

Energy harvesting a jeho využití ve zbraňové technice

Vojtěch Janda

Bakalářská práce
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vojtěch Janda**
Osobní číslo: **A16043**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Energy harvesting a jeho využití ve zbraňové technice**
Téma anglicky: **Energy Harvesting and Its Use in Weapon Technology**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte literární rešerši systémů pro energy harvesting.
2. Popište soudobý stav elektronického vybavení zbraní a osob v bezpečnostních složkách.
3. Vyberte systém energy harvestingů vhodný pro použití v palných zbraních.
4. Postavte laboratorní vzorek zvoleného systému.
5. Proveďte základní měření a zhodnocení sestaveného laboratorního vzorku.
6. Navrhněte pokračování dalšího vývoje.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. ELVIN, Niell a Alper ERTURK, ed. *Advances in Energy Harvesting Methods*. Springer New York, 2013. ISBN 978-1-4614-5705-3.
2. PASTOREK, Lukáš. *Využití energie piezoelektrického jevu*. Plzeň, 2012. Bakalářská práce. Fakulta elektronická Západočeské univerzity v Plzni.
3. Vinko, D.: *Applicability of Dickson Charge Pump in Energy Harvesting Systems: Experimental Validation of Energy Harvesting Charge Pump Model* : J. J. Strossmayer University of Osijek, Osijek, Croatia 2017.
4. Chalasani, S. et al. (2008) *A survey of energy harvesting sources for embedded systems*. IEEE, 978-1-4244-1884-8/08.
5. Poulin-Vittrant, Guylaine & Sarraute, E & Costa, Francois. (2004). *Generation of Electrical Energy for Portable Devices: Comparative Study of an Electromagnetic and a Piezoelectric System*. *Sensors and Actuators A: Physical*. 116. 461-471. 10.1016/j.sna.2004.05.013.

Vedoucí bakalářské práce:

doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

20. prosince 2018

Termín odevzdání bakalářské práce:

15. května 2019

Ve Zlíně dne 20. prosince 2018

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



Ing. Jan Valouch, Ph.D.
ředitel ústavu

Do tištěné verze zde vložte oficiální zadání práce, do PDF verze, která se nahrává do IS/STAG vložte zadání bez podpisů!

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor;
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá oblastí energy harvesting a jeho využití ve zbraňové technice. Moderní zbraně jsou vybavovány stále větším množstvím elektronických zařízení. Tato zařízení fungují na baterie, což s sebou přináší riziko vybití baterie ve chvíli kdy uživatel zařízení potřebuje. V této práci byla provedena měření efektivity piezo keramického disku, pro jeho případnou aplikaci na sběr energie zpětného rázu vytvořeného výstřelem palné zbraně. Piezo keramickému disku byla naměřena účinnost 1%.

Klíčová slova:

Energy harvesting, ozbrojené složky, palné zbraně

ABSTRACT

This work focuses on energy harvesting and its use in weapon technology. Modern firearms are commonly equipped with increasing number of different electronic devices. These devices require batteries, resulting in a risk of battery being empty when user needs to use electronic device. This work measured efficiency of using piezo ceramic disk for harvesting recoil energy generated by firearm discharge. Efficiency of piezo ceramic disk was measured as 1%.

Keywords:

Energy harvesting, armed forces, firearms

OBSAH

ABSTRAKT.....	5
ABSTRACT.....	5
ÚVOD.....	8
I TEORETICKÁ ČÁST.....	9
1 ENERGY HARVESTING.....	10
1.1 SOLÁRNÍ ENERGIE.....	10
1.2 RÁDIOVÉ VLNY.....	11
1.3 MECHANICKÉ VIBRACE.....	11
1.4 TERMOELEKTRICKÉ GENERÁTORY.....	12
2 PIEZOELEKTRICKÝ JEV.....	12
3 ELEKTRONICKÉ VYBAVENÍ ZBRANÍ A OSOB.....	14
3.1 ELEKTRONICKÉ VYBAVENÍ ZBRANÍ.....	14
3.1.1 Elektronické zaměřovače.....	14
3.1.2 Svítilny a laserové zaměřovače.....	15
3.1.3 Chytré zbraně.....	16
3.1.4 Napájená zbraňová lišta.....	17
3.1.5 Elektricky inicializovaná munice.....	18
3.2 ELEKTRONICKÉ VYBAVENÍ OSOB.....	19
3.2.1 Armáda České Republiky.....	19
3.2.2 Ozbrojené síly USA.....	21
3.3 POROVNÁNÍ PŘÍKONU JEDNOTLIVÝCH ZAŘÍZENÍ.....	22
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	23
4 VÝBĚR VHODNÉ METODY ENERGY HARVESTINGU.....	24
4.1 VÝPOČET ENERGIE ZPĚTNÉHO RÁZU.....	24
5 EXPERIMENTÁLNÍ ZAŘÍZENÍ.....	26
5.1 OSCILOSKOP.....	26
5.2 LCR MŮSTEK.....	26
5.3 PIEZO ELEMENT.....	26
5.4 KONDENZÁTOR.....	27
5.5 DIODA.....	27

5.6	CÍVKA.....	27
6	PŘÍPRAVA EXPERIMENTU.....	28
7	METODA MĚŘENÍ.....	29
8	VÝSLEDKY MĚŘENÍ.....	30
8.1	VLIV PODLOŽKY NA NAMĚŘENÉ NAPĚTÍ.....	30
8.2	MĚŘENÍ S PŘIDANÝM KONDENZÁTOREM.....	31
8.3	MĚŘENÍ S DIODOU A USMĚRŇUJÍCÍM MŮSTKEM.....	31
8.4	MĚŘENÍ VLIVU CÍVKY.....	33
9	VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ.....	34
9.1	SIMULACE MĚŘENÉHO OBVODU.....	36
	ZÁVĚR.....	37
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	38
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	42
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	43
	SEZNAM TABULEK.....	44

ÚVOD

Elektronická zařízení napájená bateriemi jsou součástí našeho každodenního života, ale baterie mají především jednu velkou nevýhodu a tou je nutnost je nabíjet, nebo do zařízení vkládat nové baterie. Tato elektronická zařízení začala být do značné míry používána i jednotkami ozbrojených sil, jejichž efektivita na bojišti je pomocí těchto zařízení značně zvýšena. Pokud se příslušníkovi ozbrojených sil vybijí baterie během cvičení v civilizované oblasti, tak nenastává příliš velký problém. Pokud se ale baterie vybijí když je příslušník ozbrojených sil například na misi uprostřed pouště, tak mohou být následky i fatální.

Jedním z možných řešení problému s vybitými bateriemi je technický obor zvaný „energy harvesting“. Cílem tohoto oboru je sbírat volně dostupnou energii z okolí a následně touto energií dobíjet baterie. Tato práce si klade za cíl vybrat vhodnou metodu energy harvestingu pro využití ve zbraňové technice a následně vytvořit zařízení pro provedení základních měření a zhodnocení této metody.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ENERGY HARVESTING

V dnešní době se stále častěji setkáváme s elektrickými zařízeními, která nejsou napájena z rozvodné sítě. Tradiční způsob napájení těchto zařízení představují baterie. Nevýhoda tohoto řešení je především omezená kapacita a životnost těchto baterií. Získávání a uchování malých množství energie (Energy harvesting), si klade za cíl využít volně dostupné zdroje energie a přeměnit je na využitelnou elektrickou energii použitelnou pro zařízení, která nemají přístup k rozvodné síti. [1]

Tab. 1: Efektivita metod energy harvesting [4,5]

Metoda energy harvesting	Výkonová hustota
Solární energie	15 mW/cm ³
Rádiové vlny	1 μW/cm ³
Mechanické vibrace	116 μW/cm ³
Piezelektrický jev	330 μW/cm ³
Termoelektrický jev	40 μW/cm ³

Výkonová hustota jednotlivých metod používaných při energy harvesting se měří v jednotkách W/cm³. Tato jednotka zohledňuje nejen výkon generátoru, ale také prostor který takový generátor zabírá. Přehled jednotlivých metod je možné vidět v tabulce č. 1.

1.1 Solární energie

Solární energie je dnes často používaným zdrojem. Velkou výhodou solární technologie je její škálovatelnost, je možné s ní napájet jak malé detektory pro sběr různých dat, tak i celé obytné domy. [2]

Běžné využití solární energie je například v kalkulačkách s integrovaným solárním panelem.

