



Středoškolská technika 2015

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na
ČVUT**

Automatizovaná střelnice pro vzduchové pistole

Martin Radvanský

**Střední průmyslová škola elektrotechnická a informačních technologií Brno
Purkyňova 97, Brno**

Brno 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v seznamu vloženém v této práci.

V Brně dne 8.5.2015

podpis:.....

Poděkování

Děkuji svému otci, RNDr. Martinu Radvanskému za obětavou pomoc, podnětné připomínky a rady, které mi během práce poskytoval. Dále děkuji Ing. Jaroslavovi Nesvadbovi, CSc. za připomínky při realizaci tohoto projektu.

ANOTACE

Tato práce se zabývá návrhem a výrobou zařízení, které slouží jako střelnice pro nácvik střelby se vzduchovou pistolí. Zařízení je řízeno centrální jednotkou Arduino MEGA, na kterou lze připojit libovolný počet samostatných inteligentních terčů. Konstrukce musí na prvním místě zajistit bezpečnost střelce i obsluhy. Dalším úkolem je rovněž zajistit atraktivitu střelby pro střelce. Celé zařízení je navrženo tak, aby bylo snadno přenosné, komfortní k obsluze, umožňovalo více módů činnosti a podporovalo několik střelců.

Klíčová slova: Mikrokontrolér; inteligentní terč; Arduino; multiprocessorová komunikace; střelba na cíl

ANNOTATION

This work deals with the design and manufacture of the device, which is used as a shooting range to practice shooting with an air gun. The device is controlled by the unit, based on the Arduino MEGA, which you can connect to any number of smart targets. Shooting range must provide the safety of the operator and the shooter. The next aim is also to ensure the attractiveness of the firing for shooters. It is designed to be easily portable, comfortable to use, to enable multiple modes of activity and support several of shooters.

Key words: Microcontroller; smart target; Arduino; multiprocessor communication; target practice

Obsah

ÚVOD	7
1 CÍL PRÁCE	8
2 FUNKČNÍ POŽADAVKY AUTOMATIZOVANÉ STŘELNICE	8
2.1 POŽADAVKY NA BEZPEČNOST PŘI STŘELBĚ A OBSLUZE	8
2.1.1 Požadavky na bezpečnost obsluhy.	8
2.2 UŽIVATELSKÉ POŽADAVKY NA FUNKCE STŘELNICE	8
3 NÁVRH A OVĚŘENÍ MECHANICKÉ KONSTRUKCE STŘELNICE	9
3.1 MECHANICKÁ KONSTRUKCE ZÁSAHOVÉ PLOCHY TERČE	11
3.2 MECHANICKÁ KONSTRUKCE TERČE.....	14
3.2.1 Ověření dostatečného výkonu serva.....	14
3.2.2 Síla působící na zásahovou plochu při dopadu projektilu	16
3.3 MECHANICKÁ ČÁST – STŘELNICE	18
3.3.1 Základna střelnice.....	18
4 ELEKTRONICKÁ ČÁST STŘELNICE	20
4.1 PLATFORMA ARDUINO	20
4.1.1 Hlavní řídicí jednotka	20
4.1.2 Řídicí jednotka inteligentního terče	20
4.2 ELEKTRONICKÝ SYSTÉM STŘELNICE.....	21
4.2.1 Základní řídicí jednotka.....	22
4.2.2 Vstupní periferie centrální jednotky (CJ).....	23
4.2.3 Výstupní periferie.....	24
4.2.4 Komunikace	26
4.2.5 Kombinovaný napájecí zdroj	28
4.3 INTELIGENTNÍ TERČ.....	30
4.3.1 Centrální jednotka inteligentního terče	30
4.3.2 Senzor polohy zásahové plochy.....	30
4.3.3 Senzor zásahu do středu zásahové plochy.....	31
4.3.4 Servo pohon pro zvednutí zásahové plochy.....	31
5 SOFTWAREOVÁ VÝBAVA STŘELNICE	32
5.1 PROSTŘEDKY POUŽITÉ K PROGRAMOVÁNÍ.....	32
5.1.1 Programování Arduino modulů pomocí Visual Micro.....	32
5.2 ZÁKLADNÍ KONCEPCE FIRMWARE INTELIGENTNÍHO TERČE	33
5.2.1 Periferie připojené k řídicí jednotce terče	33
5.2.2 Firmware řídicí jednotky	34
5.3 ZÁKLADNÍ KONCEPCE FIRMWARE STŘELNICE.....	36
5.3.1 Módy střelnice.....	36
5.3.2 Periferie připojené k řídicí jednotce střelnice.....	38
5.3.3 Komunikační protokol na systémové sběrnici	38
5.3.4 Použité knihovny pro obsluhu periférií	40
5.3.5 Firmware řídicí jednotky	41
5.3.6 Podprogram vykonávání příkazů	42
5.3.7 Provedení nácviku střelby varianta A	43
5.3.8 Provedení nácviku střelby varianta B	45
5.3.9 Zdrojové kódy firmware.....	45
ZÁVĚR	47
SOUPIS POUŽITÝCH ZDROJŮ	48
SEZNAM OBRÁZKŮ	49
SEZNAM TABULEK	51
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	52
PŘÍLOHY	53

1. ZÁSAHOVÁ ČÁST TERČE.....	54
2. BOČNICE DRŽÁKU TERČE	55
3. FOTO KOMPLETNÍHO TERČE.....	56
4. FOTO STŘELNICE	57

Úvod

V České republice byla vždy obliba ve střelných zbraních. Zbraň může vlastnit pouze ten, kdo má zbrojní průkaz. Proto se lidé většinou rozhodují pro střelbu ze vzduchových zbraní, nebo navštěvují střelnice, kde pod odborným dohledem mohou střílet z různých typů zbraní.

Po roce 1989 do České republiky přišel Airsoft (druh vojenského sportu, ve kterém hráči po sobě střílejí lehkými plastovými kuličkami ze zbraní, které napodobují reálné zbraně). Historie Airsoftu sahá do Východní Asie, zvláště do Japonska, Číny, Jižní Koree. Většina airsoftových zbraní pochází právě z těchto zemí. Postupem času se výroba zbraní přesunula i k nám do ČR – Zbrojovka Brno, Česká zbrojovka Uherský Brod. Z tohoto důvodu jsou velice kvalitní zbraně více dostupné i pro širokou veřejnost. Na střelnicích nebo i v domácích podmínkách se většinou střílí na papírové terče. Ke zjištění úspěšné střelby se musí terč vyhodnotit, což je někdy velmi časově náročné a nepřesné. Při střelbě na určité předměty (např. použité plechovky) se tyto předměty musí opakovaně stavět, čímž se střelba stává zdlouhavou až nudnou.

Cílem mé práce je zjednodušit, zkvalitnit a zatraktivnit střelbu pomocí inteligentní střelnice. Zařízení je přenosné, umí zaznamenávat všechny zásahy do terčů, zasažené terče opět zvedá, střílet může více střelců.

V současné době na trhu jsou zařízení, které známe převážně z pout'ových atrakcí, jež při zvedání terčů často pracují na principu dlouhého provázku nebo lidské obsluhy. Reálné automatické střelnice lze sice na internetu zakoupit, ale vzhledem k jejich vysoké ceně jsou pro většinu lidí nedostupné. Ceny se pohybují od 60 000,- Kč a výše.

1 Cíl práce

Cílem práce je tedy vytvoření automatizované střelnice pro nácvik střelby airsoftovou pistolí. Pro úspěšné dosažení cíle práce je postupováno ve čtyřech základních krocích.

1. Sestavení požadavků na funkčnost automatizované střelnice.
2. Návrh a ověření mechanického provedení.
3. Návrh a naprogramování řídicího systému střelnice a terčů.
4. Spojení mechanické části a elektroniky do jednoho celku, jeho oživení a test funkčnosti výrobku.

2 Funkční požadavky automatizované střelnice

Před samotnou konstrukční prací je třeba shrnout požadavky, které chceme, aby navrhované zařízení plnilo. Samotné požadavky lze rozdělit do dvou základních skupin.

- Bezpečnost obsluhy
- Uživatelem požadované funkce

2.1 Požadavky na bezpečnost při střelbě a obsluze

Splnění těchto požadavků má přednost před všemi uživatelskými požadavky. Jelikož zařízení provozujeme tak, že používáme airsoftovou pistolí, je nutné respektovat všechny bezpečnostní opatření doporučené výrobcem použité zbraně.

Mezi tyto opatření patří:

- Zbraň je třeba považovat za vždy nabitou.
- Střelbu provádět v otevřeném prostoru.
- Při střelbě používat ochranné brýle.
- Nikdy nemířit na to na co nechceme střílet.
- Nikdy nestřílet na živé tvory.
- Nikdy nedržet prst na spoušti, kromě okamžiku střelby.
- Hlaveň zbraně směřovat vždy směrem k cíli střelby.
- Před výstřelem se přesvědčit, zda se mezi hlavní a cílem nenalézá žádný předmět či člověk.

Pro splnění těchto pravidel je vyžadována určitá disciplína a odpovědnost osoby používající airsoftovou zbraň.

2.1.1 Požadavky na bezpečnost obsluhy.

1. Protože obsluhujeme elektrické zařízení, je jej třeba zabezpečit z pohledu ochrany před úrazem elektrickým proudem dle příslušné ČSN EN 61140 ed.2.
2. Při střelbě na terč často dochází k odražení střely od terče, nebo plochy za ním. Je tedy nutno z hlediska bezpečnosti obsluhy eliminovat v co největší míře odražení střely zpět, směrem ke střelci.

Tyto požadavky na bezpečnost je třeba brát do úvahy již v době návrhu mechanické a elektrické části a to vždy přednostně.

2.2 Uživatelské požadavky na funkce střelnice

Vzhledem k tomu, že je střelnice navrhována tak, aby splnila požadavky konkrétního uživatele, nemusí být požadované vlastnosti v souladu s preferencemi obecnými. Pro výcvik střelby jsou stanoveny následující funkční požadavky:

1. Počítání zásahů včetně rozlišení zásahu do středu terče.
2. Automatické zvedání terče.
3. Možnost více druhů nácviku střelby (rychlost zásahu, přesnost zásahu, atd.).
4. Použití více terčů s možností jejich rozšíření.

5. Návčik pro více střelců.
6. Snadná manipulace při přenášení a převozu.
7. Nezávislost na připojení k elektrické síti.
8. Snadná opravitelnost.
9. Využití dostupných materiálů a součástí.
10. Co nejmenší možná cena s přihlédnutím ke splnění funkčních požadavků.

Uvedené požadavky jsou pouze soupisem, nikoliv uspořádaným seznamem podle důležitosti.

3 Návrh a ověření mechanické konstrukce střelnice

Při návrhu mechanické konstrukce byl použit ověřený model dostupných mechanických terčů. Mechanické střelnice, které jsou na trhu pro návčik střelby, jsou nejčastěji zhotoveny z plechových terčů ve tvaru postavy či zvířete a jsou upevněny na jedné ose pomocí otočného uložení. Při zásahu je terč sestřelen tak, že není pro střelce již dále viditelný. Po sestřelení všech terčů je možné provázkovým mechanismem na dálku (omezeno délkou provázku) sestřelené terče opět zvednout a střelec může pokračovat v návčiku střelby. Ukázky dostupných mechanických řešení střelnice jsou na následujícím obrázku (Obrázek 1).



Obrázek 1 Používané mechanické konstrukce terčů

V této práci navržené mechanické řešení vychází z uvedených osvědčených principů otočného terče, s tím rozdílem, že terč je umístěn na otočném rameni. Pro automatizovanou střelnici je navrženo v jejím základním a zde prezentovaném provedení, osazení pěti samostatnými terči. Z důvodu zvýšení obtížnosti návčiku střelby jsou zásahové plochy umístěny na ramenech různé délky a mají dvě různé velikosti dotykové plochy, která slouží k rozpoznání zásahu do středu.

Střelnice je navrhována pro použití se vzduchovou pistolí parametrů uvedených v tabulce (Tabulka 1), lze ji však použít pro libovolnou zbraň obdobných vlastností.

Vzduchová pistole na CO₂, Beretta Elite II (Obrázek 2), vyráběná firmou UMAREX, zbraň je airsoftová volně dostupná, kategorie D a je prodejná od 18 let. Technické parametry jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 1).

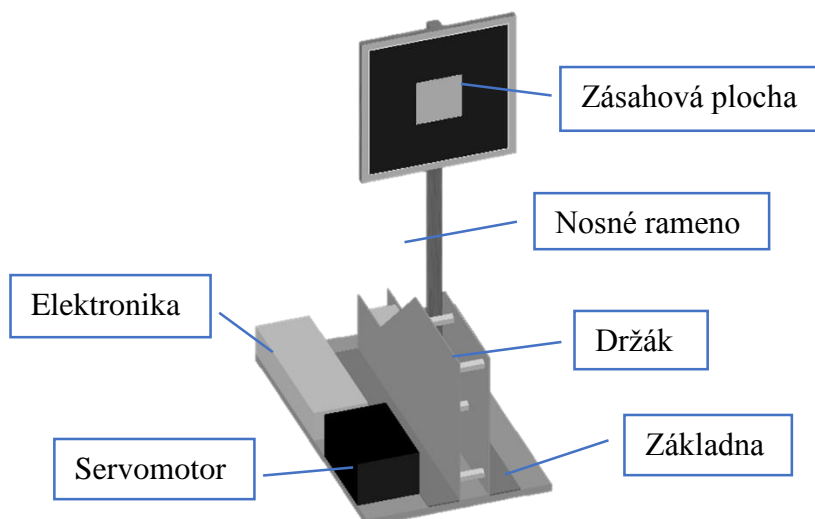
Tabulka 1 Parametry vzduchové zbraně, použité při návrhu střelnice

Parametr	Hodnota
Střelivo	Ocelové kuličky ráže 0.177" (4,5 mm), hmotnost 0,31g
Úst'ová rychlost projektilu	$125 \frac{m}{s}$
Kinetická energie	$< 3J$

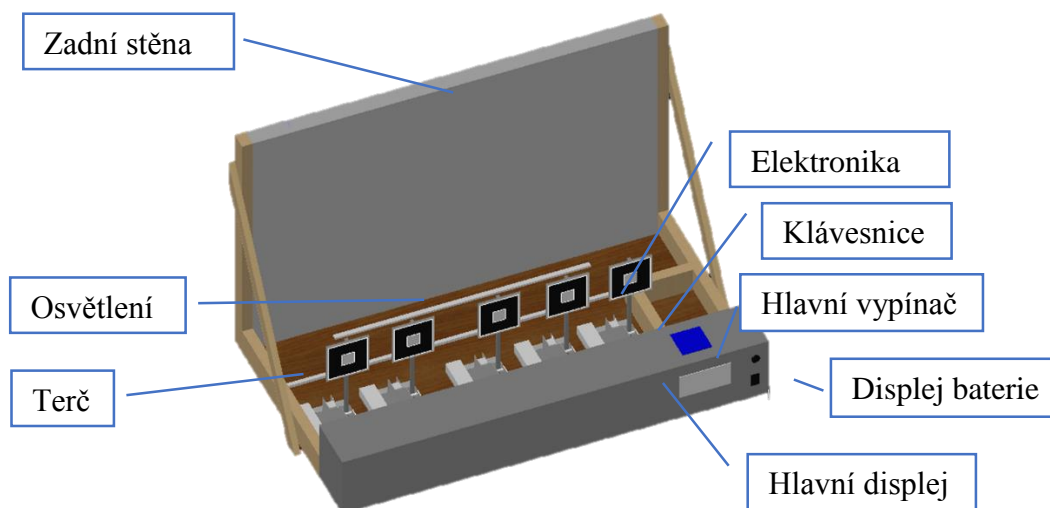


Obrázek 2 Airsoftová zbraň na CO₂, Beretta Elite II

Před vlastní konstrukcí byla použita vizualizace návrhu v programu AutoCAD 2013 studentská licence. Vizualizace posloužily k představě, jak bude střelnice vypadat, jaké zvolit proporce jednotlivých součástí (Obrázek 3 a Obrázek 4), barevné provedení. Taktéž byla vytvořena dokumentace pro výrobu některých konstrukčních prvků (viz. přílohy této práce).



Obrázek 3 Vizualizace terče s popisem částí



Obrázek 4 Vizualizace střelnice pomocí programu AutoCAD

3.1 Mechanická konstrukce zásahové plochy terče

Mechanická konstrukce zásahové plochy byla navržena tak, aby byla schopna zabezpečit rozpoznání zásahu do středové oblasti. Při návrhu byla testována dvě řešení.

První řešení vycházelo z principu umístění středové části na pružinu s předpokladem, že při zásahu bude tato středová část zatlačena do terče a dojde k sepnutí kontaktu umístěného za středovou částí. Toto mechanické řešení je zobrazeno obrázku (Obrázek 5).



Obrázek 5 Zásahová plocha terče se středovým pohyblivým kontaktem

Nevýhody tohoto řešení se projevily hned po pár zkušebních výstřelech. Upevnění ve středu přes pružinu vyžadovalo naprosto přesný a kolmý zásah do středu pro sepnutí kontaktu. Toto řešení bylo zamítnuto jako nevhodné.

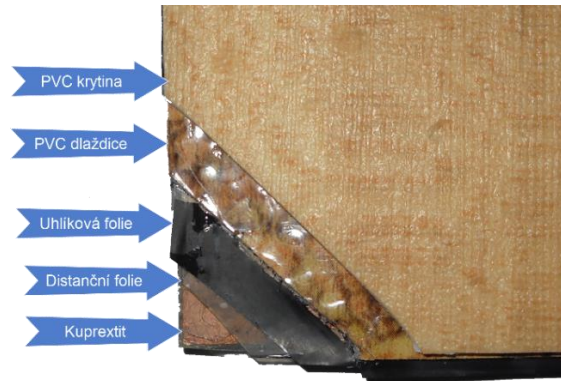
Druhým navrženým řešením signalizace středového zásahu bylo využití principu membránové klávesnice. Toto řešení je zobrazeno na obrázku (Obrázek 7). Při testovacích střelbách se ukázala jako nezbytná správná volba použitých materiálů na zásahové ploše terče. Testováním se osvědčila následující kombinace materiálů pro sestavení spolehlivého a odolného terče.

