



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## BEZDRÁTOVÝ IR SENZOR PRO DETEKCI NARUŠENÍ PROSTORU

WIRELESS IR SENSOR FOR AREA INVASION DETECTION

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Suchý

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jaromír Kolouch, CSc.

BRNO 2018



# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Elektronika a sdělovací technika**  
Ústav radioelektroniky

**Student:** Lukáš Suchý

**ID:** 152248

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2017/18

**NÁZEV TÉMATU:**

## Bezdrátový IR senzor pro detekci narušení prostoru

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Navrhněte monitorovací systém pro detekci narušení sledovaného prostoru s využitím PIR čidel s dosahem aspoň 5 metrů v senzorových jednotkách, které budou bezdrátově připojeny k centrální jednotce. Senzorové jednotky uvažujte s čipem SI4432. Systém bude uživateli hlásit stav - narušení monitorovaného prostoru zjištěné senzorovou jednotkou. Řešení vlastních senzorových jednotek musí dovolovat jejich bateriové napájení s životností baterie řádově v rocích.

Zpracujte podrobný návrh zapojení senzorové a centrální jednotky. Zvažte také možné řešení komunikace centrální jednotky s uživatelem. Navržené zařízení realizujte a ověřte jeho funkčnost.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

[1] MANN, Burkhard. C pro mikrokontroléry. Praha: BEN, 2003.

[2] KOSEK, Jiří. PHP - tvorba interaktivních internetových aplikací. Praha: Grada, 1999.

**Termín zadání:** 5.2.2018

**Termín odevzdání:** 24.5.2018

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Jaromír Kolouch, CSc.

**Konzultant:** Ing. Ondřej Pavelka, Honeywell Brno

**prof. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.**  
*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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Anotace**

Cílem této bakalářské práce je navrhnout a realizovat zabezpečovací systém pro detekci pohybu osob založený na bateriově napájených senzorech. Ze zadání práce je patrné, že pro komunikaci má být použit integrovaný obvod SI4432. Senzor má zaznamenat pohyb v prostoru alespoň 5 metrů a odesílat hlášení o narušení prostoru do centrální jednotky, kde dojde ke zpracování této informace. Následně centrální jednotka informuje uživatele o narušení zabezpečeného prostoru. Senzorové jednotky mají být bateriově napájené s řádovou životností v rocích. Závěrem práce má být zkonstruované zařízení otestováno v reálném provozu.

## **Klíčová slova**

PIR, SI4432, GSM, GPRS, ATmega328P, AVR, DRF4432F20, spotřeba, zabezpečovací IR systém, bezdrátový senzor, detekce narušení prostoru

## **Anotation**

The target of this Bachelor thesis is to design a security system for detection of the monitored space disruption, containing several battery powered sensors which are connected to central unit. From Bachelor thesis is evident, that for communication is to be used integrated circuit SI4432. Sensor detects motion in distance no less than 5 m and sends reports of the space disruption to central unit where this information will be processed. After that the user will be informed by the central unit. Sensor unit should be battery powered with lifetime in years. In conclusion, the system is tested in real work.

## **Keywords**

PIR, SI4432, GSM, GPRS, ATmega328P, AVR, DRF4432F20, power consumption, IR security sensor, wireless sensor, space disruption detection

## **Bibliografická citace**

SUCHÝ, L. *Bezdrátový senzor pro detekci narušení prostoru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. 2018. 47 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jaromír Kolouch, CSc.



## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „*Bezdrátový IR senzor pro detekci narušení prostoru*“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a 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 z 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 24. května 2018

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Jaromíru Kolouchovi, CSc. za pedagogickou pomoc a mnoho dalších cenných rad.

Tímto také děkuji Ing. Ondřeji Pavelkovi z firmy Honeywell za možnost odborné konzultace.

## **Obsah**

1 Úvod.....	1
2 Průzkum trhu.....	2
2.1 Jablotron JK-82:.....	2
2.2 iGET SECURITY M2B:.....	2
2.3 MICRA SET MS1:.....	3
2.4 Celkové shrnutí.....	3
3 Koncepce.....	4
4 Bezdrátový senzor.....	5
4.1 Jednotlivé bloky.....	5
4.2 PIR detektor.....	5
4.2.1 HC-SR50.....	6
4.2.2 Rozbor a úprava PIR senzoru.....	7
4.3 ATmega328P.....	8
4.4 Bezdrátový modul DRF4432F20.....	10
4.5 Baterie.....	12
4.6 Stabilizátor napětí.....	15
4.7 Energetická bilance.....	16
4.7.1 Reálné měření.....	18
5 Centrální jednotka.....	19
5.1 GSM/GPRS komunikace.....	20
5.2 Komunikace se senzory.....	21
5.3 Zobrazovací zařízení.....	23
5.4 Inicializace uživatele.....	24
5.5 Softwarové ovládání centrální jednotky.....	24
5.6 Webové rozhraní.....	25
5.7 Obsluha GSM.....	25
5.8 Napájení centrální jednotky.....	26
6 Návrh a realizace.....	27
6.1 Realizace plošného spoje.....	27
6.2 Osazení DPS a oživení.....	28
6.2.1 Ukázky průběhu práce s DPS.....	28
6.3 Programování.....	29
7 Ovládání celého zařízení.....	30
8 Cenová kalkulace.....	31
8.1 Alternativní výroba DPS – firma SEMACH.....	32
8.1.1 Vybraná cenová kalkulace při případné výrobě DPS firmou Semach:.....	32
9 Závěr.....	33
Literatura.....	34

## Seznam obrázků

Obr 1: Komerčně dostupné zařízení Jablotron JK-82. Zdroj[1].....	3
Obr 2: Blokové schéma.....	4
Obr 3: Blokové schéma senzoru.....	5
Obr 4: Funkce PIR detektoru .....	5
Obr 5: PIR senzor HC-SR50 .....	6
Obr 6: Schéma zapojení a následné úpravy PIR senzoru .....	7
Obr 7: Definice pinů ATmega328P. Zdroj[4] .....	8
Obr 8: Bezdrátový modul DRF4432F20.....	10
Obr 9: Porovnání modulace FSK a GFSK. Zdroj[5].....	11
Obr 10: Akumulátor s nabíjecím obvodem TP4056 .....	14
Obr 11: Základní zapojení stabilizátoru MCP1700.Zdroj[7] .....	15
Obr 12: Blokové schéma centrální jednotky .....	19
Obr 13: SIM800L.Zdroj[6] .....	20
Obr 14: FIFO zásobník. Zdroj[5] .....	21
Obr 15: Konfigurace paketu.Zdroj[5] .....	22
Obr 16: Vývojový diagram pro příjem dat.....	22
Obr 17: I2C OLED displej 0,96“ 128x64 bílý .....	23
Obr 18: RFID čtečka s vestavěnou anténou .....	24
Obr 19: Webová databáze ThingSpeak.com .....	25
Obr 20: Napájecí adaptér BKE JS25-138 .....	26
Obr 21: Editor plošných spojů Eagle .....	27
Obr 22: Cínování DPS .....	28
Obr 23: Osazená DPS - senzor.....	28
Obr 24: Programátor PICKIT2.....	29
Obr 25: AVRDUDESS .....	29

## **Seznam tabulek**

Tab 1: Parametry PIR senzoru. Zdroj [8].....	6
Tab.2: Základní parametry ATmega328P. Zdroj [4].....	8
Tab.3: Srovnání výdrže dle kapacit baterie.....	18
Tab.4: Parametry SIM modulu.....	20
Tab 5: Orientační ceník výroby DPS [14].....	32
Tab 6: Technologické možnosti – IV. třída přesnosti [14].....	32

# 1 Úvod

Tématem projektu je ochrana prostoru, ať už se jedná o venkovní či vnitřní využití. Na trhu je poměrně široká nabídka zabezpečovacích systémů, které komunikují s uživatelem přes různé periferie, ať už se jedná o email, SMS či webové rozhraní. Základem těchto zařízení je centrální jednotka, ke které je možnost připojit jednotlivé moduly. Nabídka modulů je na trhu opravdu široká, od detektorů kouře až po detektory rozbití skla. Z pohledu finanční stránky, ve které je ve většině případů zahrnuta i samotná montáž do monitorovaného objektu, jsme na částce pohybující se v desetitisících korun.

Cílem této práce je tedy navrhnout a následně realizovat zabezpečovací systém s centrální jednotkou, na kterou bude připojeno několik bezdrátových čidel. Centrální jednotka by měla shromažďovat data z jednotlivých senzorů a v případě, že vyhodnotí narušení prostoru, informovat majitele zabezpečeného prostoru. Informace o přerušení brány by měla být majiteli sdělena přes SMS zprávu. Dále by jednotka měla dostávat informace o senzorech, ať už se bude jednat o stav baterie, teplotu či případné poškození. K informacím by měl mít uživatel stálý přístup. Jednotlivé senzory budou napájeny z baterie, čili je zde kladen důraz na spotřebu, což je spojeno s životností baterie.

Navrhovaný systém se od komerčních zařízení dostupných na českém trhu, liší jednoduchostí instalace a obsluhy samotného zařízení. Dále také svojí nízkou pořizovací cenou, která je ve srovnání s komerčními zařízeními třetinová.

## **2 Průzkum trhu**

V této práci se budu zabývat návrhem zabezpečovacího zařízení pro detekci pohybu osob, uvedu tedy zařízení, které disponují podobnými parametry. Nabídka na trhu je opravdu široká. Níže vybrané produkty jsou vybrané na základě nabídek v internetových obchodech. Navrhované zařízení se liší od komerčních zařízení především svojí cenou, kvalitou zpracování a složitostí montáže. Pokud bude uživatel volit zabezpečovací systém určitě je potřeba zohlednit požadovanou kvalitu a spolehlivost zabezpečení. V nejzazším případě lze zvolit zabezpečovací agenturu.

### **2.1 Jablotron JK-82:**

Jedná se o sadu pro zabezpečení objektu, z výroby je vše nastaveno pro okamžité použití. Tato sada se dá rozšířit o většinu nabízených bezdrátových periférií firmy Jablotron. Tato firma působí na českém trhu od roku 1990 a patří mezi špičky v oboru zabezpečovací techniky. Firma nabízí technickou podporu i servis svých výrobků.

Sada obsahuje:

- centrální GSM jednotku
- bezdrátovou klávesnici
- detektor pohybu
- detektor otevření dveří
- sirénu
- přístupovou kartu
- napájecí adaptér a zálohovací akumulátor
- uživatelský manuál

**Cena: 13 000 Kč vč. DPH [1]**

### **2.2 iGET SECURITY M2B:**

Bezdrátový GSM systém s možností připojení až 99 bezdrátových čidel. Jedná se o jeden z nejlevnějších zabezpečovacích systémů na českém trhu. Za uvedenou cenu uživatel dostane poměrně široce vybavený startovací balíček, který se hodí pro zabezpečení spíše menšího prostoru nebo například garáže.

Sada obsahuje:

- centrální GSM jednotku
- 3x dálkové ovládání
- detektor pohybu
- detektor otevření dveří
- sirénu
- napájecí adaptér
- uživatelský manuál

**Cena 2 888 Kč vč. DPH [2]**

### 2.3 MICRA SET MS1:

Pro porovnání byl vybrán i jeden ze zabezpečovacích systémů, ze střední cenové kategorie. Jako i výše zmíněné zabezpečovací systémy tak i tento obsahuje kompletní set pro zabezpečení. Výrobce uvádí dosah senzorů v otevřeném prostoru 200 m, v porovnání s ostatními zabezpečovacími systémy, je to jeden z mála zabezpečovacích systémů, kde je uveden dosah.

Sada obsahuje:

- centrální GSM jednotku
- bezdrátovou klávesnici
- detektor otevření dveří
- detektor pohybu
- uživatelský manuál
- napájecí adaptér

**Cena 10 950 Kč vč. DPH [3]**



Obr.1: Komerčně dostupné zařízení Jablotron JK-82. Zdroj [1]

### 2.4 Celkové shrnutí

Ačkoliv se to na první pohled nemusí zdát, nabídka na českém trhu je velmi široká. Záleží na každém uživateli, zda je ochoten si připlatit za kvalitu značkových zařízení nebo jestli zvolí levnější, v některých případech i kvalitnější provedení.

Obsahem každé sady je jen nutný základ pro nezbytnou funkčnost výrobku. Ve velké většině je třeba počítat s investicí do dalších modulů. Počet bezdrátových modulů je přímo úměrný ploše zabezpečení.

U všech výše zmíněných zabezpečovacích sad deklaroval výrobce výdrž baterie v PIR senzorech okolo dvou let. Ovšem dosah možné komunikace senzorů s centrální jednotkou byl udáván maximálně kolem 100 m.