Velkou výhodou zařízení pro sběr solární energie, při využití bezpečnostními složkami, je absence jakýchkoliv pohyblivých částí. Nevýhodou je ale možnost zablokování solárního panelu nečistotami. Další nevýhodou je nutnost počítat s možností využití systému v noci,

za špatného počasí, nebo uvnitř budov kdy mají zařízení pro sběr solární energie sníženou efektivitu.

1.2 Rádiové vlny

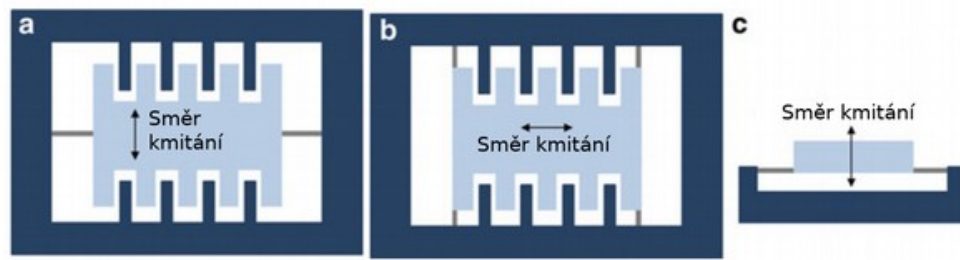
Neustále se zvyšující počet zařízení využívající bezdrátovou komunikaci má za následek zvýšené množství energie vyzářené do okolí. Tuto energii je možné zachytit a použít například k napájení koncových bezdrátových zařízení, která by potom nemusela záviset zcela na energii uložené ve své baterii. [3]

Zdroje bezdrátové energie můžeme rozdělit na dvě kategorie a to na statické a dynamické. Výhodou statických zdrojů, mezi jejichž zástupce patří například televizní vysílače, je stálost síly vysílaného signálu, nevýhodou je zpravidla nízké množství vyprodukované energie. Dynamické zdroje, jejichž zástupcem je například přístupový bod Wi-Fi, jsou naopak poměrně nestálé, ale produkují větší množství energie. [4]

1.3 Mechanické vibrace

Pokud je k dispozici zdroj vibrací, tak můžeme použít závaží, které pomocí vibrací uvedeme do pohybu. Pohyb můžeme v elektřinu přeměnit pomocí třech metod, piezoelektrické, elektrostatické a elektromagnetické. [5]

Piezoelektrická metoda využívá mechanického namáhání piezo elementu, který generuje elektrickou energii, pokud na něj vyvineme vnější sílu. Elektrostatická, nebo také kapacitní metoda využívá předem nabitého kondenzátoru. Mechanické vibrace způsobují pohyb jedné z desek kondenzátoru, takže energie je získána z práce, kterou vykoná mechanická energie vůči elektrostatické energii desek kondenzátoru. Na obrázku č. 1 jsou zobrazeny návrhy zařízení pro elektrostatickou metodu energy harvesting. Tmavě modrou barvou je zakreslena jedna deska kondenzátoru, světle modrou barvou je zakreslena druhá deska kondenzátoru a šedě jsou zakresleny spoje oddělující desky kondenzátorů.



Obr. 1: Zařízení pro elektrostatickou metodu energy harvesting [1]

Elektromagnetická metoda využívá elektromagnetickou indukci. Nejčastěji se používá permanentního magnetu který generuje elektrickou energii při průchodu cívkou. [6]

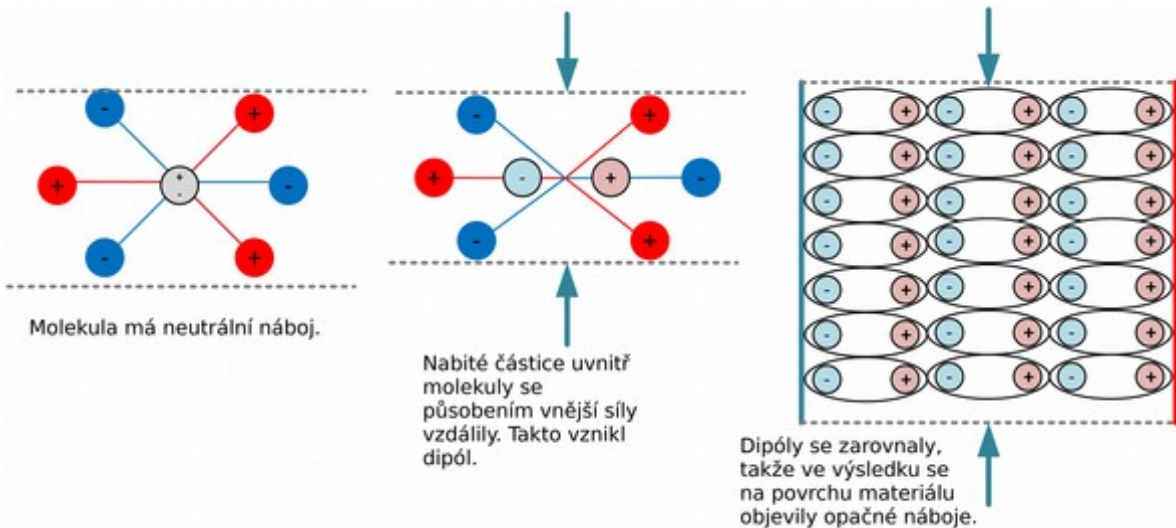
1.4 Termoelektrické generátory

Termoelektrické generátory jsou zařízení, která vytvářejí elektrickou energii z rozdílu teplot. Termoelektrické generátory mají zpravidla dlouhou životnost, nevyžadují moc údržby a jsou spolehlivé. Nevýhodou je, že je možné je použít pouze ve specifických situacích, kde je k dispozici dostatečně velký rozdíl teplot. V praxi se tyto generátory často instalují na zem tak, aby mohly využít teplotní rozdíl mezi vzduchem a zemí. [6]

Tyto generátory je také možné využít ke generování elektrické energie z tepla vydávaného radioaktivními materiály. Tento způsob se využívá například v satelitech. [7]

2 PIEZOELEKTRICKÝ JEV

Piezoelektrický jev je vlastnost určitých materiálů vytvářet elektrické pole, když je na ně z vnějšku vyvinuta mechanická síla. Elektrický náboj se vytváří při fyzickém pohybu pozitivně a negativně nabitých částic uvnitř molekuly piezoelektrického materiálu. Naopak při umístění piezoelektrického materiálu do vnějšího elektrického pole dojde k fyzickému stlačení, nebo roztažení materiálu. Názorně je piezoelektrický jev ukázán na obrázku č. 2.



Obr. 2: Princip piezoelektrického jevu [8]

Piezoelektrický jev se v dnešní době využívá například při vytváření a detekování zvuku, generování vysokých napětí, generování elektrického signálu atd. [8]

Piezoelektrické elementy můžeme rozdělit na 2 hlavní skupiny, piezo krystaly a piezo keramiku.

V dnešní době se velké popularitě těší piezo keramické materiály, a to především kvůli své fyzické odolnosti, chemické inertnosti, relativně nízké ceně a možnosti keramiku jednoduše přizpůsobit specifickým přáním zákazníků. [9]

Dnes je nejběžněji používaná piezo keramika PZT (zirkoničitan-titaničitanu olova), výhoda PZT oproti ostatním piezo keramickým materiálům je především vyšší citlivost a teplotní stálost. Kvůli vysokému obsahu olova je ovšem vyvíjen značný nátlak na nalezení alternativy k tomuto materiálu. [10]

3 ELEKTRONICKÉ VYBAVENÍ ZBRANÍ A OSOB

Tato práce se zabývá energy harvestingem pro využití ve zbraňové technice. Proto je první část této kapitoly věnována přehledu elektronických zařízení, která se ve zbraňové technice běžně používají a jsou zde přidány i novinky z oblasti elektronických zařízení.

Také jsou zde uvedeny elektronická zařízení běžně používaná armádní pěchotou.

3.1 Elektronické vybavení zbraní

Palné zbraně jsou v dnešní době stále častěji vybavovány množstvím elektronických zařízení. Mezi nejběžnější vybavení patří elektronické zaměřovače, svítilny a laserové zaměřovače. Tato zařízení jsou napájena z baterií, což může, především u armády, vést k logistickým problémům, protože je nutné vojáky zásobovat i bateriemi. Toto zásobování může být závažným problémem pokud jsou vojáci na misi v zemi se špatnou infrastrukturou.