1. Základnová deska je tvořena oboustranným Cuprextitem rozměru $100 \times 100 \text{ mm}$. Na jedné straně ve středu je vytvořena oddělená plocha o rozměrech (35×35 a alternativně $45 \times 45 \text{ mm}$) pro detekci zásahu do středu terče.
2. Následně je vložena distanční fólie pro oddělení vodivých vrstev. Je tvořena průhlednou plastovou fólií používanou na vazby kancelářských dokumentů. Pro zvětšení oddělovací mezery je použita dvojitě. Ve středu této distanční fólie je vytvořen otvor o rozměrech (30×30 a $40 \times 40 \text{ mm}$) umožňující dotek vodivé vrstvy.
3. Vodivá vrstva je tvořena polyamidovou fólií potaženou vrstvou uhlíku, vyráběnou firmou Lachema. Odpor této vodivé vrstvy je cca 30Ω na cm^2 .
4. Další vrstvou je 1,5 mm tlustá samolepící PVC dlaždice, lepící vrstvou je přilepena k vodivé vrstvě.
5. Vrchní krycí vrstva je tvořena 2mm tlustou PVC podlahovou krytinou. Jedná se o odolnou a přitom pružnou podlahovou krytinu.

Pro vytvoření kontaktu je na zadní straně základnové desky vytvořena izolovaná část od okolí a to v každém rohu středové dotykové plochy. Dále je tato ploška propojena vyvrtaným otvorem s vnitřní stranou terče. Tyto plošky tvoří jeden pól dotykového spínače pro detekci zásahu do středu terče.



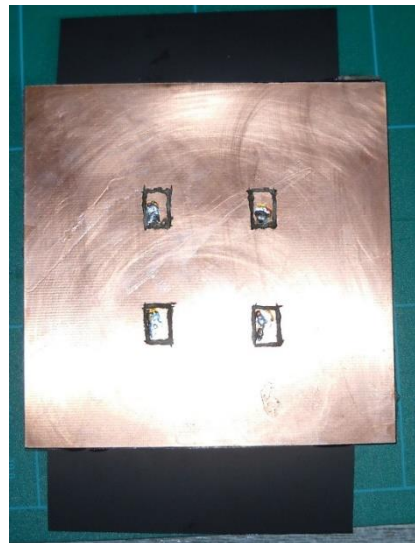
Obrázek 6 Základnová deska se samostatnou středovou částí



Obrázek 7 Sestavená zásahová plocha terče



Obrázek 8 Zásahová plocha připravená k připájení hran

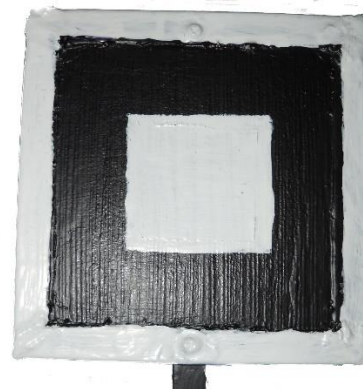


Obrázek 9 Zadní strana zásahové plochy s ploškami pro kabeláž

Výsledný sestavený terč je orámován pocínovaným plechem v šířce 1 cm, který je připájen k zadní straně základové desky na měděnou fólii. Tento rám slouží kromě zpevnění celého terče také jako dotyková plocha pro vodivou uhlíkovou fólii a je tak druhým kontaktem pomyslného spínače středu terče.



Obrázek 10 Zásahová plocha terče s připájeným kontaktním rámečkem



Obrázek 11 Finální podoba zásahové plochy terče

Takto navržená zásahová plocha terče je připevněna pomocí rozebíratelného spojení na

hliníkový hranol o rozměrech 10×10 mm. Délka ramen, na které je připevněna je v automatické střelnici zvolena na délky 2×400 mm, 2×350 mm a 1×300 mm pro celkový počet 5 použitých terčů.

3.2 Mechanická konstrukce terče

Základna terče, společně se zásahovou plochou tvoří celý mechanický modul terče. Konstrukční materiál byl zvolen hliníkový plech tloušťky 1 mm běžně dostupný v hobby marketech a v domácím prostředí snadno opracovatelný. Držák terče je tvořen dvěma plechovými profily, které jsou spojeny pomocí kovových distančních sloupků. Vzdálenost těchto profilů je 20 mm. Rameno zásahové plochy je připevněno mezi těmito profily tak, aby v případě, že je zásahová plocha v poloze určené k sestřelení bylo ve vyvážené poloze opřeno o horní distanční sloupek. Ve spodní části je rameno zásahové plochy připevněno k ose pomocí matek a vějířových podložek. Osa je tvořena závitovou tyčí a prochází stěnami hliníkových profilů přes ložiska z důvodu omezení tření. Na výkresu v příloze č. 2 je výrobní plán profilů držáku terče. Jedna z obtížných věcí této konstrukce je provrtání středů hliníkového plechu pro obě strany držáku terče. Tento úkol je v domácích podmínkách obtížný a i vzhledem k měkkosti materiálu je důvodem ke vzniklým nepřesnostem při výrobě. Pro vrtání bylo použito slepení obou polovin hliníkových profilů pomocí plastové lepicí pásky a následné vyvrtání všech děr současně.

Přes všechny tyto problémy s mechanickou konstrukcí se podařilo dosáhnout takového stavu, že jednotlivé terče jsou ve vyváženém stavu a nedochází k samovolnému padání zásahových ploch. Pro mechanismus umožňující zvedání zásahových ploch byly zvoleny výkonné modelářské serva, které jsou spojena s pákovým mechanismem pomocí řetízkového spoje. Jako řetízek byl použit běžně dostupný řetízek pro připojení zátky u umyvadla. Důvodem tohoto řešení je to, aby nedocházelo k zaseknutí při pohybech serva a následném sestřelení terče. Servo je připevněno k základnové desce držáku terče pomocí běžných upevňovacích profilů pro serva.

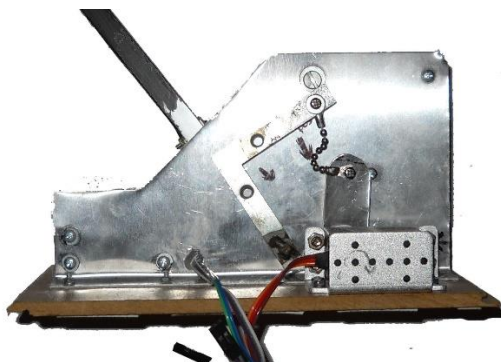
3.2.1 Ověření dostatečného výkonu serva

Použití servo (Tabulka 2) bylo zvoleno tak, aby obsahovalo kovové převody pro vysokou životnost a mělo dostatečný točivý moment. Současně byl brán zřetel na to, aby bylo dostatečně rychlé pro zvednutí zásahové plochy do polohy k sestřelení.

Tabulka 2 Parametry použitého serva

Název parametru	Hodnota
Název výrobce	TowerPro
Označení serva	MG966R
Hmotnost serva	55g
Napájení	4,8–7,2V
Rychlost	60° za 0,2s při napájení 4.8V
Točivý moment	$\frac{10kg}{cm}$

Ačkoliv se navržené servo může zdát být vhodným kandidátem, je třeba si jeho parametry ověřit výpočtem, zda bude vůbec schopno zvednout zásahovou plochu za použití páky, která je daná mechanickým provedením držáku terče.

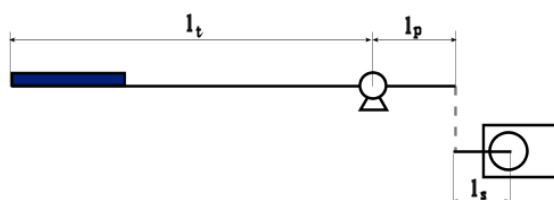


Obrázek 12 Detail zvedacího mechanismu terče

V tomto případě bude ověření vhodnosti serva založeno na výpočtu síly, kterou musí působit na pákový mechanismus, aby bylo možné zásahovou plochu zvednout do vertikální polohy. Pro výpočet vezmeme v potaz nejhorší možné podmínky – největší délku ramene, na kterém je zásahová plocha připevněna.

Tabulka 3 Veličiny, jejich označení a hodnoty použité ve výpočtech síly

Veličina	Označení	Hodnota
Délka ramene s připevněnou zásahovou plochou	l_t	40 cm
Délka ramene připojená k servu	l_p	5 cm
Délka ramene serva připojeného k řetízkovému spoji	l_s	6 cm
Točivý moment serva	M_s	$100 \frac{N}{cm}$
Hmotnost zásahové plochy	m	117 g



Obrázek 13 Zvedací mechanismus terčové plochy ve formě páky

Budeme počítat rovnováhu sil na páce pomocí momentové věty

$$M_t = M_p \quad (1)$$

Moment na zásahové ploše M_t :

$$M_t = F_t \times g \times l_t \quad (2)$$

Moment na páce M_p

$$M_p = F_p \times l_p \quad (3)$$

Vyjádříme si potřebnou sílu na páce pro rovnovážný stav

$$F_p = \frac{M_t}{l_p} = \frac{m_t \times g \times l_t}{l_p} = \frac{0,117 \times 10 \times 0,4}{0,06} = 7,8 \text{ N} \quad (4)$$

Síla působící na rameno délky 6 cm potřebná k udržení rovnovážné polohy na páce tvořené zásahovou plochou připevněnou k rameni délky 40 cm je tedy rovna 7,8 N.

Navržené servo je schopné působit silou dle točivého momentu 100 N na centimetr. Jelikož je připojené rameno k servu v délce 5 cm je výsledná síla 20 N. Vzhledem k požadované síle 7,8 N na rovnovážný stav na páce, je 20 N více než $2 \times$ větší síla potřebná k udržení rovnovážného stavu. Servo tedy svým výkonem splňuje požadavky na něj kladené.

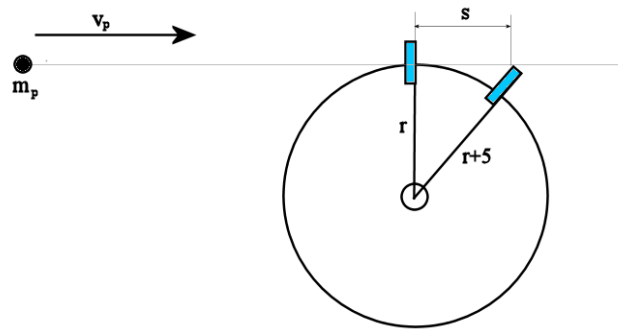
3.2.2 Síla působící na zásahovou plochu při dopadu projektilu

Druhým aspektem mechanické konstrukce je ten, zda je schopna vzduchová pistole spolehlivě sestřelit zásahovou plochu a tedy „shodit terč“. Při výpočtu, jakou silou působí projektil vystřelený z plynové pistole, budeme vycházet ze zákona o zachování hybnosti, který říká: „Hybnost před srážkou se musí rovnat hybnosti po srážce“.

Dále vycházíme z následujících hodnot a značení:

Tabulka 4 Veličiny použité pro výpočet síly dopadu projektilu

Veličina	Označení	Hodnota
Hmotnost projektilu	m_p	$0,31 \text{ g} = 3,1 \times 10^{-4} \text{ kg}$
Průměr projektilu	d_p	$4,5 \text{ mm}$
Ústřevá rychlost projektilu	v_p	$125 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{450 \text{ km}}{\text{h}}$
Hmotnost zásahové plochy	m_z	$117 \text{ g} = 1,17 \times 10^{-1} \text{ kg}$
Délka ramene zásahové plochy	r	$400 \text{ mm} = 0,4 \text{ m}$
Rozměr zásahové plochy		$100 \times 100 \text{ mm}$



Obrázek 14 Stanovení délky dráhy působení projektilu na zásahovou plochu

Pro celkovou hybnost soustavy \vec{p}_c platí:

$$\vec{p}_p + \vec{p}_z = \vec{p}_c \quad (5)$$

Kde \vec{p}_p je hybnost projektilu a \vec{p}_z je hybnost zásahové plochy terče. Po rozepsání pomocí hmotnosti a rychlosti dostáváme:

$$m_p \times \vec{v}_p = (m_p + m_z) \times \vec{v}_z \quad (6)$$

$$\vec{v}_z = \frac{m_p}{m_p + m_z} \times \vec{v}_p = \frac{3,1 \times 10^{-4}}{3,1 \times 10^{-4} \times 1,17 \times 10^{-1}} \times 450 = 1,189 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 0,33 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (7)$$

Pro výpočet kinetické energie E_k projektilu platí:

$$E_k = \frac{1}{2} \times m_p \times v_k^2 = \frac{1}{2} \times 3,1 \times 10^{-4} \times 125^2 = 2,421\text{J} \quad (8)$$

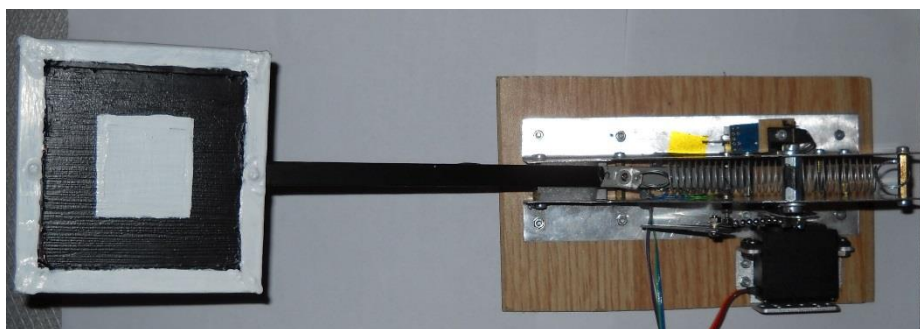
Aby bylo možné vypočítat sílu působící na zásahovou plochu při zásahu projektilem, musíme stanovit dráhu s při které dojde ke zpomalení střely. Při výpočtu této dráhy bylo vycházeno z následujících úvah. Projektil vystřelený vodorovně do středu zásahové plochy způsobí její pohyb. Tento pohyb vzhledem k mechanickému uložení je po kružnici. Projektil může působit na zásahovou plochu pouze do uražení takové vzdálenosti, než horní okraj zásahové plochy opustí linii dráhy střely. Vzhledem k rozměru zásahové plochy se jedná tedy o 5 cm. Za jednoduchého použití Pythagorovy věty, kde jedno rameno má délku r a přepona vzniklého pravoúhlého trojúhelníku je dlouhá $r + 5$. Výsledná dráha působení projektilu na zásahovou plochu je tedy dlouhá $s = 0,18 \text{ m}$.

Sílu F_d působící na zásahovou plochu lze tedy vypočítat jako:

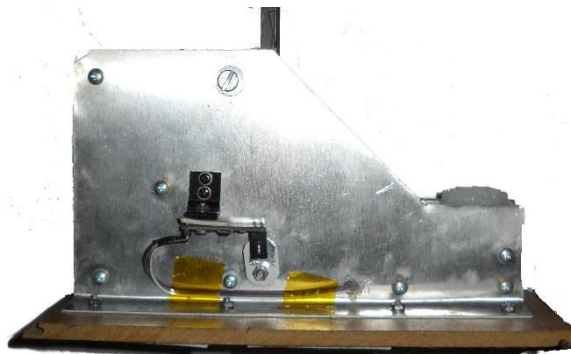
$$F_d = \frac{E_k}{s} = \frac{\frac{1}{2} \times m_p \times v_p^2}{s} = \frac{\frac{1}{2} \times 3,1 \times 10^{-4} \times 125^2}{1,8 \times 10^{-1}} = 13,45\text{N} \quad (9)$$

Vzhledem k vzdálenosti střelby 5 m zanedbáváme odpor vzduchu. Z uvedeného vztahu je zřejmé, že na zásahovou plochu bude projektil působit silou 13,45 N. Tato síla způsobí vychýlení zásahové plochy z rovnovážného stavu a udělí zásahové ploše rychlost $0,33 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (viz. rovnice 7). Tato rychlost je vzhledem k hmotnosti zásahové plochy relativně vysoká a ráz vzniklý při dosažení horizontální polohy by způsobil otřesy celé střelnice s negativním dopadem na ostatní terče a mohl by též vést k deformaci hliníkového hranolu, na kterém je zásahová plocha připevněna. Je tedy potřeba vyřešit brzdění zásahové plochy. Toto je vyřešeno dvěma způsoby.

1. Pevná plocha, na kterou narazí hliníkový hranol sestřelené zásahové plochy je opatřena 3 cm vysokým plastovým porézním materiálem, který zabraňuje přenesení nárazu na pevnou kostru. Tento materiál je třeba časem vyměňovat, jelikož dochází k jeho opotřebení.
2. K hliníkovému hranolu je připevněna roztahovací pružina. Tato pružina působí jako brzda při pádu a současně jako posilovač pro zvedání. Pokud je zásahová plocha ve svislé rovnovážné poloze, nepůsobí na ni pružina žádnou silou. Pomocí siloměru bylo změřeno, že použitá pružina při plném roztahnutí působí silou 4 N proti směru pádu.



Obrázek 15 Kompletní sestřelený terč bez elektroniky



Obrázek 16 Detail bočnice terče

3.3 Mechanická část – střelnice

Automatizovaná střelnice je tvořena základnou a vertikální plochou určenou k zachytávání projektilů, které netrefily zásahovou plochu terče.

3.3.1 Základna střelnice

Základna střelnice je vytvořena ze zbytků plovoucí podlahy a dřevěných profilů, které jsou dostupné v hobby – marketu. Při řešení byl pro úsporu financí využit zbytkový materiál, jenž zbyl z realizace plovoucí podlahy v rodinném domě. Použitý materiál je dostatečně pevný a přitom i lehký pro vytvoření snadno přenosného zařízení. Základna je tedy vytvořena jako kvádr o rozměrech (1050 × 650 × 50 mm). V přední části základny je vytvořen prostor, ve kterém jsou upevněny terče a je zde prostor pro uložení elektroniky a akumulátorů.

