

Africka odysea

Podrobněji o konvenční telemetrii **Vysílače**



Specializované firmy nabízejí širokou škálu miniaturních vysílačů s různými technickými parametry. To dovoluje do jisté míry konkrétní volbu podle druhu ptáka, terénních podmínek a potřeb výzkumu. Zpravidla, především u menších ptáků, jde o silný kompromis omezený na jedné straně maximální přípustnou váhou vysílače (tedy hlavně baterie), na straně druhé pak potřebnou délkou jeho činnosti (týdny, měsíce, roky).

Tím je vymezen potřebný druh baterie a typ elektrické konstrukce, na které závisí i výkon vysílače. Dosah vysílače, který "bude vždy nedostatečný", závisí především na vysílacím výkonu, ale i na druhu terénu, porostu, atmosférických podmínkách, úrovni elektromagnetického rušení (pozadí), poloze ptáka a částečně i na délce signálu.

Výrobce uvádí teoretický dosah pro umístění vysílače a přijímače na povrchu země.

Jakákoliv elevace vysílače či přijímače výrazně zvyšuje dosah. U letících ptáků např. více než 10krát. Životnost zařízení je dána elektrofyzikálními vztahy, přičemž limitující je kapacita baterie a její kvalita. Je nutné používat pouze čerstvé špičkové výrobky osvědčených firem. Výkon vysílačů je pouze 0.01-10 mW.

Schopnost lokalizovat velmi slabý signál vysílače zásadním způsobem ovlivňuje kvalita přijímače. Špičkové jsou např. výrobky firmy Microwave Telemetry (USA). Pro terénní využití je přijímač vybaven skládací několikaprvkovou anténou. Běžné miniaturní vysílače používají signál s potlačením nosné. Proto je nutné použít přijímač schopný provozu CW, SSB, LSB, UBS. Délku signálu (slyšitelnou jako pípnutí) nastavuje natrvalo výrobce. Signál zpravidla trvá 0.3 až 0.5 sekundy a následující pauza 0.5 až 1 sekundy. Zaměření se provádí podle síly slyšitelného signálu (sluchátka, reproduktor) nebo podle výchylky měřiče síly pole (ručičkový ukazatel, svítící diody).

Pro přesnou lokalizaci je nutné současné zaměření signálu z několika (minimálně 2 až 3) stanovišť. Po zjištění polohy je možné ptáka dohledat až na pozorovací vzdálenost. Při dostatečné síle pole lze vyhodnotit zakódovaný signál doplňkových detektorů (sklon ptáka odpovídající sběru potravy, tlak vzduchu odpovídající výšce letu, teplota související s aktivitou atd.).

Automatické systémy monitoringu využívají několik stacionárních stanic rozmístěných ve sledovaném prostoru. Jejich antény umístěné na vysokých stožárech jsou konstruovány tak, aby bylo možné opakovaně určovat směr všech přijímaných signálů. To je zajištěno buď rotací antény nebo umístěním antén paprscitě do všech směrů a vyhodnocením rozdílu síly signálu. Data ze všech stacionárních přijímačů jsou pak porovnávána a zpracována projekcí do mapy v centrálním počítači.

Nejčastěji se však uplatňuje přímé dohledávání vysílače pohybem v terénu s pomocí jediného přijímače.

Vysílače jsou řízeny krystalem. Stabilita jejich kmitočtů je vysoká, proto mají sousední kanály odstup pouze 10 kHz. Vlastní příjem se realizuje v úzkém pásmu 2,5 kHz, čímž je částečně omezeno rušení. Standardně jsou vyráběny vysílačky pro kmitočty povolené v zemích, kde výrobci působí. Ve Velké Británii je to okolo 173 MHz, v USA 150, 164 a 216 MHz. Dalšími užívanými kmitočty jsou 140 a 400 MHz. I když výrobci inzerují, že jsou schopni připravit vysílač pro jakýkoliv kmitočet, jsou z cenových i praktických důvodů tyto vysílače používány i u nás.