3.1.1 Elektronické zaměřovače

Elektronické zaměřovače se umísťují na zbraně aby ulehčili míření. Tyto zaměřovače používají světlo z LED, které svítí skrze kolimační čočku na zrcadlo od kterého se světlo odráží paralelně se zbraní do oka střelce. Pro střelce takto vznikne bod promítnutý na cíl, který střelec používá k míření. [11]

Elektronický zaměřovač MeoDot DF 1. od společnosti Meopta, je napájen dvojicí baterií CR 1632 které dohromady poskytují napětí 6 V a podle výrobce zaměřovače by tyto baterie měly být schopny zaměřovač napájet po dobu minimálně 520 hodin. [12]

Solárně napájený zaměřovač

Společnost HOLOSUN vyrábí elektronické zaměřovače s integrovanými solárními články. Solární články ovšem nedobíjejí baterie, ale pokud na články dopadá dostatek světla, tak zcela napájí zaměřovače. [13]

Elektronický zaměřovač od firmy HOLOSUN je možné vidět na obrázku č. 3. Tento zaměřovač je napájen baterií CR20 32 a výrobce deklaruje životnost baterie až 100 000 hodin. [14]



Obr. 3: Elektronický zaměřovač firmy HOLOSUN [14]

3.1.2 Svítilny a laserové zaměřovače

Svítilna je často energeticky nejnáročnější elektronickou částí zbraně, protože na zbraně se zpravidla umísťují svítilny s vysokým výkonem. Tyto svítilny neslouží pouze k osvětlení cíle, ale díky svému výkonu mohou, pokud jsou namířené na živého tvora, cíl i oslepit.

Jako příklad byla vybrána svítilna The ProTac Rail Mount HL-X od společnosti Streamlight. Tato svítilna je napájena jednou baterií typu 18650 která poskytuje napětí 3,6 V. U svítilny je možné nastavit jas a toto nastavení ovlivňuje výdrž baterie. Při nastavení vysokého jasu udává výrobce výdrž baterie 1,25 hodiny, při nízkém jasu udává výrobce výdrž baterie 23 hodin. [15]

Laserové zaměřovače vyzařují koherentní paprsek fotonů, který přímo na cíli vytvoří bod, který střelec používá k míření. Laserové zaměřovače jsou vyráběny v množství formátů.

Nejběžnější laserové zaměřovače se připevňují na zbraňové lišty, ale existují i speciální varianty, které umožňují integrování laserového zaměřovače do střenek pistole, nebo do vedení předsunuté pružiny.

Jako příklad laserového zaměřovače byl vybrán laser Uni-max od společnosti Lasermax. Tento zaměřovač je napájen dvojicí baterií typu 357 které dohromady poskytují napětí 3 V a podle výrobce by tyto baterie měly zaměřovač napájet po dobu 3 hodin. [16]

Vyrábějí se i kombinace laserového zaměřovače a svítilny v jednom modulu připevnitelném na zbraňové lišty.

3.1.3 Chytré zbraně

Chytrá zbraň je termín pro palnou zbraň která znemožňuje neoprávněné osobě použití této zbraně. Experimenty s množstvím technologií, které by umožňovaly zbrani rozpoznat neoprávněného uživatele sahají již do roku 1994, kdy v USA National Institute of Justice financoval „Smart Gun Technology Project“, jehož cílem bylo vytvořit chytrou zbraň. [17]

Chytré zbraně lze rozdělit podle způsobu identifikace uživatele do tří kategorií. První kategorií je „automatická identifikace“ která umožňuje použití zbraně pouze pokud je v blízkosti elektronický token, který vysílá elektronický signál. Tyto tokeny mohou být umístěny například v prstenu, nebo náramku. Druhou kategorií jsou „biometrické zámky“ které využívají identifikaci oprávněného uživatele pomocí biometrických údajů, nejčastěji pomocí otisku prstu, nebo pomocí hlasu. Třetí kategorií jsou „ostatní“ do této kategorie spadají například mechanické kombinační zámky. [17]

Většina chytrých zbraní vyžaduje elektrickou energii, kterou dostává z baterie. Právě možnost vybití baterie představuje problém, který řadu majitelů zbraní odvrací od nákupu chytré zbraně. Dalšími problémy bývá starost o elektro magnetickou kompatibilitu a spolehlivost identifikace. [17]

Příklady chytrých zbraní

Jako příklad chytrých zbraní byla vybrána zbraň iP1 pistol od společnosti Armatix a biometrický zámek Intelligun pro montáž na zbraně typu 1911.

Zbraň iP1 je prodávána jako zbraň pouze pro terčovou střelbu. Tato zbraň funguje na principu automatické identifikace pomocí RFID signálu vysílaného chytrými hodinkami prodávanými tím stejným výrobcem. Pokud zbraní, nebo chytrým hodinkám, dojdou baterie, tak bude zbraň uzamčena a nebude z ní možné vystřelit. [18]



Obr. 4: Biometrický zámek Intelligun [19]

Biometrický zámek Intelligun umožňuje použití zbraně pouze po ověření otisku prstu. [19] Snímač otisku prstu se nachází na rukojeti zbraně. Biometrický zámek je možné obejít pomocí klíče. Zámek se vyrábí ve dvou provedeních, provedení pro civilní trh a provedení pro ozbrojené složky. Chování zámku při vybití baterie je rozdílné v závislosti na provedení. Provedení pro civilní trh zbraň při vybité baterii uzamkne, provedení pro ozbrojené složky zbraň při vybité baterii odemkne. [20] Biometrický zámek INTELLIGUN je zobrazen na obrázku č. 4.

3.1.4 Napájená zbraňová lišta

Společnost T-WORX vyrábí napájenou verzi standardní Picatinny lišty zvanou I-Rail. Lišta I-Rail je napájena pomocí dvanácti baterií typu AA umístěných v pažbě zbraně. Energii z těchto baterií je poté možné skrze lištu rozvádět k elektronickému vybavení umístěnému na liště, jako je například svítilna nebo laserový zaměřovač. Tato lišta řeší logistický

problém, který vzniká když několik elektronických zařízení umístěných na zbrani používá rozdílné baterie. [21] Tato lišta je zobrazena na obrázku č. 5.



Obr. 5: Napájená zbraňová lišta [21]

Zatímco Picatinny lištu používají jak profesionální uživatelé, například AČR, tak i mnoho civilních uživatelů. Lištu I-Rail zatím nemá ve výzbroji žádná armáda.

3.1.5 Elektricky inicializovaná munice

Běžný náboj je inicializován fyzickým úderem úderníku na zápalku. Existují ovšem i zbraně, které náboj inicializují elektrickou cestou, konkrétně pomocí rezistoru který, pokud jím protéká dostatečný elektrický proud, značně zvýší svou teplotu, čímž inicializuje náboj.

Společnost Remington uvedla na trh palnou zbraň Remington model 700 Etronx. Tato zbraň se od standardního modelu 700 liší elektricky inicializovanou municí. Výhodou použití elektrické energie pro inicializování munice je snížení prodlevy mezi stisknutím spouště a výstřelem. Další výhodou je možnost jednoduše nastavitelného odporu, který klade spoušť při svém stisknutí. Nevýhodou je potřeba baterie, pokud dojde k vybití baterie, tak není možné ze zbraně vystřelit. [22]

3.2 Elektronické vybavení osob

V této kapitole je popsáno osobní vybavení používané Armádou České republiky a Ozbrojenými silami USA. Tyto dvě armády byly vybrány pro získání přehledu o elektronickém vybavení používaném v praxi.

3.2.1 Armáda České Republiky

AČR (Armáda České republiky) představuje hlavní složku ozbrojených sil České republiky. Tato práce se zaměřuje pouze na elektronické vybavení pěchoty, v tomto vybavení ale není zahrnuto vybavení instalované přímo na zbraních. Informace o tom, jaká zařízení jsou příslušníky AČR používána, byla získána dotazem na vojáka v aktivní službě.

Osobní radiostanice

Vojáci AČR používají přenosné radiostanice RF-7800S od americké společnosti HARRIS.

Výrobce radiostanic udává dosah systému ve volném terénu až 3 km, šifrovanou komunikaci a integrovaný GPS modul, který přenáší informace o poloze. Radiostanice je vybavena nabíjecí Li-ion baterií, u které výrobce deklaruje výdrž 12 hodin. [23]

Noktovizor

Vojáci AČR používají noktovizory MUM-14 od americké společnosti Nivisys.



