

Impulzusszámlálás, zajsintkezelés, digitális hangfeldolgozás

Zsebők Sándor

A new acoustic bat ecology surveying method based on impulse-counting technics

The field acoustic bat studying methods used commonly in Western Europe in the last few years enable us to survey the species composition of the bat community in a given area. The intention of this thesis is showing new technics combining the advantage of the field investigation and computerizing. With recording bat calls on tape and analysing with computer not only the species identification can be made more reliably but we can obtain a lot of additional information about density, foraging, prey capturing and social activity. This method can be only effective with utilizing the possibilities of automatic signal processing. Accordingly we developed a call processing software that can produce not only afore-mentioned data but can discriminate automatically the bat calls from the background noise made by mainly crickets. Furthermore it can measure some parameters on series of the impulses, wich support comparison of recordings with different background noise level. We tested some methods with impulse-counting technics like line- and circle-transect and point count. We had to observe some acoustic consideration about the interpretation of data. For example the different loudness and the average number of impulses per second in different species. The developed method give us particularly better results than other methods when the density of bats is high and when we'd like to compare recordings with different backgorund noise. The processing of recordings with computer make it possible to compare data from several researchers even if they use different ultrasound detecting system. Therefore it can be very useful in national biodiversity monitoring in bats and in international bat research projects.

Bevezetés

A dolgozatban egy új, eddig mások által nem alkalmazott akusztikus denevérokölógiai vizsgálati módszert szeretnék bemutatni. Ez a metódus a terepen, természetes környezetben előforduló denevérek előfordulását regisztráló módszerek közé tartozik. A *számítógépes módszerek* között is lényeges különbséget tenni, annak megfelelően, hogy a hanganalizáló szoftver által megjelenített hangtani paraméterek alapján milyen módon történik a határozás:

- *határozó bélyegek alapján manuálisan* (Barataud 1998, Fenton & Bell 1981).
- *többváltozós statisztikai módszerekkel* (Vaughan et al. 1997b)
- *neurálishálóok alkalmazásával* (Parsons & Jones 2000, Parsons 2001).
- *spektrografikus keresztkorrelációs eljárás* (Khanna et al. 1997).

Az ismertetésre kerülő komplex módszer a többváltozós módszerek közé tartozik. Egy

adott mintavételi területen előforduló denevérek gyakoriságát az akusztikus módszerekkel eddig alapvetően 2 féle módon vizsgálták:

- *A röpteszámolás* (bat pass counting) esetén a detektor előtt elrepülő denevérek számát rögzíti a kutató, általában olyan módon, hogy később az esetleges számítógépes analízis során meghatározott fajok gyakorisága is kiderüljön (pld. Rydell et al 1994, Gaisler & Kolibac 1992).
- *Jelenléti idő vizsgálata* esetén minden fajra meghatározzák, hogy mennyi ideig volt jelen az adott mintavételi területen (pld Lee & McCracken, 2002).

A dolgozatban bemutatásra kerülő számítógépes határozással működő **komplex módszer** egy harmadik típusú metódus, amely az állatok által kiadott impulzusok számlálásán alapul. A 3 eljárás részletes összehasonlítására a későbbiekben kerül sor.

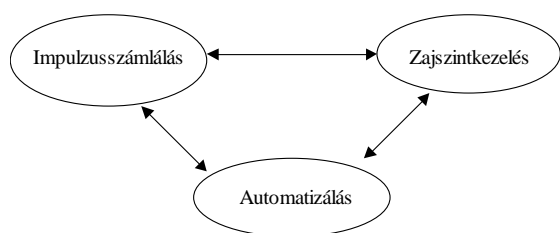
A komplex vizsgálati módszer

A továbbiakban ismertetendő *komplex módszer* lényegében 3 fő komponensből tevődik össze (1. ábra):

- Impulzusszámlálás
- Zajsintkezelés
- Automatizáció

A komplex módszer ezen összetevői külön-külön is életképesek és egyenként is új módszertani alternatívát jelentenek, azonban együttes használatuk minőségileg új vizsgálati eljárást hoz létre.

