,8796	63,96178
65,888	2,8752	64,76	2,8948	66,828	2,8852	66,336	2,905	65,9237	2,903	2,8926	65,94766
67,912	2,8826	66,79	2,915	68,903	2,8964	68,458	2,93	67,8539	2,9244	2,9097	67,98246
70,029	2,8838	68,81	2,9218	70,969	2,9024	70,48	2,9504	69,8755	2,9474	2,9212	70,0329
72,096	2,9072	70,59	2,9424	72,99	2,8958	72,262	2,9406	71,9437	2,9514	2,9275	71,97678
74,167	2,9258	72,71	2,9316	75,11	2,9124	74,285	2,9666	73,7783	2,9758	2,9424	74,00966
76,194	2,9304	74,73	2,9608	77,14	2,9386	76,313	2,978	75,7097	2,9796	2,9575	76,01742
78,319	2,9426	76,76	2,9726	79,267	2,9466	78,344	2,9904	77,6437	2,9642	2,9633	78,06646
80,252	2,9566	78,79	2,9676	81,051	2,912	80,468	2,9618	79,4323	2,9864	2,9569	79,9985
82,37	2,9558	80,82	2,994	82,982	2,9706	82,491	3,004	81,5533	2,9858	2,982	82,04318
84,492	2,9536	82,84	2,9718	84,916	2,959	84,516	2,9964	83,5779	2,9986	2,9759	84,06894
86,231	2,9732	84,97	2,9908	86,946	2,9754	86,542	3,0204	85,6057	3,0072	2,9934	86,05822
88,209	2,9822	86,99	3,0144	89,069	2,9784	88,569	3,0316	87,6335	3,0004	3,0014	88,09478
90,188	2,9954	89,02	3,0082	91,092	2,9824	90,355	3,0116	89,4681	3,0238	3,0043	90,02506
92,257	2,994	91,05	3,0156	92,925	2,9946	92,473	3,0208	91,4377	3,0114	3,0073	92,0275
94,138	2,9918	93,26	3,0384	94,806	2,9908	94,208	3,0288	93,4629	3,0244	3,0148	93,97466
95,972	2,9944	95,19	3,0392	96,886	2,999	96,182	3,0404	95,5855	3,0426	3,0231	95,96306
98,098	3,009	97,08	3,0462	98,627	3,0142	98,211	3,0452	97,4219	3,029	3,0287	97,88658
100,13	3,0004	98,77	3,0364	100,65	2,9938	100,24	3,0424	99,3059	3,039	3,0224	99,81766
102,15	3,0196	100,6	3,0416	102,67	3,0154	102,35	3,0498	101,088	3,0492	3,0351	101,77206
104,07	3,0072	102,4	3,0426	104,79	3,014	104,47	3,0538	102,819	3,0488	3,0333	103,71626
106,05	3,0212	104,2	3,0374	106,53	3,012	106,49	3,0482	104,794	3,052	3,0342	105,60434
107,98	3,0152	105,9	3,052	108,6	3,0102	108,52	3,066	106,723	3,0564	3,04	107,54278
109,76	3,019	107,9	3,0532	110,43	3,0358	110,39	3,0453	108,605	3,0636	3,0434	109,41186
111,87	3,0392	109,9	3,0448	112,31	3,0082	111,65	3,041	110,627	3,0454	3,0357	111,27174

Měděný drátek o průměru 0,018mm											
Měření č. 1		Měření č. 2		Měření č. 3		Měření č. 4		Měření č. 5		Průměrné hodnoty	
Síla (N)	Prodloužení (mm)	Síla (N)	Prodloužení (mm)	Síla (N)	Prodloužení (mm)	Síla (N)	Prodloužení (mm)	Síla (N)	Prodloužení (mm)	Síla (N)	Prodloužení (mm)
0	0,45	0	0,45	0	0,45	0	0,45	0	0,45	0,45	0
1,2093	3,0634	0,6473	1,977	0,8305	2,1088	0,8764	1,8606	0,728	0,8668	1,9753	0,8583
3,0717	3,7906	2,3667	3,5166	2,9313	3,682	3,0298	3,6688	2,8776	3,6678	3,6652	2,85542
5,1559	4,1224	4,4619	3,7892	4,7891	3,9568	5,1276	4,003	5,0234	3,9954	3,9734	4,91158