Obr. 6: Noktovizor NUM-14 připevněný na helmě [24]

Tento noktovizor váží pouze 260 gramů a je možné jej připevnit na helmu. Noktovizor nemá žádné přiblížení, ale dodává se s trojicí výměnných objektivů, které nabízí možnost zvětšení: 3x, 4x nebo 5x. Noktovizor je také vybaven IR přísvitem pro použití v naprosté tmě. Noktovizor může být napájen pomocí baterie typu AA, která vydrží zařízení napájet 20 hodin, nebo pomocí baterie typu CR123, která vydrží zařízení napájet až 40 hodin. [24]

3.2.2 Ozbrojené síly USA

Ozbrojené síly USA jsou rozděleny na pět částí a to konkrétně na Armádu, Letectvo, Námořnictvo, Námořní pěchotu a Pobřežní stráž. Tato práce se zabývá pouze elektronickým vybavením Námořní pěchoty, které není připevněno na zbraní vojáka a je standardizované. Většina vojáků je například vybavována svítilnami, ale typ této svítilny záleží na konkrétní jednotce.

Osobní radiostanice

Námořní pěchota používá osobní radiostanice AN/PRC-152A od amerického výrobce HARRIS. [25]

Tato radiostanice umožňuje šifrovaný přenos dat. Radiostanice získala certifikaci od americké Národní bezpečnostní agentury (NSA), takže jí můžou příslušníci Armády USA používat i pro přenos přísně tajných informací. Stanice nepřenáší pouze zvuk, ale může přenášet libovolná data. Radiostanice je napájena Li-ion baterií o napětí 10,8V a maximální odběr deklarovaný výrobcem je 43W. [26]

Noktovizor

Námořní pěchota používá noktovizor PVS-14 od amerického výrobce ITT Industries. [27]

Tento noktovizor váží 397 gramů a je možné ho připevnit na helmu, na zbraň nebo přímo na hlavu. Noktovizor je také vybaven infračerveným přísvitem. Napájení noktovizoru zajišťují 2 baterie typu AA, které dokáží noktovizor napájet po dobu 12-ti hodin. [27]

3.3 Porovnání příkonu jednotlivých zařízení

Výrobci většinou u elektronických zařízení neudávali příkon, bylo tedy nutné příkon vypočítat. Každý výrobce uváděl typ baterie, kterou je zařízení napájeno, počet baterií a dobu po kterou by mělo zařízení pracovat, tyto hodnoty byly zapsány do tabulky č. 2 do sloupců: Typ baterie, Počet baterií a Výdrž (h).

Následně bylo nutné zjistit kapacitu a napětí pro jednotlivé baterie. Byly zjištěny hodnoty pro baterie: typu 18650 od výrobce Samsung [28], typu AA od výrobce Energizer [29], typu 357 od výrobce Energizer [30] a typu CR 1632 od výrobce Energizer [31]. Tyto hodnoty byly poté zapsány do tabulky č. 2 do sloupců: Kapacita baterie (mAh) a Napětí baterie (V).

Tab. 2: Příkony elektronických zařízení

Zařízení	Typ baterie	Počet baterií	Kapacita baterie (mAh)	Napětí baterie (V)	Energie baterií (mWh)	Výdrž (h)	Příkon (mW)
Svítilna Streamlight (vysoká svítivost)	18650	1	3040	3,61	10 974,4	1,25	8779,5
Svítilna Streamlight (nízká svítivost)	18650	1	3040	3,61	10 974,4	23,00	477,1
Noktovizor PVS-14	AA	2	1100	1,50	3 300,0	12,00	275,0
Noktovizor MUM-14	AA	2	1100	1,50	3 300,0	20,00	165,0
Laserový zaměřovač Uni-max	357	2	150	1,55	465,0	3,00	155,0
Elektronický zaměřovač MeoDot DF 1	CR1632	2	130	3,00	780,0	520,00	1,5

Pro výpočet příkonu bylo nutné spočítat energii uchovávanou v bateriích. Tato energie byla spočítána jako: Kapacita baterie * Napětí baterie * Počet baterií. Výsledek byl poté uveden do tabulky č. 2 do sloupce: Energie baterií (mWh). Samotný příkon byl poté spočítán jako: Energie baterií / Výdrž. Výsledek byl zapsán do sloupce tabulky č. 2 s názvem Příkon (mW).

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 VÝBĚR VHODNÉ METODY ENERGY HARVESTINGU

Tato práce se zaměřuje na sběr energie ze standardní útočné pušky používané pěchotou AČR, touto puškou je CZ BREN 2 [32]. Jako zdroj energie pro energy harvesting byl vybrán zpětný ráz zbraně, pro sběr této energie bude použit piezo element. Piezo element byl vybrán, protože z výsledků, které jsou uvedeny v tabulce č. 1, plyne, že má velice dobrou efektivitu. Další výhodou je minimalizace pohyblivých částí v systému a fakt, že piezo element generuje dostatečně vysoká napětí například pro otevření PN přechodu diod, takže není zapotřebí toto napětí zvyšovat. [33]

4.1 Výpočet energie zpětného rázu

Útočná puška CZ BREN 2 se vyrábí v rážích .223 Rem a 7,62x39, pro další výpočty bude počítáno s ráží .223 Rem.

Energii zpětného rázu je možné s dostatečnou přesností vypočítat pomocí celkového impulsu výstřelu, který se skládá z impulsu ústí hlavně a impulsu dodatečného účinku prachových plynů. Impuls ústí hlavně se dále skládá z hybnosti střely a hybnosti prachových plynů. Impuls výstřelu lze vypočítat pomocí rovnice (1) kde m označuje hmotnost střely, m_p označuje hmotnost prachové náplně, v_u označuje úst'ovou rychlost střely a v_v označuje rychlost plynů vytékajících z hlavně. [34]

$$P_v = \left[\left(m + \frac{m_p}{2} \right) * v_u \right] + [m_p * v_v] \quad (1)$$

Konkrétní náboj použitý pro výpočty je .223 Rem. FMJ 55 Grs vyrobený společností Sellier & Bellot. Hmotnost střely v tomto náboji je 3,6 g [35]. Hmotnost prachové náplně bylo nutné vypočítat z celkové hmotnosti náboje (12,6 g) [35] od které byla odečtena hmotnost nábojnice (7,1 g) [36] a hmotnost zápalky (0,5 g) [37], výsledná hmotnost prachové náplně je 1,4 g. Úst'ová rychlost střely udávaná výrobcem je 1006 m/s [35], tato rychlost byla ale naměřena s použitím hlavně dlouhé 60 cm. Jelikož je hlaveň útočné pušky BREN 2 o 32 cm kratší [32] tak byla rychlost snížena na 830 m/s [38]. Pro rychlost plynů vytékajících z

hlavně byla zvolená přibližná hodnota 700 m/s [34]. Po dosazení do rovnice (1) byl vypočítán Impuls výstřelu: 4,5 N.s. Tento impuls výstřelu můžeme využít k výpočtu energie zpětného rázu pomocí rovnice (2) [34] kde m_{zbr} označuje hmotnost zbraně.

$$E_z = \frac{P_v^2}{(2 * m_{zbr})} \quad (2)$$

Hmotnost zbraně jsou 3 kg [32], po dosazení do rovnice (2) byla zjištěna energie zpětného rázu: 3,4 J. Zpětný ráz každého výstřelu má tedy dostatek energie aby s ním bylo možné napájet elektronický zaměřovač MeoDot DF 1, který má příkon 1,5 mW po dobu zhruba 38 minut.

5 EXPERIMENTÁLNÍ ZAŘÍZENÍ

V experimentu byla použita zařízení popsaná v této kapitole.

5.1 Osciloskop

Průběh napětí byl sledován na osciloskopu firmy Rohde & Schwarz, HMO2024. Jedná se o čtyř kanálový osciloskop. Všechna měření byla prováděna v DC režimu.

5.2 LCR můstek

Pro měření indukčnosti, kapacity a odporu zkoumaných elektronických součástek jsme použili LCR můstek HM8118 vyrobený firmou Rohde & Schwarz.

5.3 Piezo element

Zkoumaný byl piezo keramický disk o vnějším průměru 35 mm, vyrobený neznámým výrobcem, který je možné vidět na obrázku č. 7. Pomocí LCR můstku byla piezo keramickému disku naměřena kapacita $44,0 \pm 0,5$ nF.