Az impulzusszámlálás



1. ábra. A komplex módszer összetevői

A fentiekben röviden ismertetett, a denevérek előfordulási gyakoriságát leíró 2 módszer, a *röpteszámolás* és a *fajok jelenléti idejének vizsgálata* két olyan adatgyűjtési mód, amely a denevérokológiai vizsgálatokhoz szükséges fajelőfordulási adatokat szolgáltat.

Az irodalomban eddig nem lehetett olyan módszerrel találkozni, amely a nagy denevérsűrűségű élőhelyekre is alkalmazhatóak lettek volna. Erre próbál az impulzusszámlálás módszere egyfajta megoldást adni.

A módszer alapja, hogy a denevérek által a tájékozódás és táplálékkeresés közben kiadott impulzusok időegységre eső száma (másodperces tartományban) egyedenként állandó és fajra jellemző érték (pld: Fenton 1999). Ennek megfelelően egy adott térrészben és adott időtartam alatt az egyes fajokhoz tartozó egyedek által összességében kiadott impulzusok száma arányos a detektálható térrészben tartózkodó állatok számával. Ebben az esetben a számszerűleg jellemezhető egyedsűrűség maximális értéke jelentősen kitolódik.

Ez a módszer azonban csak akkor válhat igazán hatékonyvá, ha az impulzusok számlálását nem manuálisan végezzük a szonogram alapján, hanem ezt a feladatot automatikus jelfeldolgozást végző számítógépes programra bizzuk.

A zajsintkezelés témaköre

A terepi felmérés során a hangfelvételeken rögzített hangok információtartalma és elemezhetősége nagy mértékben függ a különböző zajforrások felvételre gyakorolt hatásától (Hopp et al. 1990). Ezek a zajok származhatnak magából a műszaki rendszerből és a környezetből egyaránt (Smetana 1975).

A különböző zajsintű hangfelvételek adatainak összehasonlításakor figyelemmel kell lenni az eltérő zajsintekre, ahhoz, hogy valós eredményeket kapjunk. Fontos megemlíteni, hogy ilyenfajta, a fenti megfontolások alapján született zajsintkezelést sem írtak le még denevérekustikai tanulmányokban, mely bizonyos esetekben jelentős hibát okozhatott a felmérések eredményeiben.

Az automatizálás

Jelen dolgozatban a komplex módszer részeként tárgyalandó automatizálás feladatai közé tartoznak a hangfeldolgozás alábbi problémáinak automatikus megoldása:

- A denevérhangok megkeresése a hangfelvételen, illetve elkülönítése a háttérzajtól
- A denevérimpulzusok paraméterei alapján történő fajhatározás
- Az impulzusok és a háttérzaj olyan intenzitásbeli paramétereinek mérése, amely alapján lehetővé válik a későbbi zajsintkezelés
- Az impulzusok olyan időbeli paramétereinek mérése, mely alapján megvalósítható az időegységre eső impulzusszámok kiszámítása
- A fenti paraméterek táblázatba való elmentése
- Az impulzusszámlálás módszere alapján a megfelelő indexek kiszámítása.

Anyag és módszer

A detektálási és rögzítési módszer

A továbbiakban ismertetendő komplex módszer végeredményét is jelentősen befolyásolja az alkalmazott detektálási módszer. A következő főbb típusokat lehet elkülöníteni:

- Detektoros rendszerek: a hangot valamilyen technikai megoldással a hallható tartományba alakítják, melyet

aztán normális szalagsebességű magnóra lehet rögzíteni.