Tyto sady byly vybaveny pouze s možností obsluhy pomocí ovladačů, klávesnice a GSM. Samozřejmostí je možnost rozšíření o GPRS, ovšem na základě růstu konečné ceny.

Pokud tedy do konečné částky zahrneme další PIR senzory, GPRS modul a napájecí adaptér, můžeme se u dražších zařízení dostat až na částku **20 000 Kč vč. DPH**. Do této částky není zahrnuta odborná montáž, bez které zákazník může ztratit záruku.

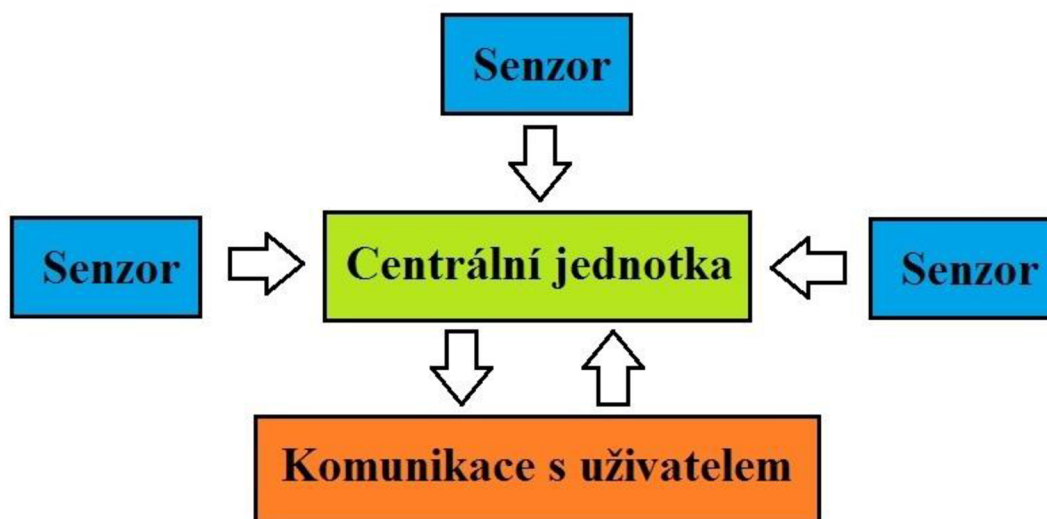


### 3 Koncepce

Klíčovou myšlenkou realizace je zabezpečení libovolného prostoru. Maximální plocha pro rozmístění senzorů je dána dosahem čidel, který je na volném prostoru 1000 metrů. Celý systém bude realizován na dvě části. První částí bude centrální jednotka a druhou senzory. Každý z těchto bloků bude zvláště zapouzdřen.

Komunikace mezi senzory a centrální jednotkou bude zajištěna bezdrátovými moduly, které obsahují čip SI4432. Nabídka na trhu je poměrně nízká. Většina modulů je zapojením naprosto stejná, všechny obsahují pouze základní zapojení integrovaného obvodu SI4432. Liší se pouze v označení, rozteči pinů a velikostí. V úvahu tedy přicházely tyto moduly: RF4432, RFM22B a DRF4432F20. Modul DRF4432F20 byl zvolen z důvodu nejlepší dostupnosti a jeho nízké ceny.

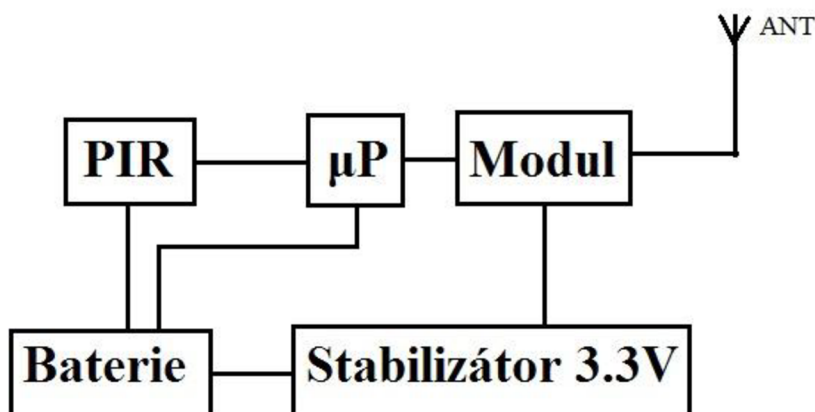
V dalších kapitolách bude popsán projekt podrobněji z hlediska funkčnosti, realizace jednotlivých částí, výroby, návrhu a v neposlední řadě také po finanční stránce.



Obr.2: Obecné blokové schéma

## 4 Bezdrátový senzor

Cílem této práce je návrh a realizace zabezpečovacího systému. Sensory mají za úkol detekovat narušení monitorovaného prostoru. Budou také komunikovat s centrální jednotkou. Zde je kladen důraz na spotřebu jednotlivých senzorů z důvodu napájení bateriemi. Budeme také muset laborovat s úspornými módy jak mikroprocesoru, tak i bezdrátového modulu. Je třeba mít také na paměti vlastní spotřebu stabilizátoru napětí pro DRF4432F0.



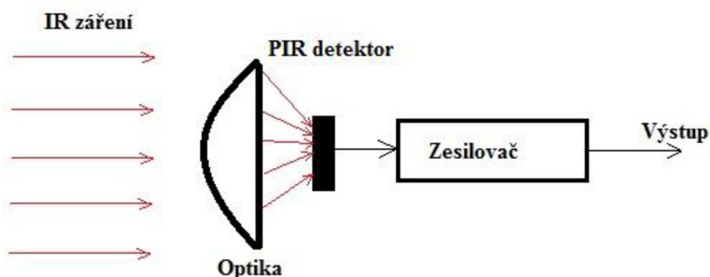
Obr.3: Blokové schéma senzoru

### 4.1 Jednotlivé bloky

V níže uvedených podkapitolách jsou uvedeny principy realizace samotných bloků, které dohromady tvoří senzor. Kompletní schéma senzoru bude umístěno v příloze této práce.

### 4.2 PIR detektor

Detektory pohybu PIR (passive infrared detector) fungují na principu pyroelektrického jevu, což je vlastně schopnost převést zachycené IR záření na elektrické napětí. Při vhodném zapojení může být tato součástka využita jako detektor pohybu a toho bude využito v našem zařízení. Pro instalaci těchto detektorů platí určitá pravidla, například není dobré detektory umístit proti oknu nebo proti vycházejícímu slunci. Toto tvrzení jsme si mohli ověřit v praxi.



Obr.4: Funkce PIR detektoru

Optika – Shromažďuje veškeré záření přímo na snímač. Snímaný prostor je rozdělen za pomoci mřížky, která je tvořena jednotlivými čočkami.

PIR detektor – Tvoří základ celého senzoru, jedná se o polovodičovou součástku (sloučenina tantalu a lithia). Je citlivý pro širokou škálu záření, proto je jeho součástí filtr, kterým prochází IR záření s vlnovou délkou několik  $\mu\text{m}$ .

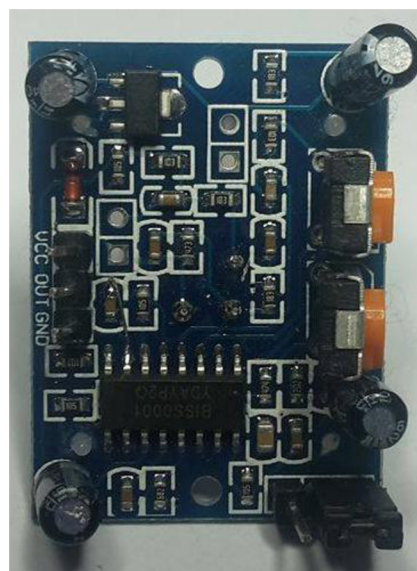
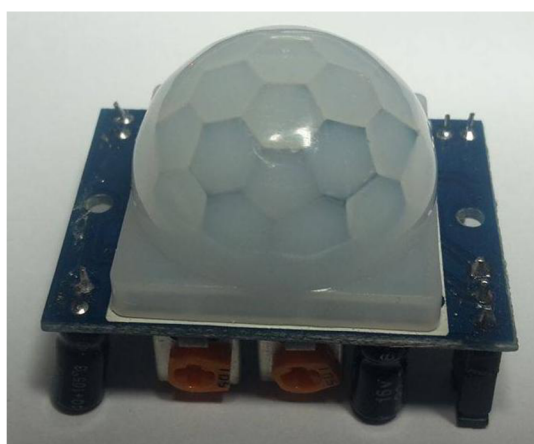
Zpracování signálu – Je u každého senzoru řešeno individuálně. Na trhu lze zakoupit kupříkladu PIR senzor, který obsahuje relé. Pokud tedy senzor zaznamená pohyb, relé se sepne.

#### **4.2.1 HC-SR50**

Pro naši konstrukci jsem vybral PIR senzor HC-SR50. Jeho výhodami jsou nízká cena a spotřeba, a také relativní jednoduchost pro konstrukci. Senzor snímá pohyb pod úhlem  $120^\circ$  a to až do 10 metrů, což je pro naši konstrukci plně dostačující. Dalším klíčovým parametrem je klidová spotřeba, která je podle katalogového listu  $50 \mu\text{A}$ . Senzor dále umožňuje nastavení citlivosti a času snímání, jenž se nastavuje pomocí dvou trimrů umístěných na plošném spoji. Pokud senzor zaznamená pohyb, na výstupu se objeví  $3.3 \text{ V/HIGH}$ . V níže uvedené tabulce jsou vybrané parametry, které jsou k dispozici v datasheetu. [8]

Napájecí napětí	5-20 V ss
Délka pulsu/blokování	0,3 – 5 min
Provozní teplota	-15 až $+70^\circ\text{C}$
Výstup	3.3 V HIGH / 0 V LOW
Klidová spotřeba	$<50 \mu\text{A}$

Tab.1: Parametry PIR senzoru. Zdroj [8]



Obr.5: PIR senzor HC-SR501



### 4.3 ATMega328P

Vzhledem k realizaci a k jednoduchosti kódu jsme zvolili platformu Arduino, která obsahuje výše uvedený procesor. Celé zařízení je v plánu otestovat na platformě Arduino Nano.

ATMega328P je 8-bitový mikroprocesor od firmy ATMEL konstrukcí, principem ho můžeme zařadit do architektury RISC (Reduced Instruction Set Computer). Tyto mikrokontroléry se vyznačují malou spotřebou, nízkou cenou a jednoduchostí kódu.

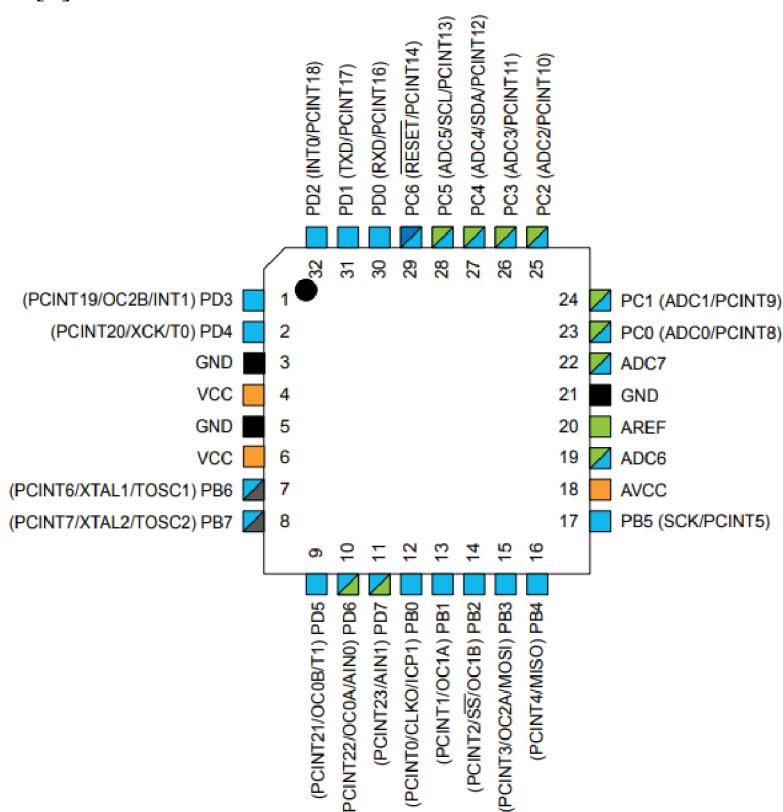
V následující tabulce jsou uvedené některé ze základních parametrů ATMega328P:

Napájecí napětí	1.8 – 5.5 V ss
Spotřeba v úsporném módu	0,1 $\mu$ A
Spotřeba v aktivním režimu	0.2 mA
Teplotní rozsah	-40 až 85 °C

Tab.2: Základní parametry ATMega328P. Zdroj [4]

Z pohledu vnitřní struktury má mikroprocesor 32x8 registrů spojené s ALU (aritmeticko-logickou jednotkou). Za jeden strojový cyklus je schopen vykonat až 131 instrukcí.