V zahraničí často užívaný a i u nás populární kmitočet 216 MHz leží v televizním pásmu těsně vedle nosného zvuku 10. kanálu TV. Silný základní TV vysílač Černá hora v Krkonoších a četné lokální převaděče znemožňují jeho použití na rozsáhlém území a zvyšují rušení i na vzdálenějších místech. Praktické zkušenosti ukazují, že kanály u prvních dvou kmitočtů jsou velmi silně rušeny jinými vysílači. Na u nás povolené pásmo 300-350 MHz se běžně v zahraničí vysílačky nevyrábějí. Kmitočet 401 MHz je oproti tomu pro konvenční použití příliš vysoký a jeho šíření je silněji utlumené překážkami, především ve vlhkém prostředí. Posuzováno obráceně, lze konstatovat, že velmi malé výkony vysílačů pro monitoring neovlivňují v žádném případě jiná technická zařízení, i když vysílají na "cizích" kmitočtech.

Podrobněji o satelitní telemetrii

Satelitní sledování je založeno na příjmu signálu vysílače pomocí obíhajících družic.

Tento způsob je hlavně využíván při sledování dálkového tahu, nebo u dlouhých přeletů v neobydlených, nedostupných a rozsáhlých oblastech tundry, pouští či oceánů, nebo v neprostupných územích bažin a pralesů, kde tradiční metody přímého pozorování značených ptáků a konvenční pozemní telemetrie selhávají. Doposud jediným fungujícím družicovým systémem, který komerčně poskytuje hlášení o geografické poloze, je systém ARGOS CLS provozovaný ve spolupráci USA a Francie, který byl původně určený pro meteorologickou a námořní službu případně pro fyzikální výzkum země.

Vysílač (Platform Transmitter Terminal - zkráceně PTT) vysílá opakovaně na vymezeném kmitočtu specifický krátký signál, který je zachycen družicemi NOAA (družice skupiny Tiros-N s modulem pro zachycení, zpracování a předání dat - Argos Data Collection and Location System - DCLS). Navazuje přenos dat přes pozemní přijímací stanice Fairbanks, Wallops Island, Lamnion - jak pro přímý přenos z přilehlých oblastí, tak pro přenos nahraných zpráv při globálním pokrytí Země. Finální zpracování dat a vyhodnocení souřadnic probíhá v pozemních centrech CLS v Landoveru (USA) a v Toulouse (Francie). Odtud jsou údaje pro příslušná území distribuována zákazníkům buď ON-LINE faxem, telexem nebo sítí Transpac, nebo OFF-LINE jako souhrnný file nebo výpis zaslaný s určitým časovým odstupem. Systém poskytuje vždy dvojici zrcadlových souřadnic, z nichž pouze jedna je přijatelná. Proto je finální vyhodnocení v rukou vedoucího projektu.

Tento systém byl vyvinut pro meteorologický a oceánografický výzkum. Základem je přenos fyzikálních a meteorologických dat z relativně silných vysílačů, které jsou buď pevné nebo jsou umístěny pohyblivě např. na lodích, driftujících bójích, balónech a podobně.

U nich je pak nutné zjišťovat i měnící se polohu. Původně spíše doplňkovou náplní byla i lokalizace a přenos dat z PTT umístěných na velkých mořských a suchozemských živočiších.

Uplatnění při sledování tahu ptáků umožnila až extrémní miniaturizace bateriových zdrojů a vlastních vysílacích zařízení v posledních letech. Satelitní lokalizace PTT je založena na malých změnách vysílaného kmitočtu při přeletu družice (podle Dopplerova principu jsou vyhodnoceny rozdíly kmitočtu při přibližování a vzdalování od vysílače). Jedná se o extrémně malé rozdíly frekvence odpovídající rozdílu rychlosti světla a rychlosti pohybu družice, navíc zmenšené o to víc, čím je vysílací zdroj více mimo dráhu družice. Systém klade extrémní nároky na stabilitu oscilátoru vysílače.

Satelitní vysílače vyrábějí licencované americké (Microwave Telemetry Inc., Telonics, Seimac) a japonské (Toyocom) firmy. Váha okolo 100g předurčuje jejich využití pouze u velkých ptáků. Teprve v r. 1993 byl uveden na trh vysílač PTT 100 o hmotnosti pouhých 27g se životností 600 vysílacích hodin (tzn. podle intenzity cyklu cca 1/2 roku, ale při 8 denním cyklu i 1 rok), který může být použit u ptáků vážících přibližně 1 kg jako je např. raráhovec (Falco rusticolus) nebo samice sokola stěhovavého (Falco peregrinus).