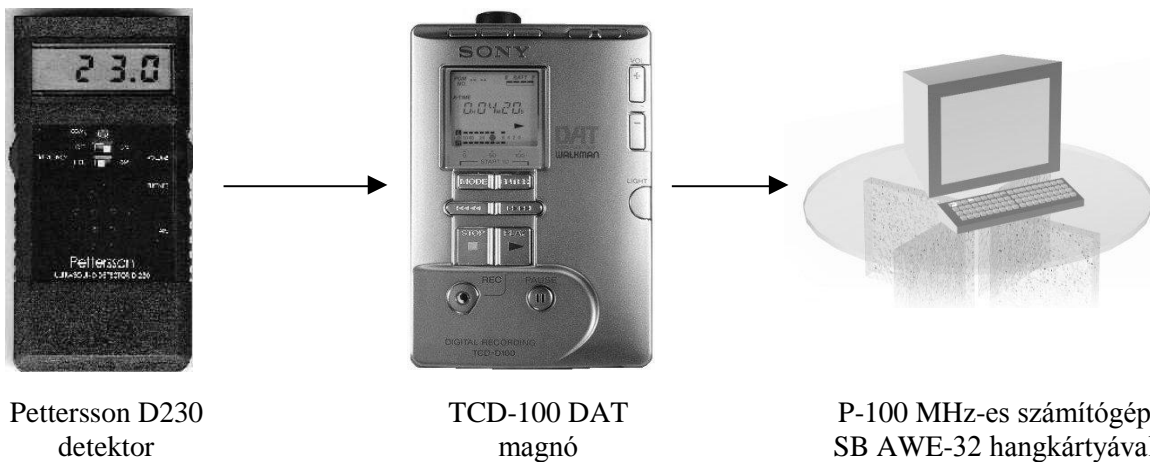
- Heterodyne (frekvenciaválasztós) detektor segítségével a kutató által beállított szűk frekvenciatartományt (8 vagy 10 kHz) alakítja csak át a hallható tartományba
- Frequency-division (frekvenciaosztásos) detektor már képes az egész 10-120 kHz-es frekvenciatartomány valós idejű átalakítására, azonban nagy mértékben módosítja az eredeti szignált működése során.
- A time-expansion detektor működése során kiváló minőségben lehet a már hallható tartományba eső hangot magnóra rögzíteni. Fő hátránya a módszernek, hogy nem valós időben és

nem folyamatosan történik a hangok rögzítése a magnóra.

- Detektor nélküli rendszerek (mikrofon, nagy szalagsebességű magnó vagy nagy mintavételezési frekvenciával működő hangkártyát tartalmazó számítógép)

Az általam használt rendszer a következő komponensekből áll (2. ábra):

- Pettersson D230-as, frekvenciaosztásos módon működő detektor
- SONY TCD-100-as DAT magnó, mely a magnószalagon digitálisan rögzíti a detektorból érkező jeleket
- Pentium 100MHz-es számítógép Sound Blaster AWE-32-es hangkártyával.



2. ábra. A detektoros rendszer felépítése

A frekvenciaosztásos detektorok működésének már fentebb ismertetett sajátossága, hogy az eredeti szignálból csak a legerősebb frekvenciakomponenst őrzi meg. Ily módon abban az esetben, ha a környezeti zajszint magasabb a denevérhang erősségénél, akkor egyáltalán nem rögzül a számunkra hasznos jel, a denevérek által kiadott impulzusok. Így ennél a detektoros rendszernél kiemelten fontos szerepe van a zajszintkezelésnek.

Az impulzusszámlálás

Az impulzusszámlálás módszere végeredményképp az idő- és térfogategységre számított egyedsűrűséggel arányos mennyiséget szolgáltat. Egy kiválasztott i -edik időtartam alatti impulzusok számának megadása után számíthatjuk ki az i -edik indexet (I_i):

$$I_{li} = \frac{N_i}{T_i} \quad (1)$$

Ahol I_{li} az adott fajra számolt i -edik index, N_i az adott fajra számolt impulzusok száma az i -edik időtartam (T_i) alatt. Az így kapott időegységre eső impulzusszám azonban nem tükrözi egyelőre a valódi egyedsűrűséget, ezért standardizálási lépéseket kell végrehajtani:

1. lépés: Standardizálás a fajra jellemző másodpercenkénti impulzusszámmal.

