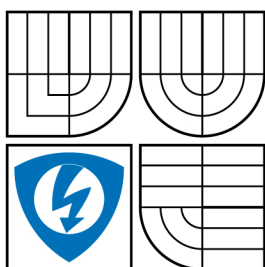


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

# SYSTÉM ELEKTRONICKÉ ČASOMÍRY S BEZDRÁTOVÝM PŘIPOJENÍM TERČŮ A HLAVNÍHO ZOBRAZOVAČE

THE SYSTEM OF ELECTRONIC TIMETABLE FOR FIRE SPORT WITH WIRELESS  
CONNECTION OF TARGETS AND MAIN HUB

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

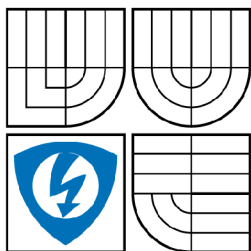
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

PETR NOVOBILSKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ HÁZE, Ph.D.

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav mikroelektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Mikroelektronika a technologie**

**Student:** Petr Novobilský

**ID:** 77874

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2008/2009

## NÁZEV TÉMATU:

**Systém elektronické časomíry s bezdrátovým připojením  
terčů a hlavního zobrazovače**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhnout a vyrobit časomíru řízenou mikrokontrolérem dle vlastního výběru s možností připojení maximálně tří terčů, přenos informací od terčů a k hlavnímu displeji řešit bezdrátově. Start časomíry řešit pomocí impulsu ze startovací pistole. Hlavní zobrazovač navrhnout s ohledem na dobrou viditelnost ve dne i v noci. Možný přenos naměřených informací do PC.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

**Termín zadání:** 9.2.2009

**Termín odevzdání:** 3.6.2009

**Vedoucí práce:** Ing. Jiří Háze, Ph.D.

**prof. Ing. Radimír Vrba, CSc.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

## **Abstrakt:**

Práce se zabývá návrhem a výrobou časomíry řízené mikrokontrolérem dle vlastního výběru s možností připojení maximálně tří terčů a bezdrátovým přenosem informací od terčů k hlavnímu displeji.

## **Abstract:**

This work deals with design and construction of microprocessor controlled timetable, with wireless connection between targets and main display.

## **Klíčová slova:**

Elektronická časomíra, bezdrátová komunikace, požární sport

## **Keywords:**

Electronic timetable, wireless communication, fire sport

## Bibliografická citace

NOVOBILSKÝ, P. Systém elektronické časomíry pro PS s bezdrátovým připojením terčů a hlavního zobrazovače. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 40s, 2 přílohy. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Háze, Ph.D.

## Prohlášení autora o původnosti díla:

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 28. 5. 2009

.....

## Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Háze, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

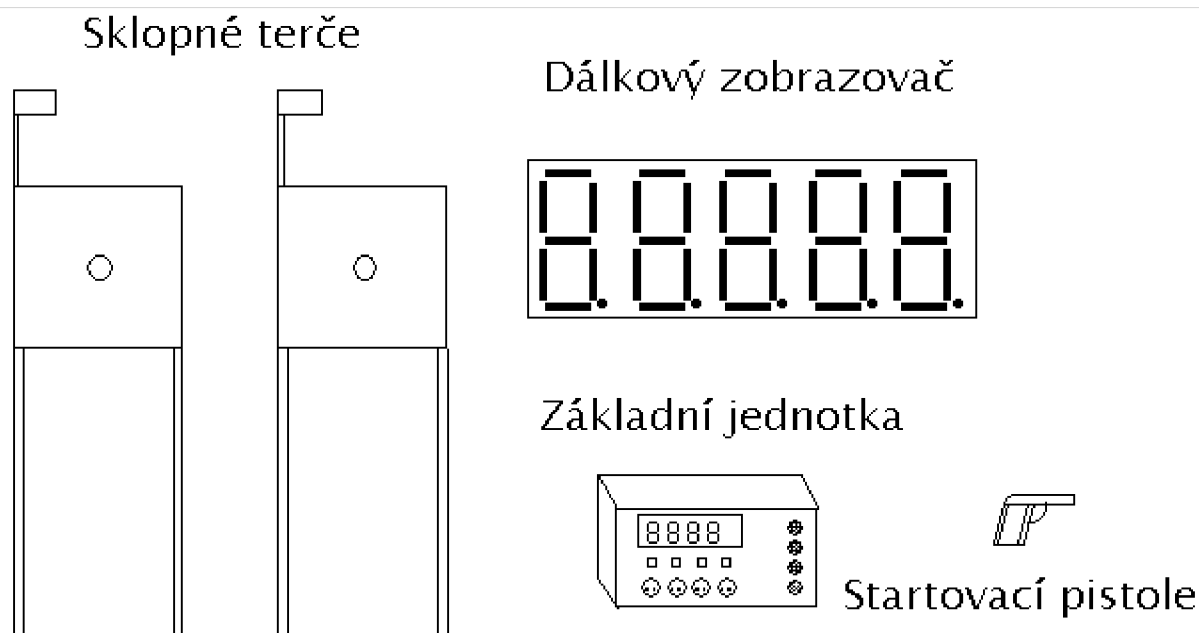
V Brně dne 28. května 2009

## OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>HLAVNÍ JEDNOTKA</b> .....	<b>9</b>
2.1	STÁVAJÍCÍ ŘEŠENÍ.....	9
2.2	VÝBĚR A POPIS POUŽITÝCH KOMPONENT A PRINCIPŮ.....	11
2.2.1	<i>Mikrokontrolér</i> .....	12
2.2.2	<i>Displej</i> .....	13
2.2.3	<i>Signál start</i> .....	13
2.2.4	<i>Ovládací panel</i> .....	14
2.2.5	<i>Modul bezdrátové komunikace s obvodem nRF905</i> .....	14
2.3	REALIZACE HLAVNÍ JEDNOTKY .....	22
2.3.1	<i>Obvodové řešení</i> .....	22
2.3.2	<i>Řídicí program - komunikace</i> .....	24
2.3.3	<i>Řídicí program – celek</i> .....	27
<b>3</b>	<b>TERČE</b> .....	<b>28</b>
3.1	POPIS TERČŮ A POŽADAVKŮ NA KONSTRUKCI .....	29
3.2	ŘEŠENÍ PROBLÉMU JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ TERČŮ .....	30
3.2.1	<i>Mechanická konstrukce a napájení</i> .....	30
3.2.2	<i>Elektronika terčů</i> .....	30
3.2.3	<i>Řídicí program terčů</i> .....	33
<b>4</b>	<b>KOMUNIKACE S PC</b> .....	<b>33</b>
4.1	KOMUNIKAČNÍ MODUL .....	33
4.2	SOFTWARE V PC.....	34
<b>5</b>	<b>DÁLKOVÝ ZOBRAZOVAČ</b> .....	<b>35</b>
5.1	SOUČASNÁ ŘEŠENÍ A POUŽÍVANÉ TECHNOLOGIE .....	35
5.2	REALIZACE DÁLKOVÉHO ZOBRAZOVAČE .....	36
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b> .....	<b>38</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>38</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>39</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>39</b>
<b>11</b>	<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>40</b>

# 1 Úvod

Tato bakalářská práce pojednává o návrhu a realizaci systému elektronické časomíry pro požární sport. Časomíra je v dnešní době nutností při pořádání jakékoliv soutěže v požárním sportu (viz. pravidla [1]). Neustálé zlepšování výkonu jednotlivých družstev a techniky klade stále náročnější požadavky na technické zázemí těchto soutěží a klíčovým prvkem je právě zařízení pro měření času, které musí splňovat přísná kritéria. Je požadována naprostá spolehlivost, jednoduchost ovládání, vysoká přesnost (tisíciny sekundy) a v neposlední řadě také vysoká mechanická odolnost, voděodolnost a schopnost pracovat za extrémních klimatických podmínek. Dalšími požadavky jsou snadná montáž a demontáž příslušenství i pro člověka bez elektrotechnické kvalifikace, snadná čitelnost zobrazovačů jak při denním světle, tak v noci, a alespoň částečná kompatibilita s jinými systémy používanými sbory v okolí pro případ poruchy nebo poškození některé části. Na obr. 1 je pro ilustraci zobrazena základní sestava časomíry.



Obr. 1: Základní komponenty časomíry

Základní sestava současných časomír obsahuje centrální jednotku, která se stará o měření času, zobrazování docílených výsledků na zobrazovači, případně přenos dat do PC, dále pak obsahuje sklopné nebo nástřikové terče, zobrazovač (převážně segmentové LED displeje nebo segmentové displeje) a startovací pistoli. Občas se hlavně u sborů, které pořádají i jiné kategorie požárního sportu než je požární útok, vyskytuje další vybavení, například brány pro měření času na několika tratích při běhu na 100 m s překážkami nebo štafetě. V této práci je

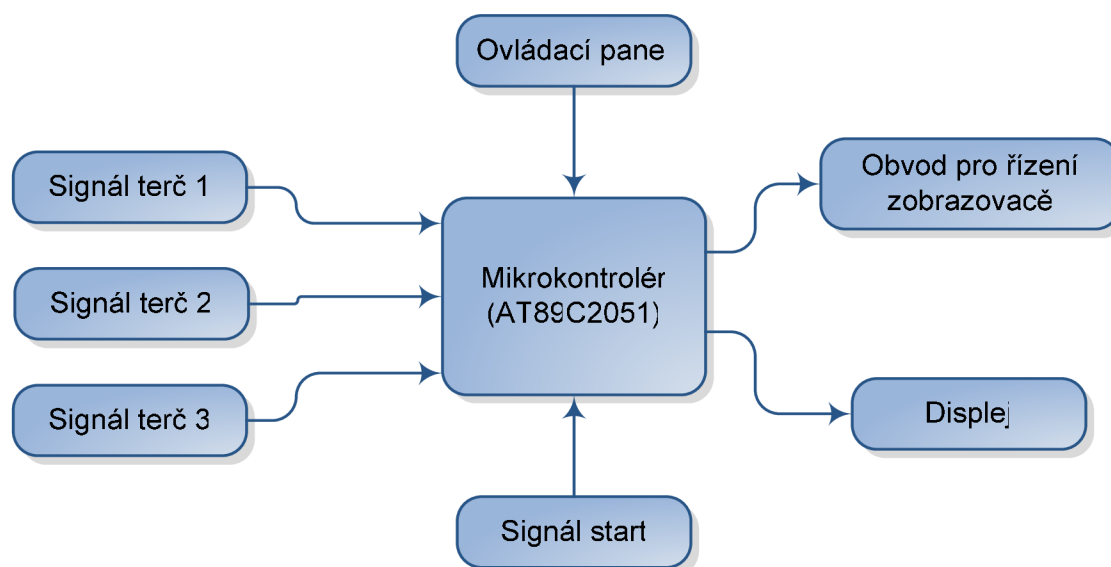
cílem realizovat výše popsaný systém a odstranit nebo potlačit co nejvíce nevýhod a problematických částí systému při zachování rozumné ceny zařízení a jednoduchosti ovládání. V dalších částech bude popsáno řešení, používané v současné době naším sborem nebo sbory v okolí, následované řešením s úpravami.

## 2 Hlavní jednotka

V dobách začátků elektronických časomír byly ty nejjednodušší realizovány pomocí čítačů a klopných obvodů, měly jen omezené možnosti použití nebo byly příliš nákladné a pro větší rozšíření nevhodné. S nástupem levných a uživatelsky přívětivějších mikrokontrolérů se začaly elektronické časomíry rozšiřovat i do nižších úrovní požárního sportu. Pro jednotlivé sbory už nebyl problém si tato zařízení koupit, provozovat a tak zkvalitnit technické zázemí soutěží.

### 2.1 Stávající řešení

Na obr. 2 je zjednodušené blokové schéma centrální jednotky časomíry, na kterém jsou vidět všechny její základní prvky. Signál Terč 1 až 3 slouží k připojení terčů a jejich napájení. Tyto signály se starají o měření času shozu jednotlivých terčů. Pořadí připojení terčů není nijak definováno a jejich minimální počet také není limitován. Na nevyužité vstupy musí být připojen upravený konektor, který zajistí, aby byl daný vstup v sepnutém stavu, jinak by časomíra nereagovala na sepnutí zbylých terčů. To je dáno řídicím programem mikrokontroléru, který zastaví běžící čas, až když jsou všechny vstupy sepnuté. To je jedna z nevýhod současného zapojení.



Obr. 2: Blokové schéma centrální jednotky časomíry

Signál start slouží pro připojení startovací pistole a spuštění časomíry po výstřelu startéra. Tím je eliminováno jakékoliv zpoždění při startu zaviněné lidským faktorem.

Blok displej obsahuje obvody pro zobrazování měřených časů a jiných údajů na displeji časomíry, sloužících pro její obsluhu. V současné době se používají buď displeje sestavené ze sedmisegmentových LED zobrazovačů nebo LCD displeje běžně prodávaných typů, např. 2x16 znaků apod. Hlavním důvodem je dobrá čitelnost a jednoduchost návrhu desky plošných spojů (DPS). Používané segmentové LED displeje se sice vyznačují lepší čitelností na slunci, ale na druhou stranu je návrh DPS složitější z důvodu většího počtu součástek a spojů.

Obvody pro komunikaci s dálkovým zobrazovačem slouží hlavně pro vysílání zobrazovaných dat do zobrazovače, na kterém je mohou sledovat diváci a soutěžící. Tyto obvody mohou být přímo v jednotce časomíry nebo až na samotném zobrazovači; to záleží na požadavcích dané konstrukce.

Ovládací panel obsahuje potřebná tlačítka pro nastavování, nulování a celkové ovládání časomíry. Měly by být jasně popsány a jejich ovládání by nemělo činit potíže ani v zimě, dešti či sněhu.