Horní část tohoto prostoru je opatřena odnímatelným krytem, na němž je přilepena klávesnice na ovládání funkcí střelnice. V takto vzniklém odkládacím prostoru jsou umístěny další elektronické prvky. Přibližně uprostřed čela je umístěno čidlo ultrazvukového dálkoměru, na pravé straně se pak nachází velký maticový LED display, hlavní vypínač střelnice a signalizace stavu baterií. Popis elektronických prvků je upřesněn v další kapitole 4.

Vzhledem k tomu, že terče jsou v jejich vertikální poloze ve vyváženém stavu, je nezbytné, aby byla střelnice před vlastní střelbou vyvážena do vodorovné polohy. K tomuto účelu je vybavena vodováhovým křížem (viz. Obrázek 17) a nastavitelnými nožičkami (Obrázek 18), které umožňují vyrovnání nerovností podkladu. Vzhledem k délkám použitých šroubů je možné vyrovnat nerovnosti přibližně do 20 mm na jednom metru ve všech směrech.



Obrázek 17 Umístění vodováha ve střelnici



Obrázek 18 Nastavitelné nožičky terče

Použití profilů plovoucí podlahy umožnilo elegantním způsobem vyřešit upevnění terčů k základně. Při konstrukci byly použity dřevěné zámky sloužící ke spojování jednotlivých desek podlahové krytiny takovým způsobem, že jeden zámek je připevněn k základně střelnice a odpovídající protikus je pak součástí základny každého terče. Při umísťování terče pak stačí zasunout terč do zámku v základně, následně jej lze ve vodorovném směru snadno posunovat a finální upevnění je provedeno přitlačným dřevěným hranolem, čímž dojde k požadované fixaci na jednom místě.

Poslední, přesto důležitou součástí celého terče je zadní stěna o rozměrech (1050 × 650 × 40). Tato stěna je součástí opatření pro bezpečný provoz střelnice. Celá zadní stěna je tvořena z 20 mm silného stavebního extrudovaného polystyrenu. Tento materiál je zasunut do dřevěného rámu a v případě, že střelec mine zásahovou plochu terče, vystřelený projektil je touto hmotou zadržen a nedojde k odrazu zpět směrem ke střelci. Z uvedeného plyne, že se jedná o spotřební materiál, který je třeba v případě jeho opotřebení vyměnit. Celá tato zadní stěna je odnímatelná, aby byla zjednodušena manipulace při převozu střelnice.



Obrázek 19 Střelnice částečně sestavená



Obrázek 20 Čelní pohled na střelnici

Použitá mechanická konstrukce vyhovuje požadavkům na přenosnost, vzhledem ke svým rozměrům v rozmontovaném stavu ji lze snadno převážet osobním vozidlem. Nastavitelnost vyvážení základny je výhodná zejména ve venkovním prostředí, kde není k dispozici jiný, snadný způsob, jak střelnici vyvážit. Z pohledu bezpečnosti střelce, je řešení dostatečné, při testovacích střelbách v podstatě nedošlo ke zpětnému odražení projektilu a tak k ohrožení střelce. Zdánlivou nevýhodou může být nutná výměna polystyrenové desky, ale v případě obměňování polohy jednotlivých terčů lze životnost výrazně prodloužit. Celková hmotnost střelnice osazené pěti terči se blíží k hodnotě 10 kg, což je stále přijatelná hmotnost na přenosné zařízení.

4 Elektronická část střelnice

Pro realizaci zařízení lze s velkou výhodou využít mikrořadičů. Jejich použitím se celý systém výrazně zjednoduší vzhledem k elektronické části ovšem, za vyšších požadavků zejména na programovací znalosti. Pro toto řešení byla vybrána platforma Arduino.

4.1 Platforma Arduino

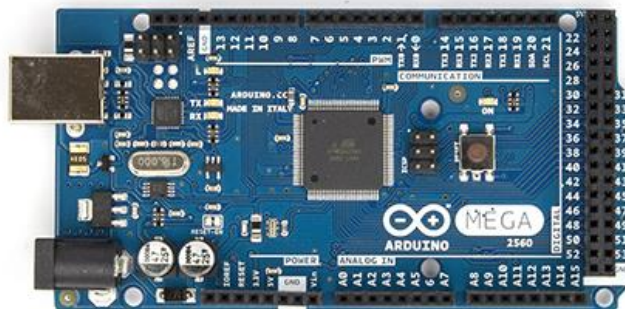
Tato platforma je určena pro rychlou tvorbu zařízení běžné potřeby při minimálních cenových nákladech na její pořízení. Patří mezi nejrozšířenější platformy pro kutily a je ověřená na miliónech zařízení snad ve všech zemích světa. K této platformě existují volně dostupné schémata, plošné spoje, množství znalostních databází a internetových diskusí. V této platformě jsou využívány především mikrořadiče firmy ATMEL a to řada AVR s procesory ATmega. V navrhovaném zařízení jsou dva zástupci této platformy.

4.1.1 Hlavní řídicí jednotka

Pro hlavní řídicí jednotku je použita výkonnější modul Arduino Mega (Obrázek 21). Hlavní vlastnosti této jednotky jsou popsány v tabulce (Tabulka 5).

Tabulka 5 Parametry Arduino Mega

Vlastnost	Hodnota
Mikrořadič	ATmega1280
Napájecí napětí	7–12V
Pracovní napětí	5V
Počet digitálních pinů	54 (15 z nich poskytuje PWM výstup)
Počet analogových vstupů	16
Počet USART	4
Paměť pro program	128 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Hodinová frekvence	16 MHz
Rozměry	53×101 mm



Obrázek 21 Základní deska Arduino Mega

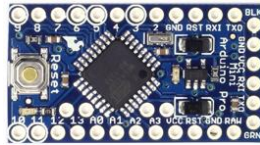
4.1.2 Řídicí jednotka inteligentního terče

Pro použití v inteligentním terči je zvolena miniaturní jednotka Arduino Pro Mini (Obrázek 22), která je výkonově zcela dostačující (Tabulka 6), přitom je navržena na desce velmi malých rozměrů.

Tabulka 6 Parametry Arduino Pro Mini

Vlastnost	Hodnota
Mikrořadič	ATmega328p
Napájecí napětí	5–12V
Pracovní napětí	5V
Počet digitálních pinů	14 (6 z nich poskytuje PWM výstup)
Počet analogových vstupů	8

Počet USART	1
Paměť pro program	32KB
SRAM	1KB
EEPROM	512 bajtů
Hodinová frekvence	16 MHz
Rozměry	18×33 mm

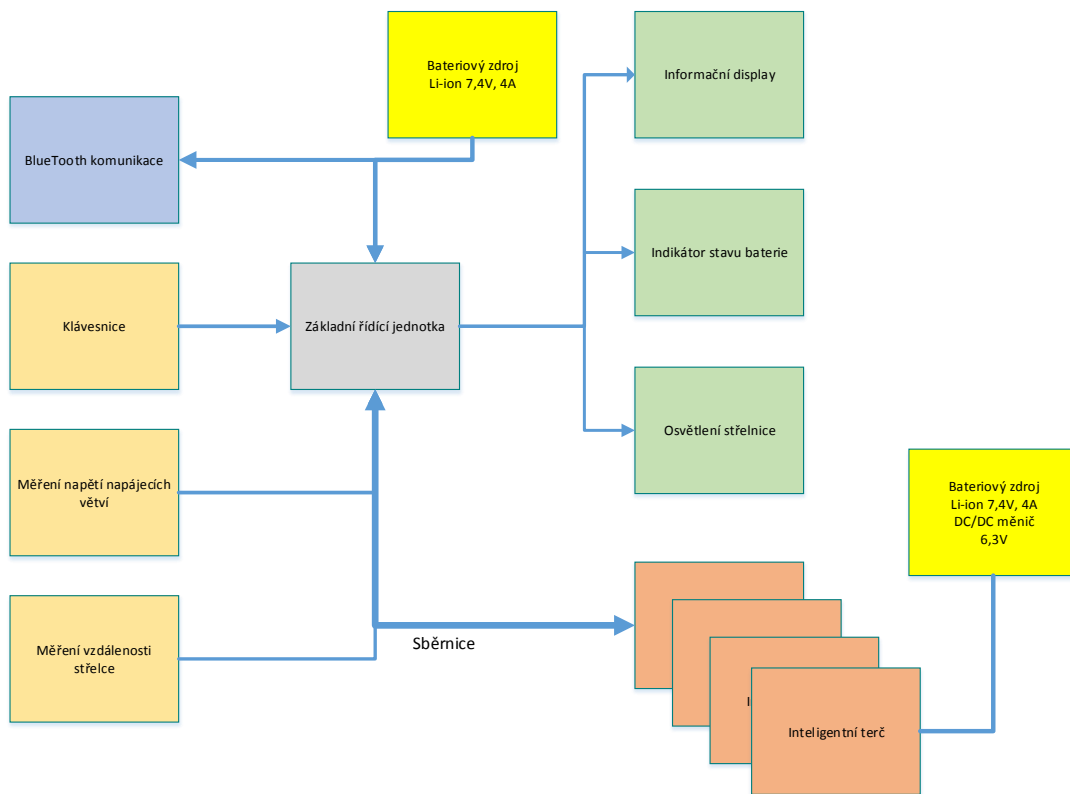


Obrázek 22 Základní deska Arduino Pro Mini

4.2 Elektronický systém střelnice

Při návrhu elektronického subsystému automatizované střelnice se vycházelo z požadavků na zařízení kladených v kapitole 2.2. Aby bylo možno požadavky splnit, byla navržena koncepce elektronických systémů podle následujícího blokového schématu (Obrázek 23). Šipky v blokovém schématu představují směry toku dat mezi funkčním blokem a základní jednotkou.

Celý systém střelnice je navržen tak, aby v maximální možné míře využíval otevřené elektronické platformy Arduino. Koncepce celé střelnice je pojata modulárním způsobem tak, aby s co nejmenší námahou a prostředky bylo možné střelnici rozšířit o další terče. V navrženém řešení je každý terč pojat jako samostatná inteligentní jednotka. Rozšiřitelnost je omezena pouze softwarově a akumulátorovým zdrojem. Zde popisované zařízení má omezení dané firmware řídicí jednotky a to na 10 terčů, připojených ke společné komunikační sběrnici, pro který je i dimenzován napájecí zdroj. Vzhledem k snadné dostupnosti relativně kvalitních komponent za přijatelné ceny, je v co největší míře použito již hotových dílů kompatibilních s platformou Arduino. Jedná se především o optické závory, ultrazvukový dálkoměr, komunikační Bluetooth adaptér, indikátor stavu baterie a informační display.

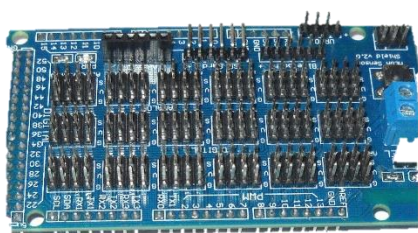


Obrázek 23 Blokové schéma elektronických subsystémů střelnice

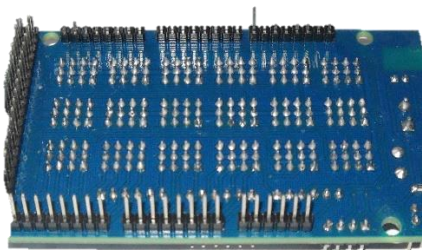
4.2.1 Základní řídicí jednotka

Ústředním prvkem navržené koncepce je základní řídicí jednotka tvořená modulem Arduino Mega, který je rozšířen pomocí modulu Sensor shield v.2.0. Tento rozšiřující modul slouží ke snadnému připojení periférií bez nutnosti pájení a to za pomoci JST konektorů. Ačkoliv by se mohlo zdát, že je použití konektorů nevhodné pro aplikace, kde dochází k časté manipulaci se zařízením, nespornou výhodou lze spatřit ve snadném rozšíření a rychlosti testování periférií, než v případě pájených spojů. Pokud se drátové spoje upevní plastovými stahovacími pásky, je dosažené spojení dostatečně odolné proti náhodnému rozpojení. V okamžiku, kdy bude dosaženo finální podoby zařízení, lze samozřejmě rozebíratelné spoje nahradit pájenými a zvýšit tím spolehlivost propojení.

K centrální jednotce jsou pomocí Sensor shieldu připojeny vstupní a výstupní periferie, které umožňují interakci s uživatelem. Pro komunikaci s inteligentními terči je vytvořena systémová tři vodičová sběrnice, kam jsou připojovány terče přes své komunikační moduly.



Obrázek 24 Sensor shield v. 2.0 strana připojení periférií



Obrázek 25 Sensor shield v. 2.0 strana připojení k Arduino Mega



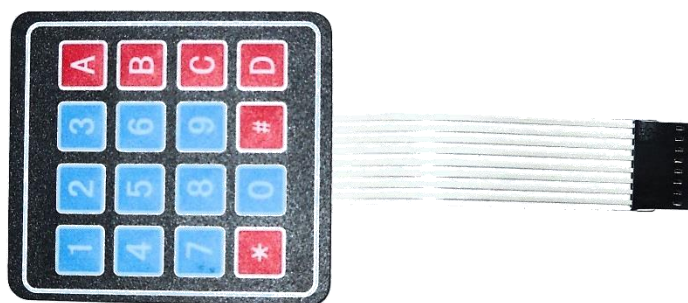
Obrázek 26 Propojovací konektor JST

4.2.2 Vstupní periférie centrální jednotky (CJ)

Účelem těchto periférií je předávat signály do centrální jednotky.

4.2.2.1 Klávesnice

Pro zadávání nezbytných pokynů od obsluhy je použita membránová klávesnice se 16-ti klávesami. Tato klávesnice byla zvolena tak aby zadávání příkazů střelnici bylo intuitivní a snadné. Klávesnice je k CJ připojena za pomoci konektorů a využívá celkem 8 vodičů. Čtyři vodiče pro adresování řádku a čtyři vodiče pro čtení stavu sloupce.



Obrázek 27 Membránová klávesnice

4.2.2.2 Měření napětí napájecích zdrojů

Vzhledem k tomu, že je střelnice napájena z Li-Ion akumulátorových článků, je nezbytné sledovat napětí na těchto akumulátorech a obsluhu na jejich nízký stav upozornit. Sledování napětí na akumulátorech je provedeno pomocí napět'ového děliče, který napětí na akumulátorech 7,4 V převede do měřitelného rozsahu AD vstupu CJ. Použitý mikrořadič je schopen na svých analogových vstupech měřit pouze napětí v rozsahu 0 až do velikosti napájecího napětí mikrořadiče. V tomto případě se jedná tedy o napětí 0 – 5 V, proto musí být použito

napětového děliče pro upravení rozsahu napětí. Napětové děliče jsou umístěny v modulu zdroje (kapitola 4.2.5).

4.2.2.3 Modul měření vzdálenosti střelce

Při střelbě se musí dodržovat vzdálenost od terče, tak aby byly výsledky srovnatelné. V případě pevného stanoviště, lze vytýčit palebnou čaru pomocí běžného pásma. Pokud ovšem navrhujeme přenosné zařízení, je výhodné minimalizovat počet dalších externích věcí nutných k tomu, aby se střelnice dala účelně používat (v tomto případě svinovací pásmo či metr). Elegantním řešením tohoto problému je vybavit střelnici dálkoměrným systémem. Vzhledem k účelu střelnice, lze s výhodou využít dostupný systém měření vzdálenosti ultrazvukem.

Pro tuto konstrukci je použito ultrazvukového modulu (Obrázek 28). Maxbotix LV-MaxSonar EZ0, MB1000. Bližší technické specifikace lze nalézt na internetu [1]. Jedná se o levnější variantu osvědčených ultrazvukových dálkoměrů s minimální měřenou vzdáleností 15 cm a maximální spolehlivou měřenou vzdáleností 6,45 m. Modul pracuje s napájecím napětím 2,5 – 5,5 V při velice příznivém typickém odběru 2 mA. Kompaktní rozměry modulu 22 × 20 × 16 mm jsou vhodné pro zabudování do malého prostoru. Modul provádí měření vzdálenosti každých 50 ms. Výstup je realizován pomocí sériového výstupu, analogového výstupu či jako pulsní výstup s délkou impulsu odpovídající vzdálenosti. K CJ je ultrazvukový dálkoměr připojen pomocí analogového vstupu, kde napětí odpovídá vzdálenosti s přepočítacím koeficientem 5 mV na 12,5 mm vzdálenosti.



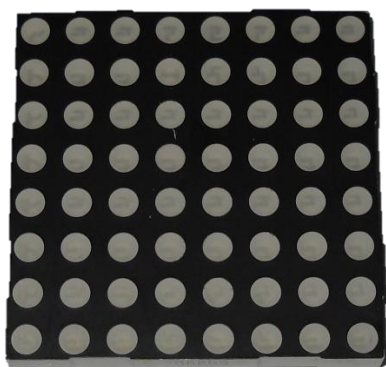
Obrázek 28 Ultrazvukový dálkoměr MB1000

4.2.3 Výstupní periferie

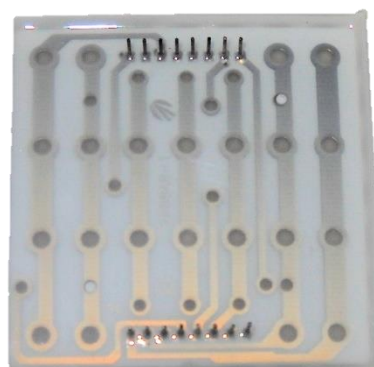
Tyto periferie slouží zejména ke zpětné vazbě uživatele/střelce, případně ovládají osvětlení střelnice.