Mint a fentiekben ismertetjük, minden fajra jellemző az általa kiadott időegységre eső impulzusszám. Az impulzusszámlálás előző fázisában kapott értéket a fajra jellemző, ugyanolyan időegységre vonatkozó impulzusszámmal osztva kapjuk a detektor által érzékelhető térrészben tartózkodó adott

fajú egyedek számát az adott időszakra vonatkozóan.

$$I_{2i} = \frac{I_{1i}}{N_{fi}} \quad (2)$$

Ahol I_{2i} az adott fajra számolt 2. index, N_{fi} az adott időszakra kiszámítható fajra jellemző impulzusszám. Az ehhez szükséges fajokra jellemző paramétert az irodalomban közölt adatok alapján oly módon nyerhetjük, hogy az általánosan használatos impulzusok közötti időtartam értékéből (Interpulse interval, T_{IP}) számítjuk az alábbi módon:

$$N_{fi} = \frac{T_i}{T_{IPf}} \quad (3)$$

A (2) és (3) egyenlet összevonásával kapjuk a 2. index kiszámításához szükséges képletet.

$$I_{2i} = \frac{N_i * T_{IPf}}{T_i^2} \quad (4)$$

Az irodalomban közölt adatok azonban nem minden esetben alkalmazandók. Ilyen esetet jelentenek a több hangtípust használó fajok. Ilyenkor nem csak fajonként kell külön kezelni az impulzusokat, hanem 1 fajon belül hangtípusonként is.

2. lépés: Standardizálás a fajok érzékelhetőségi távolságával

Ahhoz, hogy a különböző fajokra megállapított fenti időegységre eső impulzusszám alkalmazható legyen a különböző fajok egyedsűrűségének összehasonlítására, ahhoz figyelembe kell venni az összehasonlításban szereplő adott fajokhoz tartozó érzékelhetőségi távolságot is. A denevérek érzékelhetőségi távolságát minden esetben az alkalmazott detektor érzékenysége jelentősen befolyásolja, így minden detektortípusra meg kell adni legalább 1 faj érzékelhetőségi távolságát és abból már ki lehet számítani a többi fajra vonatkozó értéket. A denevérek átlagos érzékelhetőségi távolsága alapján kiszámíthatjuk, hogy mekkora térben és mekkora vízszintes vetületen érzékelhetőek a detektorhoz képest

az egyes fajok. Így a 3. indexet az alábbi módon kapjuk:

$$I_{3i} = \frac{I_{2i}}{r_v^2 \pi} = \frac{I_{2i}}{A}$$

Ahol I_{3i} az adott i-edik időtartamra vonatkozó 3. index, amely már a terület- és időegységre vonatkozó egyedsűrűséget adja meg egy adott fajra, r_v pedig az adott fajra vonatkozó érzékelhetőségi távolság vízszintes vetületét jelenti, A pedig azt a területnagyságot, amelyen az adott faj érzékelhető. Az így kapott harmadik index (I_{3i}) végül is az i-edik vizsgált időtartamra, adott fajra adja meg a mintavételezett területre vonatkozó egyedsűrűséget idő- és területegységre számítva.

A zajszintkezelés

A zajszintkezelés eredményeképpen kell kapnunk azt a táblázatot, amely alapján az impulzusszámlálás végrehajtható. A cél, hogy a mintavételek összehasonlításához felhasznált felvételeket azonos zajszintre hozzuk. Ennek részleteit most nem tárgyalom, az általam írt számítógépes program képes erre.

