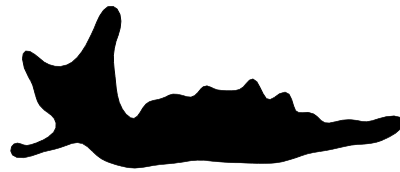


**Eötvös Loránd Tudományegyetem
Természettudományi Kar**

Szakdolgozat

**Hazai vízicickányok (*Neomys fodiens*, *Neomys anomalus*)
állkapcsának vizsgálata morfometriai módszerekkel**



készítette: Rác Gábor
biológia szakos hallgató

a Genetika Tanszéken
Tanszékvezető: Dr. Vida Gábor, akadémikus
Témavezető: Dr. Demeter András
Magyar Természettudományi Múzeum Állattára

Budapest
1995

TARTALOM

1. Összefoglalás
2. Bevezetés
 - 2.1. Témafelvetés
 - 2.2. A Neomys nemzetség ismertetése
 - 2.2.1 *Neomys fodiens* Pennant, 1771
 - 2.2.2. *Neomys anomalus* Cabrera, 1907
 - 2.3. Morfometria: a módszertan alapelvei
3. Anyag és módszer
 - 3.1. A gyűjteményi anyag ismertetése
 - 3.2. Adatfelvétel
 - 3.3. Feldolgozás
 - 3.3.1. Hagyományos morfometriai módszerek
 - 3.3.2. Geometrikus morfometriai módszerek
 - 3.3.2.1.1. Mérőpontok elemzése
 - 3.3.2.1.2. Prokrusztész analízis
 - 3.3.2.1.3. Alakváltozók
 - 3.3.2.2. Elliptikus Fourier analízis
4. Eredmények
 - 4.1.1. Hagyományos morfometriai módszerek
 - 4.1.2. Geometrikus morfometriai módszerek
 - 4.1.2.1.1. Mérőpontok elemzése
 - 4.1.2.1.2. Prokrusztész analízis
 - 4.1.2.1.3. Alakváltozók analízise
 - 4.1.2.2. Elliptikus Fourier analízis
5. Értékelés és kitekintés
6. Köszönetnyilvánítás
7. Irodalom

1. Összefoglalás

A Magyarországon előforduló két vízicickányfaj, a *Neomys fodiens* (közönséges vízicickány) és a *Neomys anomalus* (Miller vízicickánya) 257 egyedét vizsgáltam a Magyar Természettudományi Múzeum Állattárának Emlősgyűjteményében. Az állatok bal állkapcsának képét egy számítógépes rendszer segítségével digitalizáltam, és az állkapcsok alakjáról kétféle módon adatokat gyűjtöttem. Tizenhét jól definiálható mérőpont X,Y koordinátáját tároltam el, másrészt az állkapcsok körvonalát elliptikus Fourier transzformációval közelítettem és a Fourier-együtthatókat tároltam el.

Az adatok alapján vizsgáltam a két faj morfológiai szétválását többféle morfometriai módszert alkalmazva. Az eredeti koordináta-adatokból számoltam ki a hagyományos morfometriában alkalmazott távolságadatokat (méretváltozókat), majd a kapott változókat vizsgáltam egy- és többváltozós módszerekkel.

A mérőpontok koordinátáinak és a Fourier-együtthatók vizsgálata során a geometrikus morfometria vizsgálati elveit követtem és alkalmaztam. A mérőpontok adatai alapján vizsgáltam, hogy a két faj állkapcsának mérete és alakja mennyire különbözik egymástól és a különbségekért mely mérőpontok pozíciójának megváltozása a felelős. Összehasonlítottam a mérőprogram által elmentett nyers adatokban a mérőpontok elhelyezkedését a két fajban és megvizsgáltam, hogy milyen mértékben válik szét a két faj ezen változók alapján. A mérőpontok adatait két másik eljárás alkalmazásával is vizsgáltam. Prokrusztész analízis segítségével az adatokat transzformálva vizsgáltam mely mérőpontokban különbözik a két faj. Szintén az eredeti koordináta-adatokat szétbontottam két tényezőre és vizsgáltam, hogy a méretre jellemző centroid méret és az alakra jellemző alakváltozók alapján hogyan különül el a két faj. Az alakot leíró Fourier-együtthatók statisztikai feldolgozásakor vizsgáltam a változások jellegét és a két faj megkülönböztethetőségét az adott változók alapján.

Az eredmények alapján a két faj adatai mind a hagyományos mind a geometrikus morfometriai módszerek alapján szétválnak, bár a két faj változóinak eloszlásában az átfedés mértéke a különböző megközelítési módszereknél eltérő lehet. A távolságadatok alapján a két faj szétválása a korábbi irodalmi közölt eredményeknél gyengébb és a vizsgált változók számának növelésével a két faj szétválása nem javul látványosan. A mérőpontok analízise során a két faj szétválása jobb volt az előzőnél. A változások jellegét vizsgálva kiderült, hogy a *N. fodiens* alsó állkapcsának mind mérete mind alakja különbözik a *N. anomalus*-étól. A *N. fodiens* állkapcsa nagyobb, az állkapocs teste szélesebb és íveltebb és a koronoidnyúlványnál mért szélessége is nagyobb mint a *N. anomalus*-é.

A körvonalat leíró elliptikus Fourier transzformációval kapott együtthatók vizsgálatakor kiderült, hogy a módszer nagyon érzékeny arra, hogy törött csontok adatai is bekerültek a vizsgálatba. A törött csontokat külön megjelölve, a két faj adatai között az előző módszereknél jobb szétválás figyelhető meg. A szétválás már az

alacsonyabb rendű harmonikus együtthatókban is megfigyelhető, ami a két faj állkapcsának körvonalában nagyléptékű különbségeket jelez.

Összefoglalva megállapítható, hogy, mindegyik módszernek megvannak a maga előnyei és hátrányai és ezeket figyelembe véve kell dönteni egy adott vizsgálat elvégzésekor melyik adatgyűjtési és feldolgozási módszert érdemes alkalmazni.

2. Bevezetés

2.1. Témafelvetés

A vízicickányok nemzetségbe tartozó két faj, a *Neomys anomalus* és a *Neomys fodiens* igen hasonlóak, külső és csonttani morfológiai bélyegeik nem mindig különítik el őket egymástól egyértelműen, mint ahogy azt határozókönyvek állítják (Szunyoghy, 1972).

Rode és Cantuel (1945) a külső morfológiai bélyegeket vizsgálva azt találták, hogy azok igen variábilisak és ebből arra a következtetésre jutottak, hogy Európában egy faj és ezen belül három alfaj található. Buhalczyk és Raczynski 1961-es cikkükben már két külön fajként kezeli a *Neomys anomalus*t és a *Neomys fodiens*t. A *Sorex* genusba tartozó három fajjal együtt vizsgálták a két vízicickányfaj állkapcsán található különbségeket és azt találták, hogy az koronoid-magasság méretei alapján a két faj jól szétválítható.

Bühler (1964) már a hat állkapocs méretet mért és vizsgált.

Diszkriminancia-analízis segítségével egy képletet ad meg eredményül. Három méret súlyozott értékének összege egy mérőszámot ad, mely alapján a két faj élesen szétválítható és pontosan meghatározható. Bühler megadja a képletben felhasznált változókhoz (méretekhez) tartozó együtthatókat (diszkriminancia-együtthatók) és a képlet alapján számolt eredményhez megad egy határértéket amely érték alatt az illető egyed *N. anomalus* és amely felett az egyed biztosan *N. fodiens*.

Bühler cikke heves vitát váltott ki. Pieper (1966) Európából több helyről származó bagolyköpetanyag vizsgálatakor megfigyelte, hogy a méretek hely szerint variálnak és így Bühler képlete alapján számolt határozószám is variál. Következtetése, hogy a képlet alkalmazása helytelen, valószínűleg van olyan hely, ahol sem a képlet, sem a megállapított határérték nem érvényes. A válasz nem sokat késett (Rempe és Bühler, 1967): Pieper vizsgálatánál még több csontanyagot felhasználva bagolyköpetekből lelőhely, kor és nem szerint is feldolgozva az anyagot elismerték hogy az eredeti képlet alapján számolt értékek variálnak, de szerintük így is 99%-ban helyes a besorolás. A cikkben felvetik annak a lehetőségét, hogy több méret segítségével jobb szétválást lehetne kapni a két faj között.

Pieper és Reichstein szerzőpárosnak (1980) sikerült megerősíteniük Pieper (1966) korábbi sejtését és találtak egy populációt, melyben szerintük az esetek 23%-ában a képlet határértéke alapján a fajmeghatározás hibás. Rempe (1982) újra feldolgozta Pieper-ék anyagát és elismerte, hogy a képlet alapján a besorolás téves, de szerinte a képletet nem kell elvetni, hanem csak a diszkriminancia-együtthatókat kell módosítani. A különböző populációkra kapott diszkriminancia-együtthatók kovariancia-mátrixával manipulálva az együtthatókra is szerkeszt egy képletet, melyet beleilleszt Bühler eredeti képletébe.

Megítélésem szerint a két kutatócsoport között a nézeteltérés inkább elvi jellegű, semmint gyakorlati. A vita központi kérdése, lehet-e a két faj közötti morfológiai különbséget egy általános matematikai képletbe belesűríteni.

Bühler eredményeit felhasználva további cikkek is megjelentek, de a vita fő kérdésében nem foglaltak állást. Hamar és Kovacs (1964) Romániában vizsgálta a két faj elterjedését. A Bühler által is vizsgált méreteket használták és mind az öt alapján elkülönülést tapasztaltak a két faj között, viszont eredményeik értékelésekor figyelembe kell venni, hogy nagyon kevés egyedet vizsgáltak. Schmidt 1968-ban közölt cikkében az koronoid-magasság alapján vizsgálta a csontokat. Eredményei szerint Magyarországon e méret alapján élesen elkülönül a két faj, míg a szlovákiai adatoknál egy keskeny sávban átfedés van közöttük. Az általa bagolyköpetek alapján szerkesztett elterjedési térképen a *Neomys fodiens* csak négy lelőhelyen fordul elő.

A két faj külső morfológiai bélyegét írja le Pucek (1964), aki különbséget talált a pénisz alakjában. Richter (1965) a csípőcsontban ír le különbséget és Catzefflis (1984) genetikai szempontból vizsgálta a két fajt. Fehérje gélelektroforézis vizsgálatai alapján megállapította, hogy a két faj populációin belül a genetikai távolság elég nagy és a két faj közötti távolság mintegy kétszerese az adott faj populációi közötti távolságnak. Összehasonlítva a két faj közötti távolságot, azt azonos mértékűnek találta más rokon emlősfajok közt mért távolsággal. Ebből arra a következtetésre jutott, hogy helyes a faji szinten való elkülönítés, másrészt feltételezte, hogy a két faj szétválása nem történhetett régen.

A Magyar Természettudományi Múzeum Állattárának Emlősgyűjteményében a csapdázott vízicickány anyag faji besorolása sok esetben bizonytalan, és a bagolyköpetekben talált példányok faji besorolása nem történt meg. Egy új mérőrendszer segítségével az újabb irodalmi adatok birtokában érdemesnek tűnt a múzeumi vízicickány adatokat újra feldolgozni. A távlati terveim között a bagolyköpetek anyagának feldolgozása állt, melyhez szükséges volt a két faj közötti különbségeket alaposabban megvizsgálni, másrészt a rendelkezésre álló módszereket is át kellett tekinteni, hogy a további vizsgálatokhoz mely vagy melyek a legalkalmasabbak.

1992-ben Demeter és mtsai (1995) elkezdtek egy új morfometriai mérőrendszer üzembehelyezését. Az adatgyűjtő rendszer egy számítógépből és egy videokamerából áll, mely között a fizikai kapcsolatot egy video-digitalizáló kártya biztosítja. A számítógép és a mérést végző személy között a kapcsolat egy program segítségével jön létre. A mérést végző személy a mérést már a vizsgálati tárgyról készült digitális képen végzi. A program jelenleg kétféle típusú adat gyűjtésre alkalmas. Az egyik üzemmódban a program önállóan megkeresi az objektum körvonalát, majd a kapott görbére Fourier sorfejtéssel egy függvényt illeszt, és a program csak a Fourier-együtthatókat tárolja el. A második üzemmódban a mérést végző személy a tárgy képén jellegzetes pontokat, úgynevezett mérőpontokat (landmarks) ad meg, és a program ezeknek a mérőpontoknak a koordinátáit tárolja el. Az adatgyűjtőrendszer használata jelentősen felgyorsítja és pontosítja a mérést, a vizsgálati anyagot például a csontokat a mérő személy kiméletesebben tudja kezelni, és a mérőpontok mint adatok, több információt hordoznak, mint a hagyományos morfometria távolságadatok.

A vizsgálatban a MTTM-ban őrzött csapdázott vízicickányok állkapcsait használtam fel, ezeket mértem le az új adatgyűjtő rendszerrel és a kapott adatokat próbáltam többféle morfometriai módszerrel feldolgozni és kiértékelni. Az eredmények értékelésekor azt vizsgáltam, hogy az adott módszerrel mi alapján és milyen pontossággal különböztethető meg a két faj.

2.2 A *Neomys* nemzetség ismertetése

Rendszertani besorolás:

Regnum:	Animalia
Subregnum:	Metazoa
Phylum:	Vertebrata
Subphylum:	Amniota
Classis:	Mammalia
Subclassis:	Placentalia
Ordo:	Insectivora
Familia:	Soricidae
Subfamilia:	Soricinae
Genus:	<i>Neomys</i> Kaup 1829
Species:	<i>Neomys anomalus</i> Cabrera, 1907 <i>Neomys fodiens</i> Pennant, 1771

A rovarévó emlősök a legfejletlenebbek a méhlepényes emlősök között. Ennek megfelelően tulajdonságaik is az ősi formához közeli. Csontozatuk és testfelépítésük sok ősi bélyeget mutat. Nagyagyuk szaglőlebenye erősen megnagyobbodott, az alig barázdált agyféltekék a kisagyat nem takarják. A méh kétszarvú, a méhlepény korong alakú. Talponjáró állatok, ujjaik karmokban végződnek és számuk mind a négy lábon öt.

A cickányfélék tejfogai csak embrionális korban van meg, az állatok már végleges fogazattal születnek. A cickányok a rend legtöbb fajjal rendelkező családja. Fajaik Ausztrália és az Antarktisz kivételével az összes kontinensen megtalálhatók. Mind kistermetű állatok, a világon a legapróbb termetű emlősfaj a *Sorex minutissimus*. Agyuk féltekéinek felszíne sima. Koponyájuk megnyúlt, keskeny, járomív nélküli. Bőr-, nemi és feromontermelő illatmirigyek vannak. Többségük szárazföldi életmódú, de három nemzetségben vízi életmódú fajokat találunk. Mivel melegvérű állatok és apró termetűek, anyagcsere-folyamataik igen gyorsak és ezért hatalmas tápanyagigényű, éjjel-nappal aktív állatok. Téli álmat nem alszanak, hanem télen is kijárnak táplálkozni.

A *Neomys* nemzetség fajai részben vízi életmódhoz alkalmazkodott állatok. Táplálékukat a vízben vagy annak környékén szerzik meg. Ennek megfelelően testfelépítésük is alkalmazkodott a vízben való mozgáshoz. Bundájuk tömött, szemük apró, füleik a bundából alig állnak ki. Orr és fülnyílásuk elzárható. A hát és a hasoldal

színezete eltérő. Fogképletük: $\frac{3123}{1113}$, a fogak csúcsa vörösbarna. A vízcickányok kifejlett fogazattal születnek, a tejfog váltása még embrionális korban megtörténik. A fogak az állat élete során folyamatosan kopnak, így az idősebb állatok fogai alacsonyabbak, a fogazat kevésbé csipkézett. Idősebb példányok foghegyén a vörös szín a kopás miatt gyakran nem látható. Lakása a víz közelében, gyakran fák gyökerei közötti üregekben és repedésekben található. Ha lehetséges a kijáratok közül egy közvetlenül a vízbe vezet. Az állatok jelenlétét gyakran jellegzetes éles füttyjelükről vehetjük észre.

A két faj élőhelyfelosztása különböző területeken eltérő lehet. Északon a gyakoribb *N. fodiens* kiszorítja a *N. anomalus*-t a gyengébb élőhelyekre, és így a hegységekben a magasabb régiókban található meg az utóbbi. Közép-Európában megfordul a helyzet, a *N. anomalus* a gyakoribb és így a *N. fodiens* szorul a hegységekben a magasabb területekre (Spitzenberger, 1990). A két faj élőhelyfelosztása mellett a táplálékösszetételében is különbségeket mutattak ki.

2.2.1 *Neomys fodiens* Pennant, 1771 (Közönséges vízcickány)

A kifejlett állatok testhossza 78-95 mm, a fark hossza 49-68 mm, a talp hossza 15-20 mm. A testsúly 13-15 g között van. A legnagyobb méretű magyarországi cickányfaj. A hátoldal barnás vagy feketésbarna színezetű, a hasoldal világos ezüstösszürke, de találhatóak sötétebb színezetű példányok is. Ezeknél a hát és a hasoldal színezete nem válik el élesen egymástól. A fark alsó részén a serteszegély végighúzódik a fark teljes hosszán. A lábfejek szélén a serteszegély hosszabb (kb. 2 mm) és tömöttebb mint Miller vízcickányánál és a lábpárnák erősebben pigmentáltak sötétebb színűek. A lábfej gyéren szőrözött, a talp csupasz, 6-6 gumóval. A pénisz alsó, oldalsó felén egy kiszélesedés látható (Pucek 1964). A koronoid-magasság nagyobb mint 4,6 mm. vagy Bühler(1964) határozószáma ($X = -\text{mandibulahossz} + 2,58 * \text{koronoid-magasság} + 2,78 * \text{alsó fogsor hossza}$) nagyobb mint 18,43.

Egész Európában általánosan elterjedt. Déli irányban elterjedése nem éri el a 40. fokot, északon irányban viszont messzebb elhatolt mint Miller vízcickánya (Spitzenberger 1990).

2.2.2. *Neomys anomalus* Cabrera, 1907 (Miller vízicickánya)

A közönséges vízicickányhoz nagyon hasonló faj. Az elkülönítést tovább nehezíti, hogy a két faj szimpatrikus elterjedésű. A kifejlett példányok testhossza 78-92 mm, a fark hossza 45-50 mm, a talp hossza 15-17 mm. A testsúly 11-14 g között van. A fenti fajnál valamivel kisebb termetű, de a két faj között a méretek folytonos átmenetet mutatnak. A szőr színezete a közönséges cickányéval megegyező. Külső elkülönítő bélyeg, hogy a fark alján húzódó sörtetaraj csak a fark végének 3/4 látszódik. A láb oldalsó élén lévő serték az előbbi fajnál valamivel rövidebbek és a lábpárnák kevésbé pigmentáltak. A pénisz alsó felén kiszélesedés nem látható. A koronoid-magasság kisebb mint 4,3 mm, vagy Bühler határozószáma 18,43-nál kisebb.

Elterjedése Európában nem összefüggő, szétdarabolt, a Brit-szigeteken nem található meg. Fő elterjedési területe az Alpoktól a Kárpátokig terjed. Legészakibb leírása Dániából (Pieper és Rechtstein, 1980), Németország északi feléből (Heinrich, 1983) és Lengyelországból (Z. és M. Pucek, 1981) származik. Legdélebbi előfordulása Spanyolország és Görögország (Kahmann, 1964) déli része.

2.3. Morfometria: a módszertan alapelvei

A morfometria görög eredetű összetett szó, jelentése nyers fordításban "az alak mérése". A morfometriát tekinthetjük módszernek, amivel különböző biológiai objektumokat leírunk és jellemzünk. Mivel inkább módszer mint önálló tudomány, a sejt szinttől az egyed szerveződési szintig a biológiának különböző területein találkozhatunk a fogalommal. A taxonómus az egyedet vizsgálja, a faj egyedeit méri és írja le, és az adatok kiértékelését a populáció vagy faj szintjén végzi el. A morfometria az adatok feldolgozása során matematikai statisztikai módszereket alkalmaz.

Az egyedre jellemző tulajdonságokat az adatfeldolgozás során változóknak nevezzük. A paraméterek az adatokból számított becsült értékek, melyek a változóra jellemző mutatók, statisztikai mérőszámok. A változók jellegétől függően különböző típusokat különböztethetünk meg. Egy általános felosztás szerint kvalitatív (minőségi) és kvantitatív (mennyiségi) változókat különböztetünk meg (Sváb, 1967). Egy másik felosztás szerint vannak nominális, ordinális, intervallum és arányváltozók. A nominális változók adatai közt csak egyenlőség értelmezhető, az adatok sorba nem rendezhetők, különbségük és arányuk nem értelmezhető. Ilyen változók például a szín, vagy egy adott bélyeg megléte vagy hiánya (igen/nem választás). Az ordinális változók adatai közt egyenlőség értelmezhető és az adatok sorbarendezhetők. Ilyen adatokat kapunk, ha szubjektív felosztás alapján méretkategóriákba soroljuk az egyedeket. Az intervallum változók közt egyenlőség, sorbarendezés és különbség képzése az értelmezhető műveletek halmaza. Ilyen adat például az emlők száma egy adott egyeden. Végül az arányváltozók mind a négy tulajdonsággal rendelkeznek, létezik egyenlőség, az adatok sorbarendezhetők és értelmezhető az adatok különbsége és aránya. Ilyen adat az összes mért folytonos változó, például a testhossz

miliméterben, vagy a testtömeg grammban. A hagyományos morfometriában leggyakrabban a nominális- és arányváltozók fordulnak elő, és mindkét típus más fajta feldolgozási módszert kíván.