Nejdůležitější částí celé jednotky je mikrokontrolér, který se stará o generování přesného času, jeho stopování, ukládání do paměti, komunikaci s uživatelem a zobrazování veškerých potřebných údajů. Řídicí program, pro něj napsaný, musí být stabilní a odolný proti neodborným zásahům uživatelů do ovládání, např. aby při jistých nestandardních situacích na tlačítkách (jako jsou nechtěné přehmaty, dvojhmaty apod.) nedošlo k restartu kontroléru, případně chybě v chodu programu. V současné době jsou zastoupeny v časomírách hlavně mikrokontroléry firem Atmel a Mikrochip, a to hlavně řady ATmega nebo PIC, a pak obvody postavené na modifikovaném jádře 8051 firmy Intel, např. AT89C2051. Každý obvod má své výhody a nevýhody a kterýkoliv je schopen plnit funkci řídicího obvodu bez jakýchkoliv omezení na funkčnosti nebo množství funkcí. Volba je tedy závislá hlavně na preferencích konstruktéra.

Napájení celé časomíry je řešeno ze sítě – transformátorem uvnitř jednotky. Je to jednoduché řešení, které minimalizuje možnost poškození časomíry špatným napájením, např. špatným adaptérem nebo přepólováním napájecího napětí atd.

Mechanická provedení bývají různá, v praxi se asi nejvíce osvědčila kovová krabice s těsněním, odolná proti stříkající vodě. Lze také použít vhodnou plastovou krabici s požadovanou mechanickou odolností, kterých je na trhu také dostatek. Výhody jsou zřejmé – v první řadě je to mechanická odolnost, která je nutná při převozech a zacházení se zařízením. Nelze očekávat vždy maximálně opatrné jednání a nelze vyloučit ani nechtěné

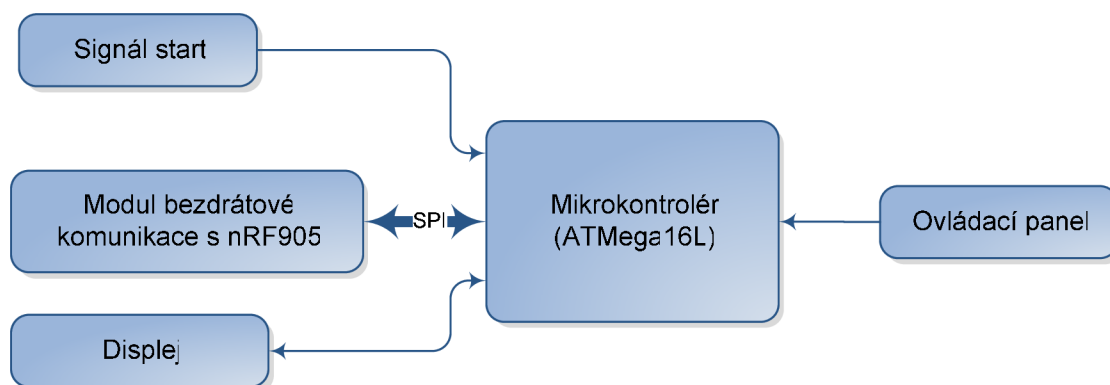


nárazy do zařízení, např. při montáži okolního stanoviště. Voděodolnost je nutná zejména v případě deště či sněžení a pak také v případě nehod, kdy prasklá hadice zalije celé stanoviště časomíry i s obsluhou. Toto jsou sice případy, kterým se dá předcházet vhodně volenou pozicí, ale ta je ve většině případů v rozporu s dalšími požadavky obsluhy. Ta musí mít přehled o dění na trati, proto je většinou časomíra umístěna hned vedle sportovní dráhy i se všemi z toho plynoucími nebezpečími pro zařízení.

Rozsah klimatických podmínek, ve kterých musí zařízení pracovat, je asi od  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Vyplývá to z termínu konání soutěží, které se pořádají i v zimě a není vyloučena možnost mrazu, a naopak v létě, kdy teplota stoupá až k hranici  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , proto je zařízení nutné dimenzovat na tyto podmínky.

## 2.2 Výběr a popis použitých komponent a principů

Návrh centrální jednotky vychází z využívaných konceptů a řešení, která se osvědčila v praxi s jistými inovacemi, které si vynutilo použití bezdrátové technologie. Tyto změny by měly mít pozitivní vliv na komfort obsluhy, jednoduchost montáže a v neposlední řadě také na spolehlivost.



Obr. 3: Blokové schéma hlavní jednotky (bezdrátové řešení)

Na obrázku 3 je znázorněno blokové schéma hlavní části časomíry. Na rozdíl od předchozího řešení je jednodušší. Vyplývá to z použití bezdrátového modulu, který řeší veškeré spojení s terčí i dálkovým zobrazovačem. Tím pádem roste softwarová náročnost celého projektu a klesá náročnost zapojení.

### **2.2.1 Mikrokontrolér**

Použitý obvod musí splňovat následující požadavky:

- musí obsahovat alespoň dva časovače s přerušením,
- pracovní napětí 3,3 V,
- dvě externí přerušení,
- dostatečný počet vývodů,
- dostatek paměti,
- hardwarová implementace sběrnice SPI a sériového portu,
- alespoň jeden 8-bitový AD převodník,
- příznivá cena,
- ISP,
- možnost programování v jazyce C.

Tyto požadavky splňuje většina firem, které se těmito obvody zabývají, a nabízí tedy vhodné řešení pro tuto aplikaci. Jelikož se jedná o relativně jednoduché zařízení, dostačuje použití některého z nabízených 8-bitových kontrolérů. Výběr se pak zúží na firmy Atmel, Microchip a Freescale. Z nabídky Atmel je vhodná řada ATMEGAxx, od firmy Microchip pak PIC18Fxxx, v úvahu by připadaly i některé obvody od Freescale, řada HCxx. Konečná volba padla na firmu Atmel, konkrétně obvod ATMega16L. Tento výběr byl podmíněn hlavně cenou součástky a dobrými zkušenostmi s předchozími projekty. Tento obvod disponuje 16 kB interní FLASH paměti pro řídicí program, řadičem realizujícím komunikaci po sběrnici SPI, RS232, I2C, 1-wire, 10-bitovými AD převodníky, obvody čítačů/časovačů a dalších periférií [2]. Programování je možné pomocí velice jednoduchého programátoru a je možné i v aplikaci tzv. ISP (in system programming). Samotný program je možné psát v jazyce C a tím podstatně ulehčit práci programátora. Výsledný program může být pomalejší než ekvivalent psaný v assembleru, ale v tomto případě to nemá vliv na funkčnost zařízení, protože rychlost není kritický parametr. Některé vybrané parametry jsou pro názornost zobrazeny v tabulce 1.

Tab. 1: Vybrané parametry obvodu ATmega16L

<b>Paměti</b>	16 kB FLASH 512 B EEPROM 1 kB SDRAM
<b>Pouzdro</b>	44 TQFP
<b>Maximální frekvence</b>	8 MHz
<b>Napájecí napětí</b>	2,7-5,5 V
<b>Spotřeba</b>	aktivní -1,1 mA nečinný -0,35 mA úsporný režim < 1 uA
<b>I/O vývody</b>	32
<b>Pracovní teploty</b>	od -55 °C do 125 °C
<b>Proudový odběr z jednoho vývodu</b>	40 mA
<b>Maximální napětí na vývodech</b>	6 V

### 2.2.2 Displej

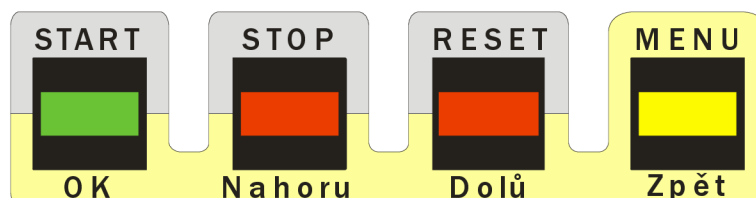
Jako zobrazovací zařízení je použit LCD displej ATM2004D. Tento displej zobrazí čtyři řádky po 20 znacích a disponuje LED podsvícením [3]. LCD je řízeno obvodem Hitachi HD44780U, který komunikuje s kontrolérem pomocí 8-bitové nebo 4-bitové sběrnice. Výhodou je, že obsahuje znakovou sadu uloženou ve vnitřní paměti a zároveň možnost nadefinovat si i vlastní znaky, čehož lze využít např. pro speciální symboly a různé indikátory. V tomto případě bylo zvoleno zapojení 4-bitové, protože ve vývojovém prostředí byla knihovna pro tento způsob komunikace a navíc je potřeba méně vývodů. Jas i pozorovací úhly jsou dostatečné i pro provoz na přímém slunečním světle a velikost je dostatečná pro pohodlnou obsluhu i lidmi s horším zrakem.

### 2.2.3 Signál start

Signál start je řešen pomocí startovací pistole. V pistoli je zabudován mikrospínač, který se při výstřelu sepne. Pro ochranu vstupu kontroléru je signál z pistole oddělen optočlenem, který poskytuje galvanické oddělení obvodu. Na kolektor výstupního tranzistoru je zapojen vstup kontroléru a v klidovém stavu je na něm log. 1. Po sepnutí tranzistoru je v daném bodě jen napětí rovnající se hodnotě saturačního napětí přechodu kolektor-emitor. To v případě použitého optočlenu PC817B činí 0,1 V. Tato hodnota značí log. 0 a vyvolá v mikrokontroléru přerušování spouštějící časovou základnu časoměry, synchronizaci terčů a zobrazování ubíhajícího času na dálkovém zobrazovači.

### 2.2.4 Ovládací panel

Ovládání časomíry je realizováno tlačítky na čelním panelu. Vzhledem k požadavkům na jednoduchost ovládání bylo přistoupeno ke konceptu čtyř tlačítek, které mají zdvojenou funkci. Je to systém používaný v mnoha zařízeních a je relativně jednoduchý na obsluhu. Na obrázku 4 je vizualizace ovládacího panelu.



Obr. 4 Ovládací panel

Každé tlačítko má dvě funkce, které jsou rozlišeny různou barvou popisku. Primární funkce tlačítka jsou tyto:

**Start** – spustí časomíru místo výstřelu, vhodné zejména k testování funkce apod.

**Stop** – zastaví běžící čas, simuluje shození terčů

**Reset** – resetuje čas v časomíře a na hlavním displeji, zároveň vynuluje a zastaví terče

**Menu** – vstup do menu

Po stisknutí tlačítka Menu se na displeji zobrazí menu přístroje. V něm jsou položky pro nastavení samotné hlavní jednotky, přiřazení terčů, nastavení počtů terčů, odesílání dat do PC a zobrazování na hlavním zobrazovači. V režimu menu mají tlačítka funkci:

**Ok** – potvrzení vybrané volby

**Nahoru** – pohyb v menu o položku výše

**Dolů** – pohyb v menu o položku níže

**Zpět** – pohyb v menu o úroveň výše, popř. vystoupí z menu

### 2.2.5 Modul bezdrátové komunikace s obvodem nRF905

Pro bezdrátovou komunikaci je v současné době na trhu více možných řešení, které se ale liší jak principem, tak i cenou a dostupností. Podle legislativy ČR je možné pro provozování zařízení krátkého dosahu bez registrace a poplatků využít pásma uvedená v tabulce 2. Pro tuto aplikaci vyhovují nejvíce pásma 433 MHz, 863–865 MHz, 868–870 MHz a 2,4 GHz. Vybrat pak lze např. z nabídky firmy Aurel, která má široký výběr různých modulů v pásmech 433 MHz a 868 MHz. Další variantou jsou obvody firmy Nordic Semiconductor – řada nRFxxx, a v poslední řadě také různá jednoúčelová zařízení, která ale nejsou příliš vhodná pro

potřeby dané aplikace. Z tohoto výběru pak vyšel jako nejvhodnější obvod nRF905, hlavně díky jednoduchosti a komplexnosti celého řešení – v jediném pouzdře je integrována jak VF část, tak i digitální obvody pro příjem a odesílání dat a jejich korekce. To je obrovský rozdíl právě proti modulům Aurel, které řeší jen VF část zapojení a programátor musí zabezpečit celou komunikaci.

Tab. 2: Frekvenční pásma pro provozování zařízení krátkého dosahu

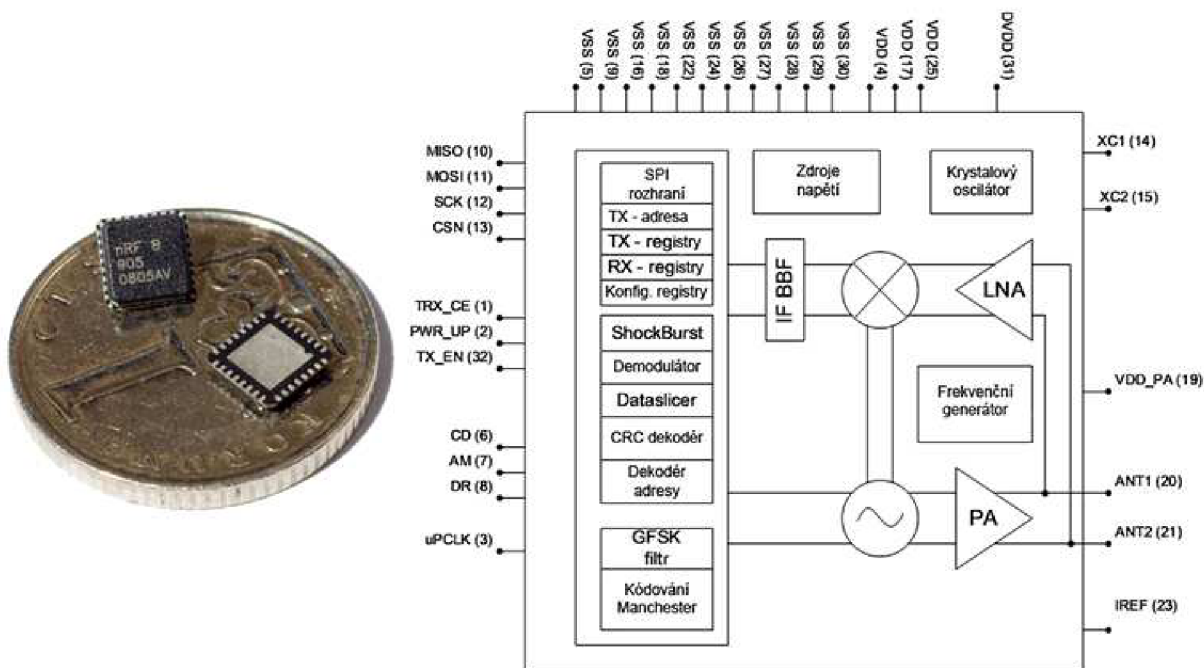
Frekvence	Využití
27 MHz	Provozování je možné podle VO-R/10/03.2007-4.
49 MHz	Provozování není přípustné (zařízení ruší 1. TV kanál).
230-400 MHz	Pásmo je vyhrazeno pro účely obrany státu – žádný civilní provoz není přípustný.
433 MHz	Provozování je možné podle VO-R/10/03.2007-4 (pouze přenos dat; bezdrátová sluchátka nejsou povolena).
863-865 MHz	Provozování akustických aplikací je možné podle VO-R/10/03.2007-4.
868-870 MHz	Provozování je možné podle VO-R/10/03.2007-4.
870-960 MHz	Pásmo provozu mobilních telefonů GSM
2,4 GHz	Provozování (RLAN, RFID, zařízení krátkého dosahu) je možné podle VO-R/12/08.2005-34 nebo VO-R/10/03.2007-4.