Dále disponuje FLASH pamětí o velikosti 32 kB, pamětí EEPROM 1 kB a SRAM, která má velikost 2 kB. [4]



Obr.7: Definice pinů ATMega328P. Zdroj [4]

Mikroprocesor má široký rozsah napájecího napětí, je možné napájet jej přímo z baterie.

Pokud procesor nepracuje, je výhodné ho z důvodu nižší spotřeby uvést do některého z režimů spánku. K tomuto využíváme knihovnu LowPower, která disponuje širokou nabídkou úsporných módů. Nabízí pět režimů, od méně úsporných až po ty více úspornější.

Procesor na senzorech se bude probouzet každých 8s a to pomocí watchogu, po probuzení dochází k inkrementaci hodnoty „control“ a k opětovnému uspání. Pokud „control“ dosáhne požadované hodnoty, senzor odešle data, o potvrzení dosahu centrální jednotce. Druhá možnost jak procesor probudit je pomocí externího přerušení na pinu INT0. Na tento pin je připojen PIR senzor a nastavena obsluha přerušení na nástupnou hranu. Můžeme tedy využít nejúspornější mód Power-down.

#### 4.4 Bezdrátový modul DRF4432F20



Obr.8: Bezdrátový modul DRF4432F20

Jedná se o bezdrátový modul, který obsahuje integrovaný obvod SI4432, anténu 50  $\Omega$  a krystal. Komunikace je zajištěna pomocí SPI rozhraní.

Rozsah pracovní frekvence je 240 až 930 MHz, pro naše využití přichází v úvahu volné pásmo 433 MHz. Dosah modulu uváděný výrobcem je až 1500 metrů. Jedná se o modul s citlivostí přijímače -121 dBm, jehož vysílač má výstupní výkon až 20 dBm. Napájecí napětí tohoto modulu je 1,8 V až 3,6 V.

Výrobce uvádí datový tok maximálně 256 kbps a podporuje modulace FSK/GFSK/OOK (frekvenční/digitální/amplitudová). Z pohledu spotřeby se jedná o poměrně úsporný modul: v přijímacím stavu 18 mA, ve vysílacím 85 mA při jeho maximálním výkonu 20 dBm. Důležitou vlastností modulu je možnost přejít do úsporného režimu spánku. V tomto módu je spotřeba skoro zanedbatelná a to 1  $\mu$ A.

Do sleep režimu modul dostaneme zápisem dat do registru 07h na pozici bitu enwt=1.

Do režimu shutdown modul přivedeme pull-down odporem na SDN. Pokud je tedy na vývodu SDN nízká úroveň napětí, modul se nachází v úsporném režimu, kdy jeho spotřeba klesá na 1  $\mu$ A. V tomto režimu dojde ke ztrátě veškeré konfigurace. Po probuzení je potřeba modul znovu nakonfigurovat [5]

Pro práci s rádiovým modulem je k dispozici již existující knihovna RF22.h. Na začátku celého programu je třeba modul inicializovat a nastavit základní parametry a to pomocí funkce RF22.init(). Veškeré parametry se nastavují pomocí zápisu do registrů. Tato funkce obsahuje tyto jednotlivé kroky:

- nastavení SPI, plus RESET a SS
- kontrola připojení RF22\_DEVICE\_TYPE\_RX\_TRX
- povolení přerušení od rádiového modulu
- konfiguraci modulu
- nastavení frekvence 434,00 MHz
- nastavení rychlosti komunikace a modulace  
(FSK, No Manchester, Rb = 2.4kbs, Fd = 36kHz.)

Modulace FSK (frequency-shift keying) – klíčování frekvenčním posuvem. Informace se přenáší pomocí diskretních změn frekvence nosné vlny.



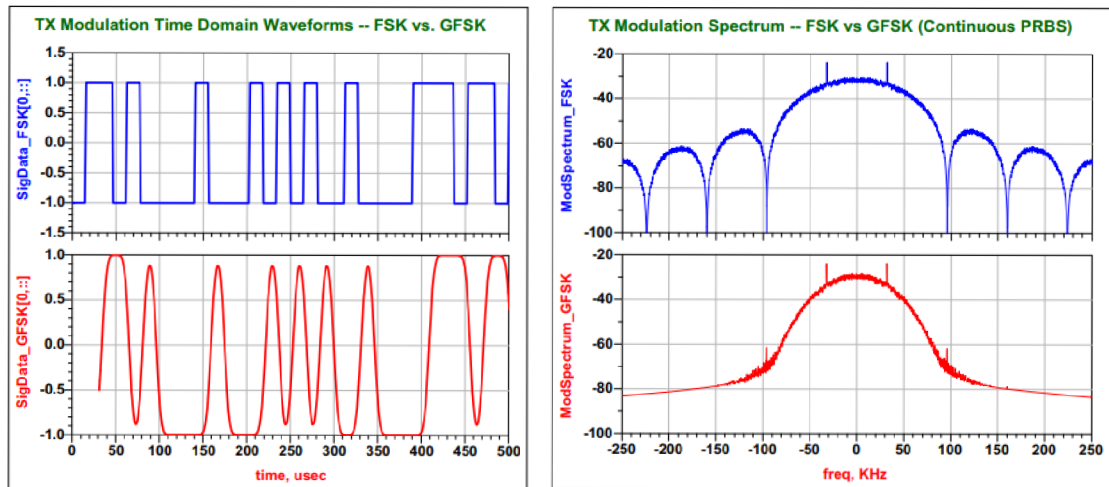
Kódování manchester – používá se pro kódování signálů, v případě synchronního přenosu je potřeba přenášet i synchronizační signál. Používá se například u ethernetu.

Rychlost přenosu dat ( $R_b$ ) – 2,4 kb/s

Modulační odchylka ( $F_d$ ) – 36 kHz

Pokud je kódování Manchester zakázáno, požadovaná šířka pásma se vypočítá jako[5]:

$$BW = 2F_d + R_b = 2 * 36 * 10^3 + 2,4 * 10^3 = 74,4 \text{ kHz}$$



Obr 9: Porovnání modulace FSK a GFSK. Zdroj [5]



## **4.5 Baterie**

Umístění senzorů vyžaduje určitá pravidla. PIR reaguje i na východ a západ slunce. Aby nedocházelo k vyvolání planého poplachu, je vhodné eliminovat tyto chyby vhodným umístěním senzoru, například do horního rohu místnosti nad okno. Senzorová část systému by měla být co nejmenší a nevzbuzovat na první dojem zbytečnou pozornost. Na to bylo od začátku návrhu pamatováno a zvoleno bylo bateriové napájení galvanickým článkem.

Napětí na článku vzniká chemickou reakcí mezi elektrodami a elektrolytem. Tyto reakce jsou vratné nebo nevratné. V případě vratných reakcí hovoříme o sekundárních člancích, napětí na tomto článku se dá znovu obnovit. Nevratné reakce se týkají primárních článků, tyto články disponují funkcí znovu nabití. U galvanických článků se používají různé kombinace chemického složení jak pro elektrody, tak i pro elektrolyt, které zachovávají požadované vlastnosti článku. Nejčastěji používanými látkami pro zápornou elektrodu jsou: zinek, lithium, kadmium. Pro kladnou elektrodu: oxid manganičitý, oxid stříbrný. Jako elektrolyt využíváme vodné roztoky silných kyselin a jejich solí. V mnoha situacích se můžeme setkat i s bezvodným elektrolytem, které obsahují sůl rozpuštěnou v organickém rozpouštědle.

### **Alkalické baterie Zn/MnO<sub>2</sub>**

Mezi nejrozšířenější baterie na trhu patří jistě alkalické články. Ve srovnání s karbon-zinkovými články disponují alkalické daleko větší kapacitou. Alkalické články se nehodí do zařízení s vysokým odběrem, špatně odolávají nízkým a vysokým teplotám. Při teplotě pod bodem mrazu ztrácí kapacitu a při teplotě – 20 °C se dostaneme pouze na 20 % samotné kapacity. Při vysokých teplotách hrozí vytečení elektrolytu a následné nevratné poškození článku. Mezi hlavní výhody patří nízké samovybíjení. Nová baterie má napětí 1,5 V.

### **Lithiové baterie**

Jsou články primární, můžeme se s nimi setkat v podobě knoflíkových článků. Na trhu jsou 9 V baterie. K dispozici jsou články velikosti AA nebo AAA. AA článek disponuje napětím 1,5 V a lze jím bez obav nahradit článek alkalický. Mezi výhody tohoto článku lze zařadit nízkou hmotnost, velmi nízké samovybíjení a vhodnost použití do zařízení s vyšším odběrem. Tyto články také velmi dobře snáší vysoké a nízké teploty. Napětí na tomto článku může být od 1,5 V až do 3,7 V v závislosti na konstrukci a použitém materiálu při výrobě. Proti alkalickým článkům mají značně větší kapacitu, což se negativně odráží na jejich ceně.

## **Akumulátor**

Akumulátorem rozumíme článek nebo baterii, z které lze elektrickou energii vybit a následně nabít a tento postup opakovat. Běžně používané akumulátory mají životnost až stovky nabíjecích cyklů. Jeden akumulátor nám nahradí až stovky primárních baterií, což se odrazí na ceně.

### **Olověné akumulátory**

Výhodou těchto akumulátorů je možnost dodat rázově vysoký proud, což je typickým příkladem pro start automobilu. Životnost je někde mezi 500-800 nabíjecími cykly. Velmi dobře odolávají nízkým teplotám. Když je akumulátor delší dobu vybitý, dojde na jeho elektrodách k sulfataci, což výrazně snižuje jeho kapacitu, je vhodné ho co nejdříve dobít. Jako nevýhodu bychom označili vyšší hmotnost a to díky použitému olovu.

### **Li-ion**

V dnešní době se s Li-ion články setkáváme v různých zařízeních od mobilních telefonů až po ruční vrtačky. Hlavní výhodou je nízké samovybití a možnost dodávat do obvodu vysoké proudy. Disponují vyšším napětím článku a to 3,6 V, plně nabitý článek má 4,2 V. Jsou velmi citlivé na hluboké vybití. K nevratnému poškození dochází při poklesu napětí pod 2,4 V. Většina článků má ochranný obvod, pokud dojde k výraznému poklesu napětí, obvod odpojí baterii. Životnost dosahuje 500 až 1000 cyklů. Pokud se článek nepoužívá, dojde k výraznému poklesu životnosti. Články Li-ion potřebují speciální nabíjecí metodu, která nese označení (constant current, constant voltage). Vybitá baterie se nabíjí konstantním proudem a to až do napětí 4,25 V to je zhruba 90 % kapacity, poté se přejde do fáze nabíjení konstantním napětím. V této fázi se na článku začne snižovat nabíjecí proud a napětí na článku již neroste.

### **Li-pol**

Hlavní rozdíl proti Li-ion článku je v použití pevného elektrolytu. Napětí článku je stejné jako u Li-ion a to 3,6 V. Jsou také až o 15 % lehčí jak Li-ion, velmi často se využívají u RC modelů. Jako jediné negativum bychom mohli označit poněkud vyšší cenu.

### **NiZn**

Tyto baterie nejsou na trhu příliš běžné. Napětí článku je 1,65 V. Stabilita těchto článků není dobrá s čímž klesá i rychle jejich životnost. Je potřeba dát velký důraz při skládání baterie z těchto článků a to z důvodu součtu napětí. Příkladně pokud využijeme čtyři články o napětí 1,65 V, může dojít k poškození samotného zařízení vlivem přepětí. Dále tyto články trpí již po 30 vybitých cyklech velkým samovybitím.

## NiCd

Jsou zastaralé nabíjecí akumulátory dnes již plně nahrazení NiMH. Mají vysokou hodnotu samovybíjení. Napětí je 1,2 V a to téměř po celou dobu vybíjení. Jsou velmi citlivé na přebíjení, což výrazně zkracuje jejich životnost.