4.2.3.1 Informační display

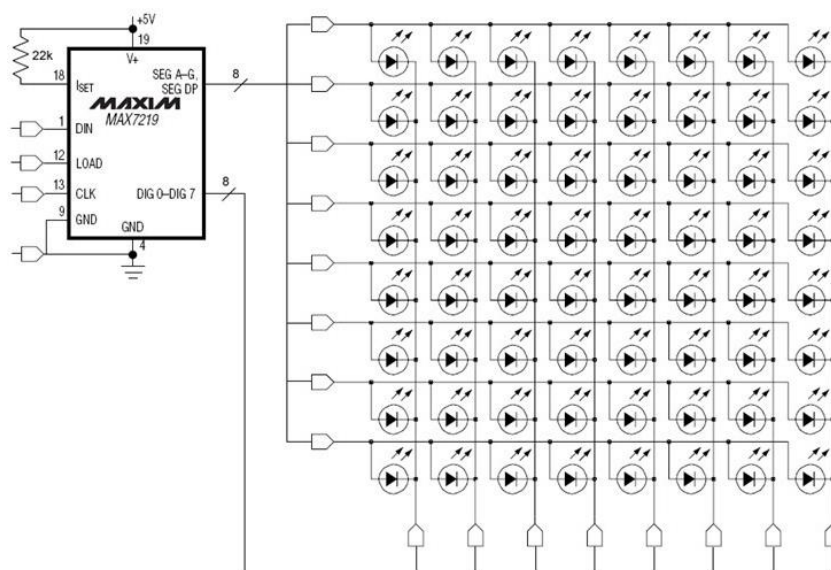
Pro zobrazování informací uživateli je střelnice vybavena LED displejem (Obrázek 29) skládajícího se ze dvou jednotek o rozměru 60×60 mm, každá s 64 červenými LED diodami s organizací 8 řad a 8 sloupců. Každý z těchto displejů je připojen (Obrázek 31) na specializovaný obvod MAX 7219, který zjednodušuje softwarovou obsluhu vlastního displeje a podporuje sériové řazení displejů. Katalogový list je dostupný na stránkách výrobce [2]. Velikost displeje je dostatečná pro zobrazování informací pro střelce a je dobře viditelná za denního světla z uvažované vzdálenosti 5 m.



Obrázek 29 Přední strana displeje



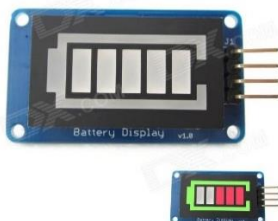
Obrázek 30 Zadní strana displeje



Obrázek 31 Připojení displeje k obvodu MAX7219

4.2.3.2 Indikátor stavu baterie

Pro přehledné zobrazení stavu akumulátorových baterií je do systému zařazena komponenta umožňující přehledné a snadno pochopitelné zobrazení stavu baterie. Tato komponenta obsahuje displej ve tvaru baterie, který umožňuje zobrazit 7 možných stavů za pomoci odpovídajícího počtu LED diod. Tento displej je řízen specializovaným obvodem TM1651, který s nadřazenou CJ komunikuje pomocí I²C sběrnice a na základě obdržených příkazů odpovídá za zobrazení patřičného počtu zobrazovacích prvků, které představují stav akumulátorové baterie.



Obrázek 32 Displej stavu baterie

4.2.3.3 Osvětlení střešnice

Střešnice se snadno používá za přímého osvětlení, jak ovšem řešit situaci, kdy svě-

tebné podmínky nejsou ke střelbě zrovna příznivé. Použitá kombinace barev (šedé pozadí a černobílá zásahová plocha) je sice kontrastní za slunečního svitu, v případě pozdních hodin, již nastává problém s viditelností. V koncepci střelnice byla tato situace ošetřena přidáním LED pásku obsahujícího 24 bílých LED diod, které osvětlují pozadí zásahových ploch. Spínání osvětlení je řešeno za pomoci obvodu umístěného v napájecím zdroji. Nevýhodou tohoto řešení je poměrně velká spotřeba, která se v důsledku projeví na poklesu délky provozu střelnice. Z důvodu minimalizace spotřeby je osvětlení řízeno pomocí PWM signálu z CJ.

4.2.3.4 Zvuková signalizace

K centrální jednotce je připojena jednoduchá zvuková signalizace. Ta umožňuje dát uživateli zpětnou vazbu při práci s klávesnicí či informovat ho o stavu kdy střelnice vyžaduje jeho pozornost. Vzhledem k použitému piezoměničci jsou signály slyšitelné pouze v nejbližším okolí střelnice.



Obrázek 33 Signální piezoměnič

4.2.4 Komunikace

Centrální jednotka ve střelnici je opatřena komunikačními rozhraními, které slouží pro přenos dat do nadřízeného systému či podřízeného systému.

4.2.4.1 Bluetooth modul

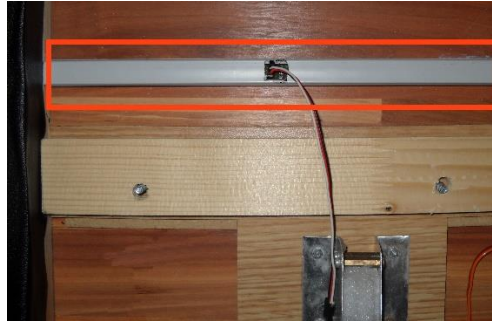
K řídicí jednotce je za pomoci UART připojen modul pro Bluetooth komunikaci. Tento modul umožňuje v představované verzi střelnice odesílat stavové informace střelnice do nadřízeného systému. Tyto informace mohou sloužit k monitorování činnosti střelnice a případnému ladění firmware. Jako modul pro BT komunikaci je použit jeden z dostupných modulů; s označením JY-MCU BT_Board V1.06 (Obrázek 34). Tento modul obsahuje vlastní mikrořadič určený pro řízení Bluetooth komunikace a na vlastní aplikační úrovni se komunikuje s tímto modulem pomocí UART při rychlosti 9600 Bd a formátu 8 bitů 1 stop bit a bez parity. Celá deska modulu je o rozměrech 44×16 mm a její dosah je kolem 10 m na volném prostranství. Napájecí napětí modulu je 3,3 V, ale jednotlivé vstupy a výstupy jsou tolerantní k pěti voltové logice.



Obrázek 34 Bluetooth modul JY-MCU

4.2.4.2 Sběrnice a komunikace po sběrnici

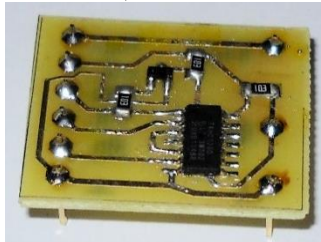
Koncepce sběrnice je navržena jako modulární a to s ohledem na možnosti zvětšení či zmenšení počtu terčů. Aby se to dalo realizovat, jsou všechny terče a CJ připojeny ke společné tří vodičové systémové sběrnici (Obrázek 35), po které jsou zasílány příkazy jednotlivým inteligentním terčům.



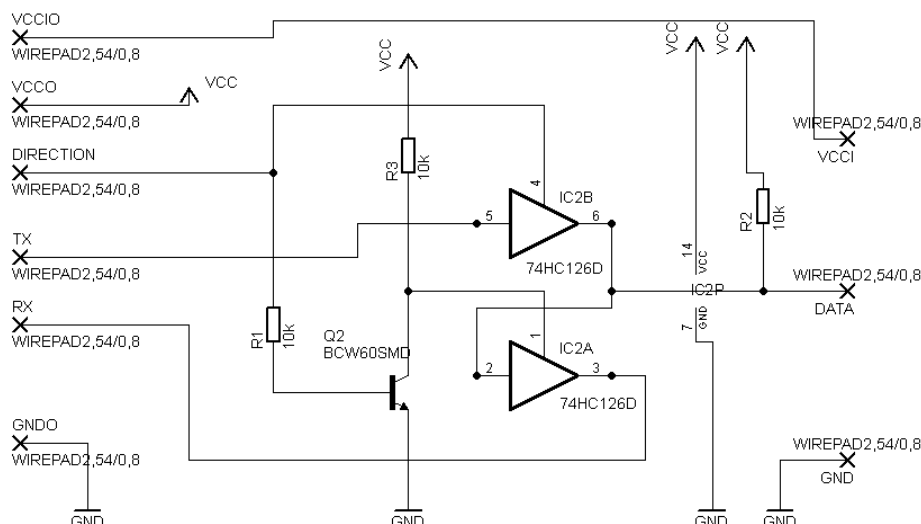
Obrázek 35 Rozvod sběrnice a připojení terče pomocí JST konektoru

Při řešení této sběrnice komunikace bylo jako inspirace použito zapojení, které je využíváno u robotických stavebnic Bioloid. Jedná se o rozhraní pro servomotory Dynamixel [3]. Jednoduchost implementace tohoto komunikačního modulu plně postačuje k námi požadovaným účelům. V principu jde o komunikaci, kdy na sběrnici existuje pouze jeden vysílací prvek, který zahajuje komunikaci s jiným prvkem na základě jeho jedinečné adresy. Všechny ostatní zařízení na sběrnici jsou ve stavu, kdy přijímají komunikaci, ale pouze ten prvek, jenž je adresován v požadavku komunikace může v určitém časovém intervalu odpovědět.

Použitý modul je upravenou variantou zapojení v servech Dynamixel [4]. Provedená úprava nahrazuje invertor, použitý v originálním zapojení tranzistorem. Deska je navržena v technologii SMT (Obrázek 36), aby se minimalizovaly rozměry (25×30 mm). Komunikační modul je připojen na tří vodičovou sběrnici, která obsahuje vodiče s napájecím napětím 6,3 V a jeden datový vodič. Tento postup vede k omezení nutného počtu vodičů sběrnice. Schéma modulu je uvedeno na obrázku (Obrázek 37).



Obrázek 36 Modul komunikace po sběrnici



Obrázek 37 Schéma komunikačního sběrnicového modulu

4.2.5 Kombinovaný napájecí zdroj

Z požadavků na bezpečnost a z možnosti využívat zařízení i mimo dosah elektrické sítě jsou pro napájení zvoleny Li-Ion akumulátory ve velikosti 18650 a napětí 3,7 V. Tyto akumulátory jsou běžně dostupné na trhu a používají se v mnoha zařízeních. Jejich nespornou výhodou je absence paměťového efektu na rozdíl od akumulátorů typu NiMH. Vzhledem k relativně malé četnosti použití střelnice, je velkou výhodou, že zvolené akumulátory mají také velmi malý samovybíjecí proud. Použité články jsou čínské výroby, proto je třeba brát údaje o jejich kapacitě s velkou rezervou. Dle internetových diskusí, je kapacita použitých článků UltraFire BRC18650 kolem 2200 mAh, přestože je na samotném článku vyznačena kapacita 3300 mAh.

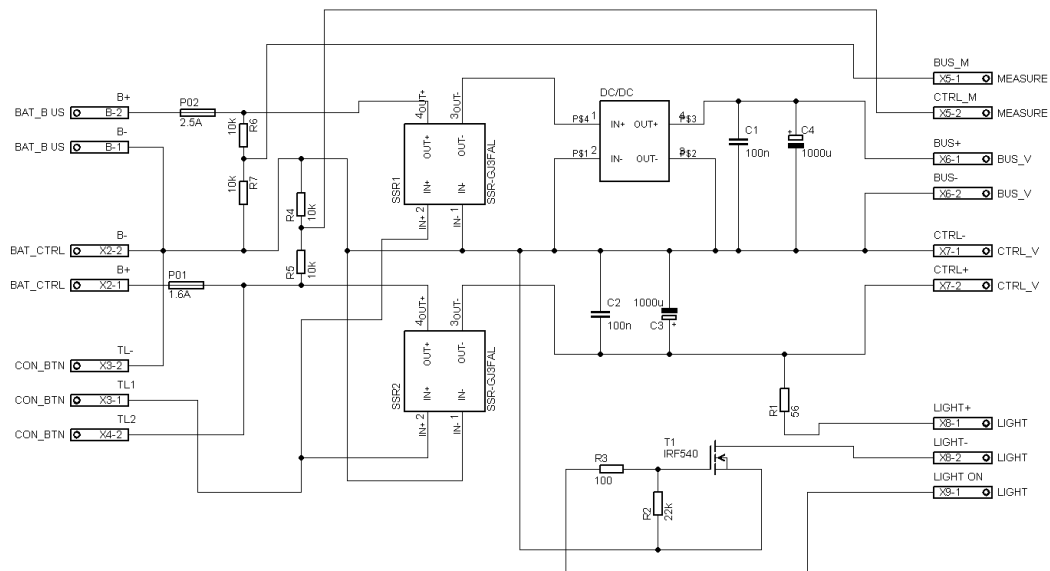
Li-Ion články jsou vybaveny bezpečnostní elektronikou zabudovanou v těle článku, zabráňující jejich poškození vlivem velkého vybití či naopak nabíjení vyšším než povoleným napětím. Články lze nabíjet pomocí běžně dostupné nabíječky pro tento typ akumulátorů. Z důvodů velkých proudových odběrů v okruhu terčů, kde se na proudových špičkách podílí zejména servomotory, či v napájecím okruhu řídicí jednotky osvětlení, jsou zapojeny vždy po dvojicích paralelně (Obrázek 38). Tím je dosaženo celkového napětí 7,4 V a 4400 mAh na jednu napájecí větev. Střelnice obsahuje dvě samostatné napájecí větve.



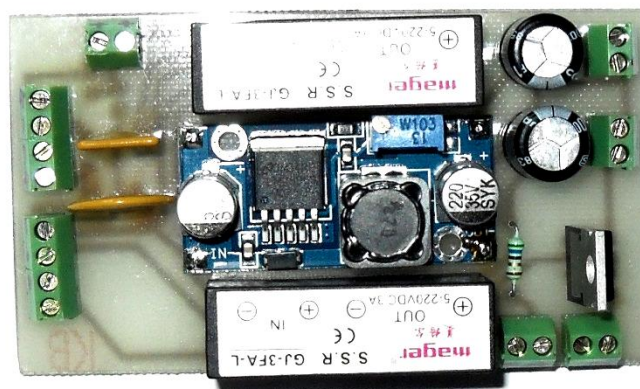
Obrázek 38 Akumulátory Li-Ion v držáku

Pro napájení střelnice byl navržen napájecí zdroj. Do sběrnic, za pomoci DC/DC konvertoru, dodává napětí 6,3 V sloužící pro napájení inteligentních terčů. Měnič DC/DC je hotovým modulem, schopným dodávat trvale proud 3 A, špičkově až 5 A. Druhá větev (7,4 V) je

přivedena na modul Arduino Mega a současně je využívána jako zdroj pro osvětlení střelnice. Nedílnou součástí napájecího zdroje jsou děliče napětí, určené pro monitorování napětí na akumulátorech. V neposlední řadě obsahuje také dvě jednotky SSR určené pro připojování napájecího napětí do obou proudových větví. Tyto SSR jsou spínány pomocí hlavního vypínače. Poslední součástí zdroje je MOSFET tranzistorem ovládaný okruh, řízený z centrální jednotky pomocí PWM, pro LED osvětlení. Schéma zdroje je zobrazeno na obrázku (Obrázek 39).



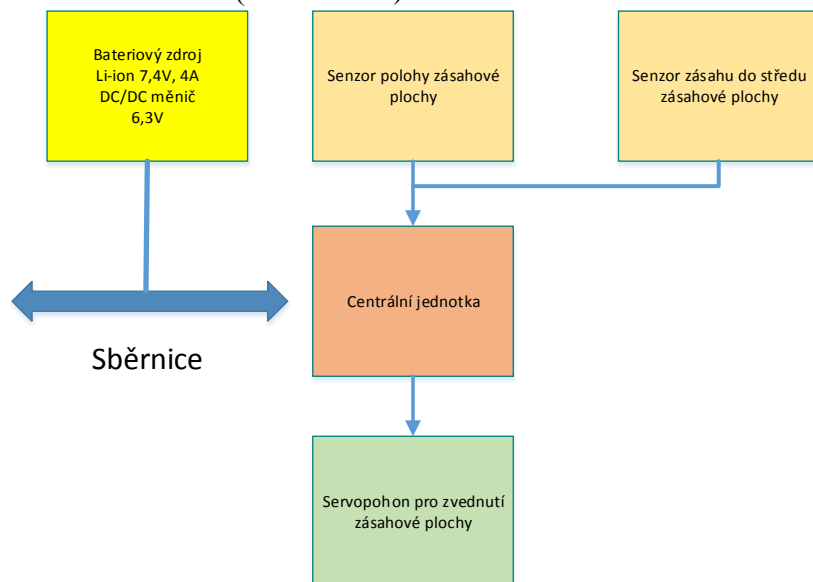
Obrázek 39 Schéma kombinovaného napájecího zdroje



Obrázek 40 Osazená deska kombinovaného napájecího zdroje

4.3 Inteligentní terč

Inteligentním terčem v této práci rozumíme mechanické terčové zařízení doplněné o řídicí jednotku, která po připojení k systémové sběrnici se stává nedílnou součástí střelnice. Obsahuje elektroniku pro komunikaci s centrální jednotkou a reaguje na příkazy z této centrální jednotky. Vzhledem k cenám modulů Arduino (centrální jednotku terče lze pořídit již od 70 Kč), je vytvoření inteligentního terče zcela logickou volbou. Jedinou nevýhodou tohoto řešení je vytvoření firmware za prvé pro terč a za druhé pro centrální jednotku střelnice. Blokové schéma je zobrazeno na obrázku (Obrázek 41).



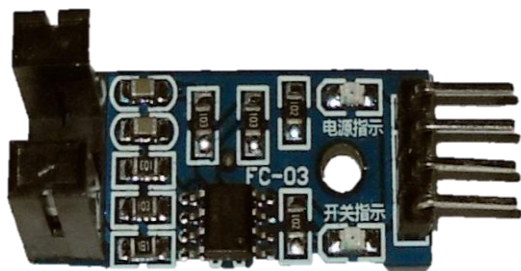
Obrázek 41 Blokové schéma jednotky inteligentního terče

4.3.1 Centrální jednotka inteligentního terče

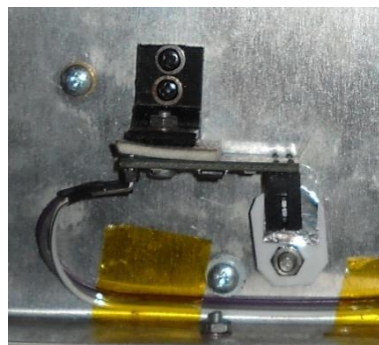
Centrální jednotku inteligentního terče tvoří modul Arduino Pro Mini popsaný v kapitole 4.1.2. Účelem této jednotky je obsluhovat servo pro zvedání zásahové plochy a reagovat na příkazy zaslané po systémové sběrnici centrální jednotkou střelnice. Komunikační jednotka připojená ke sběrnici je shodná v celém systému a odpovídá popisu v kapitole 4.2.4.2.