Pomocí obvodu nRF905 byly vytvořeny jednoduché moduly, které lze použít v široké míře zařízení a je možné k nim připojit různé druhy mikrokontroléru podle preferencí uživatele. Toto řešení zaručuje vysokou flexibilitu při práci s těmito moduly. Základní elektrické parametry obvodu nRF905 jsou v tabulce 3.

Tab. 3: Základní elektrické parametry

Parametr	Hodnota	Jednotka
Minimální napájecí napětí	1,9	V
Maximální napájecí napětí	3,6	V
Maximální vysílaný výkon	10	dBm
Rychlost přenosu	50	kbps
Spotřeba při vysílání -10dBm	9	mA
Spotřeba při příjmu	12,5	mA
Typická citlivost	-100	dBm
Spotřeba ve vypnutém stavu	2,5	uA

Obvod nRF905 je komplexní řešení multi-frekvenčního bezdrátového modulu určeného pro obousměrnou komunikaci v integrované podobě. Obvod pro svou činnost vyžaduje jen minimum okolních součástek. Tato součástka obsahuje patentovanou technologii přenosu označovanou jako ShockBurst<sup>(TM)</sup>, která snižuje spotřebu obvodu. Princip spočívá v tom, že data jsou nahrána do obvodu přes sběrnici SPI a po naplnění vysílacího registru jsou odeslána rychlostí až 100 kbps, čímž se minimalizuje čas, po který jsou aktivní vysílací obvody. Pro vysílání se používá kódování GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) a Manchester. Mezi další klíčové prvky tohoto obvodu patří možnost práce na různých kanálech, doba přepnutí kanálu za méně než 650  $\mu$ s, absence externího SAW filtru, nastavitelný výstupní výkon až 10 dBm, indikace přítomnosti nosné, nízká spotřeba a mnohé další [5]. Další velice užitečnou funkcí je automatické opakování přenosu, které se stará o bezchybný přenos. Obvod také sám generuje CRC kontrolní součet a hlavičku paketu pro správnost přenosu dat, což značně ulehčuje práci programátora při obsluze tohoto obvodu. Tento obvod je nabízen také ve verzi nRF9E5, ve kterém je na čipu integrovaný celý mikrokontrolér založený na jádře 8051. Tím se získá kompletní MCU s bezdrátovým zařízením na jediném čipu s minimem okolních součástek. Pro potřeby tohoto zařízení byl použit obvod bezdrátového modulu a ten byl připojen k vybranému mikrokontroléru. Tento obvod má ale jednu nevýhodu, která jeho použití v amatérské sféře omezuje, a tou je pouzdro QFN32. Toto pouzdro se v domácích podmínkách špatně osazuje kvůli své velikosti; pro výrobce je toto pouzdro výhodné hlavně díky nízkým nákladům. Orientační srovnání velikosti pouzdra QFN32 a blokové schéma obvodu je na obrázku 5.



Obr. 5: Blokové schéma nRF905 s potřebnými součástkami

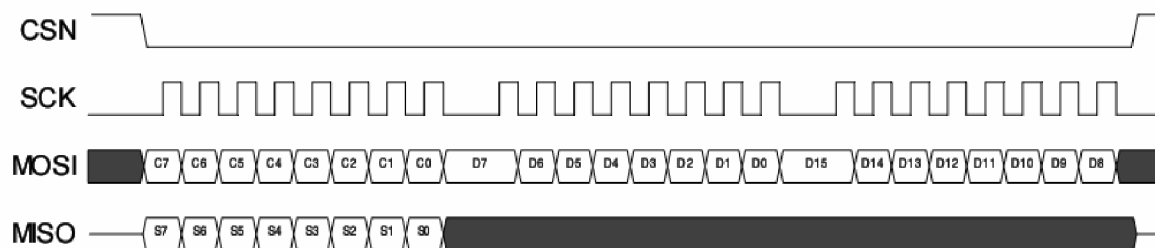
Z obrázku 5 je patrné, co všechno v sobě obvod obsahuje a jakými vstupy a výstupy disponuje. Následující vstupy a výstupy budou popsány blíže, protože jsou použity v konstrukci a je potřeba se blíže seznámit s jejich funkcí pro pochopení popisu celé konstrukce.

**MOSI, MISO, SCK a CSN** – vývody pro připojení SPI (Serial Peripheral Interface); pomocí této sběrnice se celý obvod řídí a konfiguruje.

Sběrnice SPI je typu master-slave a na nadřazený obvod může být připojeno více podřízených zařízení. Jejich výběr zajišťuje signál CSN, který je aktivní v log. 0. Ve stavu log. 1 jsou všechny vývody ve stavu vysoké impedance a tím od sběrnice odpojeny.



Obr. 6: SPI komunikace – čtení



Obr. 7: SPI komunikace – zápis

Sběrnici SPI si lze představit jako dva propojené posuvné registry, které si vyměňují svůj obsah v závislosti na hodinovém signálu.

Komunikace začne přechodem signálu CSN do log. 0. Nadřazený obvod generuje hodinový signál SCK, který je připojen na hodinový vstup podřízeného obvodu, a probíhá výměna dat. Ke komunikaci s obvodem nRF905 je potřeba nejprve poslat instrukci, která určuje činnost obvodu, posléze posílat libovolná data. Seznam instrukcí je v tabulce 4. Při posílání dat do obvodu se nejprve vyšle instrukce zápisu a pak data určená pro zápis (přitom samozřejmě zároveň přicházejí data, konkrétně stavový registr obvodu nRF905). Na programátorovi pak záleží, jestli bude data ze stavového registru využívat. Při čtení se vyšle instrukce pro čtení a následně se musí poslat tolik bytů, kolik potřebujeme přečíst. Obvod totiž pracuje na principu výměny obsahu registru. Schéma zápisu je na obrázku 7. Obvod nRF905 komunikuje po sběrnici SPI v režimu 0 maximální rychlostí 1 kbps a před začátkem komunikace musí být v některém z úsporných režimů, jinak je sběrnice neaktivní.

Tab. 4: Instrukční sada nRF905

Jméno instrukce	Formát instrukce	Popis
W_CONFIG(WC)	0000 AAAA	zápis do konfiguračního registru, AAAA určuje, do kterého z devíti registrů se bude zapisovat
R_CONFIG(RC)	0001 AAAA	čtení z konfiguračního registru, AAAA určuje, od kterého z devíti registrů se bude číst
W_TX_PAYLOAD(WTP)	0010 0000	zápis dat pro vyslání 1-32 bytů
R_TX_PAYLOAD(RTP)	0010 0001	čtení dat pro vyslání 1-32 bytů
W_TX_ADDRESS(WTA)	0010 0010	zápis adresy cílového obvodu 1-4 byty
R_TX_ADDRESS(RTA)	0010 0011	čtení adresy cílového obvodu 1-4 byty
R_RX_PAYLOAD(RRP)	0010 0100	čtení příchozích dat 1-32 bytů

**TRX\_CE** – povolení vysílání nebo příjmu, aktivní v log. 1



**TX\_EX** – vysílání, po naplnění vysílacího registru odešle data, aktivní v log. 1

**PWR\_UP** – přepíná napájecí režim obvodu, v log. 1 je aktivní, při log. 0 je v úsporném režimu

Kombinací těchto signálů se obvod konfiguruje pro příjem, vysílání, programování a přechod do úsporných režimů - tabulka 5.

Tab. 5: Operační režimy nRF905

PWR_UP	TRX_CE	TX_EN	režim
0	X	X	vypnuto, umožněno programování po SPI
1	0	X	pohotovostní režim, umožněno programování po SPI
1	X	0	čtení příchozích dat z registru
1	1	0	v část aktivní příjem
1	1	1	v část aktivní vysílání

\* X – na stavu nezáleží

**CD (carrier detect)** – detekce nosné; nastaví se do log. 1 v případě, že v dosahu přijímače je zařízení, které vysílá na stejném kanále. Tento ukazatel je vhodný pro předcházení konfliktu při komunikaci, je možno lehce zjistit, jestli je na daném kanále radioprovoz.

**AM (address match)** – adresa souhlasí; nastaví se do log. 1 v případě, že přijatá data obsahují platnou adresu, která je nastavena při inicializaci obvodu. Pomocí tohoto lze řešit komunikaci více obvodů na jednom kanále.

**DR (data ready)** – nastaví se do log. 1 v případě, že přijatá data mají platnou adresu a CRC součet souhlasí (tzn. data jsou v pořádku). Toto platí pro režim příjmu. V režimu vysílání je signál nastaven do log. 1 po odeslání všech dat v odchozím registru. Toto lze použít pro přenos dat z obvodu do mikrokontroléru, kdy po nastavení DR do log.1 spustí funkci pro příjem dat.

**uP\_CLOCK** – výstup z vnitřního oscilátoru. Vhodné při připojení mikrokontroléru, není třeba používat další krystal, obvod nRF905 obsahuje i děličku a proto není problém změnit výstupní frekvenci.

Ostatní vývody zabezpečují připojení napájecího napětí, uzemnění, připojení antény apod. Jejich význam lze nalézt v katalogovém listu výrobce na jeho stránkách [4].

### Typický algoritmus pro vyslání dat

- mikrokontrolér pošle data a adresu po sběrnici SPI do nRF905,
- mikrokontrolér nastaví signály TRX\_CE a TX\_EN do log.1,
- bezdrátový modul aktivuje režim ShockBurst<sup>(TM)</sup>,
- přidá se hlavička a CRC součet, zkompletuje se datový paket,
- paket je vyslán rychlostí 50 kbps,
- po úspěšném vyslání dat se nastaví DR do log. 1,
- pokud je při konfiguraci nastaveno automatické opakování vysílání (AUTORETRAN pokračuje vysílání, dokud je TX\_EN v log. 1),
- pokud je AUTORETRAN v log. 0 obvod přejde do úsporného režimu.

### Typický algoritmus pro příjem dat

- příjem se aktivuje nastavením TRX\_CE do log. 1 a TX\_EN do log. 0,
- za 650  $\mu$ s obvod začne monitorovat okolní komunikaci,
- pokud detekuje vysílání na nastaveném kanále, nastaví CD do log. 1,
- pokud přijme platnou adresu, nastaví AM do log. 1,
- když přijme data, odstraní hlavičku a zkontroluje CRC součet; pokud jsou data platná, nastaví DR do log. 1,
- mikrokontrolér nastaví TRX\_CE do log. 0, čímž sníží spotřebu,
- mikrokontrolér vyčte po sběrnici SPI data,
- po vyčtení všech dat se indikátory AM a DR nastaví zpět do log. 0,
- obvod je připraven pro další použití.

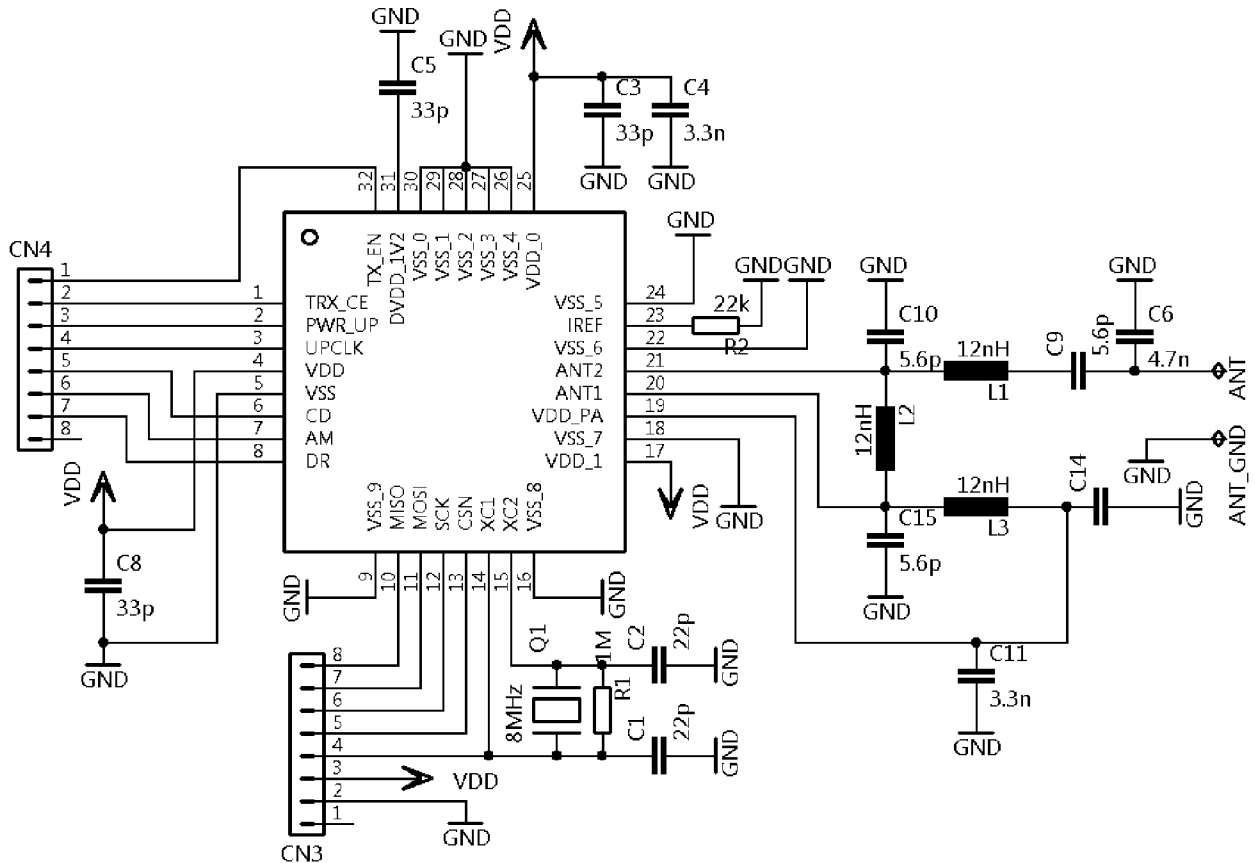
Bezdrátový komunikační modul je realizován podle katalogového zapojení s mírnými úpravami, schéma je na obrázku 8.