A marosi felmérés

Az adatgyűjtésre 2001. május hónapjában került sor. A felmérést a Maros folyó 17-es folyókilométerétől a 7-es fkm-ig végeztük oly módon, hogy csónakkal a felső szakasról a folyó sebességével azonos tempóban haladva („csorogva”) folyamatosan készítettük a felvételeket a fentebb részletezett detektoros rendszer segítségével. A folyó sebessége kb. 3 km/óra volt. A hangszalagon időről-időre rögzítésre került az aktuális időpont valamint a pozíció a kilométertáblák alapján. A felmérés kb. 3 órán keresztül történt. A számítógépre digitalizált adatok alapján az impulzusszámlálás módszerét alkalmazva megállapítottuk először a felvétel minden egyes perce alatti impulzusszámot fajokra lebontva. Az adatokat standardizáltuk a fajra jellemző impulzusszámmal is és a fajok különböző hangerősségét figyelembe vevő érzékelhetőségi távolsággal is.

Eredmények

A számítógépes program

A számítógépes program eddig elkészült verziójának jellemzői:

Tetszőleges hosszúságú 16 bites mono, „wav” kiterjesztésű hangfile-ok beolvasása

A beolvasott hangfile oszcillogramjának és szonogramjának megjelenítése (3. ábra)

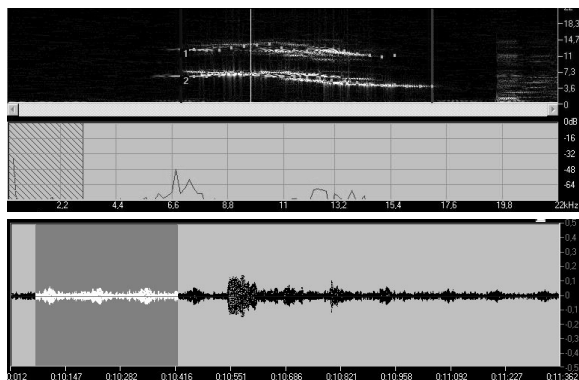
Többféle impulzus-keresési metódus, valamint külön harmonikus keresési opciók (5. ábra)

A megtalált impulzusok paramétereinek mérése (4. ábra) – a paraméterek tárolása Excel táblázatban

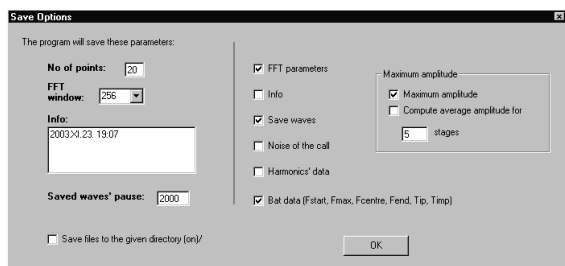
Zajszintmérés – a file-ban található maximális erősségű zajszint megkeresése, mérése és Excel táblázatban való automatikus elmentése

A fajhatározáshoz szükséges paraméterek bevitele, kiolvasása, módosítása az Excel táblázatkezelő program támogatásával

Fajhatározás elvégzése a megtalált impulzus és az adatbázisban tárolt adatok alapján automatikusan



3. ábra. A program megjelenítési lehetőségei. A szonogram, a spektrum és az oszcillogram.



4. ábra. A program képe futtatáskor. Az automatikus mérések beállításai.

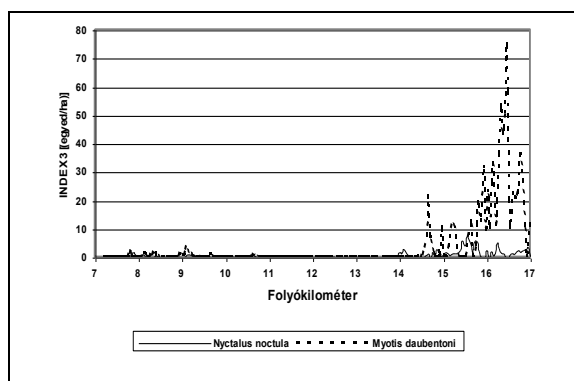
Tesztfelmérés eredménye

Maros-felmérés

A Maros vizsgált szakaszán a következő fajokat találtuk: *Pipistrellus pipistrellus*, *Pipistrellus nathusi*, *Nyctalus noctula*, *Myotis daubentoni*, *Myotis dasycneme*. A továbbiakban a 2 leggyakoribb faj, *M. daubentoni* és *N. noctula* előfordulásával foglalkozunk csak.