PTT vysílají na kmitočtu 401,65 MHz s výkonem 20-40 mW opakovaně v jedno-až dvouminutových odstupech svůj kód, který je složitě zpracován nejprve družicí, následně pak v pozemním centru a již po 20 minutách od zachycení je údaj přístupný pro ornitology (např. sítěmi Transpac/Tymnet).

Aktivita vysílačů je z praktických důvodů omezena delšími cykly. Především je nutné šetřit kapacitu baterií, jejichž velikost a hmotnost jsou rozhodující pro hmotnost vysílače. Proto se aktivní období (ON, 4 až 8 hodin) opakovaně střídá s obdobím klidu (OFF) v cyklu 1 až 8 dnů. Vysílací doba 4 hodiny sice teoreticky zaručuje i na rovníku alespoň jeden přelet některého ze satelitů v době vysílací aktivity a tedy i možnost zaměření polohy. Vzhledem k tomu, že ne každý přelet může družice technicky zpracovat (satelit nezachytí dostatečný počet opakování kódu nebo některé impulzy jsou značně zkreslené a po zpracování nedávají smysl), mohou některé předpokládané lokalizace chybět a rozestupy mezi hlášeními se pak zvýší na 6, 8 i 12 dní.

Proto se jako optimální volí cyklus s 8 hodina vysílací aktivity (ON). Modernější vysílače dovedou střídat i několik různých cyklů ON/OFF za sebou. Např. po 10 cyklech s 8 hod. ON a 44 hod. OFF následuje intenzivní

perioda s 20 cykly 6 hod.

ON a 12 hod. OFF atd. U standardního časovače se předpokládá dlouhodobá odchylka do 2%. Doposud je obtížné načasovat vysílání na přesnou denní dobu, i když by to bylo teoreticky výhodné, neboť družice přecházejí přes stejná místa vždy ve stejnou hodinu. Avšak vzhledem k dlouhodobé nepřesnosti časovače a možným "oknům" v přeletech družic, je výhodnější sestavit cykly tak, aby docházelo k rychlé rotaci.

Různé technické parametry a vlastnosti družicového systému a softwaru, stejně tak jako technické parametry vysílače, mají za následek různou přesnost lokalizace ptáka.

Náhodné vlivy (např. dlouhodobá stabilita vysílacího oscilátoru, změny teploty, otočení ptáka) mohou významnou měrou přesnost znehodnotit. Dvě družice NOAA (projekt Tiros N, 725 kg) s polární drahou ve výšce 830 a 870 km (+/-18km) sledují v každém okamžiku signály z 5,7% zemského povrchu. Družice může najednou zpracovat až 600 různých vysílačů zachycených v příjmovém poli. Toto pole tvoří kruh o průměru 5000 km.

Pohybem družic vznikají monitorované pásy široké vždy 2500 km na obě strany od pozemního průmětu dráhy družice. Při dalším obletu je pozemní průmět dráhy družice posunut o 25 stupňů západně to znamená 2800 km na rovníku. Z toho plyne, že v následujícím obletu je opakovaně sledována na rovníku část pásu široká 2200 km. Na pólech samozřejmě k posunům nedochází. Družice tedy kontrolují póly 28krát za den oproti libovolnému místu na rovníku, kde může dojít za jistých okolností pouze k 6 aktivním přeletům za den.

Během letu nad vysílačem (10-14 minut), nebo v jeho blízkosti, musí družice zachytit několikrát jeho kód, aby bylo možné vypočítat polohu. Kódovaný signál trvá pouze 0,36 sekundy a je opakován v předepsaných intervalech, jejichž délka je pro jednotlivé vysílače různá, aby se minimalizovalo vzájemné rušení. Přesnost zaměření (Location Class - LC) pak závisí na počtu a kvalitě zachycených signálů. Při zachycení více než 4 opakování kódu, tedy při LC1 až 3, je přesnost lepší než 1000m, v optimální situaci je chyba jen 150 m. Naprostá většina hlášení malých vysílačů užívaných na ptácích má však LC 0, tj. vznikla vyhodnocením pouze 4, 3 či 2 opakování kódu. Tomu odpovídá i při speciálním počítačovém zpracování menší přesnost.

Tabulka. Definice lokačních tříd .

.

.

