

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

*Fakulta elektrotechnická*

**Katedra řídicí techniky**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Telemetrická zařízení pro divoká zvířata**

2006

Rostislav Cendelín

## Prohlášení

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

V Praze dne .....

.....

podpis

## Poděkování

Na úvod musím poděkovat mému vedoucímu práce ing. Pavlu Růžičkovi za jeho věcné rady a správné nasměrování projektu. Dík také patří RNDr. Janu Řezníčkovi z katedry biologie Pedagogické fakulty UK v Praze za poskytnutí základních informací z oboru ornitologie a spolupráci na požadavcích telemetrického systému. V neposlední řadě děkuji přednímu českému zoologovi v oblasti telemetrie RNDr. Lubomíru Peškemu za užitečné informace a názorné ukázky. Na závěr chci poděkovat mým rodičům za jejich trpělivost a péči ve mně vloženou.

## Anotace

Tento projekt na úvod charakterizuje telemetrická zařízení, která se v současné době vyskytují na světovém trhu. Dále obsahuje rozbor problému a návrh řešení vlastního funkčního telemetrického zařízení koncipovaného na výzkum Kalouse ušatého lidmi z Pedagogické fakulty University Karlovy. Na základě návrhů a požadavků jsou konkrétně zvoleny jednotlivé části systému a jejich prvky. V poslední části je popsáno konkrétní řešení systému včetně zhodnocení zvoleného návrhu a možnosti realizace a zdokonalení.

## Abstract

At the beginning of the project there is reported of telemetry equipment present worldmarket. Further there is contained project analysis and appropriate solution to purposeful equipment. The system is intended for the research of the Horned owl. The thesis is caused by cooperation with specialists in field of ornithology from Faculty of Education at the Charles university in Prague. On the basis of system requirements it is chosen circuit parts and components. In the end there is described concrete resolution of the design.

# Obsah:

<b>1. ÚVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1. CO JE TO TELEMETRIE .....	1
1.2. TELEMETRICKÉ ZAŘÍZENÍ PRO DIVOKÁ ZVÍŘATA .....	1
1.3. ZÁKLADNÍ DRUHY TELEMETRIE .....	2
1.3.1. Lokální telemetrie .....	2
1.3.2. Satelitní telemetrie .....	3
1.4. SPOLUPRÁCE, CÍL PROJEKTU A JEHO VYUŽITÍ .....	4
1.4.1. Projekt Kalous ušatý .....	4
1.4.2. Časový plán .....	4
1.5. POŽADAVKY NA ZAŘÍZENÍ .....	5
<b>2. PRŮZKUM TRHU TELEMETRICKÝCH ZAŘÍZENÍ.....</b>	<b>6</b>
2.1. SATELITNÍ TELEMETRIE A TRH .....	6
2.2. POZEMNÍ DOHLEDÁVÁNÍ (GROUND TRACK TECHNOLOGY) .....	6
2.3. SATELIT NA DOHLED (SATELITE IN VIEW) .....	7
2.4. CENY SATELITNÍCH VYSÍLAČŮ .....	7
<b>3. NÁVRH KONCEPCE .....</b>	<b>8</b>
3.1. NÁVRH VYSÍLAČE .....	9
3.1.1. Vysílací frekvence .....	10
3.1.2. Přenos dat .....	12
3.1.3. Předpokládaný dosah .....	13
3.1.4. Životnost .....	14
3.1.5. Napájení .....	15
3.1.6. Power management .....	16
3.1.7. Senzory .....	18
3.1.7.1. Senzor náklonu .....	18
3.1.7.2. Výškoměr .....	19
3.1.8. Mikrokontrolér .....	21
3.2. DROP OFF MECHANISMUS .....	23
3.2.1. Samovolné odpadnutí .....	24
3.2.2. Řízené odpadnutí .....	24
3.2.3. Konkrétní návrh drop-off mechanismu .....	25
3.3. NÁVRH PŘIJÍMAČE .....	27
3.3.1. Přijímací modul (Receiver) .....	27
3.3.2. Napájecí obvod .....	28
3.4. ANTÉNY .....	28
3.4.1. Vlastnosti a parametry antén .....	29
3.4.2. Anténa – vysílač .....	30
3.4.3. Anténa – přijímač .....	32
<b>4. REALIZACE NÁVRHU .....</b>	<b>33</b>
4.1. VYSÍLACÍ MODUL .....	33
4.1.1. Výběr vysílacího modulu .....	33
4.1.2. BiM1 – vysílač .....	34
4.2. VÝPOČET PRVKŮ POWER MANAGEMENTU .....	35
4.3. BiM1 – PŘIJÍMAČ .....	36
4.4. PŘEDPOKLÁDANÁ ŽIVOTNOST VYSÍLAČE .....	37
<b>5. ZHODNOCENÍ NAVRŽENÉHO ZAŘÍZENÍ.....</b>	<b>38</b>
<b>6. ZÁVĚR .....</b>	<b>39</b>
<b>7. REFERENCE.....</b>	<b>40</b>

<b>8.</b>	<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>43</b>
8.1.	DOPLŇUJÍCÍ OBRÁZKY.....	43
8.2.	OBSAH PŘILOŽENÉHO CD .....	45
<b>9.</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>46</b>
<b>10.</b>	<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>47</b>

# 1. ÚVOD

## 1.1. Co je to telemetrie

Pojem telemetrie je velice široký a má mnoho podob i využití. Obecnou telemetrii jako takovou můžeme definovat jako použití komunikačních prostředků pro automatickou indikaci, řízení procesů nebo záznam vzdáleně prováděných měření. Jinými slovy se jedná o bezdrátový přenos informace na vzdálenost v řádech od desítek metrů až po jednotky kilometrů. Použití telemetrie je velice pestré od přenosu dat z měřících přístrojů, monitorování zemědělských strojů [R1], přes automobilismus, lékařství, navigaci, průmyslovou výrobu, až k lokalizaci divokých zvířat atp.

## 1.2. Telemetrické zařízení pro divoká zvířata

Technologie na lokalizaci divokých zvířat a přenos informací o jejich aktivitě prochází dlouhým vývojem. Koncem padesátých let dvacátého století byly vyvinuty radiové přívěsky, které vysílaly akustické „pípnutí“ a umožňovali tím výzkumníkům sledovat zvířata v blízkém okolí na zemi nebo z letadla pomocí směrových antén. Nejsou neznámé obrázky pozorovatelů se sluchátky a s anténami na loukách, kteří se snaží zachytit ten správný signál.

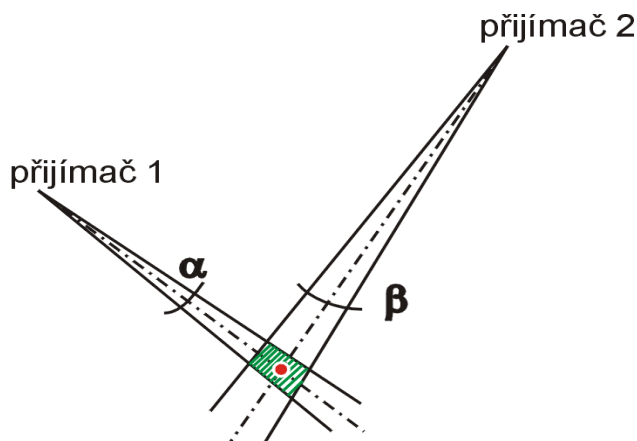
V dnešní době se stále tento princip lokalizace používá. Jedná se o VHF (Very High Frequency) telemetrii, neboli pracující na vysokém kmitočtu. Nicméně s potřebou zkvalitnění pozorování ptáků během dlouhých přeletů, jako jsou například migrace, přišla v šedesátých a sedmdesátých letech nová technologie. Ta využívá Zemi obíhající satelitů k přijímání signálu z vysílačů. Satelitní telemetrie přináší nový rozměr výzkumu v možnosti lokalizace na jakémkoliv místě světa.

Každým rokem se miliony divokých ptáků na celém světě stěhují mnohdy i tisíce kilometrů, aby přečkaly zimu v mírnějším podnebním pásmu. Jak odborníci říkají, jsou tyto ptačí přelety jedním z nejzajímavějších přírodních jevů. Pozorování chování ptáků ze stran vědců probíhá již více než jedno století, přesto o nich vědí stále málo. Poslední dobou, kdy technické prostředky značně usnadňují výzkumy takového ražení, jde pokrok rychlým tempem dopředu. Právě telemetrické zařízení přineslo dříve netušené možnosti ohledně lokalizaci a pozorování divokých ptáků.

V praxi asi nejpoužívanější lokalizační systém pracuje na principu neustálého pravidelného vysílání signálu ze zařízení umístěného na pozorovaném ptákově. Tyto signály (pípnutí) jsou zachytávány pomocí jednoho či více přijímačů prostřednictvím směrových

antén. Díky anténám s úzce směrovou charakteristikou je možné určit odkud signál přichází. Jak je vidět na obrázku 1.2.1 za pomoci vhodně umístěných dvou přijímačů v okolí, je možné určit polohu vysílače bezprostředně po zachycení signálů.

Vícebodová lokalizace nabízí výhodu relativně přesného určení polohy pozorovaného ptáka. Nevýhoda je jen v nutnosti použít dvou přijímačů, lokalizačních týmů a komunikace mezi nimi.



Obrázek 1.2.1.: Lokalizace dvěma přijímači

Ostré trojúhelníky na obrázku 1.2.1 znázorňují směrovou charakteristiku antén. Výseč trojúhelníky je dána úhlem  $\alpha$  (resp.  $\beta$ ). Obecně platí, že čím je charakteristika užší, tím má větší zisk a lze přesněji odhadnout polohu vysílače. Na druhou stranu je složitější zachycení vysílaného signálu. Je zřejmé, že s rostoucím počtem přijímačů se přesnost lokalizace zvyšuje.

### 1.3. Základní druhy telemetrie

Z požadavků na konkrétní použití zařízení vyplývá princip přenosu dat. Podle nejhrubšího rozdělení telemetrie je tedy možné rozdělit systémy na radiové (lokální, pozemní) a satelitní. Obě metody mají své přednosti i nevýhody a jejich uplatnění je různé. Stručný profil, použití a vlastnosti jsou popsány v následujících odstavcích.

#### 1.3.1. Lokální telemetrie

Lokální telemetrií jsou považovány všechny systémy s dosahem v řádu kilometrů. Využívají bezdrátového přenosu dat na frekvencích nejčastěji od 150Mhz až do 433Mhz.



Jak již bylo zmíněno systém se skládá ze dvou částí. Vysílací část připevněná na pozorovaném ptákově pro lokální telemetrii se vyznačuje malými rozměry a hmotností. Výkon těchto vysílačů je oproti satelitním relativně malý. Pohybuje se od 0,01mW až po desítky mW. Druhá část je mobilní přijímač se směrovou anténou, který zachytává vysílaný signál.

Životnost zařízení je různá a odvíjí se od vysílacího výkonu a velikosti baterie. Všechna telemetrická zařízení obecně hledají kompromis mezi maximální možnou vahou a na straně druhé životností a výkonem zařízení.

### *1.3.2. Satelitní telemetrie*

Satelitní telemetrie pracuje na principu vysílání signálu podobně jako ta pozemní. Systém se liší v tom, že vysílače dosahují vyšších výkonů a k přijímání informace není potřeba žádná anténa ani přijímač. Signál přijímají družice obíhající Zemi. Lokalizace funguje na základě Doplerova jevu, čímž se určí vzdálenost vysílače od satelitu. Pro měření vzdálenosti je nevyhnutelná absolutní stabilita krystalu, který určuje frekvenci vysílání. Poloha vysílače je určena výpočtem hodnot pomocí triangulace alespoň ze tří satelitů, které zachytily signál. Další rozdíl je ve vysílací frekvenci, která je vyšší, než je běžná frekvence lokálního vysílače. Komunikační frekvence 401,65 MHz je vyhrazen právě pro příjem signálu z datových platform [R2]. Běžně používané družice NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) se pohybují ve výšce 816km (resp. 863km) nad Zemí. I přesto, že v dráze signálu nejsou žádné překážky, je vlivem velké vzdálenosti, odrazy od ionosféry nutné použít vysílač s výkonem několikanásobně vyšším než to bylo lokálních vysílačů (desítky až stovky mW). S vyšším výkonem přichází větší nároky na baterii a napájecí systém celkově. Často je možné se setkat s použitím alternativních zdrojů energie, kterými jsou solární panely tvořící horní část pouzdra vysílače. Neodmyslitelné je časované vysílání. To znamená, že satelitní vysílač (na rozdíl od lokálního) není trvale aktivní. Vysílá jen v předem definovaných časových intervalech. Například čtyřhodinový režim vysílání vystřídá dvoudenní neaktivní režim. Díky tomuto časování a použití solárního panelu existují i telemetrická zařízení, která ke svému provozu baterii nepotřebují žádnou. Tím je jejich doba provozu teoreticky neomezená, přesto má nevýhody jako závislost na slunečním záření nebo nízká hustota informace o poloze.

Použití a výhody satelitní telemetrie uplatní pro dálkové přelety, dlouhodobé pozorování (měsíce až roky), lokalizace v nedostupných místech a další. K již zmíněným

nevýhodám je možné připojit větší hmotnost, vyšší cena způsobená jak samotným vysílačem tak i náklady na provoz a méně přesné určení polohy.

#### **1.4. Spolupráce, cíl projektu a jeho využití**

Obor telemetrie zabývající se pozorování zvířat je natolik úzce specifická oblast, že se jí zabývá jen několik málo firem na světě. Požadavky zoologů jsou v závislosti na aplikaci natolik individuální, že se zařízení dělají často namíru. Vlivem malé poptávky a tedy i řídkého trhu je těžké pro uživatele najít ideální telemetrický systém pro dané zkoumání za dostupnou cenu.

Tento projekt vznikl na základě snahy o spolupráci dvou naprosto rozdílných fakult, konkrétně naší katedry řízení na Elektrotechnické fakultě ČVUT v Praze a katedry biologie Pedagogické fakulty University Karlovy. Tím vznikla vazba konstruktérů a uživatelů projektu.

##### *1.4.1. Projekt Kalous ušatý*

Je to právě Kalous ušatý, sova, která lítá za zimovištěm do ČR, co se stalo středem spolupráce. Na tuto vzácnou sovu, která přilétá do Čech každý rok na podzim ze Sibíře, byla směřovaná celá koncepce zařízení. Od hmotnosti vysílače, rozměrů, vlastností, aj.

Na začátku spolupráce bylo potřeba získat co nejvíce informací o Kalousích, jejich denní a noční činnosti, nosnosti, místa výskytu atp. Dále byly ujasněny cíle pozorování a možnosti měřit a přenášet neelektrické veličiny z pozorovaného Kalouse. V první řadě to byla samozřejmě funkce lokalizace. To znamená určení polohy s možností dohledat jej až na dosah. Tuto funkci mají téměř veškerá telemetrická zařízení. To, o co by mělo být naše zařízení bohatší, jsou právě dodatečné informace jako je například výška ptáka nad zemí, teplota, aktivita, atp. (viz. kap. 3.1.7.)

##### *1.4.2. Časový plán*

Na samém začátku projektu je potřeba zjistit jaké jsou požadavky uživatelů, jaké jsou možnosti výrobců na trhu s telemetrií dnes a na základě získaných informací vhodně zvolit návrh systému.

Cíl tohoto projektu je navrhnout kompletní zařízení, na kterém by bylo možné otestovat jeho základní vlastnosti jako je dosah, životnost a určit na základě výsledků testů další směr vývoje, který povede k dokonalému telemetrickému zařízení pro divoká zvířata.

### 1.5. Požadavky na zařízení

Na vysílač, který je připevněn na zádech pozorovaného ptáka, jsou kladeny nesrovnatelně přísnější požadavky než na přijímací stranu, kterou drží uživatel v ruce na zemi. Obecně platí, že vysílač by měl vážit maximálně 3% **hmotnosti** nositele. Tedy pro Kalouse od 300g do 500g vychází zátěž na pouhých 10-15g. Nikde není definováno, že vysílač o hmotnosti 17g Kalous neunes nebo jej bude omezovat. Už jenom z hlediska toho, že za jednu noc uloví dva až tři hraboše. Je tedy patrné, že jejich nosnost je větší než 3% jejich váhy. Přesto je při návrhu zařízení pochopitelně snaha udělat závaží v podobě „batůžku“ co nejlehčí.

Zřejmě nejdůležitějším parametrem je **dosah**. Jinak řečeno největší vzdálenost, na kterou je možné zachytit signál vysílače. Je jasné, že čím větší, tím lepší. A jak už bylo na úvod zmíněno, dosah lokálních telemetrických zařízení není nikdy dostatečný. Při návrhu koncepce a především při volbě vysílacího modulu to bylo významné hledisko výběru.

Každý výzkumný projekt má různou délku pozorování. Požadavky na **životnost** se liší případ od případu. V projektu Kalouse ušatého, pro který je zařízení vyvíjeno se jedná o krátkodobý výzkum. Požadavek na funkčnost vysílače je minimálně týden až čtrnáct dní.

Na základě konzultací s budoucími uživateli z katedry biologie Pedagogické fakulty UK byly stanoveny **doplňkové informace** získávané telemetrickým zařízením. Jedná se o neelektrické veličiny, které by byly měřeny na vysílači a tedy na pozorovaném ptákov. Tato data, jako je teplota okolí zvířete, tlak vzduchu a náklon by byla společně s identifikačním kódem posílána v podobě lokalizačního signálu.

## **2. PRŮZKUM TRHU TELEMETRICKÝCH ZAŘÍZENÍ**

Světový trh telemetrických zařízení pro lokalizaci divokých zvířat není nikterak velký. Je to způsobeno především nízkou poptávkou. Sice se dá říct, že se jedná o „běžný“ bezdrátový přenos a zařízení bezdrátových přenosů je mnoho. Jenže telemetrie pro divoká zvířata má své jisté specifické požadavky a hlavně pro jinou aplikaci, než je lokalizace zvířat, jsou nepoužitelná.

Celosvětově existuje několik firem, které se zabývají výrobou a vývojem telemetrických zařízení. Z těch nejznámějších specializovaných výrobců jsou to Titley electronics (AUS), Microwave Telemetry, Inc. nebo Seimac (obě USA).

Průzkum produktů těchto největších společností na výrobu lokalizačních zařízení ukazuje, že se zabývají z největší části satelitní telemetrií. Důvod je prostý. V různých zemích platí různé ustanovení a nařízení o provozu lokálních bezdrátových zařízení. To znamená, že s rostoucím pokrytí světového trhu, které by zajistilo dostatečný odbyt, by neúnosně rostlo spektrum výrobků na všech možných kmitočtech. Malý odbyt jednotlivých produktů by byl neekonomický a zřejmě by nezaplátil ani jejich vývoj. Největší výrobci tedy vyvíjejí satelitní vysílače, jejichž provoz je všude na Zemi stejný. Princip lokální telemetrie, podobně jak je v návrhu tohoto projektu, využívají například k dohledání na zem spadlých vysílaček (viz. pozemní dohledávání).

### **2.1. Satelitní telemetrie a trh**

Nároky na výrobu kvalitního satelitního vysílače jsou vysoké a v porovnání s telemetrií lokální je jejich návrh náročnější. Princip satelitní lokalizace stručně naznačen v úvodu (1.3.2). Aby byla uspokojena co nejširší oblast zákazníků, je nutné vyrábět velké množství druhů telemetrických zařízení. Není důvod k údivu, když přední společnosti, které se výrobou těchto systémů zabývají, mají ve své nabídce desítky vysílačů různých vlastností a parametrů. Je možné sehnat satelitní vysílače s hmotností od 9g napájené solární energií pro nejmenší opeřence až po 105g vysílačky s maximální dobou životnosti využívající k napájení pouze baterií.

### **2.2. Pozemní dohledávání (Ground Track Technology)**

Každý kdo zkoušel dohledávat satelitní vysílače pouze na základě polohy získané od poskytovatele satelitních služeb (Argos) ví, jak je těžké je najít. Pozice na zem spadlého

vysílače je v nejlepším případě určena s přesností 150m. Výrobce vysílačů pro satelitní telemetrii, Microwave Telemetry, nabízí možnost implementace funkce, která po zjištění úmrtí (eventuálně odpadnutí vysílače) přepne satelitní lokalizaci na pozemní (lokální). Zařízení pozná smrt zvířete na základě snížené aktivity podobně jako je navrženo v tomto projektu (viz. 3.1.7.1. Senzor náklonu). Není pak problém na základě přibližné polohy, určené satelitní navigací, a vysokofrekvenčním přijímačem se směrovou anténou dohledat vysílač až na dosah.

### **2.3. Satelit na dohled (Satellite In View)**

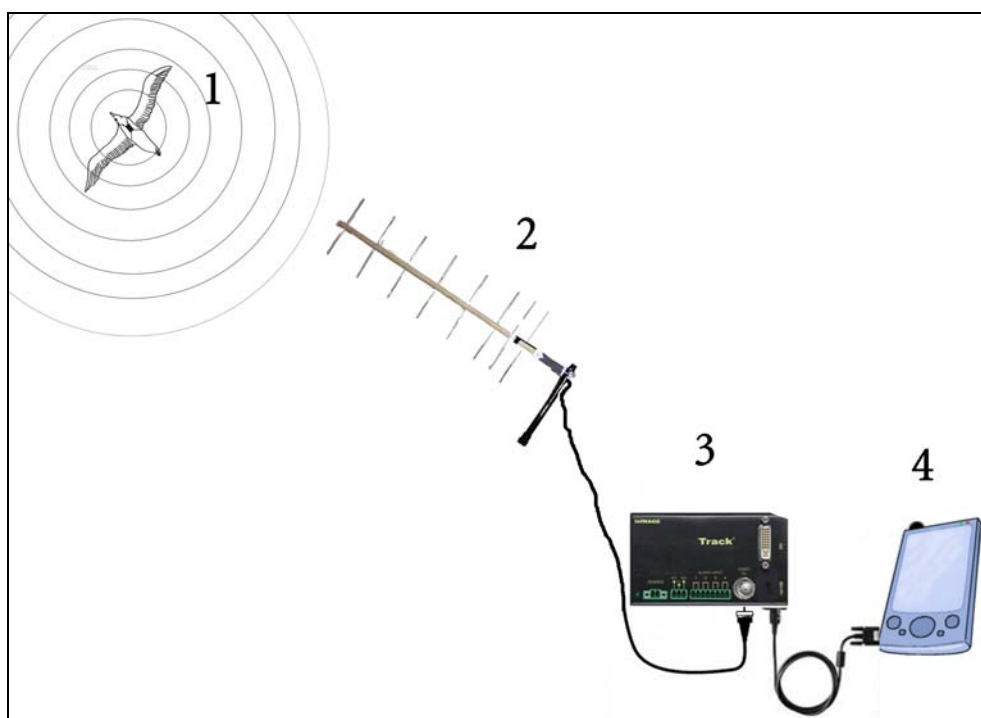
Jedná se o patent firmy Microwave Telemetry (MT), který zvyšuje životnost vysílače. Satelitní vysílač za účelem úspory baterie je běžně časován v pravidelných intervalech. To znamená, že například vysílá 6 hodin a pak je na 10 hodin vypnut. U většiny satelitních zařízení je interval vysílání předem stanoven. MT na podmínky uživatelů vyvinula technologii variabilního časování. To spočívá v tom, že vysílač je aktivován v době, kdy je dostatečné množství satelitů na obzoru. Je aktivní po dobu potřebnou lokalizaci a přechází zpět do režimu spánku. Tím se omezí plýtvání baterií na nevyužitelné vysílání. Tato nadstandardní funkce sice zvýší hmotnost vysílače o 1g, ale zajistí až dvojnásobnou životnost zařízení.

### **2.4. Ceny satelitních vysílačů**

Společnost MT si je vědoma svého dominantního postavení na trhu, díky němuž si může dovolit stanovit ceny, které by v případě silnější konkurence byly nižší. Srovnání cen telemetrických zařízení je komplikováno tím, že většina výrobců stanovuje individuálně a ceníky nezveřejňuje. Výrobky společnosti MT začínají na částce 2800\$, což je cena satelitního vysílače napájeného pouze bateriemi. U solárně nabíjených zařízení se cena dostane až na 3050\$ za jeden vysílač. Nadstandardní funkce jako je funkce „pozemního dohledávání“ nebo „satelit na dohled“ zvyšují už tak poměrně vysokou cenu o dalších 200\$ (resp. 450\$).

### 3. NÁVRH KONCEPCE

Na základě požadavků na zařízení (kap. 1.5) byl proveden rozbor celého systému. Jako celek by se dal rozdělit na tři části. Hlavní z nich je vysílací obvod. Jedná se o miniaturní vysokofrekvenční vysílač umístěný na zádech pozorovaného ptáka ve formě „batůžku“. Od této části systému se odvíjí celkové vlastnosti, životnost, funkce, dosah a jiné důležité parametry celého telemetrického systému. Signál vysílaný do volného prostředí je zachycen směrovou anténou, která je součástí přijímací části systému. Ta má za úkol zpracování příchozí informace a v podstatě funguje jako rozhraní k poslednímu bloku systému a tím je uživatelské zařízení, např. zobrazovač, kapesní počítač, mobilní telefon, atp.

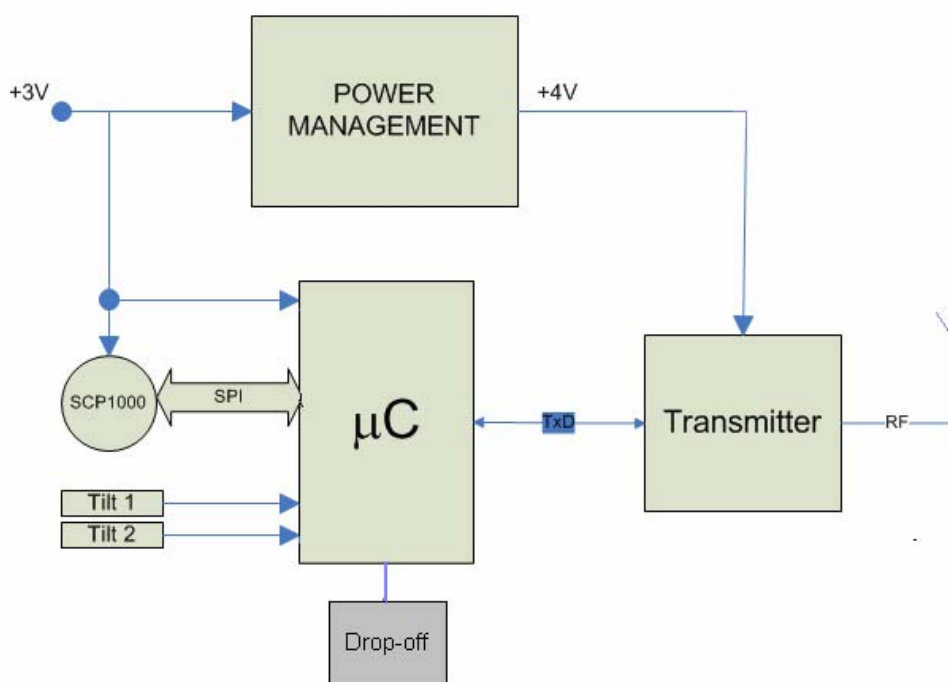


*Obrázek 3.0.1: Základní koncepční rozdělení systému. 1-Vysílač; 2-směrová anténa; 3-přijímač; 4-uživatelské rozhraní*

### 3.1. Návrh vysílače

Jak již bylo naznačeno vysílač je klíčovou částí systému a právě proto je mu věnována největší část návrhu zařízení. Jak je naznačeno v požadavcích na zařízení, je snaha udělat co nejmenší, nejlehčí, přesto nejvýkonnější zařízení s maximální životností. Vyjmenované vlastnosti se vylučují. Je jisté, že při návrhu půjde o to, zvolit vhodný kompromis mezi nimi.

Hlavním rozdílem mezi běžně užívanými a navrhovaným zařízením je ten, že většina lokalizačních vysílačů moduluje nosnou signálu generovaného rezonátorem. Jejich přednost je v jednoduchosti a v miniaturních rozměrech. Přijímaný signál nemá žádnou informaci a zařízení slouží pouze k lokalizaci. Další nevýhodou je to, že každý vysílač je předem naladěný na „svoji“ frekvenci a při lokalizaci je nezbytné ji nastavit na přijímači a lokalizovat jen ten jeden příslušný vysílač. Níže navrhovaný systém bude jako lokalizační signál používat vysílaná data na jednom kmitočtu. To znamená, že v případě více pozorovaných objektů bude možné lokalizovat v podstatě všechny najednou. Vše co se týká samotného přenosu dat ošetří vysílací modul (kap. 4.1. Vysílací modul). Jaká informace bude vysílána je uvedeno v kapitole 3.1.2 Přenos dat.



Obrázek 3.1.1. Blokové schéma vysílače

### 3.1.1. Vysílací frekvence

Výběr kmitočtu u všech aplikací se odvíjí od místa použití, obecných požadavků na aplikaci a nařízení odpovědných úřadů. Jinak řečeno, nařízení vlád většiny zemí ustanovily určité oblasti radiového spektra pro konkrétní druh rádiového provozu. Každý kdo hodlá implementovat určitou službu je omezen pravidly pro dané frekvenční pásmo. Odpovědnou institucí v rámci České republiky, vykonávající státní správu v oblasti elektronických komunikací, je Český telekomunikační úřad (ČTÚ).

Při volbě nejvhodnější frekvence platí jistá pravidla. Například pro bezdrátový přenos v zastavěném okolí je vhodné použít vyšších kmitočtů (UHF – ultra high frequency). Ze známého vztahu (1) vyplývá pro UHF relativně malá vlnová délka  $\lambda$ . Ta umožňuje vlnám snadněji obcházet překážky a jiné zábrany. Aplikace telemetrie pro divoká zvířata nepředpokládá překážky takového typu, které by vyžadovaly použití vysokých frekvencí. Naopak, radiová zařízení pracujících v pásmu VHF (Very High Frequency) poskytují při stejné úrovni výkonu větší dosah oproti UHF. To je způsobené tím, že dlouhé vlny mají při šíření prostředím menší útlum než vlny krátké.

$$\lambda = \frac{c}{f} [m] \quad (1)$$

Podle zkušeností, které byly získány mimo jiné od RNDr. Lubomíra Peškeho, se zdá jako nejvhodnější kmitočet okolo 170MHz. Tento kmitočet odpovídá vlnové délce necelých dvou metrů, což je výhodné pro šíření v běžném volném terénu. Signál není tak náchylný na odraz a snadněji se láme za přírodní překážky jako jsou kopce, terénní nerovnosti, atp. Kmitočty nad 400Mhz jsou oproti tomu pro konvenční použití příliš vysoké a jejich šíření je silněji utlumeno překážkami, především ve vlhkém prostředí. Nejvhodnější kmitočtová oblast je tedy určena na 170MHz. Na druhou stranu je vlna takového signálu nejdelší možná v závislosti na použitelné délce antény. Běžně totiž platí závislost: nižší frekvence, delší vlna, delší anténa.

Pochopitelně, jako jakákoliv jiná radiotechnická aplikace využívající vysílací zařízení krátkého dosahu, i telemetrický systém pro divoká zvířata musí respektovat pravidla ČTÚ (Český telekomunikační úřad). Ta jsou definována v rámci všeobecného oprávnění VO-R/16/08.2005-28 (resp. VO-R/10/08.2005-24) k využívání rádiových



kmitočetů a k provozování zařízení krátkého dosahu. Krátký výtah povolených kmitočetů a parametry vysílacích stanic pro bezlicenční provoz jsou znázorněny v následující tabulce.

Ozn.	Provozní kmitočty	Vyzářený výkon	Šířka pásma zabraného vysíláním	Druh provozu	Ukončení provozu
<i>a</i>	27,905; 27,915 MHz	1 W e.r.p.	8,5 kHz	pouze přenos dat	
<i>b</i>	27,975; 27,985; 27,995 MHz	100 mW e.r.p.	8,5 kHz	pouze přenos dat	
<i>c</i>	34,050; 34,075; 34,150; 34,175 MHz	1 W e.r.p.	16 kHz		
<i>d</i>	45,050; 45,075; 45,100; 45,125; 45,150; 45,175 MHz	1 W e.r.p.	16 kHz		31. 12. 2006
<i>e</i>	57,225; 57,250; 57,275; 57,300 MHz	10 mW e.r.p.	16 kHz	pouze přenos dat	
<i>f</i>	77,025; 77,050; 77,075; 77,100; 77,725; 78,000; 81,725; 81,750 MHz	1 W e.r.p.	16 kHz		
<i>g</i>	87,430; 87,470 MHz	500 mW e.r.p.	14 kHz	pouze přenos dat	
<i>h</i>	149,125; 149,250; 155,725; 156,150 MHz	500 mW e.r.p.	16 kHz	pouze přenos dat	
<i>i</i>	172,650; 172,950; 172,975 MHz	5 W e.r.p.	10 kHz		
<i>il</i>	172,650; 172,950; 172,975 MHz	5 W e.r.p.	16 kHz		31. 12. 2010
<i>j</i>	172,725; 173,050 MHz	1 W e.r.p.	10 kHz		
<i>jl</i>	172,725; 173,050 MHz	1 W e.r.p.	16 kHz		31. 12. 2010
<i>k</i>	305,825; 305,875 MHz	500 mW e.r.p.	16 kHz	pouze přenos dat	31. 12. 2005
<i>l</i>	448,070; 448,170 MHz	500 mW e.r.p.	14 kHz	pouze přenos dat	
<i>m</i>	448,490; 448,570; 448,610 MHz	5 W e.r.p.	14 kHz		
<i>n</i>	449,770; 449,810 MHz	1 W e.r.p.	14 kHz		

*Tab.3.1: Výtah povolených kmitočetů z VO-R/16/08.2005-28 ČTÚ*

Podrobné informace k podmínkám provozu a jejich doplnění je uvedeno ve všeobecném oprávnění k využívání rádiových kmitočetů a k provozování zařízení na určených kmitočtech v pásmech 27MHz až 450MHz (VO-R/16/08.2005-28) [R4].

### 3.1.2. Přenos dat

Vysílací modul v režimu spánku má zanedbatelnou spotřebu oproti režimu vysílání. K úspoře baterie a tím i k prodloužení životnosti se používá tzv. klíčování. V podstatě jde o to, aby vysílač nevysílal data kontinuálně, ale formou krátkých impulsů. Poměr mezi dobou v režimu vysílání a spánku je nazýván klíčovacím poměrem (duty cycle). U běžných telemetrických zařízení pro lokalizaci, které modulují nosnou signálu, je délka vysílacího impulsu přibližně 0,02 sekundy a následuje 2 sekundy „ticho“. Klíčovací poměr je tedy 1:100. Je vidět, že čím je tento poměr menší, tím menší je zatížení baterie. Na druhou stranu následkem zmenšování tohoto poměru je menší frekvence pípnutí, což komplikuje zachycení signálu pomocí směrové antény. Druhý faktor ovlivňující klíčovací poměr je délka jednoho pípnutí. Jinak řečeno množství přenášených dat. Snaha je tedy vysílat co nejméně bitů v rámci jednoho vyslaného paketu. Následuje obecný příklad možného obsahu vysílaného paketu.



Obrázek 3.1.2: Návrh obsahu paketu

Synchronizace – Část zprávy potřebná pro stabilizaci vysílacího modulu.

Hlavička – Minimálně jeden bit, který určuje začátek zprávy (synchronizace rámce).

Adresa – Slouží k identifikaci vysílače v případě, že je pozorováno více ptáků současně.

Data – informace ze senzorů umístěných na vysílací straně.

Detekce chyb – Cyklický kód CRC nebo kontrolní součet polí hlavička, adresa a data pro ověření integrity paketu na přijímací straně. Více o detekci chyb je popsáno níže v odstavci CRC.

Složení paketu se může lišit podle požadavků na systém. Je možné některé nepotřebné části vynechat v rámci zkrácení vysílacího impulsu. Aby byl zajištěna vyšší spolehlivost přenosu, vysílá se celý paket několikrát za sebou v jednom vysílacím impulsu.

### CRC (Cyclic Redundancy Check)

Možností jak ověřovat správnost přenesených dat je několik. Běžným mechanismem jsou tzv. kontrolní součty. Dnes zřejmě nejběžnější detekcí chyb hlavně z důvodů vyšší schopnosti odhalit chybu je použití tzv. cyklických kódů známějších spíše pod anglickou zkratkou CRC. Detekce chyb obecně funguje tak, že společně s přenášenými daty se přenáší doplňující informace na základě níž je přijímací strana schopna zjistit, jestli přijatá data byla přenesena správně eventuálně chyby odhalit. Zavedením detekce chyb se pochopitelně zvětší velikost paketu. Je nutno zvážit jestli se vyplatí zvětšení velikosti jednoho paketu za informaci o správnosti přenosu. Jestliže bude velikost kontrolního součtu vůči přenášeným datům zanedbatelná, detekce chyb bude v systému s výhodou použita. Hlavně z důvodu lokalizace. Pro zachycení pípnutí a tedy k lokalizaci vysílače poslouží jakákoliv data tedy i data s chybou. Pro další zpracování dat na přijímací straně bude jednodušší, jestliže odhalí skutečnost chybného přenosu. Není to však podmínkou. Uživatel může dostat informaci alespoň o směru ze kterého signál přichází.

#### 3.1.3. Předpokládaný dosah

Předpovědět skutečný dosah zařízení v konkrétních podmínkách je velice složité. Dosah je funkcí mnoha proměnných a neexistuje vztah, který by tuto závislost popisoval. Pochopitelně závisí především na vysílacím výkonu, ale i na druhu terénu, porostu, atmosférických podmínkách, úrovni elektromagnetického rušení atd. Další skutečnosti, které ovlivňují dosah jsou:

- typ a umístění antén
- okolní terén a překážky ve směru spojení
- zdroje rušení ovlivňující příjem
- nulové body vznikající odrazem od blízkých vodivých předmětů
- přenosová rychlost a stupeň použitého filtrování

Parametrem, který také značně ovlivňuje dosah je míra elevace. Dá se říct, že elevace odpovídá výšce vysílače nad povrchem. U letících ptáků se mnohonásobně zvyšuje dosah oproti těm sedícím na stromech nebo dokonce ve vysoké trávě. Signál vysílaný z otevřeného prostoru jednak bývá na přímou viditelnost, ale především méně podléhá negativním vlivům, které jsou vyjmenovány výše. Faktor elevace se ovlivnit nedá. To co je množné udělat pro maximalizaci dosahu se týká také konstrukce vysílače. Mimo jiné je

vhodné se vyhnout použití dlouhých anténních napáječů. Delší kabel má za následek výkonové ztráty v přenosu, a tedy degraduje celkové parametry spoje.

#### 3.1.4. Životnost

Životností vysílače je myšlena předpokládaná nepřetržitá doba provozu zařízení bez zásahu uživatele. To znamená provoz zařízení na jednu baterii.

Již od začátku vývoje systému bylo zřejmé, že životnost zařízení bude důležitým parametrem. Snaha o maximální dobu provozu je limitována především velikostí vysílače. Jde o kompromis mezi kapacitou baterie a hmotností vysílače (viz. 1.5. Požadavky na zařízení). Tedy i výběr jednotlivých prvků koncepce vysílací části systému se odvíjel v první řadě od příkonu a hmotnosti. Po celou dobu vývoje zařízení byla snaha najít takové řešení obvodových prvků, které by co nejvhodněji zajistilo zmíněný kompromis. Skutečnosti, které jistým způsobem ovlivňují životnost vysílače:

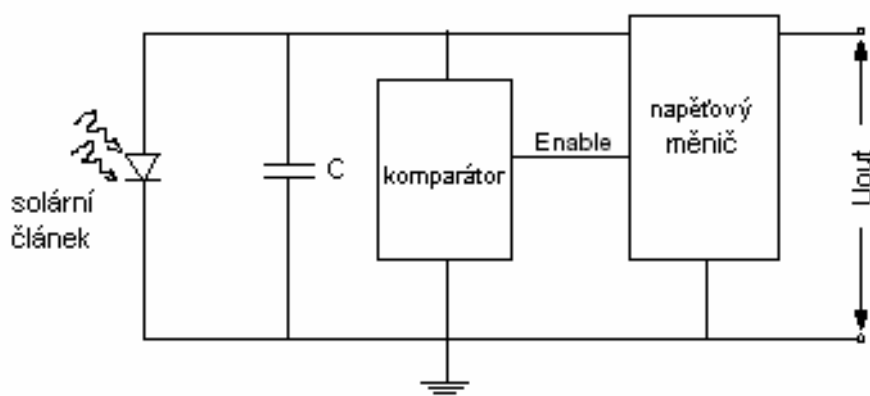
- a) Pracovní prostředí
- b) Napájecí obvod
- c) Nízko příkonové prvky
- d) Vysílaná data

Extrémní teplota snižuje životnost baterie. Protože je vysílač koncipován na provoz v zimním ročním období (viz. kap. 1.3.2), musí se počítat s teplotami pod bodem mrazu. V těchto podmínkách se mění vlastnosti lithiových baterií a na základě chemických procesů uvnitř článku radikálně klesá jejich životnost. Není žádná možnost jak vysílač účinně ochránit před vlivem nízkých teplot okolního prostředí a tedy nezbyvá nic jiného, než s tímto faktorem počítat.

Další známou vlastností napájecích článků je, že lépe snáší kontinuální konstantní zatížení. Vysílač je však navržen tak, aby vysílal pípnutí o dané délce a následně přechází na několik vteřin do režimu spánku. V pravidelných intervalech se až stokrát mění velikost proudu do vysílacího modulu. Tato v podstatě impulsní zátěž by měla nepříznivý vliv na malou knoflíkovou baterii a tedy i životnost celého zařízení. Možnost jak vyřešit tento problém přináší tzv. power management.

### 3.1.5. Napájení

Důležitost vhodného návrhu napájecí části je evidentní. Maximální doba provozu je přímo úměrná velikosti a váze vysílače. Myšlenka využít kombinace baterie a solárních článků se jeví jako dobré řešení k prodloužení životnosti, aniž by se zvýšily nároky na napájecí článek. V praxi, kde se vysílač vyskytuje na dosah slunečního záření, se uplatňují obvody, které dobíjí buď vysokokapacitní kondenzátor nebo přímo dobíjecí baterii [R3]. Implementace alternativního zdroje energie do části napájecího je znázorněná na následujícím obrázku.



Obrázek 3.1.5: Blokové schéma použití solárních článků

Funkce obvodu je jednoduchá. Energie solárního článku nabíjí kondenzátor. Dvouúrovňový komparátor na něm hlídá horní prahovou úroveň napětí. Po dostatečném nabití kondenzátoru komparátor signálem „Enable“ aktivuje napěťový měnič. Tím je DC-DC converter, který má za úkol zvýšit napětí z nabitého kondenzátoru na požadovanou hodnotu výstupního napětí  $U_{out}$ . Po vybití kondenzátoru na takovou hodnotu napětí, která by už nedokázala uživit napěťový měnič (např. 0,7V), komparátor odpojí zátěž a kondenzátor se opět nabíjí.

Aplikace využití sluneční energie je v tomto projektu bohužel nevhodná. Telemetrický systém je určen pro Kalouse, což je noční pták. Přes den, kdy by měla být energie na vysílání hrazena prostřednictvím solárního článku, je Kalous schovaný v korunách stromů. K horní části pouzdra vysílače, kam se solární články běžně připevňují, se nedostane dostatečné množství světla, které by dokázalo uhradit alespoň část energie pro provoz vysílače.

Výběr baterie s ohledem na maximální kapacitu při přijatelných rozměrech vede k použití lithiových článků. Jejich parametry jsou ty nejlepší ze všech typů baterií. Vyznačují se především velkou kapacitou, malými rozměry a hmotností. Výběr všech prvků obvodu se odvíjí od elektrických vlastností (kapacita, spotřeba, aj.) a mechanických vlastností (hmotnost, rozměry). Tak je tomu i u výběru baterie. Kompromisem mezi zmíněnými vlastnostmi bylo zvoleno použití knoflíkové baterie s maximální možnou kapacitou tj. 560mAh. Napětí miniaturních napájecích článků je nejvýše 3V. Je možné, že vybraný vysílací modul bude navržen pro vyšší napájecí napětí. Tuto transformaci a nejen to má na starosti část obvodu nazývaná power management (kap. 3.1.6) .

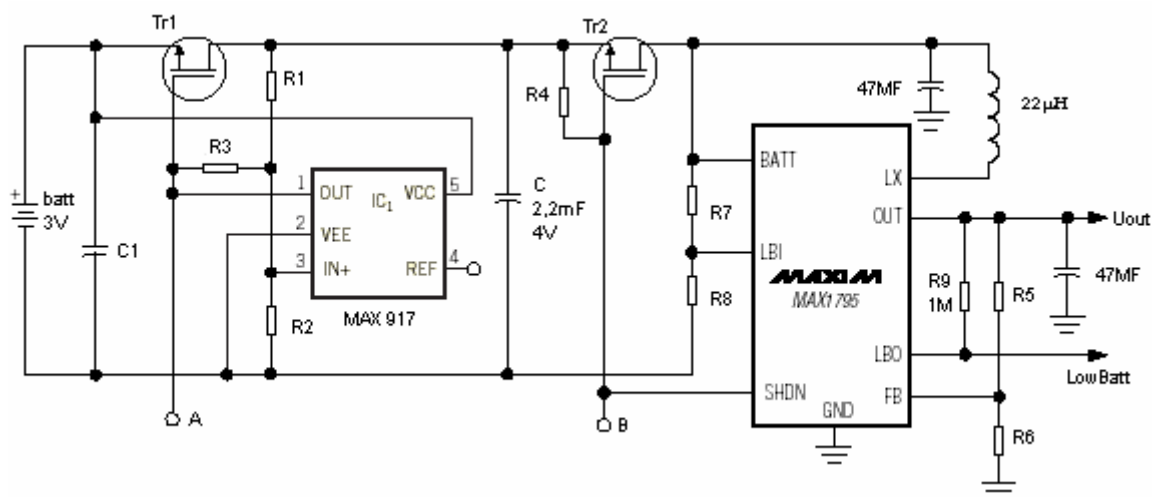
Je nutné si uvědomit, že na základě zavedení klíčování (kap. 3.1.2) se stává z vysílače impulsní zátěž. Jak bylo v příslušné kapitole naznačeno, střídá se vysílací a úsporný režim v pravidelných intervalech. Vysílací modul má sice poměrně velkou spotřebu, ale pouze po krátkou dobu aktivity. Střední hodnota odebíraného proudu může nabývat méně než je maximální zatížitelnost baterie, přesto nebude schopna dané množství energie impulsního charakteru uhradit. Nehledě k tomu každá zátěž v podobě impulsů zkracuje životnost baterie. Řešením se zabývá power management v následující kapitole.

### 3.1.6. *Power management*

Obvod power managementu má na starost následující opatření:

- a) odstranit impulsní zátěž
- b) zajistit vhodné napájecí napětí

Princip napájení impulsní zátěže z konstantního zatížení baterie je jednoduchý. Dostatečná energie se nejprve nashromáždí ve vysokokapacitním kondenzátoru, kde je pak po potřebnou krátkou dobu k dispozici. Existují tzv. superkapacity, které se vyznačují nejenom schopností shromažďovat velké množství náboje, ale také mají malou vnitřní impedanci. Díky ní mohou poskytnout krátkodobě proud stovky mA až jednotky A.



Obrázek 3.1.6: Schéma obvodu power managementu

Schéma na obrázku 3.1.6. s vhodnou volbou obvodových prvků zajistí všechny požadavky, které na power management byly. Tj. napájet impulsní zátěž, která požaduje vyšší napětí než je jmenovité napětí lithiového článku a zároveň zajistit jeho kontinuální zátěž.

Hlavním prvkem obvodu je vysokokapacitní kondenzátor (C). Kvalitní superkondenzátory například od firmy Jamicon jsou na jmenovitá napětí 2,5 a 4V. Jejich kapacita dosahuje až 1,5 mF (resp. 2,2mF) při poměrně malém ESR (Equivalent Series Resistance) 7mΩ. I při takhle velké kapacitě, kondenzátor dosahuje relativně miniaturních rozměrů d10x8mm.

Část obvodu tvořená mikropříkonovým komparátorem IC1 s vestavěným referenčním zdrojem 1,245V porovnává toto napětí s dílem napětí superkapacitoru, které je vytvořené děličem R1, R2. Podle nastavených prahových napětí zajišťuje nabíjení a vybíjení superkapacitoru (C). Po nabití kondenzátoru na požadovanou hodnotu překlopí komparátor do úrovně H, zavře se tranzistor Tr1 a nabíjení superkapacitoru je přerušeno. Signál z bodu A poskytuje informaci mikrokontroléru o nabití superkapacitoru C (úroveň H). Na základě toho mikrokontrolér s tranzistorem s otevřeným kolektorem zajistí nízkou logickou úroveň L v bodě B. Tím se otevře tranzistor přes který se kondenzátor C vybije do vysílače.

Ještě před vysílačem je zařazen napěťový měnič (DC-DC converter) MAX795, který napětí kondenzátoru zesílí na potřebnou velikost v rozsahu hodnot 2-5,5V na základě děliče R5, R6.

### 3.1.7. Senzory

Zařízení vysílá signál pomocí kterého je lokalizováno. Není důvod proč by měl být lokalizační signál pouze identifikačního nebo dokonce stochastického charakteru. Nároky na senzory, které by získávaly přenášenou informaci jsou vysoké. Přesto existují možnosti jak měřit neelektrické veličiny, které jsou pro výzkum pomocí telemetrického systému přínosné.

#### 3.1.7.1. Senzor náklonu

Použití senzoru náklonu vytváří jednoduchý mechanismus jak zjistit jestli lokalizovaný pták vykazuje pohyb a tedy je na živu. Jedná se o překlápěcí náklonoměry, jejichž konstrukce je naprosto triviální. Někdy je možné se setkat hovorovým označením „prasátko“. Princip funkce spočívá v pohybu vodivé kuličky uvnitř válcového pouzdra, z kterého vedou dva kontakty. Kulička uvnitř senzoru má dvě stabilní polohy. V jedné poloze jsou výstupy vodivě spojeny, v druhé rozpojeny. Rozměry těchto jednoduchých čidel jsou v řádu několika milimetrů (d3,43 x 8,71mm). Také je možné se setkat namísto pohyblivé kuličky uvnitř senzoru se rtutí, místo hliníkového obalu se skleněným a s dalšími různými alternativami.



*Obrázek 3.1.7.1. Senzor náklonu CW1600-3 od firmy Comus*

Existují dvě možnosti uplatnění náklonných čidel:

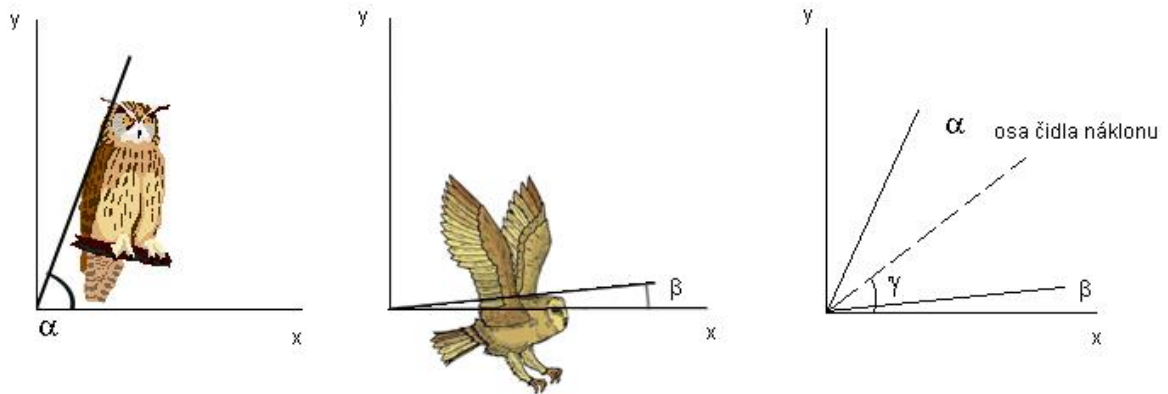
- a) pozorování aktivity ptáka (žije / nežije)

Čidlo je umístěno v horizontální rovině. Při zachovaných životních funkcí ptáka dochází neustále ke změnám polohy kuličky. Senzor je přiveden jako přerušení na mikrokontrolér, který aktivitu ptáka vyhodnotí. Jestliže je zvíře mrtvé, nevykazuje žádný pohyb po určité časové období a příslušná informace se objeví ve vysílaných datech.



b) pozorování činnosti ptáka (letí / sedí)

Druhý senzor je umístěn ve vertikální rovině (při pohledu na vysílač shora). Úhel letícího ptáka je odlišný od úhlu, který zaujímá při pobytu na stromě. Pro určení činnosti ptáka je nezbytné, aby osa náklonného čidla byla mezi úhlem kdy pták letí a úhlem kdy sedí. Názorně je to vidět na obrázku 3.1.7.2.



Obrázek 3.1.7.2: Znázornění polohy čidla náklonu

V ideálním případě je sklon umístěného čidla na zádech Kalouse:

$$\chi = \frac{\alpha + \beta}{2}$$

V takovém případě je maximální možná odchylka, která nezpůsobí chybné určení aktivity ptáka:

$$\Delta < \frac{\alpha - \beta}{2}$$

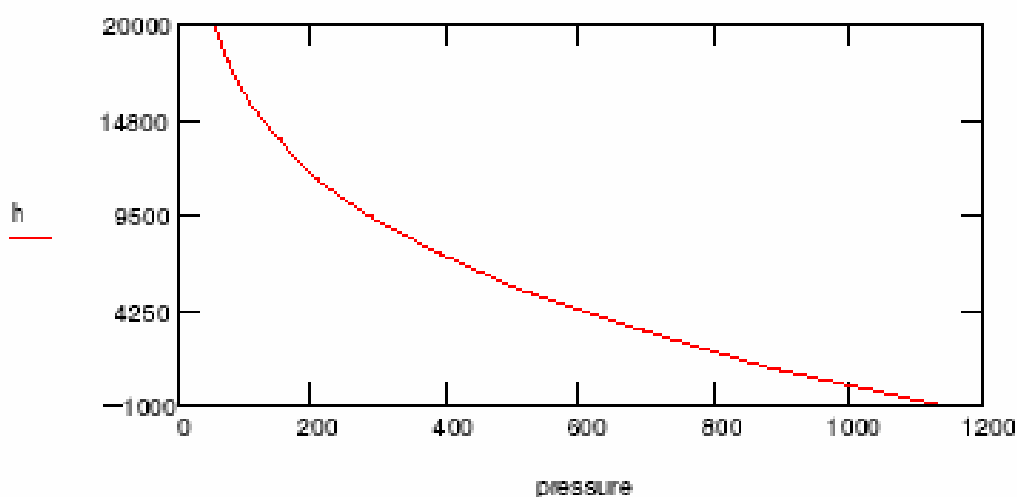
Na tyto skutečnosti je třeba dbát až při umístění čidla na desku plošných spojů a předvídat možné posuny, které se předpokládají mezi pouzdem vysílače a samotným Kalousem.

### 3.1.7.2. Výškoměr

Mnohem sofistikovanější z hlediska senzorů a měření celkově je aplikace výškoměru. Metod jak měřit výšku je několik. Pro měření absolutní výšky nad terénem se používá například radiolokační výškoměr. Pracuje na principu vysílání souvislých nebo pulsních radiových signálů. Doba za kterou se odražený signál od zemského povrchu

dostane zpět k jeho zdroji je úměrná absolutní výšce vysílače. Laserový výškoměr pracuje na obdobném principu, ale je stejně jako předchozí pro naši aplikaci nepoužitelný.

Tlakový (též barometrický) výškoměr pracuje na základě principu změny atmosférického tlaku v závislosti na nadmořské výšce, kde v běžných nadmořských polohách s rostoucí výškou tlak lineárně klesá (viz. obr. 3.1.7.3). Měření výšky touto metodou má dvě nevýhody. Jedna principiální nevýhoda je, že naměřená výška nedává žádnou informaci o absolutní výšce senzoru nad zemí. Druhá nevýhoda je závislost přesnosti měření na změně atmosférického tlaku vlivem změny počasí. Existuje jedno řešení, které odstraní obě tyto nevýhody. Použít dva tlakové senzory. Jeden umístěný na pozorovaném ptákově a druhý na přijímací straně. Rozdíl tlaků bude odpovídat přesné výšce vysílače nad zemí (kde je umístěný přijímač).



Obrázek 3.1.7.3: Graf závislosti výšky na atmosférickém tlaku

Jednoznačně nejlepší tlakový senzor použitelný jako výškoměr je SCP1000 od firmy VTI [R7]. Jeho vlastnosti předčí konkurenční výrobky jako např. Motorolu MPX4115 ve všech směrech. Od velikosti, spotřeby, přesnosti až po cenu. Rozměry senzoru jsou  $d6,1 \times 1,7\text{mm}$ .



Obrázek 3.1.7.4. Skutečná velikost tlakových senzorů SCP1000

Dalším obdivuhodným parametrem spotřeba senzoru. Při napájecím napětí v rozsahu 2,4 – 3,3V odebírá proud do velikosti 50μA (resp. 30μA podle zvoleného pracovního režimu). Dále obsahuje teplotní čidlo, které mimo jiné slouží k teplotní kompenzaci při měření. Komunikace je zajištěna rozhraními SCP nebo I2C. Rozmístění pinů SCP1000 s doporučeným schématem zapojení viz. příloha P.1.

Za předpokladu konstantního teplotního gradientu  $\frac{dT}{dH}$  je výška  $h$  jako funkce tlaku

P dána vztahem:

$$h = -\frac{T_0}{\frac{dT}{dh}} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{P}{P_0} \right)^{\frac{dT}{dh} \cdot \frac{R}{g}} \right] \quad [R5]$$

Teplotní gradient:  $\frac{dT}{dH} = -6,5^\circ\text{C}/\text{km}$  (v troposféře)

Teplota nulové výšky:  $T_0 = 288,15\text{K} = 15^\circ\text{C}$

Barometrický tlak nulové výšky (1 atm):  $P_0 = 101325\text{Pa}$

Tíhové zrychlení:  $g = 9,82\text{m}/\text{s}^2$

Universální plynová konstanta:  $R = 287,052\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

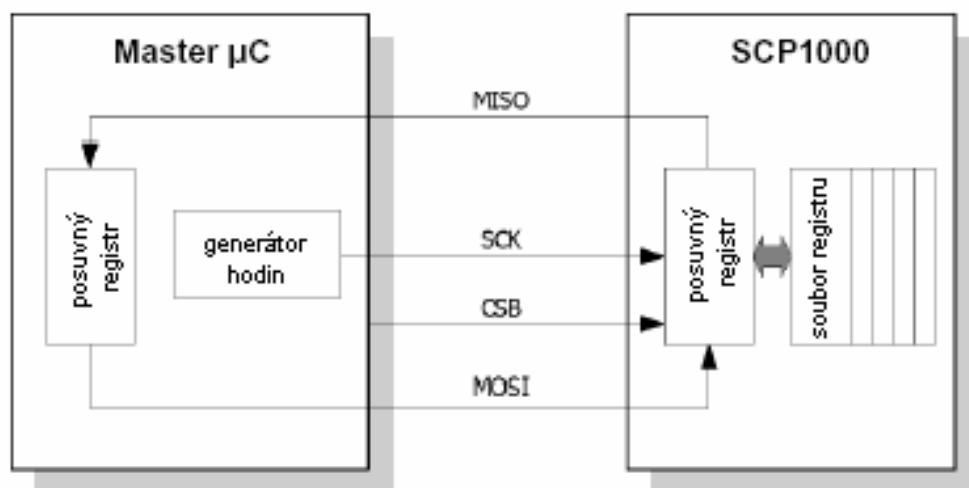
### 3.1.8. Mikrokontrolér

Pro správnou funkci a zajištění všech navrhovaných součástí vysílacího obvodu je zapotřebí řídicí obvod – mikrokontrolér (μC). Kromě standardních požadavků jako jsou minimální spotřeba, velikost aj., musí zajišťovat funkce, které odpovídají zmíněnému návrhu vysílače:

- a) zpracovávání údajů ze senzorů

Jak bylo popsáno v kapitole 3.1.7., změna stavu čidla náklonu vyvolává přerušení. Informace ze senzorů náklonu se dále projeví na vysílaném paketu dat. Jelikož jsou jen dva a každý může dosáhnout jen dvou stavů, k přenosu postačí dva bity z paketu.

Komunikace se senzorem tlaku SCP1000 probíhá prostřednictvím standardního digitálního rozhraní SPI (Serial Peripheral Interface) [R43]. Jedná se o čtyřvodičové plně duplexní sériové rozhraní. Propojení mezi mikrokontrolérem a SCP1000 je uskutečněno prostřednictvím signálů MOSI (Master Out Slave In), MISO (Master In Slave Out), SCK (Serial Clock), CSB (Chip Select Bar).



Obrázek 3.1.8: SPI konfigurace master-slave

Při komunikaci podle obrázku 3.1.8 je mikrokontrolér nastavený jako řídicí (master) a senzor SCP1000 jako podřízený (slave). Každý komunikační rámec obsahuje dvě nebo tři 8 bitová slova. První z nich definuje 6-ti bitovou adresu registru, jeden bit pro typ přenosu („0“=čtení, „1“=zápis) a poslední bit nulový (LSB – Least Significant Byte). Druhé slovo obsahuje zapisovaná (resp. čtená) data začínající bitem MSB (Most Significant Byte). Signál CSB musí zůstat během přístupu rámce (tj. mezi byty) na nízké úrovni jinak dojde k přerušení přístupu.

b) formování vysílaných dat

Mikrokontrolér je zodpovědný za vysílaná data. Volba struktury jednotlivých paketů byla podrobně popsána v kapitole 3.1.2. Přenos dat. Mimo jiné také definuje rychlost přenosu. Maximální možná rychlost je určena vysílacím modulem. Běžně se pohybuje v řádech kbit/s. V případech použití tvarovacích obvodů na přijímací straně bude rychlost přenosu pravděpodobně limitována jimi.

c) řízení obvodu power managementu

Jsou dvě možnosti jak zajistit správnou funkci napájecích obvodů:

- Předdefinovaný klíčovací poměr

Tato možnost počítá s tím, že se předem pevně stanoví klíčovací poměr na základě výpočtů časových konstant napájecího obvodu. Jinak řečeno, že by mikrokontrolér řídil

intervaly nabíjení (resp. vybíjení) podle naprogramovaných časů. Výhoda této volby je v pravidelných intervalech vysílání. Nevýhoda spočívá v tom, že zařízení by vyžadovalo bezchybný energetický odhad systému. Například v situaci neočekávaných změn okolního prostředí (např. teploty), které by vedly ke změnám vlastností součástek se může stát, že superkapacitor se nestihne za stanovenou dobu nabít dostatečnou energií potřebnou na uhrazení vysílacího impulsu. Je sice možné nabíjecí čas naddimenzovat, ale jistě to není nejvhodnější řešení. Při této variantě by byl řízen obvod power managementu pouze signály z mikrokontroléru.

- Klouzavé klíčování

Vychází ze stejného předpokladu tj. z výpočtu vybíjecího a nabíjecího času superkapacitoru. Rozdíl je v tom, že řízení probíhá na základě informací z komparátoru v napájecím obvodu.

V praxi by to vypadalo například tak, že při vyšší teplotě by byla četnost vysílaných impulsů nepatrně vyšší než při extrémně nízkých teplotách, kdy obecně dochází ke degradaci vlastností součástek a tím k vyššímu odběru.

d) časování aktivace drop-off

Mikrokontrolér obsahuje předem stanovený čas, po kterou bude lokalizace probíhat. Jeho funkce je zajistit po uplynutí definované doby připojení lithiového článku na drop-off mechanismus a zároveň ukončit vysílání, které by ubíralo energii nezbytnou pro funkci odepínacího mechanismu.

### **3.2. Drop off mechanismus**

Při každém monitorování divokých zvířat, které používá telemetrické zařízení, se předem ví, jak dlouho bude výzkum probíhat. Je tedy známo, že zařízení pro lokalizaci divokých zvířat bude využíváno po dobu například jednoho měsíce nebo třeba až dvou let. Po tomto funkčním období je zařízení většinou mimo provoz a zvíře tak jej má jen jako překážející závaží. Aby nebyl pozorovaný pták zatížen vysílačkou až do své smrti, existuje tzv. drop-off (odepínací) mechanismus. Toto zařízení je součástí připevňovacího mechanismu na pozorované zvíře a jeho činnost je zřejmá: zajistit samočinné odpadnutí vysílačky po dokončeném pozorování.

V následujících řádcích jsou popsány jednotlivé možnosti realizace upevnění resp. odpadnutí vysílačky, jejich výhody, nevýhody, použitelnost, atp.

### 3.2.1. *Samovolné odpadnutí*

Zavrhneme-li nešetrný způsob uchycování vysílaček tzv. natrvalo, kdy je obojek s vysílačkou svázán s ptákem nerozebratelně, potom máme několik dalších možností jak vysílačku na ptáka upevnit. Nejjednodušší a zřejmě i nejpoužívanější způsob je využít znalostí o rozkladu materiálů vlivem působení okolního prostředí. Každý materiál má určitou životnost a po jisté době působení povětrnostních vlivů (deště, slunce, mrazu, aj.) zetlí, čímž se poruší jeho pevnost a nakonec odpadne i s vysílačkou, kterou po dobu výzkumu na zvířeti fixoval.

Tato varianta přináší jistou výhodu v jednoduchosti realizace. Jediná, zato velice důležitá je podmínka vhodné volby materiálu, jeho síly v závislosti na okolních podmínkách, které jsou těžko předvídatelné.

K jedné z nejvýznamnějších nevýhod patří fakt, že čas odpadnutí vysílače není možné přesně odhadnout. U ptáků kteří mají vysokou mortalitu se vlivem této skutečnosti podobá mechanismus nerozebratelnému upevnění. Špatným odhadem či nepředpokládanými povětrnostními vlivy by také mohlo dojít k předčasnému odpojení a tedy k přerušení výzkumu.

### 3.2.2. *Řízené odpadnutí*

Ideální řešení je, aby vysílačka bezprostředně odpadla na povel uživatele. Tím by se zaručila návratnost zařízení a navíc absolutní využitelnost zařízení. Řešení dálkového ovládání drop-off mechanismu by ovšem vyžadovalo kombinaci vysílače a přijímače (transceiver) a dále by došlo ke zkomplikování zařízení, zvýšení hmotnosti, napájecích nároků, atd. Princip transceiveru by zhoršoval základní požadované vlastnosti a je tedy nereálný. Přesto je tady možnost jak řízeného odpadnutí dosáhnout a to tím, že by mikrokontrolér na straně vysílače byl předem načasován k ovládání drop-off mechanismu. Možností jak zrealizovat řízený odpojovací systém je několik.

#### a) Mechanicky

Telemetrické vysílačky umístěné na suchozemských divokých zvířatech se jako drop-off mechanismus s výhodou používá miniaturní krokovací motorek. Ten ve známém čase uvolní zámek, který spojuje obojek na zvířeti. U ptáků je toto řešení značně komplikované rozměry a hmotností. V dnešní době techniky by bylo teoreticky možné vyrobit extrémně malý mechanický systém, který by byl použitelný i pro ptáky. Cena

takového zařízení by pravděpodobně mnohonásobně navýšila cenu celého zařízení. Proto tento systém zůstává nedostupný.

#### b) Elektro-chemicky

Princip speciální lepící látky, která mění svoje skupenství nebo alespoň lepící vlastnosti pod vlivem přivedeného elektrického pole. Výhoda oproti mechanickému systému je v hmotnosti a velikosti. Nevýhoda a zároveň neodstranitelná překážka je v použitelném materiálu, který musí splňovat přísná kritéria. Nebylo možné žádnou vhodnou látku najít i přesto je pravděpodobné, že taková hmota existuje.

Bylo nutné nalézt jiný způsob jak změnit vlastnosti látky pomocí elektrické energie, která zůstala nashromážděná v baterii.

#### c) Elektro-mechanicky

Vlastní návrh elektro-mechanického systému vznikl s myšlenkou použít jako přídržný materiál parafín. Parafín je látka s poměrně nízkou teplotou tání. V něm je zalitá kotvička, která je součástí uchopovacího obojku vysílačky. Nedílnou součástí mechanismu je prvek, který zajistí prohřátí vosku ve správný čas a tím umožní uvolnění kotvičky a následné odpadnutí obojku s vysílačkou od zvířete.

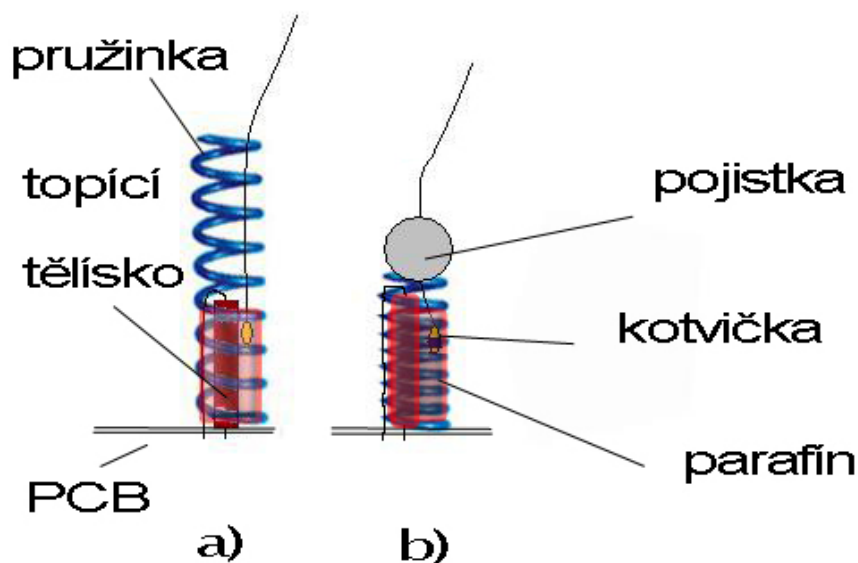
#### 3.2.3. Konkrétní návrh drop-off mechanismu

Navržený mechanismus využívá principu Joulova tepla, které vzniká ve vodiči průchodem elektrického proudu. Jde o přeměnu zbylé elektrické energie z baterie na vnitřní energii. Ta se projeví zvýšením kinetické energie částic, které se neúčastní vedení proudu. Tím se zvyšuje tepelný pohyb těchto částic a vodič se zahřívá.

Velikost Jouleova tepla  $Q$  vznikajícího ve vodiči, jímž prochází elektrický proud po dobu  $t$ , a kterém je napětí  $U$  se vypočte:

$$Q=U.I.t [J]$$

Vlastní konstrukční návrh je naznačen na následujícím obrázku.



Obrázek 3.2.3: Realizace drop-off mechanismu

Na levé části obrázku 3.2.3(a) je vidět první část realizace drop-off mechanismu. Topícím tělískem je drátový rezistor, který je vertikálně umístěn na desce plošných spojů (PCB). Pružinka rovněž přidělaná na desku tvoří válcové pouzdro, do kterého je vložen uchopovací obojek zakončený kotvičkou. Ta je společně s rezistorem zakapána parafínem tak, aby po utuhnutí došlo k pevnému upevnění koncové části obojku v parafínu. Po ztuhnutí parafínu se stlačí pružinka a zajistí se pojistkou 3.2.3(b). Funkce pružiny je zřejmá. Vysílač je příliš lehký, aby zaručil samovolné uvolnění kotvičky z parafínu. Výhoda tohoto řešení je, že na základě požadavků a použitého parafínu je možné nastavit rozpínací sílu zařízení změnou velikosti pružinky.

Samotná konstrukce odepínacího mechanismu není natolik snadná, aby bylo možné montovat tuto odpadávající část obojku v terénu přímo na ptákově. Z toho důvodu bude tato část vytvořena v rámci komplexního vysílače a k upevnění na zvíře bude sloužit druhý konec obojku, který se připevní nerozebíratelným spojem.

#### Použitelné materiály

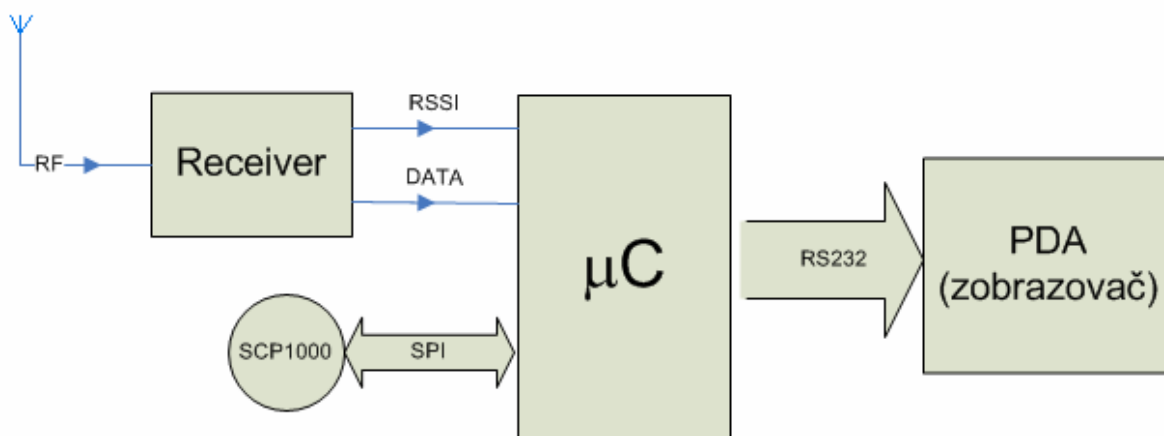
Bod tání běžných (technických) parafinových vosků se pohybuje v rozmezí od 30 do 70 °C. Nejběžnější parafíny mají teploty tání  $T_t = 44, 53, 64$  °C. Pro různé aplikace je možné použít různých parafínů. Pro nízké teploty okolí bude vhodné najít látky s co možná nejnižším bodem tání. Mezi ně patří včelí vosk, který po důkladném prohřátí vysokou



teplotou změni svojí molekulární strukturu a bod tání se posune směrem dolů. Alternativou použití vosků jsou mastné kyseliny (kaprinová, laurová, palmitová, stearová) a jejich binární směsi. Teplota tání kyselin leží v rozsahu od 30 do 65 °C.

### 3.3. Návrh přijímače

Funkce přijímače je zřejmá. Hlavní roli má přijímací modul (receiver), který je pevně naladěný na stejný kmitočet jako vysílač. Pro správnou lokalizační funkci je volba přijímací antény (kap. 3.3.2) daleko důležitější než anténa na straně vysílače. Kvalita přijímače zásadním způsobem ovlivňuje schopnost lokalizovat velmi slabý signál. Úkol přijímače je signál zachytit, zpracovat příchozí data a vhodně je interpretovat. Ve finální podobě telemetrického systému budou data zobrazována pomocí PDA (Persona Digital Assistant) nebo jiného zařízení na bázi kapesního počítače. Uživatel tak bude mít k dispozici zařízení intuitivní a jednoduché co se týče jeho ovládání i zpracování dat. Tlakový senzor SCP1000 je stejný jako na vysílací straně a jeho data slouží jako vztažná hodnota barometrického tlaku (kap. 3.1.7.2).



Obrázek 3.3.1.: Blokové schéma přijímače

#### 3.3.1. Přijímací modul (Receiver)

Po výběru vysílacího modulu už je v podstatě určený i přijímací modul. Především jedná-li se o speciální frekvence, které jsou pevně nastavené z výroby. Výhoda je v tom, že je zajištěna určitá komunikační kompatibilita. Každý přijímač má jiné vlastnosti a funkce.

Existují přijímače disponující indikací intenzity signálu, nebo-li výstupu měnícího se napětí v závislosti na intenzitě přijímaného signálu. Tato závislost bývá nelineární. Pochopitelně z naměřené síly signálu není možné určit vzdálenost vysílače. Síla signálu, jak bylo vysvětleno výše, není závislostí pouze vzdálenosti, ale mnoha dalších faktorech. Přesto informaci o intenzitě signálu se dá s výhodou využít alespoň jako orientační údaj. Konkrétní vybraný přijímací modul je popsán v kapitole 4.4.

### 3.3.2. *Napájecí obvod*

Díky tomu, že v případě přijímače nejsou v podstatě žádné nároky na hmotnost či rozměry zařízení odpadají i složité návrhy power managementu za účelem minimalizace spotřeby. To však nemění nic na tom, že je cílem vytvořit v rámci možností přijímač s malou spotřebou. K snadnějšímu návrhu pomůže i skutečnost, že přijímací modul má zpravidla několikanásobně nižší odběr proudu než vysílací a je možnost použít vysokokapacitní baterie. Naopak narozdíl od vysílače, který je aktivní jen zlomek času (např. 1%) při vysílání krátkého impulsu, musí být přijímač v aktivním režimu po celou dobu lokalizace.

Hrubým odhadem zjistíme, že při použití běžně dostupných 2000mAh baterií dosáhneme při stálém odběru přijímače 10mA, který tvoří největší část zátěže, životnost zhruba 200 hodin. Je to hodnota pouze řádově orientační a adekvátní předpokládaná doba životnosti bude vypočítána podle spotřeby zvolených obvodových prvků a použité baterie. Tento odhad byl uveden kvůli ověření toho, že způsob kontinuálního napájení je rámcově použitelný a není nutné konstruovat složité klíčování, které by bylo synchronizováno s vysílačem.

## 3.4. **Antény**

Anténový systém je souhrn zařízení potřebný na přeměnu výstupní energie vysílače na jeho šíření prostorem k přijímací anténě, aby v ní indukcí došlo k přeměně na elektromagnetickou sílu. Antény jsou základní součástí jakékoli elektronické soustavy, která využívá volný prostor jako prostředí k přenášení informací pomocí elektromagnetických vln. Vysílací anténa je posledním článkem vysílače, který vytváří elektromagnetické pole. Návrh a konstrukce antén je mnohem jednodušší v porovnání s vysílačem či přijímačem. To leckdy vytváří pocit, že anténa má menší prioritu nebo vliv v celém řetězci. Přitom je to naopak. I ten nejlepší přijímač s nevhodně zvolenou anténou ztrácí své přednosti a zcela zbytečně je degradován.

### 3.4.1. Vlastnosti a parametry antén

**Směrovost** – schopnost přijímat požadovaný signál pouze z daného směru a potlačovat signály ze směrů ostatních. Obecně platí, že čím má anténa užší vyzařovací úhel, tím má větší zisk. Druhy anténa a jejich úhly vyzařování:

- všesměrové: 360°
- sektorové: 180°-45°
- směrové: do 20°

**Polarizace** – elektromagnetické vlnění je složeno z elektrických a magnetických vln. Ty jsou navzájem kolmé. Směr šíření je opět vždy kolmý k oběma rovinám vlnění. Polarizace určuje směr elektrických siločar a dělí se na:

- Lineární horizontální – orientace siločar je vodorovná se zemí
- Lineární vertikální – siločary jsou kolmé k zemi
- Kruhová - se používá tam, kde kvůli velkému zarušení už není možno použít anténu lineární

**Selektivita** – schopnost vybrat ze změní elektromagnetického vlnění v prostoru žádaný signál, jmenovitě těch signálů, pro které je anténa vypočítána (navržena).

**Širokopásmovost** – schopnost přijímat kmitočtový rozsah, na kterém anténa splňuje požadavky na ni kladené.

**Impedance** – charakter impedance (kapacitní, induktivní) i velikost složek vstupní impedance se řídí vlnovou délkou a rozměry antény. Součástí reálné složky je vyzařovací odpor  $R_z$ , jehož velikost odpovídá vyzářenému výkonu. Při dané vlnové délce existuje taková délka antény, pro níž zmizí jalová složka a potom anténou odebraný výkon stoupne na maximum.

**Zisk** – poměr vyzářeného výkonu dané antény a vyzářeného výkonu referenční antény při stejném výkonu vysílače. Jako referenční anténu se považuje dipól nebo izotropní zářič. Pro zisk tedy platí:

$$G = \frac{P_{ant}}{P_{ref}}$$

zisk se častěji udává v decibelech:

$$G = 10 \cdot \log \frac{P_{ant}}{P_{ref}}$$

Pokud je referenční anténou dipól, udává se pro přehlednost zisk  $G$  v jednotce dBd, pokud je referenční anténou izotropní zářič, udává se zisk  $G_i$  v dBi.

Platí, že:  $\text{dBi} = 2,15 + \text{dBd}$ , což jinými slovy znamená, že zisk v decibelech udávaný proti izotropnímu zářiči bude číselně o 2,15 větší než zisk udávaný proti dipólu. A dále to znamená, že zisk dipólu je  $2,15 \text{ dBi} = 0 \text{ dBd}$ .

**Vyzářený výkon** – závisí na zisku antény a výkonu vysílače:

$$ERP = P \cdot G \quad (\text{ve vztahu k dipólu})$$

$$EIRP = P \cdot G_i = 1,6 \cdot ERP \quad (\text{ve vztahu k izotropnímu zářiči})$$

Zisk, směrovost a vyzářovací úhly antén jsou detailně zakreslovány do vyzářovacích diagramů. Ty ukazují plnou charakteristiku šíření signálu, jak horizontálně, tak vertikálně. Lze z nich vyčíst také odchylky oproti udávanému vyzářování, kdy anténa září i do postranních a zadních laloků. Pomocí speciálních programů (EZNEC, MMANA) je možné pro konkrétní anténu si zobrazit vyzářovací diagramy a podle nich anténu domodelovat do ideální podoby.

#### 3.4.2. Anténa –vysílač

Na začátku je potřeba si uvědomit jednu věc. To, že se zvolí vysílací modul s výkonem 20dBm, neříká nic o tom jaký bude mít zařízení dosah. Vybrat výkonný vysílač je prvním krokem ke kvalitnímu dosahu, ale musí být podpořen i ostatními částmi obvodu, mezi něž patří i anténa. To co skutečně ovlivní dosah není zmíněný výkon vysílače, ale vyzářený výkon.

Návrh vysílací antény pro lokalizaci ptáků je extrémně omezen nosností zvířete. Tedy i nároky na anténu na straně vysílače jsou proto malé. Nejčastěji se jedná o prutovou anténu vhodné délky, která trčí ve směru ocasních per (v případě umístění vysílače na jedno z per) nebo směrem dozadu vzhůru (je-li vysílač na zádech jako batůžek). Základní druhy antén a jejich hlavní rysy jsou uvedeny níže.

## **Integrované antény**

V porovnání s vnějšími anténami jsou relativně neúčinné. Jejich vývoj dodnes nedosáhl kvalit srovnatelných s externími anténami. Jejich výhody v ucelenosti a kompaktnosti vysílače jsou však evidentní. V případě realizace integrované antény je potřeba dát pozor na její okolí. Měla by se vyskytovat co nejdál od vodivých objektů, které by mohly způsobit odladění nebo odstínění antény. Další nežádoucí ovlivňování může přijít ze strany mikroprocesoru nebo logických obvodů pracujících na vysoké frekvenci. V takovém případě pak vodivé cesty mezi nimi vyzařováním těchto kmitočtů přispívají ke snížení citlivosti přijímače. Nevhodně umístěnou integrovanou anténou se může snížit dosah až pětkrát a více. Proto je snaha vytvářet co nejkratší spoje mezi vysokofrekvenčními prvky a anténu od nich umístit co nejdál.

## **Prutové**

Nejčastěji vyskytující se všesměrové vysílací antény v oblasti telemetrie pro lokalizaci divokých zvířat. Anténa je tvořena jednoduše drátem nebo prutem a je možné ji připojit přímo k vysílacímu modulu. Její délka je závislá na vlnové délce a tedy na zvolené frekvenci. Například pro kmitočet 155MHz, kde vlnová délka je okolo 1850mm vychází čtvrtvlnová prutová anténa na 463mm. Je to délka od vysílacího modulu až po konec antény včetně přívodních vodičů. Jistá nevýhoda je v délce antény. V případě slabého volně trčícího prutu by neměl být problém ohledně slučitelnosti s ptákem, na kterém bude anténa společně s vysílačem umístěna.

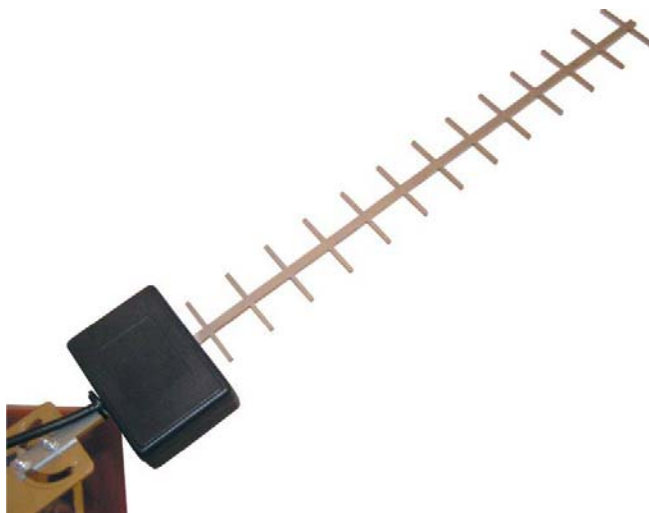
## **Šroubovicové**

Řešení velkých rozměrů prutové antény přináší šroubovice, která je tvořena vinutým drátem. Je několikanásobně menší než čtvrtvlnový prut. Má sice horší vysílací vlastnosti oproti prutové anténě, přesto vzhledem k jejím malým rozměrům je efektivní a má vysokou jakost  $Q$ . Návrh rozměrů, počtu závitů a průměru je komplikovanější a pro dosažení nejlepších výsledků je vhodné ji úpravami naladit na základě skutečné situace.

### 3.4.3. Anténa – přijímač

Důležitosti přijímací antény bylo zmíněno již v kapitole W.3 Návrh přijímače. Pro správnou lokalizační funkci je vhodná anténa nutným předpokladem. Je jasné, že se musí jednat o směrovou anténu. Jak bylo zmíněno v popisu parametrů antén, užší charakteristika (směrovost) antény zajistí přesnější lokalizaci, větší dosah, ale naopak zmenší prostor pokrytí a tím znesnadní zachycení signálu.

Směrové antény se vyrábějí nejčastěji v provedení YAGI. Jedná se o antény jejichž základem je dlouhá tyč s mnoha sfázovanými půlvlnnými dipóly, které navzájem rezonují a zesilují přijímaný (popř. vysílaný) signál. Výhodou YAGI antén je úzká směrovost kompaktní rozměry a přijatelná cena.



*Obrázek 3.4.3.: Směrová anténa YAGI*

## 4. REALIZACE NÁVRHU

### 4.1. Vysílací modul

Projekt je tak velkého rozsahu, že bude efektivnější snažit se využít již profesionálně navržených standardů a vyvinutých částí obvodů. Na základě tohoto poznatku byl hledán takový vysílací modul, který tvoří základní kámen vysílače. Cíl je jasný. Najít vysílací prvek, který co nejlépe vyhoví výše uvedeným požadavkům. V první řadě jde o parametry jako je dosah, rozměry a životnost.

#### 4.1.1. Výběr vysílacího modulu

Na základě zvolené frekvenční oblasti, jejíž výběr je popsán v kapitole 3.1.3., byl vybírán takový vysílací modul (transmitter) pracující v pásmu VKV, který se blíží navrženému kmitočtu a zároveň ctí pravidla ČTÚ. Nutno podotknout, že většina výrobců, kteří se na trhu vysílacích modulů objevují, nabízejí zařízení pracující na kmitočtu radioamatérských aplikací 433Mhz. Dalším nejčastěji používaným kmitočtem pro běžný bezdrátový přenos je 869Mhz. Toto jsou kmitočty, které nekopírují teoretické předpoklady o vhodném vysílači (kap. 3.1.), kde byla uvažována frekvence několikanásobně nižší než výše zmíněné. Výrobcem, který produkuje vysílací moduly v pásmu požadovaných frekvencí je anglická firma Radiometrix LTD.

Frekvence [MHz]	Max. vyzářený výkon ERP [W]	Max. šířka pásma zabraného vysíláním [kHz]	Kanálová rozteč [kHz]
149,125	0,5	16	25
149,250			
155,725			
156,150		14	20
448,070			
448,170			

Tab. 4.1. Výběr vhodných kmitočtů z obsahu všeobecného oprávnění ČTÚ

#### 4.1.2. BiM1 – vysílač

Jako nejvhodnější vysílací modul byl zvolen úzkopásmový transceiver BiM1 [R36] s výkonem 100mW na frekvenci 155,725 MHz. Jedná se o kmitočet výhradně pro Českou republiku, kde je toto pásmo na základě ustanovení GL-21/R/2000 povoleno pro bezlicenční provoz. Modul BiM1 je transceiver pro poloduplexní obousměrný přenos. Firma Radiometrix dělá i vysílače a přijímače zvlášť (transmitter - receiver). Pro tuto speciální frekvenci však pouze při objednávce většího počtu modulů. Jelikož jsou transceiver a transmitter (resp. transceiver) kompatibilní, je možné jejich záměnu v návrhu bez omezení uvažovat.

Vysílací část modulu BiM1 se skládá z frekvenčně modulovaného krystalového oscilátoru řízeného napětím, kmitočtového násobiče, dvoustupňového zesilovače a vysokofrekvenčního filtru. Koncový stupeň zesilovače je výrobcem nastaven na výkon stanovený pro používané pásmo. Funkce vysílání se řídí vstupem Tx select, vysílač dosáhne plný výstupní výkon do 5 ms od chvíle, kdy se na vstupu TX objeví nízká úroveň. Aby byly dodrženy podmínky generální licence, je na výstupu vysílače umístěn vysokofrekvenční filtr a výstupní signál se přivádí přes rychlý přepínač mezi vysíláním a příjmem na vývod, ke kterému se připojuje anténa s impedancí 50  $\Omega$ .

Nejdůležitější parametry modulu BiM1 jsou pro přehlednost uvedeny v následující tabulce.

Parametr	min	typicky	max	jednotka
Napájecí napětí	3,8		15	V
Odběr proudu při vysílání		80		mA
Impedance anténního vývodu		50		$\Omega$
Pracovní teplota	-10		60	$^{\circ}\text{C}$
Vysílací frekvence		155,725		MHz
Odchylka kmitočtu	-2,5		+2,5	kHZ
Šířka kanálu		25		kHZ
Efektivní vyzářený výkon	+19	+20	+21	dBm
Doba odezvy *		5		ms

\* pro dosažení plného vysílacího výkonu po aktivaci vysílače

Tab. 4.2. Vybrané parametry modulu BiM1

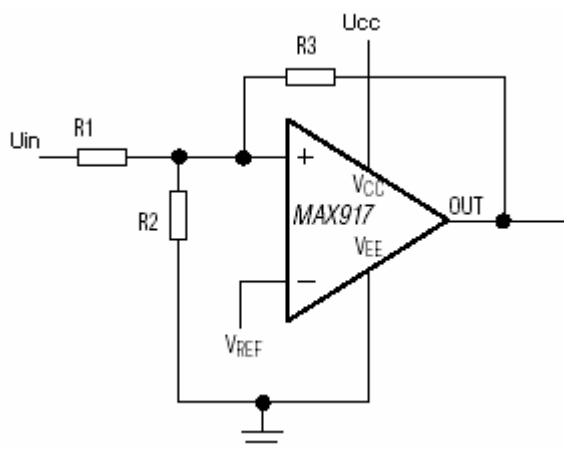


Z vybraných parametrů stojí za zmínku napájecí napětí, jehož minimální hodnota je vyšší než je napětí knoflíkové baterie. Není to chyba, ale je nutné tento fakt uvažovat při návrhu obvodu power managementu. Parametrem, který určí možnosti použití celého zařízení je pracovní teplota, jejíž spodní hranice je  $-10^{\circ}\text{C}$ . Systém je určen pro provoz i v zimních měsících a je tedy nutné s tímto omezením počítat. Doba odezvy zvýší minimální možnou dobu vysílání jednoho pípnutí a tedy i poměr klíčování (kap. 3.1.2).

## 4.2. Výpočet prvků power managementu

### a) Komparátor MAX917 [R30]

Výpočet rezistorů pro konkrétní komparační napětí ze schématu power managementu 3.1.6. Vnitřní zapojení komparátoru je na obrázku 4.2.1 přičemž indexy součástek souhlasí se schématem 3.1.6.



Obrázek 3.1.6.: Vnitřní zapojení komparátoru

Pro zvolená komparační napětí  $U_{P1} = 1,7\text{V}$  a  $U_{P2} = 2,7\text{V}$  :

$$R_3 = \frac{U_{CC} - U_{REF}}{I_{R3}} = \frac{3 - 1,245}{10^{-6}} = 1,2\text{M}\Omega$$

$$R_1 = R_3 \frac{U_{P2} - U_{P1}}{U_{CC}} = 12 \cdot 10^5 \frac{2,7 - 1,7}{3} = 400\text{k}\Omega$$

vybrán  $R_1 = 430\text{k}\Omega$

$$R_2 = \frac{1}{\frac{U_{P2}}{U_{REF} \cdot R_1} - \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_3}} = \frac{1}{\frac{2,7}{1,245 \cdot 430 \cdot 10^3} - \frac{1}{430 \cdot 10^3} - \frac{1}{12 \cdot 10^5}} = 479\text{k}\Omega ;$$

vybrán  $R_2 = 470\text{k}\Omega$

b) Napět'ový měnič (DC-DC converter MAX1795) [R31]

Opět výpočet děliče tentokrát zajišťujícího požadované napětí pro vysílací modul BiM1. Podle tabulky 4.2 je zvoleno napětí  $U_{OUT} = 4V$ . Indexy rezistorů opět odpovídají schématu na obrázku 3.1.6.

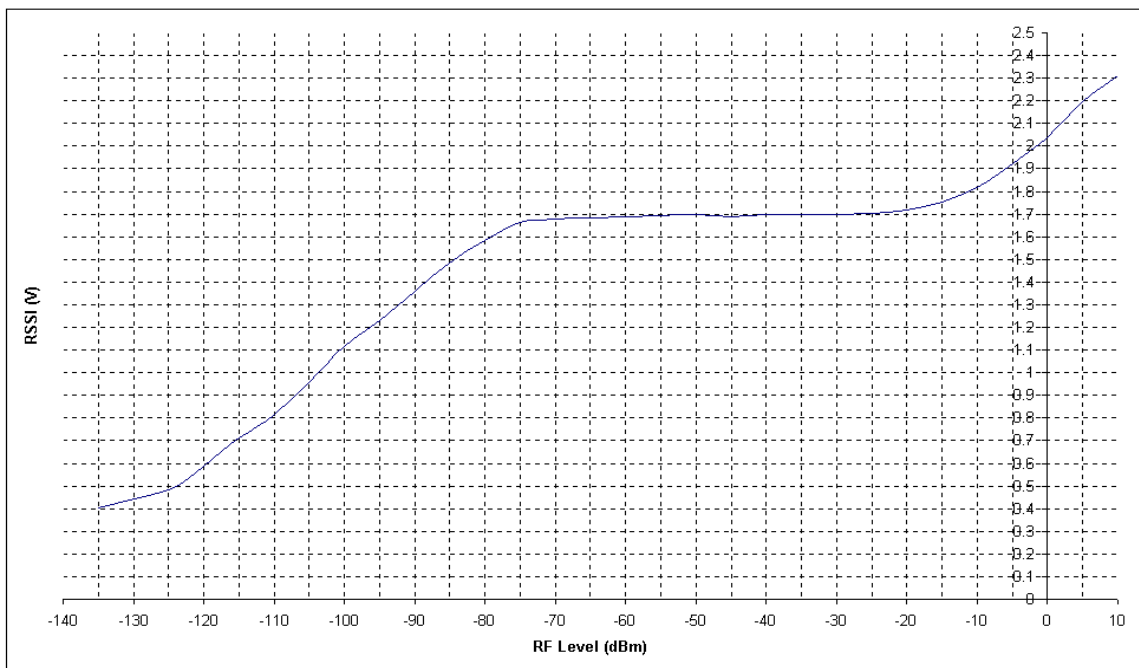
$$R_6 = 220k\Omega$$

$$R_5 = R_6 \left( \frac{U_{OUT}}{U_{FB}} - 1 \right) = 22 \cdot 10^4 \left( \frac{4}{1,245} - 1 \right) = 486k\Omega ; \text{vybrán } R_5 = 470k\Omega$$

### 4.3. BiM1 – přijímač

Přijímací část modulu BiM1 tvoří superhet s dvojím směřováním na mezifrekvenčních kmitočtech 21,4 MHz a 455 kHz připojený k nízkošumovému zesilovači. Přijímač je řízen vstupem RX Select aktivním v nízké úrovni a naběhne typicky do 2 ms. Výstup fázového detektoru je vyveden jako analogový signál na výstup AF a protějším vysílačem vysílaná digitální data jsou rekonstruována z tohoto signálu adaptivním tvarovačem.

Výstupem přijímací modul je i RSSI (Received Signal Strength Indicator), tedy indikace intenzity přijímaného signálu. Je to stejnosměrné napětí velikosti 0,5 V až 2,4 V úměrné intenzitě vstupního signálu s dynamickým rozsahem 60 dB.



Obrázek 3.3.1.: Závislost napětí RSSI na síle vf signálu anténního vývodu modulu BiM1

#### 4.4. Předpokládaná životnost vysílače

Odhad životnosti vychází z kapacity baterie a velikosti a typu zátěže. Odhad životnosti je komplikovanější o obvod power managementu, který odstraňuje impulsivní charakter zátěže a zvyšuje napětí pro vysílací modul.

součástka	popis	rozměry [mm]	odběr v aktivním režimu	odběr v neaktivním režimu
BiM1-přij	vysílací modul	33x23x10	80mA	?
MAX1795	DC-DC converter	5x3	?	100nA
SCP1000	tlakoměr	d6,1x1,7	25 $\mu$ A	200nA
PIC16F688	mikrokontrolér	6x9	8,5 $\mu$ A	1nA
MAX917	komparátor	?	750nA	?

Tab. 4.4.: Přehled součástek vysílače a jejich spotřeba

Z tabulky je vidět, že spotřebu obvodu tvoří vysílací modul BiM1. Ostatní položky i v případě uvažování klíčování jsou zanedbatelné. Za předpokladu vhodně zvoleného klíčovacího poměru (např. 1%) je přibližná střední hodnota proudu z baterie okolo 1mA.

Baterie byla vybrána Varta CR2450 na 3V s kapacitou 560mAh a hmotností 6,2g. Knoflíková baterie s rozměry d24,5 x 5 mm je vhodný kompromis mezi rozměry a kapacitou.

Hrubý odhad životnosti při vybíjení kontinuálním proudem 1mA vychází na 560 hodin. To je 23 dní nepřetržitého provozu.

## 5. ZHODNOCENÍ NAVRŽENÉHO ZAŘÍZENÍ

Na začátku projektu byla myšlenka navrhnout takové zařízení, které by bylo schopné lokalizovat Kalouse ušatého s vysílačkou. To je hlavní a nejdůležitější funkční podmínka. O tom jaké bude mít realizované zařízení dosah, životnost, případně další funkce a vlastnosti rozhoduje právě kvalita návrhu. Se snahou vytvořit v praxi využitelný systém, bylo potřeba docílit co největšího dosahu, aniž by byla překročena základní rozměrová a hmotnostní kritéria. Při volbě každého prvku se v podstatě jednalo o kompromis. Především mezi dosahem, životností a hmotností. Zřejmě rozhodující byla volba vysílacího modulu. Byl zvolen modul BiM1 i přes to, že má nadstandardně vysokou spotřebu. V porovnání s ostatními vysílači je odběr proudu 80mA při vysílání několikanásobně vyšší. Ze všech možných vysílacích modulů byl BiM1 od firmy Radiometrix nejvýhodnější jak z hlediska frekvence, tak vysokým výkonem, který předurčuje dostatečný dosah. Pro další vývoj zařízení bude vysílací modul jednou z prvních částí, která bude vyžadovat vylepšení. Finální zařízení by bylo takhle velkou spotřebou limitováno. S vhodnějším vysílacím modulem by bylo možné dosáhnout nižších rozměrů, hmotnosti, delší životnosti atp. Nově navržený nízkopříkonový modul samozřejmě musí respektovat požadovaný dosah.

Je potřeba také zmínit, že zařízení je koncipováno na provoz v zimním období. Oproti teoretickým předpokladům dojde k poklesu životnosti baterie. Jaký bude ve skutečnosti vliv okolních podmínek na zařízení ukáží až testy v extrémních podmínkách. Každopádně toto možné snížení životnosti je dalším argumentem k návrhu vysílacího modulu s menší spotřebou. Vysílací modul také určuje minimální provozní teplotu. Je určen pro provoz od teploty  $-10^{\circ}\text{C}$ . Tím je použití v extrémně chladných obdobích omezeno.

Důvodem proč už nyní nejsou první verze systému i s výsledky testování je mimo jiné to, že vybrané vysílací moduly firma Radiometrix nebyla schopna vyrobit ani dva měsíce po slíbeném termínu dodání. Moduly na těchto kmitočtech jsou vyráběny výhradně pro Českou republiku, kde je distribuuje firma Advanced Radio Telemetry Brno. Je tedy vidět jak si v anglické společnosti váží malých obchodních partnerů z východu. Zpoždění, které se v tuto chvíli vyšplhalo na více než dva měsíce je údajně způsobeno absencí součástek, což bránilo firmě Radiometrix výrobě modulů.

## 6. ZÁVĚR

Tato práce se stala základním kamenem k úspěšné realizaci telemetrického zařízení pro lokalizaci Kalouse ušatého. A nejen to. Projekt je sice stavěn pro jeden konkrétní druh ptáků v konkrétním prostředí, však nebude stát velké úsilí, aby bylo přizpůsobeno pro jiný případ použití. Ve zhodnocení navrženého zařízení je kritizována volba vysílacího modul BiM1 z hlediska abnormální spotřeby. Je namístě podotknout, že pro účely projektu pozorování Kalouse ušatého, tak jak byl zadán, je navržený systém použitelný a podmínky návrhu splňuje.

Průzkum trhu telemetrických zařízení dostal svého účelu. A to, že návrh koncepce vycházel z inspirace od prověřených výrobků a některé vlastnosti, jako je časování vysílání nebo získávání neelektrických veličin, s výhodou našly uplatnění i v tomto systému.

Klíčovými prvky od kterých se celé telemetrické zařízení odvíjí jsou vysílací a přijímací moduly. Najít na trhu vysílací moduly, aby uspokojily všechny požadavky, je nemožné. Zajímavá myšlenka pro budoucí práci na projektu je užší spolupráce s katedrou radioelektroniky na vývoji vysílacího modulu namíru. Až poté by mohl vzniknout precizní systém využívající výše navržené součásti a mechanismy, který najde uplatnění v nejednom ornitologickém projektu.

Již na začátku návrhu se dalo předpokládat, že vytvoření kompletně funkčního kvalitního zařízení bude nad rámec této práce. Přesto se povedlo vytvořit takový návrh zařízení, které po realizaci zajistí všechny funkce podle zadaných požadavků. Na základě testování a měření takového systému bude možné udělat přepracovaný návrh za účelem doladění případných nedostatků.

V budoucnu se v rámci tohoto projektu bude pracovat v první řadě na zmíněném vývoji vysílacího modulu, který je považován za základní kámen telemetrického systému. Mimo vylepšování dosavadních prvků bude dokončeno celé zařízení tak jak bylo navrženo včetně uživatelsky příjemného rozhraní. Snadné použití a zpracování získaných měření pomocí kapesního počítače bude hlavní výhodou oproti běžně se vyskytujícím telemetrickým systémům. Použití realizovaného zařízení je s uživateli z Univerzity Karlovy, pro které je systém navrhován, naplánováno nejpozději na příští zimu.

Uvažovat o dalším využití zařízení je bez předložených výsledků z měření zatím předčasné. Je mým vlastním zájmem na vývoji projektu pokračovat a dovést jej do úspěšného konce například v rámci diplomové práce.

## 7. REFERENCE

[R1] APIC – Telemetrie v zemědělství:

<http://www.apic-kraj.cz/zpravy/zprava.asp?topid=1&catid=25&newsid=3196>

[R2] NOAA - Datenblatt:

<http://mathe-physik-werkstatt.homepage.t-online.de/Exphys/WETSAT/NOAA/noaa.htm>

[R3] Maxim – Harnessing Solar Power with Smart Power - Conversion Techniques:

[http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote\\_number/484](http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote_number/484)

[R4] ČTÚ - VO-R/16/08.2005-28:

[http://www.ctu.cz/1/download/Opatreni%20obecne%20povahy/VO\\_R\\_16\\_08\\_2005\\_28.pdf](http://www.ctu.cz/1/download/Opatreni%20obecne%20povahy/VO_R_16_08_2005_28.pdf)

[R5] Intersema - Using MS5534 for altimeters and barometers:

<http://www.intersema.ch/site/technical/files/an501.pdf>

[R6] Asix - Mikrokontroléry PIC: <http://www.asix.cz/micpic.htm>

*Výškoměr:*

[R7] VTI – SCP1000-D01: [http://www.vti.fi/productsen/productsen\\_4\\_1\\_1\\_1.html](http://www.vti.fi/productsen/productsen_4_1_1_1.html)

[R8] Hy-Line – Elektronische Bauelemente und Systeme: <http://www.hy-line.de/sensor/>

[R9] Halba – Výškoměr a variometr pro letecké modeláře:

[http://www.halba.cz/produkty/vario\\_model.html](http://www.halba.cz/produkty/vario_model.html)

[R10] HW server – Senzor tlaku MPX5100 v zapojení Bar Graph:

<http://www.hw.cz/Teorie-a-praxe/Navrhy-vyvojsare/>

[R11] HW server – Digitální výškoměr:

<http://www.hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART441-Digitalni-vyskomer.html>

[R12] Quido magazin – výškoměr: <http://www.quido.cz/objevy/vyskomer.htm>

*Power management, superkapacitory:*

[R13] NIC Components Corporation: <http://www.niccomp.com/>, <http://www.low-esr.com/>

[R14] Transtronics – Capacitor ESR Ratings: <http://xtronics.com/reference/esr.htm>

[R15] Jamicon Kaimei Electronic Corp.: <http://www.jamicon.com.tw>

[R16] MAXCAP Electronics Sdn. Bhd.: <http://www.maxcap.com.my>

[R17] AVX – Katalogový list BestCap:

[http://www.avxcorp.com/prodinfo\\_catalogview.asp?prxID=10&iPageNum=1](http://www.avxcorp.com/prodinfo_catalogview.asp?prxID=10&iPageNum=1)

[R18] M.I.Europe – Katalogový list Reflowable XC Capacitor:

[http://www.mi-europe.com/datasheets/SII/SII\\_Back\\_Up\\_Capacitors.pdf](http://www.mi-europe.com/datasheets/SII/SII_Back_Up_Capacitors.pdf)

[R19] Electronic Parts Center – Product list: <http://www.electronicpic.com/capCH.htm>

[R20] CMP–Power management DesignLine: <http://www.powermanagementdesignline.com>

- [R21] Texas Instruments – Power Management:  
<http://focus.ti.com/analog/docs/powerhome.tsp?familyId=64&contentType=4>
- [R22] Linear Technology – Power management: <http://www.linear.com/index.jsp>
- [R23] Reed Electronics Group – Supercapacitor boosts current from small battery:  
<http://www.edn.com/article/CA446994.html>
- [R24] Mike Collen – Supercapacitor can extend alkaline battery life:  
<http://www.electronicweekly.com/Articles/2006/04/05/38126/Supercapacitorcanextendalkalinebattery.htm>
- [R25] Power Electronics Tech. – Ultracapacitor Technology Powers Electronic Circuits:  
[http://powerelectronics.com/mag/power\\_ultracapacitor\\_technology\\_powers/index.html](http://powerelectronics.com/mag/power_ultracapacitor_technology_powers/index.html)
- [R26] Lithium Power Technologies, Inc.: <http://www.lithiumpower.com/>
- [R27] Analog Dialogue – Voltage Regulators for Power Management:  
<http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/30-4/Voltage.html>
- [R28] Battery University: <http://www.batteryuniversity.com/index.htm>
- [R29] Cooper Industries – PowerStor <http://www.cooperet.com/>
- [R30] Dallas Semiconductor - Katalogový list MAX917:  
<http://pdfserv.maxim-ic.com/en/ds/MAX917-MAX920.pdf>
- [R31] Dallas Semiconductor - Katalogový list MAX1795:  
<http://pdfserv.maxim-ic.com/en/ds/MAX1795-MAX1797.pdf>
- [R32] Cellergy – Capacitor Technology: <http://www.cellergy.co.il/capacitor.html>
- Senzor náklonu:*
- [R33] Comus International Bvba – Product Catalogue: <http://www.comus.be/>
- [R34] Electronic Products – Tilt sensor switch supplants mercury, pendulum devices:  
<http://www.electronicproducts.com/ShowPage.asp?FileName=hlrr04.aug2005.html>
- [R35] The Fredericks Company – TrueTilt Sensors:  
[http://www.frederickscom.com/products/tilt\\_overview.html](http://www.frederickscom.com/products/tilt_overview.html)
- RF moduly:*
- [R36] Radiometrix Ltd – Katalogový list BiM1.: <http://www.radiometrix.com/pdf/bim1.pdf>
- [R37] Advanced Radio Telemetry s.r.o.: <http://www.artbrno.cz/>
- [R38] MicroRisc s.r.o – Produktový list: <http://www.rfm.cz/webcz/?id=produkty>
- [R39] Aurel – Wireless: <http://www.aurelwireless.com/>
- [R40] Microchip - Katalogový list UHF ASK/FSK Transmitter:  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41189a.pdf>

[R41] Dallas Semiconductor – Crystal-Based +13dBm ASK Transmitter MAX7044:  
<http://pdfserv.maxim-ic.com/en/ds/MAX7044.pdf>

[R42] Microchip – KL - Flash-Based Microcontroller with ASK/FSK Transmitter:  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70091a.pdf>

[R43] SPI – Serial Peripheral Interface: <http://www.mct.net/faq/spi.html>

*Ostatní:*

[R44] Africká odyssea: <http://capi.internet.cz/home.htm>

[R45] Český rozhlas – Nová odyssea: <http://www.rozhlas.cz/odyssea/portal/>

[R46] ČRK – Šíření rádiových signálů: <http://www.crk.cz/CZ/SIRENIC.HTM>

[R47] Root.cz – CRC (kontrolní součet): <http://www.root.cz/clanky/crc-kontrolni-soucet/>

[R48] Wikipedia: [http://en.wikipedia.org/wiki/Main\\_Page](http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page)

[R49] Český Telekomunikační Úřad: <http://www.ctu.cz/>

[R50] The Owl Pages – Long-eared Owl –Asio otus:

<http://www.owlpages.com/owls.php?genus=Asio&species=otus>

[R51] Seimac Limited: <http://www.seimac.com/>

[R52] Microwave Telemetry, Inc.: <http://www.microwavetelemetry.com/>

[R53] Service Argos: <http://www.argosinc.com/>

[R54] Microchip – Katalogový list PIC16F688:

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41203B.pdf>

[R55] Jim Watson - How Satellite Telemetry Works:

<http://www.ferruginoushawk.org/index.html>

[R56] Argos Newsletter – Bird tracking and Argos:

[http://www.cls.fr/html/argos/documents/newsletter/nslan52/bird\\_tracking\\_en.html](http://www.cls.fr/html/argos/documents/newsletter/nslan52/bird_tracking_en.html)

[R57] Wildlife Radio-telemetry – Resources Information Standards Committee:

<http://ilmbwww.gov.bc.ca/risc/index.htm>

*Antény:*

[R58] Teorie antén: <http://www.pira.cz/teorie.htm>

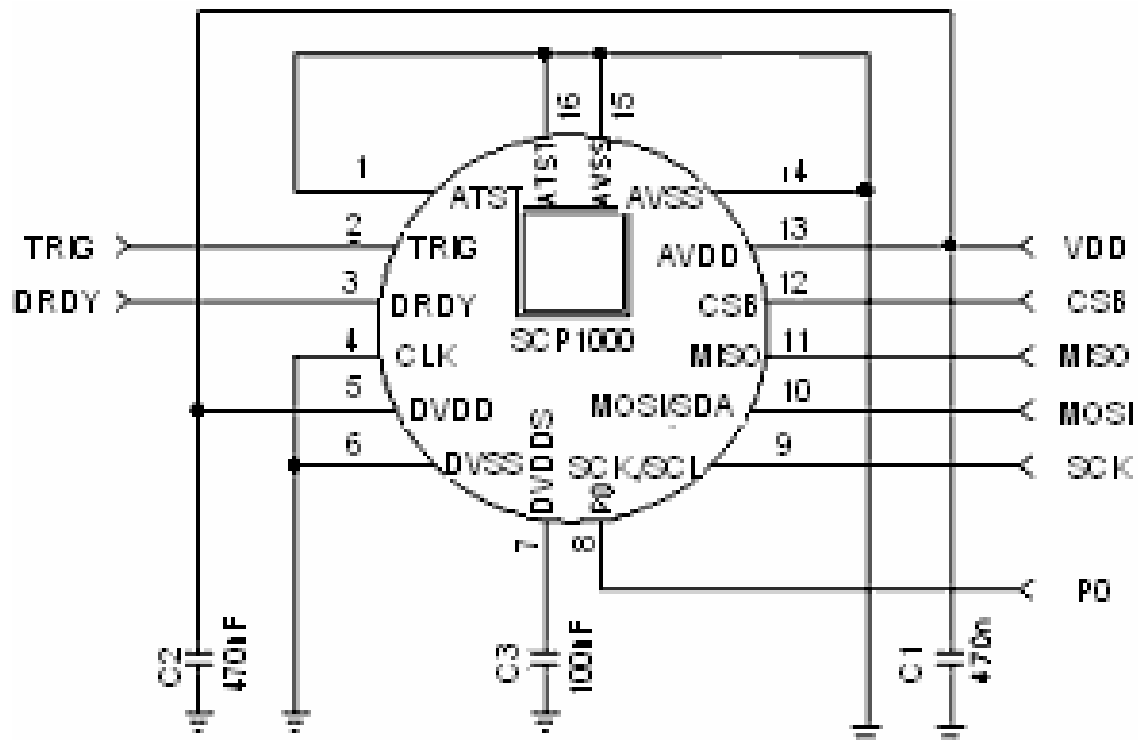
[R59] Zach – Antény: <http://www.anteny-zach.cz/>

[R60] CB klub Česká Lípa – Antény, antény: <http://www.cbdx.cz/>



## 8. PŘÍLOHY

### 8.1. Doplnující obrázky



Obrázek P.1. Doporučené schéma zapojení tlakového senzoru SCP1000



Obrázek P.2.: Upevňovací mechanismus vysílaček v podobě batůžku



*Obrázek P.3.: Dvacetigramový satelitní vysílač PICO-PTT100*



*Obrázek P.3.: Způsob umístění vysílače formou batůžku*



*Obrázek P.4.: Nejmenší jednostupňový vysílač o rozměrech 12x5x2,5mm a hmotnosti 450mg.*

## **8.2. Obsah přiloženého CD**

BP2006\ -text bakalářské práce ve formátu pdf

ZALOHA\ -archivovaná práce

SW\ -instalace nejznámějších programů pro modelování antén

## 9. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.2.1.:Lokalizace dvěma přijímači.....	2
Obrázek 3.0.1: Základní koncepční rozdělení systému.....	8
Obrázek 3.1.1. Blokové schéma vysílače.....	9
Obrázek 3.1.2: Návrh obsahu paketu.....	12
Obrázek 3.1.5: Blokové schéma použití solárních článků.....	15
Obrázek 3.1.6: Schéma obvodu power managementu .....	17
Obrázek 3.1.7.1. Senzor náklonu CW1600-3 od firmy Comus.....	18
Obrázek 3.1.7.2: Znázornění polohy čidla náklonu.....	19
Obrázek 3.1.7.3: Graf závislosti výšky na atmosférickém tlaku.....	20
Obrázek 3.1.7.4.: Skutečná velikost tlakových senzorů SCP1000.....	20
Obrázek 3.1.8.: SPI konfigurace master-slave .....	22
Obrázek 3.2.3.: Realizace drop-off mechanismu .....	26
Obrázek 3.3.1.: Blokové schéma přijímače.....	27
Obrázek 3.4.3.: Směrová anténa YAGI.....	32
Obrázek 3.1.6.: Vnitřní zapojení komparátoru.....	35
Obrázek 3.3.1.: Závislost napětí RSSI na síle vf signálu modulu BiM1.....	36

## **10. SEZNAM TABULEK**

Tab.3.1: Výtah povolených kmitočtů z VO-R/16/08.2005-28 ČTÚ .....	11
Tab. 4.1. Výběr vhodných kmitočtů z obsahu všeobecného oprávnění ČTÚ .....	33
Tab. 4.2. Vybrané parametry modulu BiM1 .....	34
Tab. 4.4.: Přehled součástí vysílače a jejich spotřeba.....	37