## NiMH

Mezi nejrozšířenější nabíjecí články patří NiMH o velikostech AA nebo AAA. Obrovský pokrok v tomto odvětví přinesla společnost Sony, která přišla na trh v roce 2005 s akumulátory Eneloop, což jsou první články NiMH LSD, tyto monočlánky mají výrazně snížený efekt samovybíjení. NiMH LSD (Low self discharge) mají o trochu nižší kapacitu proti NiMH. Ale mezi jejich obrovskou výhodou patří vlastnost uchovat až 90 % své energie po roce skladování

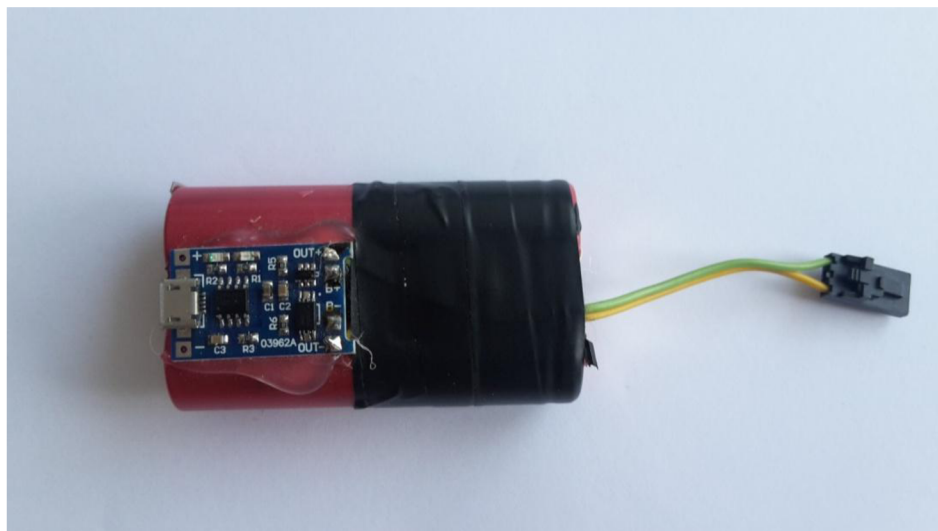
Napětí článku je 1,2 V, s kapacitou okolo 2500 mAh. Zásadní vliv na životnost článku hraje kvalita používané chytré nabíječky. V normálních případech se životnost pohybuje kolem více jak 1000 cyklů.

## Závěr

V naší konstrukci máme dvě možnosti napájení sensorových jednotek. V prvním případě můžeme použít dva články Li-ion o kapacitě 2 x 2600 mAh, doplněné o nabíjecí obvod TP4056. Tento obvod zajišťuje nabíjení i odpojení baterie při poklesu napětí pod 2.4 V, kdy může dojít k nenávratnému poškození baterie. A v případě následného nabíjení, může dojít i k explozi. Tento obvod tyto problémy eliminuje.

V druhém případě lze senzory napájet třemi alkalickými články Zn/MnO<sub>2</sub> velikosti AA, o kapacitě jednoho článku 2580 mA a napětí 1,5 V.

V našem zabezpečovacím systému jsme se přiklonili k napájení nabíjecími Li-ion články, a to hlavně z důvodu možnosti nabití. V praxi tak stačí mít k dispozici záložní, nabitý battery pack a případně jej vyměnit za nabitý.



Obr 10: Akumulátor s nabíjecím obvodem TP4056

## 4.6 Stabilizátor napětí

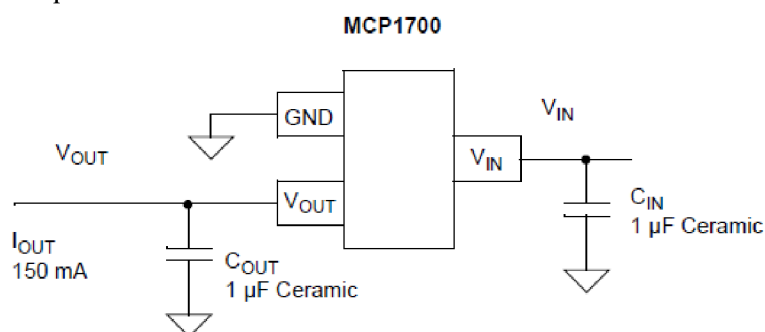
Jeden z hlavních úkolů v zadání práce je vysoká výdrž baterie – tzn. nízká spotřeba. Senzory budou napájeny z lithium-iontových akumulátorů. Pro bezdrátový modul DRF4432F20 je potřeba napětí stabilizovat, jelikož tento modul lze napájet maximálním napětím 3,6 V. Pokud vezmeme v úvahu, že senzory budou napájeny Li-ion akumulátory, napětí může dosáhnout až 4,2 V. Toto napětí by bylo pro bezdrátový modul destruktivní. Dalším parametrem, který musí stabilizátor splňovat, je maximální hodnota proudu. Pro tento stabilizátor je dovolen maximální proud 250 mA při 2,5 V. Maximální proud, který spotřebuje modul, je 85 mA a to pouze v době vysílání. Tato podmínka je bez výhrad splněna.

Zvolil jsem stabilizační napětí 2,5 V a to z důvodu, že pokud bychom zvolili větší napětí, nevyužili bychom veškerou energii z článku. Pro vysvětlení, při příkladném použití stabilizátoru 3,3 V a zároveň napětí na baterii 3 V by nedošlo k napájení bezdrátového modulu DRF4432F20.

V úvahu tedy přichází stabilizátory s nízkým příčným proudem, vybral jsem hojně používaný MCP1700, jehož cena je průměrně **10 Kč**.

### MCP1700:

- vstupní napětí: 2,3 – 6,0 V
- vlastní spotřeba: 1,6 – 4  $\mu$ A
- teplotní rozsah: -65°C až +150°C
- maximální proud: 250 mA



Obr.11: Základní zapojení stabilizátoru MCP1700. Zdroj [7]

### Výkonová ztráta na stabilizátoru:

- vysílání:

$$U_{ZTR} = U_{vst} - U_{stab} = 4,2 - 2,5 = 1,7 V$$

$$U_{ZTR} * I_{TX} = 1,7 * 0,085 = 0,1445 W$$

Ztrátový výkon na stabilizátoru při maximálním odběru rádiového modulu je 144 mW. Výrobce dovoluje pro pouzdro SOT-23, ztrátový výkon až 369 mW. [7]

## 4.7 Energetická bilance

Postup pro výpočet energetické bilance je převzatý z bakalářské práce: *Řízení dvoukřídle brány* [9].

Jedná se pouze o teoretický výpočet, odhadovaná využitelná kapacita z baterie o kapacitě udávané výrobcem 3300 mAh, reálně se ovšem pohybujeme někde využitelné kapacitě 3000 mAh. Reálná kapacita baterie nebyla změřena.

Úsporný mód:

Jedná se o stav, kdy veškerá elektronika spí, je aktivní pouze čidlo, pro výpočet náboje spotřebovaného za den použijeme vztah (4.1), který pouze dále poupravíme pro další komponenty.

$$Q_{PIR} = I_{PIR} * 24 = 50 * 10^{-6} * 24 = 1,2 \text{ mAh} \quad (4.1)$$

$$Q_{\mu P} = I_{\mu P} * 24 = 4 * 10^{-6} * 24 = 96 * 10^{-6} \text{ mAh}$$

$$Q_{modul} = I_{modul} * 24 = 1 * 10^{-6} * 24 = 24 * 10^{-6} \text{ mAh}$$

$$Q_{stabilizátor} = I_{stabilizátor} * 24 = 4 * 10^{-6} * 24 = 96,6 * 10^{-6} \text{ mAh}$$

Pro získání celkové denní spotřeby pouze jednotlivé hodnoty sečteme (4.2).

$$Q_{CELK/den} = Q_{PIR} + Q_{\mu P} + Q_{modul} + Q_{stabilizátor} = 1,4166 \text{ mAh} \quad (4.2)$$

$$t_{bat} = \frac{3300}{1,4166} = 2329 \text{ dní} = 6,38 \text{ let} \quad (4.3)$$

Na baterii o kapacitě 3300 mAh by senzor vydržel ve sleep módu běžet více než 6 let (4.3) Ovšem nelze předpokládat, že modul bude neustále v úsporném režimu.

Předpokládejme, že senzor bude narušen v průměru dvakrát denně. Je třeba vzbudit procesor, odeslat data a přijmout potvrzení. Senzor PIR jsem nastavil tak, že pokud zaznamená narušení, zůstane v log. 1 po dobu 1s (tuto hodnotu lze volit pomocí potenciometru přímo na senzoru).

Vlastní spotřeba stabilizátoru je udávána maximálně 4  $\mu$ A, doba  $t_{stabilizátor}$  je dána součtem hodnot  $t_{transmit}$  a  $t_{receive}$ , pro výpočet jsem použil naměřené hodnoty. Spotřebu jednotlivých částí v době aktivity vypočítáme ze vztahu (4.4).

$$Q_{CPUon} = \frac{t_{zap} * I_{zap}}{3600} = \frac{18 * 10^{-3} * 0,9 * 10^{-3}}{3600} = 4,55 * 10^{-6} \text{ mAh} \quad (4.4)$$

$$Q_{PIR} = \frac{t_{PIR} * I_{PIR}}{3600} = \frac{1 * 65 * 10^{-3}}{3600} = 18 * 10^{-3} \text{ mAh}$$

$$Q_{transmit} = \frac{t_{transmit} * I_{transmit}}{3600} = \frac{2,5 * 10^{-3} * 80 * 10^{-3}}{3600} = 55,55 * 10^{-6} \text{ mAh}$$

$$Q_{receive} = \frac{t_{revive} * I_{revive}}{3600} = \frac{5 * 10^{-3} * 18,1 * 10^{-3}}{3600} = 25,14 * 10^{-6} \text{ mAh}$$

$$Q_{stabilizátor} = \frac{t_{stabilizátor} * I_{PstabilR}}{3600} = \frac{100 * 10^{-3} * 4 * 10^{-6}}{3600} = 111 * 10^{-9} \text{ mAh}$$

Celkovou spotřebu v době aktivity senzoru spočítáme sečtením jednotlivých hodnot (4.5)

$$Q_{aktive}(t_{zap} + t_{PIR} + t_{transmit} + t_{revive}) = \quad (4.5)$$

$$(4,55 * 10^{-6} + 18 * 10^{-3} + 55,55 * 10^{-6} + 25,14 * 10^{-6} + 111 * 10^{-9}) =$$

$$= 121,791 * 10^{-3} \text{ mAh}$$

$$Q_{2aktive} = 2 * Q_{aktive} = 243,582 * 10^{-3} \text{ mAh} \quad (4.6)$$

Z výpočtu lze vidět, že spotřeba v době kdy je senzor aktivní (2x denně) je asi 200x větší než pokud senzor spí celý den (4.6). Je tedy zbytečné provádět nějaké přesnější výpočty a můžeme tyto dvě hodnoty bezpochyby sečíst (4.7)

$$Q_{total} = 2 * Q_{aktive} + Q_{CELK/den} = 243,582 * 10^{-3} + 1,4166 = 1,9037 \text{ mAh} \quad (4.7)$$

Pro výpočet doby výdrže baterie, použijeme vztah (4.8), kde  $Q_{bat}$  je kapacita baterie a  $Q_{total}$  celková spotřeba při narušení 2x denně.

$$t = \frac{Q_{bat}}{Q_{total}} = \frac{3300}{1,9037} = 1733 \text{ dni} = 4,74 \text{ let} \quad (4.8)$$

Reálně ovšem z baterie nikdy nelze získat 100 % energie, dále je potřeba započíst i samovybití. U článků Li-ion je samovybití okolo 8 % za měsíc.

Centrální jednotka musí dostávat od senzoru i další údaje, jako je stav baterie, dosah senzoru či jeho poškození. Pokud by centrální jednotka dostala tyto hodnoty dvakrát za den, byla by zachována spotřeba. Ovšem vzhledem k efektivitě zařízení je třeba odeslat paket s těmito daty častěji. Je ale třeba zvolit vhodný kompromis mezi dobou odeslání informačního paketu a výdrží baterie.

Pro výpočet počtu paketů jsme uvažovali kapacitu baterie 3300 mAh a její životnost 2 roky. Dosazení do vzorce by vypadlo následovně (4.9):

$$Q_{total1} = \frac{Q_{bat}}{t} = \frac{3300}{730} = 4,5205 \text{ mAh/den} \quad (4.9)$$

Odečteme spotřebu v úsporném módu (4.10):

$$Q_{-sleep} = Q_{total1} - Q_{CELK/den} = 4,5205 - 1,9037 = 2,6168 \text{ mAh/den} \quad (4.10)$$

Na vysílání paketů nám zbyla energie 2,6168 mAh/den. Pomocí jednoduchého výpočtu (4.11), zjistíme kolik můžeme odeslat denně paketů.

$$X_{\text{paketů}} = \frac{Q_{\text{-sleep}}}{Q_{\text{aktive}}} = \frac{2,6168}{121,791 \cdot 10^{-3}} = 27,245 = 21 \text{ paketů} \quad (4.11)$$

Při výdrži baterie 2 roky můžeme tedy odeslat 21 paketů denně, pokud bychom kapacitu baterie zvýšili dvakrát, byla by tato hodnota taktéž dvakrát větší, což by znamenalo 42 paketů. Od této hodnoty musíme odečíst uvažované přerušení 2x denně. To se rovná denně 40 informačních paketů, v přepočtu okolo dvou paketů za půl hodiny.