PTT vysílají na kmitočtu 401,65 MHz +/- 4kHz. Připojená tabulka dává představu, jak vysoká musí být stabilita oscilátoru, aby byla chyba v zaměření přijatelná. Systém se hroutí, jestliže změna kmitočtu (df/f) v průběhu 15 minut, které odpovídají jednomu průchodu družice a tedy jednomu zaměření, je větší než $1.5 \cdot 10^{-7}$, tedy asi 4 Hz/min.

Avšak již při nestabilitě odpovídající změně kmitočtu o 0,4 Hz/min je chyba zaměření 1 km a více. Je samozřejmé, že zejména v chladných oblastech dochází v průběhu dne vlivem oslunění k velkým teplotním výkyvům, které ovlivní kmitočet. Stabilnější jsou podmínky během noci a v teplých oblastech, kde nejsou velké rozdíly mezi dnem a nocí a teplotou těla a okolí. Dlouhodobá nestabilita, např. mezi dvěma zaměřeními, tedy za 100 a více minut, nesmí překročit 10^{-6} . Výkon malých PTT vysílačů užívaných v ornitologii je pouze 20-40 mW.

Signál PTT se skládá z krátkého úseku čisté frekvence nutné k synchronizaci přijímače na satelitu, prvního digitálního bloku definujícího délku zprávy (počet bitů použitých senzory), druhého bloku obsahujícího ID (identifikační číslo vysílače), třetího bloku s 32 až 256 bity naměřených hodnot. V minimální verzi bez senzorových dat (vhodné pro zaměření polohy) trvá signál 0,36 sekundy, v maximální pak 0,92 sekundy. Tento signál je opakován v jedno až několikaminutových odstupech.

Pro zaměření polohy je opakování častější (< než 100 sec.), pro pouhý přenos dat postačuje perioda až 300 sekund. Centra CLS určují opakovací dobu tak, aby se vysílače navzájem dlouhodobě nerušily.

Hmotnost vysílačky vhodné pro létajícího ptáka nemá přesáhnout 3% jeho živé váhy. Avšak i mírně vyšší váha (do 4%) ještě neovlivní chování označeného jedince. Pro větší vysílače na hranici přijatelného zatížení je nepostradatelná montáž na záda v podobě "batochu", která dovoluje dlouhodobou optimální zátěž. K připevnění na záda se nejčastěji používá buď silikonová páska, nebo speciální tkaná páska potažená teflonem, jejíž konce jsou sešity na hrudi v jediném bodě tak, aby po 2 až 3 letech, kdy použitá nit zvětrá, došlo naráz k uvolnění celé montáže.

Celosvětové využití satelitních vysílačů není v současné době díky značné finanční náročnosti nikterak velké. Vysílače jsou používány jak u savců, tak i u ptáků, obojživelníků a ryb. Z doposud realizovaných projektů můžeme jmenovat výzkum kytovce běluhy (*Delphinapterus leucas*), australských hus straších (*Anseranas semipalmata*), kanadských sobů karibu (*Rangifer tarandus*), grónského raroha loveckého (*Falco rusticolus*), severoamerického medvěda baribala (*Ursus americanus*), severských kajek brýlatých (*Somateria fischeri*), vyhubením ohrožené čínské pandy velké (*Ailuropoda melanoleuca*), východoasijských druhů labutí a jeřábů (*Cygnus columbianus*, *Grus vipio*, *Grus monacha*), kamčatských orlů východních (*Haliaeetus pelagicus*),

evropských, asijských a afrických druhů velkých orlů (*Aquila pomarina*, *Aquila nipalensis*, *Aquila wahlbergii*, *Aquila heliaca*, *Aquila clanga*), severoamerických sokolů stěhovavých (*Falco peregrinus*), evropských čápů bílých (*Ciconia ciconia*), španělského supa bělohlavého (*Gyps fulvus*), v Indickém oceánu hnízdících albatrosů stěhovavých (*Diomedea exulans*) a řady dalších terestrických, ale i pelagických druhů živočichů.

Na několika následujících příkladech se zmíníme nejen o významu satelitní telemetrie pro výzkum živočichů, ale i o faktech, které významně doplňují dosavadní znalosti o časoprostorové aktivitě živočichů, podrobněji charakterizují migrace zejména velkých druhů ptáků.