Az impulzusszámlálás eredményeképpen kapott index értékeket a folyókilométer szerint ábrázoltuk. Az 5. ábrán látható grafikonon a 3. index-et ábrázoltuk, melynek jelentése, hogy adott területegységre vonatkoztatva hány állat van jelen. Ezen érték szerint az összes faj közül legnagyobb sűrűséget a *M. daubentoni* egyedei érték el, kb. 75 egyed/hektár értékkel, míg *N. noctula* esetén ez az érték kb. 8 egyed/ha.

Meg kell jegyezni, hogy elég markáns egyedsűrűség változást lehet észrevenni a Maros felső és alsó szakasza között, ahol az éles választóvonal mindhárom fajnál körülbelül azonos folyókilométernél jelentkezik. A Maros egyes szakaszainak statisztikai összehasonlítását azonban nem végezzük el, hiszen nem ez a dolgozat célja.



5. ábra. Az 3. index ábrázolása a folyókilométer szerint.

Diszkusszió

A komplex módszer összehasonlító jellemzése

A komplex módszer több vonatkozásban is újdonságot jelent az eddigi akusztikus denevérvizsgálatokat figyelembe véve. Az *impulzusszámlálás* technikájának komoly jelentőségét az adja, hogy az eddigiekben használatos denevérsűrűség-becslő módszerek nem alkalmasak azon élőhelyek

tanulmányozására, ahol az állatok száma területegységre vonatkoztatva egy bizonyos határértéket meghalad. A fentiek figyelembe vételével, az *impulzusszámlálás* nagyobb denevérsűrűségek esetén is alkalmazható, melynek elméleti felső határát maga az alkalmazott detektoros rendszer és az érzékelhető fajok hangtípusa együttesen határozza meg.

A *zajsintkezelés* szintén teljesen új megoldást jelent a felvételek összehasonlítása során. A zajos felvételeket korábbiakban a kutatók vagy félretették, vagy pedig valamilyen szűrési módszert alkalmaztak ahhoz, hogy a számítógépes fajfelismerés elvégezhető legyen (Kapteyn 1991). A különböző zajsűrési megoldások azonban mind megváltoztatják a felvételek intenzitásviszonyait, mely során a hasznos információk tűnnek el, illetve bizonyos esetekben erősödnek fel. Ennek megfelelően a különböző felvételek zajsűrés után történő összehasonlításakor komoly hibákat véthetünk. Az általam leírt zajsintkezelési módszer, azonban ehelyett azonos zajsintre hozza az összehasonlítani kívánt különböző háttérzajjal rendelkező felvételeket. Így még a tiszta felvételek is összehasonlíthatóvá válnak az extrém zajos felvételekkel.

Az *automatizmus* azért jelent fontos előrelépést, mert lehetővé teszi az impulzusszámlálás és zajsintkezelés hatékony használatát. Nélküle ezek a módszerek ugyan használhatóak, azonban olyan mértékű mérési munkát igényelnek, melyek nem teszik lehetővé nagyobb minták hatékony feldolgozását.

Magát a *komplex módszert* tekintve, egy olyan új vizsgálati eljárás született, mely egyesíti az impulzusszámlálással, zajsintkezeléssel járó előnyöket, és az eljárás automatikus használatát teszi lehetővé. Ily módon lehetővé válik, hogy különböző zajsintű, nagy denevérsűrűségű élőhelyek adatait olyan kutatók is feldolgozassák, melyeknek nem feltétlenül szakterületük az bioakusztika.