7,4293	4,3124	6,4049	4,0668	6,6845	4,2524	7,0696	4,3284	6,965	4,2026	4,2325	6,91066
9,5707	4,568	8,5865	4,3148	8,9153	4,4108	9,204	4,5372	9,0526	4,4406	4,4543	9,06582
11,814	4,816	10,7247	4,5196	11,008	4,6538	11,4434	4,7146	11,337	4,774	4,6956	11,26534
13,589	4,9402	12,7849	4,728	12,878	4,8382	13,4616	4,9356	13,449	4,9276	4,8739	13,23242
15,611	5,0956	14,9013	4,8834	14,896	4,9936	15,575	5,0896	15,512	5,0656	5,0256	15,29898
17,735	5,2076	16,9735	5,077	17,014	5,1342	17,6994	5,2284	17,731	5,244	5,1782	17,43054
19,667	5,3532	18,9515	5,187	18,897	5,2624	19,4882	5,3486	19,757	5,3716	5,3046	19,3521
21,696	5,4538	20,9823	5,2676	20,589	5,3336	21,327	5,4478	21,643	5,4356	5,3877	21,24754
23,723	5,544	23,0107	5,3938	22,281	5,4256	23,3516	5,5626	23,67	5,561	5,4974	23,2071
25,752	5,6226	25,1325	5,4768	24,114	5,5002	25,1834	5,6108	25,696	5,6594	5,574	25,17554
27,779	5,6902	27,4051	5,5424	26,143	5,5942	27,1176	5,695	27,634	5,7346	5,6513	27,21558
29,899	5,7682	29,5295	5,6346	27,983	5,6598	29,1932	5,7676	29,759	5,7892	5,7239	29,27282
31,927	5,8434	31,5543	5,694	29,865	5,7188	31,2172	5,8518	31,783	5,8804	5,7977	31,26922
33,996	5,8906	33,6323	5,7592	31,939	5,7826	33,3394	5,9092	33,855	5,922	5,8527	33,35214
36,066	5,975	35,7021	5,8226	33,916	5,8644	35,315	5,9652	35,926	6,0078	5,927	35,38506
38,189	6,006	37,7271	5,8758	36,033	5,9322	37,3882	6,0562	37,948	6,0494	5,9839	37,4571
40,12	6,0676	39,7533	5,949	38,058	5,966	39,4144	6,0776	39,973	6,1158	6,0352	39,46374
42,148	6,1232	41,8295	5,9864	40,132	6,041	41,2932	6,1356	42,093	6,166	6,0904	41,4991
44,562	6,1742	43,7656	6,049	42,063	6,089	43,2252	6,2024	44,123	6,2246	6,1478	43,54768
46,637	6,2428	45,5991	6,0678	43,9	6,1202	45,2588	6,2454	46,157	6,2634	6,1879	45,5103
48,668	6,2738	47,5311	6,1302	45,928	6,1826	47,2888	6,281	48,186	6,3314	6,2398	47,52038
50,698	6,3102	49,4667	6,1902	47,96	6,201	49,3204	6,3374	50,215	6,3692	6,2816	49,53194
52,729	6,3372	51,2555	6,2146	49,993	6,2718	51,3474	6,3788	52,486	6,4452	6,3295	51,5621
54,763	6,407	53,2865	6,2336	52,023	6,3228	53,3786	6,4258	54,616	6,4616	6,3702	53,61322
56,703	6,4382	55,3197	6,3012	53,957	6,3504	55,3644	6,4544	56,65	6,5022	6,4093	55,59878
58,742	6,4776	57,3549	6,3286	55,606	6,381	57,3504	6,488	58,686	6,5334	6,4417	57,54794
60,683	6,5134	59,2973	6,3626	57,594	6,409	59,4842	6,5216	60,674	6,5772	6,4768	59,5465
62,721	6,5368	61,3317	6,4104	59,825	6,4506	61,4224	6,5556	62,662	6,6112	6,5129	61,59242
64,713	6,557	63,3717	6,4348	61,766	6,4766	63,704	6,6114	64,609	6,6386	6,5437	63,63274
66,663	6,6012	65,3175	6,4496	63,516	6,5164	65,7462	6,6372	66,504	6,6602	6,5729	65,54914