Z hlediska ochrany má mimořádný význam satelitní sledování vzácných orlů východních (*Haliaeetus pelagicus*). Jeden mladý orel byl označen v létě 1992 v Kronocké rezervaci na Kamčatce a sledován až do své zřejmě předčasné smrti na podzim 1993 na Kurilském ostrově Urup.

Z hlediska víceméně lokálních přesunů má význam užití satelitní telemetrie u supa bělohlavého (*Gyps fulvus*). Takto byl označen jeden mladý jedinec v roce 1990 v severošpanělské hnízdní kolonii. Dravec byl sledován asi dva měsíce, kdy ze svého hnízdiště v Pyrenejích dolétl do Valencie, tedy do míst, kde se tito dravci vyskytují jen vzácně. Přitom se tento víceméně horský druh dravce zdržoval určitou dobu v nížině nedaleko údolí řeky Ebro. Vysílačka ukončila svou činnost v době, kdy se sup vracel od Valencie směrem na sever. Ulétl přes 2000 km, přičemž nejvyšší denní překonaná vzdálenost činila okolo 80 km.

Z hlediska objasnění migrací na velmi velké vzdálenosti má zcela jistě velmi významné postavení studie provedená na albatrasu stěhovavém (*Diomedea exulans*). Je třeba připomenout, že se jedná o jeden z největších druhů pelagicky se vyskytujících mořských ptáků. Tělesná hmotnost činí 8 až 10 kg, přičemž samci jsou o 20% těžší než samice. Rozpětí křídel přesahuje tři metry. Jedná se o dokonalé letce, kteří mají dlouhá a úzká křídla. Jejich tvar je uzpůsoben pro snadný a poměrně rychlý pohyb v téměř neustálém silném oceánském větru. Telemetrická studie provedená na jedincích označených na ostrově Crozet v Indickém oceánu objevila rozdílné potravní strategie ptáků během na sebe navazujících fází hnízdní sezóny. Během inkubace bylo typické shánění potravy nad volnými oceánskými vodami v průměrné vzdálenosti 1 284 km od hnízdního ostrova. Vzdálenost se zmenšovala ke konci období inkubace a minimální byla v období intenzivního krmení mláďat. Samci létali na konec kontinentálního šelfu (mělčiny na jihovýchod od Afriky), který navštěvovali již dříve, v době dlouhých potravních letů během inkubace. Samice však dávaly přednost sběru potravy nad bližšími volnými oceánskými vodami. V době, kdy se mláďata osamostatnila, dospělí ptáci využívali potravní strategii, která byla kombinací dlouhých potravních letů nad pelagickými vodami a krátkodobých letů nad vzdálenější kontinentální šelf u břehů Afriky. Samice přitom využívaly severnějších oblastí než samci. V tuto dobu činila průměrná vzdálenost dlouhých potravních letů 1 534 km od hnízdního ostrova a průměrná celková vzdálenost 6 091 km s rozmezím od 3 736 až do 14 716 km. Tuto vzdálenost byli ptáci schopni prolétnout během necelých 12 dní (rozmezí 1,8 až 26,9 dní). Naopak průměrná vzdálenost krátkých potravních letů činila 532 km, kterou ptáci absolvovali v průměru za 2,4 dny ve vzdálenosti asi 117 km od hnízdního ostrova. Odlišná potravní strategie může být kompromisním základem pro potřebu uspokojit odlišné potravní požadavky mláďat a jejich rodičů.