Kapacita baterie	Informační paket 1x za:
3300	36 min
6600	18 min
9900	9 min

Tab.3: Srovnání výdrže dle kapacit baterie

Výpočet je platný pro kapacitu baterie 3300 mAh, ovšem reálná kapacita článku bude jiná. Je třeba také brát v úvahu to, že z baterie nikdy nelze získat 100% energie a zanedbatelné není ani samovybití, s kterým v tomto výpočtu není uvažováno. U Li-ion baterií je samovybití okolo 8 % za měsíc.

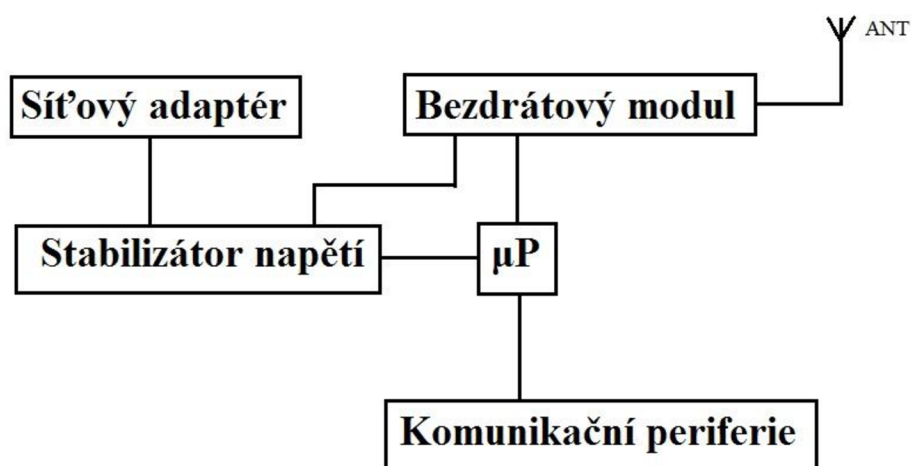
#### **4.7.1 Reálné měření**

Měření reálné klidové spotřeby bylo provedeno multimetrem UNI-T UT30D a měřicí stanicí Metex MS-9170. Senzor se nacházel ve stavu spánku a jeho naměřená spotřeba byla 60  $\mu$ A, měření bylo ověřeno pomocí digitálního osciloskopu a proudové sondy. Při vysílání zprávy o narušení prostoru došlo k probuzení senzoru spotřeba se zvýšila na 30 mA a to po dobu 50 ms. Poté je senzor uveden opět do režimu spánku. Reálné měření potvrzující výdrž akumulátoru nebylo provedeno.

## 5 Centrální jednotka

Centrální neboli hlavní řídicí jednotka je srdcem celého zařízení. Zde už tolik nezáleží na spotřebě, bude nejspíše napájena ze síťového napětí pomocí adaptéru. Hlavní jednotka by měla zajišťovat komunikaci se senzory a s uživatelem.

Jádrem je opět mikroprocesor ATmega328P a samozřejmě bezdrátový modul DRF4432F20, který zajišťuje sběr dat z jednotlivých senzorů. Nakonec je potřeba zmínit i součástky zajišťující úpravu napětí pro jednotlivé části.



Obr 12: Blokové schéma centrální jednotky

Komunikační periferie zajišťuje odesílání informace o senzorech. Pro tuto konstrukci jsem zvolil GSM/GPRS modul SIM800L, který zajišťuje odesílání informací o jednotlivých senzorech pomocí GPRS a GSM. Tento modul komunikuje s mikroprocesorem po sériové lince UART.

Další variantou byla možnost zvolit modul vybavený ethernetem a data odesílat prostřednictvím internetového připojení. Po zvážení nutnosti zajišťovat kabelové připojení k internetu jsem tuto možnost zavrhl.



## 5.1 GSM/GPRS komunikace

Tento modul má za úkol zajišťovat komunikaci mezi uživatelem a centrální jednotkou. Disponuje také možností komunikace přes GPRS, kterou lze využít pro zobrazení stavu senzorů pomocí webového rozhraní. Výhodou tohoto modulu jsou jeho malé rozměry, nízká klidová spotřeba a cena. Komunikace s mikroprocesorem probíhá po sériovém portu. Výrobce zveřejňuje i poměrně široký "Commands manual" kde lze dohledat jednotlivé AT příkazy. [10]

SIM800L:

Napájecí napětí	3,4 – 4,4 V ss
Power down mode	50 $\mu$ A
Sleep mode	1-2 mA
Maximální proud	2 A (přihlašování SIM do sítě)
Formát SIM	Micro

Tab.4: Parametry SIM modulu



Obr.13: SIM800L. Zdroj [6]

Ukázka komunikace, odesílání dat na thingspeak.com:

```
AT+CGATT? //inicializace
AT+CPISHUT
AT+CPISTATUS
AT+CPIPMUX=0
AT+CIPSHUT
AT+CIPSTART="TCP","api.thingspeak.com","\80" //připojení TCP
AT+CIPSEND", ">
GET
https://api.thingspeak.com/update?api_key=0TS8UEN2IY5O58OD&field1="+String(S1)
CTRL+Z // připojení k databázi pomocí API klíče a nahrání dat
"AT+CIPSHUT // ukončení komunikace, odpojení od serveru
```

Při návrhu je nutné mít na paměti špičkový odběr GSM modulu při registraci do sítě.

## 5.2 Komunikace se senzory

Komunikace centrální jednotky se senzory je zajištěna pomocí bezdrátových modulů DRF4432F20. Je šifrována 128bitovým standardem AES. Komunikace s mikroprocesorem probíhá po sběrnici SPI.

Čip SI4432 je vybaven dvěma FIFO zásobníky pro RX a TX, které mají velikost 64 bitů. Pokud tyto zásobníky přetečou, nastává přerušení. Toto je potřeba softwarově ošetřit. Odesílat krátké zprávy a pravidelně zpracovávat data.

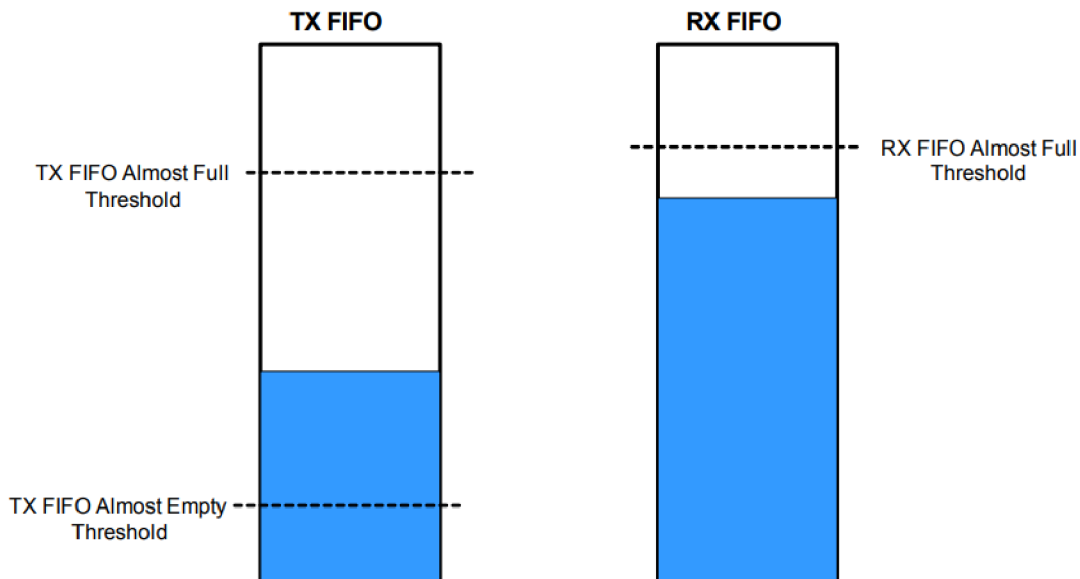


Figure 17. FIFO Thresholds

Obr 14: FIFO zásobník. Zdroj [5]

Fáze komunikace tedy lze rozdělit na dva stavy: na stav přijímání dat RX a na stav vysílání TX.

### TX – vysílání:

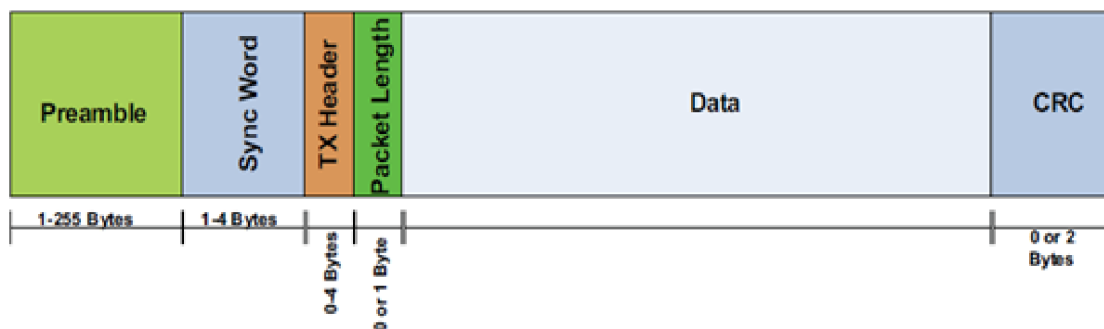
V první řadě dojde k zapnutí napětí, oscilátoru, fázového závěsu a ke kalibraci. V druhé fázi se zapne zesilovač a vyšle se paket.

### RX – příjem:

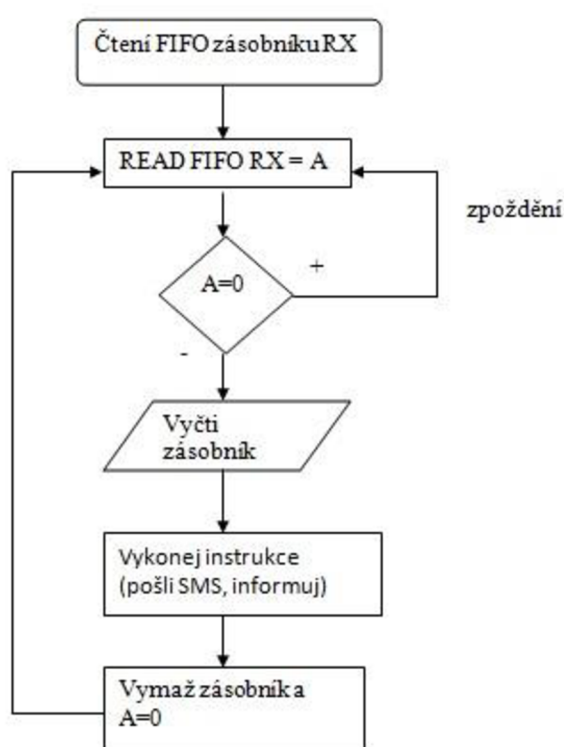
První část je stejná jako u TX. Ve druhé dochází k zapnutí přijímače LNA a slučovače. Posledním krokem je zapnutí příjmu.

Po odeslání potvrzovacího paketu (informaci že se data přenesla), lze bezdrátový modul opět převést do sleep módu. Dále je možné celý rádiový modul uvést do shutdown úsporného módu a to externím pinem SDN. V tomto úsporném režimu, má rádiový modul deklarovanou spotřebu 15 – 50 nA, ovšem za cenu ztráty konfigurace. Realizované zařízení obsahuje tři sensorové jednotky, se kterými pracuje zabezpečovací systém. K zařízení není možné připojit další sensorové jednotky bez úpravy programu v centrální jednotce.

Složení paketu:



Obr 15: Konfigurace paketu. Zdroj [5]



Obr 16: Vývojový diagram pro příjem dat

Procesor kontroluje, jestli se neobjeví paket v RX FIFO zásobníku, pokud je zásobník prázdný, po určité době dochází opět k jeho kontrole.

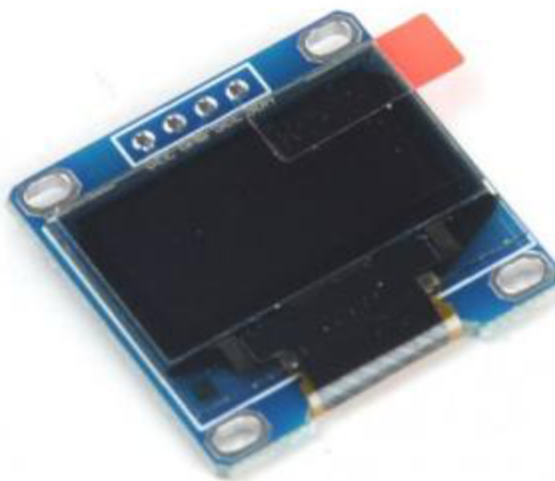
Jakmile se ale v zásobníku objeví paket, data se přepošlou do mikroprocesoru, kde dochází k jeho rozkódování. Dochází k rozložení paketu, kde se dle hlavičky zjistí, z kterého senzoru přišel paket.