A morfometria fejlődése kezdettől fogva két irányba haladt (Bookstein, 1991). Az egyik irányzat, melyet mostanra hagyományos vagy klasszikus morfometriának hívnak, a változók variancia és kovariancia mátrixával manipulál és nem veszi figyelembe az adatok valós geometriai információtartalmát. A változók általában mérőpontok közötti távolságok, ritkább esetben szögértékek. Gyakran az adatgyűjtés során nominális változókat is felvesznek, azaz feljegyzik egy adott morfológiai bélyeg meglétét vagy hiányát, vagy nominális változóként kódolják a nem mérhető jellegzetességeket (például a maxilláris ívet homorú, lapos vagy domború jellemzéssel kódolják). Az adatfeldolgozás során végül az adatok az alakra vonatkozó információjukat elvesztik és a végkövetkeztetés arra korlátozódik, hogy például két mérőpont közötti távolság a két mintában nem azonos, azaz a különbség detektálható volt, de csak ritka esetben volt egy mérőponthoz rendelhető.

Az első irányzatban használt statisztikai módszereket durván két nagy csoportra oszthatjuk. Az első csoportba az egyváltozós módszerek tartoznak. Ezek egy változó eloszlását vizsgálják. Az értékelés célja többféle lehet. Lehetséges egy populáció jellemzése egy adott változóval és annak paramétereivel. Második esetben összehasonlítás végzhető. Az adott adatsor és annak paramétere összehasonlítható egy elméleti eloszlással, de ide tartoznak azok a módszerek is, melyekben két vagy több mérősort (pl. populációt) hasonlítanak össze. Ezekben az esetekben a statisztikai módszer lényege, hogy a vizsgálatot végző személy felállít egy null-hipotézist és a statisztikai számítások eredményeképpen a vizsgálatot végző személy adott valószínűségi szinten vagy elfogadja a hipotézist vagy elveti. A harmadik lehetőség szó szoros értelemben nem egyváltozós, mégis ide sorolható. Ezek az eljárások az összefüggés-vizsgálatok, a korrelációvizsgálat, a kovarianciaanalízis és a regresszióanalízis. Ekkor két változó összefüggését vizsgáljuk és az összefüggés erősségét vagy minőségét jellemezzük különböző módon.

A második nagy csoportba a többváltozós statisztikai módszerek tartoznak. Ezek az eljárások inkább az adatokban meglévő rendezettség felismerését vagy a változók szelektálását, összevonását segítik. Az egyedeket a változók számának megfelelő K-dimenziós térben egy pont jellemzi és ezek alapján a pontok alapján történik az összehasonlítás. A cluster-analízis során az egyedek közt számolt távolság vagy hasonlóság alapján történik a besorolás. A főkomponens-analízis és a diszkriminancia-analízis viszont azt vizsgálja, hogy a mért egyedek közt létezik-e valamilyen eltérés és ha igen, az eltérést melyik változó és milyen mértékben okozza.

A morfometria másik fejlődési iránya az alakra helyezte a hangsúlyt és annak megváltozására. Ezeket a módszereket nevezzük geometriai morfometriai módszereknek. Az ötlet bizonyos grafikai módszerek szintjén már a 20. század elején megjelent (D'Arcy Thompson, 1917 in Bookstein, 1991), de ekkor a hangsúly a

változások láthatóvá tételén volt. Ennek az irányzatnak alapkérdése, hogyan változik a homológ pontok, formák vagy szervek elhelyezkedése.

A geometriai morfometriai irányzat a hagyományos morfometriához képest a fejlődésben és felhasználásban sokáig lemaradt, mivel hiányoztak a megfelelő statisztikai módszerek. Az 1980-as évek elején azonban megjelentek az új statisztikai módszerek és a morfometriának ez a területe is látványos fejlődésnek indult (Bookstein 1991). Ennek egyik oka a személyi számítógépek (PC) elterjedése volt. A PC-k megjelenésével lehetővé vált nagy tömegű adatok feldolgozása viszonylag rövid idő alatt és kevesebb emberi munka ráfordításával mint korábban. Mivel a geometriai morfometria fejlődése csak az utóbbi másfél évtizedben indult meg, az adatfeldolgozó módszerek egy része kiforratlan. Az irodalomban többféle módszerrel találkozhat az ember, de ezek használhatósága és megbízhatósága ma még nem összehasonlítható.

A geometriai morfometriában is megkülönböztethető két nagy "irányzat". A módszerek egyik nagy csoportja az alakokkal foglalkozik. Ezeket a durván körvonal-analízis (outline analysis) módszereknek fordíthatjuk. Ezek az eljárások első lépésben a vizsgált objektum körvonalát állítják elő, általában számítógép segítségével. Egy körvonal azonban több ezer képpontból is állhat és ez túl nagy mennyiségű adat, statisztika feldolgozásuk nem lehetséges. Ezért a körvonal adatait valamilyen formában transzformáljuk, tömörítjük. Ennek legjobb módja, hogy a körvonalat valamilyen függvénnyel közelítjük és ekkor már a függvény paraméterei jellemzik a körvonalat (Rohlf 1990b). A paraméterek birtokában rekonstruálható az eredeti körvonal, és a módszertől függően, a paraméterek értéke és változása is hordozhat információt. Ezek vizsgálatára és értelmezésére törekednek a kutatók.

A körvonal függvénnyel való közelítésére egyre jobban elterjednek a különböző Fourier sorfejtések. Többféle módon is elvégezhető a Fourier analízis attól függően, hogy a körvonalat milyen formában írjuk le és adjuk át a függvényillesztő eljárásnak. Egyik eljárás szerint egy belső pont körül elforgatva adott szögfelosztással veszünk mintát a körvonalról és ábrázoljuk, hogy a szögszárak milyen távolságban metszik a körvonalat, majd a Fourier analízis számára ezt az adatsort adjuk át. Ekkor két paraméter ír le egy Fourier harmonikus függvényt.

Az úgynevezett elliptikus Fourier analízis során a körvonal leírásakor megtartjuk az X,Y koordinátákat és ezért a Fourier analízis végeredményében egy harmonikus függvényt már négy együttható ír le. Ez az utóbbi módszer inkább elfogadott, mert az analízis során a körvonal transzformálatlan adatait használja fel, másrészt az első módszernél gondot jelent a konkáv alakzatok transzformálása.

A geometriai morfometriában a másik nagy irányzat a mérőpontok (landmark) használatára helyezi a hangsúlyt (Bookstein, 1991; Rohlf, 1990a). A mérőpontok a hagyományos szemlélettel szemben nem távolságadatok felvételére alkalmas pontpárokat jelent, hanem jól azonosítható homológ eredetű vagy funkcionálisan azonos pontokat. Bookstein szerint (1991) háromféle mérőpont létezik. A legjobb mérőpontok különböző szövettípusok találkozásánál vehetők fel. Ilyen pontok találhatóak például a fogalveolusok szegélyén. Ennél valamivel rosszabbul definiálható

mérőpontokat alkotnak a görbületek végpontja. Ebből a szempontból egy fog körvonala egy görbületet alkot és a fog csúcsa egy második típusú mérőpont. A mérőpontok harmadik csoportjába az ún. külső pontok típusába minden körvonalra eső pont beletartozik. Ilyen típusú mérőpont lehet például az a pont, ami szemben helyezkedik el a körvonalon egy másik egyes- vagy kettes típusú mérőponttal.

A mérőpontokat egy tárgyról felvéve két összetevőre bonthatjuk fel a tárgy jellemzőit. Jellemezhetjük a tárgyat méretével és az alakjával. A kartézi koordináták a hagyományos derékszögű koordináta-rendszerben adott beosztással felvett koordináták. Ennek felbontása a két tényezőre többféle módon történhet. A tárgy nagyságát a centroid méretével, azaz a centroidnak az összes mérőponttól vett távolságának összegével írhatjuk le (Bookstein, 1991). Ha a koordináták adatait átskálázzuk, akkor az alakra jellemző változókat kapunk. Az átskálázás történhet úgy, hogy a centroid méretét egységnyinek határozzuk meg (Prokrusztész analízis (Rohlf, 1990a)), vagy úgy, hogy a tárgyon belül egy kiválasztott alapvonalnak (baseline) a hosszúsága egységnyi (alakváltozók (Bookstein, 1991)). Az alakváltozók (shape coordinates) használata során a mért objektum adatait az alapvonalat kijelölő két kiválasztott alappont szerint transzformálják. Ekkor az egyik alappont koordinátája 0,0, míg a másiké 0,1 lesz, és a köztük lévő távolság értelemszerűen 1. Az összes többi mérőpont koordinátáját az alapkoordináták és az alaptávolság szerint transzformálják. Így az összes tárgy azonos irányba van beforgatva és a mérettől független adatokhoz jutunk. Az adatok feldolgozása során vizsgálják, mely mérőpontok helyzetének megváltozása okozza az alakváltozást, és az milyen mértékű és jellegű.

A geometriai morfometria még nem kiforrott tudományos módszer így akár újabb irányzatok is megjelenhetnek a közeljövőben. Read és Lestrel (1986) egy vita keretén belül felvetette, hogy a két fő irányzat módszereit valamilyen formában egyesíteni kellene, és ez az új módszer egyesítené a két irányzat előnyeit. Javaslatok és ötletek vannak, de a technika kidolgozása egyenlőre várat magára.

3. Anyag és módszer

3.1. A gyűjteményi anyag ismertetése

A Természettudományi Múzeum Állattárának Emlősgyűjteményében őrzött csapdázott anyagot használtam fel vizsgálataimban. A gyűjteményben a kipreparált csontanyag és a kikészített, kitömött bőrök külön kerültek elhelyezésre. A csontoknál az esetek egy részében az egész csontvázat kipreparálták, más esetekben csak a koponyát és az állkapcsokat. A gyűjtemény adatbázisában az általam lemért vízicickányok számánál több található, de ezek nagy része alkoholos preparátum, melyből a csontokat nem preparálták ki, és egy-két esetben előfordult, hogy az általam a mérésben felhasznált állkapocs hiányzott az adott példánynál. A csontok alapján igen sok esetben (kb.15%) hiányzik a kipreparált bőr. Ennek oka, hogy néha az elhullott, és a talajcsapdák által fogsott állatokat is begyűjtik, ezek bőre pedig gyakran

már preparálhatatlan, másrészt a gyűjtés során a bőrök kezelésére nagyon nagy gondot kell fordítani, mivel ezek könnyen megpállhatnak, a szőrük csomókban kihullik és preparálhatatlanná válnak. Az elfogott és megölt állat bőre egy nyári napon 1-2 óra alatt tönkre mehet és ekkor ez sajnos felhasználhatatlan.

A gyűjtött anyag több lelőhelyről származik. A gyűjtemény legnagyobb hányada magyarországi, de vannak romániai (Bihar-hegység) és szlovákiai (Magas-Tátra) gyűjtésből származó példányok is. Egy adott helyről, egy adott időben általában kevés egyedeket gyűjtöttek, így populáció szintű összehasonlításra nem nagyon alkalmas az anyag.

3.2. Adatfelvétel

Az adatok felvételét a Budapest-Video (B-V) elnevezésű, a múzeum saját fejlesztésű rendszerével történt, melynek software komponense az IMAGOES fantázianevet kapta (Demeter és mtsai, 1995). A hardware egy Panasonic WV-BP100 CCD videokamerából, egy digitalizálókártyából és egy SVGA videokártyával rendelkező 486-os számítógépből áll. A program állandó fejlesztés alatt áll, jelenlegi formájában kétféle adatgyűjtési módszert támogat.

A program megkeresi a tárgyat, megrajzolja a körvonalát, majd a körvonalhoz a kívánt számú harmonikus hullám segítségével elliptikus Fourier transzformációt alkalmazva görbét illeszt. A képernyőn egyszerre látható az eredeti körvonal és az illesztett görbe, így a mérést végző személy az illesztés hibáját becsülheti. A kapott Fourier-együtthatókat a program dBase adatformátumban menti el lemezre.

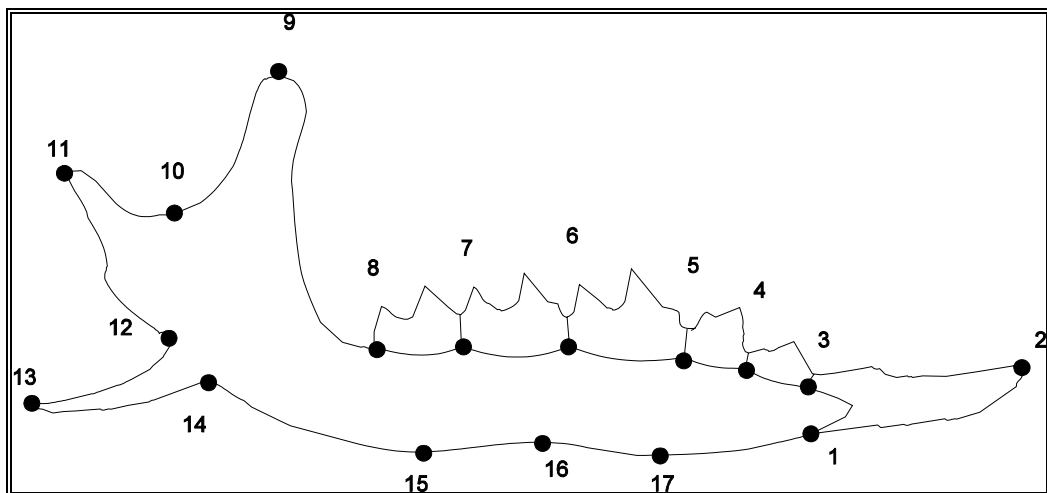
A program egy másik üzemmódban egy adott objektumon mérőpontok felvételére alkalmas. A számítógép képernyőjén a mérést végző személy a vizsgált tárgy képén az egér segítségével mérőpontokat jelöl ki. A mérőpontok koordinátáit a program vagy kartézi koordináták vagy Bookstein-féle alakváltozók formájában menti ki dBase formátumú fájl-ba. Mindkét koordinátarendszer esetében ki kell jelölni két pont segítségével egy alapvonalat (baseline). Az alakváltozók használatakor ez a módszer elvéből fakadóan kötelező érvényű. A kartézi koordinátáknál az egyik pont a 0,0 origót jelöli ki, melyhez képest a többi pont koordinátája mikrométeres beosztásban kerül eltárolásra, míg az alapvonal másik pontja a koordinátarendszer x-tengelyének irányát jelöli ki, melyre az y-tengely természetesen merőleges. Ha az alapvonal két pontja következetesen minden objektumon ugyanaz a két mérőpont alkotja, akkor az adatok további feldolgozása leegyszerűsödik, mivel mindegyik objektum pozicionálása és iránya azonos. Ennek csupán kényelmi okai vannak. Egyrészt a program úgynevezett tanítókörök segítségével segíti a mérő személyt a mérőpontok felvételében. Ha a mérőpont a soron következő tanítókörön kívül esik, a program ezt hanggal jelzi. Ezzel elkerülhető, hogy a mérőpontok felvételének sorrendjében a mérő személy hibát kövessen el. Másik előnye a rögzített alapvonalnak, hogy a mérőpontok felvett koordinátáit ábrázolva statisztikai programmal rögtön megfigyelhetők bizonyos tendenciák, az adatok ellenőrizhetők. Az erősen kilógó adatoknál valószínűleg a mérőpontok felvételekor hibázott a mérést

végző személy. Amennyiben az alapvonalat kijelölő pontok hiányoznak, a kartézi koordináták felvétele lehetséges és az ilyen példányok bizonyos módszerekkel értelmezhetők is, de az alakváltozók értelmezése ekkor lehetetlen.

A kartézi koordináták felvételekor az adatgyűjtő rendszert a nagyításnak megfelelően kalibrálni kell. A kalibrálást 0.01 mm-es beosztással 1 cm-en végeztem el. Mivel a program ennél nagyobb méretfelbontással (1 μm .) dolgozik, a hibát a kalibrálás pontossága határozza meg. Az 1 cm-nél kisebb méreteknél a hiba az 1 cm-re eső hibánál arányosan kisebb.

Egy másik tényező, mely a mérési hibát befolyásolja, a képet készítő rendszer képfelbontása. A mérés pontosságát a képfeldolgozásban szereplő egységek, kamera, digitalizálókártya és a monitor közül a legkisebb felbontású határozza meg. A használt mérőrendszer esetében a kamerának volt a legkisebb felbontása. 380 sorra képes felbontani a képet és ez meghatározza, hogy milyen lépésenként lehet a méreteket felvenni. Természetesen ez a szám függ a nagyítás mértékétől. Azonban ez a digitális méretfelvétel a kartézi koordinátákból számolt távolságadatok esetén nem minden esetben figyelhető meg. Egy adott képen egy adott pontról többször felvéve a koordinátákat az adatok eloszlása már nem lesz folytonos.

A vizsgálatban az állatok bal állkapcsát használtam fel minden esetben, és az állkapocs belső, oldaláról készítettem képet. Összesen 257 egyed állkapcsának képét digitalizáltam és ezekről vettem fel az adatokat. Az állkapcsot a kép készítése során alulról erősebben, felülről gyengébben világítottam meg. Az egyenletes, világos háttér segítette a programot a körvonal megtalálásában, a felülről való világítás pedig a mérőpontok megtalálását tette lehetővé a csont körvonalán belül. Tizenhét mérőpontot jelöltem ki (1. ábra), ezek közül a 12-es volt az origó mivel ez a mérőpont hiányzott a legritkább esetben, és a 2-es pont jelölte ki az x-tengely irányát. Ugyanarról a képről vettem fel a körvonalra jellemző adatokat. A program minden esetben megtalálta a körvonalat és 30 harmonikus segítségével (a program maximálisan ennyit képes kiszámolni), elliptikus Fourier transzformációval görbét illesztett a körvonalhoz, majd a kapott együtthatókat eltároltam.



1.ábra A víziczikány bal állkapcsának képe a mérőpontok helyével és sorszámaival

A digitalizált képeket elmentettem, így ha szükséges, a csontokról újabb adatokat is fel lehet venni, vagy más módszerrel is fel lehet dolgozni a képeket. Az adatgyűjtés során a törött csontokat is feldolgoztam, a lehetséges adatokat felvettem róluk. Viszonylag gyakran találok olyan állkapcsokkal, melyek torzultak voltak. Ezeknél az egyedeknél a legszembetűnőbb különbség a fogazat abnormalitása volt. Egy vagy több fog hiányzott, vagy csak csökevényes volt, vagy a fogak közt a rés túl nagy volt. Ezt a jelenséget nem lehet a fogak kopásával magyarázni. Ezeket az "atipikus" példányokat is lemértem, mivel érdekelt a statisztikai analízis hogyan csoportosítja be ezeket a példányokat.

A csontanyagban található példányok közül 221 bőre fellelhető a gyűjteményben. A külső bélyegek alapján, figyelembe véve a testméretet, a farkon a sertesor hosszúságát, a talp pigmentáltságát és a lábon a serték magasságát, meghatároztam az egyedeket, feljegyezve, hogy biztos voltam-e a határozás helyességében, vagy sem (178 példánynál biztos voltam, 43 esetben bizonytalan). A száraz bőrökön a pénisz nem vizsgálható és ennek oka, hogy a preparálás során nem mindig vigyáznak ennek a szervnek helyes kipreparálására. Az újrathatározásra azért volt szükség, mert a korábbi besorolások gyakran kevés vagy bizonytalan morfológiai bélyegeken alapultak.

A bőrök és a csontok vizsgálatával nyert adatokat összevontam, így az adatbázisomban szerepel az állat múzeumi azonosítója, a bőrök alapján általam végzett faji besorolás kódja, mellette külön változóban jelölve, hogy a határozás helyességében biztos vagyok-e vagy sem. Külön változót tartottam fenn az állat korának és nemének is, de ezek következetes meghatározása nem történt meg, mivel a bőrök alapján a nemet nem lehet megállapítani és a kor szempontjából is csak annyi állapítható meg, hogy az állat fiatal-e vagy sem. Egy új változóban jelöltem, hogy hány mérőpont hiányzik és ez a szám jól jelzi a csont töredezettségének mértékét is. A további változók a számítógéppel felvett adatokat tartalmazzák.