Obr. 7: Piezo keramický disk

5.4 Kondenzátor

Pro některé varianty měření byl do obvodu přidán keramický kondenzátor o kapacitě $55,0 \pm 0,5$ nF.

5.5 Dioda

Pro některé varianty měření byla použita jedna, nebo čtyři křemíkové usměrňovací diody MIC 1N4004.

5.6 Cívka

Jedním ze zkoumaných faktorů byl vliv cívky na chování celého obvodu. Pro měření vlivu cívky byla použita cívka s toroidním ferritovým jádrem o indukčnostech $119,0 \pm 0,5$ μ H.

6 PŘÍPRAVA EXPERIMENTU

Pro měření efektivity piezo elementu bylo nutné sestavit zařízení, které dokáže na piezo element opakovaně působit námi známou mechanickou silou. Jako zdroj mechanické síly bylo vybráno těleso známé hmotnosti vypouštěné z nastavitelné výšky nad piezo elementem. Kvůli dosažení přesnosti byl v počítači vymodelován a poté na 3D tiskárně vytisknut přípravek. Fotografie přípravku je označena jako Obrázek č. 8.

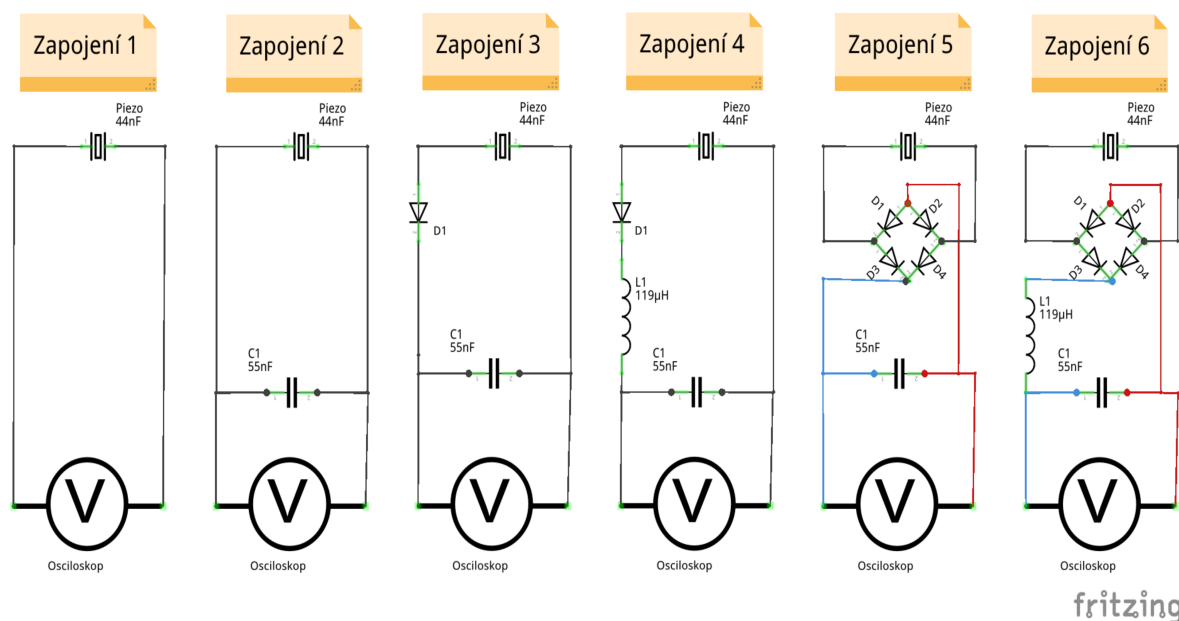


Obr. 8: Přípravek pro vypouštění kuličky

Do přípravku byl upevněn piezo element, do stanovené výšky byla vložena přepážka na níž byla položena skleněná kulička. Po spuštění měření osciloskopem byla přepážka manuálně vytažena, což způsobilo pád kuličky na piezo element. Přípravek také obsahoval vyměnitelné podložky vkládané pod piezo krystal. Tyto podložky umožnily změřit rozdíl v efektivitě piezo elementu když pod ním byla ponechána vzduchová mezera a piezo element se tudíž mohl po nárazu kuličky prohnut.

7 METODA MĚŘENÍ

Měření byla prováděna v celkem šesti zapojeních.



Obr. 9: Schémata zapojení měření

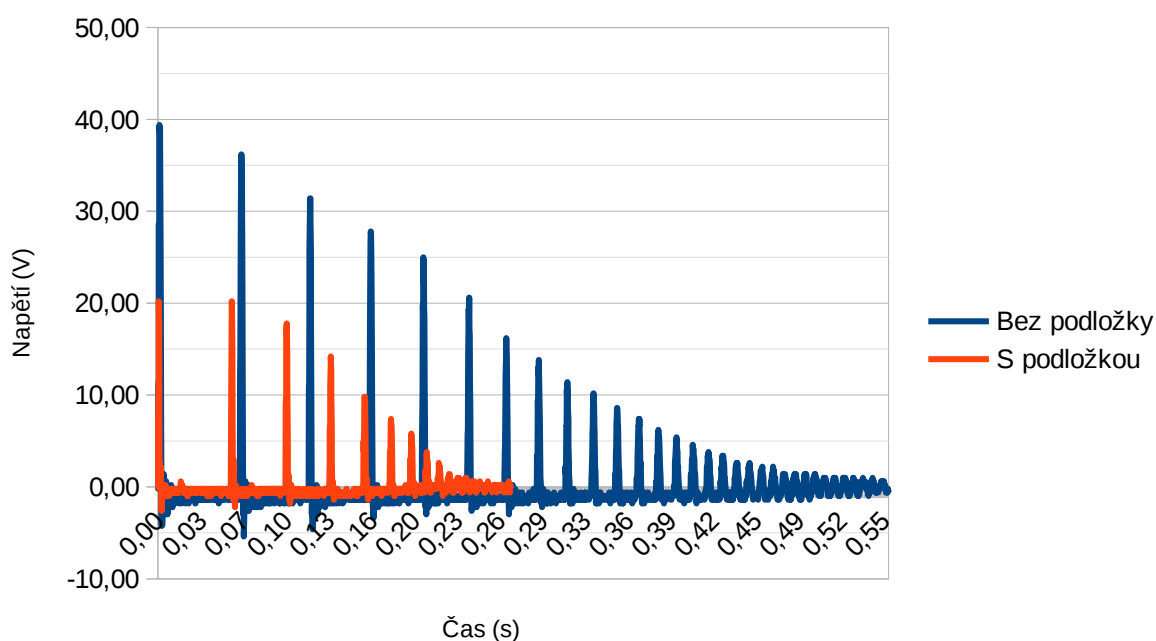
Zapojení 1 bylo použito k zaznamenání náboje vyprodukovaného na kontaktech piezo elementu při působení mechanické síly, zapojení 2 přidalo do obvodu paralelní kondenzátor, čímž efektivně zvýšilo kapacitu celého obvodu. Zapojení 3 a 5 měla za úkol porovnat rozdíl při použití jedné usměrňující diody a usměrňujícím můstku. Zapojení 4 a 6 měla za úkol ověřit vliv jaký bude mít přidání cívky do obvodu. Schémata zapojení je možné vidět na obrázku č. 9.

8 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

V této kapitole jsou uvedeny výsledky měření zakreslené do grafů.

8.1 Vliv podložky na naměřené napětí

Výsledky měření v zapojení 1 (Obr. 9) ukazují napětí měřené na piezo elementu během dopadu kuličky. Z grafu je patrné, že kulička se po dopadu na piezo element odrazí a opět na něj dopadne.