Na samotném zapojení jsou patrné jednotlivé části konstrukce. Obvod obsahuje vlastní oscilátor, který se řídí krystalem připojeným k vývodům 14 a 15. Asi nejsložitější součástí je impedanční přizpůsobení antény realizované třemi tlumivkami 12 nH a kondenzátory. Jako anténa slouží drát o délce  $\lambda/4$ , což pro frekvenci 868 MHz znamená cca 8,5 cm viz. (1)

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300 * 10^9}{866 * 10^6} \cong 34cm$$

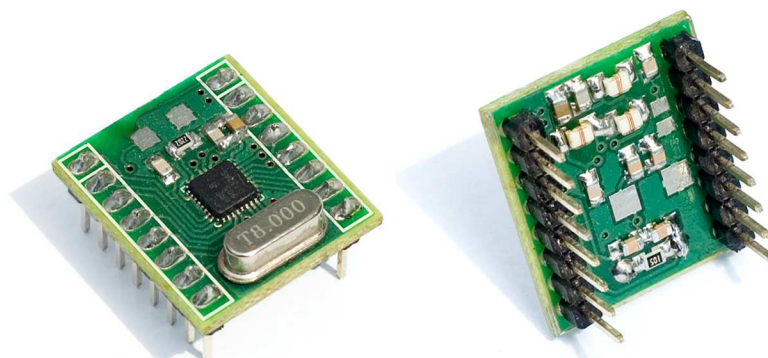
$$\frac{\lambda}{4} = \frac{34}{4} = 8,5cm$$
(1)

Zbytek schématu jsou filtrační a blokovací kondenzátory na napájení, popř. další součástky zabezpečující činnost obvodu.



Obr. 8: Zapojení bezdrátového modulu s nRF905

Návrh desky plošných spojů proběhl v programu Eagle, kde je pouzdro QFN32 již obsaženo v knihovně, a je realizován na oboustranné desce plošných spojů o rozměrech 19x22 mm, obrázek 9. Rozteč vývodů má rozměr 2,54 mm a odpovídá standardnímu pouzdru DIL, proto jej lze s výhodou osadit do patice a není třeba jej pájet, což značně rozšiřuje možnosti použití při vývoji aplikací. Protože se jedná o pouzdro QFN32, jehož rozměry jsou 5x5 mm a šířka nepájivé masky mezi vývody je pouze 0,17 mm, deska patří do konstrukční třídy 6 a výroba desky doma je téměř nerealizovatelná. Proto byla realizace desky zadána externí firmě.



Obr. 9: Moduly s obvody nRF905

Deska je vyrobena z materiálu FR4 a obsahuje nepájivou masku, servisní potisk a povrchovou úpravu pájecích plošek žárovým cínováním HAL, což zlepšuje pájitelnost a zároveň zaručuje ochranu mědi před oxidací.

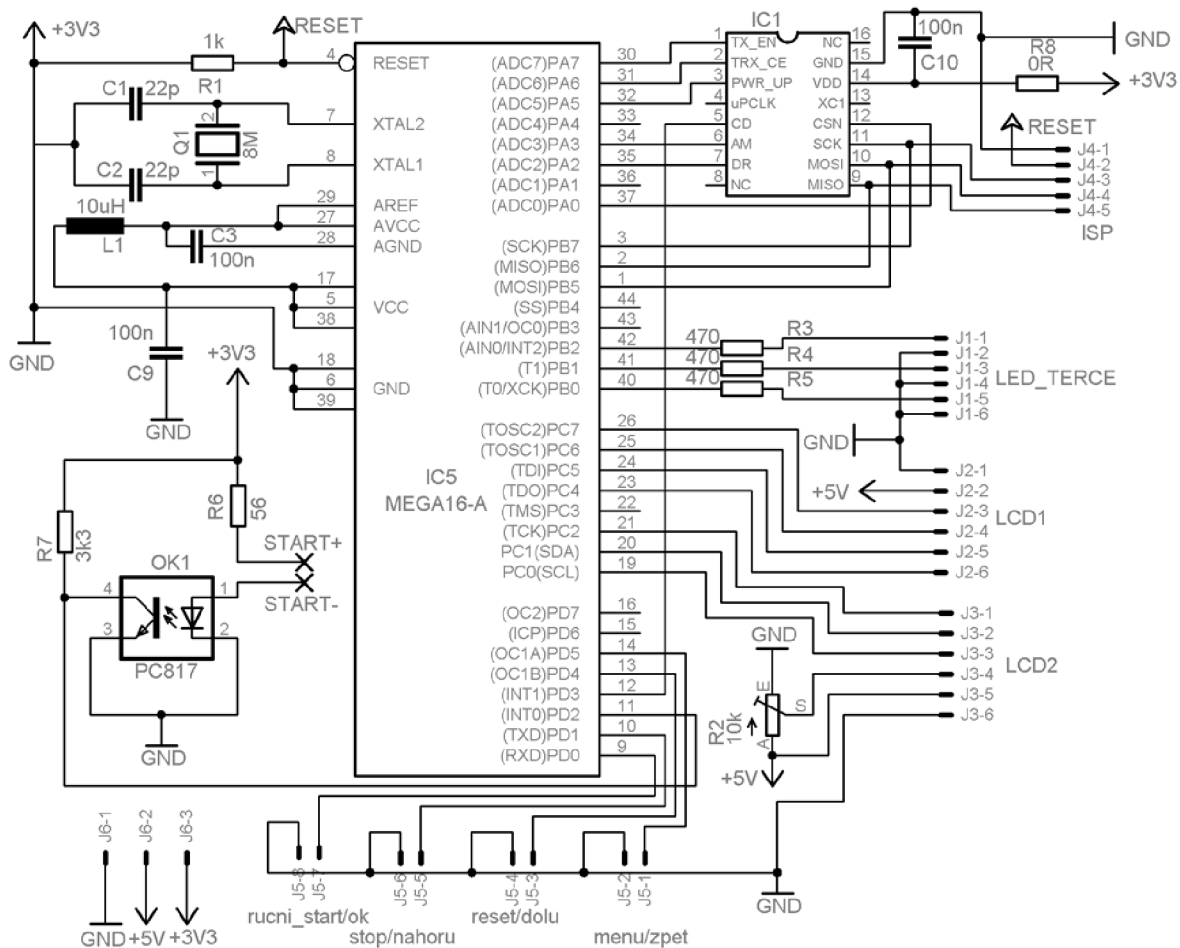
### **2.3 Realizace hlavní jednotky**

Z výše popsaného je patrné, jak bude celá centrální jednotka koncipována a navržena. Vlastní návrh se pak sestává z obvodové realizace a řídicího programu.

#### **2.3.1 Obvodové řešení**

Celé zapojení je realizováno na dvou DPS. Na jedné se nachází vlastní časomíra, na druhé pak napájecí část. Je to hlavně z důvodu oddělení síťového napětí, které je přivedeno jen na desku napájecí části, a tím i menšího rušení digitálních signálů na druhé desce.

Na obrázku 9 je zapojení hlavní jednotky. Zapojení je velice jednoduché, bez záludností nebo složitých celků. Jedná se jen o propojení jednotlivých komponent. Konstrukce je na jednostranné DPS a použité součástky jsou smíšené - jak pro povrchovou montáž, tak vývodové. Většina komponent je vyvedena na konektory pro snadnější montáž celku do krabičky a případnou výměnu vadné součásti.



Obr. 9: Schéma hlavní jednotky časoměry

Další částí jsou napájecí obvody. Zapojení je na obrázku 10. Protože jsou napájecí požadavky celého zařízení malé, cca 300 mA ve špičce, nemusí být napájecí obvody dimenzovány robustně a výsledná deska je poměrně malá. Hlavní část tvoří transformátor, který jsem volil vestavný do DPS z důvodu jednoduchosti montáže. Jeho výkon je 4,5 VA, což dostičuje a poskytuje i rezervu pro případné vyšší zatížení. Hlavní jednotka potřebuje ke své činnosti napětí 3,3 V a 5 V. Tyto napájecí větve jsou řešeny lineárními stabilizátory potřebné hodnoty. Vzhledem k malým výkonovým ztrátám není nutné použít přídavné chlazení nebo celý obvod řešit spínanými regulátory.

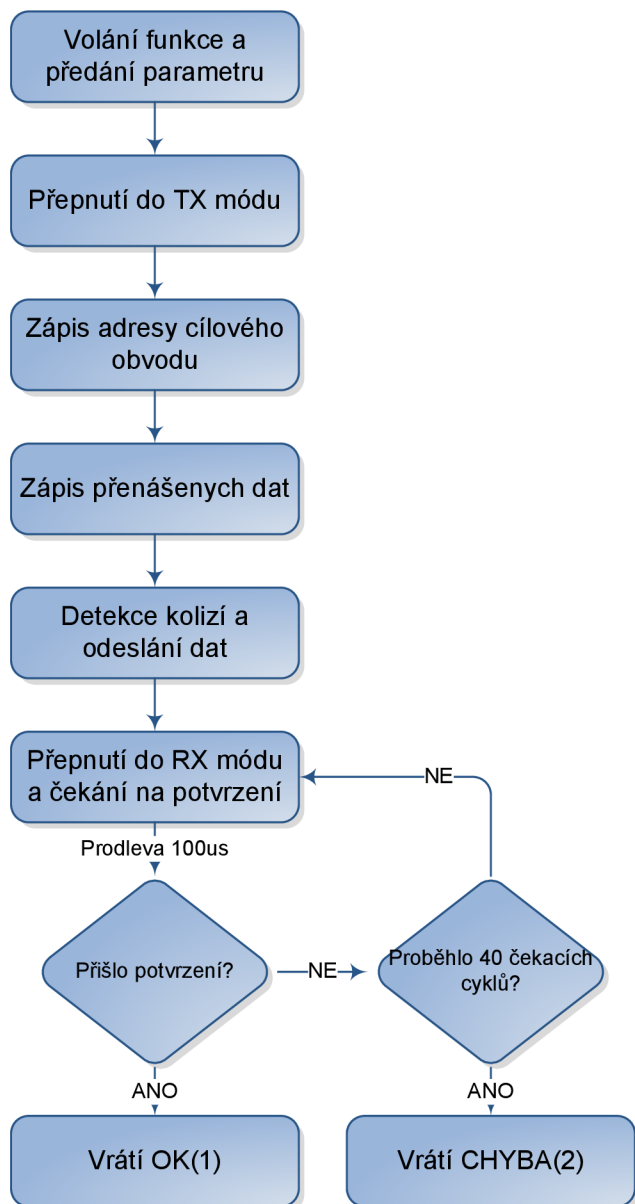


Většina funkcí je jednoduché přepínání režimů pomocí vývodu TX\_EN, TRX\_EX a PWR\_UP , blíže popsány jsou funkce pro vlastní přenos dat.

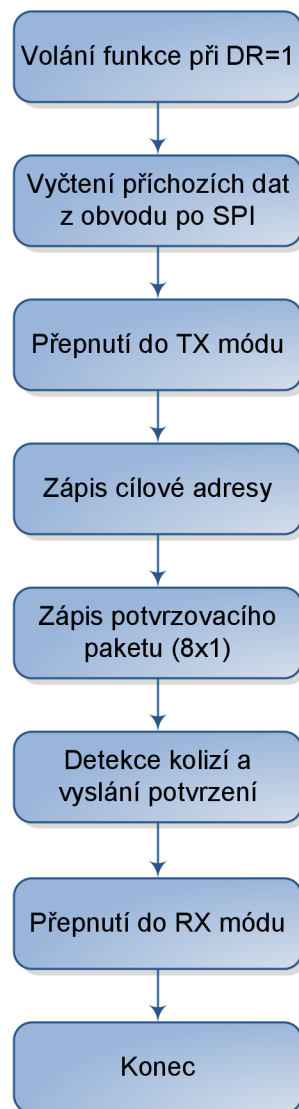
**Vyslání dat** - po zavolání funkce SendData se obvod nakonfiguruje do režimu vysílač a odešle bezdrátově 8 bytů (nebo jiný počet v závislosti na konfiguraci). Poté se obvod přepne do režimu příjmu a vyčkává na příchod potvrzení příjmu dat. Ten je realizován opět 8 byty z důvodu vyšší rychlosti, kdy odeslání a příjem 8 bytů je rychlejší než překonfigurování celého obvodu na příjem jednoho bytu. Celé to souvisí s tím, že obvod nastavuje signál DR až tehdy, když přijdou všechny data, na které je nastaven. V případě, že potvrzení nepřijde do 4 ms (dostatečná doba ověřená experimenty), vrátí funkce chybovou hodnotu a programátor se může rozhodnout, co dále – jestli vysílání opakovat, vypsat chybu apod. V případě, že by nebyla nastavena žádná prodleva, muselo by potvrzení přijít v přesně definovaný okamžik, což je jen těžko realizovatelné. Naopak v případě čekání na potvrzení bez omezení doby by při výpadku druhé strany došlo k zaseknutí celého zařízení. Po skončení funkce je obvod nastaven opět jako přijímač a čeká na další pokyny

**Příjem dat** - po nastavení signálu DR do log. 1 je volána funkce ReciveData. V této funkci jsou po SPI vyčtena všechna příchozí data a následuje vyslání potvrzovacího paketu, což je 8 bytů, každý o hodnotě 1 (to je možné libovolně měnit, ale nemá to větší význam). Poté obvod přechází do režimu příjmu a čeká na další data. V každé funkci, která něco vysílá nebo i přijímá, je třeba po skončení nastavit obvod jako přijímač, jinak mu pak nelze již nic poslat. Princip komunikace je znázorněn na obr. 10.

### Algoritmus pro vyslání dat



### Algoritmus pro příjem dat



Obr. 10: Algoritmy pro odeslání a příjem dat

Odesílaná data musí mít určitou strukturu, aby se dalo definovat, co se má při příjmu těchto dat vykonat. Hlavní jednotka odesílá data do terčů tak, že prvních 7 bytů jsou libovolná data a poslední osmý byte určuje adresu, odkud byla data odeslána. To je nutné, aby přijímací strana věděla, na jakou adresu má odesílat potvrzení o přijetí.



### 2.3.3 Řídící program – celek

Celý program je rozdělen do jednotlivých funkcí, které se starají o potřebné činnosti. Jedná se o tyto funkce:

**Zobraz()** – stará se o zobrazení všech informací na displeji na displeji

**Zobraz\_cas(unsigned int min\_loc, unsigned int sek\_loc, unsigned int ms\_loc, unsigned int x, unsigned int y)** – zobrazuje jednotlivé časy na vybrané pozici displeje

**Zpracuj\_cas(int terc\_id)** – skládá z příchozích dat jednotlivé časy

**Kontrola\_terce()** – periodicky kontroluje, zda je terč online

**Reset\_tercu()** – resetuje terče a časomíru

**Smaz\_prichozi\_data()** – promazává zásobník s příchozími daty

**Posli\_pc()** – odesílá data do pc

Další úkony jsou pak realizovány v obsluze jednotlivých přerušení – jsou to stopky, které měří vlastní čas, spuštění terčů po výstřelu a kontrola stavu terčů.

Celý proces měření začíná v okamžiku výstřelu ze startovací pistole, kdy se integrovaným mikrospínačem vyvolá přerušení, ve kterém se generuje startovací sekvence pro terče. Tato sekvence je realizována dvěma různě širokými pulsy nosné, na kterou reagují terče. V terčích je po detekci nosné vyvoláno přerušení, ve kterém se kontroluje tvar pulsu. Jestliže je vyhodnocen jako správný, je spuštěn časovač a čas běží, v případě běžné komunikace impuls není vyhodnocen jako startovací a proběhne příjem dat. Zároveň je spuštěn i čas na hlavní jednotce pro obsluhu. Vzhledem k přesnému tvaru a době trvání impulsu není problém přesně odečíst od výsledného času dobu komunikace a tím zabezpečit přesné měření. V případě, že by se start prováděl vysláním datového slova, muselo by se vysílat zvlášť pro každý terč a byl by problém zabezpečit správnou synchronizaci terčů. Protože terče pracují na stejném kanále, impuls nosné zachytí všechny ve stejný okamžik a je zajištěna přesná synchronizace. Po shoení terče se zastaví jeho čas a odešle se hlavní jednotce, která ho zobrazí. Podle nastaveného počtu terčů se čeká na ostatní časy. Po příjmu posledního se zobrazí výsledný čas a odešlou se data do PC, pokud tato možnost byla nastavena. Poté je možné zvednout klapky terčů a připravit je tak pro další soutěžní pokus. Je třeba také natáhnout kohoutek startovací pistole, aby se rozepnul integrovaný spínač. Po stisku tlačítka reset se vynulují terče i hlavní jednotka a časomíra je připravena měřit další čas. V případě vypnutí nebo výpadku hlavní jednotky je možné požádat terče o poslední měřený čas. Hlavní jednotka také každých 5 s kontroluje přítomnost terčů a to vysláním datového slova, na které terče odešlou odpověď.

Zároveň terče odesílají každou změnu polohy klapky, aby hlavní jednotka mohla informovat obsluhu, v jakém stavu se nacházejí.

Data, která do hlavní jednotky přicházejí, mají přesně definované pořadí a hodnoty a na základě toho je vytvořena instrukční sada, na kterou hlavní jednotka reaguje. Struktura datového slova je následující:

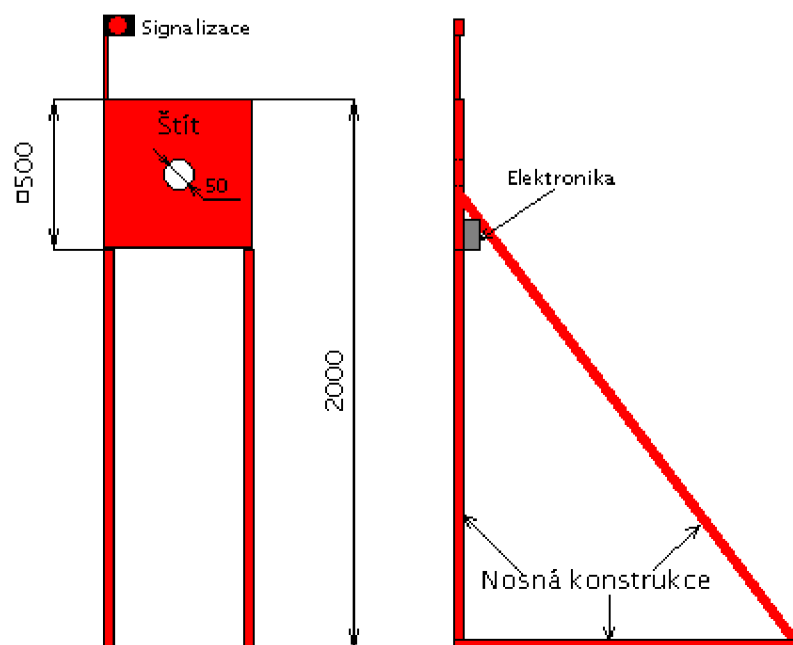
- První byte je identifikace terče. Čísla od 1 do  $n$ , kde  $n$  je počet terčů.
- Druhý byte je instrukce a značí, co znamenají následující data; celá instrukční sada je v tabulce 6.
- Třetí až sedmý byte jsou data.
- Osmý byte je adresa, odkud data přišla.

Tab. 6: Instrukční sada hlavní jednotky

hexadecimální hodnota	desítková hodnota	význam instrukce
0x64	100	změřený čas
0x6E	110	minulý čas
0x78	120	odpověď na kontrolu terče
0x82	130	napětí baterie
0x8C	140	kritický stav baterie
0x96	150	poloha terče

### 3 Terče

Další součástí celého systému pro měření času jsou terče. Na obr. 11 je náčrt sklopného terče používaného při požárním útoku. Jedná se o nejpoužívanější typ obsahující sklopnou klapku za štítem. Další, občas používaný typ, je nástřikový, ve kterém je za štítem umístěna nádoba, v níž se měří hladina vody a po dosažení limitu je vyslán signál.



Obr. 11: Nákres konstrukce terče

### 3.1 Popis terčů a požadavků na konstrukci

V otvoru uprostřed štítu se nachází kovová klapka, po jejímž sklopení se odešle naměřený čas. Klapka je přidržována na místě magnetem a jedna její část přiléhá na elektroniku terče v místě, kde se nachází indukční snímač. Po zásahu vodou se klapka sklopí a na výstupu indukčního snímače dojde ke změně stavu, který následně zpracuje elektronika terče. Tím je zaznamenán čas shoení terče a rozsvítí se signální žárovka, která soutěžícího upozorní na zásah.

Provedení terčů musí být mechanicky velice odolné, protože voda dopadající na terče má velkou sílu a přeprava terčů na místo soutěže, popř. uskladnění, klade na mechanickou odolnost vysoké požadavky. Z předešlého plynou i jisté požadavky na samotnou elektroniku terče. Ta musí být zapouzdřena ve vodotěsném obalu, který je zároveň dostatečně mechanicky odolný. Z tohoto důvodu je použití indukčního snímače jedno z velice dobrých a možných řešení. Použití optických čidel by pravděpodobně vedlo k selhání celého systému z důvodu velkého množství vody a vodní mlhy v prostoru terče. Mechanické spojení klapky se spínačem by snižovalo voděodolnost nebo zvyšovalo náročnost na provedení. Další problematickou částí terče je signalizace. V současnosti je řešena žárovkou v krytu nebo např. mlhovkou z auta. Výhodou tohoto řešení je jeho jednoduchost na výrobu, resp. zakoupení. Nevýhodou pak hlavně nízká účinnost žárovky jako zdroje světla a velká setrvačnost při rozsvícení. Pro dobrou viditelnost tohoto druhu signalizace je potřeba velké množství energie

(běžně jsou používány žárovky 12 V/21 W), která se terčům dodává ze základní jednotky časoměry kabely. Délka kabeláže v současných řešeních se pohybuje okolo 100 m a ztráty v kabelu dosahují vysokých hodnot.

Elektronika uvnitř terče musí být velice spolehlivá a odolná proti mechanickému namáhání, hlavně otřesům a rázům při soutěžích a přepravě, a také jednoduše zaměnitelná v případě poruchy. Proto bývá většinou řešena jako modul, který se zamění za záložní. Samozřejmě je požadovaná co nejkratší doba na výměnu vadné komponenty z důvodu zachování plynulosti soutěže.

### **3.2 Řešení problému jednotlivých částí terčů**

V minulé kapitole byl popsán princip činnosti terčů a specifikovány základní požadavky na jejich konstrukci. Dále pak byly nastíněny jejich provozní podmínky a možné problémy. V následujícím textu jsou řešeny stěžejní části konstrukce.

#### **3.2.1 Mechanická konstrukce a napájení**

Konstrukční řešení vychází z předchozího, které se ukázalo jako spolehlivé a plně dostačující. Pouze signalizace není řešena pomocí žárovky, ale výkonových LED diod hlavně pro jejich nižší spotřebu a vysokou účinnost.

Napájení terčů je možné dvěma způsoby. Pro každý terč použít malý bezúdržbový olověný 12 V akumulátor nebo pro všechny terče jeden akumulátor s vyšší kapacitou, pravděpodobně autobaterie. Každé řešení má své výhody a nevýhody. První možnost značně zvyšuje mobilitu terče, což je v základní koncepci celé konstrukce, ale zároveň zvyšuje požadavky na počet akumulátorů a jejich údržbu. Druhá varianta je pohodlnější na údržbu, ale značně utrpí mobilita řešení, protože k terči vedou kabely, i když na menší vzdálenost. Ve výsledku je napájení řešeno na napětí 12 V a volba použitého akumulátoru je ponechána na konkrétní situaci. Je tedy možné použít pro každý terč vlastní baterii nebo zvolit delší kabely a připojit jednu autobaterii. V prvním případě je potřeba dát pozor na dostatečnou kapacitu akumulátoru vzhledem k délce soutěže. Spotřeba terče je přibližně 200 mA, při shození terče a rozsvícené signalizaci vzroste na 600 mA.

#### **3.2.2 Elektronika terčů**

Hlavní částí elektroniky je mikrokontrolér ATMega8L. Jedná se o stejnou řadu jako výše zmíněná ATMega16L, jen má menší počet vývodů a menší paměť; porovnání obou obvodů je v tabulce 7, [5].

Tab. 7: Porovnání ATmega16L a ATmega8L

	ATmega16L	ATmega8L
pouzdro	TQFP44	TQFP32
paměť	16kB FLASH	8kB FLASH
JTAG	x	-
externí přerušení	3	2
I/O vývody	32	23

Komunikaci zajišťuje obvod nRF905 v modulu popsaném výše. O snímání pozice klapky se stará indukční snímač z produkce české firmy Kotlín. Jde o typ KS95 C4530-NPN, který splňuje požadavky na napájení z autobaterie a současně má dostatečně velkou spínací vzdálenost. Vzhledem k tomu, že snímač je zabudován uvnitř krabice, je potřeba, aby stěna krabice nebránila správné funkci. Některé vybrané parametry jsou uvedeny v tabulce 8. Další parametry lze nalézt v katalogovém listu výrobce [6].

Tab. 8: Parametry snímače KS95 C4530-NPN

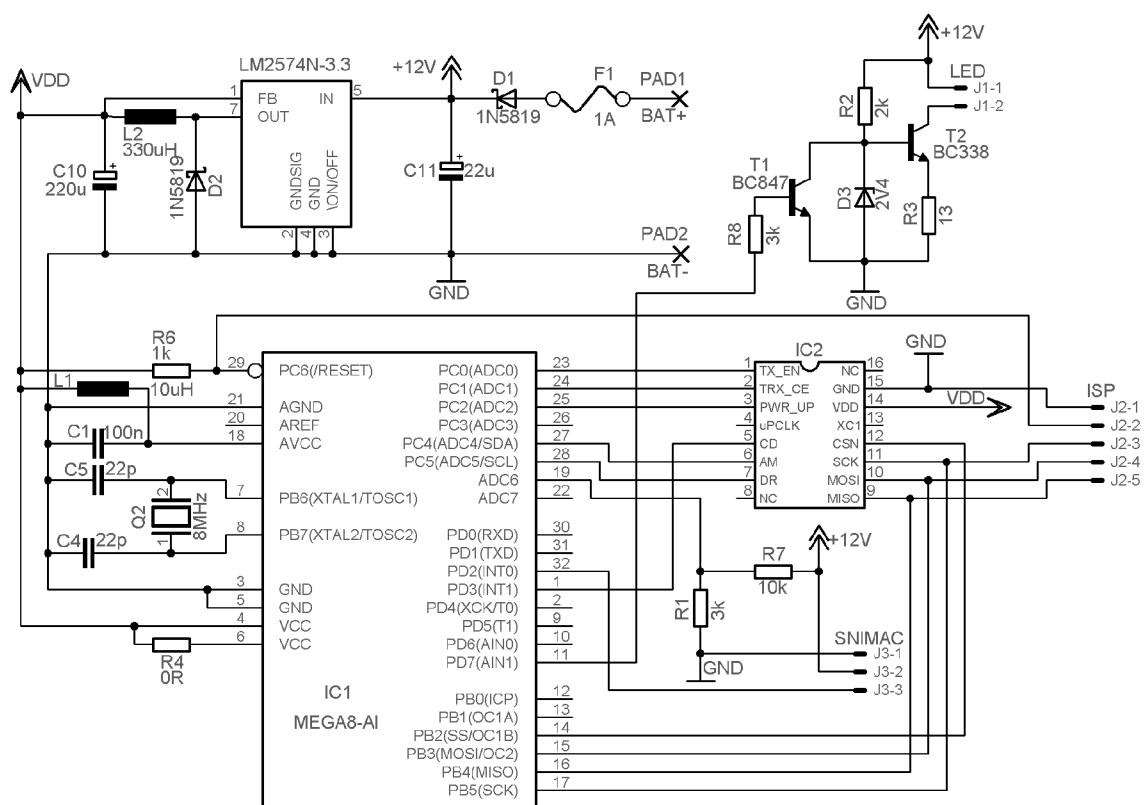
	Hodnota	Jednotka
Napájení	10-30	V
Rozměry	15x30x45	mm
Spínací vzdálenost	5	mm
Jmen. pracovní proud	200	mA
Proud naprázdno	<1	mA
Opakovatelnost	8	%
Krytí	IP67	---
Provozní teplota	-25...+85	°C

Na obrázku 12 je schéma zapojení terče. První část tvoří napájení, které je realizováno obvodem LM2574N3.3, což je spínaný stabilizátor s pevným výstupním napětím. K použití tohoto obvodu bylo nutno přikročit z důvodu velké výkonové ztráty na lineárním stabilizátoru. Ten by sice šel chladit pomocí přídavného chladiče, ale vzhledem k tomu, že se jedná o vodotěsně uzavřené plastové pouzdro, by došlo k ohřevu vzduchu v krabici a později k přehřátí součástky. Prostup tepla skrze plastovou krabici by k uchazení nestačil, případně by teplota uvnitř dosahovala vysokých hodnot a snižovala životnost součástek.

Další část tvoří jednoduchý stabilizátor proudu realizovaný zenerovou diodou a tranzistorem, který se stará o stabilizaci proudu pro diodové signální světlo. Spínání je řešeno

pomocí tranzistoru, který přemostí po sepnutí zenerovu diodu a tím uzavře tranzistor T2. Místo použití klasických autoLED diod a panelu z nich sestaveného, který ovšem nedostačoval, co se týče jasů na přímém slunci, jsem použil diodu LED POWER WHITE 3W 200LM/120°. Jedná se o výkonovou 3 W diodu, resp. pole diod na jednom čipu, čímž je dosaženo vysokého světelného toku a účinnosti. Tato dioda by se měla vyrovnat nebo dokonce předstihnout svítivostí dosud požívanou žárovku 12 V/21 W. Vnitřní struktura LED je sériově-paralelní kombinace diod, se třemi diodami v sérii. Tím je dáno i pracovní napětí 9,2 V. Maximální proud je pak 400 mA [7].

Poslední část tvoří zapojení mikrokontroléru a bezdrátového modulu, které je shodné jako v případě hlavní jednotky. Jediným rozdílem je zapojený A/D převodník a před ním připojený dělič napětí, který se stará a kontrolu napětí akumulátoru – v případě nízkého napětí terč vyše upozornění.



Obr. 12: Schéma terče

### 3.2.3 Řídicí program terčů

Řízení terčů má na starosti ATmega8L. Software, je stejně jako v hlavní jednotce psán pomocí jazyku C. Kód je dělen do funkcí, které se starají o chod terčů. Funkce terčů je popsána výše a následuje popis jistých specifik, které nebyly rozebrány. Signál o stavu terče je snímán indukčním snímačem, na jehož výstupu je buď logická 1, když je klapka nahoře, nebo logická 0, když je dole. Tuto informaci zpracovává kontrolér a podle polohy spíná signalizační světlo a zároveň odesílá hlavní jednotce informaci o tom, jestli je terč sklopený či nikoliv. Datové slovo, které se odesílá, musí mít na první pozici číslo terče, aby se dalo určit, o který terč se jedná. Poslední byte tohoto slova je opět vlastní adresa terče – vyplývá to z funkce pro příjem dat, která posílá potvrzení o příjmu. V tabulce 9 je uvedena instrukční sada terče. Pomocí té hlavní jednotka řídí terč a dostává informace, které od něj požaduje. Instrukce se nachází na první pozici v přijatém datovém slově.

Tab. 9: Instrukční sada terče

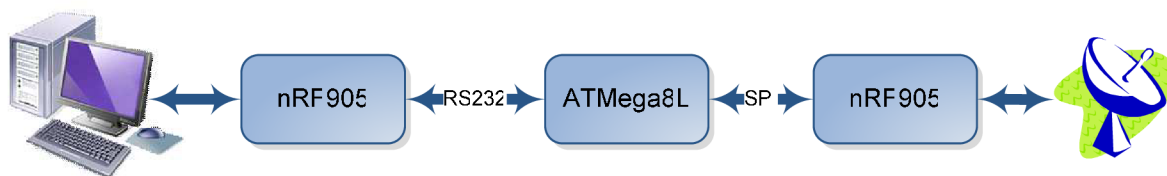
Hexadecimální hodnota	Desítková hodnota	Význam instrukce
0x0A	10	reset terče
0x14	20	kontrola stavu
0x1E	30	odešli poslední čas
0x28	40	stav baterie

## 4 Komunikace s PC

Dalším požadavkem byla realizace přenosu naměřených údajů do PC. Vzhledem k celé koncepci byla zvolena bezdrátová varianta přenosu opět pomocí obvodu nRF905.

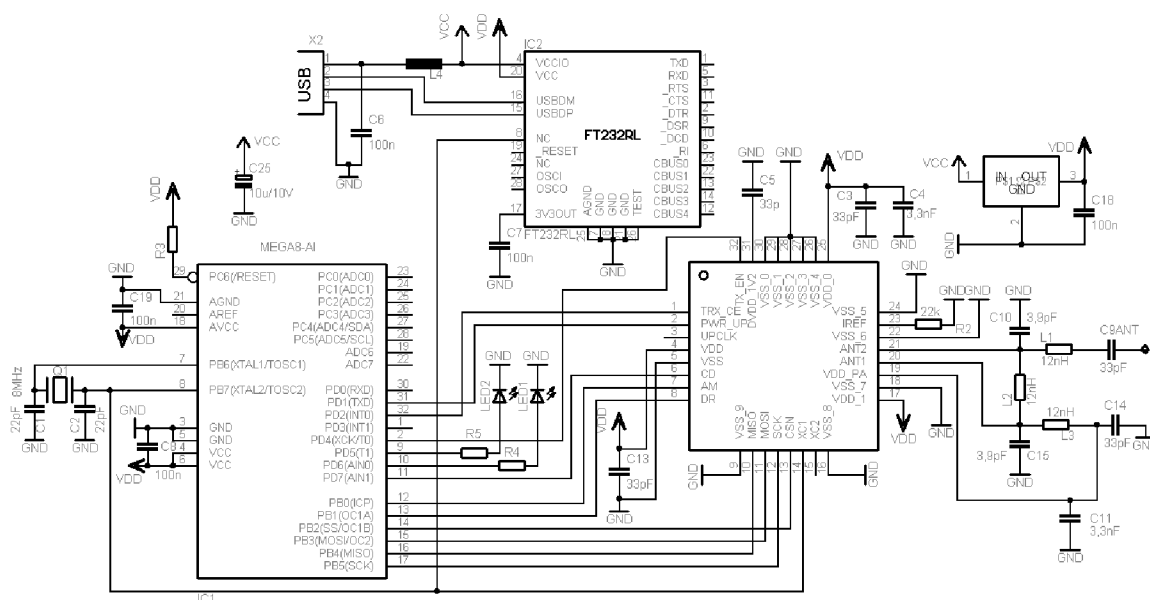
### 4.1 Komunikační modul

K řízení slouží mikrokontrolér ATmega8L a o přenos se stará odvod nRF905 jako v předchozích případech. Na obrázku 13 je blokové schéma celého modulu. Data přijímána obvodem nRF905 zpracovává řídicí mikrokontrolér a po sériové lince je posílá obvodu FT232RL.



Obr. 13: Blokové schéma USB modulu

FT232RL je převodník mezi sériovou linkou a USB sběrnici. Je napájen přímo z PC a obsahuje v sobě i stabilizátor pro napětí 3,3 V, což znamená, že není třeba externí stabilizátor. V tomto zapojení je ale z důvodu dostatečné rezervy využít, v příští revizi bude odstraněn. Práce s obvodem je jednoduchá, stačí vyslat po sériové lince data a obvod je přes USB rozhraní pošle do PC. V počítači se pak zařízení chová jako virtuální sériový port nebo zařízení HID. Ovladače pro virtuální sériový port jsou dostupné na stránkách výrobce a pro HID je třeba si je napsat. Pro tuto aplikaci byla zvolena první možnost i z důvodu jednoduššího následného zpracování dat v programu. Schéma celého modulu je na obrázku 14. Zapojení je realizováno na oboustranné desce a vzhledem k použitým součástkám bylo zadáno externí firmě.



Obr. 14: Schéma komunikačního modulu

## 4.2 Software v PC

Software byl napsán v jazyce Visual Basic a umožňuje základní zpracování a vyhodnocení naměřených údajů. Jeho vývoj je v současné době ve stádiu beta verze a stále pokračuje – jsou přidávány další potřebné funkce a nástroje. Vzhledem k zapojení komunikačního modulu je možný i opačný směr přenosu dat a tím se nabízí možnosti ovládání časomíry z PC.



## 5 Dálkový zobrazovač

Poslední součástí systému je dálkový zobrazovač, na kterém mají soutěžící i diváci možnost sledovat ubíhající čas prováděného útoku a po jeho dokončení výsledný dosažený čas, celkový čas i čas jednotlivých terčů.

### 5.1 Současná řešení a používané technologie

V současnosti jsou použity dvě koncepce. Jedna je založena na velkých segmentových LED zobrazovačích, obrázek 15 a druhá na vysoce svítivých LED diodách uspořádaných do segmentů, obrázek 17.



Obr. 15: Zobrazovač ze 7-segmentových LED



Obr. 16: Zobrazovač s vysoce svítivých LED

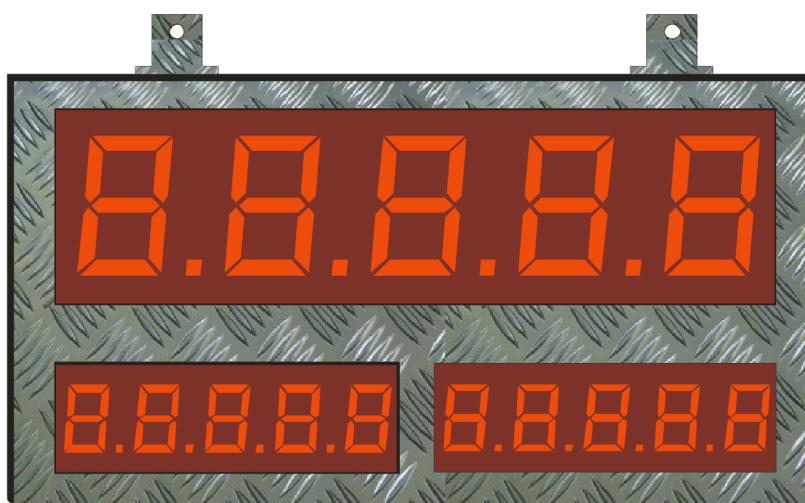
Výhody a nevýhody těchto řešení se nabízejí samy. Za nespornou výhodu řešení ze 7-segmentových LED zobrazovačů lze považovat jednoduchost návrhu desky plošných spojů, kdy lze použít obvod přímo navržený pro buzení těchto zobrazovačů. Tyto displeje mají většinou nízkou svítivost, která dostačuje pro použití na nočních soutěžích, ale za přímého slunce přes den je již viditelnost horší. Toto eliminují právě zobrazovače s vysoce svítivými LED diodami. Ty jsou ale náročnější na návrh DPS. Jejich výhoda spočívá v tom, že jsou velice dobře čitelné i za přímého slunce, ale naopak v noci je jejich jas až příliš vysoký a působí nepříjemně na oči pozorovatele. V poslední době se zobrazovače značně zlepšují a nabízejí více zobrazených údajů než jen aktuální čas, přibývají časy jednotlivých terčů atd.

Občas je k vidění i projekce na plátno, ale parametry dostupných projektorů nejsou pro toto příliš vhodné, protože na přímém slunci jsou značné problémy s viditelností.

## 5.2 Realizace dálkového zobrazovače

V současné době není ještě rozhodnuto o rozpočtu na tuto část zařízení. Byl připraven koncept zobrazovače a jeho řešení na obvodové úrovni. Realizace je závislá na dostupných finančních prostředcích. Existuje totiž možnost využít současný zobrazovač a převodník pro bezdrátové řízení.

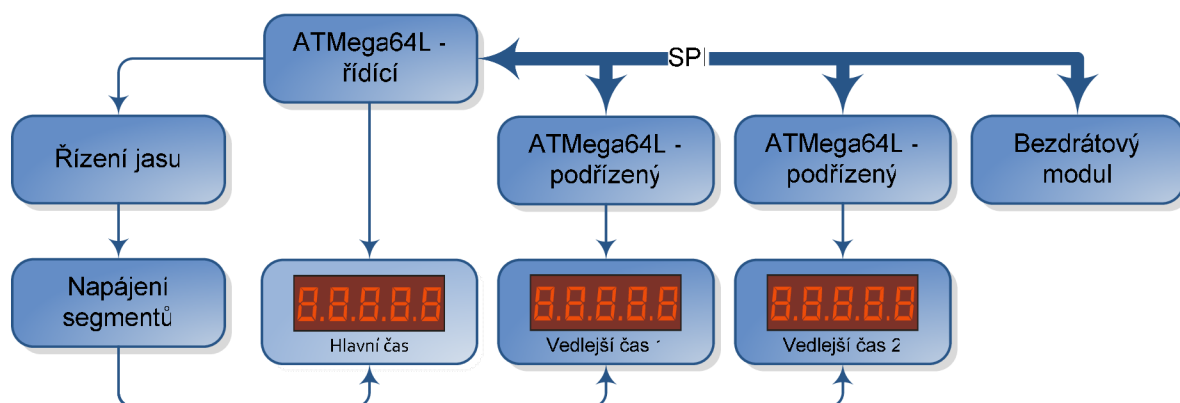
Návrh počítá se zobrazováním maximálně tří časů. Na obrázku 17 je přibližný vzhled zobrazovače



Obr. 17: Dálkový zobrazovač

V průběhu soutěžního pokusu je v horním řádku zobrazován aktuální čas. Po dokončení zůstává v horním řádku výsledný čas a ve spodním řádku se zobrazí časy jednotlivých terčů. V případě použití tří terčů se zobrazí čas posledního terče nahoře a dole budou hodnoty zbylých dvou terčů. Velikost číslic prvního řádku byla zvolena na 150 mm, druhého pak 100 mm. Každý čas obsahuje pět číslic a čtyři desetinné tečky, toto rozvržení umožňuje měřit široké spektrum časů. Jednotlivé segmenty jsou složeny z vysoce-svítivých diod, které jsou napájeny přes jednoduchý proudový zdroj. Toto řešení bylo zvoleno z důvodu problému s různou intenzitou svitu jednotlivých diod vlivem tolerancí při výrobě. Napájení LED diod ze zdroje napětí není příliš vhodné díky značným změnám proudu při různých teplotách diod. Proudové buzení má ale nevýhodu v potřebě stabilizátoru proudu pro každý segment. K řízení celého zobrazovače slouží celkem tři mikrokontroléry ATmega64L. Každý obvod řídí jeden čas, díky tomuto zapojení je možné zobrazovat i jiné údaje než jen čas, samozřejmě s omezením, protože se nejedná o alfanumerický displej. Jednou z variant bylo použití

logických obvodů řady 4094 a jejich kaskádní řazení k řízení jednotlivých číslic a časů, je navržené řešení flexibilnější. Kontroléry jsou mezi sebou propojeny sběrnicí SPI, po které spolu komunikují. Blokové schéma celého řešení je na obrázku 18.



Obr. 18: Blokové schéma dálkového zobrazovače

Spojení s hlavní jednotkou je zajištěno stejným bezdrátovým modulem jako v předchozích případech. Blok pro řízení jasu obsahuje operační zesilovač a DA převodník pomocí kterého kontrolér ovlivňuje proud tekoucí do jednotlivých segmentů celého zobrazovače. Teoreticky by bylo možné pomocí tohoto zapojení kalibrovat svítivost displeje na úrovni segmentu.

## 6 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout a zkonstruovat časomíru pro požární sport, která by přinesla zvýšení spolehlivosti, komfortu obsluhy a byla cenově dostupná. Bylo zvoleno bezdrátové řešení a navrženy jednotlivé části, které byly posléze i zkonstruovány, mimo dálkový zobrazovač, jehož konstrukce závisí na dalším rozhodnutí zadavatele. Dosavadní zkoušky potvrdily správnost návrhů jednotlivých komponent i jejich spojení do funkčního celku. V současné době probíhá testování a ladění systému, kdy je třeba odstranit všechny možné problémy a závady. Díky použití mikrontroléru vyšla výsledná schémata relativně jednoduchá. I v reálných podmínkách se ukázalo, že navržené řešení je funkční. Další úpravy už probíhají pouze na softwarové úrovni. Uvedení do provozu by se časomíra měla dočkat v září na soutěži pořádané SDH Fryčovice. Do té doby bude probíhat testování v rámci tréninků soutěžních družstev. V této práci byly prozkoumány možnosti bezdrátové komunikace a nabídka současného trhu. Dále pak práce vedla k prohloubení znalostí jak návrhu hardware, tak i software pro jednotlivé moduly a program v PC. Zahrnuje tedy široké spektrum činností, které jsou v poslední době třeba při návrhů různých zařízení. Do budoucna

bude možná zařízení rozšířeno o brány na měření běhu 100 m a štafety, popř. nástříkových terčů. To vše závisí na zadavateli.

## 7 Seznam použitých zdrojů

- [1] Stránky ministerstva vnitra, Pravidla požárního sportu [cit. 15-5-2009]. Dostupné z WWW: <http://www.mvcr.cz/hasici/predpisy/interni/2009/pokyn26.pdf>
- [2] Katalogový list výrobce Atmel Corporation. [cit. 15-5-2009]. Dostupné z WWW: [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2466.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2466.pdf)
- [3] Katalogový list pro displej ATM2004D. [cit. 15-5-2009]. Dostupné z WWW: [www.arrowtech.cn/CN/upload/ATM2004D.pdf](http://www.arrowtech.cn/CN/upload/ATM2004D.pdf)
- [4] Katalogový list výrobce Nordic Semiconductor. [cit. 15-5-2009]. Dostupné z WWW: [http://www.nordicsemi.com/index\\_popup.cfm?obj=misc&act=download&pro=83&prop=615](http://www.nordicsemi.com/index_popup.cfm?obj=misc&act=download&pro=83&prop=615)
- [5] Katalogový list výrobce Atmel Corporation. [cit. 15-5-2009]. Dostupné z WWW: [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2486.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2486.pdf)
- [6] Katalogový list výrobce Kotlín [cit. 15-5-2009]. Dostupné z WWW: <http://www.kotlin.cz>
- [7] Katalogový list výrobce Hebei ltd. [cit. 15-5-2009]. Dostupné z WWW: <http://www.hebeiltd.com.cn/led.datasheet/3VAC9CW6.pdf>

## 8 Seznam obrázků

Obr. 1: Základní komponenty časomíry.....	8
Obr. 2: Blokové schéma centrální jednotky časomíry.....	9
Obr. 3: Blokové schéma hlavní jednotky (bezdrátové řešení) .....	11
Obr. 4 Ovládací panel .....	14
Obr. 5: Blokové schéma nRF905 s potřebnými součástkami .....	17
Obr. 6: SPI komunikace – čtení.....	17
Obr. 7: SPI komunikace – zápis .....	18
Obr. 8: Zapojení bezdrátového modulu s nRF905.....	21
Obr. 9: Moduly s obvody nRF905.....	22
Obr. 9: Schéma hlavní jednotky časomíry .....	23
Obr. 9: Schéma napájecích obvodů .....	24
Obr. 10: Algoritmy pro odesílání a příjem dat.....	26

Obr. 11: Nákres konstrukce terče .....	29
Obr. 12: Schéma terče .....	32
Obr. 13: Blokové schéma USB modulu .....	33
Obr. 14: Schéma komunikačního modulu .....	34
Obr. 15: Zobrazovač ze 7-segmentových LED .....	35
Obr. 16: Zobrazovač s vysoce svítivých LED .....	35
Obr. 17: Dálkový zobrazovač .....	36
Obr. 18: Blokové schéma dálkového zobrazovače.....	37

## 9 Seznam tabulek

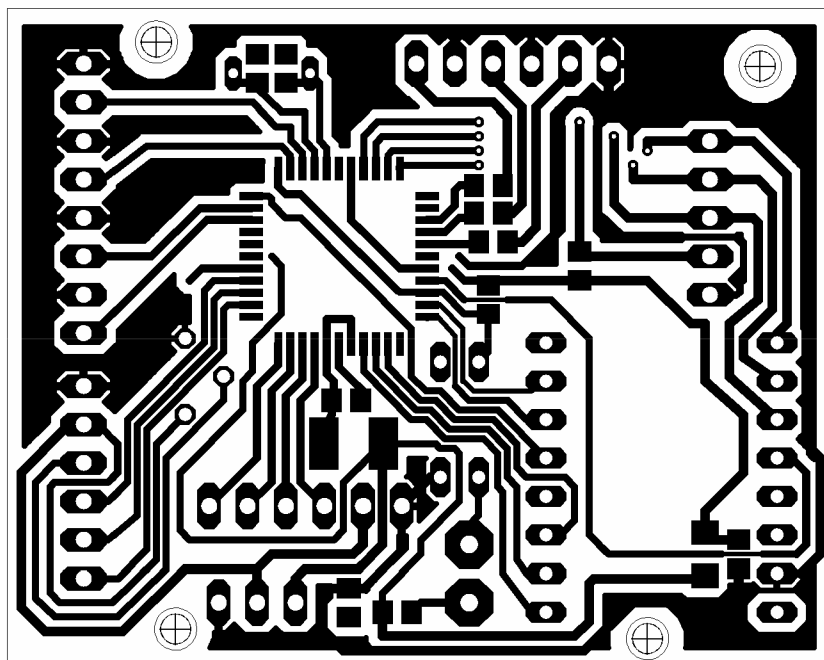
Tab. 1: Vybrané parametry obvodu ATmega16L.....	13
Tab. 2: Frekvenční pásma pro provozování zařízení krátkého dosahu .....	15
Tab. 3: Základní elektrické parametry .....	15
Tab. 4: Instrukční sada nRF905 .....	18
Tab. 5: Operační režimy nRF905 .....	19
Tab. 6: Instrukční sada hlavní jednotky .....	28
Tab. 7: Porovnání ATmega16L a ATmega8L.....	31
Tab. 8: Parametry snímače KS95 C4530-NPN .....	31
Tab. 9: Instrukční sada terče .....	33

## 10 Seznam příloh

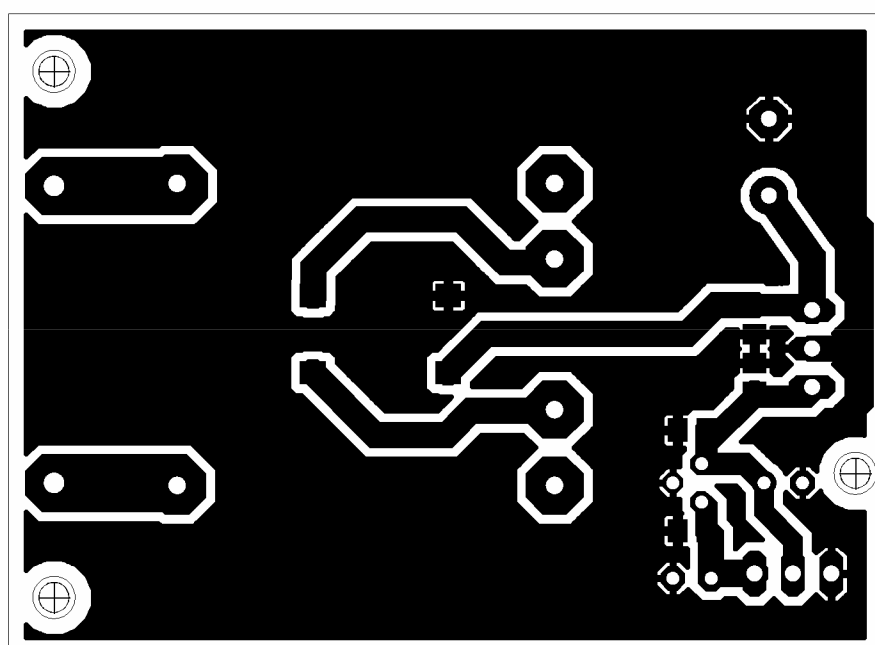
Příloha 1: Obrázky desek plošných spojů .....	40
Příloha 2: Osazovací výkresy .....	41

## 11 Přílohy

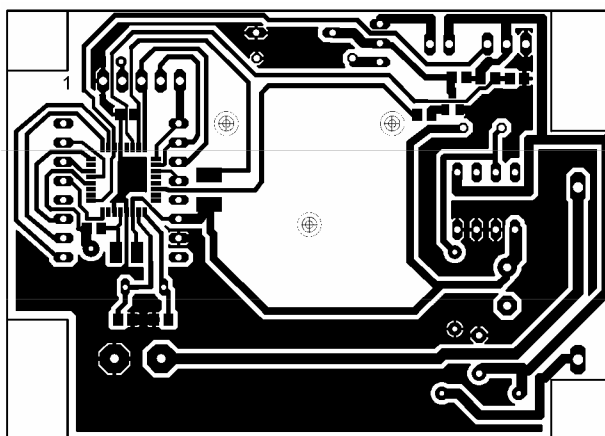
### Příloha 1: Obrazce desek plošných spojů



Obr. P 1: Deska hlavní jednotky (M 2:1)

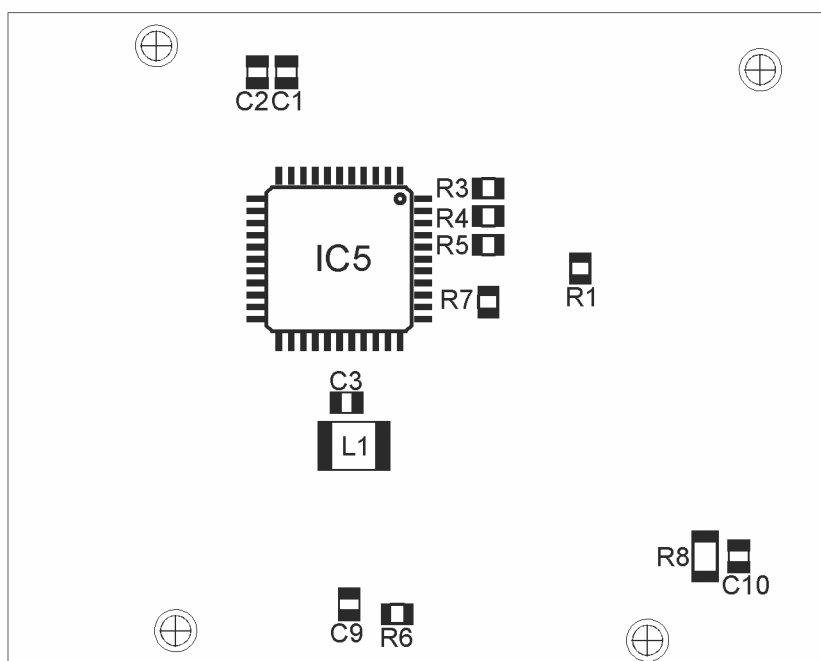


Obr. P 2: Deska napájecích obvodů (M 2:1)

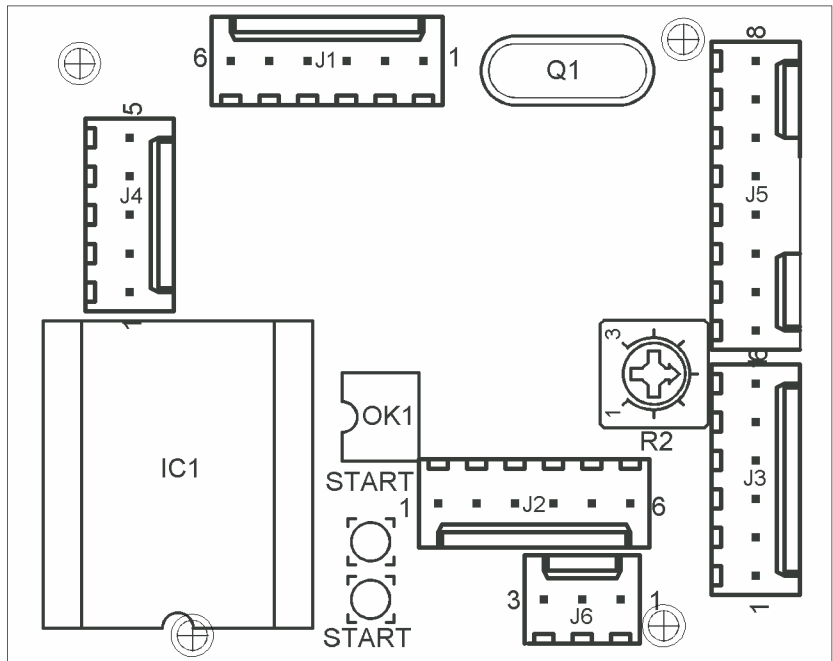


Obr. P 3: Deska terče (M 1:1)

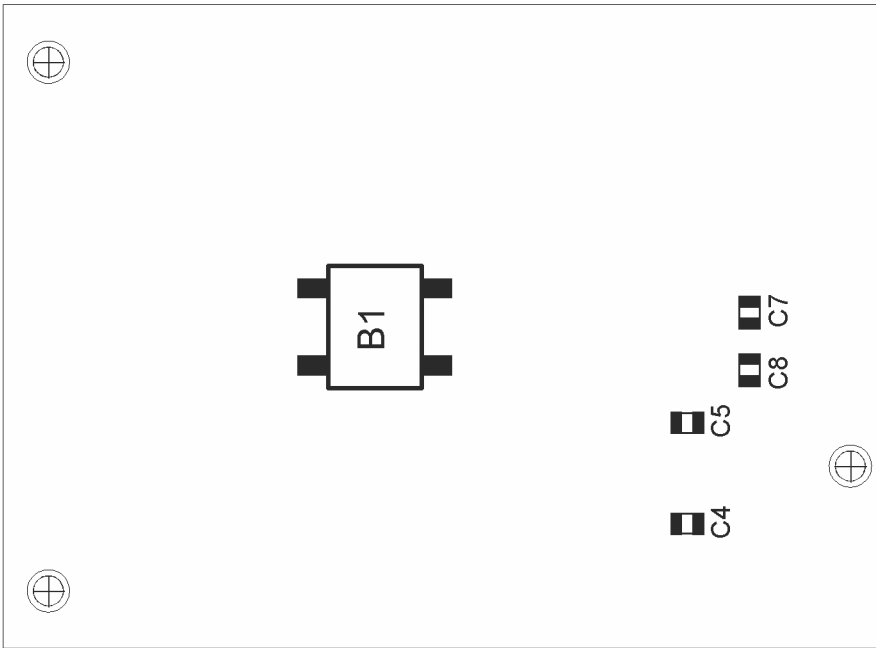
**Příloha 2: Osazovací výkresy**



Obr. P 4: Osazení hlavní jednotky – spodní strana (M2:1)

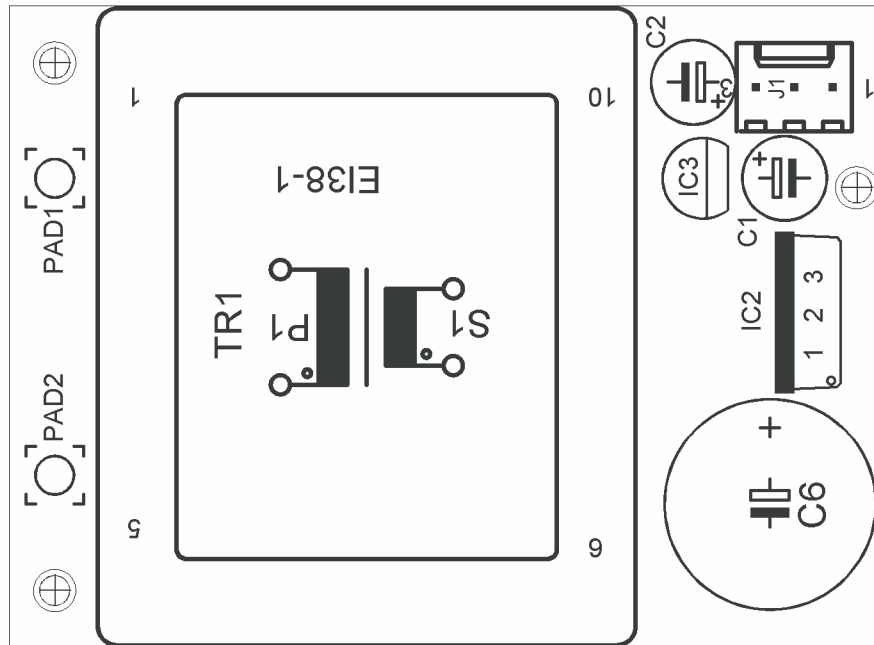


Obr. P 5: Osazení hlavní jednotky – horní strana (M2:1)

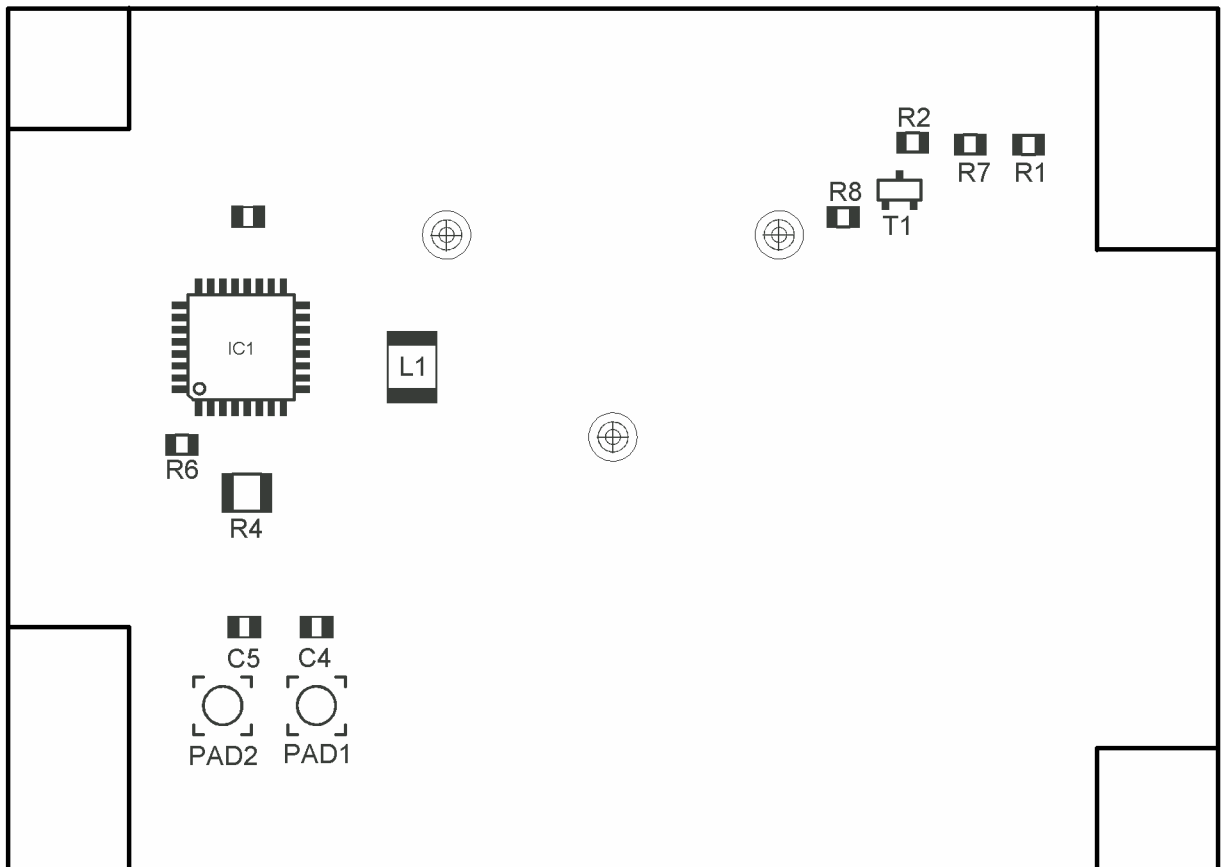


Obr. P 6: Osazení napájecí části – spodní strana (M2:1)

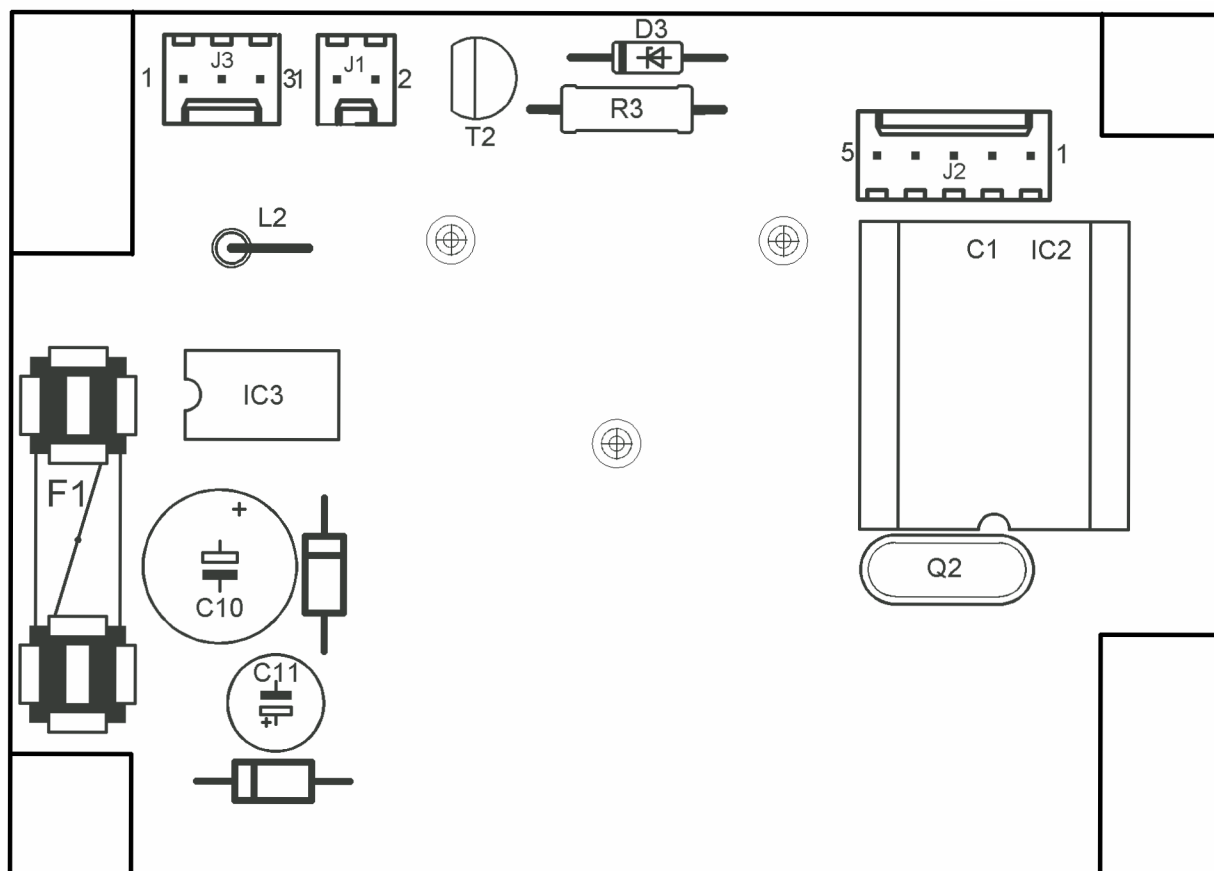




Obr P 7: Osazení napájecí části – horní strana (M2:1)



Obr P 8: Osazení terče – spodní strana (M2:1)



Obr P 9: Osazení terče – horní strana (M2:1)