4.3.2 Senzor polohy zásahové plochy

Pro správnou funkci terče je nezbytné znát přesnou polohu, kde se zásahová plocha právě nachází. Potřebujeme rozlišit, zda je zásahová plocha ve vertikální poloze nebo není. Tento požadavek lze snadno realizovat pomocí čidla (Obrázek 42) na bázi optické závory. K ose, na které je pevně připojeno rameno zásahové plochy je přidělán plast ve tvaru kruhové výseče, který prochází středem optické závory. Detail mechanického uspořádání lze nalézt na obrázku (Obrázek 43). Tato clona je nastavena takovým způsobem, aby v případě vertikální polohy zásahové plochy přerušila světelný paprsek optické závory a v okamžiku vychýlení z vertikální polohy naopak umožnila průchod paprsku do snímacího prvku. Tímto způsobem lze velmi spolehlivě určit aktuální polohu zásahové plochy.



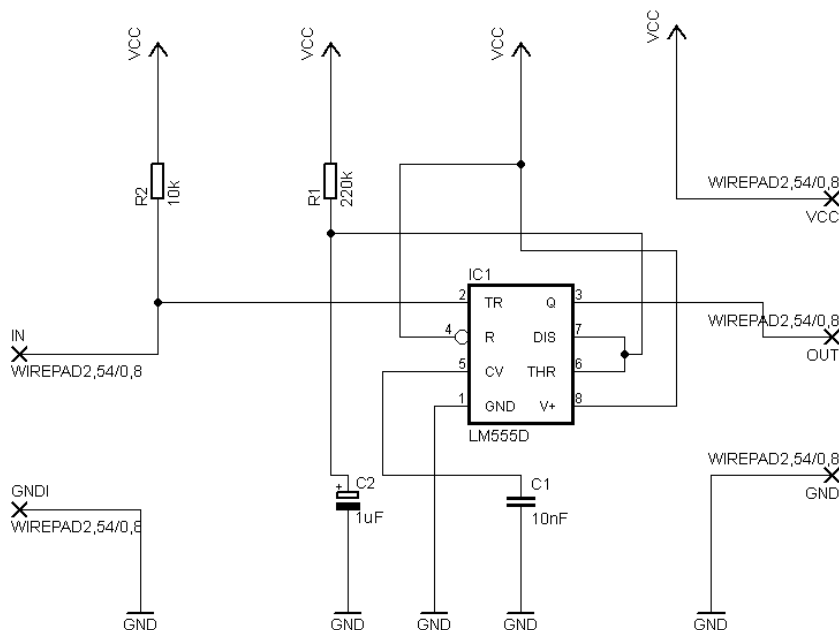
Obrázek 42 Čidlo s optickou závorou



Obrázek 43 Mechanické provedení čidla polohy

4.3.3 Senzor zásahu do středu zásahové plochy

V kapitole 3.1 byla popsána konstrukce zásahové plochy. V centrální části zásahové plochy je vytvořena spínací plocha na principu membránové klávesnice. Při nárazu projektilu do plochy kolem středu terče, dojde ke snížení odporu mezi vodiči připojených ke spínací ploše na odpor v řádu desítek ohmů, z odporu v řádu desítek megaohmů. Protože doba po kterou působí projektil na zásahovou plochu je velmi krátká, byl mechanismus spínací plochy doplněn o monostabilní klopný obvod (MKO) za účelem prodloužení impulsu na dobu minimálně 0,3 s. Pro tento obvod bylo použito klasického zapojení s obvodem 555. Schéma a osazená deska je zobrazena na následujících obrázcích.



Obrázek 44 Schéma monostabilního klopného obvodu



Obrázek 45 Osazená deska MKO

4.3.4 Servo pohon pro zvednutí zásahové plochy

Pro zvednutí zásahové plochy je použito modelářské servo MG966R s parametry popsanými v kapitole 3.2 o mechanické konstrukci terče. Servo je připojeno datovým vodičem na centrální jednotku terče, napájení je bráno přímo ze systémové sběrnice. Pro ošetření proudů-

vých špiček, vzniklých při startu pohybu serva, je napájení přemostěno elektrolytickým kondenzátorem 1000 μ F/16V. Tím je dosaženo stabilního napájení pro centrální jednotku terče, která je napájena ze systémové sběrnice.

5 Softwarová výbava střelnice

Po sestavení mechanické části střelnice a propojení elektronických komponent, je posledním krokem vytvoření software (v dalším textu označován jako firmware), který je nahrán do řídicích jednotek inteligentních terčů a řídicí jednotky střelnice. Bez tohoto firmware by celá střelnice byla jen hromadou mechanických částí a elektroniky. Teprve firmware vdechne život terčům a střelnici, takže se z ní stane užitečný nástroj pro výcvik střelby.

Vytvoření firmware je tvůrčí činnost, která je přímo závislá na zkušenostech a schopnostech programátora, přičemž je téměř jisté, že dva programátoři vytvoří podle stejného zadání velmi odlišný software. Vzhledem k rozsáhlosti tohoto projektu lze očekávat, že se ve firmware budou objevovat větší či menší chyby, přestože bylo testování jednotlivých funkcí věnováno dostatek času, dovedení k „dokonalosti“ vyžaduje mnohonásobně více času a úsilí věnovanému testování.

5.1 Prostředky použité k programování

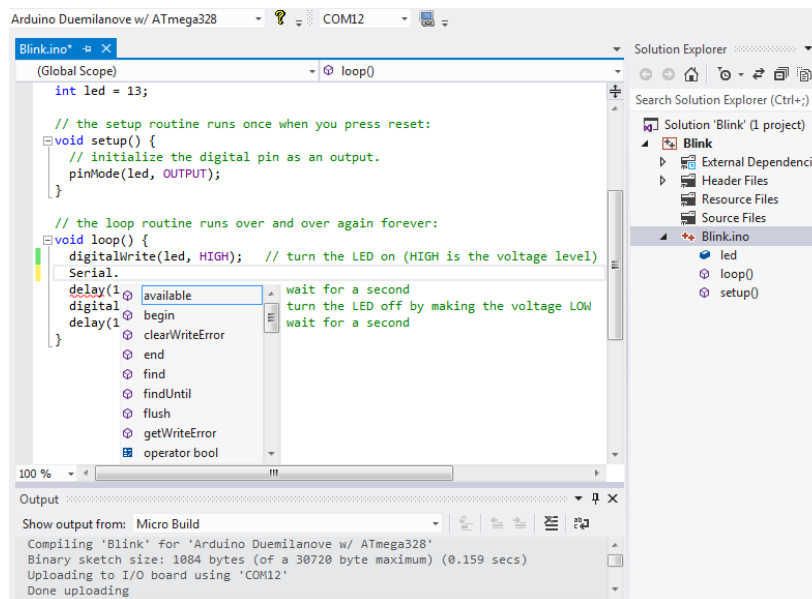
Jak bylo uvedeno dříve (viz. kapitola 4.2.1) elektrická část je založena na platformě Arduino. Tato otevřená platforma nabízí kromě samotných modulů s mikrořadiči také rozsáhlou dokumentaci a vývojové prostředí nazývané Arduino IDE. Toto prostředí umožňuje překládat zdrojový kód založený na jazyku C. Samotné prostředí je napsáno v jazyku JAVA a je dostupné pro všechny platformy. Pro Arduino IDE existuje velké množství ukázkového kódu, je dostupná velká škála knihoven, sloužících k obsluze různých periférií a samozřejmě je volně dostupné. Ačkoliv je toto prostředí používáno pro malé i velké projekty, má vlastnosti, které při práci zdržují, např. neexistuje kvalitní kontextová nápověda k použitým funkcím atd. Z tohoto důvodu byla k programování firmware zvolena alternativní možnost, kterou je rozšiřující modul do prostředí Microsoft Visual Studia 2013 pod názvem Visual Micro (Obrázek 46) dostupné na [5]. Pro úplnost je třeba uvést, že programování Arduina lze provádět i za pomoci AVR C ve vývojovém prostředí dodávaném přímo firmou ATMEL, které podporuje všechny mikrořadiče této firmy.

5.1.1 Programování Arduino modulů pomocí Visual Micro

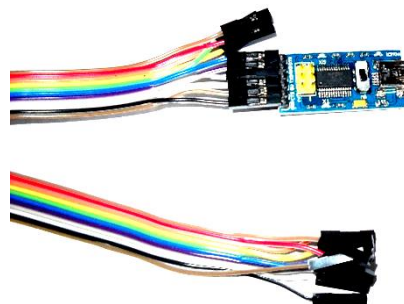
Microsoft Visual Studio je kvalitním vývojovým prostředím, které programátorovi pomůže při mnoha činnostech zejména při psaní kódu. Přestože Visual Micro je placený produkt, umí velmi příjemnit a zrychlit práci při psaní kódu. Základ prostředí je Microsoft Visual Studio, které je při kompilaci schopné využívat kompilátoru Arduino IDE, který musí být také na počítači nainstalován. Programátor tak má veškerý komfort vývojového prostředí, jež je schopno po kompilaci nahrát binární podobu firmware do zvolených jednotek Arduino přímo jen pomocí USB kabelu. Současně lze využít i integrovaný ladící nástroj, umožňující trasování běhu firmware a výpis výstupů do sériové konzole. Bližší informace o problematice kompilace a nasazování firmware do modulů Arduino lze nalézt na [6].

Protože je v inteligentním terči použito desky Arduino Mini Pro, která z důvodů kompaktních rozměrů nemá na svém těle vyveden USB port pro snadné programování, musí být použit některý z alternativních způsobů. Mikrořadiče ATMEL je možné programovat přímo zapájené v aplikační desce za použití tzv. ICSP (In Circuit Serial Programming). Toto rozhraní umožňuje naprogramovat zapájený mikrořadič v cílové aplikaci za použití speciálního programátoru, který pěti vodičovým kabelem včetně napájení umožní mikrořadič naprogramovat. Druhou možností je využití tzv. sériového nahrání programu za pomoci jednoduchého USB/TTL převodníku (Obrázek 47). V mikrořadiči na desce Arduino Mini Pro je od dodavatele nahrán tzv. Boot loader. Tento program je spuštěn po resetu mikrořadiče a očekává po určitou

dobu data pro programování na sériovém portu. Tato možnost naprogramování byla využita právě v případě inteligentních terčů.



Obrázek 46 Prostředí Visual Micro pluginu pro Visual studio,



Obrázek 47 Převodník USB/TTL

5.2 Základní koncepce firmware inteligentního terče

Inteligentní terč tvoří základní stavební jednotku celé střelnice. Rozšiřitelnost střelnice patří mezi vlastnosti, na které je třeba brát zřetel ve všech fázích návrhu zařízení. Terč obsahuje relativně jednoduchý firmware, jehož hlavním úkolem je reagovat na příchozí komunikaci, zjišťovat stav polohy zásahové plochy, registrovat zásah do jejího středu a kontrolovat překročení nastavené doby pro zásah. Samozřejmostí je pak zvedání zásahové plochy připojeným servem. Od těchto požadavků se odvíjí samotný firmware.

5.2.1 Periferie připojené k řídicí jednotce terče

Arduino Mini Pro, které tvoří řídicí jednotku terče, je připojeno k perifériím pájenými spoji a komunikační jednotka se následně připojuje ke společné systémové sběrnici za pomoci konektorů. To umožňuje volné připojování terčů bez závislosti na konkrétní poloze. Firmware je vytvářen s následujícím nastavením připojených periférií (viz. Tabulka 7).

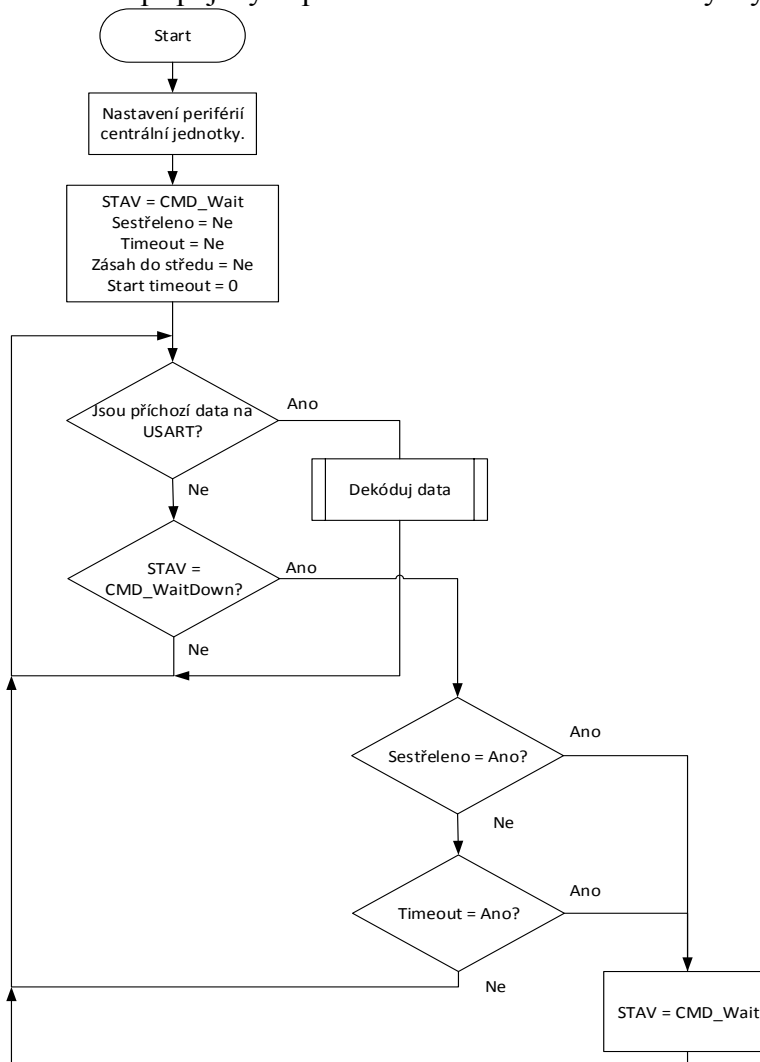
Tabulka 7 Fyzické připojení periférií k centrální jednotce

Periferie	PIN mód	Připojení k pinům Arduino
Servo MG966R, datový vodič	Výstup	D5 (PWM)

Modul zásahu do středu	Vstup	D3 (INT 1), „H“ zásah
Modul polohy zásahové plochy	Vstup	D2 (INT 0), „L“ vodorovná poloha
Sériová data TX	Výstup	D1 (TXD)
Sériová data RX	Vstup	D0 (RXD)
Směr komunikace	Výstup	D4 „H“ odesílání, „L“ příjem dat

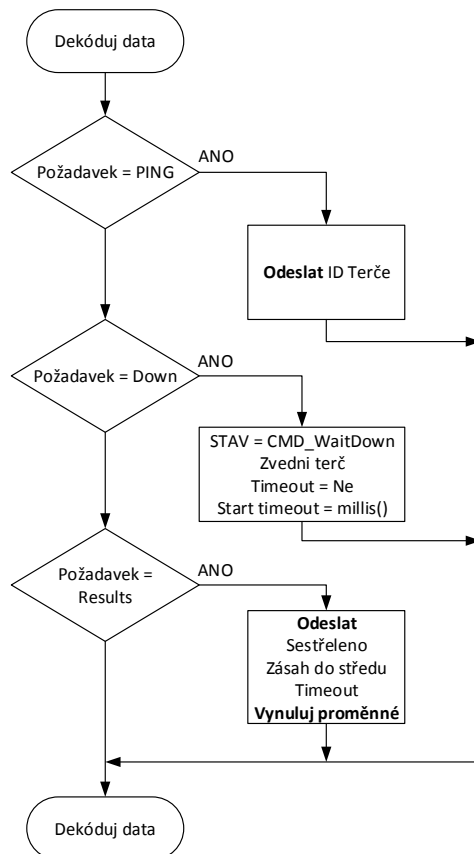
5.2.2 Firmware řídicí jednotky

V centrální jednotce terče je po připojení napájení aktivován řídicí program. Tento program je složen z inicializace připojených periférií a následně z hlavní smyčky programu.



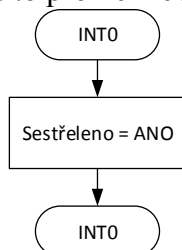
Obrázek 48 Vývojový diagram hlavní části programu terče

Komunikace s nadřazeným centrálním systémem po sběrnici je řešena za pomoci sériové „half duplex“ linky. Každý terč obsahuje své jednoznačné identifikační číslo, pod kterým se hlásí centrální jednotce střelnice. Terč reaguje na příkazy zasílané ze střelnice po systémové sběrnici. V hlavní smyčce programu testuje neustále, zda nepřišel nějaký požadavek. Pokud příkaz přišel, terč na něj reaguje odpovídajícím způsobem v podprogramu *Dekóduj data* (viz. Obrázek 49).

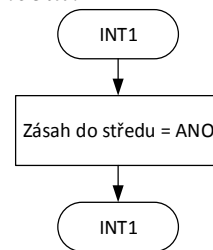


Obrázek 49 Příkazy podporované terčem, vývojový diagram

Pro detekci sestřelení a zásahu do terče je využito dostupných externích přerušení INT0 a INT1 (Obrázek 50 a Obrázek 51), inicializace funkcí pro obsluhu těchto přerušení je umístěna v inicializační části hlavního programu. V obsluze přerušení se nastavují globální příznaky stavu terče. Jsou to proměnné *sestřeleno*, *zásah do středu* a *timeout*.



Obrázek 50 Obsluha vektoru přerušení INT0



Obrázek 51 Obsluha vektoru přerušení INT1

5.2.2.1 Popis funkce standardního průběhu programu terče po zapnutí napájení střelnice

Na počátku je třeba všechny zásahové plochy dát do vertikální polohy a rameno serva natočit do označené bezpečné pozice. Po zapnutí napájení střelnice je připojeno napájení i do systémové sběrnice. To způsobí reset všech terčů na sběrnici. Po resetu terče dochází k inicializaci připojených periférií centrální jednotky, nastavení pinů do vstupních či výstupních módů, nastavení komunikačních parametrů, přepnutí do přijímacího stavu a přiřazení obsluh přerušení. Dalším krokem je nastavení globálních proměnných do základních hodnot a proměnná obsahující stav terče obsahuje stav čekání na příjem příkazu *CMD_Wait*.