3.3. Feldolgozás

3.3.1. Hagyományos morfometriai módszerek

A hagyományos morfometria elsősorban a jól mérhető adatokra koncentrál. Ennek feltétele az egyszerű mérési módszer, másrészt a nyert adatok eloszlása legyen a mérést végző személytől független, ne függjön például annak gyakorlottságától. A távolság-adatok, mind a két feltételnek megfelelnek. Egy tolómérővel vagy okulármikrométerrel egyszerűen és pontosan mérhetők, míg a szögek mérésére nincs ilyen jó módszer. A távolságadatok a második feltételnek is jól megfelelnek, míg a nominális változókkal kódolt adatok sok esetben a mérést végző személy megítélésétől nagymértékben függenek. A távolságadatok természetesen bizonyos mértékig függenek a mérés módszerétől és kismértékben a mérést végző személy gyakorlottságától. Eltérés lehet az okulármikrométerrel és a tolómérővel felvett adatok eloszlásában vagy igen kis eltérés lehetséges gyakorlott és kezdő személy között.

A távolságadatok feldolgozása során normalitásvizsgálattal vizsgálhatjuk egy változó eloszlását egy csoporton belül, hisz a statisztikai vizsgálatok egy jelentős részének előfeltétele az adatok normális eloszlása. Érdeemes vizsgálni, hogy a két vagy több csoport adatainak eloszlása közt van-e különbség, és a különbség szignifikáns-e. A különböző teszteknek létezik egy- és többváltozós alakja. Ha több csoporttal dolgozunk, érdemes megvizsgálni, hogy a változók számával meghatározott K-dimenziós térben hogyan helyezkednek el az egyedek, vagy a csoportok átlagai, ebben a többdimenziós térben milyen távolságra vannak a különböző objektumok. A cluster-analízis a többdimenziós térben a távolságuk vagy hasonlóságuk alapján csoportosítja az objektumokat. A főkomponens-analízist gyakran használják a változók számának csökkentésére is, másrészt a kapott új változók alapján a csoportok közti szétválás gyakran jobban látható és a síkban is ábrázolhatóvá válik (Affifi, 1984; Sváb, 1979). A diszkriminancia-analízis gyakran használt módszer, segítségével már előre definiált csoportok közötti különbség mutatható ki, és az számszerűsíthető a csoportok között (Mahalanobis-féle távolság).

A mérőpontok feldolgozásával megfelelő számításokkal ki lehet számolni mind távolságadatokat, mind három pont által meghatározott szöveget. A *Neomys* nemzetség morfológiai feldolgozása során a korábbi cikkek és vizsgálatok csak a távolságadatokat vizsgálták, így a feldolgozás során én is ezekre az adatokra koncentráltam.

Ha a mérőpontok száma K, akkor a belőlük kiszámolható távolsági változók száma $(K \cdot K - 1) / 2$. Az általam felvett 17 mérőpont esetén ez 136 változót jelent. A változók nevének kódolásakor következetesen arra törekedtem, hogy a nevében benne legyen, hogy melyik két mérőpont közötti távolság adatait tartalmazza, és nem vettem figyelembe, hogy bizonyos mérőpontok közti méretnek a morfológikusok közt meghatározott neve van (például a D9-14 méret elnevezése koronoid-magasság).

Első lépésben a kiszámolt távolságadatok közül azokat vizsgáltam, melyeket már más kutatók is használtak. Összehasonlítottam a közös változók eloszlásának képét, majd megvizsgáltam, hogy a Böhler által leírt módszerrel, a diszkriminancia-analízissel és az abból kapott eredmények alapján hogyan válik szét a két faj. Böhler (1964) cikkében hat méretet (a cikkben $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$) vizsgált. Ebből én ötöt tudtam a saját adataimból mérni ($d_{1-11}, d_{9-14}, d_{6-16}, d_{1-8}$, hiányzik, d_{10-14}), az x_5 -ös méret, a processus condylaris és a processus alveolaris közti hajlat (12-es mérőpont) és a vele szemben lévő oldal közti legkisebb távolság, az én adatsoromból hiányzik, mivel a méréshez szükséges egyik mérőpontot a körvonalon nem lehet jól meghatározni.

A következő lépésben azt vizsgáltam, hogy milyen eredményeket kapok, ha mind a 136 távolsági változót felhasználok. A biztosan meghatározott egyedek alapján t-próbával hasonlítottam össze minden egyes változó alapján a két fajt. Az ismert faji besorolású egyedek alapján diszkriminancia-analízissel vizsgáltam a szétválás mértékét. A teljes adatsoron végzett főkomponens-analízis alapján vizsgáltam, hogy az adatok szórásáért milyen tényezők és milyen mértékben felelősek.

A többváltozós statisztikai módszereknél gondot jelentett a változók nagy száma. A változókhoz képest (136) a vizsgált eseteim száma alacsony (257), és ekkor a statisztikai eljárás eredményeiből hibás következtetést vonhatunk le. A másik probléma technikai jellegű volt. Az adott statisztikai programcsomag nem tudott ennyi változót egyszerre kezelni. Emiatt a változók szelektálására kényszerültem. Ennek során nem statisztikai szempontból válogattam ki változókat, hanem olyanokat, melyek tolómérővel vagy okulármikrométerrel mérve esetleg hagyományos morfometria vizsgálatokban előfordulhatnak (pl. fogak alveoláris szélessége, mandibula szélessége különböző pontokon). Ilyen szempontból 22 változó maradt fenn, és ezeken végeztem a diszkriminancia-analízist és a főkomponens-analízist.

3.3.2. Geometriai morfometriai módszerek

3.3.2.1.1. MÉRŐPONTOK ELEMZÉSE

A mérőpontok X,Y koordinátája már önmagában is az egyedre jellemző változó és így ha K mérőpontom van, akkor 2K dimenziójú változó-térben vizsgálhatom az egyedeket. Természetesen ennek csak akkor van értelme, ha ebben a térben két azonos objektum, a mérési hiba határán belül azonos térrészt foglal el. Ha ez nem teljesül, akkor valamilyen módszerrel, forgatással és eltolással azonos pozícióba kell hozni az objektumokat. Az adataim esetén megtehetem, hogy transzformálatlan, a program által kimentett adatokat használom fel a statisztikai vizsgálatok során, hisz az adatfelvétel módszere olyan, hogy minden objektum origója azonos (12. mérőpont) és egy másik mérőpont (2.) által meghatározott iránya is azonos. Csak akkor nincs egy objektum a többihez hasonlóan pozicionálva, ha az előbb említett két mérőpontja hiányzik. Azért választottam ezt a két mérőpontot az origó és koordinátatengely kijelölésére, mert csak igen ritka esetben hiányoznak és jól láthatóak.

Az adatok statisztikai feldolgozása során első lépésben azt vizsgáltam, hogy többváltozós Hotelling T^2 teszt alapján az egyes mérőpontok adatainak eloszlásában a két faj szétválik-e. A következő lépésben, mivel már egyetlen hiányzó mérőpontot tartalmazó eseteket is ki kellett zárnom a statisztikai számításokból a hiányzó adatok pótlására kényszerültem. Ennek egyik legegyszerűbb módja a teljes minta átlagával való helyettesítés. Ezzel a módszerrel az a gond, hogy pont a két csoport közötti különbséget mossa egybe. Ezért én azt a módszert választottam, hogy megvizsgáltam a változók közötti korrelációt, és az erősen korreláló változók alapján végzett regressziószámítás segítségével pótoltam a hiányzó adatokat. Legtöbb esetben csak egy hiányzó mérőpont volt és ez gyakran a könnyen letörő anguláris nyúlvány végén lévő pont volt (13. mérőpont). Ezután diszkriminancia-analízissel próbáltam a két csoportot szétválasztani. Főkomponens-analízissel vizsgáltam, hogy az adatok szórásáért mely változók milyen mértékben felelősek.

3.3.2.1.2. Prokrusztész analízis

Amennyiben az adatfelvétel során a tárgyak nincsenek azonos pontba eltolva és azonos irányba elforgatva és nem igaz az, hogy két azonos tárgy koordinátái azonosak, akkor Rohlf és Slice (1990) által kidolgozott módszer alkalmas a tárgyak azonos pozícióba való transzformálására. Két eljárást dolgoztak ki. Az egyik, a legkisebb négyzetösszeg-illesztés (least-squares fit) során úgy transzformáljuk a tárgyakat, hogy azok mérőpontjainak eltérés-négyzetösszege egy kijelölt referenciaobjektum mérőpontjaihoz képest minimális legyen. Az eljárás során három lépés történik: eltolás, skálázás, és forgatás. A skálázás a centroidtól vett átlagos távolság négyzetével történik, így az átskálázott tárgy centroidjának nagysága egységnyi lesz.

A másik eljárás, a rezisztens illesztés (resistant fit), egy kibővített változata az előzőnek. Előnye, hogy kevésbé érzékeny a kilógó mérőpontokra. Ha például két alakzat közt csak egy mérőpont helyében van extrém különbség ("Pinocchio effektus"), akkor a legkisebb négyzetösszeg-illesztés során a különbség szétkenődik az összes mérőpontra, míg a rezisztens illesztés jól kimutatja, hogy csak egy mérőpontban van.

Mindkét illesztési eljárás elvégezhető úgynevezett általános (generalized) és affine formában vagy a kettő kombinációjában. Az általános forma során az tárgyakat nem egy kijelölt referenciatárgyhoz illesztjük, hanem arra törekszünk, hogy a teljes mintán belül az illesztés hibája a legkisebb legyen. Az affine eljárás alkalmazásakor megengedett a tárgyak egységes alakváltozása (uniform shape change, Bookstein and Sampson, 1987 in Rohlf and Slice, 1990). A egységes alakváltozás során a síkbéli tárgy egy vagy két irányban megnyúlik vagy zsugorodik és jellemzője, hogy a változás során a párhuzamos vonalak párhuzamosak maradnak.

A kapott eltolt, átskálázott és elforgatott koordináták az előző részben már említett statisztikai módszerekkel vizsgálhatók. Az adatok kiértékelésekor felhasználtam Dennis Slice programját a GRF-ND-t (Generalized Rotational Fitting of N-dimensional Data). A teljes adatállományból számolt átlagkonfigurációhoz hasonlítottam és illesztettem az bőrök alapján elkülönített két csoportot a legkisebb négyzetösszeg módszerével és ugyanennek az affine változatával. A transzformált adatok alapján főkomponens-analízis végezhető minden egyes mérőpontra és az első főkomponens megmutatja, hogy milyen irányban a legnagyobb a variancia.

3.3.2.1.3. Alakváltozók

Bookstein (lásd 1991-es összefoglaló munkáját) dolgozott ki egy teljesen új megközelítési módot az alak vizsgálatára és az ő nevéhez fűződik sok új fogalom bevezetése a geometriai morfometriában. A mérőpontok adatait két összetevőre bontja szét: a méretre jellemző centroid nagyságra, és az alakra jellemző alakváltozókra.

A méret jellemzésére elég egy változó, melynek statisztikai vizsgálata nem okoz gondot, a hagyományos eljárások (t-próba, illeszkedésvizsgálat) megfelelnek erre a célra. Nehezebb viszont az alakváltozóknak rejlő információk kiértékelése. Bookstein eljárásai kidolgozásakor nem elégedett meg azzal, hogy két forma közt statisztikailag különbséget tudott tenni, hanem vizsgálta a változások jellegét és

mértékét. Az általa kidolgozott eljárást a mérnöki szakzsargonból átvéve vékony-lemez analízisnek (thin-plate spline analysis) nevezte el. Az eljárás lényege, hogy a vizsgálati objektumok két-dimenziós képét egy vékony fémlemezhez hasonlítja, és ezen a fémlemezen az alakváltozók a mérőpontoknak megfelelő pontok. A továbbiakban azt vizsgálja, hogy az objektumok között a mérőpontokban levő különbséget hogyan lehet modellezni a fémlemezen, és milyen és mekkora energia kell ahhoz, hogy az alakváltozók két elrendezését egymásba átalakítsa. Ilyen alapon kétféle alakváltozás típusát különböztet meg. Az egységes alakváltozás (uniform shape change) olyan változás, mely egy adott irányban az egész testre, a modellben az egész fémlemeze hat. Ilyen változást okoz a sík egy irányában történő megnyújtás vagy zsugorítás. A nem-egységes alakváltozást (non uniform shape change), lokális eltérések okozzák, melyet a hajlítási energiával jellemez (bending energy). Például, ha az összehasonlító vizsgálatban azt találjuk, hogy az egyik csonton két pont közelebb került egymáshoz, ezt úgy lehet a fémlemezzel modellezni, hogy a két pont között a lemezen egy behorpadás keletkezik és ekkor a vetületi képen a pontok valóban közelebb kerülnek egymáshoz. Ennek a szemléletnek az az előnye, hogy a fémlemezzel modellezve a változásokat, leírjuk a változás minden fontos paraméterét. Hajlításkor a fémlemezen a valóságban nem mozdulnak el a pontok (eredeti távolság), hanem csak annak vetületi képén (új távolság) és a változás nagyságára a hajlítási energia utal.

A vizsgálataimban a bőrök alapján biztosan meghatározott egyedek kartézi koordinátáit transzformáltam és elkülönítettem a centroid méretet az alakváltozóktól. A centroid méret alapján grafikusán ábrázolva vizsgáltam, hogy a két faj elkülönül-e. Ábrázoltam a két faj alakváltozóinak eloszlását és Hotelling T^2 próbával vizsgáltam, hogy elkülönülnek-e. Az alakváltozás jellemzésére az egységes alakváltozást vizsgáltam. A feldolgozás során a felhasznált egyedek alakváltozóinak átlagához viszonyítva számoltam ki a egységes alakváltozásra jellemző értéket, majd ezeket az értékeket grafikusán ábrázoltam. A számításoknál L.F. Marcus programját a UNIGRAPH-ot használtam.

3.3.2.2. Elliptikus Fourier analízis

Körvonal leírására először Fourier analízist Ostracodák vizsgálatánál alkalmaztak (Kaesler és Waters, 1972 in Rohlf, 1984). A Fourier sorfejtés alapötlete egyszerű. Minden hullámgörbe leírható különböző frekvenciájú szinusz és koszinusz hullámok megfelelően súlyozott összegével.

Morfometriai alkalmazások egy jelentős hányada a körvonalat vizsgálja és ezért kezdetben a Fourier analízis elvégezhetősége érdekében a zárt körvonalat egy nyitott görbévé konvertálták valamilyen módon. Ezek a módszerek az átalakítás során a körvonalat valamilyen formában egy ponttól vett távolság formájában ábrázolták. A rögzített pont lehet a görbén belüli pont (centered polar) vagy a körvonalon egy rögzített pont (tangent angle). Ezeknek a módszereknek a hibája, hogy a görbén belül nem mindig lehet egy pontot egyértelműen definiálni és a középpont helyzetére az

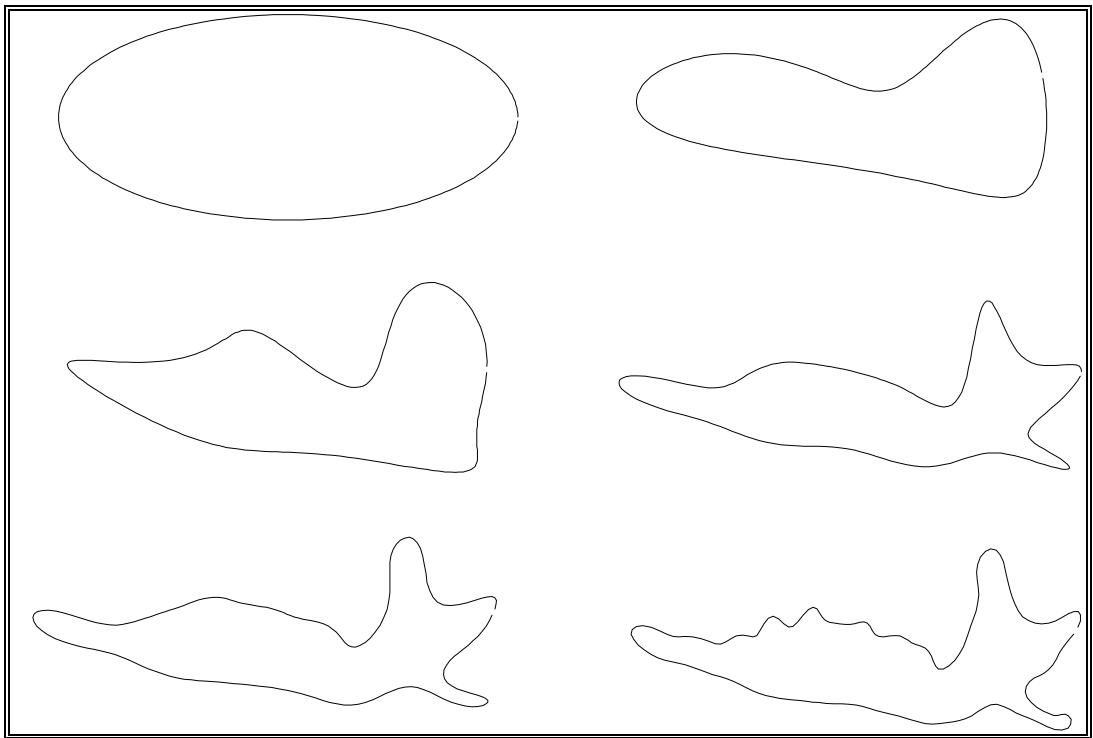
eljárás érzékeny (Rohlf, 1984). Másik probléma, hogy abban az esetben, ha a középpontból a sugár két ponton is metszi a körvonalat a görbe leírása nem lehetséges (Rohlf, 1990). A "tangent angle" módszer hibája, hogy az alacsony harmonikusokból rekonstruálva a körvonalat az nem záródik. Rohlf (1984) a különböző Fourier analízis módszereket összehasonlította és megállapította, hogy az úgynevezett elliptikus Fourier analízis a legalkalmasabb eljárás.

Az eljárás viszonylag új keletű (Kuhl és Giardina, 1982). A körvonalat tetszőlegesen megválasztott, egységnyi hosszúságú vektorok láncolatának tekintik, ahol minden egyes vektor a következő vektor origójába mutat. A feldolgozás során vektorok egységvektorok, melyet le lehet írni két koordinátával. A Fourier sorfejtés a vektorok X és Y tengely irányába eső értékére külön-külön illeszt görbét. Így egyetlen harmonikust nem kettő, hanem négy koefficiens határoz meg. A körvonal rekonstruálása a következő képlettel lehetséges:

$$X_{(t)} = A_0 + \sum_{n=1}^N A_n \cos \frac{2n\pi t}{T} + B_n \sin \frac{2n\pi t}{T}$$

$$Y_{(t)} = C_0 + \sum_{n=1}^N C_n \cos \frac{2n\pi t}{T} + D_n \sin \frac{2n\pi t}{T} ,$$

ahol N=a rekonstruáláshoz felhasznált harmonikusok száma, T=a körvonal egységvektorainak a száma, t=az éppen rekonstruált egységvektor sorszám, és A,B,C és D az n-dik harmonikus paraméterei. Az első harmonikust felhasználva a körvonal rekonstruálásához egy ellipszist kapunk (2. ábra), innen az eljárás neve. A₀ és C₀ az első harmonikus által meghatározott ellipszis két sugarának nagyságára és arányára jellemző érték. Az eljárásnak több előnye is van. Már az első harmonikusokból rekonstruálva a körvonalat zárt görbét kapunk. Az eljárás nem érzékeny az eredeti körvonal elforgatására és az eredmény nem függ a kódolás kezdőpontjától. A harmadik nagy előny, hogy az eredmény a mérettől független és így csak az alakra jellemző. A görbeillesztés hibája a harmonikusok növelésével negatív exponenciálisan csökken, és minél egyszerűbb az görbe annál meredekebb a lefutása. Az eljárásnak negyedik előnye, mely számunkra adott alkalmazásban nem igazán fontos, hogy a módszer alkalmas nem zárt görbék és önmagát keresztező vonalak transzformálására is.



2. ábra A Fourier-együtthatókból rekonstruált körvonal 1,3,5,10,15 és 30 harmonikus komponens felhasználva

A Fourier sorfejtés morfometriában való alkalmazása vitákat váltott ki. Bookstein (1982) végső konklúziója, hogy az eljárás "nem használható, hanem értelmetlen" biológiai szempontból. Több érvet is felvonultat a módszer ellen. Először, az eljárás csak az alakváltozásra érzékeny, izometrikus növekedésre nem. Másodszor, egy változás a koefficiensekben szétkenődve jelenik meg a harmonikus hullámok additivitása miatt, így egy konkrét változás több együtthatót is érint. Emiatt az együtthatók erősen korrelálhatnak és kiértékelésük nehéz lehet. Harmadszor, az apró változások csak a magasabb számú harmonikusokban jelennek meg, melyek együtthatói alacsony értékek. Ebből következően, valamint a második pontban már említett ok miatt, a zaj elnyomhatja a paraméterek változásában az adott jelleg megjelenését. Negyedszer, a vizsgálat nem homológ pontokat hasonlít össze és szerinte a morfometriában a homológ pontok (landmarkok) összehasonlításának van értelme. Ötödik kiemelő érve, hogy az analízis során túl sok változót kell vizsgálni. Tíz harmonikkal transzformálva a körvonalat az elliptikus Fourier transzformáció 42 változót ad. Ezekre a felvetéseire a válaszcikkekben (Erlich és mtsai, 1983; Read és mtsai, 1986) nem Bookstein statisztikai szempontból felvetett kifogásait próbálják cáfolni, hisz azok jogosak, hanem két konkrét biológiai tanulmányon bizonyítják, hogy a módszer a hibái ellenére is használható. Ehrlich és munkatársai elismerik, hogy a Fourier transzformáció sok változót ad, de ezek a teljes alakot, a körvonalat reprezentálják és így olyan változások is kimutathatók, melyek a mérőpontok között lelhető fel.