Z hlediska jisté morfologické podobnosti k čápům má význam telemetrická studie provedená pomocí satelitů na jeřábech sibiřských (*Grus vipio*) a jeřábech bělokrkých (*Grus monacha*). V lednu 1991 bylo na zimovištích v Japonsku označeno 5 jedinců jeřábů sibiřských. Ptáci přelétali z japonských zimovišť na asijský kontinent nejkratší možnou cestou přes otevřené moře. Letěli přes Korejský poloostrov, přičemž více než dva týdny strávili v demilitarizované zóně. Jiní jedinci tohoto druhu sledovaní při opačné cestě, tedy z hnízdišť (označení v září 1991 v Daurské rezervaci na hranicích Ruska s Mongolskem) do zimovišť, se zdržovali kolem 20 dní na Žluté řece v Číně a určitou dobu strávili i na jezeře Poyang, které je dobře známé jako základ pro zimování populace jeřába bílého (*Grus leucogeranus*). V roce 1992 byli označeni další jedinci tohoto druhu jeřábů. Ti ze svých japonských zimovišť letěli opět přes Korejský poloostrov až dosáhli svých hnízdních oblastí v severovýchodní Číně. Celková vzdálenost zimovišť od hnízdních oblastí byla až 2 580 km, přičemž hnízdiště byla dosažena za 17 až 42 dnů. Rovněž takto označení jeřábi bělokrčí odletěli z japonských zimovišť přes moře na Korejský poloostrov a pak pokračovali až do svých 3 800 km vzdálených hnízdních oblastí na ruském Dálném východě. Ty dosáhli za 32 až 38 dnů přesunu. Významné je ovšem rovněž poznání, že některé státní hranice (např. hranice mezi Severní a Jižní Koreou, východní i západní pobřeží Severní Koreje, okolí jezera Chanka na Dálném Východě, plošina Sanjiang v Číně) a demilitarizovaná zóna představují pro migrující ptáky rozhodující území. Zejména demilitarizovaná zóna na Korejském poloostrově je neoficiálním místem s "chráněnou" přírodou a zdá se, že význam těchto míst pro migrující divoká zvířata se může zvyšovat, protože okolní oblasti se jen těžce "vyvíjejí".

Z našeho hlediska se nám jeví velmi významná telemetrická studie na čápu bílém (*Ciconia ciconia*). Nejen pro svou příbuznost s čápem černým (*Ciconia nigra*), ale i pro obdobné chování během migrace. Čáp bílý může být považován za pionýrský druh pro studium ptačí migrace. Je to především díky tomu, že okroužkováno bylo více než 200 000 těchto ptáků s cílem zjistit migrační cesty a objasnit příčiny migrace. Jednak bylo snadné migrující čápy pozorovat a determinovat vizuálně, jednak se jevila jako velmi zajímavá mimořádně vzdálená poloha zimovišť od hnízdišť v Evropě. K tomu přistoupila ještě skutečnost, že těchto zimovišť bylo dosahováno dvěma odlišnými migračními cestami, východní přes Bospor, Izrael a proti toku Nilu do jižní Afriky, západní přes Gibraltar, atlantické pobřeží Afriky opět (zřejmě po spojení obou migračních proudů) až do jižní Afriky.

Telemetrické sledování si vynutil nakonec i dramatický pokles západ- a středoevropské populace s cílem co nejrychleji zjistit jeho příčiny a navrhnout ochranná opatření. V srpnu 1991 bylo 50g těžkou satelitní vysílačkou PTT (operující s družicovým systémem ARGOS) vybaveno 6 čapích mláďat. Dvě vysílačky přestaly pracovat brzy po spuštění, ostatní však poskytly neocenitelné údaje. Ukázalo se např. že cestou do zimovišť čápi letí téměř po ideální linii jen s minimálními odchylkami vzhledem např. k horskému masívu Karpat. Letí každodenně, nebo téměř každý den, přičemž průměrná denní délka letu byla odhadnuta na asi 220 km s maximem 376 km. Cestovní rychlost byla propočtena podle 14 oceněných lokalizací od 30 do 90 km/h. Dvě z činných vysílaček ukončily svou činnost ještě před Bosporem (640 a 1 730 km od hnízda), ale bylo zřejmé, že na toto místo čápi evidentně směřovali. Jeden čáp Bospor přelétl, proletěl i přes Blízký východ a letěl proti toku Nilu. V údolí Nilu, více než 4 700 km od hnízda vysílačka přestala fungovat (na hranicích Egypta se Súdánem). Poslední čáp, ačkoliv ze stejného hnízda jako předchozí, letěl do zimovišť zcela překvapivě západní cestou. Vysílačka ovšem přestala fungovat někde pod horským pásmem Pyrenejí. Nesporně tedy využití satelitní telemetrie přineslo i v tomto případě řadu unikátních poznatků. Sami autoři se však zmiňují o tom, že by bylo třeba používat vysílaček s dlouhou životností a s intenzivnějšími vysílacími cykly. Je tak bude možné zpracovat podrobně "ekodiagramy" ptáků, během jejich velmi dalekých migračních cest.