A *komplex módszer* eredményképpen területegységre számított egyedsűrűségre vonatkozó adatokat szolgáltat, melyek elsősorban összehasonlító vizsgálatokban használhatók fel.

A marosi felmérés eredményeinek értelmezése

A marosi felmérés alapvetően a vonalbejárásos mintavételezésre (linear transect) példa. A csónakból történő akusztikus denevérmintavételezésre eddig az irodalomban nem láttunk példát, azonban a detektoros módszerek terjedésével egyre-másra jelennek meg a különféle járművekből történő mintavételezéssel készült felmérések. Az impulzusszámlálás eredményeül kapott 1. index értéke a felvételen szereplő fajok 1 percére átlagolt másodpercenkénti impulzusszámával egyezik meg. Ennek az indexnek önmagában még nincs biológiai jelentéstartalma. Az 1. index értékét a fajokra jellemző időegység alatti impulzusszámmal osztva megkapjuk a detektorban egy másodperc alatt hallható állatok számát (2. index) percenként átlagolva. Ez a mennyiség már konkrét egyedszámot jelent, de csak a detektor által érzékelhető térrészben, ami minden faj esetén eltérő nagyságú. Ez a mennyiség éppen ezért csak fajon belüli összehasonlítást tesz lehetővé az egyedsűrűségre vonatkozóan. A 3. index azonban már figyelembe veszi a különböző fajok eltérő érzékelhetőségét, és így egy területegységre vonatkoztatott egyedszámot kapunk végeredményképp. Ez a mennyiség már alkalmas arra, hogy összehasonlító vizsgálatokat végezzünk a különböző fajok területegységre eső egyedsűrűségét illetően. Jelen vizsgálatban ezt az értéket hektárra vonatkoztattuk, hogy zömében 1-nél nagyobb számokkal jellemezhesük az adott szakaszt, és így könnyebben értelmezhető legyen ez a mennyiség.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik az utóbbi években segítettek terepi munkámat: Fehér Csaba Endrének, Gombkötő Péternek, Paulovics Péternek. Köszönettel tartozom Forrágy Csabának is a műszaki berendezések kalibrálásában nyújtott segítségért.

Irodalom

- Barataud, M. (1998). The world of bats. Sittelle Publishers
Fenton, M.B., Bell, G.P. (1981). Recognition of species of insectivorous bats by their echolocation calls. *Journal of Mammalogy* **62**(2):233-243.

- Fenton, M.B. (1999). Describing of the echolocation calls and behaviour of bats *Acta Chiropterologica* **1(2)**: 127-136.
- Gaisler, J., Kolibac, J. (1992). Summer occurrence of bats in agrocoenoses. *Folia Zool*, **41**: 19-27.
- Hopp, S.L., Owren, M.J., C.S. Evans (1990). *Animal Acoustic Communication*. Springer.
- Kapteyn, K. (1991). *Proceedings of the First European bat detector workshop*. Netherlands Bat Research Foundation.
- Khanna, H., Gaunt, S.L.L., McCallum, D.A., (1997). Digital spectrographic crosscorrelation: tests of sensitivity. *Bioacoustics* **7**: 209-234.
- Parsons, S., Jones, G. (2000). Acoustic identification of 12 species of echolocating bat by discriminant function analysis and artificial neural networks. *Journal of Experimental Biology* **203**, 2641 - 2656.
- Parsons, S. (2001). Identification of New Zealand bats in flight form analysis of echolocation calls by artificial neural networks. *Journal of Zoology, London* **253**: 447-456.
- Rydell, J., Bushby, A. (1994). Habitat use by bats along rivers in north east Scotland. *Folia Zool*, **43(4)**: 417-424.
- Smetana, C. (1975). *Zaj és rezgésmérés*. Műszaki könyvkiadó.
- Vaughan, N., Jones, G., Harris, S. (1997b). Identification of british bat species by multivariate analysis of echolocation call parameters. *Bioacoustics* **7**: 189-207.