V tuto chvíli již procesor komunikuje s modulem GSM/GPRS a dochází k odeslání SMS a zaznamenání přerušení na internetovou stránku pomocí datového přenosu. Zápis dat na internet probíhá každou minutu a to pouze v případě, že dojde k narušení některého ze senzorů.

V průběhu testování zařízení nedošlo ke zaznamenání kolize komunikace senzorů. I ovšem jedná se o zabezpečovací systém a tak by jednotlivé senzory měly dostávat zpětnou vazbu od centrální jednotky. Toto řešení je možné ovšem na úkor spotřeby jednotlivých senzorů. Vysílání o narušení a čekání na potvrzení, plus spotřeba při samotném příjmu. Minimalizace kolize je řešena opakovaným odesláním dat o narušení po určitém čase. Mezi odesláním dat procesor spí.

### **5.3 Zobrazovací zařízení**

Pro dokonalejší přehled o stavu zabezpečovacího systému bylo vhodné doplnit centrální jednotku o displej, Na trhu se vyskytuje celá řada displejů od LCD až po nejmodernější OLED, které jsou využívány především pro svou nízkou spotřebu. Pro naši konstrukci jsem zvolil jeden z nejrozšířenějších OLED displejů o velikosti 0,96 palce. Tento displej disponuje řadičem SSD1306, který komunikuje s vnějším prostředím po dvou vodičové sběrnici I2C. Dále je potřeba displej napájet a to v rozsahu napětí 3,3 V až 5 V. Maximální spotřeba displeje se pohybuje kolem 25 mA, při napájení 5 V a při rozsvícení všech bodů na displeji. Pro Arduino IDE je na internetu dostupná celá řada knihoven, avšak za zmínku stojí tyto dvě. Jedná se o knihovnu U8Glib a SSD1306ASCII. První zmíněná knihovna má široký rozsah použití od zobrazení geometrických útvarů až po možnosti rotace textu. Druhá výše zmíněná knihovna SSD1306Acsii umožňuje pouze zobrazit text na displeji, definovat font písma a velikost textu. V porovnání s knihovnou U8Glib je její velikost zanedbatelná. Pro naše použití bude dostačující knihovna SSD1306ASCII, i když neumožňuje použití široké grafiky.



Obr 17: I2C OLED displej 0,96“ 128x64 bílý

## **5.4 Inicializace uživatele**

Aby byla zajištěna bezpečnost a centrální jednotku nemohl ovládat náhodný uživatel, je centrální jednotka nadále vybavena inicializací uživatele kartou. O tu se stará RFID čtečka s vestavěnou anténou, obsahuje integrovaný obvod MFRC522. Tato čtečka disponuje vestavěnou anténou a pracuje na frekvenci 13.56 MHz, umožňuje zapisovat a číst RFID karty. mezi podporované karty patří: Mifare S50, S70, Ultralight, Pro, DESFire. Komunikace je zajištěna po sběrnici SPI, je možnozt také využít výstupní pin IRQ pro přerušení. Napájecí napětí RFID je 2,5 až 3,6 V. Aktivní spotřeba se pohybuje kolem 20 mA. Klidová spotřeba čtečky je zanedbatelná pod 80  $\mu$ A. Ke komunikaci s procesorem byla využita knihovna MFRC522 dostupná na internetu a v příloze tohoto dokumentu.

### **Princip:**

Modul vysílá impuls o určité délce, ten je přijat anténou (kartou, přívěskem) ta je naladěna na stejnou frekvenci. Přijatým impulsem je nabit kondenzátor, po ukončení komunikace vyšle karta nebo přívěšek své data. Délka dat je 128 bitů, jejich obsahem je i zabezpečovací kód. Data jsou zachycena anténou modulu a dekodována.



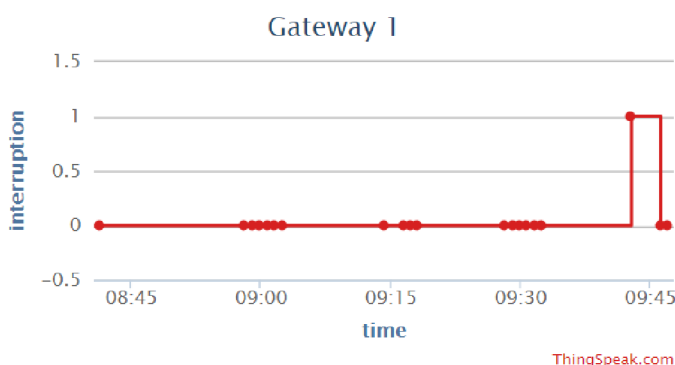
Obr 18: RFID čtečka s vestavěnou anténou

## **5.5 Softwarové ovládání centrální jednotky**

Po úspěšné inicializaci RFID kartou lze ovládat zabezpečený prostor tlačítkem, umístěným na centrální jednotce pod OLED displejem. Pokud dojde k úspěšnému přihlášení uživatele, lze odemknout či zamknout zabezpečený prostor. Po inicializaci je definovaná doba možnosti ovládání, po uplynutí této doby je potřeba se znovu kartou inicializovat.

## 5.6 Webové rozhraní

Jelikož modul SIM800L disponuje možností připojení k internetu, je tedy možné nepřetržitě monitorovat informace o jednotlivých senzorech. Celý systém je konstruován tak, že je možno ho sledovat pomocí běžného webového prohlížeče. Existuje široké množství webových stránek, které nabízí možnost sdílení dat na internetu, ať zdarma nebo za poplatek. Pro tento projekt byla vybraná stránka Thikgspeak.com, zde můžeme zdarma sdílet až 3 miliony záznamů ročně. Jedna z nevýhod neplacené verze spočívá s tom, že data na server je možno odesílat v časovém horizontu 15 sekund. Na SIM kartě, která je umístěna v modulu, je aktivován datový balíček. Při dnešních cenách mobilních služeb si není třeba lámat hlavu s velikostí dat zasílaných přes GPRS.



Obr 19: Webová databáze ThingSpeak.com

Na webové stránce: <https://thingspeak.com/channels/393733> je možno sledovat online stav zabezpečovacího systému. Brány (gateway) odpovídají podle číslování senzorů. Hodnota jedna odpovídá narušení senzoru a hodnota nula je zobrazena, pokud nebyl senzor narušen.

## 5.7 Obsluha GSM

Je třeba zajistit neustálou informovanost o zabezpečeném prostoru. Pokud nemá uživatel možnost pozorovat stav zabezpečení přes internet. Má možnost sledovat stav systému pomocí mobilního telefonu. Pokud tedy některý ze senzorů detekuje narušení, odešle informaci centrální jednotce a ta informuje uživatele pomocí SMS. Dále je třeba zajistit odemčení a uzamčení prostoru, který nebude třeba neustále hlídat, ale také provádět v prostoru práci, manipulaci nebo údržbu. Centrální jednotka disponuje signalizační LED diodou a OLED displejem, který signalizuje stav zabezpečovacího systému.



## 5.8 Napájení centrální jednotky

U centrální jednotky nelze použít tutéž koncepci zdrojové části jako u senzorů. A to z toho důvodu, že tato část je navíc osazena modulem pro komunikaci GSM a GPRS. Při registraci SIM karty dochází ke špičkové spotřebě, která dosahuje špičkově až 2 A, je tedy třeba použít tvrdý zdroj, aby nedošlo k poklesu napětí a následnému nepřihlášení modulu do sítě.

Stabilizátor napětí bylo třeba vybírat dle těchto dvou kritérií:

- volit stabilizované napětí tak aby bylo možné tímto napětím napájet všechny komponenty
- pamatovat na špičkový odběr GSM/GPRS při registraci SIM do sítě

Vzhledem k těmto požadavkům přišel v úvahu stabilizátor LM317 vyráběný v mnoha pouzdrech. Pro naši koncepci jsem vybral vhodnější pouzdro SMD SOT-223.

Je třeba dodržet podmínku a to aby napětí  $V_{input} - V_{output}$  bylo v rozsahu 3 – 40 V, což dokazuje vztah (5.1). V prvním návrhu bylo  $V_{output}$  je zvoleno tak, aby vyhovovalo všem komponentům a nebylo třeba dalších úprav, zvolili jsme  $U_0$  3,5 V, ovšem napětí 3,5 V nevyhovuje dovolenému napájecímu napětí SIM modulu a při registraci SIM karty do sítě modul značně chyboval. Výstupní napětí stabilizátoru jsme tedy zvolili na hodnotu 4,2 V což již vyhovuje SIM, ale nespĺňuje napájecí podmínky pro rádiový modul. Před rádiový modul bylo tedy nutné zařadit lineární stabilizátor MCP1700. Ze vztahu (5.2) je nutno vypočítat velikosti odporu k obvodovému zapojení LM317 pro napětí 4,2 V [11]

$$V_{input} - V_{output} = 13,6 - 4,2 = 9,6 V \quad (5.1)$$

$$R_2 = R_1 * \left( \frac{U_0}{1,25} - 1 \right) \rightarrow R_1 = 150 \Omega \text{ a } R_2 = 350 \Omega \quad (5.2)$$

Zvolené hodnoty odporů odpovídají výstupnímu napětí 4,17 V.

K dispozici byl napájecí adaptér BKE TYP: JS25-138, disponující výstupním napětím 13,8 V / 1,8 A. Pro naši koncepci je tento napájecí adaptér dostačující.



Obr 20: Napájecí adaptér BKE JS25-138

## 6 Návrh a realizace

V této kapitole bude popsán průběh realizace, dle výše uvedeného návrhu. Veškerá dokumentace je k dispozici na vloženém CD.

### 6.1 Realizace plošného spoje

Nákres schématu zapojení byl realizován v programu Eagle. Samotné schéma i návrhy obou desek plošných spojů je zařazen do přílohy tohoto dokumentu.

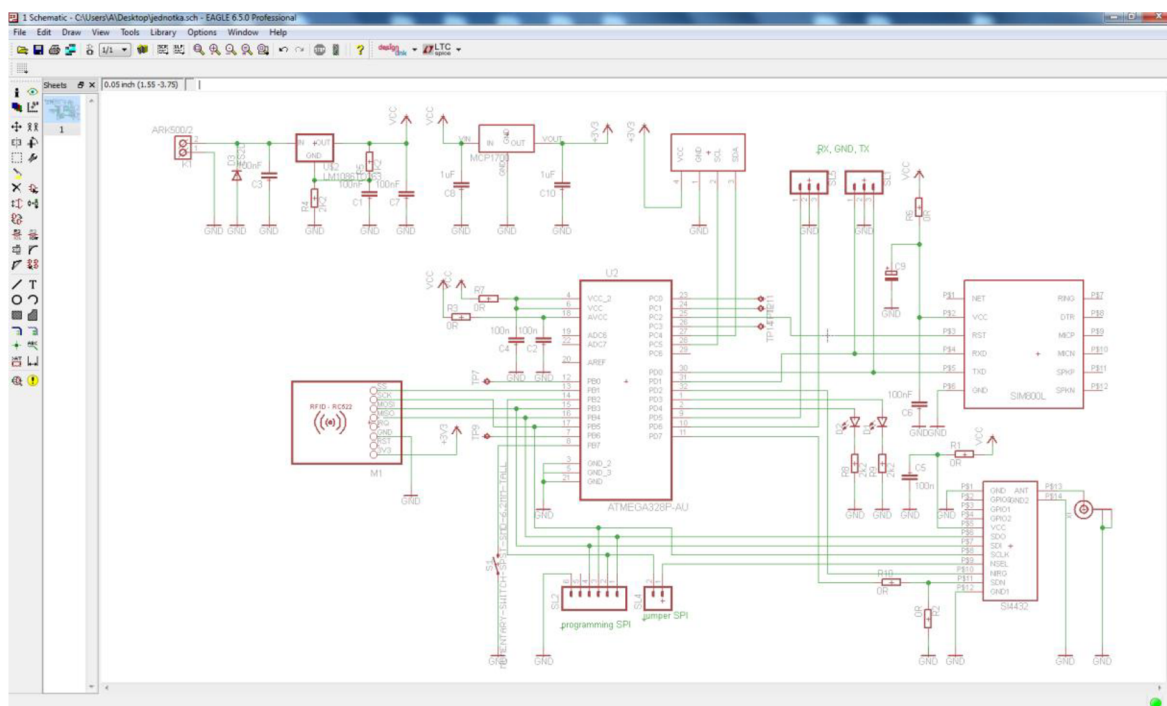
K samotné výrobě jsem využil možnosti nechat DPS zhotovit ve školní dílně na URELu. V návrhu bylo nutné dodržet základní instrukce výroby:

- otvor pro prokovení: 0,6 mm
- velikost mezikruží plochy pro průměr vrtáku 0,6 mm: 0,4 mm

Třída přesnosti byla zvolena s ohledem na velikost součástek a DPS.