V tomto okamžiku je terč připraven k provádění příkazů centrální jednotky střelnice.

Centrální jednotka zašle příkaz *CMD_Start* společně s časem pro *timeout*. Terč reaguje takovým způsobem, že zjistí polohu zásahové plochy a pokud je shozená, provede její vztyčení do horizontální polohy, stav terče nastaví jako (čekání na sestřelení) *CMD_WaitDown* a předá řízení do hlavní smyčky programu. V této smyčce se neustále testuje přítomnost příkazu z nadřazeného systému, který má přednost ve zpracování. Pokud nejsou data na sériové lince a pokud je terč ve stavu čekání na sestřelení, otestuje proměnnou *shození terče* a testuje uplynutí doby pro *timeout*.

Shozením či trefou do středu se vyvolá přerušování a nastaví se odpovídající proměnné. V okamžiku, kdy dojde k nastavení proměnné *Sestřeleno* nebo *Zásah do středu*, je terč přepnut do stavu *CMD_Wait*, kdy čeká na další příkazy. Centrální jednotka se cyklicky dotazuje jednotlivých terčů na jejich stav a čte proměnné *Sestřeleno*, *Zásah do středu* a *Timeout*. Tím zjistí výsledek od posledního příkazu čekání na sestřelení. Po přečtení stavu se proměnné vynulují a celá hlavní smyčka začíná znovu čekáním na příkaz.

5.3 Základní koncepce firmware střelnice

Programové vybavení centrální jednotky střelnice reflektuje požadavky na funkci uvedené v kapitole 2.2. Složitost programového vybavení je již podstatně větší než v jednotce inteligentního terče. Firmware v sobě zahrnuje kromě obsluhy připojených periférií také logiku vlastních módů činnosti.

5.3.1 Módy střelnice

Módem střelnice se rozumí funkce, kterou může uživatel spustit. Jednotlivé módy se spouští za pomoci příkazu z klávesnice (viz. Tabulka 8). Zadávají se 1 – 4 znaky a příkaz se ukončuje stiskem klávesy #. Spuštění funkce je zobrazováno na hlavním displeji.

Tabulka 8 Podporované příkazy z klávesnice

Klávesy	Spuštěná funkce
0#	Reset střelnice
*#	Test střelnice
**#	Registrace terčů
B0#	Vypnutí osvětlení
B1#	Zapnutí osvětlení
D0#	Vypnutí měření vzdálenosti
D1#	Zapnutí měření vzdálenosti
Axy#	Nácvik A, x – číslo 1–4 počet střelců yy – číslo 01–10 počet opakovaných kol
Bxy#	Nácvik B, x a yy ve stejném významu jako u A

5.3.1.1 Reset střelnice

Provádí úplný (studený) restart programu v řídicí jednotce. Dochází k inicializaci všech připojených periférií. V případě, že střelnice nereaguje na příkazy, je jedinou možností odpojení napájení pomocí hlavního vypínače.

5.3.1.2 Test střelnice

Je proveden interní test střelnice. Provádí se nastavení serv terčů do bezpečné polohy, testuje se komunikace s registrovanými terči. V případě nalezené chyby vypisuje na displej kód chyby (viz Tabulka 9) nebo text OK.

Tabulka 9 Chybové kódy a řešení problémů

Kód	Popis	Řešení
E01	Chyba komunikace s terči	Zkontrolovat propojení terčů se systémovou sběrnicí. Spustit Registraci terčů.
E02	Chyba napájení sběrnice	Napájecí napětí na sběrnicí je nízké.

		Nabít akumulátory pro napájení sběrnice.
E03	Nízké napětí zdroje	Napájecí napětí pro řídicí jednotku terče je nízké. Nabít akumulátory pro napájení řídicí jednotku.

5.3.1.3 Registrace terčů

Aby byla splněna podmínka rozšiřitelnosti střelnice, je třeba při první konfiguraci či změně počtu terčů připojených na systémovou sběrnici provést funkci *Registrace terčů*. Tato funkce provede vysílání požadavku na odezvu (PING). Centrální jednotka střelnice prochází v cyklu všechny použitelné ID (rozsah 2–10) a vyšle požadavek na odezvu. Pokud se terč do časového limitu 1 sec ozve (odešle zprávu centrální jednotce se svým ID) je registrován do interního seznamu terčů. Firmware střelnice je aktuálně schopen registrovat až 10 terčů. Podmínku správné funkčnosti je, aby každý terč měl jedinečné ID v rozsahu 2–10, přičemž ID 1 je rezervováno pro centrální jednotku střelnice.

5.3.1.4 Zapnutí či vypnutí osvětlení

Zapíná či vypíná osvětlení pozadí střelnice pro lepší viditelnost za zhoršených světelných podmínek.

5.3.1.5 Zapnutí či vypnutí měření vzdálenosti

Jedna z vlastností, která usnadní použití zařízení venku je měření vzdálenosti. Střelec se postaví čelem ke středu terče a obsluha zapne tuto funkci. Ultrazvukový dálkoměr provádí měření vzdálenosti od střelce a lze tak stanovit vzdálenost, od které bude probíhat nácvik střelby. Po zapnutí funkce je na displeji zobrazována vzdálenost v centimetrech. Měřitelná vzdálenost je dána použitým ultrazvukovým dálkoměrem a je platná v rozsahu 30 cm až 650 cm, s průměrnou chybou 2,5 cm.

5.3.1.6 Nácvik střelby varianta A

Tato varianta nácviku střelby je určena pro trénink v rychlosti sestřelení sady terčů. Nácvik je určen pro 1–4 střelce v 1–10 kolech. Po zvolení této varianty A dojde k zobrazení prvního kola a ke zvednutí všech terčů připojených ke střelnici. Do 30 sec od zvednutí terčů je na displeji zobrazeno označení střelce P1–P4, který má začít střílet. V okamžiku, kdy se označení střelce zobrazí, ten začne střílet, dokud nejsou sestřeleny všechny terče. Bodové hodnocení je závislé od doby trvání každého kola a současně počtu zásahů do středu zásahové plochy. Po sestřelení všech terčů jsou opět zvednuty a do 30 sec je zobrazeno označení aktuálního kola. Po zobrazení čísla střelce, je možné zahájit střelbu. Po průchodu všech kol střelby, je zobrazeno pořadí střelců podle jejich bodového hodnocení.

Pro výpočet hodnocení je v každém kole sledována doba, za kterou byly sestřeleny všechny terče, pokud střelec trefil střed zásahové plochy dojde k odečtení 5% času za každý zásah do středu. Na konci všech kol je vítězem ten, kdo má nejmenší součet časů za všechna kola. Pro regulérní průběh musí být střelci ke střelbě připraveni, před tím než na ně dojde řada, tak aby v 30–ti sekundové pauze mezi výměnnou střelců mohla střelba pokračovat.

5.3.1.7 Nácvik střelby varianta B

Nácvik střelby s přihlédnutím na postřeh střelce. Opět se jedná o variantu nácviku pro 1–4 střelce na 1–10 kol. Střelba začíná zobrazením označení střelce na displeji. Všechny terče jsou ve vodorovné poloze, pak střelnice náhodně zvedne jeden z terčů a začne se počítat čas do *timeoutu* nastavený na 10 sec. Pokud střelec terč v této době neseštelí, je mu přiřazena maximální doba sestřelu nastavená na 60 sec. V každém kole se počítá doba sestřelení každého terče. Pokud dojde k zásahu do středu zásahové plochy zaznamenaný čas je uložen jako poloviční pro daný terč. Toto neplatí pro terč, který nebyl sestřelen v limitu *timeoutu*. Z uvedeného plyne, že pro pět terčů je k dispozici časové okno do 50 sec v případě regulérního sestřelení nebo maximálně 300 sec pro netrefení ani jednou v limitu 10 sec. Na konci všech kol je vítězem ten střelec, který má nejkratší čas sestřelení přes všechna kola.

5.3.2 Periferie připojené k řídicí jednotce střelnice

Řídicí jednotka střelnice obsahuje modul Arduino Mega osazený mikrořadičem ATmega 1280 s 128KB paměti pro uložení programu a dostatečným počtem vstupně výstupních pinů. Připojení periférií k řídicí jednotce je provedeno dle následující tabulky (Tabulka 10).

Tabulka 10 Připojení periférií k řídicí jednotce střelnice

Periferie	PIN mód	Připojení k pinům Arduino
Ultrazvukový dálkoměr	Analogový vstup 0 – 5V	A0
Zdroj řídicí jednotky	Analogový vstup 0 – 4V	A1
Zdroj sběrnice a terče	Analogový vstup 0 – 4V	A2
Zvuková signalizace	Výstup	D6
Osvětlení	Výstup PWM	D7
Klávesnice řádky	Výstup	D22, D23, D24, D25
Klávesnice sloupce	Vstup	D26, D27, D28, D29
Displej stavu baterie	Výstup	D21 (CLK), D22(DIO)
Hlavní maticový displej	Výstup	D10 (DIN), D11 (CS), D12 (CLK)
Komunikační modul	Výstup	D14 (TX3)
	Vstup	D15 (RX3)
Komunikační modul směr dat	Výstup	D4
Bluetooth modul	Výstup	D16 (TX2)
	Vstup	D17 (RX2)

Rozložení klávesnice (4x4) je podle schématu:

Ř/S	(1)	(2)	(3)	(4)
(1)	1	2	3	A
(2)	4	5	6	D
(3)	7	8	9	C
(4)	*	0	#	D

Všechny komponenty mají jednotlivé piny popsané na deskách plošných spojů a kromě uvedených datových vodičů jsou připojeny také k napájení. Propojení komponent podle uvedených parametrů je provedeno pomocí JST konektorů.

5.3.3 Komunikační protokol na systémové sběrnici

Komunikace mezi řídicí jednotkou střelnice a inteligentním terčem probíhá formou dotaz – odpověď, kde iniciátorem komunikace je střelnice. Po inicializaci celého systému jsou všechny terče (Slave) v režimu příjem dat. Inteligentní terč po inicializaci nastavuje hodnotu logická „L“ na pin řídicí směr komunikace, čímž se přepne do příjmu dat. Pokud chce jednotka zahájit vysílání příkazu, přepne pin směru komunikace do logické „H“. Každá Slave jednotka (terč) má své jednoznačné identifikační číslo v rozsahu 2–10 a ID 1 je vyhrazeno pro centrální jednotku střelnice. Přenosové parametry komunikačního portu jsou nastaveny na rychlost 19200 Bd, 8 bitů bez parity a jeden start a stop bit.

Ve firmware centrální jednotky střelnice a každého terče jsou deklarovány následující struktury určené pro výměnu dat (datový paket).

První strukturou je struktura určená pro příjem dat:

```
struct RECEIVE_DATA_STRUCTURE
{
    byte IDto;
    byte IDFrom;
    byte CMD;
    long Param;
}
```

Struktura obsahuje ID cílové centrální jednotky a současně ID vysílací strany, tedy jed-

notky, která komunikaci inicializuje. Ve většině případů to bude řídicí jednotka střelnice, v případě, že požadovaný příkaz vyžaduje odpověď tak bude iniciátorem terč. Hodnota v poli *CMD* obsahuje identifikátor příkazu a poslední položka je volitelný parametr *Param*, jehož význam se může lišit u každého jednotlivého příkazu.

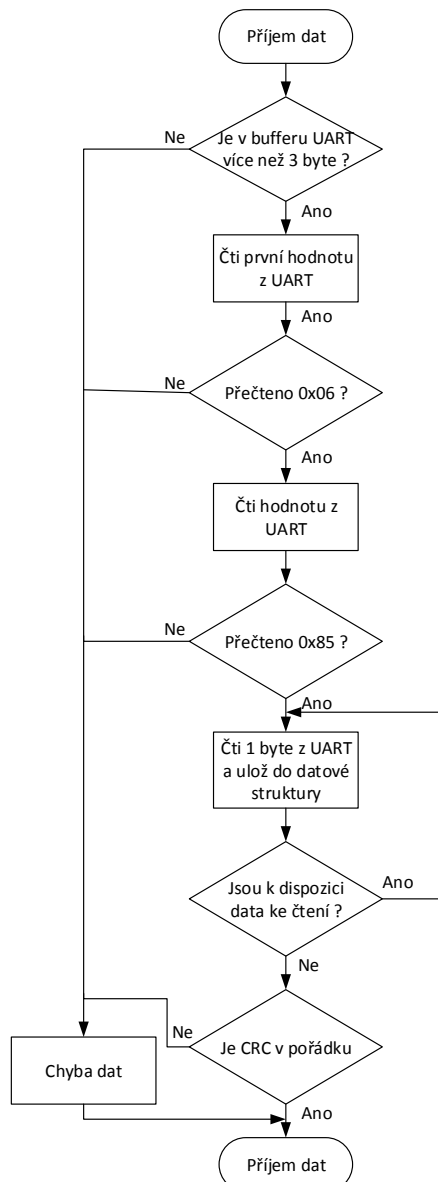
Struktura určená pro odeslání dat, jako reakce na přijatý požadavek je následující:

```
struct SEND_DATA_STRUCTURE
{
    byte IDto;
    byte IDFrom;
    byte CMD_Exec;
    byte Return_State;
    byte Return_Points;
    long Return_Duration;
}
```

Identifikace zdroje a cíle má stejný význam jako u struktury pro příjem dat, položka *CMD_Exec* je identifikátor příkazu, na který se zasílá odpověď. *Return_State* obsahuje stav výsledku dotazu, *Return_Points* jsou vypočtené body a *Return_Duration* je doba do sestřelení od okamžiku, kdy je možné zásahovou plochu zasáhnout.

Při vlastním odesílání je datový paket doplněn o dvoubajtovou uvozovací sekvenci a na závěr je přidán kontrolní součet (CRC), který je tvořen součtem jedničkových bitů v odesílaných datech a uložen do hodnoty jednoho byte. Při příjmu následně dochází ke kontrole tohoto kontrolního součtu a pouze v případě, že je kontrolní součet přijatých dat v pořádku, bude příkaz proveden. Na fyzické úrovni tedy po USART lince jsou posílána data (paket) ve formátu: *0x06 0x85 Délka_struktury_dat SEND_DATA_STRUCTURE CRC*

Vývojový diagram příjmu paketu ze systémové sběrnice je ukazuje obrázek (Obrázek 52).



Obrázek 52 Vývojový diagram příjmu datového paketu

V hlavním programu řídicí jednotky je po odeslání příkazu nebo odpovědi směrem k cíli aktivován podprogram *Přijem dat*. Tím je vytvořen jednoduchý protokol typu dotaz odpověď. V současném stavu firmware, není požadováno potvrzení přijetí každého příkazu, mohlo by tedy dojít vlivem chyby v komunikaci k neprovedení příkazu. Toto lze odstranit zavedením potvrzování přijetí každého příkazu Slave zařízením.

5.3.4 Použité knihovny pro obsluhu periférií

Pro platformu Arduino je k dispozici nespočet knihoven vytvořených vývojáři z celého světa a sloužících k snadnému použití nejrůznějších připojených hardwarových komponent. Ačkoliv je možné pro každé zařízení vytvořit své vlastní funkce pro jeho ovládání, nemá cenu znovu vynalézat kolo od vozu. Jedinou podmínkou je, aby zdrojové knihovny byly dostatečně dokumentované pro případné hledání problémů v kódu knihovny.

Ve firmware střelnice a terče je použito několik knihoven uvedených v tabulce (Tabulka 11) dostupných na [7].

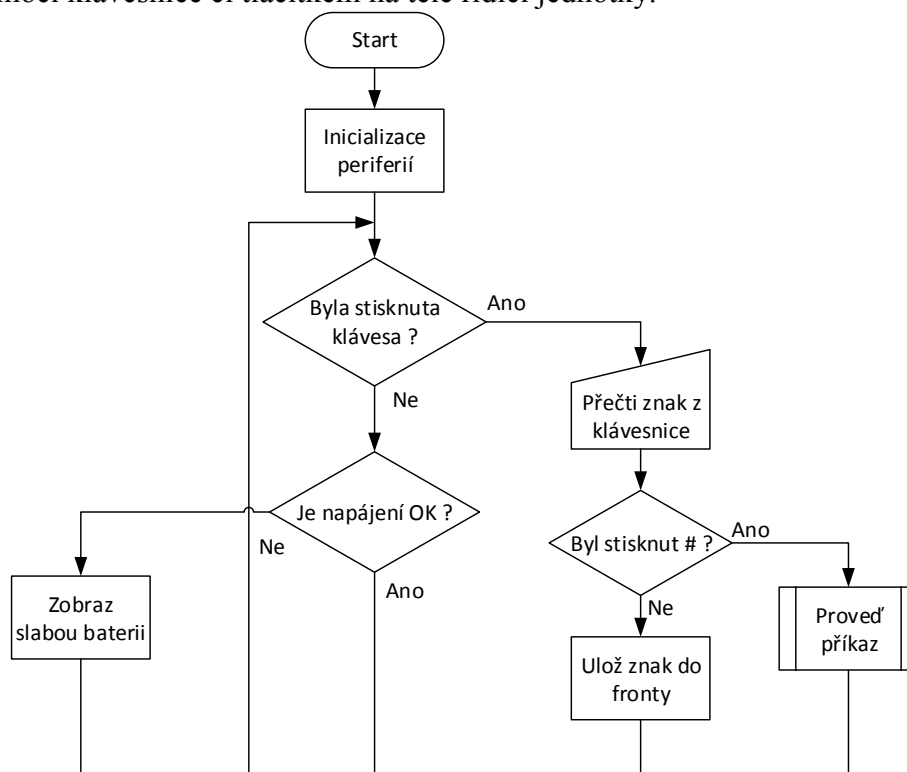
Název knihovny	Účel
TM1651.cpp	Ovládání displeje stavu baterie
MaxMatrix.cpp	Obsluha maticového displeje
TimerThree.cpp	Třídy konfigurace pro časovač 3
KeyPad.cpp	Obsluha klávesnice
EasyTransfer.cpp	Komunikace po sériové lince
EEPROM.cpp	Třídy pro ukládání dat do EEPROM

5.3.5 Firmware řídicí jednotky

Firmware řídicí jednotky je komplexní systém zahrnující obsluhu periférií střelnice, komunikaci s uživatelem a také vlastní vyhodnocování střelby. Z důvodu rozsáhlosti budou v dalších odstavcích popsány pouze hlavní myšlenky základních částí firmware. V případě bližšího zájmu je možné nahlédnout do zdrojových kódů.