68,37	6,6234	67,3613	6,5114	65,168	6,5478	67,4518	6,6654	68,257	6,6906	6,6077	67,3217
70,272	6,6326	69,4039	6,5256	67,018	6,5802	69,1086	6,6946	70,207	6,7156	6,6297	69,20178
72,265	6,6654	71,3481	6,5454	68,97	6,5896	71,0068	6,7284	72,153	6,7512	6,656	71,14846
74,21	6,6798	73,5395	6,5784	70,917	6,5988	72,9528	6,7306	74,104	6,7614	6,6698	73,1445
76,205	6,7062	75,5351	6,5984	72,718	6,6332	74,901	6,7284	76,15	6,7846	6,6902	75,10178
78,153	6,723	77,4853	6,614	74,568	6,6678	76,8522	6,766	78,097	6,807	6,7156	77,03102
80,051	6,755	79,2373	6,6202	76,514	6,6878	78,8988	6,7962	80,042	6,827	6,7372	78,94866
81,755	6,7658	81,1804	6,6584	78,314	6,7	80,843	6,8134	82,083	6,8414	6,7558	80,83492
83,46	6,7778	83,0748	6,6786	80,161	6,736	82,8342	6,8358	83,929	6,8668	6,779	82,69172
85,407	6,788	84,7815	6,677	81,96	6,7436	84,7826	6,8628	85,732	6,895	6,7933	84,53258
88,233	6,819	86,7313	6,6996	83,663	6,7524	86,731	6,8732	87,681	6,8924	6,8073	86,60766
90,716	6,833	88,6855	6,7112	85,516	6,7752	88,4386	6,875	89,632	6,9142	6,8217	88,5977
92,424	6,8326	90,6383	6,7376	87,468	6,7942	90,1004	6,8876	91,582	6,9242	6,8352	90,44246
94,377	6,847	92,5915	6,7436	89,321	6,807	91,7588	6,9106	93,533	6,943	6,8502	92,31606
96,234	6,8576	94,5389	6,753	91,273	6,8272	93,663	6,9204	95,341	6,9492	6,8615	94,20994
98,181	6,863	96,4917	6,7646	93,227	6,8314	95,5186	6,9172	97,099	6,9576	6,8668	96,1035
100,13	6,8658	98,4403	6,7806	95,183	6,8338	97,4678	6,9188	98,913	6,9686	6,8735	98,02582
102	6,8828	100,336	6,7782	97,036	6,86	99,4182	6,945	100,67	6,9796	6,8891	99,89274
103,88	6,9036	102,13	6,7748	98,693	6,8634	101,45	6,9634	102,8	6,9838	6,8978	101,79142
105,57	6,9024	104,062	6,7984	100,44	6,8672	103,527	6,9714	104,55	6,9968	6,9072	103,62806
107,39	6,906	105,852	6,7994	102,46	6,8602	105,265	6,9752	106,24	6,9892	6,906	105,44306
109,51	6,91	107,735	6,7924	104,34	6,8804	107,2	6,9652	107,93	7,0016	6,9099	107,34384
111,57	6,9256	109,571	6,8044	106,27	6,8886	109,135	6,9838	109,81	7,0116	6,9228	109,27136
113,73	6,9292	111,679	6,8102	108,14	6,9002	111,011	7,006	111,68	7,0298	6,9351	111,2473
115,74	6,9208	113,546	6,8182	110,15	6,9018	113,031	6,97	113,4	7,015	6,9252	113,17478
117,8	6,9264	115,56	6,825	112,26	6,9158	115,098	7,0058	115,08	7,0306	6,9407	115,15974
119,63	6,936	117,432	6,8248	114,03	6,9124	116,825	6,9972	116,81	7,0292	6,9399	116,94478
121,88	6,948	119,4	6,8502	116,09	6,9014	118,694	6,9986	118,92	7,0226	6,9442	118,99766
124,08	6,9344	121,468	6,8158	118,02	6,9166	120,514	6,9982	120,74	7,038	6,9406	120,96354
125,85	6,9348	123,38	6,8434	119,94	6,9282	122,237	7,0032	122,46	7,0252	6,947	122,77466