Tyto základní parametry zajistí bezpečné prokovení otvoru. Další parametry pro výrobu DPS na fakultě jsou součástí přílohy dokument: Výroba DPS Urel[12]

Základní návrh byl doplněn tím, že jednotlivé volné piny mikroprocesoru byly vyvedeny na DPS jako zkušební body pro případné připojení diody LED při ožívování. Na plošném spoji centrální jednotka jsem vyvedl I2C sběrnici pro případné budoucí připojení LCD displeje.



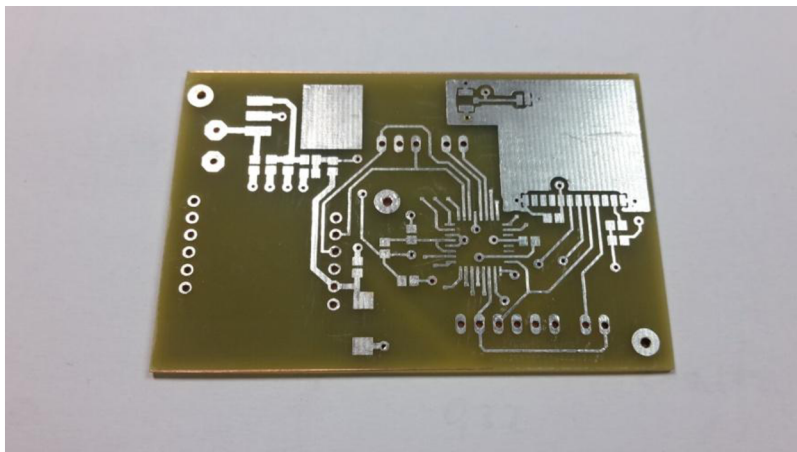
Obr 21: Editor plošných spojů Eagle



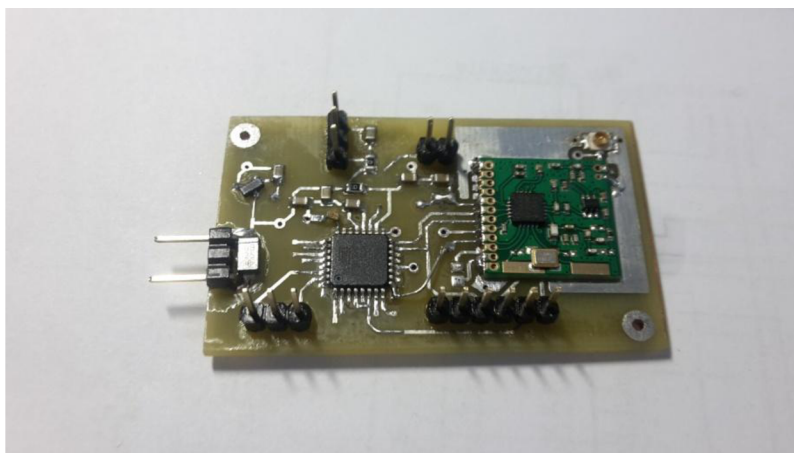
## **6.2 Osazení DPS a oživení**

DPS vyrobené ve školní dílně nejsou vybaveny ochranou maskou. Z důvodu ochrany byly pocínovány a osazeny součástkami. V prvním kroku byly osazeny mikroprocesory a rádiové moduly. Následně zdrojová část. Po ověření správnosti napájecího napětí byly osazeny nulové odpory nebo cínové propojky.

### **6.2.1 Ukázky průběhu práce s DPS**



Obr 22: Cínování DPS



Obr 23: Osazení DPS senzoru

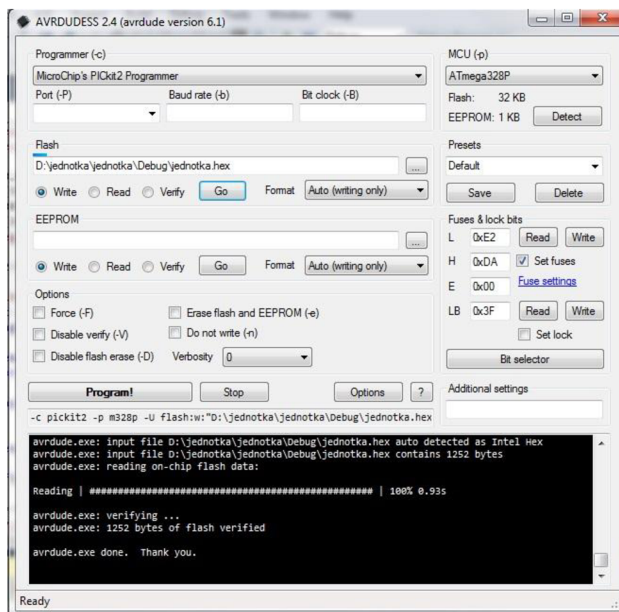
## 6.3 Programování

K programování byla využita SPI sběrnice. Jako programátor byl zvolen programátor Pickit2, který umožňuje programování PIC a zároveň i AVR. Program byl psán v jazyce C a odladován v programu Arduino IDE. Ovšem tento program neumožňuje připojení programátoru Pickit2. Bylo tedy nutné použít pro nahrání programu do mikroprocesoru ulitu AVRDUDESS, ta umožňuje nastavení pojistek, kontrolních bitů a zapsání samotného HEX souboru do paměti mikroprocesoru.



Obr.24: Programátor PICKIT2

Pro ověření základních parametrů zařízení bylo testováno na platformě Arduino a programováno v Arduino IDE. K dispozici je mnoho dostupných knihoven, které byly pro realizaci velkým zjednodušením. Ovšem ne každá knihovna vyhovuje svými funkcemi nebo svou velikostí.



Obr.25: AVRDUDESS

## **7 Ovládání celého zařízení**

Základním požadavkem na ovládání celého zařízení je jeho jednoduchost. Komunikace centrální jednotky s uživatelem je zajištěna pomocí mobilního telefonu, tlačítka a čtečky RFID. Jednoduchým zasláním krátké textové zprávy „LOCK“ a „UNLOCK“ lze zamknout nebo odemknout hlídání prostor. Odemknout prostor lze i pomocí tlačítka na centrální jednotce, předtím je ale potřeba se do systému přihlásit RFID kartou. V jakém stavu se zabezpečovaný prostor právě nachází, signalizuje LED dioda a OLED displej umístěný na centrální jednotce. Pokud dioda svítí, znamená to, že je prostor zamčen a zabezpečovací systém je aktivní. Pokud dojde k narušení zabezpečeného prostoru, přijde na mobilní telefon SMS s textem „senzor X narušen“, kde X značí číslo senzoru od 1 do 3. Dále se také na displeji zobrazí u narušeného senzoru „ALARM“. Jakmile dojde k nahrání dat o narušení na webový server, senzor na displeji zobrazí „OK“. Pokud by uživatel požadoval ekonomičtější variantu lze oznámení o narušení v programu přepsat na krátké prozvonění. Tím se minimalizují provozní náklady zabezpečovacího systému na naprosté minimum.

Zabezpečovací systém taktéž hlídá, jestli jsou jednotlivé senzory v kontaktu s centrální jednotkou, pokud některý senzor z nějakého důvodu nekomunikuje. Uživatel je o této události obeznámen zasláním SMS zprávy a tato informace se zobrazí i na displeji jako „N/A“. Této funkce se využívá, i pokud dojde k vybití akumulátoru. V případě, že senzor nekomunikuje nebo se pravidelně nehlásí, může být na vině vybitý akumulátor. V první řadě by tedy uživatel měl vyměnit akumulátor. Pokud je senzor v dosahu a pravidelně komunikuje, hlásí se jako „OK“.

## 8 Cenová kalkulace

Velká část potřebných komponentů a součástek byla zakoupena v zahraničních internetových obchodech. To se odrazilo na jejich ceně, ale také delší době dodání.

Ceny jsou uvedeny v přepočtu na Kč.

Přehled:

### **Centrální jednotka:**

- GSM/GPRS SIM800	126 Kč
- RFID čtečka	86 Kč
- OLED displej	81 Kč
- Bezdrátový modul DFR4432D20:	52 Kč
- Mikroprocesor ATmega328p	34 Kč
- 7x kondenzátor 10nF	7 Kč
- Stabilizátor LM317DT	13 Kč
- Konektor SMA	17 Kč
- Kolíková lišta	9 Kč
- Nulové odpory	1 Kč
- Stabilizátor MCP1700	10 Kč
<u>Celkem:</u>	<u>433 Kč</u>

### **Senzorová jednotka:**

- Bezdrátový modul DFR4432D20	52 Kč
- Mikroprocesor ATmega328p	34 Kč
- 5x kondenzátor 10nF	5 Kč
- Kolíková lišta	9 Kč
- Nulové odpory	1 Kč
- Konektor SMA	17 Kč
- PIR senzor	20 Kč
- Stabilizátor MCP1700	10 Kč
<u>Celkem:</u>	<u>148 Kč</u>

Při našem složení celého zařízení o celkovém počtu: jedné senzorové jednotky a tří senzorů. Je cena celého zabezpečovacího systému 880 Kč. To je asi 4x méně než nejlevnější komerčně dostupné zařízení. V ceně ovšem není zahrnuta případná cena výroby DPS, práce spojená s návrhem konstrukcí a psaní samotného programu. Pokud bychom nechaly DPS vyrobit specializovanou firmou, je potřeba k ceně zařízení připočíst částku okolo 1000 Kč.

## **8.1 Alternativní výroba DPS – firma SEMACH**

Firma se zabývá výrobou plošných se zaměřením na vývoj, prototypy a menší série s možností větších sérií za příznivé ceny. Na menší zakázky mají specializaci na expresní termíny.

Jednostranné	40,- Kč/dm <sup>2</sup>
Oboustranné	60,- Kč/dm <sup>2</sup>
Prokovené	150,- Kč/dm <sup>2</sup>
Flexibilní	160,- Kč/dm <sup>2</sup>
Hliníkové	160,- Kč/dm <sup>2</sup>

Tab 5: Orientační ceník výroby DPS [14]

Spoje: min.	0,15 mm (6 mil)
Mezery: min.	0,15 mm (6 mil)
Otvor: min.	0,30 mm (12 mil)
Max. přířez:	610 x 1220 mm
Tloušťky : laminátu	0,2-4,0 mm, měďi 18-135 um
Min. hodnota zakázky	1V, 2V - 450 Kč, 2VP, flex a hliník - 850 Kč

Tab 6: Technologické možnosti – IV. třída přesnosti [14]

### **8.1.1 Vybraná cenová kalkulace při případné výrobě DPS firmou Semach:**

- příprava prokovení	100 Kč
- vrtání CNC	50 Kč
- frézování	50 Kč
- příprava dat Eagle verze Win	200 Kč
- měděný povrch, pájitelný lak	zdarma
- stříhání	2 Kč/ks
- poštovné	85 Kč

Uvedené ceny jsou orientační, výsledná cena se odráží od složitosti výroby DPS, použité technologie a času stráveného výrobou. Za průměrnou cenu do IV. třídy přesnosti jde považovat 600 Kč/dm<sup>2</sup>. Celková plocha vyráběných DPS je 1,6 dm<sup>2</sup>. Při ceně 600 Kč/dm<sup>2</sup> je výsledná cena za vyhotovení DPS 959 Kč plus doprava 80 Kč. Veškeré ceny jsou uvedeny bez DPH.

## **9 Závěr**

Cílem této práce bylo navrhnout monitorovací systém pro zabezpečení prostoru, který obsahuje tři senzory a centrální jednotku. Počet senzorů byl zvolen na základě dohody s konzultantem práce.

Návrh senzoru je popsán ve čtvrté kapitole, v níž se postupně rozebírají funkce jednotlivých součástí senzoru, kde je důraz kladen na spotřebu.

Jako další cíl bylo navrhnout vhodné řešení centrální jednotky. Tento bod bakalářské práce je popsán v kapitole páté, kde jsou také zaneseny informace.

Mimo hlavní zadání práce jsou umístěny v dokumentu další kapitoly. V kapitole druhé jsou vyzdvihnuty některé z komerčně vyráběných zabezpečovacích zařízení a následně obecně shrnuty jejich parametry. V této kapitole bych rád upozornil na ceny jednotlivých zařízení, které se oproti námi konstruovanému zařízení značně liší.

V páté kapitole jsou bližší informace s koncepcí navrhovaného zabezpečovacího systému. V rámci bakalářské práce bylo celé zařízení realizováno a jeho funkčnost byla ověřena.