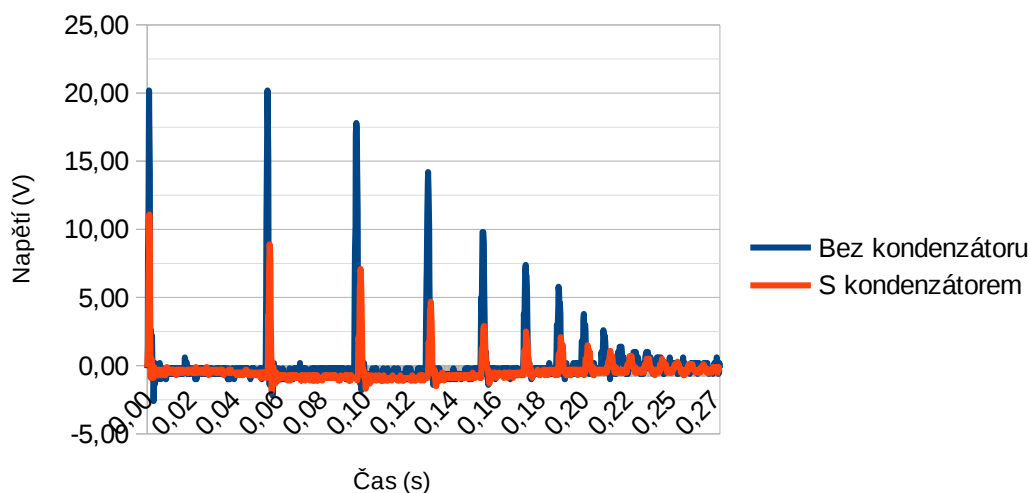


Obr. 10: Měření vlivu podložky na naměřené napětí

V grafu jsou zobrazeny výsledky dvou oddělených měření. Obě měření byla prováděna s kuličkou stejné hmotnosti, měnila se podložka pod piezo elementem. V měření „S podložkou“ byla pod piezo element umístěna pevná podložka, která mu neumožňovala se prohnut. Při měření „Bez podložky“ nebyla pod piezo element umístěna podložka, takže se mohl při dopadu kuličky prohnut. Výsledky jsou vidět na obrázku č. 10.

8.2 Měření s přidaným kondenzátorem

V druhém grafu jsou uvedeny rozdíly v naměřeném napětí mezi měřeními v zapojení 1 a 2 (Obr. 9).

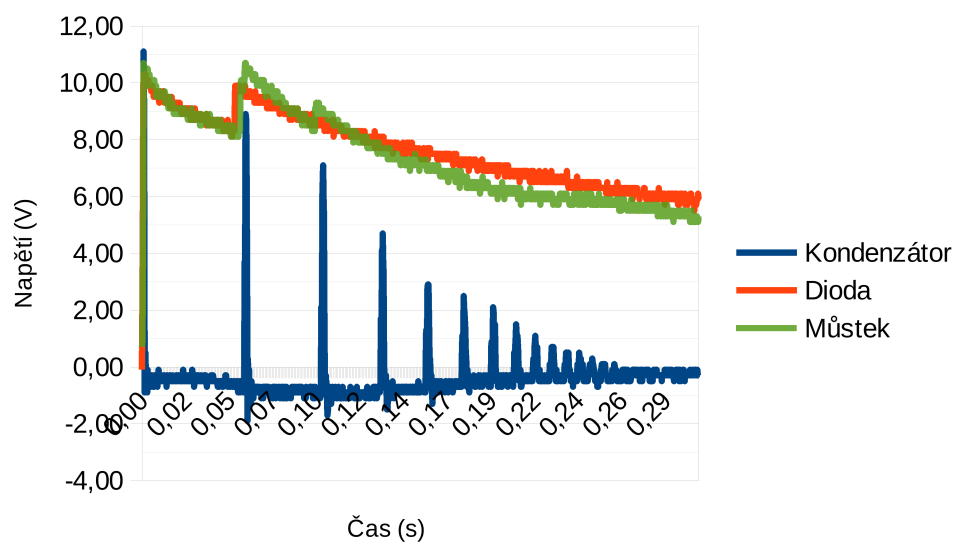


Obr. 11: Měření vlivu kondenzátoru na naměřené napětí

Měření v zapojení 1 je v grafu uvedeno jako „Bez kondenzátoru“ a měření v zapojení 2 je v grafu uvedeno jako „S kondenzátorem“. Obě měření byla provedena s podložkou umístěnou pod piezo elementem. Výsledky jsou uvedeny v obrázku č. 11.

8.3 Měření s diodou a usměrňujícím můstkem

Ve třetím grafu jsou uvedeny rozdíly v naměřeném napětí mezi měřeními v zapojení 2, 3 a 5 (Obr. 9). Měření v zapojení 2 je v grafu uvedeno jako „Kondenzátor“, měření v zapojení 3 je v grafu uvedeno jako „Dioda“ a měření v zapojení 5 je v grafu uvedeno jako „Můstek“. Všechna měření byla provedena s podložkou umístěnou pod piezo elementem. Výsledky jsou vidět na obrázku č. 12.

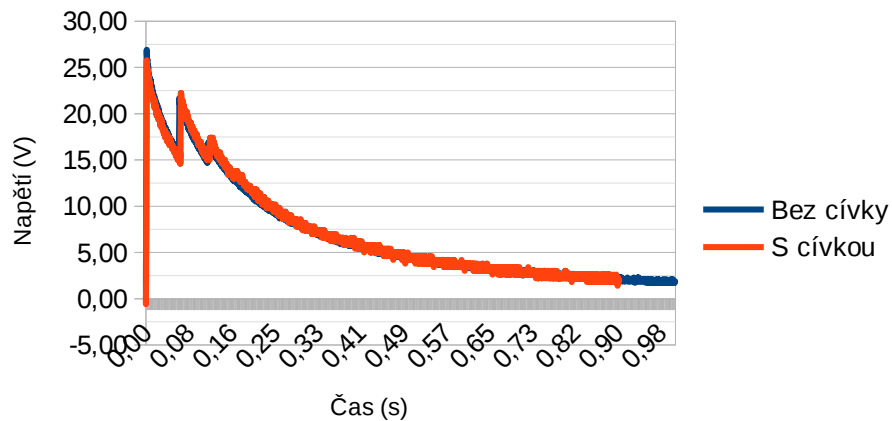


Obr. 12: Měření vlivu diody a usměrňujícího můstku na naměřené napětí

Z grafu je patrné, že zapojení 5 s usměrňovacím můstkem nedosahovalo, oproti zapojení 3, které obsahovalo pouze jednu usměrňovací diodu, vyšší účinnosti.

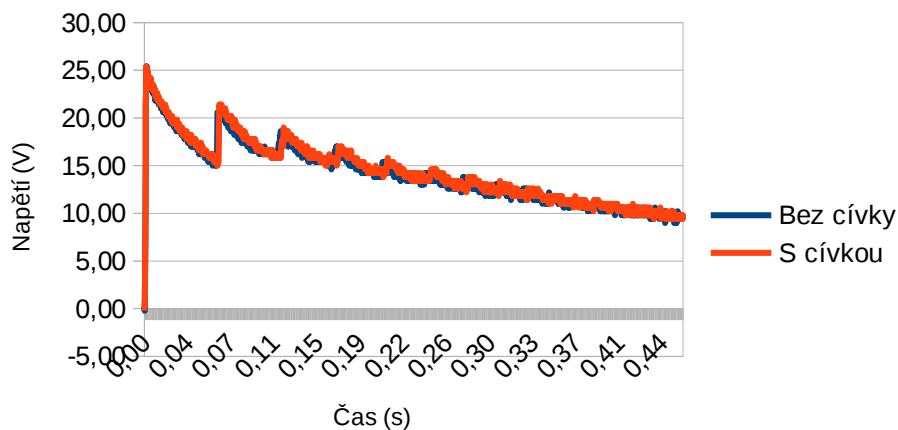
8.4 Měření vlivu cívky

Ve čtvrtém grafu jsou uvedeny rozdíly v naměřeném napětí mezi měřeními v zapojení 3 a 4 (Obr. 9). Měření v zapojení 3 je v grafu uvedeno jako „Bez cívky“ a měření v zapojení 4 je v grafu uvedeno jako „S cívkou“. Obě měření byla bez podložky umístěné pod piezo elementem. Výsledky jsou vidět na obrázku č. 13.



Obr. 13: Měření vlivu přidané cívky na naměřené napětí v zapojení s diodou

V pátém grafu jsou uvedeny rozdíly v naměřeném napětí mezi měřeními v zapojení 5 a 6 (Obr. 9). Měření v zapojení 5 je v grafu uvedeno jako „Bez cívky“ a měření v zapojení 6 je v grafu uvedeno jako „S cívkou“. Obě měření byla bez podložky umístěné pod piezo elementem. Výsledky jsou vidět v obrázku č. 14.



Obr. 14: Měření vlivu přidané cívky na naměřené napětí v zapojení s můstkem

9 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Cílem práce bylo zjistit účinnost převodu mechanické energie na energii elektrickou, pomocí vybraného piezo elementu.

Při hmotnosti kuličky ($18,3 \pm 0,1$) g byla vypočítána její potenciální energie před pádem z výšky 6 mm jako ($1,1 \pm 0,1$) mJ.

Pomocí LCR můstku byla piezo elementu naměřena kapacita 44 nF, měření bylo prováděno při frekvenci 100 Hz. Při znalosti kapacity a z naměřeného napětí byla vypočítána energie vytvořená piezo elementem. Podílem energie vytvořené piezo elementem a potenciální energie kuličky jsme získali účinnost piezo elementu.

Výsledky měření byly pro přehlednost zapsány do tabulek č. 3, 4 a 5. Do těchto tabulek bylo Zapsáno průměrné U_{max} , které bylo získáno průměrováním výsledků z 10-ti měření provedeného pro stavy s a bez podložky, která zabraňuje piezo elementu v prohnutí, v každém ze zapojení. Pro každé průměrné U_{max} byla vypočtena i směrodatná odchylka.

Tab. 3: Výsledky měření v zapojení 1 a 2

Číslo zapojení:	Zapojení 1		Zapojení 2	
Průměr účinnosti:	1,8%		1,5%	
Podložka:	Bez podložky	S podložkou	Bez podložky	S podložkou
Účinnost:	3,3 %	0,7 %	2,6 %	0,7 %
Průměrné U_{max} (V):	40,0	19,0	24,0	12,0
Směrodatná odchylka:	1,1	1,2	1,4	0,5

Tab. 4: Výsledky měření v zapojení 3 a 4

Číslo zapojení:	Zapojení 3		Zapojení 4	
Průměr účinnosti:	0,8%		0,7%	
Podložka:	Bez podložky	S podložkou	Bez podložky	S podložkou
Účinnost:	1,6 %	0,3 %	1,5 %	0,2 %
Průměrné U_{max} (V):	25,3	10,0	25,0	9,0
Směrodatná odchylka:	0,9	0,8	1,0	1,1

Tab. 5: Výsledky měření v zapojení 5 a 6

Číslo zapojení:	Zapojení 5		Zapojení 6	
Průměr účinnosti:	0,9%		0,9%	
Podložka:	Bez podložky	S podložkou	Bez podložky	S podložkou
Účinnost:	1,7 %	0,4 %	1,6 %	0,4 %
Průměrné U_{max} (V):	26,0	12,1	25,0	13,2
Směrodatná odchylka:	1,0	0,4	1,0	0,9

Protože se kulička při dopadu odrazila, tak nedošlo k okamžitému předání veškeré kinetické energie. Po naměření hodnot v zapojení 1 a 2, byla vypočítána energie vygenerovaná piezo elementem v prvních deseti dopadech kuličky. Tato energie byla zapsána do tabulky 4, do řádku „Celková naměřená energie [μ J]:“. Z této energie a celkové energie kuličky byla vypočítána účinnost, která byla zapsána do řádku: „Celková účinnost:“.

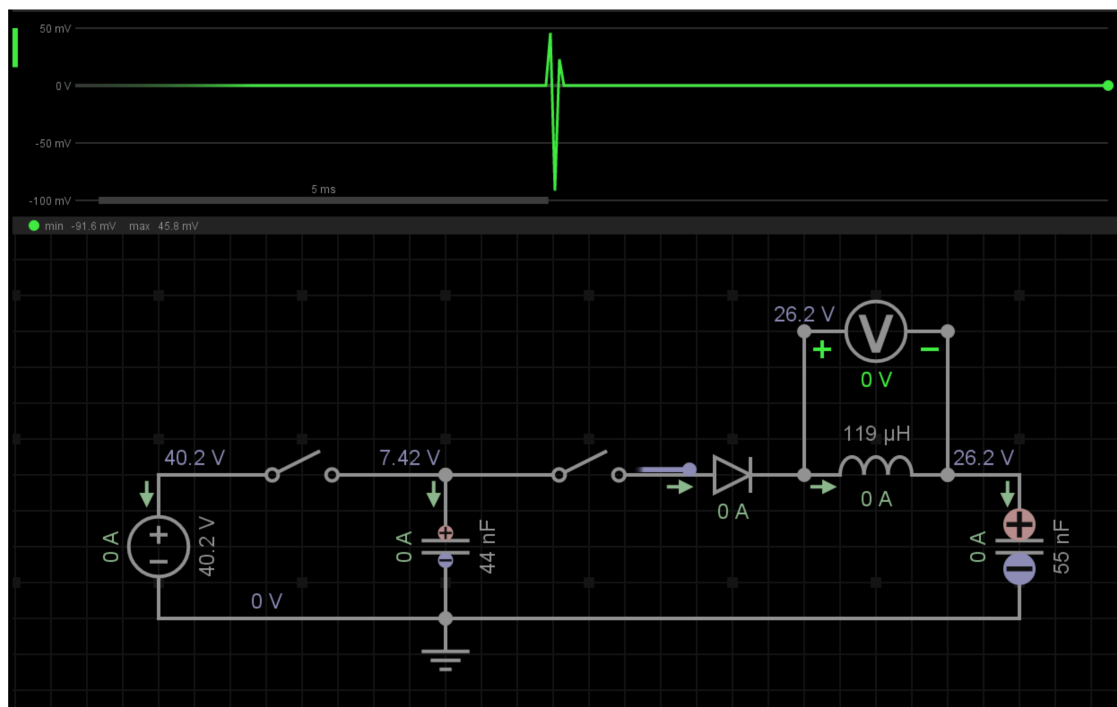
Tab. 6: Celková energie prvních 10 dopadů kuličky

Číslo zapojení:	Zapojení 1		Zapojení 2	
Podložka:	Bez podložky	S podložkou	Bez podložky	S podložkou
Celková účinnost:	13,1 %	3,2 %	12,1 %	1,4 %
Celková naměřená energie (μ J):	141	34	130	15
Celková vypočítaná energie (μ J):	209	40	152	27

Jako forma kontroly výsledků byla vypočítána celková energie, kterou by kulička měla vygenerovat při prvních deseti dopadech. Tato energie byla vypočítána jako potenciální energie kuličky při pádu z výšky do které by se měla kulička odrazit * Účinnost pro dané měření získanou z tabulky č. 3. Výška do které se měla kulička odrazit byla pomocí trojčlenky vypočítána ze znalosti původní výšky, znalosti napětí vygenerovaného po prvním dopadu a napětí vygenerovaném zbylými dopady. Tyto hodnoty byli zapsány do řádku „Celková vypočítaná energie [μ J]:“ v tabulce č. 6.

9.1 Simulace měřeného obvodu

Pro otestování efektu cívky na zkoumaný obvod bylo v počítačovém programu EveryCircuit vytvořeno a simulováno zapojení 4 (Obr. 9). Výsledek simulace je zobrazen v obrázku č. 15. Simulace ukázala, že napětí indukované na cívce nepřekročilo 100 mV, takže vliv cívky na obvod byl zanedbatelný.



Obr. 15: Simulace zapojení č. 4

Výsledné napětí na kondenzátoru při simulaci zapojení č. 4 bylo 26,2 V, naměřené napětí při měření v zapojení č. 4 bylo $25,0 \pm 1,0$ V (Tab. 4).

Tab. 7: Porovnání naměřeného napětí s výsledky simulací

	Naměřené napětí (V)	Simulované napětí (V)
Zapojení 3	$25,3 \pm 0,9$	26,3
Zapojení 4	$25,0 \pm 1,0$	26,2
Zapojení 5	$26,0 \pm 1,0$	25,7
Zapojení 6	$25,0 \pm 1,0$	25,7

Simulace byla provedena pro měření 3, 4, 5 a 6, výsledná napětí byla zaznamenána do sloupce „Simulované napětí“ v tabulce č. 7. Do stejné tabulky byla zapsána i naměřená napětí pro stejná zapojení.

ZÁVĚR

Bylo zjištěno, že účinnost piezo elementu při přeměně kinetické energie na energii elektrickou je zhruba 1%. Pro praktické využití je důležitá skutečnost, že pokud je piezo elementu umožněno se po nárazu prohnout, dojde k řádovému zvýšení účinnosti oproti stavu, kdy piezo element nemá možnost se prohnout. Bylo zjištěno, že použitím usměrňujícího můstku nedojde ke zvýšení účinnosti, protože energie byla získávána pouze z napět'ových špiček, u kterých se neměnila polarita.

Pro účely této práce byla testována možnost sběru energie zpětného rázu vytvořeného výstřelem palné zbraně pomocí piezo keramického disku. S přihlédnutím k zjištěnému příkonu elektronických zařízení instalovaných na palné zbraně, který se často pohybuje ve stovkách miliwatt, k celkové energii zpětného rázu která je zhruba 3 J a k naměřené účinnosti piezo elementu, zhruba 1%, není tento způsob energy harvestingu doporučen.

Pro budoucí práci je doporučeno zaměřit se buď na využití energie plynů vznikajících při výstřelu, nebo na sběr energie z vybrací vznikajících při manipulaci se zbraní. Plyny vznikající při výstřelu by bylo možné zachytit pomocí systému na odběr plynů z hlavně a jejich následné převedení na elektrickou energii pomocí úderu pístu na piezo element, nebo pohybu zmagnetizovaného pístu skrze cívku.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ELVIN, Niell a Alper ERTURK. Advances in energy harvesting methods. New York: Springer, [2013]. ISBN 9781461457046.
- [2] GRUETTER, Jeff. SOLAR ENERGY HARVESTING. Analog devices [online]. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/technical-articles/SolarEnergyHarvesting.pdf>
- [3] SUNGWOOK, Kim. Adaptive cognitive radio energy-harvesting scheme using sequential game approach. Wireless Communications and Networking. 2017(16).
- [4] EDWARDS, Rhys a Chris GOULD. Review on Micro-Energy Harvesting Technologies. 2016. Staffordshire University.
- [5] POULIN, G, E SARRAUTE a F COSTA. Generation of electrical energy for portable devices: Comparative study of an electromagnetic and a piezoelectric system. Sensors and Actuators A: physical. 2004, (116).
- [6] CHALASANI, Sravanthi a James M. CONRAD. A Survey of Energy Harvesting Sources for Embedded Systems. 2008. University of North Carolina at Charlotte.
- [7] JOON KIM, Kyoung, Francesco COTTONE, Suresh GOYAL a Jeff PUNCH. Energy Scavenging for Energy Efficiency in Networks and Applications. Bell Labs Technical Journal. 2010, 15(2), 7–30.
- [8] Piezo and Piezo Electricity. Pechmol [online]. 2017 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <http://learn.pechnol.com/2017/02/14/piezo-electricity-overshadowed-applications/>
- [9] PASTOREK, Lukáš. Využití energie piezoelektrického jevu. Plzeň, 2012. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [10] What is “PZT”? In: American Piezo [online]. [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <https://www.americanpiezo.com/piezo-theory/pzt.html>
- [11] Reflex sights. Meopta [online]. [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://www.meopta.com/en/reflex-sights/>

- [12] MeoDot DF 1. Meopta [online]. [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://www.meopta.com/en/meodot-df-1/>
- [13] How do the solar optics work?. HOLOSUN [online]. [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: https://holosun.com/index.php?main_page=page&id=22
- [14] HS507C. HOLOSUN [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: https://holosun.com/index.php?main_page=product_info&cPath=49&products_id=61
- [15] The ProTac Rail Mount HL-X. Streamlight [online]. [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <https://www.streamlight.com/en/products/detail/index/protac-rail-mount-hl-x>
- [16] Red Uni-Max Laser. Lasermax [online]. [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <https://www.lasermax.com/lms-uni-es.html>
- [17] "Smart" Guns. NRA-ILA [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://www.nra-ila.org/articles/20000127/smart-guns>
- [18] IP1SmartSystem Instruction Manual [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: http://www.armatix.de/fileadmin/Armatix_PDFs/InstructionManualIP1_en.pdf
- [19] INTELLIGUN [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <http://www.intelligun.com/>
- [20] The Smart-Gun Maker Who Told Holder Off. National review [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://www.nationalreview.com/2014/08/smart-gun-maker-who-told-holder-frank-miniter/>
- [21] Intelligent Rail®. Tworx [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <http://tworx.com/intelligent-rail/>
- [22] Instruction Book for: Model 700 EtronX [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://www.remington.com/sites/default/files/Model700etronx.pdf>
- [23] HARRIS RF-7800S-TR. DtSheet [online]. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <http://dt-sheet.com/doc/569787/harris-rf-7800s-tr>
- [24] MUM-14 Brochure. Nivisys [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: http://www.nivisys.com/en/uploads/MUM-14_Brochure_ENG_081116.pdf

- [25] US Department of Navy Awards Harris Corporation \$765 Million IDIQ Contract for Tactical Radios [online]. 13. 10. 2017 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.harris.com/press-releases/2017/10/us-department-of-navy-awards-harris-corporation-765-million-idiq-contract-for>
- [26] HARRIS FALCON III ® AN/PRC-152A. HARRIS [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.harris.com/sites/default/files/downloads/solutions/harris-falcon-iii-an-prc-152a-wideband-networking-handheld-radio.pdf>
- [27] NIGHT OPTICS AND OBSERVATION THEORY. Marines [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.trngcmd.marines.mil/Portals/207/Docs/TBS/B2E2677%20Night%20Optics%20and%20Observation%20Theory.pdf?ver=2015-04-30-111228-113>
- [28] Introduction of INR18650 INR18650-30Q [online]. SAMSUNG [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://eu.nkon.nl/sk/k/30q.pdf>
- [29] Eveready 1215 [online]. ENERGIZER [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <http://data.energizer.com/pdfs/1215.pdf>
- [30] ENERGIZER 357/303 [online]. ENERGIZER [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <http://data.energizer.com/pdfs/357-303zb.pdf>
- [31] ENERGIZER CR1632 [online]. ENERGIZER [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <http://data.energizer.com/pdfs/cr1632.pdf>
- [32] Útočná puška CZ BREN 2. Armáda ČR [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://www.acr.army.cz/technika-a-vyzbroj/pechotni/utocna-puska-cz-bren-2-209501/>
- [33] VINKO, Davor. Applicability of Dickson Charge Pump in Energy Harvesting Systems: Experimental Validation of Energy Harvesting Charge Pump Model. Croatia, 2017. University of Osijek.
- [34] KNEUBUEHL, Beat P. Balistika: střely, přesnost střelby, účinek. Praha: Naše vojsko, 2004. ISBN 80-206-0749-8.

- [35] 223 REM. FMJ. Sellier & Bellot [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.sellier-bellot.cz/produkty/kulove-naboje/kulove-naboje-training-fmj/detail/572/>
- [36] Nábojnice. Sellier & Bellot [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.sellier-bellot.cz/produkty/komponenty/nabojnice/>
- [37] Zápalky. Sellier & Bellot [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.sellier-bellot.cz/produkty/komponenty/zapalky/>
- [38] Vliv délky hlavně na rychlost střely. Myslivost [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://www.myslivost.cz/Pro-myslivce/Poradny/Strelecka-poradna/Vliv-delky-hlavne-na-rychlost-strely>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AČR Armáda České republiky

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Zařízení pro elektrostatickou metodu energy harvesting [1].....	11
Obr. 2: Princip piezoelektrického jevu [8].....	13
Obr. 3: Elektronický zaměřovač firmy HOLOSUN [14].....	15
Obr. 4: Biometrický zámek Intelligun [19].....	17
Obr. 5: Napájená zbraňová lišta [21].....	18
Obr. 6: Noktovizor NUM-14 připevněný na helmě [24].....	20
Obr. 7: Piezo keramický disk.....	26
Obr. 8: Přípravek pro vypouštění kuličky.....	28
Obr. 9: Schémata zapojení měření.....	29
Obr. 10: Měření vlivu podložky na naměřené napětí.....	30
Obr. 11: Měření vlivu kondenzátoru na naměřené napětí.....	31
Obr. 12: Měření vlivu diody a usměrňujícího můstku na naměřené napětí.....	32
Obr. 13: Měření vlivu přidané cívky na naměřené napětí v zapojení s diodou.....	33
Obr. 14: Měření vlivu přidané cívky na naměřené napětí v zapojení s můstkem.....	33
Obr. 15: Simulace zapojení č. 4.....	36

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Efektivita metod energy harvesting [4,5].....	10
Tab. 2: Příkony elektronických zařízení.....	22
Tab. 3: Výsledky měření v zapojení 1 a 2.....	34
Tab. 4: Výsledky měření v zapojení 3 a 4.....	34
Tab. 5: Výsledky měření v zapojení 5 a 6.....	35
Tab. 6: Celková energie prvních 10 dopadů kuličky.....	35
Tab. 7: Porovnání naměřeného napětí s výsledky simulací.....	36