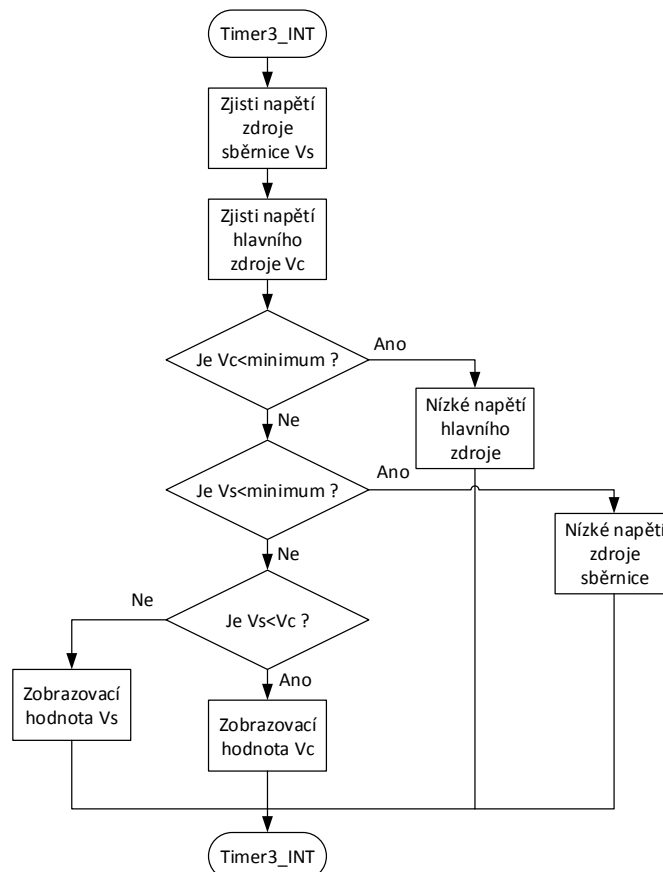
5.3.5.1 Inicializační a hlavní část firmware

Tato část (viz. Obrázek 53) firmware je spouštěna po připojení napájecího napětí nebo restartu pomocí klávesnice či tlačítkem na těle řídicí jednotky.



Obrázek 53 Vývojový diagram hlavní části firmware

Hlavní účel primární smyčky aplikace je neustále načítat stav klávesnice a kontrolovat stav napájení. Každý zadaný příkaz z klávesnice může obsahovat jeden až 4 znaky, ukončené znakem #. Každý stisk klávesy je ukládán do mezi paměti, dokud není stisknut znak potvrzení příkazu. Po jeho zadání je spuštěno provedení odpovídající funkce. Kontrola stavu baterie je prováděna cyklicky za použití přerušení od časovače *Timer 3* (Obrázek 54) a to každých 10 sec.

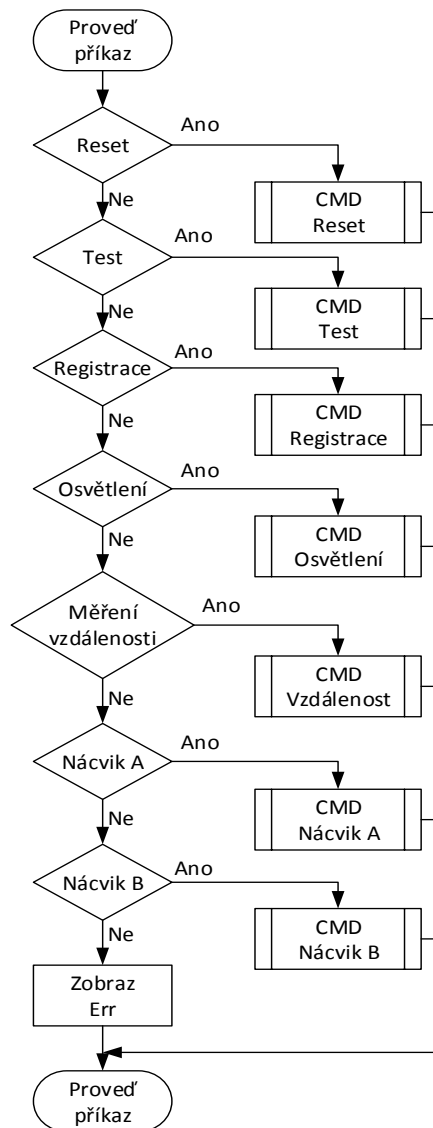


Obrázek 54 Obsluha přerušení pro Timer 3 – kontrola stavu napájení

Pro kontrolu stavu napájení je rozhodující, které napětí je menší než v programu stanovené minimum. Pro napájecí zdroje je v programu nastavena jako minimální hranice 6,2 V což odpovídá 3,1 V na jeden Li–Ion článek. Pokud klesne napětí pod hranici 3V na článek elektronika v akumulátoru článek odpojí, aby zabránila poškození. Na displeji je zobrazující se stav více vybité sady akumulátorů. V případě příliš nízkého napětí se zobrazuje také na hlavním displeji nápis *Bat*.

5.3.6 Podprogram vykonávání příkazů

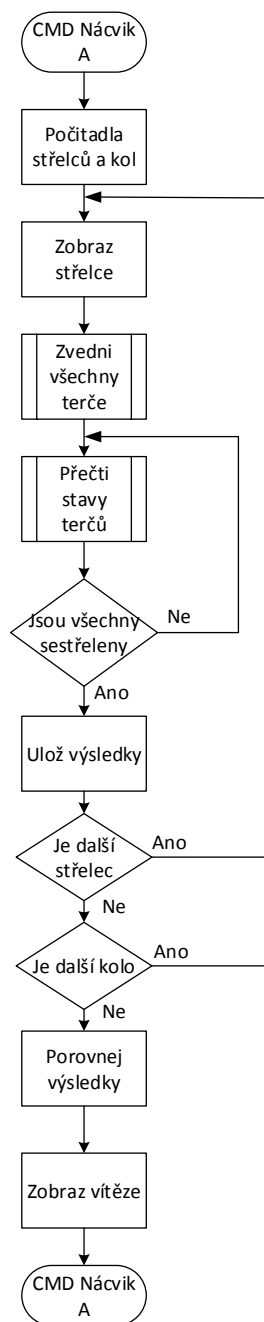
V tomto podprogramu dochází k provedení příkazu zadaného uživatelem. Některé příkazy jsou provedeny v řádu doby trvání odeslání a přijetí příkazu po sběrnici, jiné tvoří celkový nácvik střelby pro zadaný počet střelců a počet požadovaných kol. Každý příkaz je tvořen separátní funkcí, která zabezpečuje jeho kompletní vykonání. Použitím tohoto způsobu obsluhy, vstupu z klávesnice, nechává prostor pro jednoduché rozšíření funkčnosti o další příkazy, přitom s minimálním dopadem na ostatní funkce firmware. Rozšíření spočívá v doplnění funkce *Proved' příkaz* (Obrázek 55) o další alternativní větve a vytvoření příslušné funkce vykonávající požadovanou činnost.



Obrázek 55 Vývojová diagram zpracování příkazů z klávesnice

5.3.7 Provedení nácviku střelby varianta A

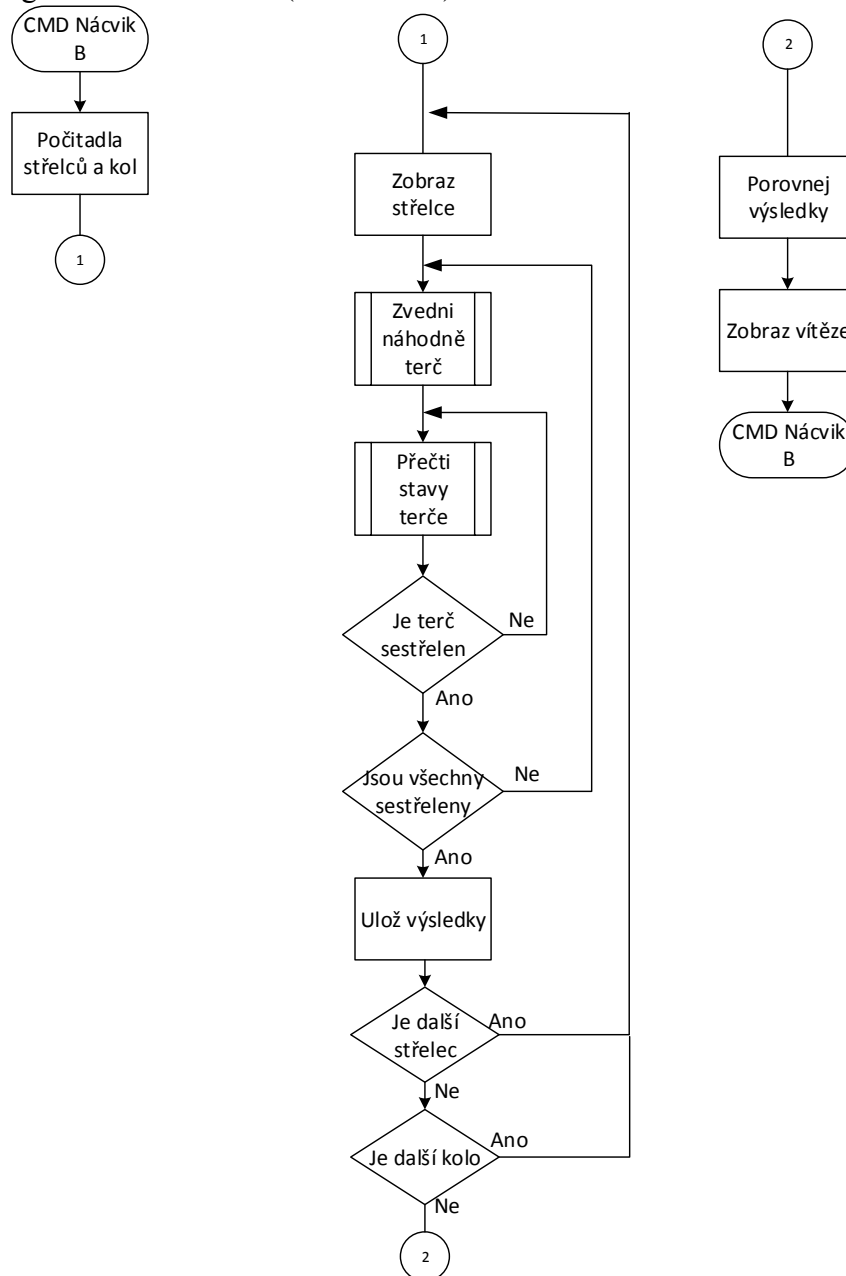
Vývojový diagram, popisující jakým způsobem je řešen nácvik střelby při variantě A je na obrázku (Obrázek 56). Detailní popis vlastního nácviku je uveden v kapitole 5.3.1.6. Diagram zachycuje základní funkčnost, při vlastní realizaci v programu je vlastní zdrojový kód rozšířen o předávání parametrů a testování vstupů. Nejsou zde prezentovány metody pro komunikaci, zasílání příkazů a čtení stavu inteligentních terčů. Tato funkcionality je zapouzdřena v samostatných funkcích a je snadno dohledatelná ve zdrojovém kódu.



Obrázek 56 Vývojový diagram příkazu Nácvik střelby varianta A

5.3.8 Provedení nácvičku střelby varianta B

Při nácvičku střelby ve variantě B je po programové stránce zajímavou částí využití generátoru náhodných čísel k výběru terče, který má být zvednut. Knihovny pro Arduino sice podporují generátor náhodných čísel, je třeba ovšem v kódu zajistit, aby byl každý terč zvednut právě jednou. To je řešeno za pomoci pole s indexem ještě nepoužitých terčů a náhodným výběrem z tohoto pole. Slovní popis funkce varianty B je v kapitole 5.3.1.7. Algoritmus je popsán vývojovým diagramem na obrázku (Obrázek 57).



Obrázek 57 Vývojový diagram pro variantu nácvičku střelby B

5.3.9 Zdrojové kódy firmware

Zdrojové kódy firmware jsou složeny ze základního modulu s příponou *ino* a dále z množství hlavičkových souborů s příponou *h* a k nim odpovídajících souborů *cpp*. Firmware je napsán v C++ a jsou využívány třídy k zapouzdření funkčnosti.

5.3.9.1 Firmware terče, zdrojové kódy

Soubory obsahující zdrojové kódy jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 12).

Tabulka 12 Seznam souborů firmware terče

Soubory	Obsah
Terc_Release.ino	Hlavní smyčka firmware
Servo.h, Servo.cpp, ServoTimers.h	Nízko úroňová práce se servem
EEPROM.h, EEPROM.cpp	Práce s EEPROM mikrořadiče
TercState.h, TercState.cpp	Stavy terče
Registry.h, Registry.cpp	Obsluha požadavku registrace terče
ProcessCommands.h, ProcessCommands.cpp	Provádění došlých příkazů
ObsluhaServa.h, ObsluhaServa.cpp	Nastavení pozic serva podle požadavků
Komunikace.h, Komunikace.cpp	Struktury pro přenos dat
EasyTransfer.h, EasyTransfer.cpp	Nízko úroňové posílání dat po sběrnici
Cidla.h, Cidla.cpp	Testování stavu čidel terče

5.3.9.2 Firmware střelnice, zdrojové kódy

Soubory obsahující zdrojové kódy jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 13).

Tabulka 13 Seznam souborů firmware střelnice

Soubory	Obsah
Terc_Controller.ino	Hlavní smyčka firmware
Setup.h	Základní nastavení firmware
Controller.h, Controller.cpp	Řídící modul systému
Osvetleni.h, Osvetleni.cpp	Obsluha osvětlení střelnice
MaxMatrix.h, MaxMatrix.cpp	Komunikace s maticovým displejem
EEPROM.h, EEPROM.cpp	Práce s EEPROM mikrořadiče
EasyTransfer.h, EasyTransfer.cpp	Nízko úroňové posílání dat po sběrnici
Komunikace.h, Komunikace.cpp	Struktury pro přenos dat
MainDisp.h, MainDisp.cpp	Vykreslování na maticový displej
BatteryDisp.h, BatteryDisp.cpp	Ovládání zobrazení stavu zdroje
Beeper.h, Beeper.cpp	Zvukový výstup
Key.h, Key.cpp	Objekt stisknuté klávesy
Keypad.h, Keypad.cpp	Nízko úroňové čtení klávesnice
Klavesnice.h, Klavesnice.cpp	Obsluha klávesnice
Known_16bit_timers.h	Definice časovačů pro Arduino Mega
GameA.h, GameA.cpp	Algoritmus nácviku střelby varianta A
GameB.h, GameB.cpp	Algoritmus nácviku střelby varianta B

Závěr

Výsledkem této práce je vytvoření automatizované střelnice, sloužící pro nácvik střelby pomocí airsoftové pistole. K dosažení tohoto výsledku bylo zapotřebí využít znalostí z různých oborů a to zejména mechaniky, fyziky, elektroniky a mikroprocesorové techniky. Dále byly využity nástroje pro technickou dokumentaci a 3D vizualizaci (AutoCAD), software pro návrh plošných spojů Eagle a samozřejmě programovací nástroj Microsoft Visual Studio 2013.

Střelnice byla otestována v provozu a její funkčnost odpovídá stanovenému zadání. Vzhledem k tomu, že se jedná o rozsáhlý systém, je třeba říci, že se ve firmware mohou vyskytovat chyby, které nelze bez dlouhodobého testování odhalit. Samostatnou kapitolou je pak spolupráce více komponent (inteligentní terče) a řídicí jednotky střelnice. Použitý způsob vychází z ověřeného zapojení, nicméně vzdálenost, která je mezi komunikujícími částmi je řádově větší než v originálním použití ve stavebnici Bioloid. Celý návrh a montáž zařízení byla pro mě velmi přínosná, jelikož jsem se seznámil s inženýrským přístupem k řešení komplexního problému, který je velmi blízký praxi.

Automatizovaná střelnice byla od počátku navrhovaná na její rozšíření o další terče a je sestavena s modulem Bluetooth vysílače, který je v současné podobě využíván pro přenos stavových informací. Tato skutečnost umožňuje navrhnout jako další logické rozšíření systému vytvořit ovládací program pro mobilní telefon či tablet, který bude střelnici dálkově ovládat a tím přinese obsluhu větší komfort.