V kapitole šesté je popsán postup výroby celého zabezpečovacího zařízení. Od výroby plošného spoje až k programové části. S touto kapitolou je úzce spojena nadcházející kapitola, kde je popsáno seznámení s obsluhou zabezpečovacího systému.

V předposlední kapitole se věnuji cenové kalkulaci celého zařízení. Největší obtíží celé realizace bylo rozhodnutí programovat celé zařízení v C v Atmel Studiu, bez použití dostupných knihoven. V průběhu realizace jsem se rozhodl program přepsat a využít dostupné knihovny pro Arduino, které mi práci značně usnadnily, ovšem za cenu vyšší velikosti programu.

V závěru práce při testování celého zařízení docházelo k zamrznutí centrální jednotky, po bližším prozkoumání byly zjištěny chyby na SPI sběrnici. Tyto chyby způsobovala čtečka RFID. Po softwarovém odpojení čtečky zařízení již pracuje správně.

## Literatura

- [1] Telmo a.s. *Jabloshop* [online]. 2016. [cit. 2016-11-28]  
Dostupné z: <http://www.jabloshop.cz/jk-82-oasis-sada-pro-zabezpeceni-objektu>
- [2] OKAY s.r.o. *Okay elektro* [online]. © 2010 - 2016 by OKAY. [cit. 2016-11-28]  
Dostupné z: <https://www.okay.cz/iget-security-m2b/#nopop>
- [3] AB ALARM s.r.o. *Abaalarm* [online]. 2015 [cit. 2016-10-10]  
Dostupné z: <http://www.abalarm.cz/ishop/cs/ustredny-micra/1935-micra-set-ms1-kompletni-zabezpecovaci-bezdratovy-set.html>
- [4] Atmel. *ATmega328/P. datasheet* [online]. 11.2016 [cit. 2016-12-05].  
Dostupné z: [http://www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P\\_datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_datasheet.pdf)
- [5] Silicon Laboratories. *Si4430/31/32 ISM TRANSCEIVER* [online]. 10.2010.  
[cit. 2016-05-18].  
Dostupné z:  
<https://www.silabs.com/Support Documents/TechnicalDocs/Si4430-31-32.pdf>
- [6] Shangai SIMCom Wireless Solutions Ltd. *SIM800L\_Hardware\_Design\_V1.00*.  
[online] 2013. [cit. 2016-12-03]  
Dostupné z: <http://letmeknow.fr/blog/wp-content/uploads/2015/10/SIM800L.pdf>
- [7] Microchip Technology Inc. *MCP1700. datasheet* [online]. 2005-2013. [cit. 2016-11-30]  
Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20001826C.pdf>
- [8] Elec Freaks. *HC--SR501 Body Sensor Module* [online]. 2011-6-3 [cit. 2016-11-30]  
Dostupné z: <http://elecfreaks.com/store/download/datasheet/sensor/DYP-ME003/Specification.pdf>
- [9] KOŽDOŇ, O. *Řízení dvoukřídle brány*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 30 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.
- [10] Shangai SIMCom Wireless Solutions Ltd. *SIM800 Series\_AT Command Manual\_V.101*.  
[online] 2013. [cit. 2016-12-07]  
Dostupné z: [https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/sim800\\_series\\_at\\_command\\_manual\\_v1.01.pdf](https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/sim800_series_at_command_manual_v1.01.pdf)
- [11] Texas Instruments Incorporated. *LM317. datasheet* [online] 2016. [cit. 2016-12-07]  
Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf>
- [12] A. Vanžura, J. Voráč. *VÝROBA PLOŠNÝCH SPOJŮ*. [online] 2012. cit [2017-5-28]  
Dostupné z: [https://www.urel.feec.vutbr.cz/web\\_documents/dilna/PlosneSpoje2010.pdf](https://www.urel.feec.vutbr.cz/web_documents/dilna/PlosneSpoje2010.pdf)
- [13] Arduino klony, projekty, rady a tipy pro vývoj HW a FW. *Arduino klony, projekty, rady a typy pro vývoj HW a FW* [online]. Copyright © 2017 Ing. Petr Foltýn [cit. 29.05.2017].  
Dostupné z: <http://www.arduinotech.cz>

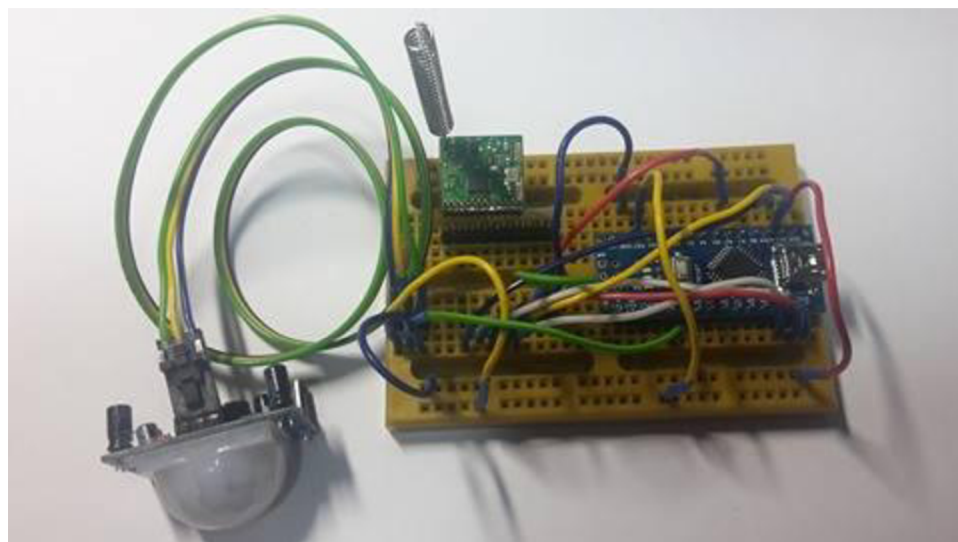
[14] *SEMACH výroba plošných spojů* [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://www.semach.cz/>



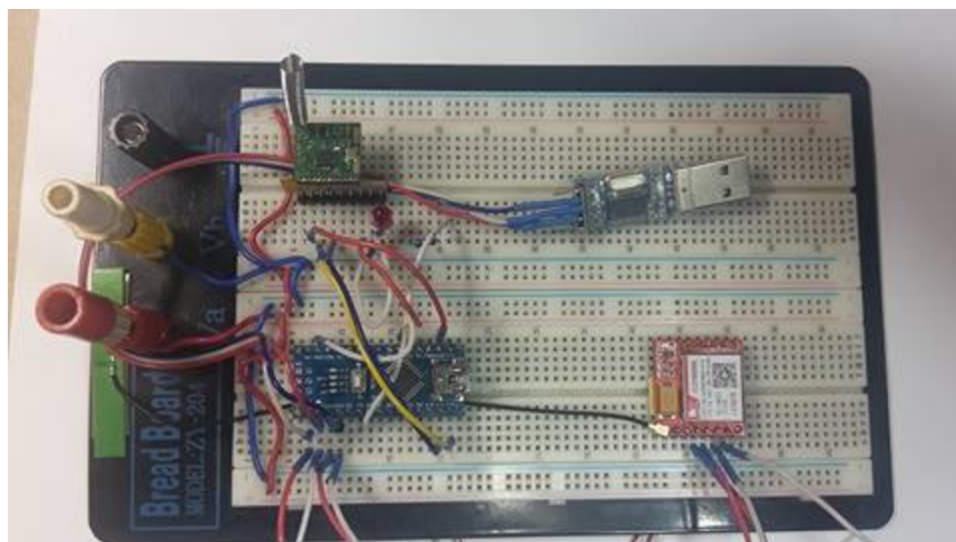
## Přílohy

- fotografie zapojení senzoru na nepřívěsném poli
- fotografie zapojení centrální jednotky na nepřívěsném poli
- fotografie centrální jednotky a senzoru
- schémata, kódy a podklady pro výrobu DPS jsou přiloženy na CD

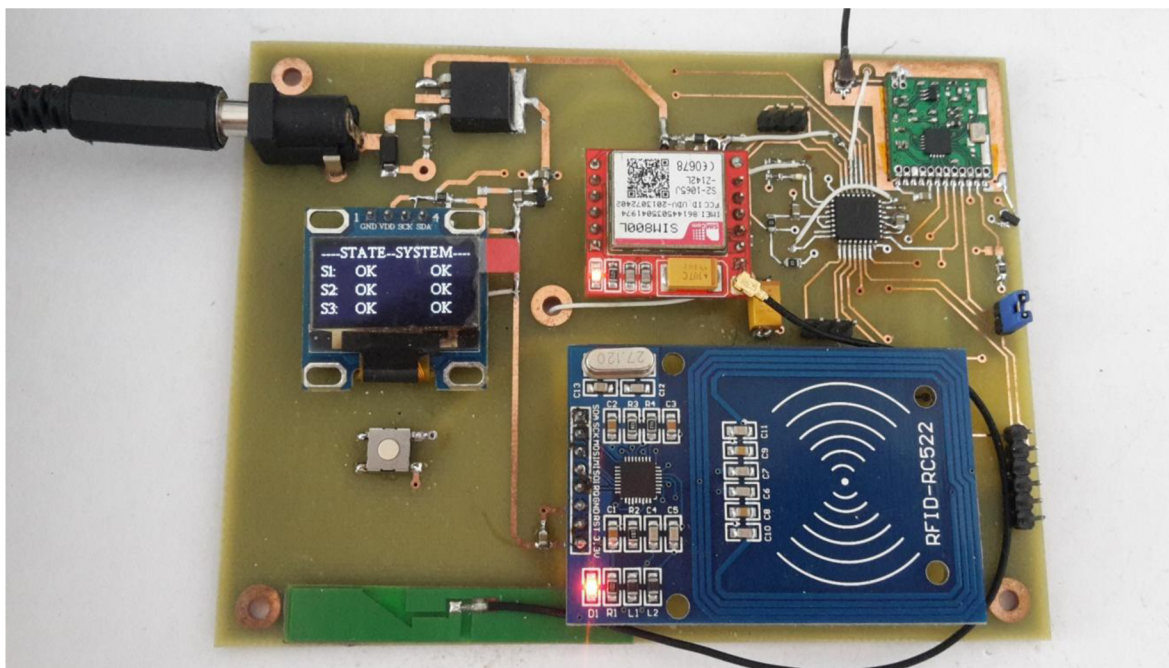
### Prototyp senzoru na nepřívěsném poli:



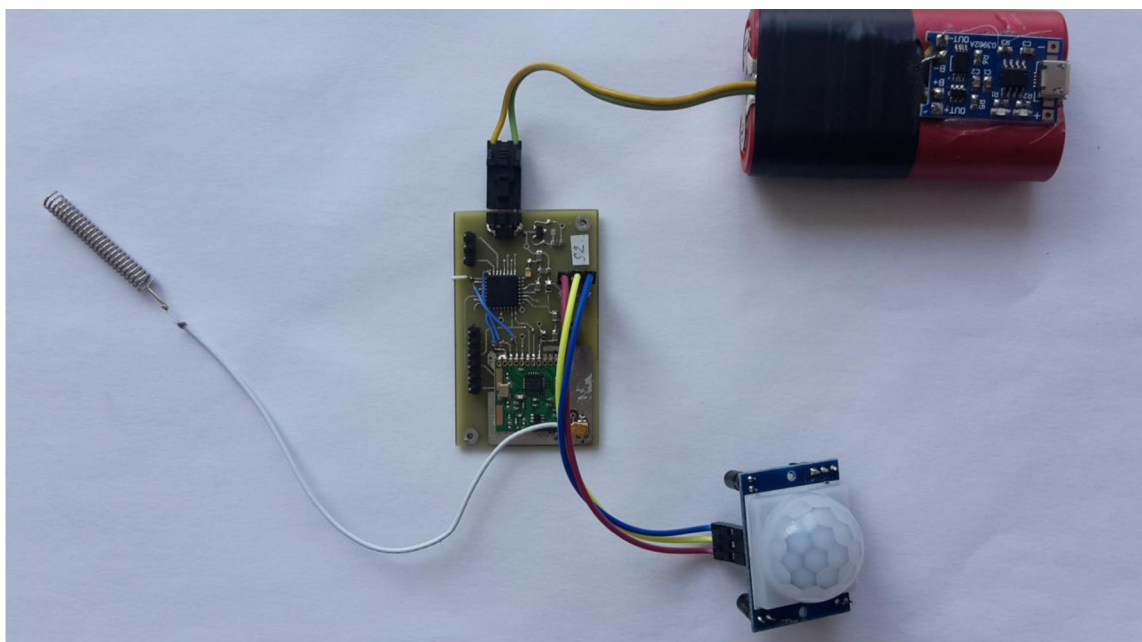
### Prototyp centrální jednotky na nepřívěsném poli:



**Centrální jednotka:**



**Senzor:**



## Schéma zapojení centrální jednotky:

