

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Realizace online systému sledování letadel v průběhu plachtařských závodů

Jiří Mlejnek

Vedoucí práce: Ing. Pavel Pačes

Červen 2009

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121 / 2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 14.5.2009

.....

NA TOMTO MÍSTĚ BUDE ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá rozbořem možností online přenosu telemetrických informací mezi pozemní stanicí a bezmotorovými letadly. Dále je navržen způsob zpracování těchto dat a jejich následná distribuce a přehledná prezentace pro veřejnost v síti internet. Při návrhu je řešení optimalizováno pro využití na plachtařských závodech a také na jeho minimální provozní náklady.

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu Ing. Pavlovi Pačesovi za ochotu a odborné vedení, se kterou mi pomohl úspěšně dokončit tuto diplomovou práci . Mé poděkování patří také panu Mgr. Jurajovi Rojkovi za výpomoc v oblasti GPS technologie a panu Martinovi Pflugovi z firmy Microdis Electronics s.r.o. za zapůjčení vývojového kitu ANTARIS EvalKit.

V neposlední řadě bych chtěl také poděkovat svým rodičům za podporu v celém průběhu mého studia.

V Praze dne 14.5.2009

Jiří Mlejnek

Obsah

1 Úvod	1
1.1 Současný stav řešeného problému	2
1.1.1 Určení polohy kluzáku	2
1.1.1.1 GPS – Global Positioning System	2
1.1.2 Přenos dat z kluzáku na pozemní stanici	5
1.1.2.1 Satelitní přenos dat	5
1.1.2.2 Satelitní systém sledování polohy kluzáků	7
1.1.2.3 GSM přenos	8
1.1.2.4 Radiový přenos	12
1.1.2.5 Shrnutí	17
1.1.3 Datové formáty používané pro záznam letu	18
1.1.3.1 Formát KML	18
1.1.3.2 Formát IGC	19
2 Návrh systému	21
2.1 Celkový návrh systému	21
2.2 Povolení k využití frekvence od ČTÚ	22
2.3 Vysílací stanice	23
2.3.1 Koncový stupeň vysílače	26
2.3.2 Baterie	28
2.3.3 Zapouzdření vysílače	29
2.4 Přijímací stanice	31
2.5 Antény použité v systému, výpočet dosahu	32
2.5.1 PANACOMM (tzv. bílá hůl)	32
2.5.2 Diamond A144 S5	33
2.5.3 Diamond SRH-701 – elektricky zkrácená (tzv. pendrek)	34
2.5.4 Půlvlnný dipól	35
2.5.5 Výpočet dosahu vysílače	36
2.6 3D vizualizace	37
2.7 Webové rozhraní CPSKA.CZ	38
2.8 Rozpočet na realizaci systému	40
3 Realizace	41
3.1 Vysílací stanice	41
3.2 Přijímací stanice	49
3.3 Vizualizace letu v simulátoru CONDOR	52
3.4 Vizualizace letu na webovém rozhraní	55
4 Závěr	57
4.1 Přínos práce	57
4.2 Využití systému v praxi	58
Literatura	59
Příloha A – Schéma zapojení vysílače	61
Příloha B – Schéma zapojení přijímače	62
Příloha C – Rozpis součástek vysílače	63
Příloha D – Rozpis součástek přijímače	64
Příloha E – Obsah příloženého CD	65

Seznam obrázků

Obr. 1: Schempp-Hirth Ventus - jeden z dnešních moderních větroňů.....	1
Obr. 2: Oběžné dráhy satelitů systému GPS [26].....	3
Obr. 3: Pokrytí signálem sítě INMARSAT.....	5
Obr. 4: Pokrytí signálem IRIDIUM.....	5
Obr. 5: Pokrytí signálem THURAYA.....	5
Obr. 6: Topografie sítě INMARSAT [27].....	6
Obr. 7: Modul SkyWave DMR800D OEM [27].....	6
Obr. 8: Modul SkyWave DMR800D [27].....	6
Obr. 9: YellowBrick od společnosti Rock Seven Mobile Services Ltd.....	7
Obr. 10: Struktura sítě GSM [7].....	9
Obr. 11: Frekvenční dělení sítě GSM [28].....	9
Obr. 12: TDMA multiplex v síti GSM [29].....	10
Obr. 13: GSM modul SIEMENS MC45 [25].....	11
Obr. 14: GPS/GSM tracker GH1201 od společnosti Teltonika.....	12
Obr. 15: Konstrukce a způsob připojení půlvlnného dipólu ke koaxiálnímu kabelu [24].....	15
Obr. 16: Nákres vyzařovací charakteristiky půlvlnného dipólu v horizontální a vertikální rovině [32].....	15
Obr. 17: Nákres vyzařovací charakteristiky antén typu YAGI [31].....	16
Obr. 18: Datová hierarchie dokumentu KML [40].....	18
Obr. 19: Základní funkční diagram celého systému.....	22
Obr. 20: Blokové schéma vysílací stanice.....	23
Obr. 21: Funkční diagram mikroprocesoru vysílací stanice.....	24
Obr. 22: Zapojení VF zesilovače třídy C.....	26
Obr. 23: Zapojení výstupního filtru vyšších harmonických kmitočtů v programu AADE Filter Design.....	27
Obr. 24: Graf závislosti útlumu výstupního filtru na kmitočtu vypočtený v AADE Filter Design.....	27
Obr. 25: Přístrojová krabička U-KP05.....	29
Obr. 26: Návrh rozmístění součástí v krabici vysílací stanice.....	29
Obr. 27: Návrh předního panelu krabičky vysílací stanice.....	30
Obr. 28: Umístění přijímacího obvodu do krabice GentleBox JE-200 a nákres připojení antény a počítače...31	31
Obr. 29: Prutová všesměrová anténa 2x5/8λ [33].....	32
Obr. 30: Vertikální vyzařovací charakteristika antény 2x5/8λ [33].....	32
Obr. 31: Anténa Diamond A144 S5.....	33
Obr. 32: Vyzařovací charakteristika antény Diamond A144 S5.....	33
Obr. 33: Anténa Diamond SRH-701.....	34
Obr. 34: Anténa "ohnutá" podél trupu letadla.....	35
Obr. 35: Výstup simulačního programu MMANA.....	35
Obr. 36: 3D vizualizace pohledu z kabiny kluzáku [3].....	37
Obr. 37: Zobrazení 2D mapy polohy jednotlivých závodníků [3].....	37
Obr. 38: Zobrazení mapy a trajektorie letu závodníka na webovém rozhraní.....	38
Obr. 39: Popis přenosu bloků s daty o poloze kluzáků na webovém rozhraní.....	39
Obr. 40: Schéma zapojení vysílací stanice.....	41
Obr. 41: Realizace zapojení vysílače na nepájivém kontaktním poli.....	43
Obr. 42: Realizace VF zesilovače na testovacím plošném spoji.....	44
Obr. 43: Deska plošných spojů pro testování GPS modulu.....	45
Obr. 44: Realizace desky plošných spojů pro testování GPS modulu.....	45
Obr. 45: Snímek obrazovky programu uBlox u-center pro komunikaci s GPS modulem.....	46
Obr. 46: Návrh desky plošných spojů vysílací stanice.....	47
Obr. 47: Realizace desky plošných spojů vysílací stanice.....	47
Obr. 48: Umístění baterie a plošného spoje do krabičky U-KP05.....	48
Obr. 49: Kompletní krabička vysílací stanice.....	48
Obr. 50: Schéma zapojení přijímací stanice.....	49

Obr. 51: Realizace přijímací části na nepájivém kontaktním poli.....	49
Obr. 52: Návrh desky plošných spojů přijímací části.....	50
Obr. 53: Realizace desky plošných spojů přijímací stanice.....	50
Obr. 54: Snímek obrazovky programu na přijímací stanici.....	51
Obr. 55: Formulář pro nastavení soutěžní disciplíny.....	52
Obr. 56: Formulář pro nastavení počasí během vizualizace letu.....	53
Obr. 57: Formulář pro vkládání IGC záznamů letů vytvořených přijímací stanicí.....	53
Obr. 58: Vizualizace letu - vnější pohled.....	54
Obr. 59: Vizualizace letu - pohled z kabiny - vpředu město Vrchlabí a po levé straně je letiště.....	54
Obr. 60: Pohled z kabiny směrem na Krkonoše - v dálce je zratelná Sněžka.....	54
Obr. 61: Formulář pro inicializaci sledování letu.....	55
Obr. 62: Stránka zobrazující polohu kluzáku realizovaná využitím Google Maps API.....	56
Obr. 63: 3D vizualizace letu pomocí programu GOOGLE EARTH.....	56

Seznam tabulek

Tab. 1: Porovnání jednotlivých GPS modulů.....	4
Tab. 2: Povolené kmitočty bezlicenčních pásem a jejich limity [30].....	13
Tab. 3: Hlediska posouzení vhodnosti jednotlivých pásem pro přenos telemetrických dat.....	14
Tab. 4: Porovnání variant přenosů dat a vhodnosti jejich využití.....	17
Tab. 5: Struktura přenášených dat mezi vysílačem a pozemní stanicí.....	26
Tab. 6: Porovnání vlastností jednotlivých druhů akumulátorů.....	28
Tab. 7: Vlastnosti všesměrové antény PANACOMM 2x5/8λ.....	32
Tab. 8: Vlastnosti směrové antény Diamond A144 S5.....	33
Tab. 9: Vlastnosti antény $\lambda/4$, elektronicky zkrácené - tzv. „pendrek“.....	34
Tab. 10: Rozpočet na realizaci pozemní stanice.....	40
Tab. 11: Rozpočet na realizaci vysílací stanice.....	40
Tab. 12: Časový plán realizace systému.....	40

1 Úvod

Cílem diplomové práce je navrhnout systém pro přenos informací o výšce a poloze bezmotorových letadel na pozemní stanici a následnou distribuci těchto dat pomocí internetové sítě.

Záměrem práce je vyhodnocení aktuálního průběhu plachtařských závodů. Pro úspěšné řešení problému je nutné vyvinout zařízení, které bude pravidelně odesílat naměřená telemetrická data ze soutěžícího kluzáku na pozemní stanoviště, kde bude prováděno vyhodnocení přijatých dat a porovnání aktuálního pořadí účastníků závodu.

Jedním ze základních požadavků kladených na přenosový systém je, aby tento systém pokud možno neovlivnil stávající konstrukci soutěžních větroňů, umožňoval jednoduchou instalaci do letounu, aby se jednalo o výrobně levné zařízení a i jeho provoz při přenosu telemetrických údajů byl co nejméně nákladný. Systém přenosu telemetrických údajů s následným vyhodnocením na současném trhu chybí.

Na obr. č. 1 je příklad letounu, na kterém se bude navrhovaný systém používat. Za kluzákem je zratelná stopa, která je způsobená vypouštěním vodní zátěže používané pro zvýšení jeho výkonnosti.



Obr. 1: Schempp-Hirth Ventus - jeden z dnešních moderních větroňů

1.1 Současný stav řešeného problému

Tato část je věnována rozboru dostupných technologií potřebných pro navrhovaný systém. Mezi stěžejní patří technologie pro určení polohy kluzáku a technologie pro přenos dat z kluzáku na pozemní stanici. Tyto technologie budou v následujících kapitolách popsány.

V první kapitole bude popsána funkce systému GPS a možnosti jeho využití pro realizaci systému sledování polohy. Následující kapitola se věnuje samotnému problému přenosu dat z kluzáku na pozemní stanici.

Výběr technologií pro realizaci systému bude podřízen podmínkám, které během letu kluzáku mohou nastat. Běžně se bezmotorová letadla pohybují ve výšce do 3000 m n.m. rychlostí od 70 do 250 km/h. Teplota bývá ve výšce 3 km o 20 ÷ 25°C nižší než na zemi. V letní sezóně, kdy se předpokládá užití systému, by mělo zařízení odolat teplotám od -5°C do 35°C.

Závěrem této kapitoly bude stručné seznámení s datovými formáty KML a IGC používanými pro záznam průběhu letu bezmotorových letadel.

1.1.1 Určení polohy kluzáku

Tato kapitola přiblíží problematiku satelitního přenosu dat, přenosu využitím mobilních GSM sítí a také radiovému přenosu v bezlicenčních pásmech.

1.1.1.1 GPS – Global Positioning System

Družicový systém GPS je provozovaný ministerstvem obrany Spojených států amerických. Pomocí tohoto systému lze kdekoliv na Zemi určit přesný čas a polohu. Systém mohou využívat v omezené míře civilní uživatelé. Pro civilní využití jsou dána tato omezení: max. výška 18 km, max. rychlost 515 m/s, časová přesnost 10^{-6} s. Tato omezení jsou mimo jiné dána snahou zamezit zneužití systému pro teroristické účely.

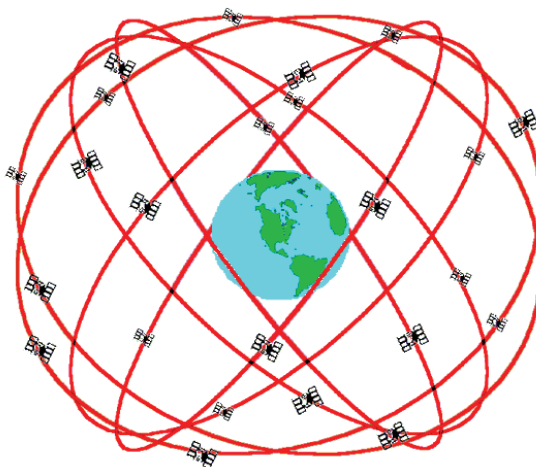
Na oběžné dráze ve výšce cca 20 200 km obíhá v současné době 28 funkčních družic s periodou oběhu 11 h a 56 min. Uspořádání oběžných drah je naznačeno na obr. č. 2.

Družice vysílají na několika frekvencích.

- L1 (1575,42 MHz) - C/A kód (Coarse Acquisition) dostupný pro civilní uživatele.
- L2 (1227,62 MHz) - P(Y) kód (Precision), který je šifrovaný a tedy použitelný jen pro autorizované uživatele.
- L3 (1381,05 MHz) - Obsahuje data monitorování startů balistických raket.
- L4 (1841,40 MHz) - Slouží pro měření ionosférické refrakce.
- L5 (1176,45 MHz) - Je do budoucna plánovaný jako civilní.

Běžné civilní GPS přijímače využívají frekvenci L1 a přijímají C/A kód. Ten obsahuje informace o poloze, rychlosti a další informace o dráze jednotlivých družic (tzv. almanach).

Přijímač je na základě informací o poloze těchto družic schopen určit svou polohu. Minimální počet přijímaných družic je 3 v případě určování polohy ve 2D prostoru a 4 pro určení polohy ve třech dimenzích.



Obr. 2: Oběžné dráhy satelitů systému GPS [26]

Mezi distributory GPS modulů využitelných pro navrhovaný systém jsou například:




- **Microdis Electronics, s.r.o.** - distributor modulů značky uBlox.
- **Macroweil, s.r.o.** - distributor modulů značky ORCAM.
- **Sectron, s.r.o.** - distributor modulů značky Leadtek.

Pro bližší porovnání byly vybrány tyto konkrétní moduly:

- uBlox LEA-5H.
- ORCAM GPS30F.
- Leadtek LR9101.

Vlastnosti těchto modulů jsou shrnuty v následující tabulce:

Tab. 1: Porovnání jednotlivých GPS modulů

Typ	Leadtek LR9101	ORCAM GPS30F	uBlox LEA-5H
			
Počet kanálů	20	20	50
Chipset	SIRF III	SIRF III	LEA-5
Rozměry	15x14x2.8	16x18x2.8	22x17x2.8
Cold/Warm/Hot start	42 s / 38 s / 1 s	35 s / 12 s / 1 s	29 s / 29 s / 1 s
Provozní teplota (°C)	-30 ÷ +85	-20 ÷ +70	-40 ÷ +85
Max. výška (m)	18000	18000	18000
Citlivost (dB)	-159 / -155	-159 / -155	-160
Napájení (V)	3,2 – 5 V	3,3 – 5,5 V	2,7 – 3,6 V
Spotřeba (mA)	49 mA	34 mA	40 mA
Ostatní			modul je připraven na systém GALILEO

Ceny všech produktů se pohybují přibližně ve stejné cenové relaci od 600 do 1100 Kč bez DPH.

Pro realizaci byl vybrán GPS modul LEA-5H značky uBlox na základě udávané citlivosti, počtu kanálů, připravenosti přijímat signál také z družic nového systému GALILEO a v neposlední řadě také na základě dobré dostupnosti těchto modulů.

1.1.2 Přenos dat z kluzáku na pozemní stanici

Systém musí být schopen v průběhu letu kluzáku pravidelně přenášet data o jeho výšce a poloze. Existuje několik způsobů přenosu těchto informací. Jsou to:

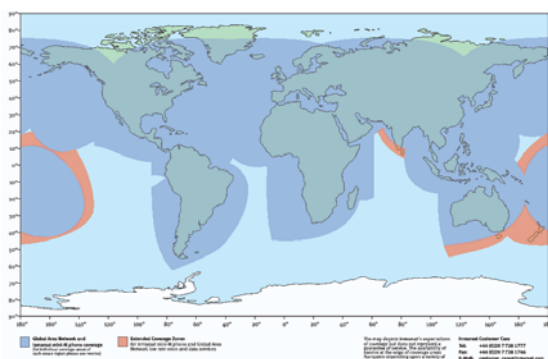
- Satelitní přenos.
- Přenos přes GSM síť.
- Pozemní radiový přenos.

V následujících kapitolách následuje rozbor uvedených způsobů přenosu dat.

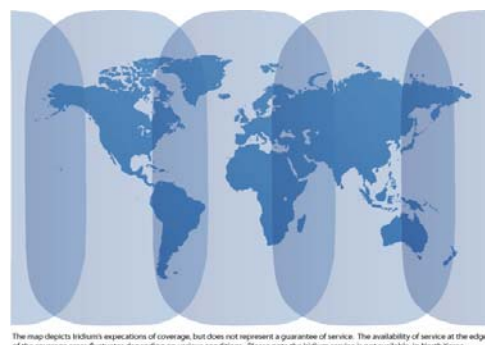
1.1.2.1 Satelitní přenos dat

Existuje několik společností poskytující služby v oblasti satelitního přenosu malých objemů dat. Jedná se o satelitní síť THURAYA, INMARSAT a IRIDIUM.

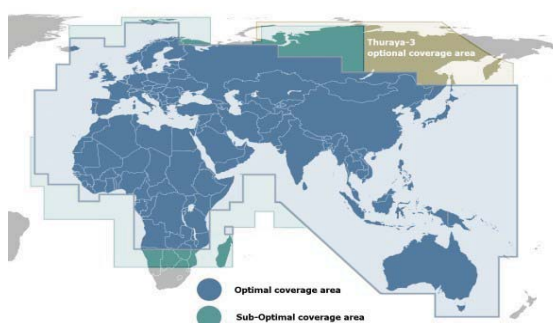
Dostupnost těchto sítí bývá globální v oblasti od 75° j. š. do 75° s. š. (kromě sítě THURAYA). Pokrytí signálem sítě INMARSAT je zobrazeno na obr. č. 3. Pokrytí sítí IRIDIUM a THURAYA pak zobrazují obrázky č. 4 a 5.



Obr. 3: Pokrytí signálem sítě INMARSAT



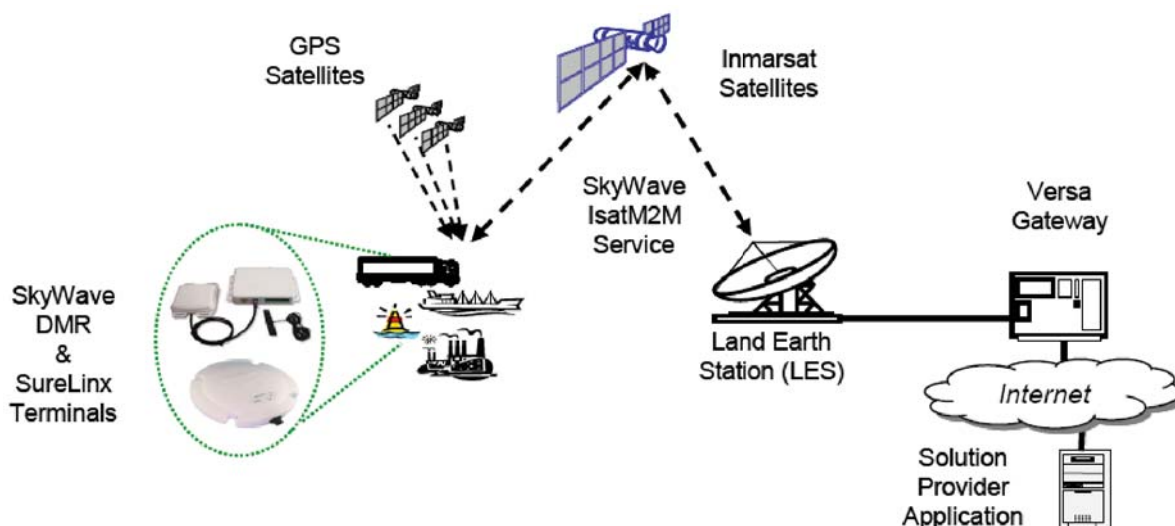
Obr. 4: Pokrytí signálem IRIDIUM



Obr. 5: Pokrytí signálem THURAYA

Všechny moduly dodávané těmito společnostmi jsou vybaveny vysílačem signálu. Data vyslaná tímto vysílačem jsou zachycena satelitem a následně přenesena na pozemní centrálu, která distribuuje data na internetový server přístupný aplikaci zákazníka, která přijatá data již individuálně zpracuje.

Princip přenosu dat je patrný z obr. č. 6, který zobrazuje topografii sítě INMARSAT.



Obr. 6: Topografie sítě INMARSAT [27]

Dodavatelem služeb a zařízení pro přenos dat pomocí sítě INMARSAT je společnost SkyWave. Služba pro přenos malých objemů dat je společností inzerována pod názvem IsatM2M.

Jedná se o jednosměrný přenos malých zpráv o velikosti 16 bytů. Cena za přenos jedné zprávy je \$0,06. Cena vysílače dodávaného také společností SkyWave se pohybuje mezi \$500-\$700. Na obr. č. 7 a 8 jsou snímky modulů dodávaných touto společností.



Obr. 7: Modul SkyWave DMR800D OEM [27]



Obr. 8: Modul SkyWave DMR800D [27]

Obecnou nevýhodou satelitního přenosu je velikost těchto zařízení, nutnost stálého nasměrování antény k družicím a v neposlední řadě také větší spotřeba (přibližně 1,5 W).

Aktivace služby v rámci IsatM2M pro jednu stanici činí \$20 a paušální poplatek za

poskytování služby je \$5. Odhad provozních nákladů systému sledování polohy kluzáku při využití této technologie je přibližně \$40/stanici/hod provozu, v případě odesílání informace o poloze kluzáku každých 5 s.

1.1.2.2 Satelitní systém sledování polohy kluzáků

Na trhu je k dispozici satelitní systém pro sledování polohy kluzáků od firmy Rock Seven Mobile Services Ltd. s názvem Yellowbrick, jehož snímek je na obr. č. 9.

Toto zařízení využívá satelitního přenosu pomocí sítě Iridium a přenáší informace každých 20 s. Náklady na sledování 10 kluzáků během plachtařských závodů v délce 10 dnů se však vyšplhají do výše od 150 000 do 300 000 Kč. Proto si tento produkt mohou dovolit jen pořadatelé velkých závodů celosvětových měřítek, kterým jejich rozpočet využití těchto služeb umožní.



Obr. 9: YellowBrick od společnosti Rock Seven Mobile Services Ltd.

1.1.2.3 GSM přenos

Služby mobilních sítí GSM (Global System for Mobile Communications) představují další možnost přenosu telemetrických informací na pozemní stanici.

Účastnické zařízení (mobilní telefon, datový modem, apod.) komunikuje se základnovou stanicí (Base Transceiver Station - **BTS**). Jednotlivé základnové stanice jsou propojeny do větších celků nazvaných „Systém základnových stanic“ (Base Station Subsystem - **BSS**). Tento systém je řízen základnovou řídicí jednotkou (Base Station Controller - **BSC**).

Všem systémům základnových stanic je nadřazen síťový podsystém (Network SubSystem - **NSS**). Základní funkcí tohoto podsystému je registrace účastníků, spojování hovorů, roaming apod. **NSS** obsahuje několik registrů obsahujících informace o účastnících využívajících danou GSM síť. Jsou to:

- **Domovský lokační registr (HLR – Home Location Register)**

Obsahuje informace o všech účastnících domovské oblasti.

- **Návštěvní lokační registr (VLR – Visitor Location Register)**

Obsahuje vybrané informace z **HLR** nutné pro řízení hovorů stanic pohybujících se v oblasti spravované danou Mobile Services Switching Center - **MSC**.

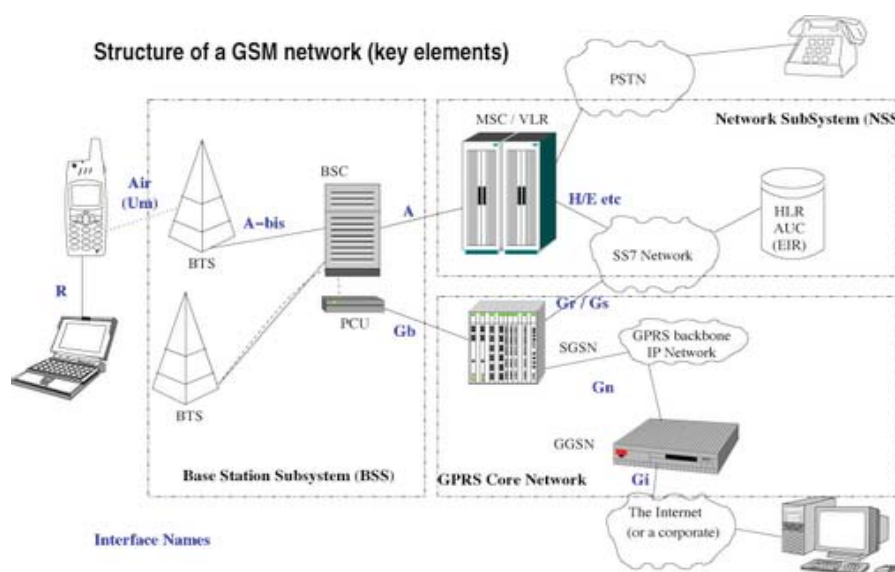
- **Registr mobilních stanic (EIR – Equipment Identity Register)**

EIR je databáze všech platných mobilních telefonů. Identifikace probíhá na základě identifikačního IMEI kódu, který je součástí každého telefonu.

- **Autentifikační centrum (AuC – Authentication register)**

Uchovává kopie tajných klíčů uložených na SIM kartě účastníka, které jsou nutné pro jeho přihlášení do sítě.

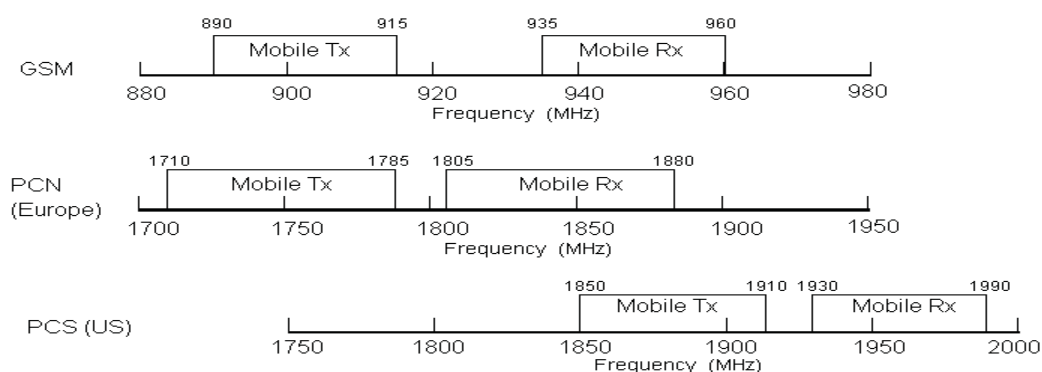
Struktura sítě systému GSM je znázorněna na obr. č. 10.



Obr. 10: Struktura sítě GSM [7]

Vedle síťového podsystému (NSS), jehož úkolem je řízení účastnických hovorů jsou operátoři vybaveni tzv. „GPRS Core Network“. Jedná se o podsystém zajišťující datovou komunikaci mobilních stanic a jejich připojení k síti internet.

Mobilní stanice komunikují se základnovými stanicemi (BTS) na několika frekvenčních pásmech. Jsou to 900, 1800 nebo 1900 MHz. Viz obr. č. 11. V rámci České Republiky se využívají pásma 900 a 1800 MHz.



Obr. 11: Frekvenční dělení sítě GSM [28]

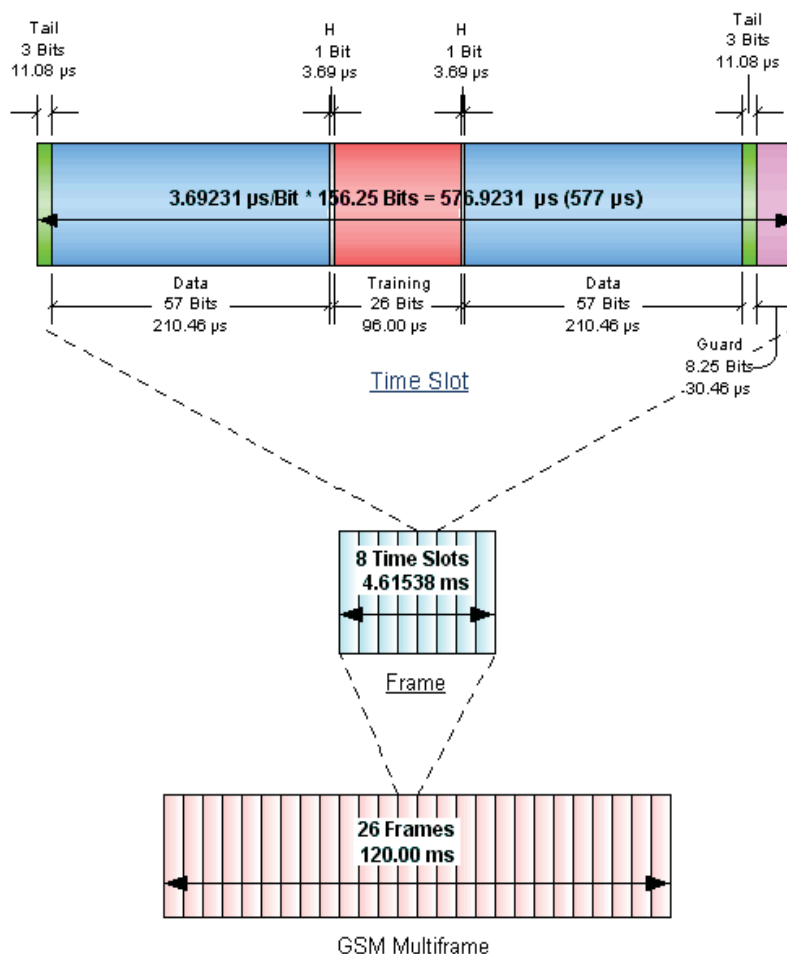
Základní pásmo pro sítě GSM je v rozmezí 890,2 až 960 MHz. Pásmo 890,2 až 915 MHz je určeno pro uplink (tj. směr od účastnické stanice do GSM sítě) a 935,2 až 960 MHz pro downlink. Přenosové pásmo je přidělováno na základě frekvenčního multiplexu s dělením po 200kHz. V základním pásmu GSM 900 je tedy k dispozici 124 obousměrných kanálů.

Vzhledem k vytíženosti základního pásma se rozhodlo o jeho rozšíření. Tím vzniklo rozšířené (Extended) základní pásmo na frekvenci od 880,2 po 960 MHz. Namísto původních

124 kanálů je u rozšířené verze k dispozici 174 kanálů. V pásmu GSM 900 se používají mobilní stanice s max. vysílacím výkonem 2 W.

1800 MHz pásmo se využívá na frekvencích od 1710 MHz po 1880 MHz. Podobně jako základní pásmo je také toto pásmo rozděleno na uplink (1710-1785 MHz) a downlink (1805-1880 MHz). Oproti základnímu pásmu se zde používá max. vysílacího výkonu 1 W. Z toho vyplývá využití tohoto pásma spíše ve větších městech, kde je více koncentrovaná síť jednotlivých stanic BTS.

V rámci jednoho přenosového kanálu, kde je komunikace rozdělena na 8 časových timeslotů (TDMA – Time Divison Multiplý Access), kde každý timeslot trvá přibližně 500 μ s. 8 timeslotů je spojeno do tzv. TDMA rámce o délce 4,615 ms. Jednotlivé TDMA rámce jsou dále spojeny do tzv. multirámců. Tyto multirámce obsahují 25 TDMA rámců a jejich délka je 120 ms. Celé dělení je graficky zobrazeno na obr. č. 12.

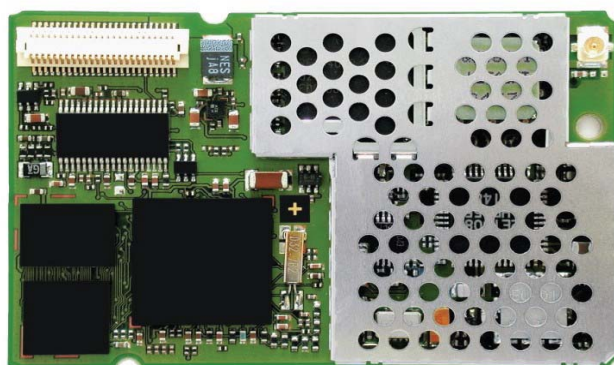


Obr. 12: TDMA multiplex v síti GSM [29]

Každý telefonní hovor zabere 1 timeslot. Tzn. že na každém kanále je možné obsloužit maximálně 8 telefonních hovorů najednou. Datové přenosy GPRS jsou založeny na využití zbývajících volných timeslotů. Telefonní hovory mají vyšší prioritu a proto se v případě přetížení sítě může stát, že GPRS přenos nebude možné vůbec uskutečnit.

Pro přenos informací z paluby kluzáku se tedy nabízí možnost využít přenosových služeb GPRS, ovšem při zvážení dříve popsaných nevýhod. Existují GSM moduly, které lze implementovat do vlastních zařízení nebo také hotové zařízení obsahující GPS i GSM modul.

Jeden z mnoha nabízených GSM modulů je např. modul SIEMENS MC45, který je zobrazen na obr. č. 13. Modul do ČR dodává firma Sectron s.r.o. s cenou přibližně 3000 Kč s DPH.



Obr. 13: GSM modul SIEMENS MC45 [25]

Zařízení obsahující GPS i GSM modul vysílající v pravidelných intervalech svou polohu jsou nazývána jako GPS/GSM tracker. Jedno z takových zařízení je např. GH1201, které vyrábí litevská společnost Teltonika, jejímž distributorem pro Českou republiku je společnost Macroweil s.r.o.

GH1201 je malé kompaktní zařízení o velikosti menšího mobilního telefonu (viz obr. č. 14). Skládá se z GPS modulu, GSM modulu, baterie a procesoru, který zajišťuje komunikaci mezi oběma moduly. Výrobce dodává velmi kvalitní softwarový produkt, pomocí kterého je možné podrobně nastavit chování tohoto zařízení. Cena trackeru GH1201 je cca 6500 Kč s DPH.



Obr. 14: GPS/GSM tracker GH1201 od společnosti Teltonika

Poplatky operátorům za přenosové služby závisí na zvoleném tarifu. V případě neomezeného objemu přenesených dat se měsíční paušál pohybuje mezi 500 a 1000 Kč. V případě platby za každý přenesený kB se cena pohybuje kolem 0,06 Kč/ 1 kB.

V případě zasílání polohy kluzáku každých 5 s se potom provozní náklady pohybují kolem 3 Kč / hod letu.

Nevýhodou GSM přenosu pro využití ve sledování plachtařských závodů je pokrytí signálem pouze v omezené výšce. Během měření síly GSM signálu bylo zjištěno, že od výšky 300 m nad zemí přestává být signál využitelný.

1.1.2.4 Radiový přenos

Poslední zde uváděnou možností jak přenést informace o poloze letadla na pozemní stanici je využití radiového přenosu v pásmech uvolněných Českým Telekomunikačním úřadem (ČTÚ) k bezplatnému užívání, která jsou označovaná jako bezlicenční pásma. Tato bezlicenční pásma jsou upřesněna v tzv. všeobecném oprávnění k využívání radiových kmitočtů a k provozování zařízení provozovaných společně na určených kmitočtech v pásmech 27 MHz až 450 MHz [30].

Bližší informace k využívání jednotlivých kmitočtů upřesňuje následující tabulka.

Tab. 2: Povolené kmitočty bezlicenčních pásem a jejich limity [30]

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		

Z tabulky vyplývají vhodné kmitočty pro využití v navrhovaném systému sledování polohy kluzáků. Jsou to kmitočty v pásmech 27 MHz, 87 MHz, 155 MHz nebo 448 MHz.

Výběr vhodného pásma byl proveden podle několika hledisek, které vystihuje následující tabulka.

Tab. 3: Hlediska posouzení vhodnosti jednotlivých pásem pro přenos telemetrických dat

pásmo	dosah $\lambda/2$ - $\lambda/2^*$	rušení v pásmu	dostupnost modulů	velikost antény $\lambda/2$
27 MHz	150 km / 1 W	ionosférické**	velmi špatná	5m
87 MHz	60 km / 500 mW	min.	žádná	2m
155 MHz	30 km / 500 mW	min.	dobrá	1m
448 MHz	10 km / 500 mW	městské	velmi dobrá	0,4m

Pozn. * - Teoretický dosah vypočtený na základě útlumu prostředí na dané frekvenci, max. povoleného výkonu, s použitím přijímače s citlivostí -75 dB a půlvlnného dipólu na straně vysílače i přijímače.

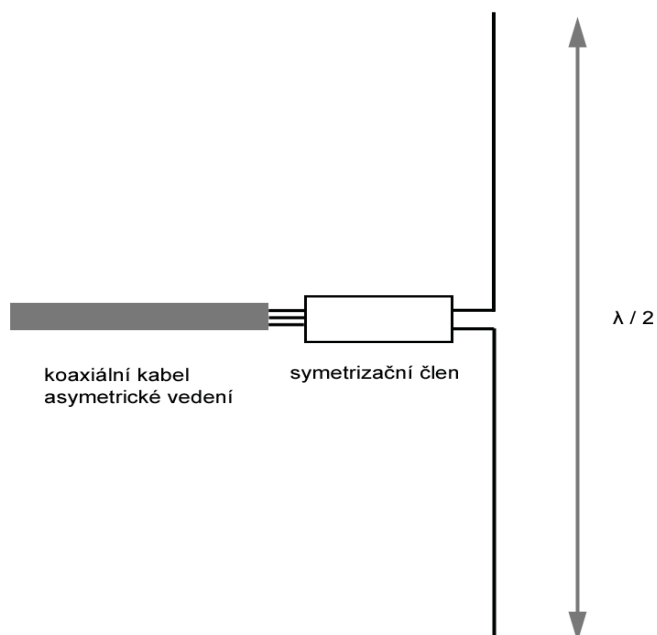
Pozn. ** - V pásmu 27 MHz je nejmenší útlum prostředí / km, ale existuje zde větší ionosférické rušení a následkem toho je nutné většího výkonu vysílače pro zajištění dostatečného odstupu signálu od šumu.

Pro pásmo 27 MHz jsou velmi těžko dostupné moduly a i velikost antén by mohla být problémem při realizaci a umístění na letadle. Pásmo 87 MHz je sice použitelné, ale moduly pro tyto kmitočty nedodává žádný výrobce. Pásmo 448 MHz s povoleným výkonem 500 mW bohužel nezajišťuje vhodný dosah zařízení.

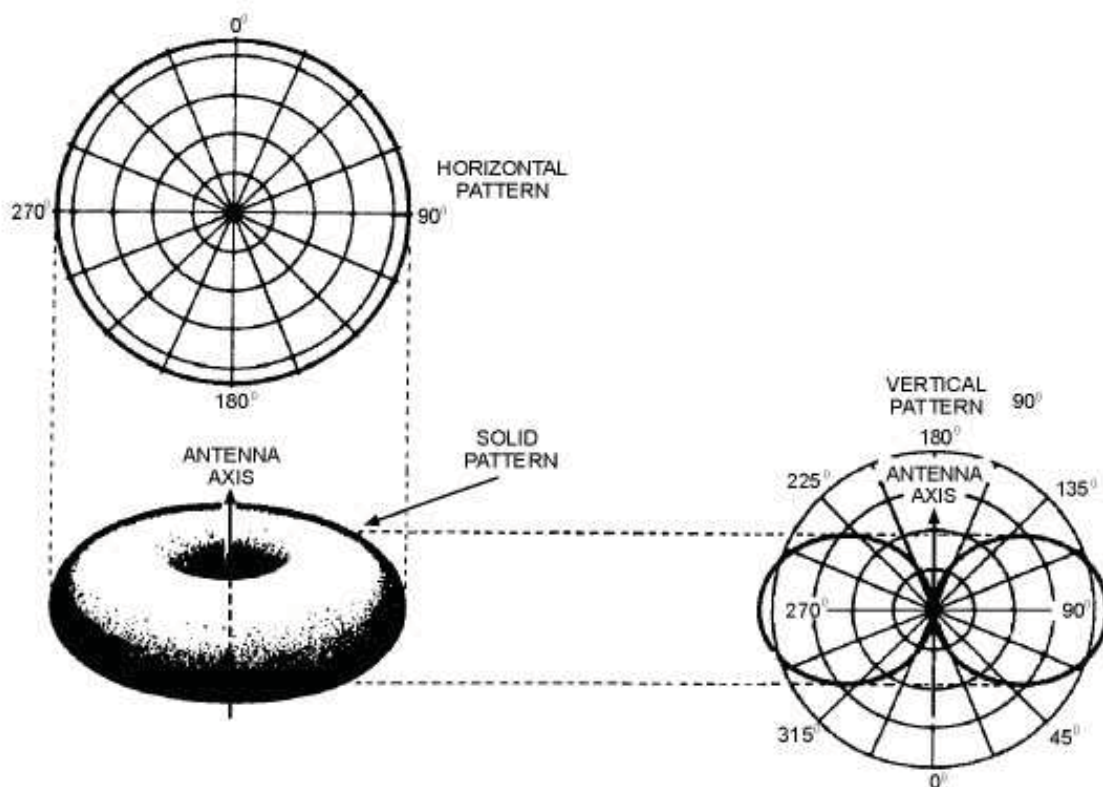
Z hledisek uvedených v tab.3 je nejvýhodnější využít pásma 155 MHz. Na tomto kmitočtu je minimální rušení způsobené ionosférou a ani v městských částech není v tomto pásmu velké rušení. Při použití vhodných antén (směrové YAGI a prutové kolineární) lze docílit teoretického dosahu mezi vysílací a přijímací stanicí až 80 km.

Na palubě kluzáku je výhodnější použít prutové antény, z hlediska bezproblémové instalace vysílacího zařízení do prostoru za sedačkou pilota. Je nutné použít anténu s protiváhou jako jsou půlvlnné dipóly, protože antény bez protiváhy jsou navrhované pro použití v blízkosti země a to u letadel nelze předpokládat.

Půlvlnný dipól neboli prutová anténa je všesměrová anténa se ziskem 0 dB (2,15 dBi). Konstrukce a zapojení dipólu ke koaxiálnímu vedení je na obr. č. 15 a obr. č. 16 ilustruje vyzařovací charakteristiky v obou rovinách. Nevýhodou dipólu je nutnost symetrického napájení. Koaxiální kabel je elektricky asymetrický, proto se mezi koaxiální kabel a dipól vkládá symetrizační člen - tzv. „balun“. Tato zkratka vznikla spojením anglických slov „balanced“ (symetrický) a „unbalanced“ (asymetrický).



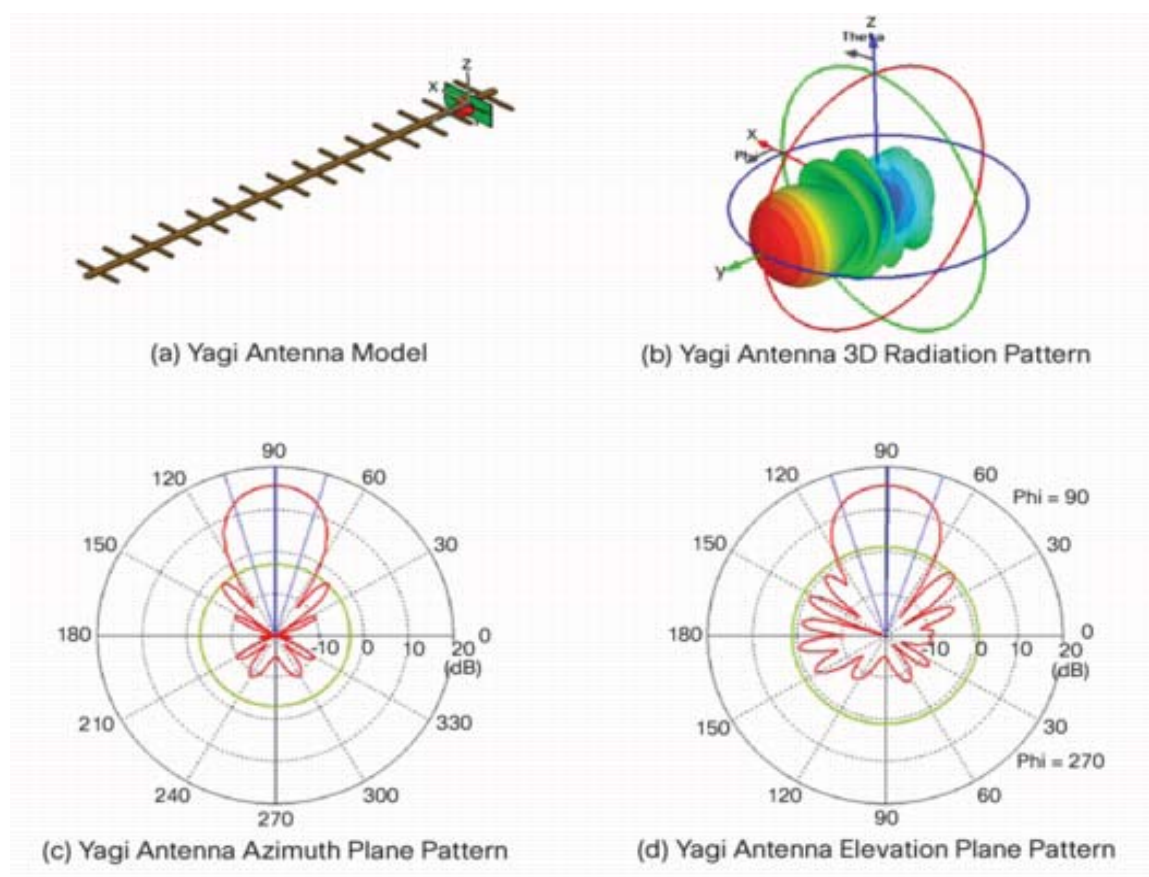
Obr. 15: Konstrukce a způsob připojení půlvlnného dipólu ke koaxiálnímu kabelu [24]



Obr. 16: Nákres vyzařovací charakteristiky půlvlnného dipólu v horizontální a vertikální rovině [32]

Zvýšení dosahu zařízení lze docílit anténami s větším ziskem – resp. směrovými anténami typu YAGI.

Anténa typu YAGI se sestává z půlvlnného dipólového zářiče, reflektoru a soustavy direktorů. Počet a rozměr jednotlivých direktorů určují směrové vlastnosti antény. Antény se čtyřmi elementy (tzn. 2 direktory + dipól + reflektor) mívají zisk 9 dBi a směrovost 60°, zatímco s devíti elementy vzrůstá zisk k 13 dBi a směrovost klesá na 30°. Směrovost antén se udává úhlem, kdy zisk není menší o více než 3 dB oproti maximálnímu zisku antény. Obrázek 17a zobrazuje směrovou YAGI anténu se 16 elementy, jejíž vyzářovací charakteristika je vidět na obr. č. 17b. Obrázky 17c a 17d pak zobrazují vyzářovací charakteristiku v horizontální a vertikální rovině.



Obr. 17: Nákres vyzářovací charakteristiky antén typu YAGI [31]

Nevýhodou antén typu YAGI pro navrhovaný systém je nutnost použití anténního rotátoru pro neustálé natáčení antény směrem ke sledovaným letadlům. S tím je spojena realizace ovládacího software pro tento rotátor.

1.1.2.5 Shrnutí

Pro přehlednější shrnutí výhod a nevýhod jednotlivých variant poslouží následující tabulka.

Tab. 4: Porovnání variant přenosů dat a vhodnosti jejich využití

	Zřizovací cena		Přenos dat		Dosah	Spotřeba	Velikost	Anténa
	Pozemní st.	Letadlová st.	přenesená	paušál/měs				
GSM přenos	-	6 000,00 Kč	3,00 Kč	-	CR*	0,5W	91x44	integrována
Satelitní přenos	-	12 000,00 Kč	860,00 Kč	100,00 Kč	+75° š.	1,5W	160x52	integrována
Radiový přenos	5 000,00 Kč	6 000,00 Kč	-	-	50-80km	1W	90x110	dipól ½λ

Vhodné
 Na hranici použitelnosti
 Nevhodné

Podle této tabulky se zdá, že nejvhodnější variantou je přenos pomocí GSM sítě. Stanice není nákladná, cena provozu byla odhadnuta na 3 Kč/hod/stanici a zařízení má malou spotřebu i velikost. Bohužel však tato varianta není vhodná pro využití v letectví vzhledem k pokrytí signálem, které je jen pozemní. Již od výšky 300 m nad zemí bývá problém se zachycením signálu GSM, což bylo ověřeno při praktických letech.

Proto byla pro realizaci zvolena varianta radiového pozemního přenosu v bezlicenčním pásmu. Zřizovací náklady tohoto zařízení nejsou vysoké a provozní náklady jsou minimální. Dosah takového zařízení se předpokládá při zvolení vhodných antén 50-80km, což je pro předpokládané využití na hranici použitelnosti.

Vzhledem k daným požadavkům je varianta radiového přenosu nejvhodnější i navzdory omezenému dosahu oproti satelitnímu přenosu a velikosti použité antény. Je důležité brát zřetel na jednu z priorit navrhovaného systému a tou je požadavek na nízké provozní náklady. Cílem této diplomové práce je tedy vytvořit určitý kompromis - funkcí podobný zmíněnému systému využívajícího satelitního přenosu, ale s minimalizovanými provozními náklady.

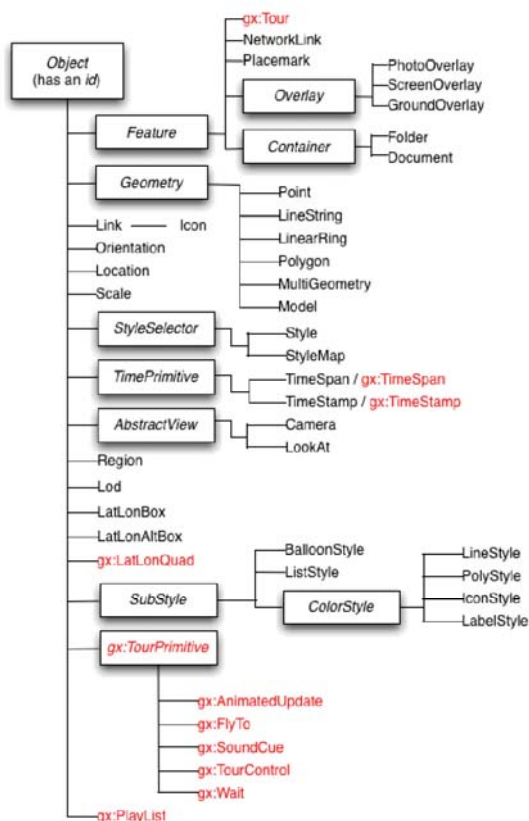
1.1.3 Datové formáty používané pro záznam letu

V této kapitole následuje krátké seznámení s běžně používanými souborovými formáty sloužících k záznamu průběhu letu bezmotorových letadel.

1.1.3.1 Formát KML

Jedná se o textový soubor vycházející ze standardního formátu XML. Je určen k uchování mnoha druhů informací geografického charakteru, které lze zobrazit v programu Google Earth. Jeho datovou hierarchii popisuje obr. č. 18. Mezi nejvíce užívané objekty dokumentu KML patří:

- **Placemark** - Označuje místo na zemi pomocí GPS souřadnic a jeho popisku.
- **GroundOverlay** - Umožňuje umístit na mapový podklad jakýkoliv obrázek.
- **LineString** - Zobrazí lomenou čáru (trasu) popsanou množinou GPS souřadnic.
- **Polygon** - Zobrazí polygon popsaný množinou GPS souřadnic.



Obr. 18: Datová hierarchie dokumentu KML [40]

1.1.3.2 Formát IGC

Datový formát IGC je také textovým souborem. Byl zaveden mezinárodní plachtařskou komisí (International Gliding Commission) pro uchování záznamu průběhu letu bezmotorových letadel.

Každý řádek v tomto textovém souboru se nazývá záznam. Může být několika typů:

- **typ A** - Identifikace výrobce a zařízení loggeru.
- **typ B** - Každý záznam tohoto typu obsahuje informace o jedné aktuální pozici letounu (jeho souřadnice, nadmořskou výšku, čas, apod.) .
- **typ C** - Obsahuje letový plán (deklaraci úlohy).
- **typ H** - Hlavička souboru, která obsahuje informace o pilotovi a kluzáku.
- **typ I** - Rozšiřující informace pro záznam typu B.
- **typ L** - Poznámky.
- **typ G** - Bezpečnostní záznam. Jedná se o šifrovaný kontrolní součet, který slouží pro ověření zda nebylo se souborem jakkoliv manipulováno.

První znak každého řádku v souboru určuje typ záznamu. Jako prvním záznamem v IGC souboru je záznam typu **A**, následují záznamy typu **H**, po něm záznamy typu **C** a potom obvykle záznamy typu **B**. Pozice ostatních záznamů není pevně určena.

Příklad IGC souboru je na následující straně. Z uvedeného výpisu souboru IGC lze určit např.:

- **Datum letu** - (HFDTE) - let byl proveden 10.4.2006.
- **Jméno pilota** - (HFPLTPILOT) - Pilotem byl Martin Tronnier.
- **Typ kluzáku** - (HFGTYGLIDERTYPE)- Typ kluzáku byl ASW27.
- **Imatrikulace** - (HFGIDGLIDERID) - Imatrikulace letadla byla D-9977
- **Letový plán** - (záznam typu C) - Pilot měl v úmyslu letět z letiště v Braunschweig přes otočné body Verdenschamh, Lübz a Coswig. Jedná se o trať délky 621 km.

Příklad záznamu letu uloženého ve formátu IGC

```
ALXN00799FLIGHT:1
HFDTE100406
HFFXA100
HFPLTPILOT:Martin_Tronnier
HFGTYGLIDERTYPE:ASW_27
HFGIDGLIDERID:D-9977
HFDTM100DATUM:WGS-1984
HFGPSGPS:FDK/GSU-15D
HFFTYFRTYPE:LXNAVIGATION,COLIBRI
HFRFWFIRMWAREVERSION:3.0
HFRHWHARDWAREVERSION:1.1
HFCIDCOMPETITIONID:77
HFCCLCOMPETITIONCLASS:15m_fai
C260605094942100406000103
C5219233N01033450E>BRAUNS*
C5219233N01033450E>BRAUNS*
C5257367N00914733EVERDENNO
C5328417N01201583ELUEBZ_BH
C5153333N01224000ECOSWIGBA
C5219233N01033450E>BRAUNS*
C5219233N01033450E>BRAUNS*
B1213064816998N01807719EA0019500147
B1213184816998N01807719EA0019500147
B1213304816998N01807720EA0019500149
B1213424816997N01807720EA0019500151
B1213544816997N01807721EA0019500151
B1214064816997N01807721EA0019400151
B1214184816996N01807721EA0019500151
B1214304816996N01807721EA0019400151
B1214424816996N01807721EA0019400153
B1214544816996N01807721EA0019500153
B1215064816996N01807721EA0019500153
B1215184816996N01807720EA0019500153
B1215304816996N01807720EA0019500153
B1221084816163N01807983EA0050900262
G1004F3B801E37E2954A8BD0A4923C5E1B3A09AF9609067EFA642
```

Pro přehlednost byla vypuštěna většina záznamů typu B popisujících skutečnou trasu, kterou letadlo urazilo. Běžně se poloha zaznamenává v intervalu od 1 do 10 s. Pokud by letový zapisovač měl nastavený pětisekundový interval záznamu polohy, potom by záznam letu trvajícího 2 hodiny obsahoval 1440 záznamů typu B. Posledním řádkem je záznam typu G, který je digitálním podpisem letového zapisovače. Pomocí tohoto záznamu se provádí kontrola, zda nebyl záznam dodatečně jakkoliv upravován.

2 Návrh systému

2.1 Celkový návrh systému

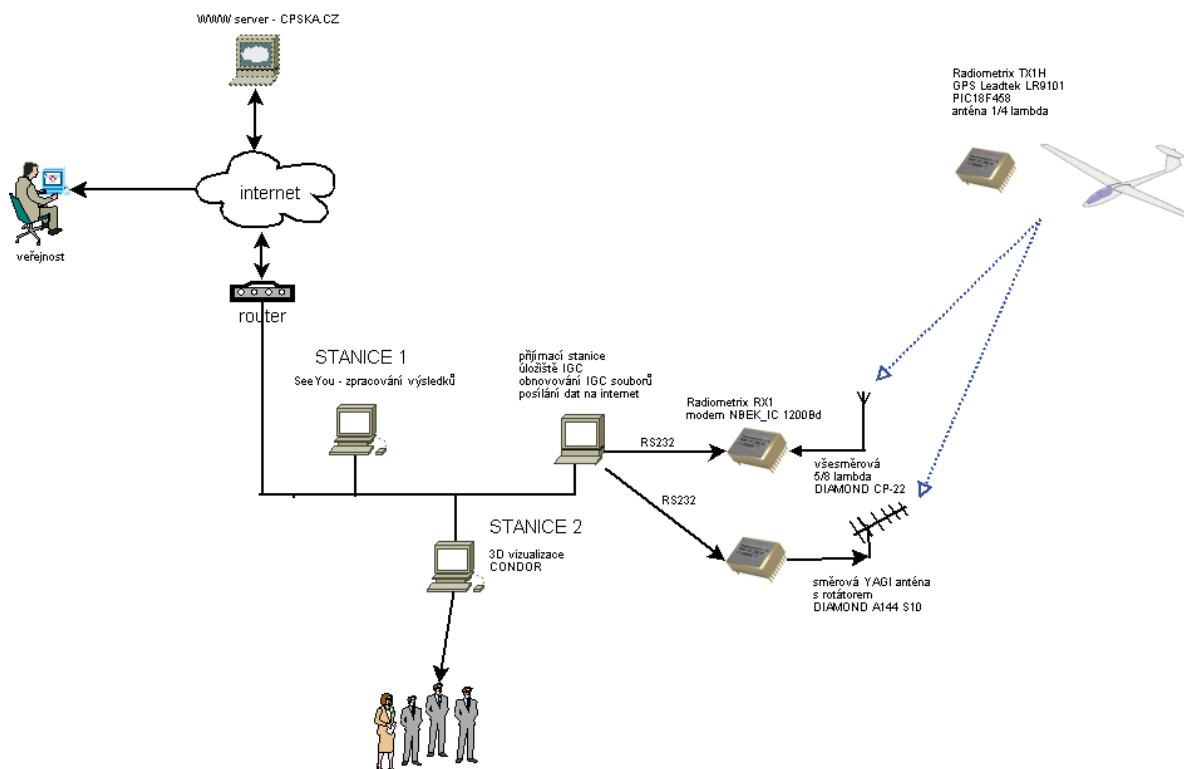
Systém by měl být schopen periodicky přenášet údaje o poloze a výšce z jednotlivých kluzáků. Vysílaná data jsou přijímána pozemní stanicí. Vzhledem k požadavku přenosu dat z paluby letadla na pozemní stanici byla zvolena jednosměrná komunikace. Tzn., že v letadle je pouze vysílač a na pozemní stanici jen přijímač. Synchronizace jednotlivých vysílacích stanic je řízená přesným časem GPS, aby bylo zamezeno vzájemnému rušení vysílajícími stanicemi.

Data přijatá pozemní stanicí jsou dále zpracována PC aplikací, která má za úkol pravidelně aktualizovat záznamy letů jednotlivých pilotů ve formátu IGC a odesílat jejich polohu na WWW server. Vytvořené IGC záznamy budou ve sdíleném adresáři, který je přístupný pro další stanice v lokální letištní síti.

Na lokální síti budou připojeny další dvě stanice. Stanice 1 bude vybavena programem SeeYou od firmy NAVITER [35]. Tento program slouží ke zpracování záznamů a ohodnocení pilotů podle daných soutěžních pravidel. Vzhledem k pravidelné aktualizaci těchto záznamů je možné program SeeYou nakonfigurovat tak, aby automaticky přepočítával výsledky průběžně během letu soutěžících. To je pro plachtařské soutěže pokrok, protože do této doby byl let soutěžícího vyhodnocen teprve poté, když byl záznam po letu stáhnutý ze záznamníku a odevzdán pořadatelům.

Stanice 2 je určena pro provoz 3D vizualizace aktuálního průběhu závodu založená na plachtařském simulátoru CONDOR. S laskavou podporou vývojářů tohoto simulátoru bude možné 3D zobrazovací jádro simulátoru použít pro účely vizualizace letu soutěžících v reálném čase. Jako zdroj dat poslouží opět pravidelně aktualizované IGC záznamy na lokální síti.

Funkci systému sledování letadel v průběhu závodů názorně popisuje tento diagram:



Obr. 19: Základní funkční diagram celého systému

2.2 Povolení k využití frekvence od ČTÚ

Frekvence pro přenos dat z paluby letadla na pozemní stanici byla zvolena 155,725 MHz. K vysílání na této frekvenci není nutná žádná licence. Její využívání je určeno Všeobecným oprávněním č. VO-R/16/08.2005-28 vydaném Českým Telekomunikačním Úřadem. (ČTÚ).

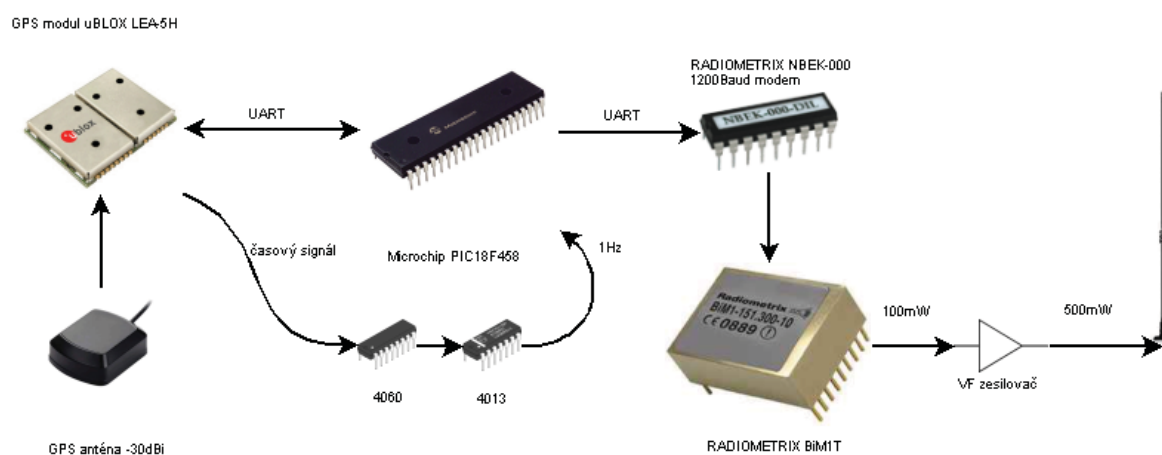
Omezení využívání této frekvence jsou tato:

Maximální výkon vysílače je 500 mW, šířka pásma 16 kHz, frekvence je určena pouze pro přenos dat. Klíčovací poměr nesmí překročit 10% z jedné hodiny. Na straně vysílače nesmí být použity směrové antény (YAGI apod.). Na straně přijímače je dovoleno použít jakékoliv antény.

2.3 Vysílací stanice

Zařízení se skládá z GPS modulu uBlox LEA-5H, integrovaného obvodu NBEK-000, který zajišťuje funkci modemu o rychlosti 1200 baudů, vysílacího modulu RADIOMETRIX BiM1T a VF zesilovače s výkonem 500mW. Řídící součástí je mikroprocesor Microchip PIC18F458.

Použity jsou dále CMOS obvody typu 4060 (oscilátor a 14bit. čítač) a 4013 (2x klopný obvod). Jsou to podpůrné obvody pro zajištění synchronizace a zabránění kolize při vysílání více stanic najednou.



Obr. 20: Blokové schéma vysílací stanice

Procesor s pracovní frekvencí 40 MHz komunikuje s GPS modulem a modemem RADIOMETRIX pomocí rozhraní UART. Modem je propojen s vysílačem BiM1T. Tento vysílač pracuje na frekvenci 155,725 MHz s NBFM (Narrow Band FM) modulací.

VF výstup vysílače poskytuje výkon 100 mW (20 dB). Tento signál je dále zesílen na 500 mW VF koncovým zesilovačem, na jehož výstup bude připojena anténa typu $\lambda/4$ nebo půlvlnný dipól.

Velmi důležité při návrhu je zaměřit se na způsob synchronizace většího počtu vysílacích stanic tak, aby nevznikaly kolize při vysílání. Jako řídicí signál je využitý světově koordinovaný čas a signál TIMEMARK přijímaný GPS modulem.

Oba tyto údaje poskytuje GPS modul. Signál TIMEMARK je ve tvaru obdélníku o šířce 100 ms s periodou 1 s. Přesnost tohoto signálu se pohybuje kolem 1 μ s. Je však důležité zachovat synchronizaci i v případě výpadku GPS signálu.

Problém výpadku GPS signálu a tím i signálu TIMEMARK vyřeší samostatný generátor signálu

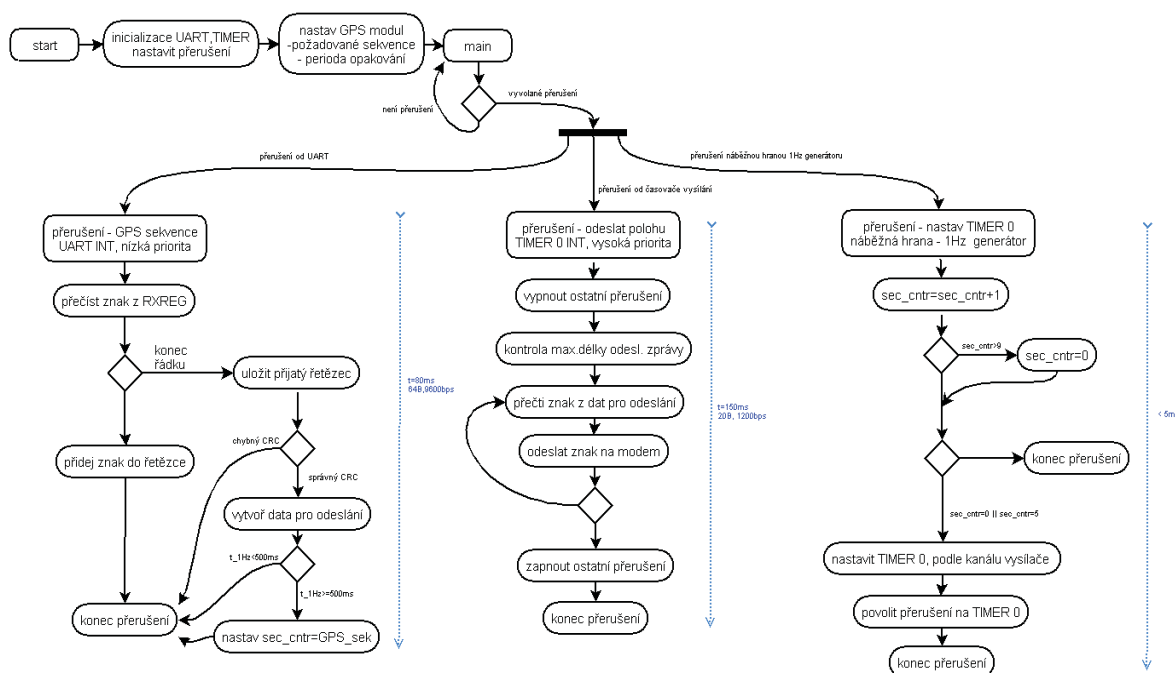
1 Hz, který je signálem TIMEMARK pouze seřizován. Po výpadku GPS signálu tento generátor i nadále vytváří 1 Hz signál.

Generátor 1 Hz tvoří oscilátor na frekvenci 32,768 kHz a 15 bitový čítač. Vzhledem k tomu, že na trhu je běžně dostupný jen 14ti bitový čítač (obvod 4060). 15ti bitový čítač vznikne spojením 14ti bitového a jednoho klopného obvodu (obvod 4013). Z těchto obvodů mikroprocesor využije několika výstupů – 1 Hz, 2 Hz a 2 kHz.

Tyto signály společně s časem daným GPS modulem jsou následně zpracovány mikroprocesorem a využity pro zajištění časových rozestupů při vysílání jednotlivých stanic.

Jednoduchý popis funkce mikroprocesoru je tedy následující. Mikroprocesor přijme z GPS modulu data o poloze letadla. Tyto data zpracuje a vytvoří zprávu určenou pro radiový přenos. Za pomoci časových signálů z GPS vyšle v přesně vymezený okamžik (timeslot) připravená data. Tento timeslot má každé zařízení pevně určené v souvislosti s přesným GPS časem.

Program pro procesor je psaný v jazyce C v prostředí MPLAB od firmy Microchip. Popis jeho funkcí je vidět na obrázku níže:



Obr. 21: Funkční diagram mikroprocesoru vysílací stanice

Důležitou součástí algoritmu je zpracování přijatých datových sekvencí z GPS modulu, jejich zpracování a odeslání vysílačem. Sekvence, které GPS modul vysílá, podléhají standardu NMEA.

NMEA sekvence obsahuje více informačních polí oddělených mezi sebou čárkou. První pole obsahuje označení sekvence. Pro určení polohy a nadmořské výšky je dostačující sekvence označovaná kódem „GGA“. Její podoba může vypadat např. takto:

```
$GPGGA,123519,4807.038,N,01131.000,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M,,*47
```

Kde jednotlivé položky mají následující význam:

- **\$GPGGA** - „\$GP..“ takto začíná každá sekvence, která je vysílána jakýmkoliv GPS přijímačem.
„.GGA“ následující tři znaky označují druh NMEA sekvence.
- **123519** - Čas změření GPS polohy. V tomto případě 12h 34m 19s. Čas je udáváný v mezinárodním koordinovaném čase (UTC).
- **4807.038** - Určuje na jaké rovnoběžce se přijímač nachází.
- **N** - Písmeno N nebo S určuje, zda jde o severní nebo jižní šířku.
- **01131.000** - Obsahuje na jakém poledníku se nachází přijímač.
- **E** - Písmeno E nebo W určuje zda jde o východní nebo západní délku.
- **1** - Kvalita určení polohy (0–nevalidní, 1–GPS fix, 2–DGPS fix, 3–PPS fix).
- **08** - Počet sledovaných satelitů.
- **0.9** - Horizontální přesnost udané polohy.
- **545.4,M** - Nadmořská výška [m].
- **46.9,M** - Výška nad elipsoidem WGS84 [m].
- ***47** - Kontrolní součet.

Systém sledování letadel je navrhovaný pro použití až 64 sledovacích zařízení současně, což stačí pro většinu plachtařských závodů pořádaných v ČR. Pokud má každé zařízení vysílat svou polohu v intervalu 10 s je důležité, aby nebyla frekvence „zabrána“ zbytečně dlouho jedním zařízením. Proto se objem přenášených dat minimalizuje na 13 bytů.

UTC čas se převede na počet sekund uplynulých od počátku aktuálního dne. Může tedy nabývat hodnot od 0 po 86400. Pro uložení této hodnoty postačí datový typ unsigned short long o velikost 3 B.

Údaje o poloze (šířka a délka) jsou uloženy v datových typech long o velikosti 4 B a pro uchování informace o nadmořské výšce postačí prostor pro unsigned int o velikosti 2 B.

Tab. 5: Struktura přenášených dat mezi vysílačem a pozemní stanicí

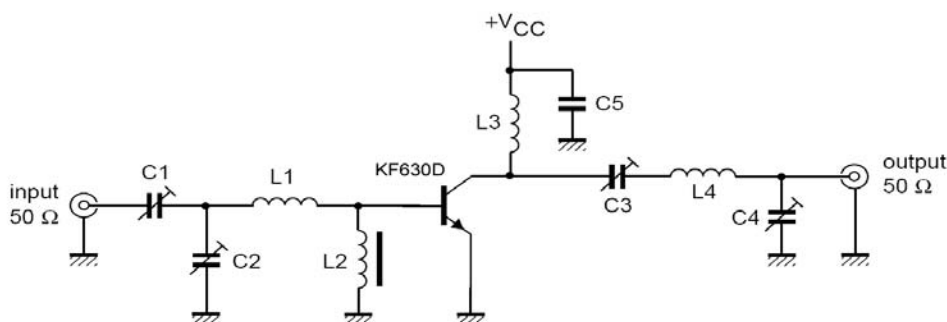
Byte	Přenášená informace	datový typ
1-3	UTC čas	unsigned short long
4-7	GPS poloha / šířka	long
8-11	GPS poloha / délka	long
12-13	nadmořská výška	unsigned int

Rychlost přenosu mezi vysílačem a pozemní stanicí je 1200 Baud. Přenos změřené GPS polohy tedy zabere společně se startovací sekvencí přenosu a kontrolním součtem 150 ms. Startovací sekvence přenosu a kontrolní součet je zajišťován integrovaným obvodem NBEK-000.

2.3.1 Koncový stupeň vysílače

Dodávané moduly RADIOMETRIX BiM1T v pásmu 155 MHz vysílají výkonem 100 mW. Pro účely přenosu polohy z letadla na pozemní stanicí by tento výkon nebyl dostačující. Proto bude za vysílací modul zařazen koncový stupeň obsahující VF zesilovač a VF filtr.

Protože je vysílaný signál frekvenčně modulován, postačí pro realizaci jednodušší varianta VF zesilovače, kde bude využito zapojení zesilovače tzv. třídy C, které je zobrazeno na obr. č. 22.

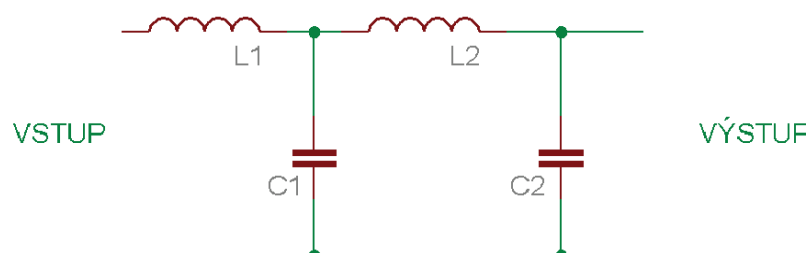


Obr. 22: Zapojení VF zesilovače třídy C

Kondenzátory C1, C2 a cívka L1 tvoří impedanční přizpůsobení mezi vstupem zesilovače a vstupní impedancí tranzistoru. Pomocí tlumivky L2 se udržuje na bázi tranzistoru stejnosměrné napětí 0 V. Bez vstupního signálu je tedy tranzistor trvale vypnutý a neodebírá žádný proud. Tranzistor se otevírá pouze při kladných půlvlnách vstupního signálu. Je tedy značně zkreslený, ale pro zesilování frekvenčně modulovaného signálu je toto zapojení funkční. V obvodu je využit tranzistor KF630D, který je určen pro aplikace VF zesilovačů výkonu kolem 500 mW a kmitočty do 240 MHz.

Na kolektor tranzistoru je přes cívku L3 zapojeno napájecí napětí. Za tranzistorem opět následuje impedanční přizpůsobení z výstupní impedance tranzistoru na impedanci 50 Ω .

Je důležité, aby byl za tímto zesilovačem zapojen filtr vyšších harmonických frekvencí pro odstranění rušení na vyšších kmitočtech (viz obr. č. 23). Filtr je realizován jako dolní propust a byl navržen v programu AADE Filter Design [36]. Cívky L1 a L2 jsou totožné s indukčností 50 nH a kondenzátory C1 a C2 mají kapacitu 33 pF.



Obr. 23: Zapojení výstupního filtru vyšších harmonických kmitočtů v programu AADE Filter Design



Obr. 24: Graf závislosti útlumu výstupního filtru na kmitočtu vypočtený v AADE Filter Design

Z obr. č. 24 je zřetelné, že na používané frekvenci 155,725 MHz má navržená dolní propust minimální útlum. Zatímco na frekvenci 310 MHz, což je 1. harmonický kmitočet, je útlum filtru -28 dB. Při vysílacím výkonu na nosné frekvenci 500 mW bude rušení na 1. harmonickém kmitočtu 310 MHz menší než 1 mW.

2.3.2 Baterie

Předpokládá se, že odběr zařízení bude průměrně 130-150 mA při napětí 8-12 V. Požadavkem je výdrž zařízení minimálně 8 hodin. Z toho vyplývá, že kapacita baterie by měla být alespoň 1200 mAh.

Tab. 6: Porovnání vlastností jednotlivých druhů akumulátorů

Typ akumulátoru	NiCd	NiMH	SLA (olověné)	RAM	Li-ion
Jmenovité napětí (V)	1,2	1,2	2,0	1,5	3,6
Hustota energie (Wh/l)	140	180	85	380	200
Hustota energie (Wh/kg)	39	57	30	?	90
Samo vybíjení (%/den)	1	1,5	0,1	0,01	0,5
Počet nabíjecích cyklů	1000	500	>1000	20	400
Rychlo nabíjení	15 min	30 min	1 h	?	1 h

Tabulka 6 porovnává jednotlivé technologie na trhu dostupných akumulátorů. Jedná se o:

NiCd - Akumulátor NiCd s velkým počtem nabíjecích cyklů.

NiMH - Nástupce akumulátorů NiCD s větší kapacitou při stejných rozměrech oproti NiCD. Nevýhodou je cca 2x méně nabíjecích cyklů.

SLA - Bezúdržbový olověný akumulátor, jeho nevýhodou jsou velké rozměry a hmotnost.

RAM - Alkalický akumulátor. Akumulátor malých rozměrů. Nevýhodou je velmi malý počet nabíjecích cyklů.

Li-ion - Akumulátor malých rozměrů a hmotnosti. Nevýhodou je nebezpečí výbuchu při špatném nabíjecím procesu.

Z hlediska poměru výkon/cena/bezpečnost provozu bude pro realizaci využito 6 článků baterie NiMH s kapacitou 2000 mAh spojených do série. Tím vznikne tzv. akupack o napětí 7,2 V. Předpokládaná výdrž zařízení s touto baterií je typicky 13 hod, což vyhovuje požadavkům zadání.

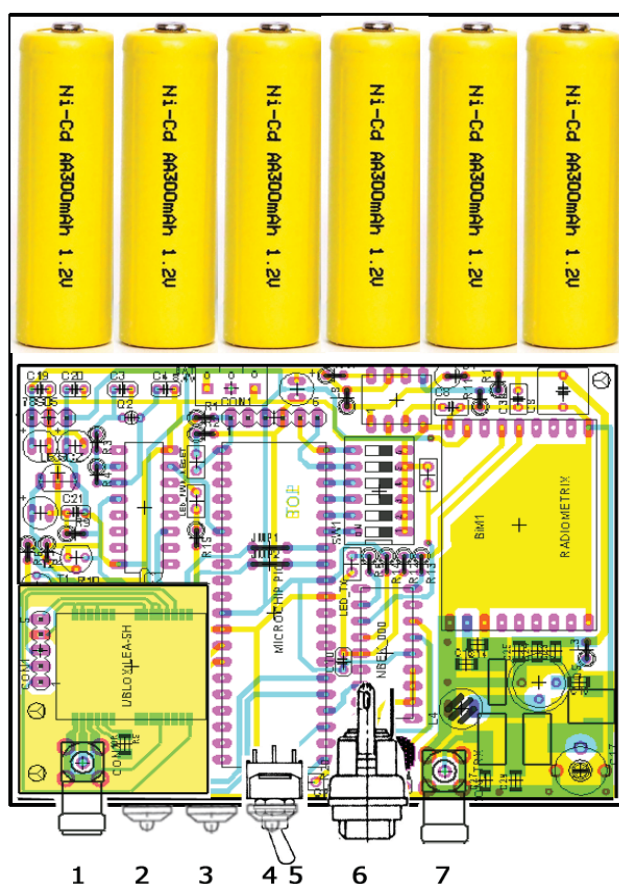
2.3.3 Zapouzdření vysílače

Vysílací stanice bude umístěna v kokpitu kluzáku, kde není mnoho místa. Proto je důležité dbát na malé rozměry vysílacího zařízení při jeho návrhu. Zařízení bude umístěno v krabičce o rozměrech 25x94x128 mm, která je běžně dostupná v prodejně GME pod označením U-KP05 (viz obr. č. 25).



Obr. 25: Přístrojová krabička U-KP05

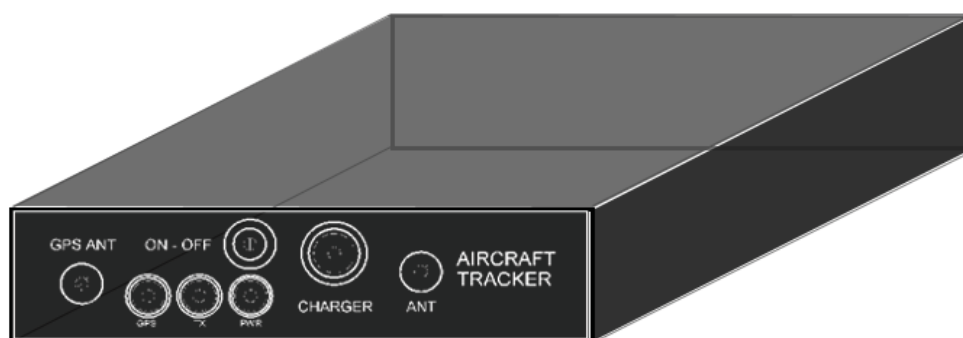
Obrázek č. 26 zobrazuje rozmístění součástek v krabičce U-KP05 s číselným označením jednotlivých vstupů a ovládacích prvků.



Obr. 26: Návrh rozmístění součástí v krabičce vysílací stanice

Umístění vstupů a ovládacích prvků je následující:

- 1) Konektor GPS antény.
- 2) Kontrolní LED dioda pro signalizaci GPS signálu.
- 3) Kontrolní LED dioda pro signalizaci vysílání.
- 4) Kontrolní LED dioda pro signalizaci napájení zařízení.
- 5) Vypínač zařízení.
- 6) Konektor pro nabíjení akumulátorů.
- 7) Konektor pro vysílací anténu.



Obr. 27: Návrh předního panelu krabičky vysílací stanice

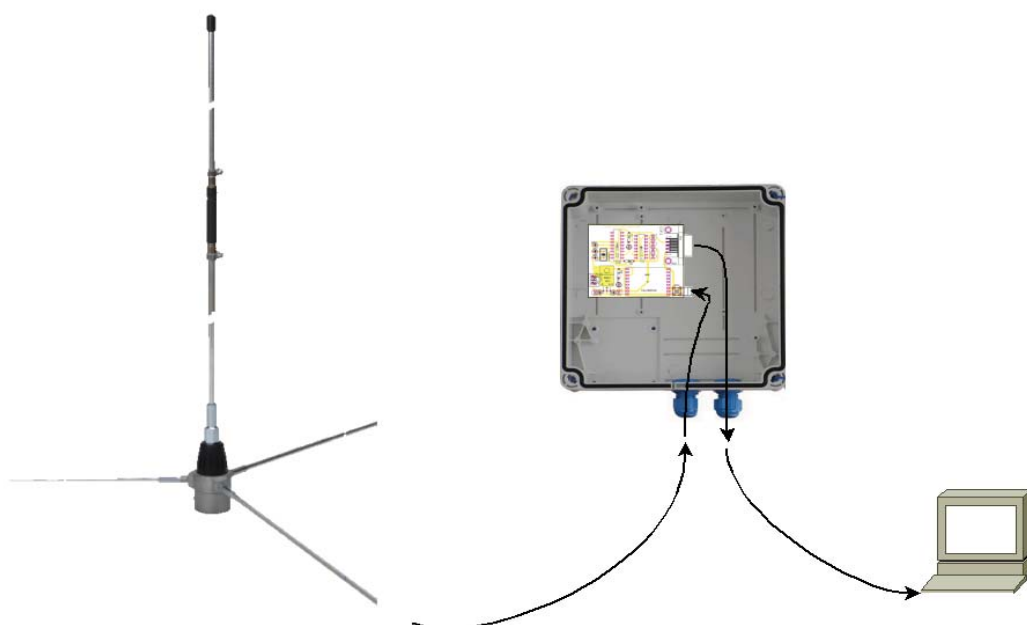
Přední a zadní čelo krabičky bude vyříznuto z hliníkového plechu a následně polepeno nálepkou z PVC fólie s popisky konektorů, přepínače a LED diod (viz obr. č. 27).

2.4 Přijímací stanice

Pozemní přijímací stanice je vybavena přijímačem RADIOMETRIX BiM1R. Přijatý analogový signál je zpracováván obvodem RADIOMETRIX NBEK-000. Tento obvod společně s vysílacím modulem, který je také vybavený obvodem NBEK-000 vytváří transparentní přenosový kanál. V našem případě tedy jednosměrnou linku RS232 přenášející data z letadla na pozemní stanici rychlostí 1200 Baud. Přijímaná data jsou zavedena na sériový port PC. Na PC bude spuštěna aplikace, jejímž úkolem je zpracování přijatých dat a převod do požadovaného formátu (tj. standardní IGC formát používaný pro záznam letu bezmotorových letadel). Situace je naznačena na obrázku 28. Tyto soubory bude aplikace v pravidelných intervalech ukládat do sdíleného adresáře lokálního disku (stanice 1) a zároveň odesílat na webový server (stanice 2 - viz kapitola 2.1).

Na straně přijímače bude použita všesměrová anténa firmy PANACOMM. Jedná se o dvě spojené antény o délce $5/8\lambda$ se ziskem 6.5 dBi. Zisk takové antény je dosažený úzkou vertikální vyzařovací charakteristikou.

V případě nedostatečného dosahu zařízení je možné k pozemní stanici připojit směrovou anténu YAGI společně s rotátorem, který bude řízen aplikací na PC pozemní přijímací stanice. Zisk takové směrové antény se pohybuje od 9 do 13 dBi. Záleží na velikosti (tedy počtu elementů) dané antény.



Obr. 28: Umístění přijímacího obvodu do krabice GentleBox JE-200 a náčrt připojení antény a počítače

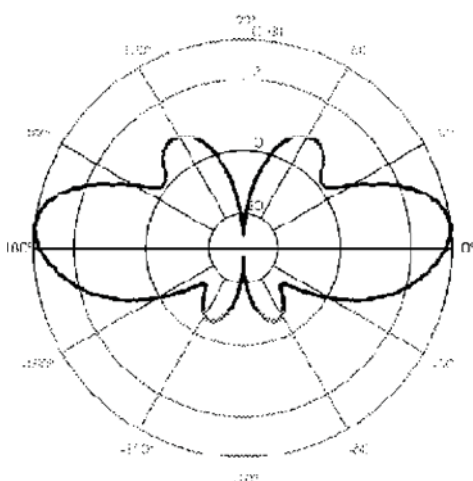
2.5 Antény použité v systémy, výpočet dosahu

2.5.1 PANACOMM (tzv. bílá hůl)

Anténa složená ze dvou prvků délky $5/8\lambda$ je všesměrová s úzkou vertikální vyzařovací charakteristikou. Bude použita na přijímací stanici. Při použití této antény se odhaduje dosah zařízení cca 50 km při vysílacím výkonu 500 mW, zisku vysílací antény 2.15 dBi a citlivosti přijímače -75 dBi.

Tab. 7: Vlastnosti všesměrové antény PANACOMM $2 \times 5/8\lambda$

Frekvence	140-160 MHz
Vyzařovací úhel (horizont.)	360°
Vyzařovací úhel (vertikál.)	30° (-3 dB)
Zisk	6.5 dBi
SWR (PSV)	1.9 na 155 MHz
Délka	2.7 m
Váha	1 kg



Obr. 30: Vertikální vyzařovací charakteristika antény $2 \times 5/8\lambda$ [33]



Obr. 29: Prutová všesměrová anténa $2 \times 5/8\lambda$ [33]

2.5.2 Diamond A144 S5

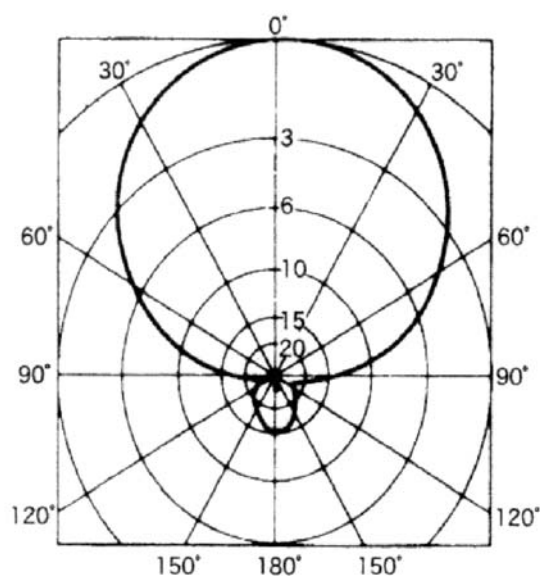
Jedná se o 5ti elementovou YAGI anténu se směrovou vyzařovací charakteristikou zobrazenou na obr. č. 32. V základní realizaci není v plánu tuto anténu použít. Může být však v budoucnu použita v případě nedostatečného dosahu zařízení. V takovém případě bude nutné anténu použít ve spojení s rotátorem ovládaným aplikací na PC pozemní stanice. Při použití této antény se odhaduje dosah zařízení na cca 70 km při stejných parametrech jako v předchozím případě.

Tab. 8: Vlastnosti směrové antény Diamond A144 S5

Frekvence	144-148 MHz
Vyzařovací úhel (horizont.)	60° (-3 dB)
Vyzařovací úhel (vertikál.)	60° (-3 dB)
Zisk	9 dBi
SWR (PSV)	1.2 na 144 MHz
Délka	1 m
Váha	0.7 kg



Obr. 31: Anténa Diamond A144 S5



Obr. 32: Vyzařovací charakteristika antény Diamond A144 S5

2.5.3 Diamond SRH-701 – elektricky zkrácená (tzv. pendrek)

Tuto anténu (viz obr. č. 33) lze použít pro vysílací stanici na palubě kluzáku. Její výhodou jsou malé rozměry. Často je u takových antén udáváný zisk 2.15 dBi. Tento údaj je však v případě ideální zemní protiváhy, kterou často nelze dosáhnout. Vlastnosti této antény velmi závisí na jejím umístění vůči ostatním vodivým předmětům. Prakticky se dosahuje zisku od -3 do 0 dBi.

Anténu je možno v systému sledování polohy použít v případě, kdy není požadovaný velký dosah zařízení. Při použití této antény se odhaduje dosah zařízení cca 30 km při vysílacím výkonu 500 mW, zisku přijímací antény 6.5 dBi a citlivosti přijímače -75 dBi.

Tab. 9: Vlastnosti antény $\lambda/4$, elektronicky zkrácené - tzv. „pendrek“

Frekvence	144-148 MHz
Vyzařovací úhel (horizont.)	360°
Vyzařovací úhel (vertikál.)	60°
Zisk	-3 – 0 dBi
SWR (PSV)	<1.5
Délka	22 cm

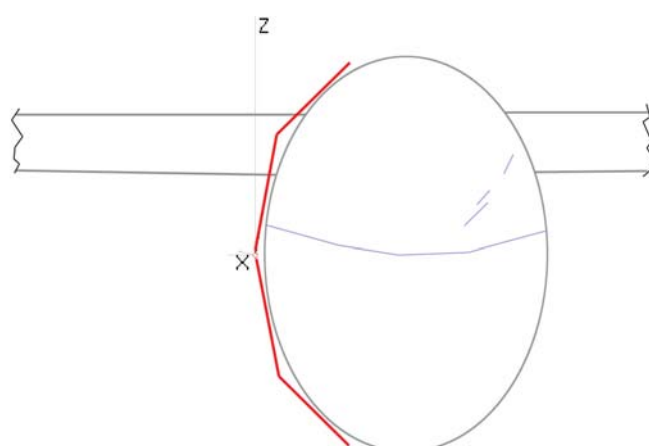


Obr. 33: Anténa Diamond SRH-701

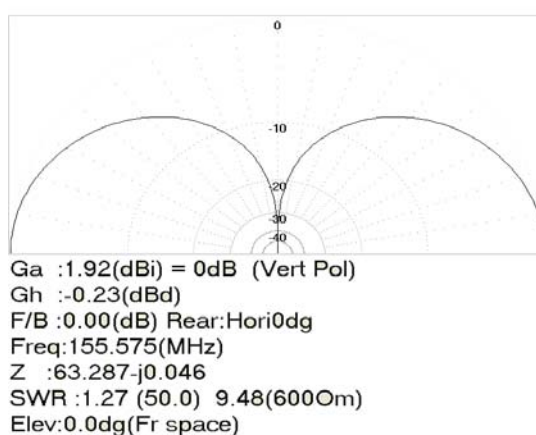
2.5.4 Půlvlnný dipól

Pro dosažení maximálního dosahu zařízení bude na palubě kluzáku umístěn půlvlnný dipól. Bude realizován měděným drátkem o průměru 0,8 mm přilepeným izolační páskou vertikálně podél trupu letadla. Trup kluzáku je laminátový, proto je možné anténu tímto způsobem realizovat. (viz obr. č. 34)

V programu MMANA [37] sloužícího pro modelování a simulaci antén byla provedena analýza vlastností půlvlnného dipólu deformovaného podél trupu letadla.



Obr. 34: Anténa "ohnutá" podél trupu letadla



Obr. 35: Výstup simulačního programu MMANA

Výhodou půlvlnného dipólu je oproti $\lambda/4$ elektricky zkrácené anténě (pendreku) menší citlivost na okolní vodivé předměty a stabilnější vyařovací charakteristiky, které zobrazuje obr. č. 35. Z obrázku plyne, že takto navržená anténa bude mít na kmitočtu 155,575 MHz zisk 1,92 dBi a impedanci 63,287 Ω . Poměr stojatých vln (PSV) při napájení vedením s impedancí 50 Ω bude 1,27.

2.5.5 Výpočet dosahu vysílače

Dosah vysílače závisí na mnoha faktorech. Jsou to útlum prostředí pro konkrétní frekvenci, výkon vysílače, citlivost přijímače a zisk antény na přijímači a vysílači.

Pro výpočet dosahu poslouží rovnice

$$L_0 = P_v + G_v + G_p - P_p \quad (1)$$

Kde L_0 je útlum prostředí, P_v výkon vysílače, P_p citlivost přijímače, G_p zisk antény přijímače a G_v zisk antény vysílače.

Víme, že $P_v = 27 \text{ dB}$ (což je povolených 500 mW), $P_p = -75 \text{ dB}$, $G_p = 6.5 \text{ dBi}$, $G_v = 2.15 \text{ dBi}$.

Po dosazení do rovnice získáme $L_0 = 110.65 \text{ dB}$.

Pro výpočet vzdálenosti využijeme vzorce pro útlum prostředí:

$$L_0 = 10 * \log_{10}((4 * \pi * s / \lambda)^2) \quad (2)$$

Hodnotě 110.65 dB vypočítané podle rovnice (1) odpovídá teoretický dosah přibližně 52 km. Předpokládá se přímá viditelnost mezi vysílačem a přijímačem. Což je v případě sledování kluzáků pohybujících se ve výšce běžně 1-3 km splnitelným předpokladem.

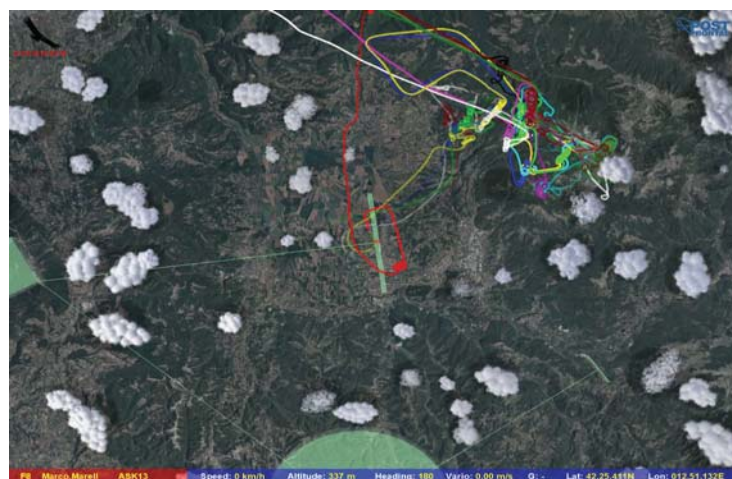
Při použití přídavné směrové Yagi antény se ziskem 11 dBi již dosah vysílače vzroste na cca 90 km. Vzhledem k tomu, že na plachtařských soutěžích se závodníci málokdy ocitnou ve vzdálenosti více než 80 km vzdušnou čarou od letiště, budou vybrané antény pro realizaci dostačující.

2.6 3D vizualizace

Zobrazení informací o letu sledovaných kluzáků je k dispozici na dvou místech. Jedním je 3D vizualizace pomocí programu CONDOR (Stanice 1). Ten jako vstupní data využívá již zmíněný formát IGC. Tento program je zatím ve vývoji jako beta verze. Pro účely navrhovaného systému dal výrobce simulátoru CONDOR tuto beta verzi k dispozici. V programu je možné zobrazit 2D mapu nebo také přepnout do 3D zobrazení (viz obr. č. 36) a sledovat průběh závodů z pohledu jednotlivých závodníků (viz obr. č. 37).



Obr. 36: 3D vizualizace pohledu z kabiny kluzáku [3]



Obr. 37: Zobrazení 2D mapy polohy jednotlivých závodníků [3]

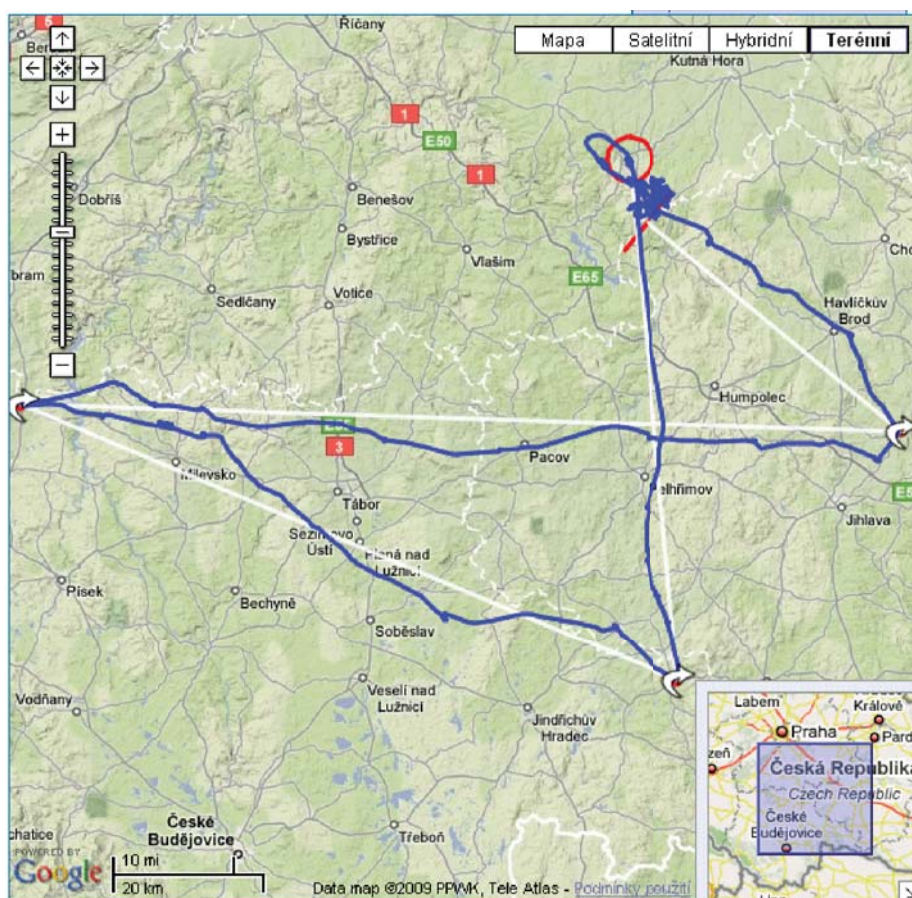
Podobným zobrazovacím produktem je plachtařský simulátor Silent Wings [38], který pro online tracking využívá společnost Yellow Brick. Výhodou simulátoru CONDOR je však díky přispění nadšenců dokonalejší scénérie České republiky. To je také důvod proč bude pro vizualizaci využit tento simulátor.

2.7 Webové rozhraní CPSKA.CZ

Důležitou součástí celého systému je webové rozhraní, které poskytuje přijaté informace veřejnosti prostřednictvím internetu.

Při realizaci bude využita technologie MySQL, PHP, JavaScript a samozřejmě HTML. Na straně serveru budou data přijatá od aplikace dále zpracována. Převedou se na formát KML, který je dále využitelný pro zobrazení v aplikaci Google Earth a Google Map API.

Společnost Google nabízí k bezplatnému využití jejich geografický systém a jeho rozhraní Google Map API. Ten je možné integrovat přímo do vlastního zdrojového kódu a tím implementovat mapové zobrazení do www stránek. Takto vložený mapový modul bude propojen s jednotlivými KML soubory všech závodníků a umožní přehledné zobrazení pohybu kluzáků během závodů, jak je pro jednoho účastníka vidět na obr. č. 38.



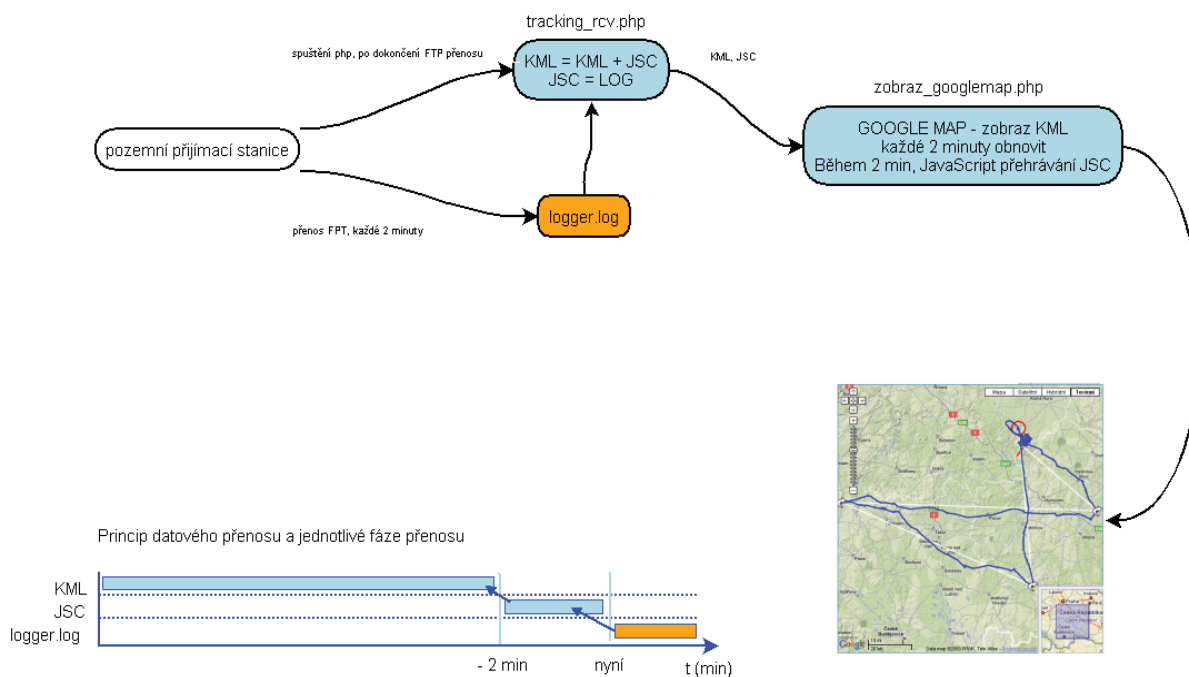
Obr. 38: Zobrazení mapy a trajektorie letu závodníka na webovém rozhraní

Cílem zobrazení polohy na webovém rozhraní není statické zobrazení, které se jednou za několik minut obnoví. Požadavkem je plynulé zobrazování polohy jednotlivých kluzáků. Pro zajištění tohoto požadavku bude přehrávání polohy opožděno oproti reálnému času o 2-4 minuty. Tím docílíme i toho, že přehrávání nebude náchylné na různé chyby a vzniklé zpožděním při přenosu dat.

Přenos dat je rozdělen do několika úrovní. První úroveň je soubor logger.log. Vytváří ho aplikace na pozemní přijímací stanici. Tento soubor je prostřednictvím FTP protokolu každé 2 minuty přenesen na webový server. V tom okamžiku se získané informace o poloze za poslední 2 minuty převedou do souboru formátu JSC. A zároveň se staré informace z bývalého souboru JSC připsou na konec souboru KML. Tento proces se opakuje každé dvě minuty.

Princip přehrávání je potom následující. Každé dvě minuty PHP skript načítá KML a zároveň JSC. Pro následující dvě minuty se KML zobrazí staticky a k tomu se postupně (každých 10 s) načítá JSC soubor a přikresluje se trajektorie letu. Po kompletním přečtení JSC souboru se znovu načte KML a JSC soubory s novými informacemi o poloze na další dvě minuty.

Grafické vyjádření tohoto přenosu je na následujícím obrázku.



Obr. 39: Popis přenosu bloků s daty o poloze kluzáků na webovém rozhraní

3 Realizace

3.1 Vysílací stanice

Podle navrženého blokového zapojení bylo v programu Eagle sestaveno schéma vysílací stanice. Jednotlivé části jsou zapojeny podle zapojení doporučeného výrobcem dané součástky.

Napětí z 6ti článkové baterie (celkem 7,2 V) je připojeno na stabilizátory napětí 78S05 (+5 V) a LE33CZ (+3,3 V). Tepelný odpor mezi vnitřním obvodem a okolím stabilizátoru 78S05 je 50°C/W a maximální teplota je 150°C. Tepelný výkon bude:

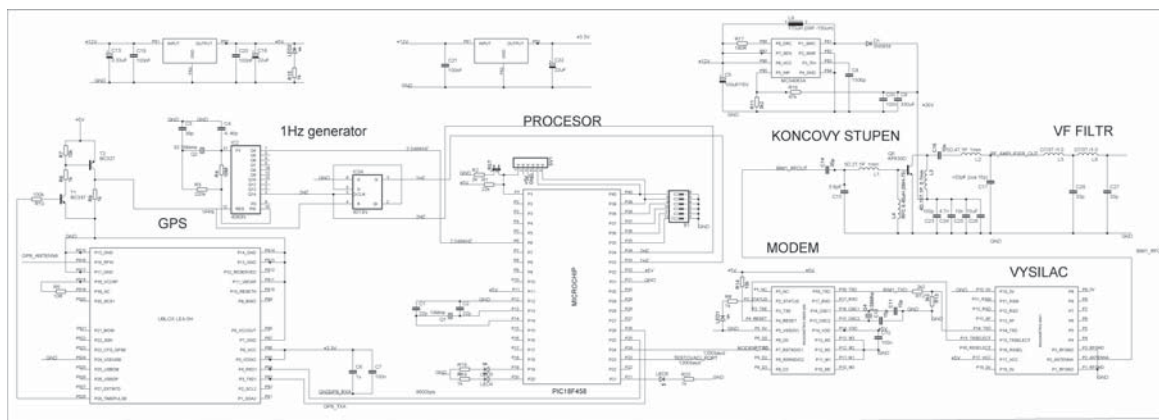
$$P=(7,2-5)*0.14=0.308 \text{ W} \quad (3)$$

Maximální teplota okolí pro zajištění spolehlivého chlazení stabilizátoru bez přídavného chladiče je tedy:

$$T_{max}=150-(50*0.308)=134,6 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4)$$

Maximální provozní teplota procesoru je +125°C, GPS modulu +85°C a vysílacího modulu +60°C. Vysílací stanice bude proto provozuschopná do maximální teploty +60°C okolního prostředí.

Na obr. č. 40 je zobrazeno zapojení vysílací stanice. Více viz příloha A.



Obr. 40: Schéma zapojení vysílací stanice

V levém horním rohu jsou umístěny zdroje stabilizovaného napětí 5V a 3,3 V. Vlevo je umístěn GPS modul. Uprostřed zapojení se nachází procesor a napravo od něj je zapojen integrovaný obvod NBEK-000 a vysílací modul BiM1T. V pravém horním rohu se nachází vysokofrekvenční zesilovač s výstupním filtrem.

Signál TIMEMARK musel být mezi GPS přijímačem a generátorem 1Hz přizpůsoben z 1,8V TTL logiky na TTL logiku s rozsahem 5 V.

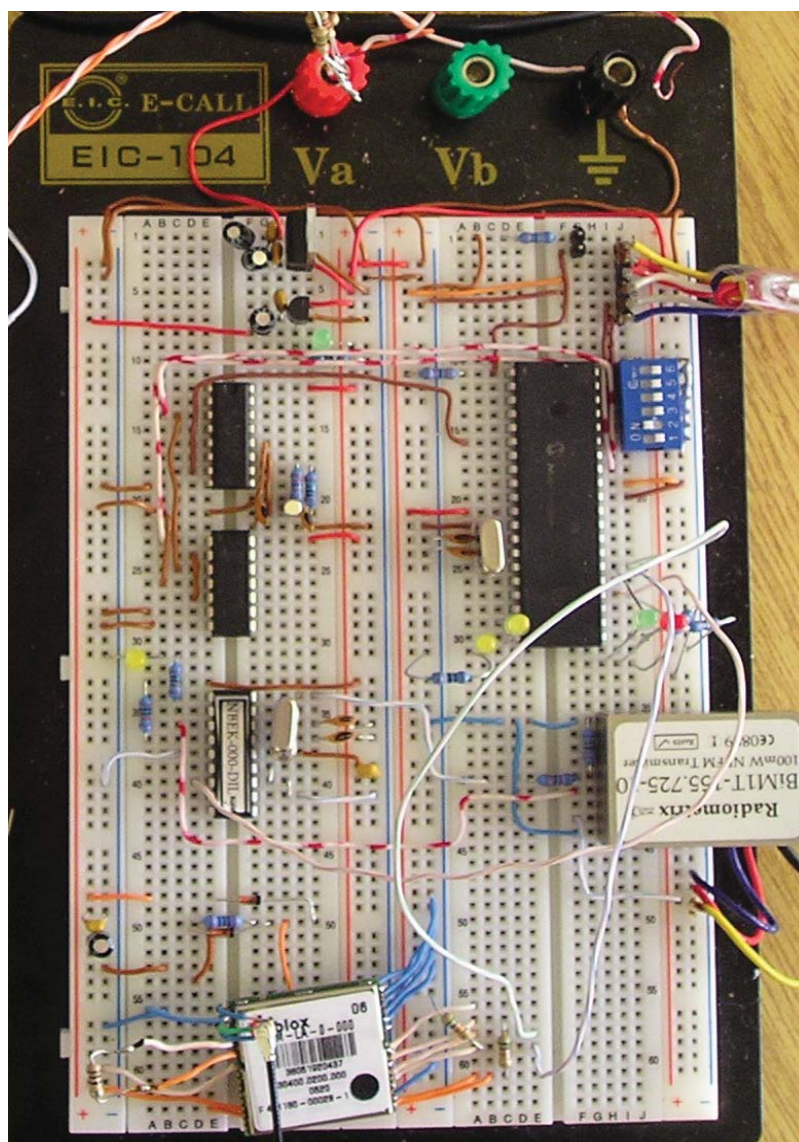
K mikroprocesoru PIC18F458 je připojen programovací konektor ICSP (In Circuit Serial Programming), resetovací vidlice a externí oscilátor s krystalem 10 MHz. Dále je zapojen přepínač S1, pomocí kterého se nastavuje příslušný vysílací timeslot dané stanice.

Procesor odesílá data po jednosměrném UART kanálu do modemu NBEK-000, který je propojen se samotným vysílačem RADIOMETRIX BiM1T dvěma vodiči. Signál TXSELECT (aktivní v nule) zapíná vysílání a TXD je signál, který se následně ve vysílači frekvenčně moduluje na nosný kmitočet 155,725 MHz.

Neméně důležitou součástí je VF zesilovač výkonu ze 100 mW na 500 mW. Je realizován často používaným zapojením zesilovače třídy C pro vysílače s FM modulací. V zesilovači je použitý tranzistor KF630D, který dostatečně vyhovuje pro požadovaný výstupní výkon 500 mW.

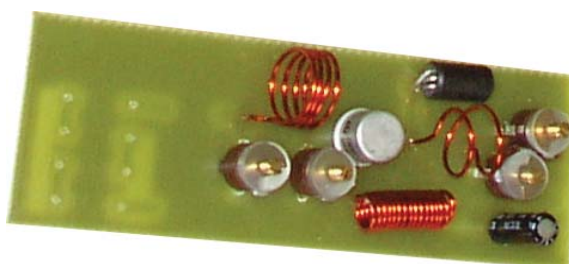
Bohužel, VF zesilovač musí být napájen napětím 20 V, proto je v obvodu malý spínaný zdroj řízený integrovaným obvodem MC34063A. Obvod je zapojený podle doporučení výrobce.

Na výstupu VF zesilovače následuje dále VF filtr vyšších harmonických kmitočtů, který je navržený jako dolní propust s dvěma kondenzátory a dvěma cívkami. Pro návrh posloužil program AADE Filter Design. Správná funkce obvodu byla úspěšně otestována na nepájivém kontaktním poli. Na obr. č. 41 je snímek realizace celého zapojení vysílače na nepájivém kontaktním poli. Vlevo nahoře je zdrojová část se stabilizátory. Pod nimi jsou obvody čítače (4060), klopného obvodu (4013) a modemu NBEK-000. Úplně vlevo dole GPS modul uBlox. Vpravo nahoře konektor pro ICSP programování mikroprocesoru. Pod ním je mikroprocesor a vysílací modul Radiometrix BiM1T s nosnou frekvencí 155,725 MHz.



Obr. 41: Realizace zapojení vysílače na nepájivém kontaktním poli

Pro otestování VF zesilovače a výstupního filtru byla navržena jednoduchá deska plošných spojů (DPS), která je zobrazena na obr. č. 42. DPS byla realizována proto, protože vysokofrekvenční části obvodu nelze testovat na nepájivém kontaktním poli. Důvodem jsou parazitní kapacity a indukčnosti zanesené do zapojení při použití nepájivého pole.



Obr. 42: Realizace VF zesilovače na testovacím plošném spoji

V pravé části plošného spoje je impedanční přizpůsobení na vstup tranzistoru. Uprostřed se nachází impedanční přizpůsobení (cívka, kapacitní trimry) výstupu tranzistoru a v levé části je ještě neosazená část výstupního filtru.

Impedanční přizpůsobení bylo nastaveno za pomoci měřiče poměru stojatých vln (PSV). Tento přístroj měří VF výkon procházející vodičem zvlášť v dopředném a zvlášť ve zpětném směru. Pomocí těchto údajů lze obvod naladit tak, aby docházelo k minimálnímu zpětnému odrazu vln.

Vzorec pro výpočet činitele odrazu je:

$$\rho = (Z_1 - Z_2) / (Z_1 + Z_2) \quad (5)$$

Tzv. poměr stojatých vln (PSV) udávaný PSV metrem se na základě činitele odrazu vypočte takto:

$$PSV = (1 + \rho) / (1 - \rho) \quad (6)$$

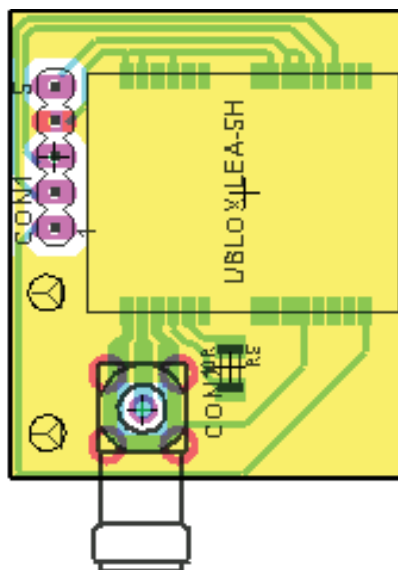
Při realizaci vysílače na nepájivém kontaktním poli bylo provedeno měření spotřeby zařízení. Zařízení odebírá proud 130 mA při napájení 7,2 V v okamžiku, kdy nevysílá. V okamžiku vysílání vzroste odebíraný proud na 800 mA. Zařízení vysílá po dobu 150 ms každých 10 s. Tzn. že můžeme předpokládat s dlouhodobým průměrným odběrem zařízení:

$$I = 130 + (0.150 / 10 * 0.8) = 0.142 \text{ A} \quad (7)$$

Protože je vysílací stanice napájena napětím 7,2 V, je její spotřeba:

$$P = 0.142 * 7.2 = 1.02 \text{ W} \quad (8)$$

Pro testování GPS modulu byla navržena deska plošných spojů zobrazená na obr. č. 43.



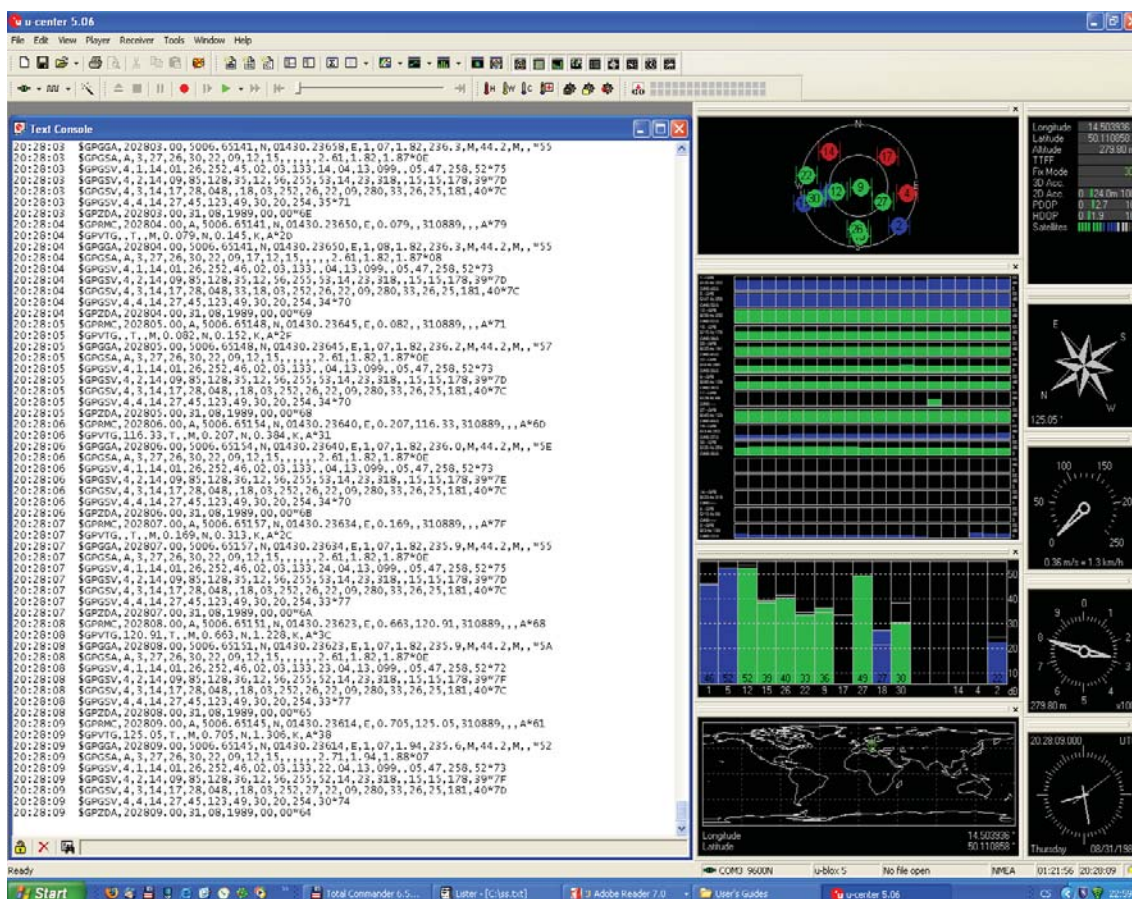
Obr. 43: Deska plošných spojů pro testování GPS modulu

Vlevo je umístěný jednořadý konektor, na který je přivedeno napájecí napětí 3,3 V, sériový port přijímače a signál TIMEMARK. V dolní části je umístěný SMA konektor pro připojení aktivní GPS antény napájené stejnosměrnou složkou napětí 3 V.



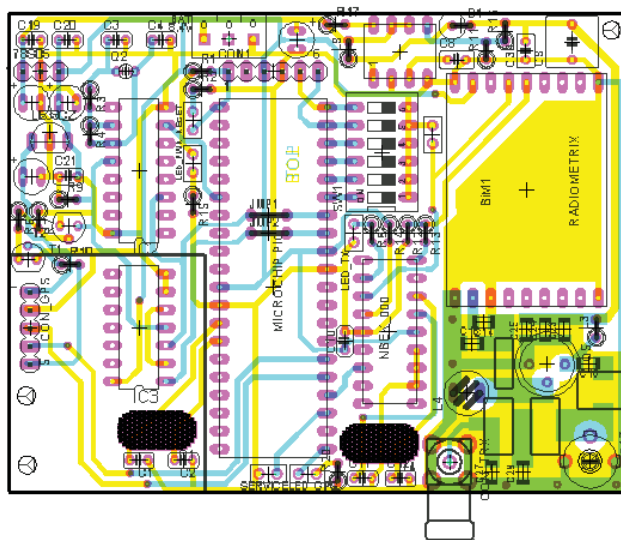
Obr. 44: Realizace desky plošných spojů pro testování GPS modulu

Pro testování funkčnosti a měření citlivosti realizovaného modulu (viz obr. č. 44) byl použitý program u-center vyvinutý a dodávaný společností uBlox. Je to zdařilá aplikace umožňující do detailu nastavit chování GPS modulu a sledovat mnoho jeho parametrů.



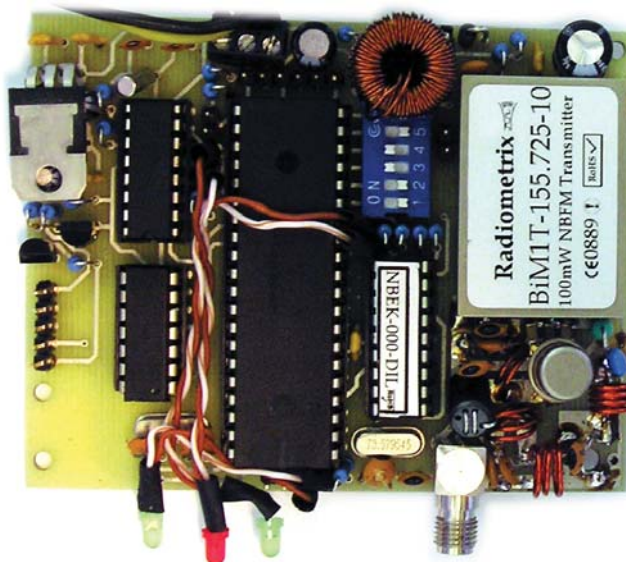
Obr. 45: Snímek obrazovky programu uBlox u-center pro komunikaci s GPS modulem

Na obr. č. 45 je zachycený snímek obrazovky programu u-center. V levé části obrazovky je konzole zobrazující příchozí data z GPS modulu a v pravé části informace o jednotlivých družicích, jejich poloze a úrovni přijímaného signálu.



Obr. 46: Návrh desky plošných spojů vysílací stanice

Poté, co byla odzkoušena funkčnost zapojení na nepájivém kontaktním poli, byla navržena deska plošných spojů vysílací stanice, která je zobrazena na obr. č. 46. Je to oboustranná pocínovaná deska bez nepájivé masky s prokovy. Její výrobou byla pověřena společnost Signalmont s.r.o. Kompletně osazená vysílací stanice je zobrazena na obr. č. 47.



Obr. 47: Realizace desky plošných spojů vysílací stanice

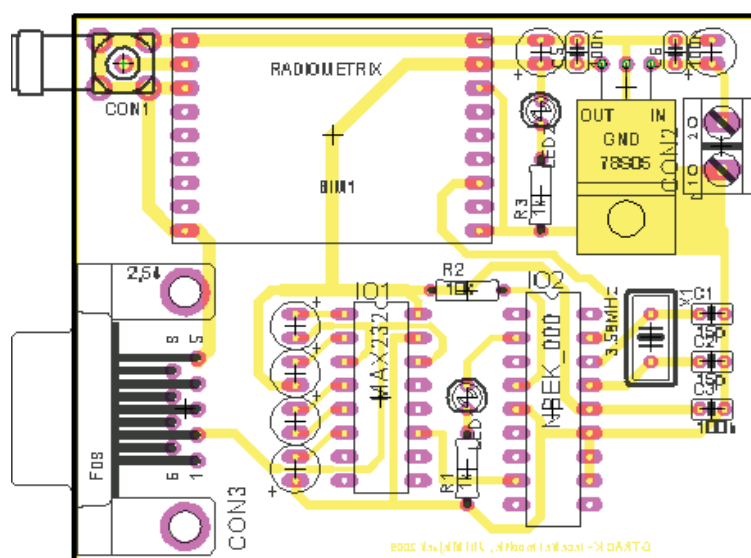
Napájení zařízení napětím 7,2 V bylo realizováno sériovým spojením 6ti NiMH článků. Za pomoci tepelně smrštelné fólie byl vytvořen kompaktní akupack 7,2 V o kapacitě 2000 mAh. Sestavené zařízení je vidět na obr. č. 48 a zakrytované pak na obr. č. 49.



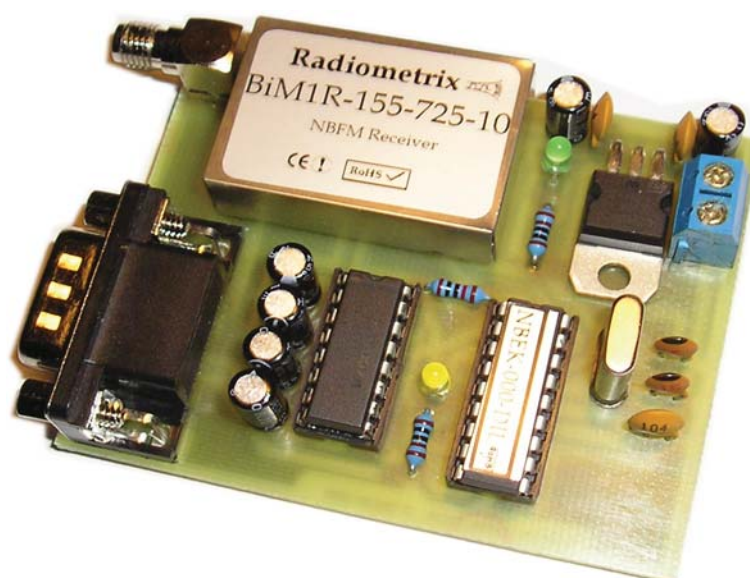
Obr. 48: Umístění baterie a plošného spoje do krabičky U-KP05



Obr. 49: Kompletní krabička vysílací stanice

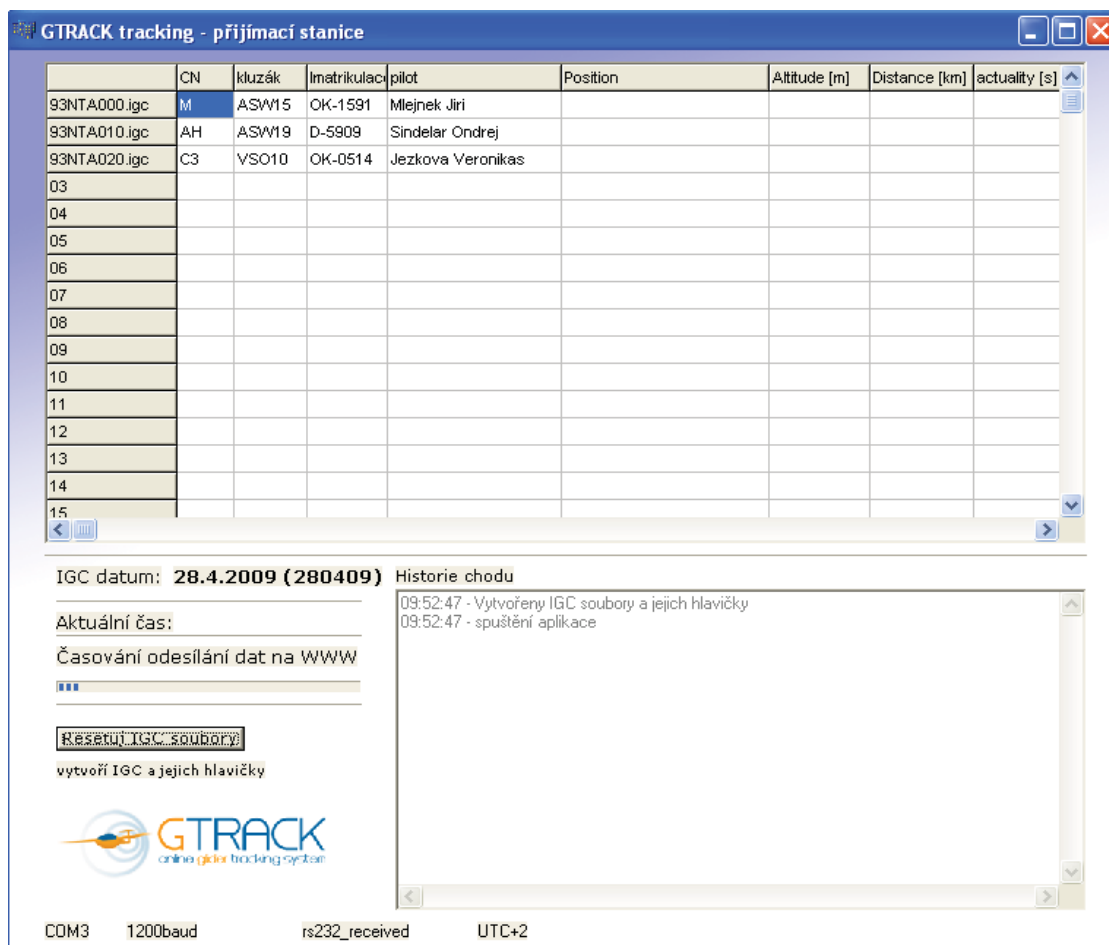


Obr. 52: Návrh desky plošných spojů přijímací části



Obr. 53: Realizace desky plošných spojů přijímací stanice

Počítač připojený k této přijímací stanici je vybaven programem vytvořeným jen pro účely tohoto systému. Naprogramovaný je v jazyce C++ ve vývojovém prostředí Borland C++ Builder. Grafické rozhraní tohoto programu je zobrazeno na obr. č. 54. V horní polovině obrazovky je zobrazen seznam pilotů a další informace o jejich kluzácích, poloze, nadmořské výšce a aktuálnosti uvedených údajů. Seznam pilotů musí do programu zadat organizátoři závodů.



Obr. 54: Snímek obrazovky programu na přijímací stanici

Funkcí tohoto programu je zpracovávat příchozí datové sekvence z přijímacího obvodu. Zpracování příchozích dat spočívá v dekódování identifikačního kódu zařízení, jeho souřadnic a nadmořské výšky. Tyto data jsou kumulována v bufferu po dobu 2 minut a v tomto intervalu následně odesílána na www server prostřednictvím FTP protokolu mechanismem popsaným dříve.

Dalším úkolem tohoto programu je vytvoření a průběžná aktualizace záznamu průběhu letu na lokálním disku v IGC formátu. Tyto soubory jsou vstupními daty pro 3D vizualizaci v programu CONDOR.

3.3 Vizualizace letu v simulátoru CONDOR

3D Vizualizace letu kluzáku využívá 3D enginu plachtařského simulátoru CONDOR. Real-time vizualizační funkce není zatím dostupná veřejnosti, protože je stále ve vývoji jako beta verze. Tuto beta verzi na testování poskytli vývojáři z italského CONDOR SOARING vývojového týmu.

Před spuštěním vizualizace letů je nutné program nastavit v několika krocích. Nejprve se nastaví soutěžní disciplína – tzn. výchozí bod tratě, otočné body, koncový bod tratě a tvary jednotlivých pozorovacích oblastí. Více informací ohledně soutěžních disciplín je k nalezení ve sportovním řádu FAI [2].

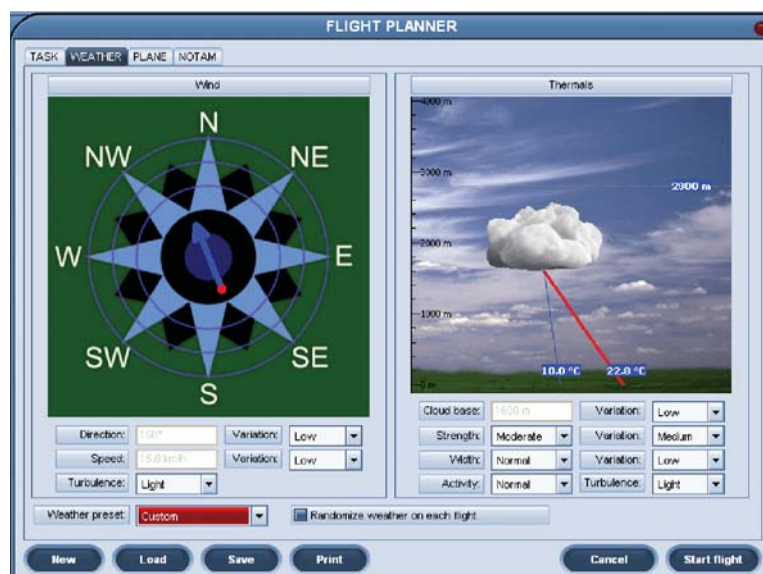


Obr. 55: Formulář pro nastavení soutěžní disciplíny

Na obr. č. 55 je snímek formuláře pro nastavení soutěžní disciplíny. Na obrázku je konkrétně trojúhelníková trať s výchozím a koncovým bodem v Roudnici n. Labem přes dva otočné body – Ústí n. Labem a Českou Lípu.

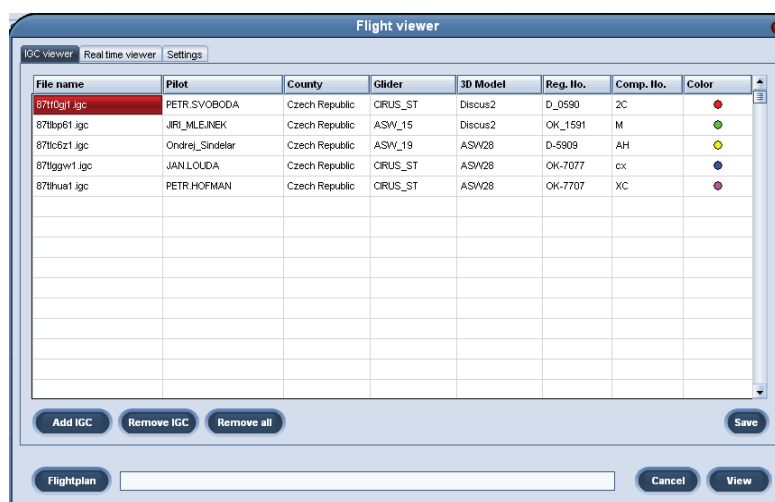
Dalším krokem při spuštění vizualizace je určení počasí, které se použije během simulace letu. Formulář pro toto nastavení je na obr. č. 56. V levé části se nastaví směr a síla větru a

intenzita turbulencí. Pravá část slouží pro určení množství oblačnosti, výšky jejich základů a síly stoupavých proudů.



Obr. 56: Formulář pro nastavení počasí během vizualizace letu

Posledním krokem je vložení IGC záznamů určených pro přehrávání (viz obr. č. 57). Je možné určit buď jednotlivé IGC soubory nebo zvolit adresář a CONDOR bude vizualizovat všechny lety umístěné v tomto adresáři. Program může pracovat ve dvou režimech. Prvním je přehrávání již provedených a uzavřených letů – tzv. offline přehrávání. Druhým pro účely této diplomové práce využívaným módem je tzv. online přehrávání. Program průběžně načítá IGC soubory a s nastaveným zpožděním oproti reálnému času tyto lety přehrává.



Obr. 57: Formulář pro vkládání IGC záznamů letů vytvořených přijímací stanicí

Pro vizualizaci letů v prostoru České republiky poslouží průběžně vyvíjená scénérie pro simulátor CONDOR s názvem Czech rep. 1.0. Je možné ji zdarma stáhnout na adrese [39]. Na několika následujících snímcích je ukázka realističnosti zobrazení při přehrávání letu z IGC záznamu. Obrázek 58 zobrazuje vnější pohled na letoun a obrázky č. 59 a 60 pohled z pilotní kabiny.



Obr. 58: Vizualizace letu - vnější pohled



Obr. 59: Vizualizace letu - pohled z kabiny - vpředu město Vrchlabí a po levé straně je letiště



Obr. 60: Pohled z kabiny směrem na Krkonoše - v dálce je znatelná Sněžka

3.4 Vizualizace letu na webovém rozhraní

V předchozí kapitole byla popsána možnost 3D vizualizace letu prostřednictvím simulátoru CONDOR. Tento simulátor bude nainstalovaný na počítači na letišti, kde je nainstalovaná pozemní přijímací stanice. V průběhu plachtařských závodů je plánováno využití projektoru a vizualizaci letů závodníků zobrazovat na promítací plátno pro veřejnost pohybující se na letišti.

Pro uživatele, kteří mají zájem sledovat průběh závodů prostřednictvím internetu, je vytvořeno webové rozhraní integrované do již existujícího systému databáze letů na adrese www.cpska.cz.

Při programování webového rozhraní bylo využito technologií HTML, JavaScript, PHP a mySQL. Byl vytvořen přihlašovací formulář pro registraci zařízení (viz obr. č. 61). Tento formulář je nutné před letem vyplnit a odeslat pro správnou inicializaci všech částí systému.

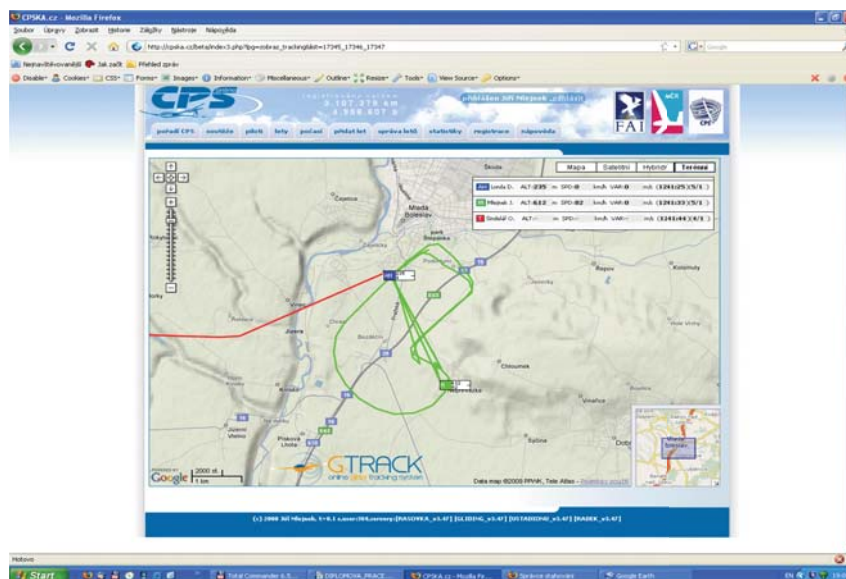


Obr. 61: Formulář pro inicializaci sledování letu

Při odeslání tohoto formuláře dojde k vložení informací o letu do databáze systému. Mezi informace o letu patří typ kluzáku, jméno pilota, jméno kopilota a kód zařízení, které bude umístěno na palubě letadla. K této databázi má přístup aplikace na přijímací stanici, která tyto informace pravidelně kontroluje.

Po úspěšné inicializaci se zadaný let zařadí do seznamu letů přístupných veřejnosti. Po kliknutí na položku reprezentující daný let se načte stránka zobrazující polohu kluzáku na mapovém podkladu využívající Google Maps API. Je to modul, který lze integrovat do webových stránek a tím jednoduše implementovat mapové funkce. Funkčnost tohoto modulu lze různými způsoby měnit pomocí funkcí JavaScriptu.

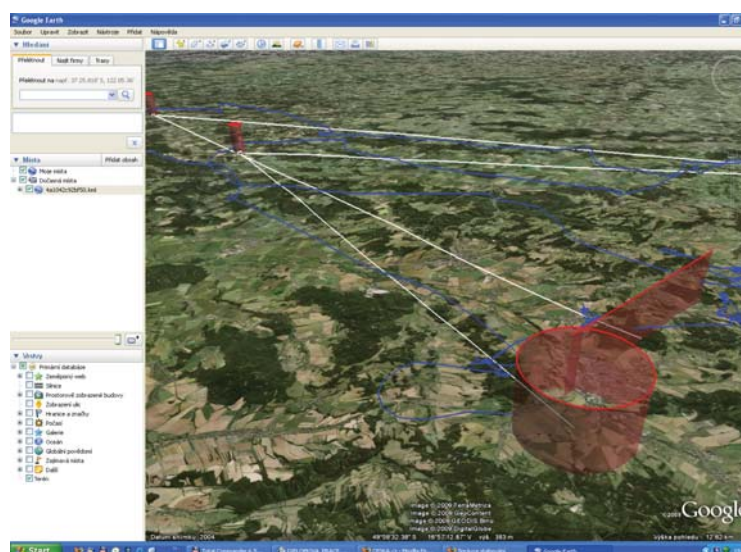
Na obr. č. 62 je zobrazena stránka zobrazení polohy kluzáku s mapovým podkladem.



Obr. 62: Stránka zobrazující polohu kluzáku realizovaná využitím Google Maps API

Uprostřed této mapy je zobrazena ikonka označující polohu kluzáku. Vpravo nahoře je umístěna tabulka se zobrazením dalších informací o všech sledovaných kluzácích. Jedná se o jméno pilota, nadmořskou výšku, rychlost, údaj variometru a čas, kdy byly tyto údaje změřeny.

Jak se lze dočíst v kapitole zabývající se návrhem tohoto systému, PHP skript, který zpracovává data z přijímací stanice generuje mimo jiné také záznam letu ve formátu KML. KML soubory lze zobrazit v prohlížeči Google Earth. Tzn. že i prostřednictvím internetu si lze sledované lety prohlížet ve 3D, jak je vidět na obr. č. 63. Červeným kruhem je zde zobrazena cílová oblast, bílé čáry značí závodní trasu a modrá čára představuje záznam letu účastníka závodů.



Obr. 63: 3D vizualizace letu pomocí programu GOOGLE EARTH

4 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout a realizovat systém pro sledování výšky a polohy kluzáků během plachtařských závodů a následná distribuce těchto informací veřejnosti prostřednictvím internetu v reálném čase. Součástí realizace bylo propojení systému se systémem CPS online [34], který slouží k monitorování výkonů létající plachtařské společnosti.

V této práci byl proveden rozbor technologií pro určení polohy kluzáku a bezdrátový přenos dat z letounu na pozemní stanici. Pro návrh byly vybrány technologie GPS a radiový datový přenos v bezlicenčním pásmu. Výběr byl proveden na základě rozborů možností trhu s ohledem na výkonnostní požadavky kladené na přenosový systém.

Systém byl úspěšně odzkoušen v laboratorních podmínkách a následně byly realizovány 3 kusy vysílacích modulů a jeden přijímací modul. Tyto moduly byly otestovány a jejich vlastnosti odpovídají požadovaným předpokladům. Prozatímní výsledky funkčnosti jsou prezentovány v kapitolách 3.3 a 3.4. Výhodou nově vyvinutého systému je jeho nízká cena, malá velikost a také možnost uložení do kluzáku bez zásahu do jeho konstrukce.

Přijímací modul společně s anténou byl nainstalován na letišti LKMB v Mladé Boleslavi a v průběhu plachtařských závodů pořádaných od 8. do 18.7.2009 bude systém otestován v ostrém provozu.

Výsledné řešení uvedené v této práci používá jak vlastní, nově vyvinuté HW a SW části, tak i integruje již existující technologie pro dosažení požadovaného cíle. Jedná se například o databázovou aplikaci, využití systému CPS online [34], existujících radiových modulů, systému pro vyhodnocení pořadí závodníků, program SeeYou a zobrazovacího enginu Google Earth.

4.1 Přínos práce

Realizovaný systém je přínosem k současnému stavu z několika hledisek. Prvním z nich je popularizace plachtařského sportu. Bez tohoto systému byl plachtařský sport divácky málo atraktivní. Závodníci odletí na několik hodin a během této doby nemají diváci informace o průběžném pořadí jednotlivých závodníků. Systém přináší veřejnosti možnost sledovat závod

tzv. „online“. Uživatel systému může dokonce závod sledovat z pohledu tak, jak ho právě vidí soutěžící – z jejich kokpitu.

Dalším neméně důležitým přínosem je zvýšení bezpečnosti soutěží. V případě havárie lze díky tomuto systému velmi rychle lokalizovat místo neštěstí, předat GPS souřadnice záchranné službě a tím urychlit celou záchrannou operaci.

Užitečný přínos bude mít systém i během výcviku pilotních žáků, kteří již létají samostatně, ale je ještě vyžadován dohled instruktora. Instruktor může prostřednictvím systému sledovat svého žáka a v případě chybování dříve zakročit.

4.2 Využití systému v praxi

V každém případě je realizovaný systém předurčen jednoznačně pro využití ve sportovním letectví. V dopravním letectví by vznikl problém s využíváním bezlicenčních radiových pásem pro komerční účely a také s homologací zařízení pro provoz na palubě takových letadel.

V případě zakoupení nebo vymezení komunikačního kanálu je možné užití navrženého systému pro sběr informací o letadlech v okolí určitého bodu – např. letiště. Systém by bylo možné používat jako levnou náhradu k běžně používanému leteckému odpovídači pro monitorování letadel kategorie ULL.

Jedinou nevýhodou systému je jeho omezený dosah ve srovnání se satelitním přenosem. Protože jedním z požadavků byly minimální provozní náklady, byla pro realizaci vybrána technologie radiového pozemního přenosu. V případě nutnosti zvýšit dosah zařízení lze použít směrových antén typu YAGI na straně přijímače.

Požadavky, které byly uvedené v zadání práce byly splněny, byl realizován a úspěšně odzkoušen funkční systém sledování polohy letadel.

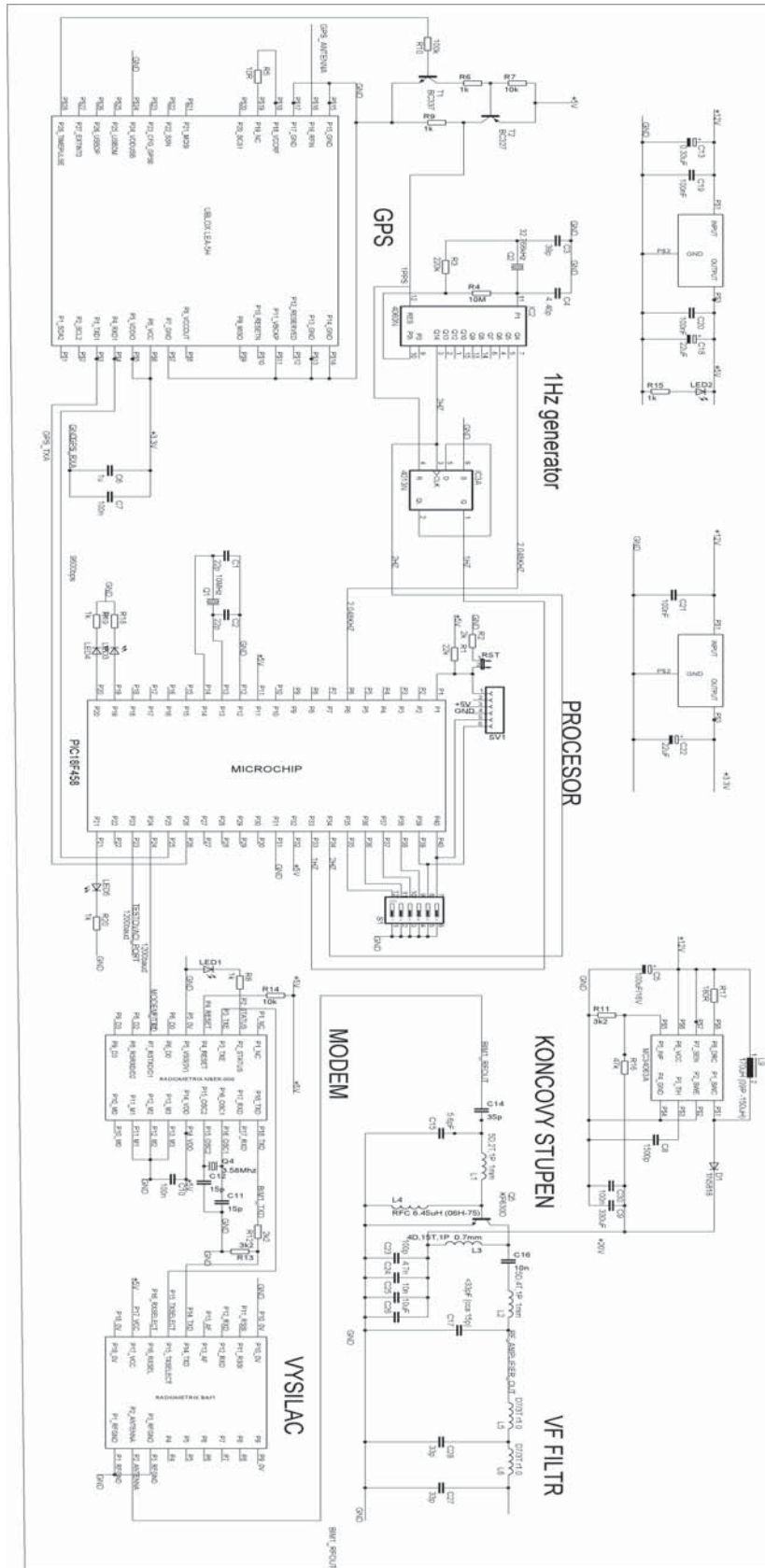
V případě potvrzení jeho bezchybnosti během dříve popsaného plánovaného testování, bude sledovací systém využíván v běžné praxi pro účely plachtařských závodů.

Literatura

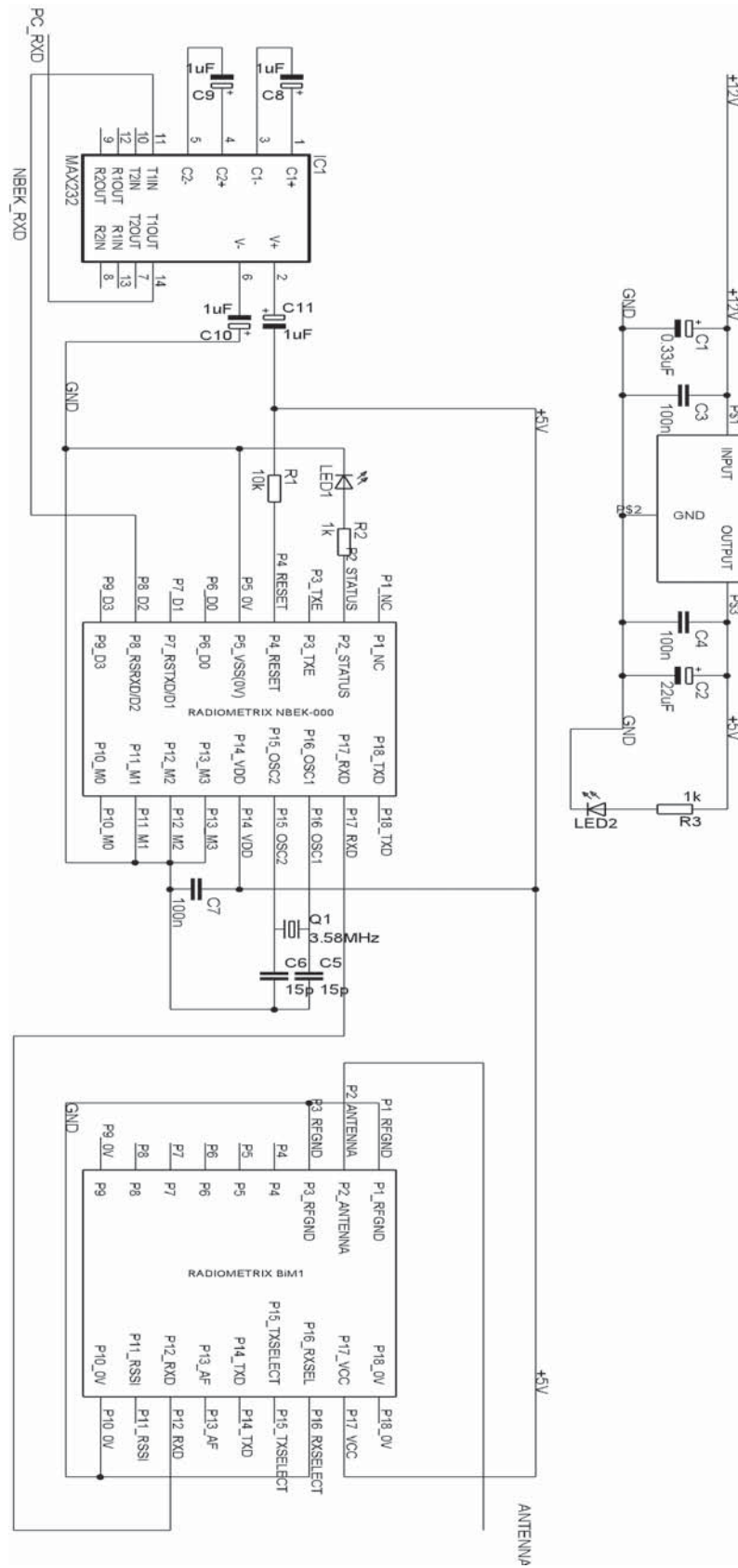
- [1] Helfrick, Albert D.: *Principles of avionics*. Avionics Communications Inc. Leesburg, USA 2004, ISBN-1885544-20-0.
- [2] *FAI Sporting Code Section 3 – Gliding*: [online]. [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://www.fai.org/gliding/sc3.pdf>>
- [3] Condor: *The Competition Soaring Simulator*. [online]. [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://www.condorsoaring.com>>
- [4] Thuraya – *satelitní komunikační síť*, [online]. [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://www.thuraya.cz>>
- [5] NetworkInnovations [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://www.networkinv.com/>>
- [6] *Global Positioning System* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System>
- [7] Wikipedia: *GSM*, [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/GSM>>
- [8] Franta CV: *VSWR meter* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://www.dusoft.cz/PMR/SWR/SWR.htm>>
- [9] Prof. Ing. Miloš Mazánek, Csc.: *Materiály k předmětu X17ANT* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://www.elmag.org/doku.php/k317:ant>>
- [10] Microchip: *katalogový list PIC18F458* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/41159d.pdf>>
- [11] uBlox: *katalogový list LEA-5H* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <http://www.u-blox.com/products/lea_5h.html>
- [12] Radiometrix: *katalogový list BiM1* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://www.artbrno.cz/radiometrix/pdf/Bim1.pdf>>
- [13] Radiometrix: *katalogový list NBEK-000* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://www.artbrno.cz/radiometrix/pdf/nbek.pdf>>
- [14] PHILIPS: *katalogový list 74HC4060* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/74HC4060.pdf>>
- [15] FAIRCHILD semiconductor: *katalogový list CD4013BC* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/270/500197_DS.pdf>
- [16] Motorola: *katalogový list MC34063A* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/motorola/MC34063A.pdf>>
- [17] Tesla: *katalogový list KF630D* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://www.datasheetarchive.com/KF630D-datasheet.html>>
- [18] PHILIPS: *katalogový list 2N3553* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://www.datasheetarchive.com/pdfdatasheets/Datasheets-1/DSA-8799.pdf>>
- [19] Pandatron.cz: *Výpočet cívek* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <http://pandatron.cz/?209&vypocet_civek>
- [20] Pandatron.cz: *Zvyšující DC/DC měnič na 50V* [online], [cit. 17.května 2009]

- Dostupný z WWW: <http://pandatron.cz/?310&zvysujici_dc/dc_menic_na_50v>
- [21] PIRA.cz: *Koncový stupeň FM vysílače* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://www.pira.cz/koncak.htm>>
- [22] OK2KKW.com: *Dolní propust 144MHz* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://www.ok2kkw.com/00003016/dp144/dp144.htm>>
- [23] Belza, Jaroslav: *Akumulátory Li-ion a jejich nabíjení* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <http://abs.misto.cz/_MAIL_/kabely/lion.html>
- [24] Pandatron.cz: *Antény nejen pro PMR – 3* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <http://pandatron.cz/?270&anteny_nejen_pro_pmr_-_3>
- [25] Sectron.cz: *Katalogový list SIEMENS MC45* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://www.sectron.cz>>
- [26] Infrared.cz: *GPS* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://www.infrared.cz/Technologie/GPS/>>
- [27] SkyWave: *SkyWave IsatM2M Network Service* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://skywave.com/isatm2m.php>>
- [28] Novák, Hynek: *Mobilní síť GSM* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://hyneck.net/MobilniSitGSM.ppt>>
- [29] RF Cafe: *GSM specification* [online], [cit. 17. května 2009]
Dostupný z WWW: <http://www.rfcafe.com/references/electrical/gsm_specs.htm>
- [30] ČTÚ – *všeobecné oprávnění č. VO-R/16/08.2005-28* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://www.ctu.eu>>
- [31] CISCO.com: *Antenna patterns and their meaning* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://www.cisco.com>>
- [32] Dr. Hon Tat Hui: *Electromagnetic radiation, antennas and waveguides* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://www.ece.nus.edu.sg/stfpage/elehht/Teaching/EE4101>>
- [33] Sirio Antenne: *VHF Base antennas* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <http://www.sirioantenne.it/docs_download.php?file=sirio-vhf-2008.pdf>
- [34] CPS online: *Celostátní Plachtařská Soutěž* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://www.cpska.cz>>
- [35] Naviter d.o.o. : *SeeYou* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://www.naviter.si>>
- [36] Almost All Digital Electronics: *AADE Filter Design* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://www.aade.com/filter.htm>>
- [37] Mori M. , Schewelew A., Gontcharenko I. : *MMANA GAL* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://mmhamssoft.amateur-radio.ca/mmana/>>
- [38] Silent Wings AS [online], [cit. 17. května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://silentwings.no>>
- [39] Koch M.: *Landscapes for Condor* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://www.condorscenery.eu>>
- [40] Google: *Google Code* [online], [cit. 17.května 2009]
Dostupný z WWW: <<http://code.google.com/intl/cs/>>

Příloha A – Schéma zapojení vysílače



Příloha B – Schéma zapojení přijímače



Příloha C – Rozpis součástek vysílače

Typ	Počet kusů	Popis	Dodavatel
CKS 15P/50V	2	ker.kond 15p	GME
CKS 22P/50V	2	ker.kond. 22p	GME
CKS 33P/50V	1	ker.kond 33p	GME
CKS 39P/50V	2	ker.kond. 22p	GME
CK 100N/63V	5	ker.kond 100n	GME
CKS 1N5/50V	1	ker.kond 1,5n	GME
E0.33M/50VM	1	ele. kond 0.33u	GME
E22M/10VM	3	ele. kond 22m	GME
E100M/16VM	1	ele.kond. 100m	GME
E220M/25V	1	ele.kond 220m	GME
CKS 33P/50V	3	SMD kond 33p	GME
CKS 1p8	2	SMD kond. 39p	GME
CKS 5p6	1	SMD kond. 5p6	GME
CK+10N X7R	3	SMD kond. 10n	GME
CK+100P NPO	2	SMD kond. 100p	GME
CK+4N7 X7R	1	SMD kond. 4n7	GME
TRIMMER11339	1	kapac.trimmer 33p	GES
R1206 10R 5%	1	SMD rezistor 10R	GME
RR 22K	1	rezistor 22k	GME
RR 2K	1	rezistor 2k	GME
RR 220K	1	rezistor 220k	GME
RR 10M	1	rezistor 10M	GME
RR 1K	5	rezistor 1k	GME
RR 10K	2	rezistor 10k	GME
RR 100K	1	rezistor 100k	GME
RR 3k	1	rezistor 3k	GME
RR 3K3	1	rezisotr 3k3	GME
RR 2K2	1	rezistor 2k2	GME
RR 47K	1	rezistor 47k	GME
RR 180R	1	rezistor 180R	GME
78S05	1	stab. 5V	GME
1N5818	1	schottky dioda	GME
PIC18F458 DIL40	1	procesor PIC	ASIX
BIM1T	1	vysilaci modul	RADIOMETRIX
NBEK-000 DIL	1	modul modem	RADIOMETRIX
GPS LEA-5H	1	GPS modul	UBLOX
GPS anténa	1	GPS anténa	UBLOX
LE33CZ	1	stab. 3,3V	GME
MC34063A P1G	1	DC/DC menic	GES
4060	1	12bit bin.citac	GME
4013	1	2x KO	GME
Q 32.768kHz	1	krystal 32,768kHz	GME
QM 10.000MHz	1	krystal 10Mhz	GME
QM 3.579MHz	1	krystal 3,579Mhz	GME
KF630D	1	NPN tranzistor VF	TME
BC-337 25	1	tranzistor	GME
BC-327 25	1	tranzistor	GME
DIP 6X	1	prepinac 6x	GME
B-N2000AALF	6	NIMH paskove vyv.	GME
SMCC 0.47uH	1	tlumivka 0.47uH	GES
06H-75	1	tlumivka	GES
DPU150A1	1	tlumivka 150uH	GES
SOKL40	1	patice 40pin	GME
SOKL18	1	patice 18pin	GME
SOKL16	1	patice 16pin	GME
SOKL14	1	patice 14pin	GME
SOKL8	1	patice 8pin	GME
S1G26	1	kol.lamací RM2.54	GME
BL820G	2	dut.listy jr 8,5mm	GME
ARK550/2	1	svorkovnice 3,5mm	GME
SMA	2	ant. konektor SMA	RASEL
LED 3mm cervena	1		GME
LED 3mm zele	2		GME
EBFA3 CHROM	3	sokl na LED 3mm,kuzel	GME
U-KP05	1	krabicka	GME
P-B070B	1	mini páčkový přepínač	GME
K3716B	1	DC-power 2,5mm	GME

Příloha D – Rozpis součástek přijímače

Typ	Počet kusů	Popis	Dodavatel
78S05	1	stabiliz. zdroj 5V	GES
KER15P	2	ker.kond. 15p	GES
KER 100N	3	ker.kond 100n	GES
RAD 0.33/25	1	elek. kond. 330n	GES
RAD 22/25	1	elek. kond 22u	GES
CZM 5/2	1	svorkovnice	GES
D-SUB M09EU	1	CANON konektor 9pin	GES
GS16	1	patice 16pin	GES
GS18	1	patice 18pin	GES
MAX232	1		GES
L-934ID*G	1	LED 3mm, zelená	GES
L-934YC*G	1	LED 3mm, žlutá	GES
RM0207 1k	2		GES
RM0207 10k	1		GES
XTAL 3.579545 HC49/U	1	krysal 3.579 MHz	GES
KP45D	1	vodotěsná krabička	GES
EG-5GY1	2	kabelová průchodka	GES
SMA M RG58KG	1		GES
D-SUB F09	2	9 pin konektor (f)	GES
LIY Y414	3m	kabel	GES
KAPPE CG9G	2	krytky D-SUB	GES
RAD 1/25	4	elek. kond 1u	GES

Příloha E – Obsah přiloženého CD

- [katalogove_listy] - Obsahuje katalogové listy použitých součástek.
- [schemata] - Zapojení přijímacího a vysílacího modulu ve formátu pro program Eagle.
- [zaznamy_letu] - Ukázky záznamů letu bezmotorových letadel ve formátech KML a IGC.
- [zdrojove_kody] - Zdrojové kódy pro přijímací a vysílací stanice v jazyce C++.