Soupis použitých zdrojů

1. Web MaxBotix. In: *Dokumenty: MaxBotix* [online]. 2014 [cit. 2015-02-06]. Dostupné z: http://maxbotix.com/documents/LV-MaxSonar-EZ_Datasheet.pdf
2. Web Maximintegrated. In: *Maxim Integrated datasheets* [online]. 2003 [cit. 2015-02-06]. Dostupné z: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX7219-MAX7221.pdf>
3. Web Robotis. In: *Charakteristiky: Robotis* [online]. 2014 [cit. 2015-02-06]. Dostupné z: http://www.robotis.com/xe/dynamixel_en
4. Web Robotis. In: *Podpora: Robotis* [online]. 2014 [cit. 2015-02-06]. Dostupné z: http://support.robotis.com/en/product/dynamixel/dxl_ax_main.htm
5. Web Visual Micro. In: *Index: Visual Micro* [online]. 2014 [cit. 2015-02-06]. Dostupné z: <http://www.visualmicro.com/>
6. Web Arduino. In: *HomePage: Arduino* [online]. 2014 [cit. 2015-02-06]. Dostupné z: <http://arduino.cc/en/Guide/HomePage>
7. Web Arduino. In: *Libraries: Arduino* [online]. 2014 [cit. 2015-02-06]. Dostupné z: <http://arduino.cc/en/Guide/Libraries>

Seznam obrázků

Obrázek 1	Používané mechanické konstrukce terčů	9
Obrázek 2	Airsoftová zbraň na CO ₂ , Beretta Elite II	10
Obrázek 3	Vizualizace terče s popisem částí	10
Obrázek 4	Vizualizace střelnice pomocí programu AutoCAD	11
Obrázek 5	Zásahová plocha terče se středovým pohyblivým kontaktem	11
Obrázek 6	Základnová deska se samostatnou středovou částí	13
Obrázek 7	Sestavená zásahová plocha terče	13
Obrázek 8	Zásahová plocha připravená k připájení hran	13
Obrázek 9	Zadní strana zásahové plochy s ploškami pro kabeláž	13
Obrázek 10	Zásahová plocha terče s připájeným kontaktním rámečkem	13
Obrázek 11	Finální podoba zásahové plochy terče	13
Obrázek 12	Detail zvedacího mechanismu terče	15
Obrázek 13	Zvedací mechanismus terčové plochy ve formě páky	15
Obrázek 14	Stanovení délky dráhy působení projektilu na zásahovou plochu	16
Obrázek 15	Kompletní sestřelený terč bez elektroniky	17
Obrázek 16	Detail bočnice terče	18
Obrázek 17	Umístění vodováha ve střelnici	18
Obrázek 18	Nastavitelné nožičky terče	18
Obrázek 19	Střelnice částečně sestavená	19
Obrázek 20	Čelní pohled na střelnici	19
Obrázek 21	Základní deska Arduino Mega	20
Obrázek 22	Základní deska Arduino Pro Mini	21
Obrázek 23	Blokové schéma elektronických subsystémů střelnice	22
Obrázek 24	Sensor shield v. 2.0 strana připojení periférií	23
Obrázek 25	Sensor shield v. 2.0 strana připojení k Arduino Mega	23
Obrázek 26	Propojovací konektor JST	23
Obrázek 27	Membránová klávesnice	23
Obrázek 28	Ultrazvukový dálkoměr MB1000	24
Obrázek 29	Přední strana displeje	25
Obrázek 30	Zadní strana displeje	25
Obrázek 31	Připojení displeje k obvodu MAX7219	25
Obrázek 32	Displej stavu baterie	25
Obrázek 33	Signální piezoměnič	26
Obrázek 34	Bluetooth modul JY-MCU	26
Obrázek 35	Rozvod sběrnice a připojení terče pomocí JST konektoru	27
Obrázek 36	Modul komunikace po sběrnici	27
Obrázek 37	Schéma komunikačního sběrnicevého modulu	28
Obrázek 38	Akumulátory Li-Ion v držáku	28
Obrázek 39	Schéma kombinovaného napájecího zdroje	29
Obrázek 40	Osazená deska kombinovaného napájecího zdroje	29
Obrázek 41	Blokové schéma jednotky inteligentního terče	30
Obrázek 42	Čidlo s optickou závorou	31
Obrázek 43	Mechanické provedení čidla polohy	31
Obrázek 44	Schéma monostabilního klopného obvodu	31
Obrázek 45	Osazená deska MKO	31
Obrázek 46	Prostředí Visual Micro pluginu pro Visual studio,	33
Obrázek 47	Převodník USB/TTL	33
Obrázek 48	Vývojový diagram hlavní části programu terče	34
Obrázek 49	Příkazy podporované terčem, vývojový diagram	35

Obrázek 50 Obsluha vektoru přerušení INT0	35
Obrázek 51 Obsluha vektoru přerušení INT1	35
Obrázek 52 Vývojový diagram příjmu datového paketu	40
Obrázek 53 Vývojový diagram hlavní části firmware	41
Obrázek 54 Obsluha přerušení pro Timer 3 – kontrola stavu napájení.....	42
Obrázek 55 Vývojová diagram zpracování příkazů z klávesnice.....	43
Obrázek 56 Vývojový diagram příkazu Návčik střelby varianta A	44
Obrázek 57 Vývojový diagram pro variantu nácviku střelby B.....	45

Seznam tabulek

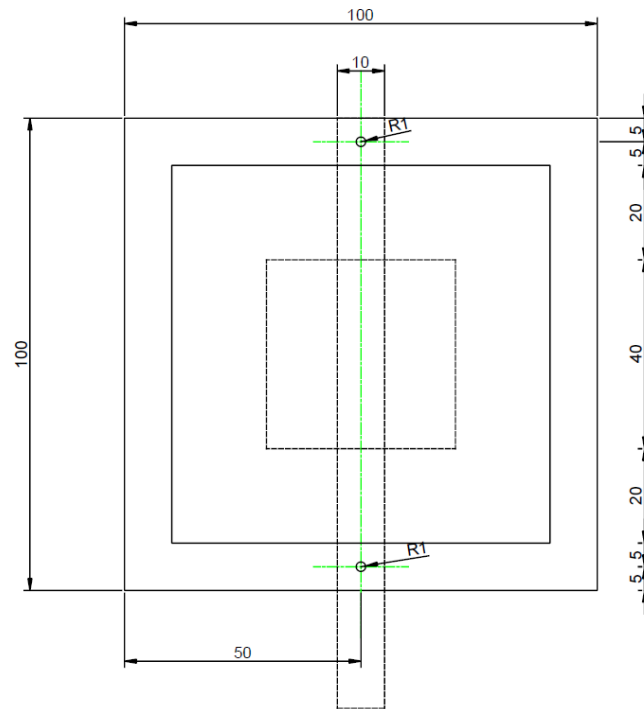
Tabulka 1 Parametry vzduchové zbraně, použité při návrhu střelnice.....	10
Tabulka 2 Parametry použitého serva	14
Tabulka 3 Veličiny, jejich označení a hodnoty použité ve výpočtech síly	15
Tabulka 4 Veličiny použité pro výpočet síly dopadu projektilu	16
Tabulka 5 Parametry Arduino Mega	20
Tabulka 6 Parametry Arduino Pro Mini	20
Tabulka 7 Fyzické připojení periférií k centrální jednotce	33
Tabulka 8 Podporované příkazy z klávesnice	36
Tabulka 9 Chybové kódy a řešení problémů	36
Tabulka 10 Připojení periférií k řídicí jednotce střelnice	38
Tabulka 11 Knihovny použité ve firmwre	41
Tabulka 12 Seznam souborů firmwre terče	46
Tabulka 13 Seznam souborů firmwre střelnice	46

Seznam použitých zkratek

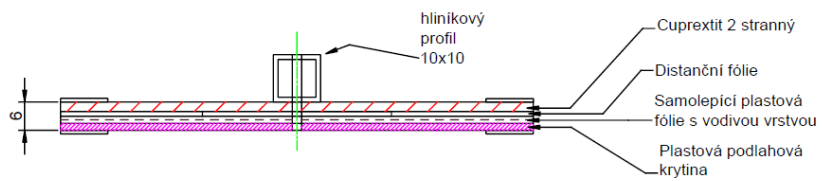
Zkratka	Význam
AD	Analog Digital
AVR	Architektura mikrořadiče
Bd	Baud, znaková rychlost
CO₂	Oxid uhličitý
CRC	Cyclic Redundancy Check
ČSN EN	Česká technická norma, harmonizovaná Evropská norma
DC	Direct current stejnosměrný proud
I²C	Inter-Integrated Circuit, sériová sběrnice
ICSP	In-Circuit Serial Programming
IDE	Integrated Development Environment
J	Joule
JST	Typ krimpovacího konektoru
LED	Light-Emitting Diode
Li-Ion	Lithium Iontový akumulátor
MKO	Monostabilní klopný obvod
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
N	Newton
NiMH	Nikl-metal hydridový akumulátor
PVC	Polyvinylchlorid, umělá hmota
PWM	Pulse Width Modulation, pulsně šířková modulace
SMT	Surface Mount Technology
SSR	Solid State Relay
TTL	Transistor-Transistor-Logic
UART	Universal Synchronous / Asynchronous Receiver and Transmitter
USB	Universal Serial Bus

Přílohy

1. Zásahová část terče

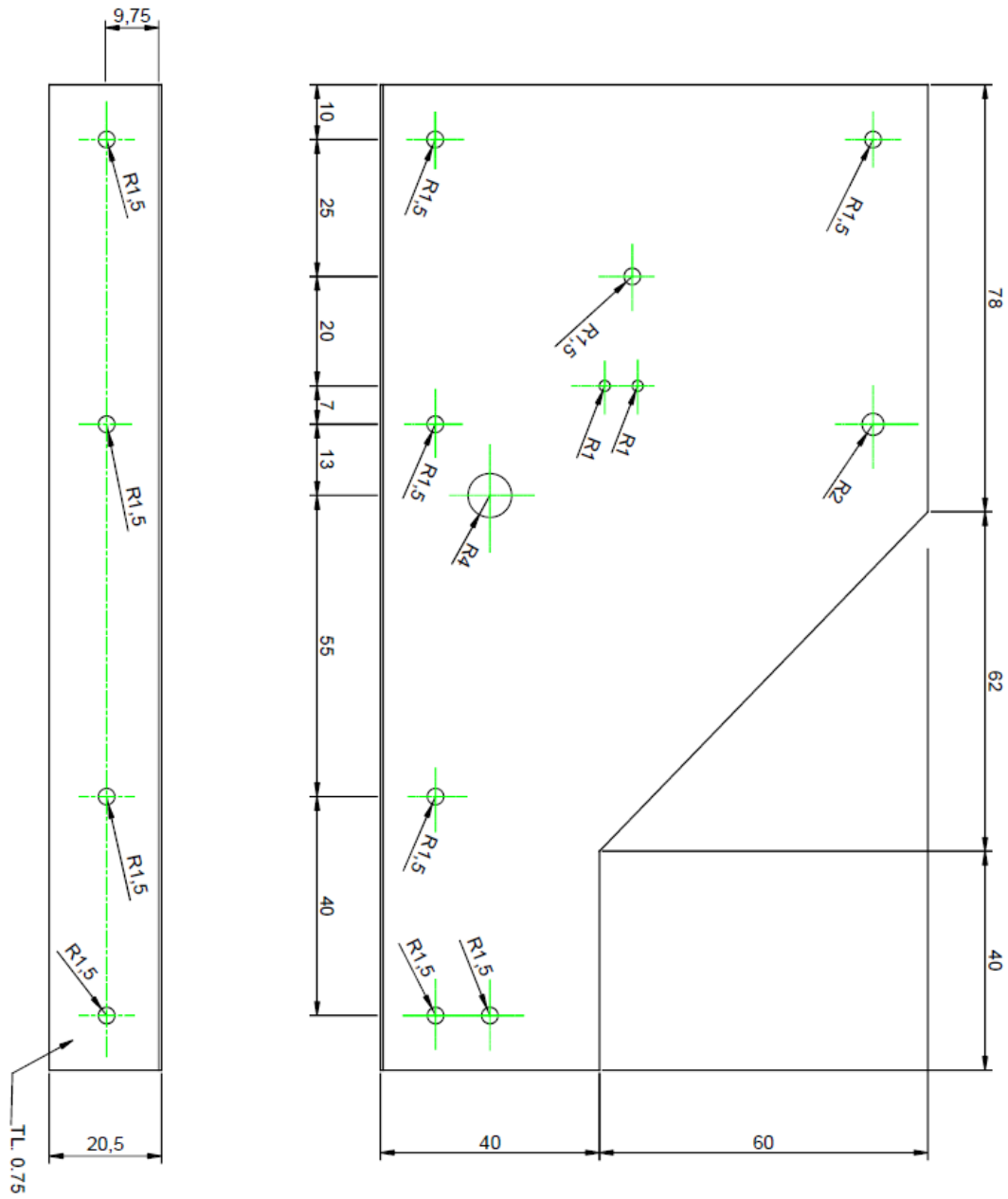


Detail zásahové části terče

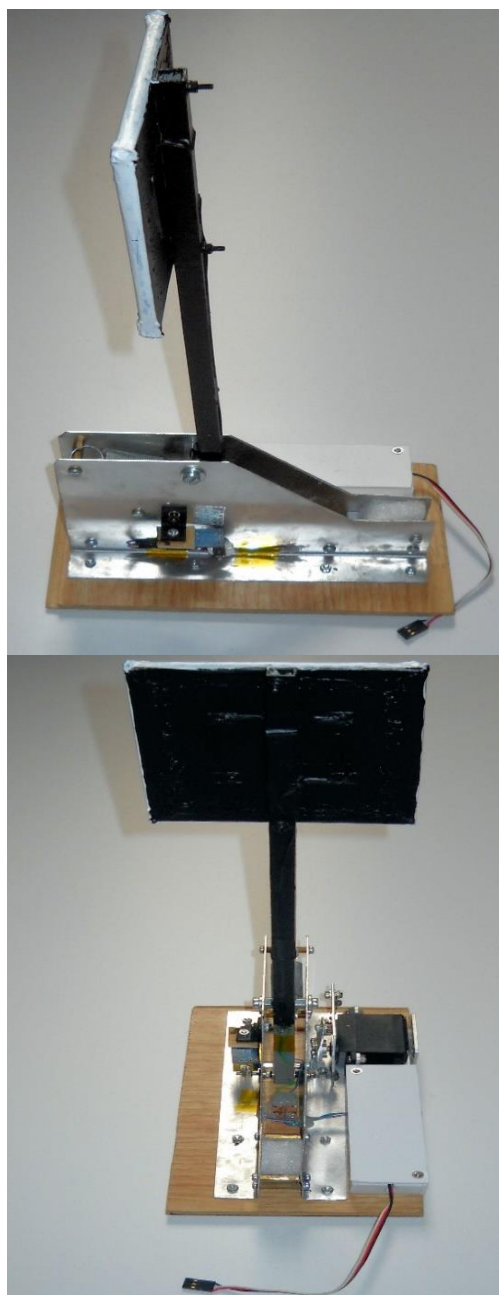
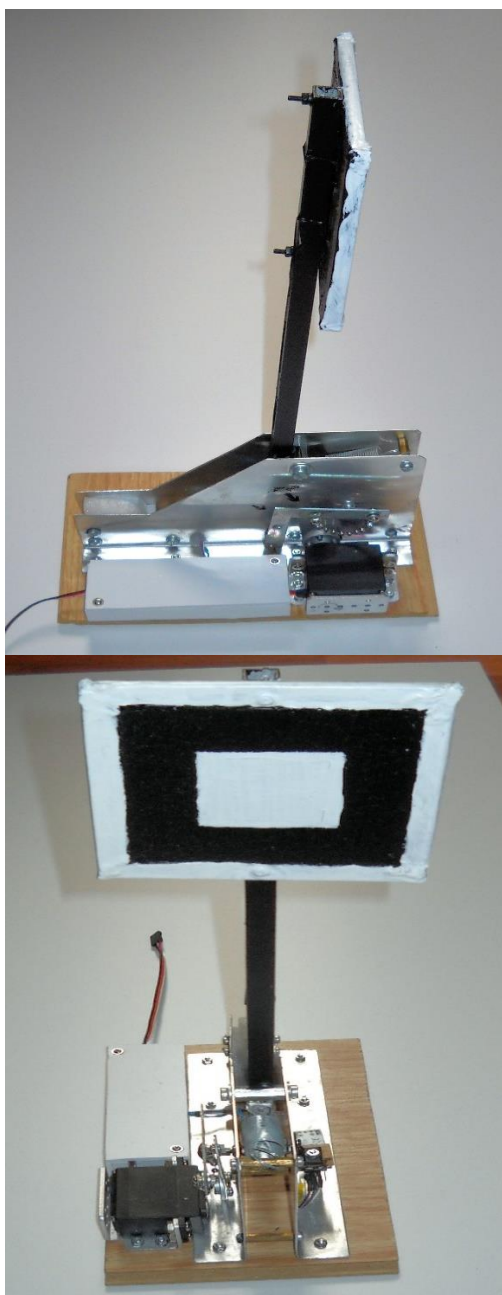


2. Bočnice držáku terče

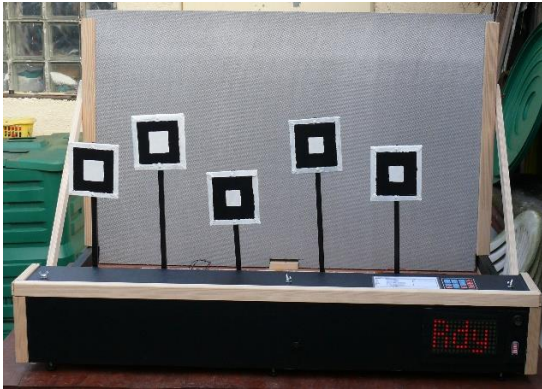
Bočnice terče
Hliníkový plech



3. Foto kompletního terče



4. Foto střelnice



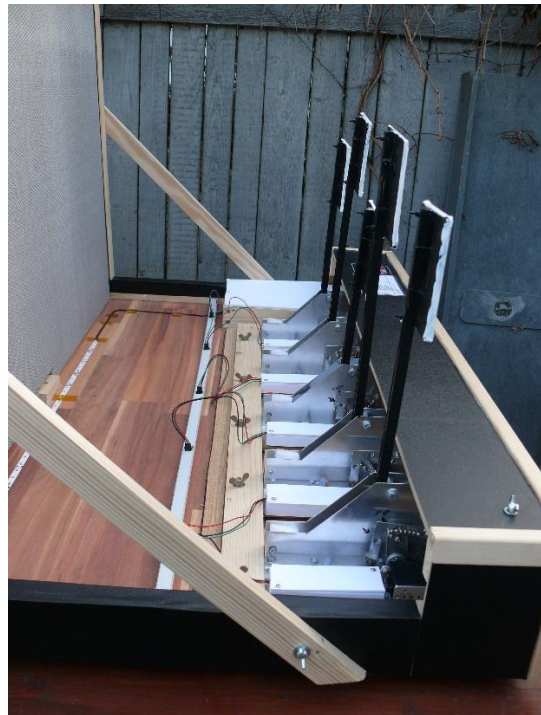
Střelnice připravená k provozu



Detail klávesnice a displeje



Náhled shora na střelnici



Boční pohled na terče ve střelnici