A Fourier transzformációval kapott adatok értékelése a "hagyományos statisztikai módszerekkel" történhet. T-próbával hasonlítottam össze a két biztosan meghatározott csoport átlaga közötti különbséget. Diszkriminancia-analízissel vizsgáltam a két csoport szétválását, és azt, hogy azért mely változók milyen

mértékben felelősek. Ugyanakkor informatív lehet a szétválásért felelős együtthatók mintázata is. Főkomponens-analízissel vizsgáltam az adatok szórásáért felelős tényezőket. Ezek után a főkomponens-analízis eredményeiből kiindulva megismételtem a diszkriminancia-analízis négy csoportra bontva az eseteket. Az eseteket először faj szerint majd aszerint csoportosítottam, hogy törött volt-e a csont vagy sem (van-e hiányzó mérőpont vagy sem).

4. Eredmények

4.1.1. Hagyományos morfometriai módszerek

Bühler (1964) cikkében szereplő öt méret eloszlásának a képe hasonló az adataim eloszlásához, de a két faj közt az átfedés nagyobb mértékű, mint a korábbi cikk szerint. Másrészt kis eltérés figyelhető meg a eloszlás alsó és felső határaiban. Ennek oka valószínűleg az eltérő mérési módszer és az eltérő egyedszám. Ugyan így az x_1 , x_2 , x_4 -ből ($d1-11$, $d9-14$, $d1-8$) számolt diszkriminancia-érték határai sem egyeznek meg. Bühler eredményének ellentmond, hogy a méréseim alapján a kiszámolt diszkriminancia-együttható alapján a két faj átfed egymással, nem válnak élesen szét egymástól (4. ábra). A bôr alapján meghatározva és csoportosítva az állatokat az adatokat az átfedés látható marad (3. ábra). Ebből arra következtetek, hogy vagy nem minden esetben végeztem helyes meghatározást a külső morfológiai bélyegek alapján, vagy az utóbbiakban lévő diagnosztikus bélyegek nem minden esetben esnek egybe a csonttani különbségekkel.

Az összes változó feldolgozása során a t-próba eredményei azt mutatták, hogy a két faj szinte az összes mérőpont közötti távolság alapján $p < 0.01$ szinten szignifikánsan különbözik (1. táblázat). Ezért különösen érdekes számunkra azok a méretek, melyek a két faj között nem különböznek szignifikánsan. Ezek vagy egymás mellett lévő közeli mérőpontok ($d10-11$, $d12-13$, $d13-14$, $d16-17$), vagy az állkapocs alsó felén lévő mérőpontok és valamely más mérőpont közötti távolságok. Itt főleg a 15-ös mérőpont szerepel gyakran a nem szignifikáns méretek közt ($d4-15$, $d5-15$, $d6-15$, $d7-15$, $d8-15$, $d15-16$, $d15-17$).

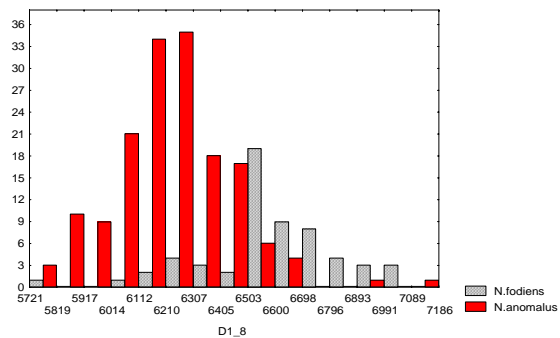
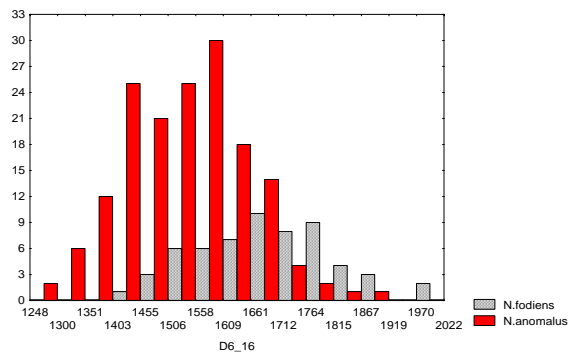
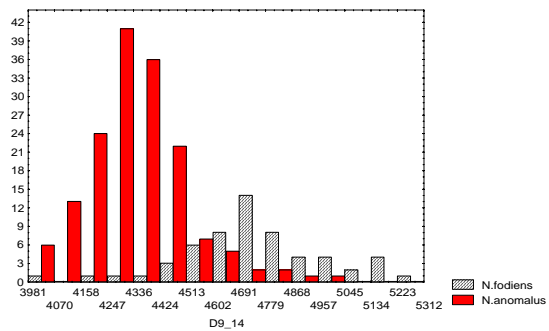
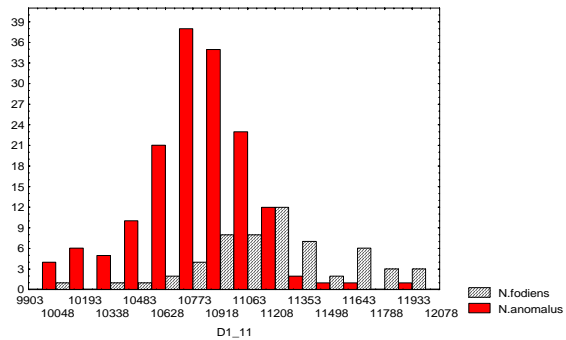
Az önkényesen kiválogatott 22 változóval végezve a diszkriminancia-analízis a két faj szétvált, viszont a szétválás mértéke a Bühler 6 változójához képest a többszörös változós szám ellenére sem javult látványosan. Ez ellentmond Bühler feltevésének, hogy a változók számának növelésével a két faj szétválásának mértéke tovább javul. A főkomponens-analízis során kapott főkomponensek közül egy-egy nem magyarázza a teljes variancia nagy hányadát. A legnagyobb szórást magyarázó első sajátérték is csak a teljes variancia 50%-ért felelős (5. ábra).

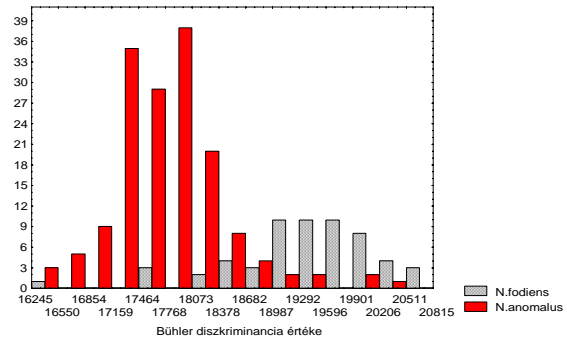
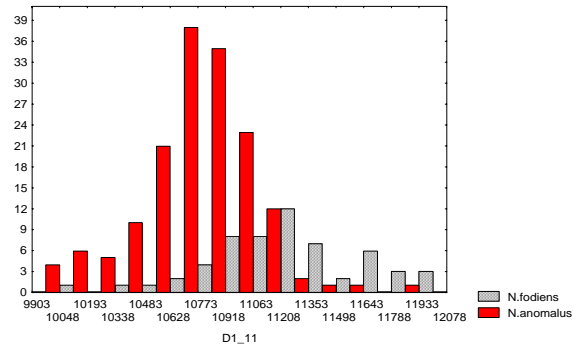
Variable	Mean* N.fodiens	Mean N.anomalus	t-value	df	p
D1_2	3150.00	2975.56	3.34128	161	.001037
D1_3	723.39	662.45	3.74771	161	.000248
D1_4	1620.43	1449.04	7.23571	161	.000000
D1_5	2516.52	2247.73	9.61408	161	.000000
D1_6	3973.82	3654.68	9.97934	161	.000000
D1_7	5409.54	5044.60	10.50697	160	.000000
D1_8	6619.18	6212.65	11.15223	159	.000000
D1_9	9399.47	8743.98	11.55432	157	.000000
D1_10	9900.40	9296.27	12.16956	158	.000000
D1_11	11329.26	10729.42	10.62864	156	.000000
D1_12	9516.50	8979.11	11.78054	159	.000000
D1_13	10991.31	10523.87	6.25958	130	.000000
D1_14	8775.38	8396.54	8.36152	159	.000000
D1_15	6249.69	6050.39	4.35221	161	.000024
D1_16	4203.10	3969.38	6.17236	161	.000000
D1_17	2080.21	1772.11	6.98759	161	.000000
D2_3	3358.09	3204.62	3.15916	163	.001886
D2_4	4207.05	4006.45	4.72846	163	.000005
D2_5	5110.68	4819.56	7.02917	163	.000000
D2_6	6631.95	6290.31	7.55635	163	.000000
D2_7	8153.61	7742.63	7.97610	162	.000000
D2_8	9406.95	8945.17	8.70086	161	.000000
D2_9	11463.60	10899.45	8.55350	158	.000000
D2_10	12445.21	11837.93	9.34709	159	.000000
D2_11	13848.40	13255.35	8.43375	157	.000000
D2_12	12342.79	11743.93	9.26145	161	.000000
D2_13	13975.36	13377.40	6.69414	132	.000000
D2_14	11689.85	11226.60	7.15062	161	.000000
D2_15	9277.05	8963.98	4.90223	163	.000002
D2_16	7248.68	6887.07	6.28403	163	.000000
D2_17	5202.26	4745.31	7.98475	163	.000000
D3_4	975.16	880.60	4.33532	164	.000025
D3_5	1914.14	1715.34	7.70319	164	.000000
D3_6	3425.15	3172.72	8.51780	164	.000000
D3_7	4909.97	4603.95	9.38610	163	.000000
D3_8	6146.09	5792.38	10.42480	162	.000000
D3_9	8754.71	8166.65	11.62783	159	.000000
D3_10	9344.81	8809.55	11.33170	160	.000000
D3_11	10766.87	10240.42	9.97601	158	.000000
D3_12	9057.95	8583.26	10.63972	162	.000000
D3_13	10616.97	10189.51	6.05783	133	.000000
D3_14	8375.24	8041.94	7.75796	162	.000000
D3_15	5927.61	5765.28	3.49665	164	.000606
D3_16	3899.23	3693.77	5.32306	164	.000000
D3_17	1938.22	1682.32	6.53889	164	.000000
D4_5	945.51	840.67	6.49521	164	.000000
D4_6	2469.44	2307.99	8.25143	164	.000000
D4_7	3972.58	3751.23	9.31400	163	.000000
D4_8	5219.52	4949.06	10.27283	162	.000000
D4_9	7796.38	7300.93	10.32826	159	.000000
D4_10	8379.13	7932.55	11.06599	160	.000000
D4_11	9800.06	9363.29	9.27623	158	.000000
D4_12	8139.98	7744.19	10.40995	162	.000000
D4_13	9745.08	9379.61	5.74290	133	.000000
D4_14	7491.18	7227.00	6.90539	162	.000000
D4_15	5120.00	5017.88	2.48651	164	.013902
D4_16	3149.52	2987.71	5.16257	164	.000001
D4_17	1589.13	1389.00	8.22058	164	.000000
D5_6	1532.37	1474.69	3.45267	165	.000705
D5_7	3047.55	2925.09	5.72264	164	.000000
D5_8	4301.10	4129.20	6.87087	163	.000000
D5_9	6904.57	6502.71	8.76793	160	.000000
D5_10	7437.97	7095.59	8.77763	161	.000000
D5_11	8856.27	8526.42	7.39340	159	.000000
D5_12	7226.47	6928.82	8.31445	163	.000000
D5_13	8861.18	8586.43	4.39626	133	.000022
D5_14	6606.31	6433.74	4.76114	163	.000004
D5_15	4325.15	4300.39	.64259	165	.521381
D5_16	2473.43	2356.19	4.20145	165	.000043
D5_17	1661.18	1507.93	9.14234	164	.000000

1. táblázat A mérőpontok alapján végzett t-próba eredménye

Variable	Mean* N.fodiens	Mean N.anomalus	t-value	df	p
D6_7	1528.58	1458.80	5.34162	164	.000000
D6_8	2785.97	2666.15	6.26198	163	.000000
D6_9	5609.18	5239.26	8.50157	160	.000000
D6_10	5928.51	5644.32	8.30749	161	.000000
D6_11	7350.72	7077.80	6.94646	159	.000000
D6_12	5711.12	5466.05	7.98147	163	.000000
D6_13	7383.87	7151.45	3.98727	133	.000110
D6_14	5131.15	5000.58	4.29227	163	.000030
D6_15	3053.52	3035.49	.51799	165	.605160
D6_16	1714.19	1527.88	8.72325	165	.000000
D6_17	2490.76	2374.24	4.02312	164	.000087
D7_8	1259.51	1208.81	3.02141	163	.002922
D7_9	4666.44	4276.29	9.89905	159	.000000
D7_10	4523.74	4285.39	8.23632	160	.000000
D7_11	5941.72	5716.28	6.75860	158	.000000
D7_12	4183.10	4009.22	6.91341	162	.000000
D7_13	5860.93	5706.94	2.93287	132	.003961
D7_14	3623.33	3559.71	2.53652	162	.012142
D7_15	1924.82	1914.35	.40785	164	.683919
D7_16	1886.73	1687.46	8.58505	164	.000000
D7_17	3662.34	3554.71	3.13709	163	.002025
D8_9	4171.88	3768.48	10.90021	158	.000000
D8_10	3451.40	3250.43	6.67602	159	.000000
D8_11	4838.79	4655.44	5.17088	157	.000001
D8_12	2924.21	2804.14	4.16003	161	.000052
D8_13	4601.01	4512.07	1.58594	131	.115164
D8_14	2397.75	2374.40	.79160	161	.429760
D8_15	1598.47	1470.72	6.87597	163	.000000
D8_16	2746.47	2524.28	7.70711	163	.000000
D8_17	4775.57	4637.76	3.77424	162	.000225
D9_10	2556.96	2300.50	9.45818	160	.000000
D9_11	3289.50	3097.17	6.79938	158	.000000
D9_12	4248.66	3872.58	12.33807	160	.000000
D9_13	5811.31	5419.89	8.11974	131	.000000
D9_14	4815.94	4325.77	14.58910	159	0.000000
D9_15	5727.91	5182.90	12.62181	160	.000000
D9_16	6542.62	5958.47	12.33415	160	.000000
D9_17	8082.67	7613.74	8.70263	159	.000000
D10_11	1430.01	1436.57	-.35159	159	.725614
D10_12	1898.71	1780.23	5.83774	161	.000000
D10_13	3290.96	3140.69	4.18177	131	.000053
D10_14	2753.10	2467.63	12.83950	160	.000000
D10_15	4673.72	4264.46	10.58518	161	.000000
D10_16	6197.32	5771.04	11.38782	161	.000000
D10_17	8175.21	7842.49	7.43052	160	.000000
D11_12	2693.33	2587.17	5.01508	159	.000001
D11_13	3316.79	3121.80	6.60390	129	.000000
D11_14	3708.00	3413.34	11.44729	158	.000000
D11_15	5957.93	5553.45	8.86061	159	.000000
D11_16	7583.19	7173.15	9.62306	159	.000000
D11_17	9588.12	9270.40	6.37786	158	.000000
D12_13	1848.62	1840.76	.21441	133	.830553
D12_14	1036.96	839.74	10.96928	162	.000000
D12_15	3554.61	3209.08	9.43492	163	.000000
D12_16	5445.66	5118.46	9.70748	163	.000000
D12_17	7584.28	7344.80	5.52801	162	.000000
D13_14	2251.71	2162.56	2.14792	133	.033532
D13_15	4802.58	4537.18	4.79290	133	.000004
D13_16	6819.72	6582.11	4.11298	133	.000068
D13_17	9006.40	8826.07	2.64672	133	.009109
D14_15	2636.26	2470.62	4.37165	163	.000022
D14_16	4622.15	4471.50	4.42310	163	.000018
D14_17	6793.09	6718.35	1.74227	162	.083358
D15_16	2051.74	2087.72	-.89894	165	.369997
D15_17	4218.72	4317.43	-2.10461	164	.036850
D16_17	2175.29	2245.05	-1.76831	164	.078868

1. táblázat A mérőpontok alapján végzett t-próba eredménye





3. ábra Távolságotatok eloszlási képe

Távolságadatok alapján végzett diszkriminancia-analízis

Discriminant Function Analysis Summary (distance data)

No. of vars in model: 3; Grouping: SPECIES (2 grps) N=167

Wilks' Lambda: .38229 approx. F (3,163)=87.792 p<0.0000

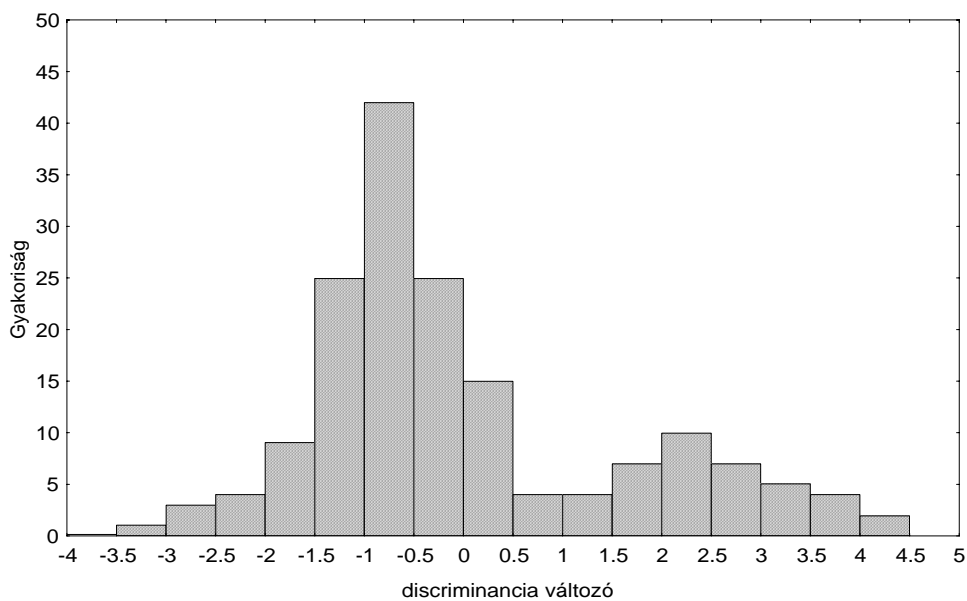
	Wilks' Lambda	Partial Lambda	F-remove (1,163)	p-level	Toler. Toler.	1-Toler. (R-Sqr.)
D1_8	.427117	.895052	19.11229	.000022	.411564	.588436
D1_11	.390877	.978037	3.66038	.057474	.300939	.699061
D9_14	.527404	.724857	61.87187	.000000	.604491	.395509

Classification Matrix

Rows: Observed classifications

Columns: Predicted classifications

	Percent Correct	N.fodiens p=.50000	N.anomalus p=.50000
N.fodiens	92.50000	37	3
N.anomalus	96.85040	4	123
Összesen	95.80838	41	126



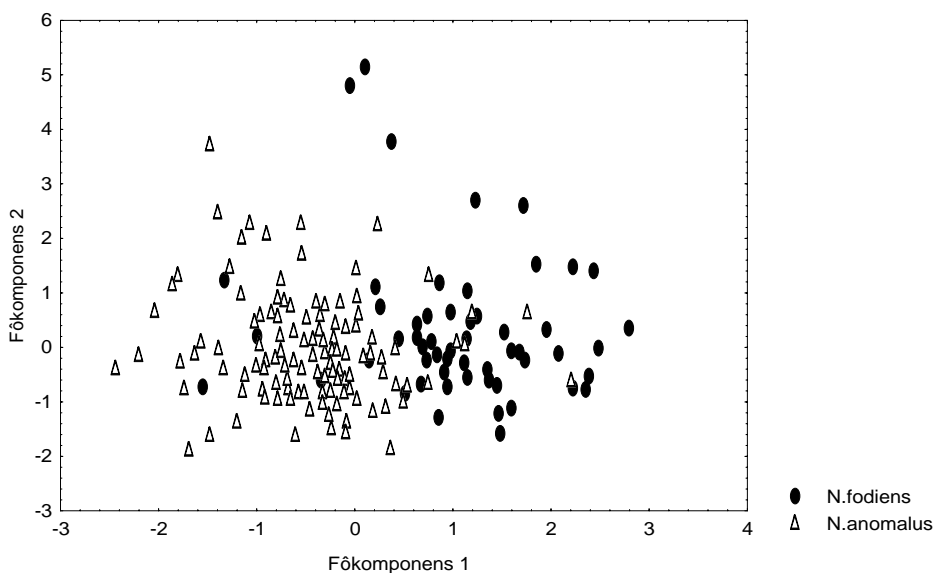
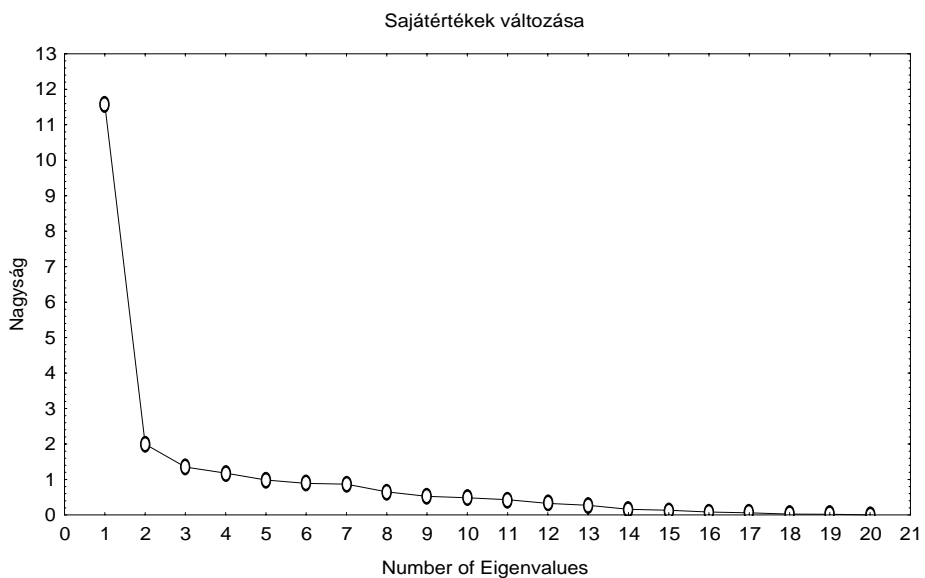
4. ábra Távolságadatok alapján végzett diszkriminancia-analízis eredménye

Távolságadatok alapján végzett főkomponens-analízis

Eigenvalues (distance data)

Extraction: Principal components

	Eigenval	% total Variance	Cumul. Eigenval	Cumul. %
1	11.56749	52.57951	11.56749	52.57951
2	1.99755	9.07978	13.56504	61.65929
3	1.35116	6.14165	14.91621	67.80093
4	1.17975	5.36248	16.09595	73.16341
5	.98585	4.48114	17.08180	77.64456
6	.88999	4.04539	17.97179	81.68994



5. ábra Távolságadatok alapján végzett főkomponens-analízis

4.1.2. Geometriai morfometriai módszerek

4.1.2.1.1. Mérőpontok elemzése

A korrelációs mátrixból kiderül, hogy a mérőpontok korreláltságuk szerint csoportokra oszlanak (2. táblázat). Két nagyobb csoport figyelhető meg. Az első nagy csoportba az állkapocs testén lévő mérőpontok tartoznak (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 16, 17), melyek igen erősen korrelálnak egymással. A legerősebb a korreláltság az egymás mellett lévő pontok között. A 2.pont Y koordinátája kilóg ebből a sorból, mert minden más ponttal gyengén korrelál. Ennek valószínűleg az az oka, hogy a metszőfog kopásának hatása ebben a változóban jelenik meg, és elfedi a morfológiai összefüggéseket.

A másik nagy csoportban az állkapocs nyúlványain található mérőpontok (9, 10, 11) találhatóak. Ezek a pontoknak gyengébben korrelálnak más pontok elhelyezkedésével, de azért megfigyelhető, hogy a csoport tagjai erősebben összefüggenek egymással mint más pontokkal. A 12. pont gyenge korreláltsága a többi ponttal érhető, hisz a 12.pont alkotja az origót és ezért szórása szinte nulla. (A program működési elvéből fakadóan nem minden esetben pontosan 0,0 ennek a pontnak a koordinátája.) A 13. pont gyenge korreláltsága a többi ponttal nehezen magyarázható. Egyrészt leggyakrabban ez a mérőpont hiányzik, másrészt elképzelhető, hogy ez a pont tényleg teljesen függetlenül viselkedik a többi ponttól.

Külön kis csoportot alkot a 14. és a 15. pont. Ezek a pontok közepes mértékben, szinte mindegyik más pont helyzetével korrelál és így egyfajta átmenetet alkotnak az előbb említett két csoport között

A Hotelling T^2 próbával elemezve a mérőpontokat, szinte mindegyikre szignifikáns különbséget kaptam. Kivétel a 12-es mérőpont, hiszen ez a pont jelöli ki a koordinátarendszer origóját.

A diszkriminancia-analízis alapján a két csoport jól elválik, habár a két csoport között némi átfedés van (6. ábra).

Érdekes eredményt adott a főkomponens-analízis. A főkomponens-változók alapján a két faj az első főkomponens alapján jól szétválik (7. ábra). Az eredeti változók főkomponens-súlyát ábrázolva megfigyelhető, hogy a mérőpontok X és Y koordinátái egymástól eltérően viselkednek és külön csoportot alkotnak a szórásdiagramon (8. ábra). Ez arra utal, hogy a adatok szórásának mértéke a két irányban nem azonos. Az ábrán a két mérőpont (12,13) külön csoportot alkot és mindkettő főkomponens-súlya nullához közeli. Ez a 12. pont esetében azzal magyarázható, hogy ez jelöli ki az origót. A 13. pont, az anguláris nyúlvány, gyakran letört és ezért regresszió számítással pótoltam ezt az adatot, ezért ennek a változónak a szórása kicsi.

Correlations

p<0,05

N=190 (Casewise deletion of missing data)

	01X	01Y	02X	02Y	03X	03Y	04X	04Y	05X	05Y	06X	06Y	07X	07Y	08X	08Y	09X	09Y	10X	10Y	11X	11Y	12X	12Y	13X	13Y	14X	14Y	15X	15Y	16X	16Y	17X	17Y		
01X	1.00	-.53	.86	-.05	.91	-.47	.89	-.40	.85	-.32	.83	-.28	.76	-.31	.64	-.30	.41	.71	.09	.45	-.00	.59	-.03	-.05	-.23	-.29	.43	-.53	.65	-.63	.73	-.64	.60	-.64		
01Y	-.53	1.00	-.69	.08	-.51	.92	-.55	.90	-.49	.84	-.49	.79	-.41	.75	-.23	.74	-.42	-.49	-.15	-.26	-.32	-.46	.08	.01	.06	.10	-.26	.53	-.45	.73	-.42	.87	-.35	.92		
02X	.86	-.69	1.00	-.03	.87	-.59	.90	-.53	.88	-.47	.85	-.44	.77	-.45	.66	-.41	.46	.69	.15	.47	.08	.63	-.08	-.03	-.20	-.20	.39	-.48	.61	-.63	.71	-.68	.63	-.72		
02Y	-.05	.08	-.03	1.00	-.06	.09	-.05	.13	-.05	.13	-.01	.07	-.05	.09	-.00	.11	-.10	.06	-.06	.16	-.07	.02	.05	.00	-.09	.06	-.04	.11	-.17	.11	-.01	.07	-.11	.05		
03X	.91	-.51	.87	-.06	1.00	-.40	.93	-.35	.88	-.28	.85	-.23	.81	-.26	.66	-.25	.48	.70	.09	.46	-.01	.60	-.05	-.03	-.14	-.30	.50	.64	-.59	.74	-.61	.61	-.60			
03Y	-.47	.92	-.59	.09	-.40	1.00	-.45	.92	-.40	.85	-.40	.81	-.34	.75	-.18	.72	-.38	-.43	-.19	-.25	-.36	-.39	.10	.04	.08	.02	-.21	.45	-.40	.67	-.34	.82	-.27	.89		
04X	.89	-.55	.90	-.05	.93	-.45	1.00	-.39	.94	-.30	.91	-.28	.86	-.30	.73	-.28	.47	.71	.18	.47	-.01	.57	-.05	-.01	-.14	-.33	.46	-.51	.66	-.60	.78	-.63	.66	-.63		
04Y	-.40	.90	-.53	.13	-.35	.92	-.39	1.00	-.34	.91	-.35	.85	-.30	.79	-.15	.77	-.37	-.31	-.20	-.17	-.36	-.34	.05	.05	.09	.00	-.13	.42	-.37	.68	-.28	.80	-.25	.84		
05X	.85	-.49	.88	-.05	.88	-.40	.94	-.34	1.00	-.27	.93	-.25	.87	-.28	.74	-.24	.48	.67	.19	.45	.00	.57	-.05	-.03	-.16	-.27	.42	-.45	.62	-.57	.74	-.57	.66	-.58		
05Y	-.32	.84	-.47	.13	-.28	.85	-.30	.91	-.27	1.00	-.27	.91	-.22	.86	-.05	.80	-.39	-.19	-.19	-.07	-.38	-.29	.07	-.01	.02	-.03	-.09	.38	-.28	.63	-.20	.74	-.19	.78		
06X	.83	-.49	.85	-.01	.85	-.40	.91	-.35	.93	-.27	1.00	-.24	.93	-.24	.80	-.21	.44	.68	.19	.45	.01	.52	-.02	-.06	-.15	-.31	.46	-.46	.60	-.53	.73	-.55	.68	-.56		
06Y	-.28	.79	-.44	.07	-.23	.81	-.28	.85	-.25	.91	-.24	1.00	-.19	.92	-.05	.84	-.38	-.13	-.24	-.02	-.38	-.23	.09	.07	.04	-.02	-.08	.37	-.26	.63	-.24	.72	-.18	.74		
07X	.76	-.41	.77	-.05	.81	-.34	.86	-.30	.87	-.22	.93	-.19	1.00	-.19	.83	-.16	.41	.63	.22	.41	-.01	.45	-.07	-.04	-.10	-.34	.50	-.44	.58	-.50	.71	-.50	.66	-.51		
07Y	-.31	.75	-.45	.09	-.26	.75	-.30	.79	-.28	.86	-.24	.92	-.19	1.00	-.02	.86	-.41	-.10	-.21	.04	-.35	-.18	.08	-.01	.03	.07	-.06	.46	-.28	.68	-.27	.73	-.20	.71		
08X	.64	-.23	.66	-.00	.66	-.18	.73	-.15	.74	-.05	.80	-.05	.83	-.02	1.00	-.04	.34	.51	.29	.41	-.07	.42	.01	-.09	-.17	-.21	.33	-.27	.49	-.34	.61	-.30	.64	-.33		
08Y	-.30	.74	-.41	.11	-.25	.72	-.28	.77	-.24	.80	-.21	.84	-.16	.86	-.04	1.00	-.32	-.11	-.12	.09	-.32	-.14	.02	-.03	.01	.14	-.02	.55	-.31	.71	-.24	.72	-.16	.70		
09X	.41	-.42	.46	-.10	.48	-.38	.47	-.37	.48	-.39	.44	-.38	.41	-.41	.34	-.32	1.00	.14	.37	.10	.43	.36	-.05	-.01	-.00	.02	.27	-.29	.27	-.41	.38	-.42	.32	-.42		
09Y	.71	-.49	.69	.06	.70	-.43	.71	-.31	.67	-.19	.68	-.13	.63	-.10	.51	-.11	1.00	-.03	.66	-.09	.64	-.06	-.04	-.18	-.21	.42	-.33	.50	-.42	.57	-.53	.49	-.56			
10X	.09	-.15	.15	-.06	.09	-.19	.18	-.20	.19	-.19	.19	-.24	.22	-.21	.29	-.12	.37	-.03	1.00	.11	.38	.12	-.09	-.05	.01	.19	.18	.01	.04	-.13	.21	-.14	.23	-.20		
10Y	.45	-.26	.47	.16	.46	-.25	.47	-.17	.45	-.07	.45	-.02	.41	.04	.41	.09	.10	.66	.11	1.00	-.12	.67	-.04	-.11	-.21	.14	.21	.03	.31	-.12	.34	-.25	.34	-.31		
11X	-.00	-.32	.08	-.07	-.01	-.36	-.01	-.36	.00	-.38	.01	-.38	.01	-.38	.01	-.35	-.07	-.32	.43	-.09	.38	-.12	1.00	.09	-.03	-.03	.17	.24	.16	-.06	-.06	-.14	.04	-.24	-.03	-.25
11Y	.59	-.46	.63	.02	.60	-.39	.57	-.34	.57	-.29	.52	-.23	.45	-.18	.42	-.14	.36	.64	.12	.67	.09	1.00	-.02	-.04	-.26	.22	.23	-.04	.39	-.32	.44	-.43	.35	-.48		
12X	-.03	.08	-.08	.05	-.05	.10	-.05	.05	-.05	.07	-.02	.09	-.07	.08	.01	.02	-.05	-.06	-.09	-.04	-.03	-.02	1.00	-.11	.05	.07	-.11	.08	.00	.05	-.04	.07	-.03	.10		
12Y	-.05	.01	-.03	.00	-.03	.04	-.01	.05	-.03	.01	-.06	.07	-.04	-.01	-.09	-.03	-.01	-.04	-.05	-.11	-.03	-.04	-.11	1.00	-.01	-.12	.06	-.02	.01	-.03	-.06	.03	-.06	-.01		
13X	-.23	.06	-.20	-.09	-.14	.08	-.14	.09	-.16	.02	-.15	.04	-.10	.03	-.17	.01	-.00	-.18	.01	-.21	.17	-.26	.05	-.01	1.00	.01	.15	.05	-.03	.08	-.14	.04	-.17	.07		
13Y	-.29	.10	-.20	.06	-.30	.02	-.33	.00	-.27	-.03	-.31	-.02	-.34	.07	-.21	.14	.02	-.21	.19	.14	.24	.22	.07	-.12	.01	1.00	-.22	.65	-.30	.39	-.30	.20	-.20	.20		
14X	.43	-.26	.39	-.04	.50	-.21	.46	-.13	.42	-.09	.46	-.08	.50	-.06	.33	-.02	.27	.42	.18	.21	.16	.23	-.11	.06	.15	-.22	1.00	-.29	.34	-.17	.42	-.29	.28	-.32		
14Y	-.53	.53	-.48	.11	-.50	.45	-.51	.42	-.45	.38	-.46	.37	-.44	.46	-.27	.55	-.29	-.33	.01	.03	-.06	-.04	.08	-.02	.05	.65	-.29	1.00	-.46	.77	-.46	.70	-.32	.60		
15X	.65	-.45	.61	-.17	.64	-.40	.66	-.37	.62	-.28	.60	-.26	.58	-.28	.49	-.31	.27	.50	.04	.31	-.06	.39	.00	.01	-.03	-.30	.34	-.46	1.00	-.58	.54	-.58	.40	-.52		
15Y	-.63	.73	-.63	.11	-.59	.67	-.60	.68	-.57	.63	-.50	.68	-.34	.71	-.41	-.42	-.13	-.12	.14	-.32	.05	.03	.08	-.14	.39	.17	.77	-.58	1.00	-.54	.90	-.35	.80			
16X	.73	-.42	.71	-.01	.74	-.34	.78	-.28	.74	-.20	.73	-.24	.71	-.27	.61	-.24	.38	.57	.21	.34	.04	.44	-.04	-.06	-.14	-.30	.42	-.46	.54	1.00	-.53	.64	-.49			
16Y	-.64	.87	-.68	.07	-.61	.82	-.63	.80	-.57	.74	-.55	.72	-.50	.73	-.30	.72	-.42	-.53	-.14	-.25	-.24	-.43	.07	.03	.04	.30	-.29	.70	-.58	.90	-.53	1.00	-.34	.93		
17X	.60	-.35	.63	-.11	.61	-.27	.66	-.25	.66	-.19	.68	-.18	.66	-.20	.64	-.16	.32	.49	.23	.34	-.03	.35	-.03	-.06	-.17	-.20	.28	-.32	.40	-.35	.64	-.34	1.00	-.36		
17Y	-.64	.92	-.72	.05	-.60	.89	-.63	.84	-.58	.78	-.56	.74	-.51	.71	-.33	.70	-.42	-.56	-.20	-.31	-.25	-.48	.10	-.01	.07	.20	-.32	.60	-.52	.80	-.49	.93	-.36	1.00		

2. táblázat A mérőpontok korrelációs mátrixa

Mérőpontok koordinátái alapján számolt diszkriminancia-analízis

Discriminant Function Analysis Summary (Cartesian landmark data)

No. of vars in model: 34; Grouping: SPECIES (2 grps)

Wilks' Lambda: .19234 approx. F (34,135)=16.673 p<0.0000

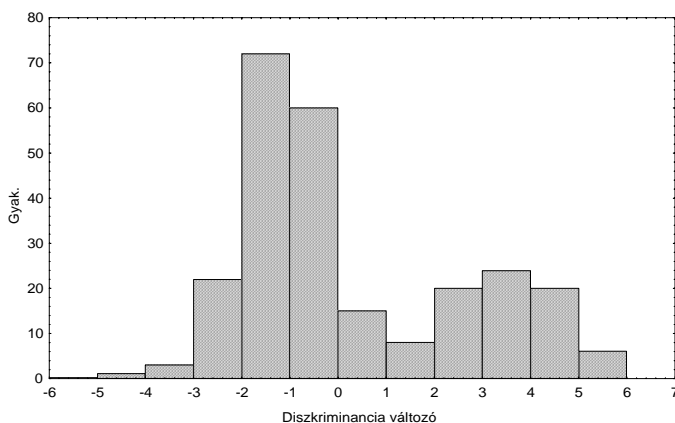
	Wilks' Lambda	Partial Lambda	F-remove (1,135)	p-level	Toler.	1-Toler. (R-Sqr.)
LMK_01_X	.194767	.987558	1.70088	.194392	.194315	.805685
LMK_01_Y	.207765	.925775	10.82384	.001278	.113278	.886722
LMK_02_X	.194650	.988151	1.61876	.205452	.141052	.858948
LMK_02_Y	.194420	.989320	1.45731	.229470	.788708	.211292
LMK_03_X	.194689	.987954	1.64608	.201691	.140080	.859920
LMK_03_Y	.201557	.954289	6.46664	.012120	.098944	.901056
LMK_04_X	.192866	.997294	.36623	.546080	.091116	.908884
LMK_04_Y	.192400	.999711	.03906	.843630	.108740	.891261
LMK_05_X	.192362	.999908	.01242	.911415	.106919	.893081
LMK_05_Y	.197790	.972466	3.82236	.052639	.108027	.891973
LMK_06_X	.193885	.992050	1.08189	.300135	.085733	.914267
LMK_06_Y	.201046	.956715	6.10781	.014703	.071562	.928438
LMK_07_X	.193431	.994381	.76285	.383988	.116963	.883037
LMK_07_Y	.196412	.979287	2.85546	.093372	.100978	.899022
LMK_08_X	.195020	.986278	1.87828	.172805	.245111	.754889
LMK_08_Y	.192583	.998759	.16771	.682806	.154324	.845676
LMK_09_X	.194733	.987733	1.67656	.197592	.454788	.545212
LMK_09_Y	.210918	.911937	13.03661	.000429	.328358	.671642
LMK_10_X	.192904	.997096	.39313	.531720	.456536	.543464
LMK_10_Y	.192516	.999106	.12073	.728783	.353515	.646484
LMK_11_X	.195662	.983043	2.32866	.129350	.443445	.556555
LMK_11_Y	.194030	.991310	1.18347	.278590	.277066	.722934
LMK_12_X	.193900	.991976	1.09206	.297884	.793516	.206484
LMK_12_Y	.193020	.996499	.47425	.492219	.758683	.241317
LMK_13_X	.193473	.994164	.79254	.374916	.653826	.346174
LMK_13_Y	.192708	.998111	.25554	.614022	.309179	.690821
LMK_14_X	.194530	.988760	1.53467	.217563	.595422	.404578
LMK_14_Y	.202297	.950801	6.98555	.009189	.274584	.725416
LMK_15_X	.210938	.911852	13.05033	.000427	.581580	.418420
LMK_15_Y	.196489	.978906	2.90905	.090384	.137071	.862929
LMK_16_X	.194508	.988874	1.51891	.219926	.499453	.500547
LMK_16_Y	.193575	.993642	.86384	.354326	.094258	.905742
LMK_17_X	.200087	.961299	5.43498	.021218	.482965	.517035
LMK_17_Y	.193954	.991697	1.13029	.289611	.112797	.887203

Classification Matrix

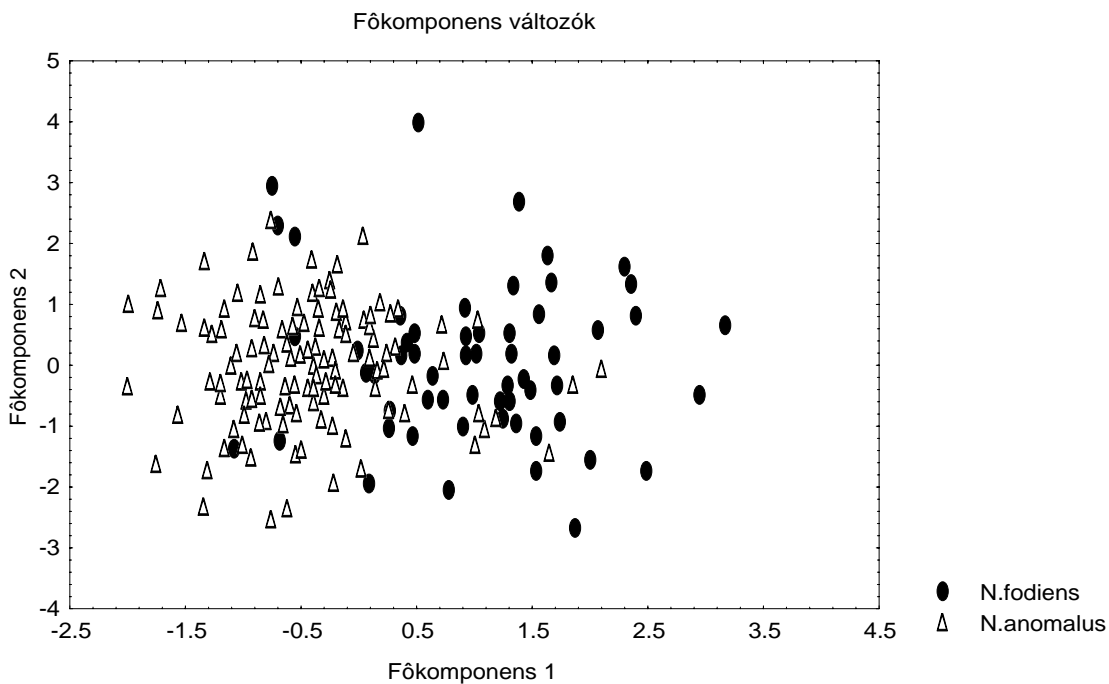
Rows: Observed classifications

Columns: Predicted classifications

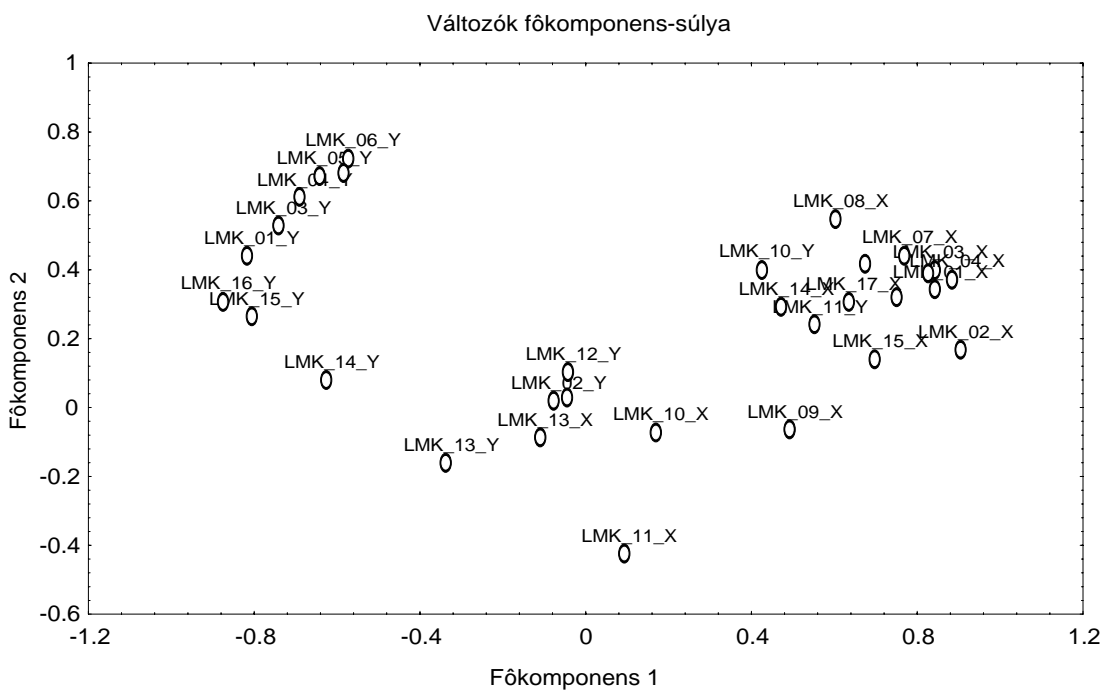
	Percent Correct	N.fodiens p=.50000	N.anomalous p=.50000
N.fodiens	97.67442	42	1
N.anomalous	98.42519	2	125
Összesen	98.23529	44	126



6. ábra Mérőpontok koordinátái alapján számolt diszkriminancia-analízis



7. ábra A mérőpont adataiból főkomponens-analízissel transzformált változók közül az első két főkomponens-változó szórási diagramja

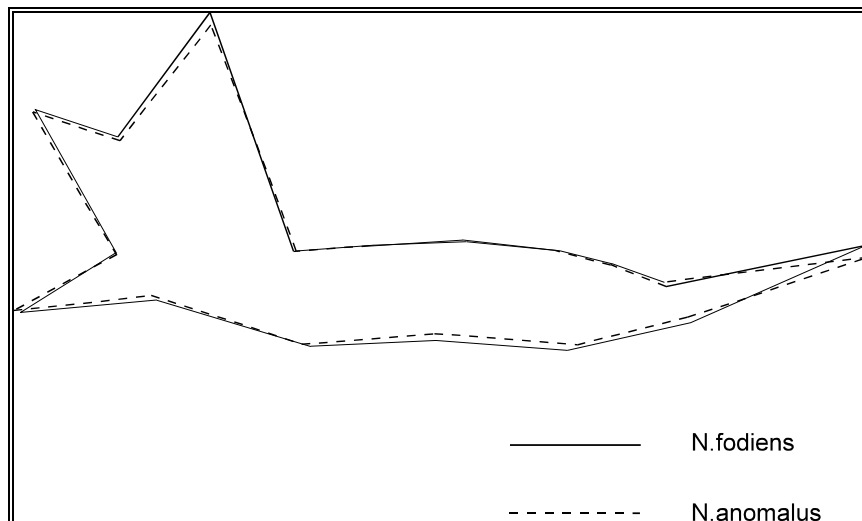


8. ábra Az eredeti mérőpontok alapján számolt főkomponens-súlya

4.1.2.1.2. Prokrusztész analízis

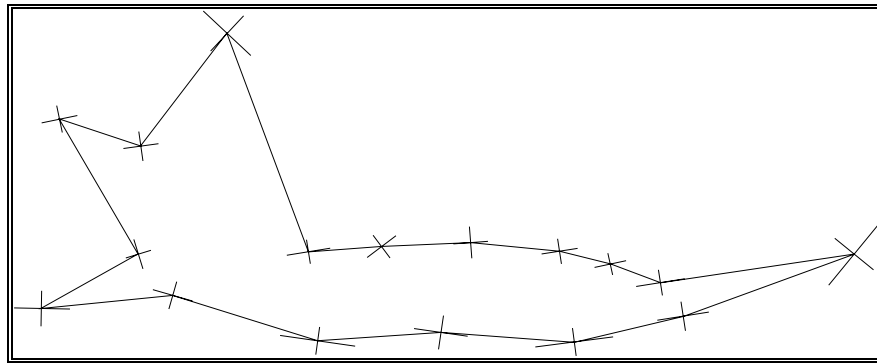
A legkisebb négyzetösszeg-illesztéssel transzformáltam az adatokat. A két jól meghatározott csoport átlaga volt a referencia. Hasonló megállapításra juthattam, mint az előbbi mérőpontok analíziséből. Egységnyi centroidméretre átskálázva a példányokat megfigyelhetjük, hogy a *N. fodiens* állkapcsának teste szélesebb és íveltebb, másrészt a koronoid-magassága is nagyobb mint a *N. anomalus*-é (9. ábra). A koronoid-magasság növekedését két mérőpont (9., 14.) együttes, ellentétes irányú elmozdulása okozza a *N. fodiens*-nél. A processus coronoideus legfelső pontja felfelé mozdul el, míg a vele szemben lévő hajlat legmélyebb pontja lefelé. Ez a két apró változás tolómérővel is jól mérhető méretbeli különbséget okoz. Az állkapocs testén a 16. pont szintén lefelé mozdul el a *N. fodiens*-nél, míg a vele szemben lévő 6. mérőpont pozíciója változatlan marad és így ez a változás a hagyományos morfometriai módszerekkel nehezebben mutatható ki. Ugyanígy szinte érzékelhetetlen hagyományos módszerekkel, hogy az állkapocs teste íveltebb a *N. fodiens*-nél.

Az ábrán szemmel is látható különbségeket igazolja a Hotelling T^2 próba eredménye. Csak a 4. és a 8. pont nem különbözik szignifikánsan $p < 0.01$ valószínűségi szinten.



9.ábra A két faj legkisebb négyzetösszeg-illesztéssel transzformált mérőpontjainak átlaga

A mérőpontok varianciáját vizsgálva főkomponens-analízissel (10. ábra) megállapítható, hogy milyen irányban a legnagyobb a mérőpont eloszlásának varianciája. Az 1, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 14 pontok első két sajátvektora mindkét irányban közel azonos. Az 1, 15, 16, 17 pontok első sajátvektora viszont sokkal nagyobb a másodikonál. Ennek oka az lehetne, hogy a mérőpontok eloszlása a két csoportban különböző. Ebben az esetben viszont más a helyzet. Az 1-es pont nagy variabilitását a metszőfog kopásának tudható be. A 15, 16, 17-es pontok nagy variabilitása viszont a nehéz meghatározhatóság miatt van. Az első sajátértékvektor párhuzamos a körvonallal és ez azt jelenti, hogy a mérés során ezek a mérőpontok a körvonal mentén elcsúszhatnak mindkét irányba.



10. ábra A mérőpontokra számolt első két sajátvektor iránya és relatív nagysága az átlag állkapocs képén.

A diszkriminancia-analízis alapján a két faj szétválik, de az átfedés megmarad közöttük (11. ábra). A számításban felhasznált egyedeket újra besorolva mindössze három esetben kaptam eltérő eredményt.

Prokrusztész analízissel transzformált mérőpont-koordináták
diszkriminancia-analízise

Discriminant Function Analysis Summary

Step 25, N of vars in model: 25; Grouping: SPECIES (2 grps)

Wilks' Lambda: .23581 approx. F (25,148)=19.185 p<0.0000

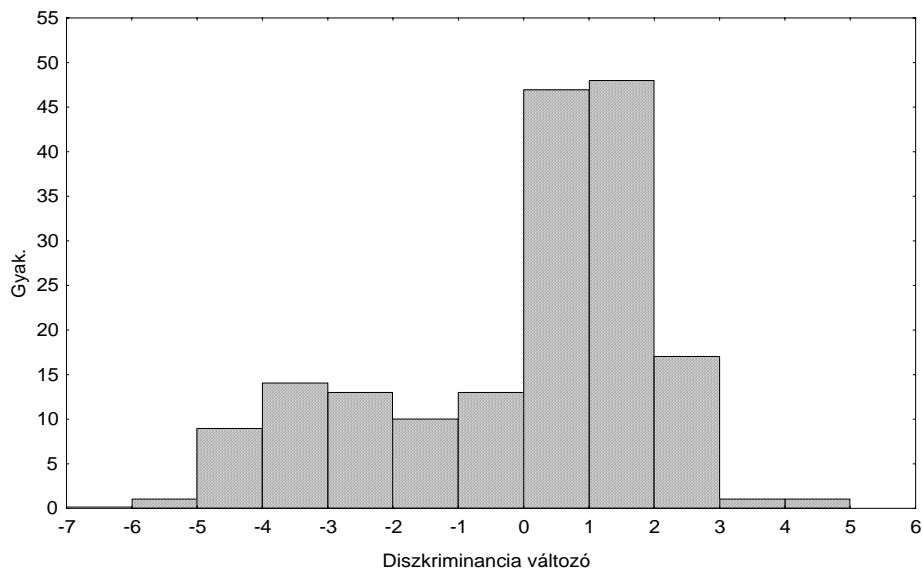
	Wilks' Lambda	Partial Lambda	F-remove (1,148)	p-level	Toler. Toler.	1-Toler. (R-Sqr.)
LMK_01_Y	.276797	.851933	25.72259	.000001	.683756	.316244
LMK_02_X	.245062	.962255	5.80535	.017206	.251139	.748861
LMK_03_X	.235883	.999700	.04448	.833257	.352003	.647997
LMK_03_Y	.248310	.949669	7.84385	.005781	.569901	.430099
LMK_04_X	.238298	.989567	1.56031	.213592	.539469	.460531
LMK_04_Y	.238010	.990765	1.37954	.242066	.753271	.246729
LMK_06_X	.236835	.995682	.64176	.424357	.391242	.608758
LMK_06_Y	.240834	.979149	3.15172	.077902	.274841	.725159
LMK_07_X	.240388	.980967	2.87161	.092258	.330319	.669681
LMK_07_Y	.247290	.953585	7.20384	.008104	.296062	.703938
LMK_08_X	.237670	.992184	1.16588	.282005	.438685	.561315
LMK_09_X	.243194	.969649	4.63257	.032992	.338613	.661387
LMK_09_Y	.237524	.992794	1.07421	.301687	.276540	.723460
LMK_11_X	.244709	.963643	5.58388	.019427	.318180	.681820
LMK_11_Y	.239538	.984447	2.33817	.128372	.388927	.611073
LMK_12_X	.238678	.987994	1.79852	.181945	.560884	.439116
LMK_13_X	.238453	.988924	1.65756	.199943	.222265	.777735
LMK_13_Y	.238844	.987308	1.90262	.169866	.474250	.525750
LMK_14_X	.241011	.978431	3.26252	.072912	.437296	.562704
LMK_14_Y	.259977	.907049	15.16641	.000149	.497466	.502534
LMK_15_X	.253489	.930267	11.09410	.001094	.368936	.631064
LMK_15_Y	.245109	.962073	5.83444	.016935	.384953	.615047
LMK_16_Y	.252416	.934220	10.42086	.001535	.374339	.625661
LMK_17_X	.253079	.931774	10.83674	.001244	.478477	.521523
LMK_17_Y	.237170	.994275	.85223	.357426	.610228	.389772

Classification Matrix

Rows: Observed classifications

Columns: Predicted classifications

	Percent Correct	N.fodiens p=.50000	N.anomalus p=.50000
N.fodiens	100.0000	44	0
N.anomalus	97.6923	3	127
Összesen	98.2759	47	127

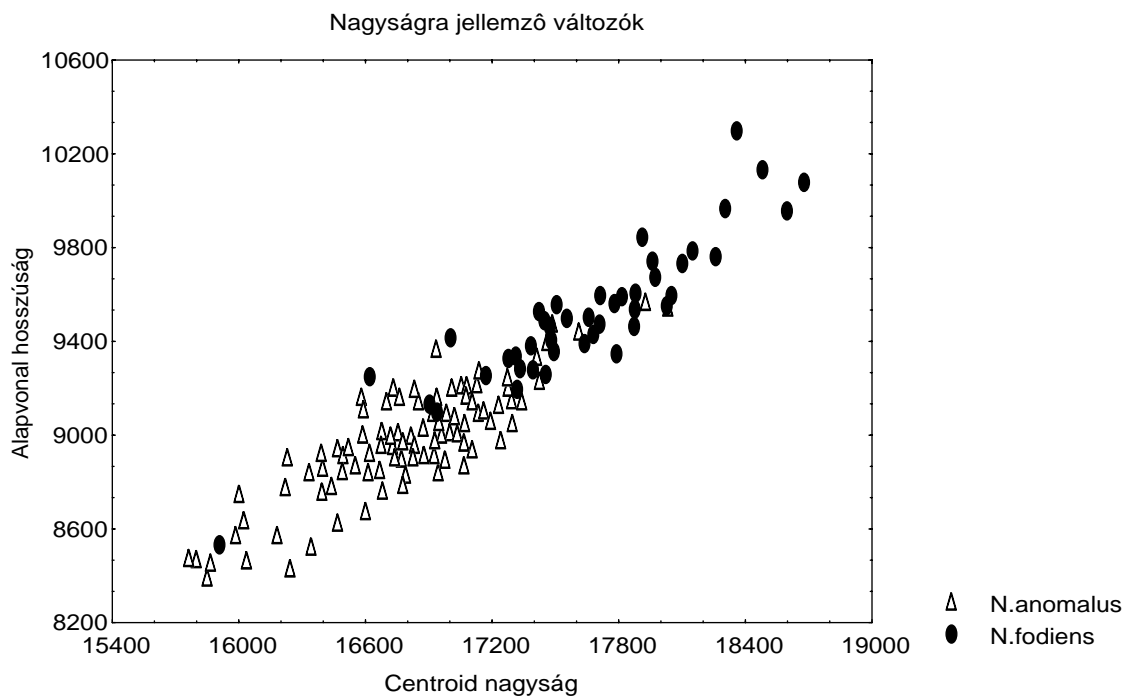


11. ábra Prokrusztész analízissel transzformált mérőpont-koordináták alapján számolt diszkriminancia-analízise eredményei

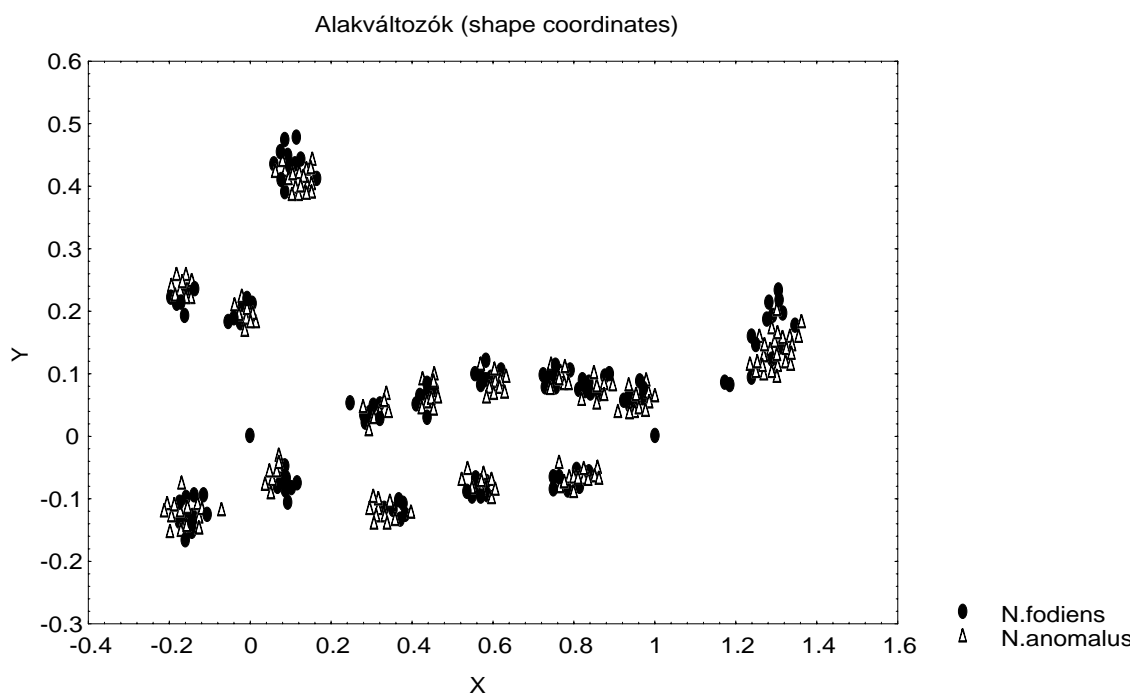
4.1.2.1.3. Alakváltozók

A centroid nagyság és az alapvonal (*dI-12*) hosszúsága alapján a kétváltozós szórásdiagramon (12. ábra) a két faj jól szétválik. A két változó erősen korrelál egymással és a pontok nagyjából egy egyenes mentén fekszenek. Ez azt mutatja, hogy az alapvonalul kiválasztott egyenes változása egybeesik a centroid nagyságának változásával. Az alakváltozókat ábrázolva (13. ábra) hasonló jellegű különbségek figyelhetők meg, mint a mérőpontok vagy a Prokrusztész analízis során. A *N. fodiens* állkapcsának teste valamivel íveltebb és vastagabb, a koronoid nyúlványnál pedig szélesebb mint a *N. anomalus*. Az ábrán tett megállapításokat alátámasztják a Hotelling T^2 próbával kapott eredmények. A pontok közül $p < 0.01$ valószínűségi szinten csak a 3., 8., 10., 11. nem különbözik szignifikánsan.

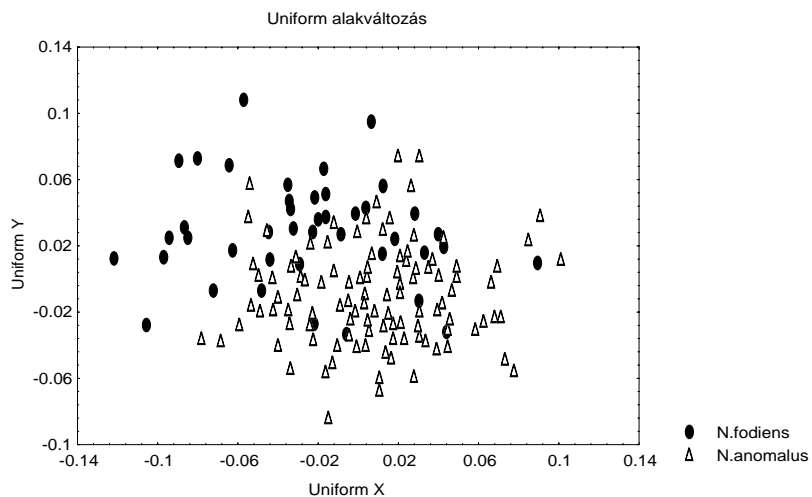
Az egységes X- és Y-alakváltozást vizsgálva a két változó szórásdiagramján látható, hogy viszonylag kis értékekről van szó, azaz az ilyen jellegű változások nem jelentősek (14. ábra). A kétváltozós szórásdiagramon látható, hogy a két faj elkülönül. Az egységes alakváltozás irányait külön-külön vizsgálva megfigyelhető, hogy az elkülönüléshez az egységes Y irányú alakváltozás jobban hozzájárul (15. ábra).



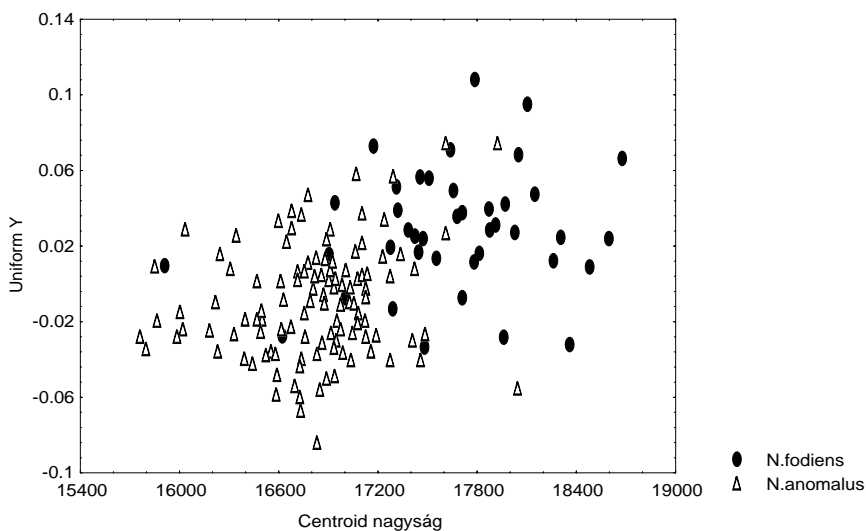
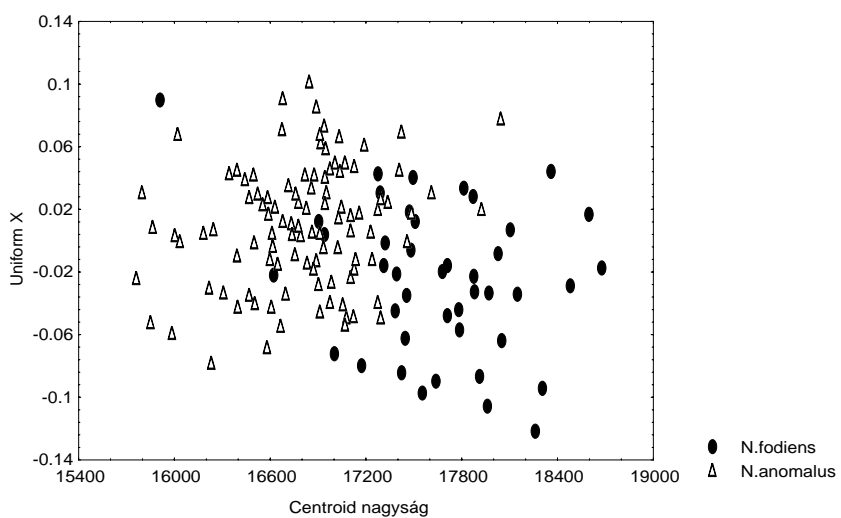
12. ábra A méretre jellemző két változó szórásdiagramja



13. ábra A két faj alakváltozóinak szórásdiagramja



14. ábra A uniform X és a uniform Y alakváltozás kétváltozós szórásdiagramja



15. ábra A uniform X és a uniform Y változás a centroid nagyságának függvényében

4.1.2.2. Elliptikus Fourier analízis

A külső morfológiai bélyegek alapján biztosan meghatározott egyedekből két csoportot alkotva a t-próba eltérő eredményeket ad, ha a csontokat külön vizsgáljuk aszerint, hogy töröttek-e vagy sem. Ha a t-próbában csak azoknak a csontoknak az adatait tartjuk meg, melyek teljesen épek, akkor a szignifikánsan különböző változók szignifikanciaszintje nő, és több változóra kapunk szignifikáns különbözőséget $p < 0.001$ szinten (3. táblázat). Ebből arra következtethetünk, hogy az elliptikus Fourier analízis érzékeny a hiányzó adatokra. Problémát jelent, hogy magukban a Fourier-együtthatókban a hiányzó adatok nem jelentkeznek, külön kell az adatfelvétel közben feljegyezni, ha a csont hiányos vagy törött volt. A szignifikánsan különböző Fourier-együtthatók eloszlása a harminc harmonikus tag között teljesen véletlenszerű, nem lehet kiemelni egy tartományt, ahol több szignifikánsan különböző együttható található. Ez jól egybevágh azzal, hogy az alakban levő különbségek több harmonikus együtthatóban szétkenődve jelennek meg (Bookstein, 1982).

A diszkriminancia-analízis során két referencia csoport alapján próbáltam a két faj között különbséget találni. Ennél a statisztikai módszernél különösen gondot okoz a Fourier-együtthatók nagy száma (122), melyhez képest az adatok száma (257) kevés. Valamilyen formában szelektálni kellett a változókat. A rendelkezésre álló 30 harmonikus 120 együtthatója közül válogatva a két csoport elég élesen szétválik (16. ábra), az egyedek helyes besorolása jó. Kérdés marad, hogy a faji besorolás nagy valószínűsége idokolható-e a használt változók magas számával. Ennek egyik ellenőrzési módja lehet, hogy a külső morfológiai bélyegek alapján meg nem határozott egyedek faji besorolását összehasonlítom más adatok (mérőpontok, távolsági) alapján kapott faji besorolással. Az eredmény egy hiányossága, hogy az ép és törött csontok között a végeredményben különbség nem vehető észre. Az eredményeket kétségessé teszi az a tény, hogy a törött csontok faji besorolása sok esetben magas, amely tény ellentmond a t-próba és a főkomponens-analízis eredményeinek.

A főkomponens-analízist a teljes adatsoron futtatva, minden előzetes csoportosítás nélkül végeztem. A kivont főkomponensek nem felelősek a teljes variancia nagyobb hányadáért, így értékelésük nehéz. Az első sajátvektor az összvariancia 40%-át, míg az első kilenc sajátvektor az összvariancia 90%-át magyarázza. Egyetlen érdekes eredmény, hogy a hiányos csontok csoportja elkülönül az ép csontokétól az első két sajátérték vetületében ábrázolva (17. ábra). A két faj szerint csoportosítva az adatokat ugyanezen az ábrán elkülönülés nem látható. Ez azt jelenti, hogy a teljes variancia nagy részét a törött csontok átlagtól való eltérése okozza.

A megismételve a diszkriminancia-analízist négy csoportra, (faj valamint a csont épsége szerint csoportosítva) az eredmények meglepően jók. A két faj szétválását jelző érték (Wilks' lambda) kicsi, ami erős szétválást jelent. Az ismert hovatartozású példányok besorolása az eljárással pontos. A hibás besorolás gyakran olyan esetben történt, ahol egy mérőpont hiányzik és ekkor a program az állatot

ugyanabba a fajba, de a nem törött példányok közé sorolja. Másik biztató eredmény, hogy viszonylag kevés harmonikus együttható elég a csoportok szétválasztásához. Ez első tíz (18. ábra) és öt harmonikussal (19. ábra) végezve az analízist (39 és 19 változó) mindkét esetben jó szétválást kaptam, és a meghatározatlan egyedek besorolási valószínűsége magas. Az a tény, hogy az alacsonyabb rendű harmonikusok alapján is elkülönül a két faj, arra enged következtetni, hogy az állkapcsok alakjában jelentős különbségek vannak, és ez a különbség a körvonal elemzéssel kimutatható.

Variable	Mean N.anomalus	Mean N.fodiens	t-value	df	p
COEF_A0	331.4170*	374.9912*	-5.58110*	125*	.000000*
COEF_C0	272.1096*	298.7781*	-2.59749*	125*	.010518*
COEF_C1	0.0000	0.0000	--	125	--
COEF_D1	-.2506*	-.2621*	4.35991*	125*	.000027*
COEF_A2	-.1394*	-.1492*	2.90944*	125*	.004287*
COEF_B2	.1848	.1836	.28030	125	.779712
COEF_C2	.1318*	.1510*	-5.90845*	125*	.000000*
COEF_D2	-.0757*	-.0818*	2.59991*	125*	.010448*
COEF_A3	.0312	.0327	-.65962	125	.510713
COEF_B3	-.0415	-.0372	-1.52486	125	.129819
COEF_C3	.0316	.0272	1.32232	125	.188475
COEF_D3	-.0789	-.0783	-.22609	125	.821504
COEF_A4	-.0206*	-.0177*	-2.20618*	125*	.029199*
COEF_B4	.0309	.0288	.99115	125	.323528
COEF_C4	-.0112	-.0109	-.14953	125	.881373
COEF_D4	-.0621	-.0623	.09797	125	.922114
COEF_A5	.0372*	.0412*	-2.90401*	125*	.004357*
COEF_B5	-.0489*	-.0432*	-2.72086*	125*	.007440*
COEF_C5	-.0296*	-.0346*	3.83830*	125*	.000196*
COEF_D5	.0233*	.0309*	-2.96563*	125*	.003619*
COEF_A6	.0276	.0274	.11554	125	.908199
COEF_B6	.0059*	.0116*	-2.44295*	125*	.015965*
COEF_C6	-.0047	-.0080	1.22464	125	.223012
COEF_D6	.0252	.0243	.51714	125	.605974
COEF_A7	.0325	.0303	1.92007	125	.057127
COEF_B7	-.0221*	-.0106*	-5.21360*	125*	.000001*
COEF_C7	.0048*	-.0053*	3.96429*	125*	.000123*
COEF_D7	.0468	.0445	1.43133	125	.154831
COEF_A8	.0237*	.0171*	4.81265*	125*	.000004*
COEF_B8	.0184*	.0256*	-4.13080*	125*	.000066*
COEF_C8	.0132*	.0090*	2.61480*	125*	.010026*
COEF_D8	.0091	.0053	1.75070	125	.082450
COEF_A9	.0083*	.0025*	3.34790*	125*	.001076*
COEF_B9	.0039*	.0112*	-6.12198*	125*	.000000*
COEF_C9	.0040	.0043	-.21584	125	.829462
COEF_D9	-.0019*	.0039*	-3.49357*	125*	.000660*
COEF_A10	.0077*	.0010*	4.58671*	125*	.000011*
COEF_B10	.0213	.0222	-.99394	125	.322173
COEF_C10	.0127	.0132	-.56215	125	.575024
COEF_D10	-.0113*	-.0073*	-3.71517*	125*	.000305*
COEF_A11	-.0030*	-.0063*	2.48741*	125*	.014185*
COEF_B11	.0073	.0066	.61667	125	.538575
COEF_C11	.0109	.0115	-.79848	125	.426106
COEF_D11	.0065*	.0114*	-4.29953*	125*	.000034*
COEF_A12	.0019*	-.0001*	3.38707*	125*	.000945*
COEF_B12	.0046	.0038	.72165	125	.471859
COEF_C12	.0074*	.0052*	2.67383*	125*	.008501*
COEF_D12	-.0020	-.0007	-1.06261	125	.290007
COEF_A13	-.0020*	-.0003*	-2.67486*	125*	.008476*
COEF_B13	-.0056	-.0049	-.76343	125	.446644
COEF_C13	.0056	.0040	1.55225	125	.123131
COEF_D13	.0025	.0044	-1.82502	125	.070386
COEF_A14	.0024*	.0054*	-3.62205*	125*	.000423*
COEF_B14	-.0077*	-.0053*	-4.20308*	125*	.000050*
COEF_C14	.0000	.0012	-1.67377	125	.096676
COEF_D14	-.0068*	-.0049*	-2.70898*	125*	.007696*
COEF_A15	-.0015*	.0015*	-4.04573*	125*	.000091*
COEF_B15	-.0035	-.0035	.10312	125	.918031
COEF_C15	-.0028*	-.0003*	-4.95366*	125*	.000002*
COEF_D15	-.0018	-.0010	-1.05015	125	.295675
COEF_A16	.0057	.0056	.14274	125	.886724
COEF_B16	-.0025*	-.0003*	-3.74514*	125*	.000274*
COEF_C16	.0003	-.0006	.97236	125	.332750
COEF_D16	.0038	.0029	1.44456	125	.151083
COEF_A17	.0010	.0011	-.16348	125	.870405

3. táblázat A Fourier együtthatók alapján végzett t-próba eredménye (csak az ép csontok adatait felhasználva)

Variable	Mean N.anomalus	Mean N.fodiens	t-value	df	p
COEF_B17	-.0007*	.0013*	-3.62354*	125*	.000421*
COEF_C17	.0067	.0061	.89280	125	.373678
COEF_D17	-.0008*	.0022*	-5.05504*	125*	.000001*
COEF_A18	.0012*	-.0004*	3.69546*	125*	.000327*
COEF_B18	.0005*	.0016*	-2.74472*	125*	.006949*
COEF_C18	-.0024	-.0024	-.19565	125	.845206
COEF_D18	.0013	.0003	1.20657	125	.229875
COEF_A19	-.0002*	-.0012*	2.42943*	125*	.016544*
COEF_B19	.0029*	.0041*	-2.62439*	125*	.009763*
COEF_C19	.0042*	.0024*	3.06856*	125*	.002638*
COEF_D19	.0021*	.0034*	-2.60670*	125*	.010253*
COEF_A20	.0003	.0001	.40271	125	.687846
COEF_B20	-.0005	.0002	-1.72363	125	.087247
COEF_C20	-.0003*	.0010*	-2.57092*	125*	.011315*
COEF_D20	-.0025*	-.0009*	-3.04537*	125*	.002835*
COEF_A21	.0004	-.0005	1.96238	125	.051939
COEF_B21	.0014	.0014	-.03886	125	.969067
COEF_C21	-.0005	-.0003	-.41262	125	.680592
COEF_D21	.0004*	-.0012*	4.18144*	125*	.000054*
COEF_A22	.0018*	.0009*	1.98832*	125*	.048961*
COEF_B22	-.0009*	.0006*	-2.96878*	125*	.003585*
COEF_C22	.0015	.0011	.69964	125	.485453
COEF_D22	.0010	.0017	-1.51591	125	.132066
COEF_A23	.0023*	.0010*	2.79290*	125*	.006046*
COEF_B23	.0000*	.0014*	-3.23635*	125*	.001550*
COEF_C23	-.0010*	.0006*	-3.80184*	125*	.000223*
COEF_D23	-.0024	-.0030	1.12148	125	.264233
COEF_A24	.0006	.0000	1.32656	125	.187072
COEF_B24	-.0009*	-.0002*	-2.01404*	125*	.046152*
COEF_C24	.0004	.0002	.22352	125	.823497
COEF_D24	.0014	.0019	-1.24254	125	.216365
COEF_A25	.0010*	-.0002*	3.53383*	125*	.000575*
COEF_B25	.0017	.0014	.91333	125	.362828
COEF_C25	-.0004*	.0027*	-5.95183*	125*	.000000*
COEF_D25	-.0036*	-.0025*	-2.35243*	125*	.020213*
COEF_A26	-.0006*	-.0015*	2.29566*	125*	.023361*
COEF_B26	.0003*	-.0004*	2.13419*	125*	.034780*
COEF_C26	-.0015	-.0023	1.54003	125	.126080
COEF_D26	.0020*	.0010*	2.05124*	125*	.042333*
COEF_A27	.0007*	-.0009*	5.37272*	125*	.000000*
COEF_B27	.0016	.0011	1.39460	125	.165610
COEF_C27	.0031*	.0021*	2.28367*	125*	.024078*
COEF_D27	-.0011*	.0012*	-4.43993*	125*	.000020*
COEF_A28	-.0006	-.0001	-1.63771	125	.103997
COEF_B28	-.0009	-.0008	-.36886	125	.712859
COEF_C28	-.0015*	-.0004*	-2.91029*	125*	.004276*
COEF_D28	.0001	-.0003	.64934	125	.517313
COEF_A29	-.0008	-.0008	.01279	125	.989819
COEF_B29	.0006*	-.0002*	2.40050*	125*	.017847*
COEF_C29	.0008	-.0001	1.95988	125	.052234
COEF_D29	.0008	.0006	.71764	125	.474317
COEF_A30	.0006	.0004	.47212	125	.637663
COEF_B30	-.0002*	.0008*	-2.86548*	125*	.004887*
COEF_C30	.0003	.0008	-1.29829	125	.196577
COEF_D30	-.0010*	-.0001*	-2.36304*	125*	.019668*

3. táblázat A Fourier-együtthatók alapján számolt diszkriminancia-analízis eredményei

Fourier-együtthatók alapján számolt diszkriminancia-analízis (Két csoport)

Discriminant Function Analysis Summary (fourier coefficients)

No. of vars in model: 39; Grouping: SPECIES (2 grps)

Wilks' Lambda: .20361 approx. F (39,130)=13.038 p< .0000

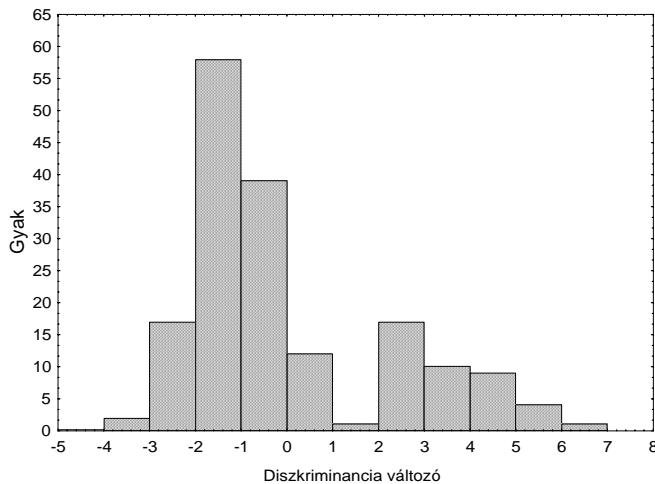
	Wilks' Lambda	Partial Lambda	F-remove (1,130)	p-level	1-Toler. Toler. (R-Sqr.)	
COEF_A0	.214016	.951368	6.64530	.011056	.769124	.230876
COEF_C0	.204428	.995991	.52333	.470726	.714026	.285974
COEF_D1	.211512	.962631	5.04657	.026362	.087605	.912395
COEF_A2	.203646	.999816	.02396	.877230	.066786	.933214
COEF_B2	.204647	.994921	.66359	.416785	.080829	.919171
COEF_C2	.205361	.991464	1.11927	.292038	.067310	.932690
COEF_D2	.208608	.976034	3.19210	.076326	.038913	.961087
COEF_A3	.204845	.993961	.78985	.375788	.085536	.914464
COEF_B3	.205118	.992640	.96391	.328027	.095835	.904165
COEF_C3	.203686	.999619	.04948	.824315	.034889	.965111
COEF_D3	.213001	.955902	5.99720	.015661	.033329	.966671
COEF_A4	.204751	.994419	.72961	.394581	.185630	.814370
COEF_B4	.203614	.999973	.00349	.953003	.058416	.941584
COEF_C4	.204843	.993973	.78831	.376251	.049082	.950918
COEF_D4	.219500	.927599	10.14675	.001810	.045238	.954762
COEF_A5	.203839	.998866	.14758	.701487	.077870	.922130
COEF_B5	.204028	.997944	.26787	.605644	.029019	.970981
COEF_C5	.206486	.986064	1.83729	.177620	.056958	.943042
COEF_D5	.218906	.930117	9.76735	.002191	.029671	.970329
COEF_A6	.204779	.994284	.74731	.388923	.028096	.971904
COEF_B6	.205854	.989092	1.43366	.233346	.028391	.971609
COEF_C6	.212783	.956880	5.85818	.016887	.023704	.976296
COEF_D6	.203612	.999979	.00276	.958194	.030336	.969664
COEF_A7	.203692	.999588	.05362	.817243	.025338	.974662
COEF_B7	.203723	.999438	.07304	.787392	.024999	.975001
COEF_C7	.229361	.887718	16.44294	.000086	.019033	.980967
COEF_D7	.204398	.996134	.50454	.478783	.025192	.974808
COEF_A8	.207523	.981134	2.49979	.116291	.019933	.980067
COEF_B8	.208912	.974614	3.38608	.068030	.047564	.952436
COEF_C8	.203673	.999681	.04150	.838891	.038535	.961465
COEF_D8	.225511	.902876	13.98437	.000275	.041599	.958401
COEF_A9	.209306	.972779	3.63775	.058689	.022480	.977520
COEF_B9	.205442	.991075	1.17072	.281256	.054921	.945079
COEF_C9	.219361	.928186	10.05814	.001892	.051315	.948685
COEF_D9	.248537	.819226	28.68632	.000000	.052968	.947032
COEF_A10	.205235	.992073	1.03870	.310017	.047825	.952175
COEF_B10	.204029	.997938	.26857	.605176	.034491	.965509
COEF_C10	.208530	.976397	3.14259	.078615	.102638	.897362
COEF_D10	.209334	.972646	3.65607	.058066	.118507	.881493

Classification Matrix (four1.sta)

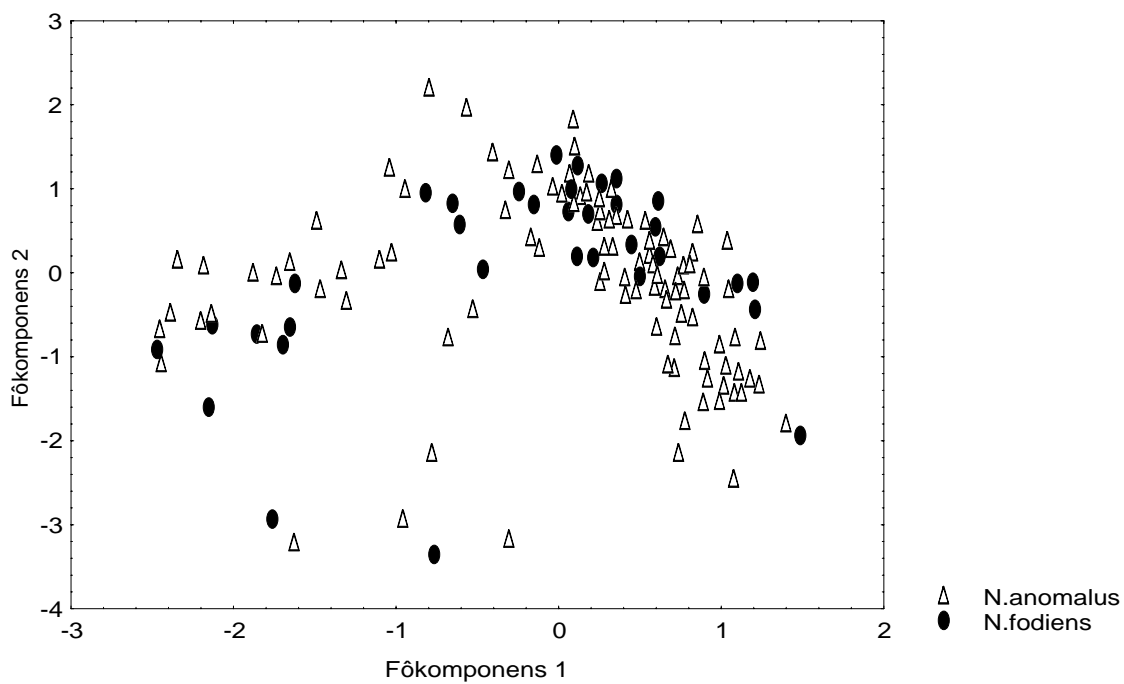
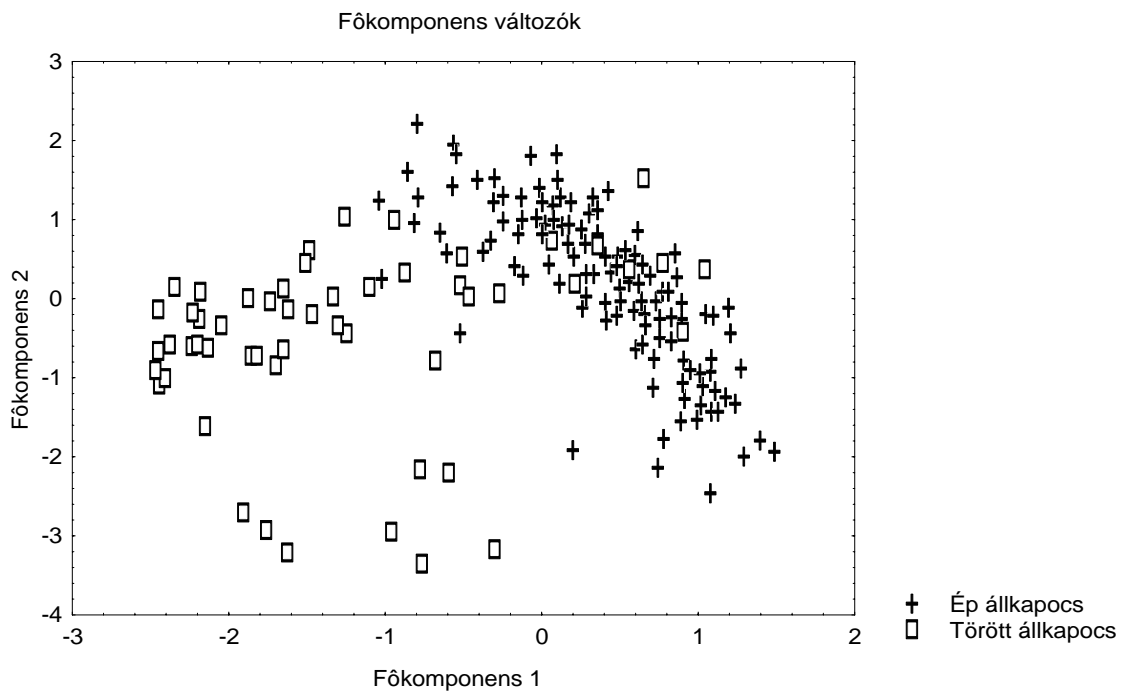
Rows: Observed classifications

Columns: Predicted classifications

	Percent Correct	N.fodiens p=.50000	N.anomalus p=.50000
N.fodiens	97.56097	40 1	
N.anomalus	98.44962	2 127	
Total	98.23529	42 128	



16. ábra Fourier-együtthatók alapján számolt diszkriminancia-analízis eredményei



17. ábra Fourier-együtthatókból számolt főkomponens-analízis alapján kapott új változók szórásdiagramja az ép és törött csontokra, majd a két vizicickányfajra

Fourier-együtthatók alapján számolt diszkriminancia-analízis (Négy csoport, 39 változó)

Discriminant Function Analysis Summary (fourier coefficients)
 No. of vars in model: 39; Grouping: Species and Broken (4 grps)
 Wilks' Lambda: .02162 approx. F (117,384)=8.5292 p<0.0000

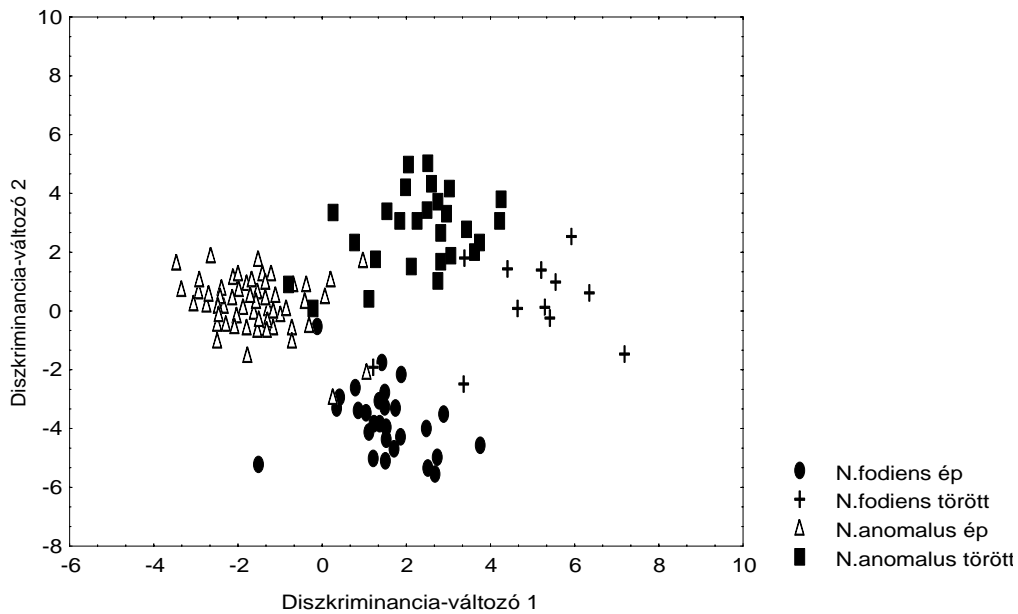
	Wilks' Lambda	Partial Lambda	F-remove (3,128)	p-level	Toler.	1-Toler. (R-Sqr.)
COEF_A0	.023145	.934096	3.01032	.032652	.789920	.210080
COEF_C0	.022235	.972327	1.21431	.307272	.699812	.300188
COEF_D1	.023431	.922702	3.57433	.015906	.103342	.896658
COEF_A2	.022309	.969080	1.36133	.257624	.092972	.907028
COEF_B2	.021823	.990694	.40079	.752663	.087617	.912383
COEF_C2	.022340	.967735	1.42253	.239235	.071492	.928508
COEF_D2	.022935	.942653	2.59564	.055327	.079515	.920485
COEF_A3	.023445	.922151	3.60198	.015355	.092645	.907355
COEF_B3	.021901	.987130	.55630	.644841	.149839	.850161
COEF_C3	.021844	.989707	.44374	.722144	.041904	.958096
COEF_D3	.023403	.923781	3.52035	.017040	.055812	.944188
COEF_A4	.021938	.985482	.62854	.597865	.230053	.769947
COEF_B4	.021689	.996817	.13626	.938227	.089616	.910384
COEF_C4	.022943	.942333	2.61105	.054256	.056481	.943519
COEF_D4	.023591	.916443	3.89013	.010634	.048311	.951689
COEF_A5	.022118	.977458	.98395	.402595	.108207	.891793
COEF_B5	.021975	.983815	.70192	.552568	.067867	.932133
COEF_C5	.023036	.938515	2.79520	.042937	.059128	.940872
COEF_D5	.024522	.881624	5.72887	.001037	.038212	.961788
COEF_A6	.022065	.979788	.88017	.453331	.061375	.938625
COEF_B6	.022072	.979494	.89323	.446667	.046815	.953185
COEF_C6	.022944	.942255	2.61478	.053999	.027055	.972945
COEF_D6	.022086	.978859	.92148	.432528	.052183	.947817
COEF_A7	.021841	.989844	.43777	.726357	.062698	.937302
COEF_B7	.021848	.989533	.45131	.716807	.033627	.966373
COEF_C7	.024623	.878020	5.92753	.000809	.028032	.971968
COEF_D7	.022410	.964746	1.55915	.202527	.043900	.956100
COEF_A8	.022242	.972034	1.22754	.302469	.055105	.944895
COEF_B8	.022574	.957721	1.88356	.135622	.049755	.950245
COEF_C8	.021930	.985823	.61359	.607398	.053952	.946048
COEF_D8	.023978	.901622	4.65546	.004018	.041622	.958378
COEF_A9	.022527	.959700	1.79167	.152037	.035076	.964924
COEF_B9	.022474	.961963	1.68709	.173044	.077459	.922541
COEF_C9	.023598	.916176	3.90371	.010451	.085353	.914647
COEF_D9	.028833	.749814	14.23634	.000000	.057720	.942280
COEF_A10	.022000	.982723	.75012	.524213	.071157	.928843
COEF_B10	.022268	.970885	1.27947	.284272	.074002	.925998
COEF_C10	.023730	.911044	4.16607	.007483	.162211	.837789
COEF_D10	.023756	.910082	4.21557	.007026	.139089	.860911

Classification Matrix

Rows: Observed classifications

Columns: Predicted classifications

	Percent Correct	N.fodiens ép p=.25000	N.fodiens törött p=.25000	N.anomalous ép p=.25000	N.anomalous törött p=.25000
N.fodiens ép	96.55173	28	0	1	0
N.fodiens törött	91.66666	1	11	0	0
N.anomalous ép	97.00000	2	0	97	1
N.anomalous törött	93.10345	0	0	2	27
Összesen	95.88235	31	11	100	28



18. ábra Fourier-együtthatók alapján számolt diszkriminancia-analízis eredménye négy csoportra.

Fourier-együtthatók alapján számolt diszkriminancia-analízis (Négy csoport, 19 változó)

Discriminant Function Analysis Summary (fourier coefficients)
 No. of vars in model: 19; Grouping: SPECIES and BROKEN (4 grps)
 Wilks' Lambda: .09254 approx. F (57,442)=9.4755 p<0.0000

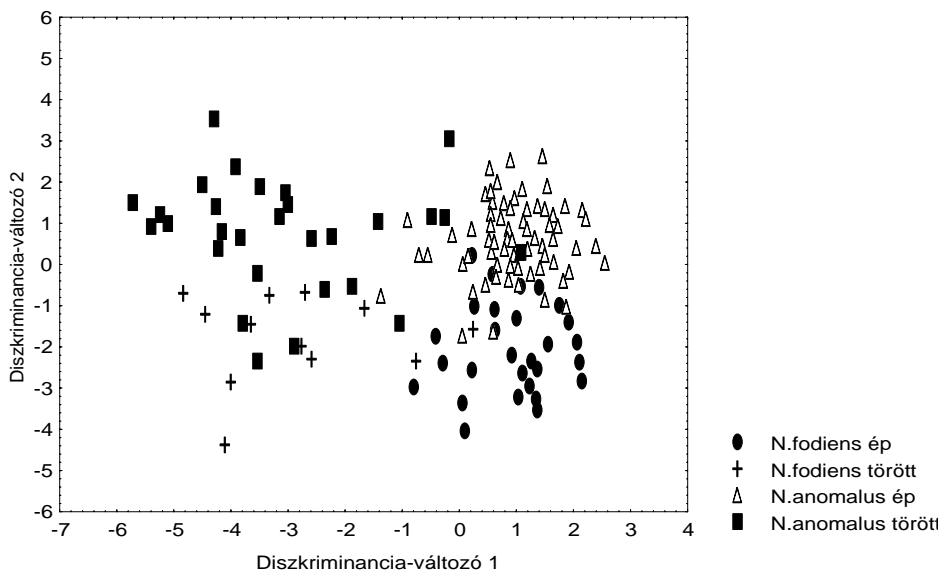
	Wilks' Lambda	Partial Lambda	F-remove (3,148)	p-level	Toler.	1-Toler. (R-Sqr.)
COEF_A0	.105798	.874688	7.067740	.000180	.868228	.131772
COEF_C0	.095417	.969848	1.533739	.208191	.786868	.213132
COEF_D1	.102738	.900740	5.436453	.001420	.171520	.828480
COEF_A2	.096887	.955128	2.317657	.077952	.146718	.853282
COEF_B2	.094582	.978407	1.088760	.355851	.227049	.772951
COEF_C2	.092837	.996802	.158281	.924201	.137070	.862930
COEF_D2	.095019	.973914	1.321359	.269670	.119271	.880729
COEF_A3	.096079	.963166	1.886610	.134340	.237952	.762048
COEF_B3	.093956	.984933	.754666	.521310	.339469	.660531
COEF_C3	.097964	.944629	2.891731	.037424	.076845	.923155
COEF_D3	.096626	.957714	2.178225	.093035	.144938	.855062
COEF_A4	.093231	.992588	.368385	.775926	.379953	.620047
COEF_B4	.093588	.988797	.558959	.642940	.197456	.802544
COEF_C4	.105298	.878834	6.801631	.000251	.085366	.914634
COEF_D4	.103934	.890374	6.074070	.000630	.101697	.898303
COEF_A5	.097294	.951138	2.534360	.059144	.304269	.695731
COEF_B5	.096249	.961462	1.977413	.119869	.199647	.800353
COEF_C5	.098623	.938324	3.242702	.023833	.175650	.824350
COEF_D5	.094505	.979202	1.047852	.373329	.107100	.892900

Classification Matrix

Rows: Observed classifications

Columns: Predicted classifications

	Percent Correct	N.fodiens ép p=.25000	N.fodiens törött p=.25000	N.anomalous ép p=.25000	N.anomalous törött p=.25000
N.fodiens ép	89.65517	26	0	3	0
N.fodiens törött	83.33334	2	10	0	0
N.anomalous ép	94.00000	5	0	94	1
N.anomalous törött	72.41380	1	3	4	21
Összesen	88.82353	34	13	101	22



19. ábra Fourier-együtthatók alapján számolt diszkriminancia-analízis eredménye négy csoportra.

5. Értékelés és kitekintés

A távolságadatok eloszlásában nagyobb átfedést tapasztaltam, mint mások a korábbi vizsgálatokban (Buchalczyk, 1961; Hamar és Kovacs, 1964; Taberlet, 1982). Sem a diszkriminanciaanalízis (Bühler, 1964), sem a főkomponens-analízis (Ramalhinho, 1988) alapján a két faj között éles elkülönülés nem tapasztalható. Az átfedés mértékéről kapott eredményeimet alátámasztják mások megfigyelései is (Schmidt, 1969; Pieper és Reichstein, 1980). Az átfedés egy lehetséges oka, hogy az általam vizsgált példányok több helyről lettek begyűjtve. Vizsgálatomban nem két faj két populációját hasonlítottam össze, hanem az adataimban több populáció példányai keverednek. Az adatok változatosságát növeli, hogy igen eltérő földrajzi élőhelyekről történt a gyűjtés. A kérdést tovább bonyolítja, hogy a Kárpát-medencében mind a két faj megtalálható és pontos elterjedési térképet eddig nem sikerült szerkeszteni. Schmidt (1969) bagolyköpetek vizsgálata alapján kimutatta a mindkét fajt, de a *N. fodiens* valószínűleg gyakoribb előfordulású mint amire a vizsgálatokból következtetni lehet.

Összehasonlítva a diszkriminancia-analízisekből kapott eredményeket, képet kapunk helyességükről, ha azoknak a példányoknak a besorolását vizsgáljuk meg, melyek meghatározására a külső morfológiai bélyegek alapján nem került sor (4. táblázat). Háromféle adatot felhasználva (távolságadatok, mérőpontok, és 5 harmonikus Fourier-együtthatói) 78 ismeretlen besorolású egyed közül csak 12 példánynak (12%) volt valamelyik módszerrel eltérő a besorolása. Az eltérő besorolású egyedek között kettőnek sok hiányzó mérőpontja volt. A távolságadatok és a mérőpontok alapján történő identifikációnál csak két esetben kaptam eltérő eredményt, és egyik esetben a faji besorolás valószínűsége igen alacsony volt. A két módszer által kapott eredmények nagyfokú megegyezése nem meglepő, hiszen hasonló jellegű adatok, a mérőpontok adataiból számoltam ki a távolságadatokat.

Az eltérő módszereket összevetve, hasonlóan jó a besorolása az ismert egyedeknek (5. táblázat) is. A 166 egyedből 12 esetben tért el valamely eljárással a faji besorolás. Itt is megfigyelhető, hogy a hasonló jellegű távolságadatok és a mérőpontok besorolási adatai kevesebb esetben adnak eltérő eredményt mint ugyanezek a Fourier-együtthatók alapján végzett diszkriminációval összehasonlítva.

A morfometria különböző irányzatainak képviselői között jelentős a nézeteltérés, melyik módszer is a leghatékonyabb. Bookstein mind a hagyományos távolságadatokat (Bookstein, 1991), mind a Fourier-együtthatók használatát (Bookstein, 1982) ellenzi. Rohlf és Marcus (1993) ezzel szemben úgy véli, hogy a távolságadatok használhatók, de számolni kell azzal, hogy az eredményekből a változások jellegét nem ismerrhetjük meg pontosan.

A diszkriminancia-analízis során a két faj elkülönülésére jellemző érték, a Wilks' lambda alapján összehasonlítva a módszereket, a legrosszabb elkülönítés a távolságadatokból jött ki. Ennél jobb elkülönülést adnak a geometriai morfometriai módszerek. A mérőpontok és a transzformált koordináták közel azonos eredményeket adnak. Az elliptikus Fourier transzformációval nyert adatok alapján a legjobb a szétválás.

Egy korábbi vizsgálatban Demeter és mtsai (1995) szintén két közeli rokonságban lévő fajt hasonlítottak össze és azt találták, hogy a távolságadatok alapján jobban elkülönül a két faj, mint a mérőpontok vagy az alakváltozók alapján. A két vizsgálat eredményét összevetve, azt a következtetést vonhatjuk le, hogy nem érdemes egyik módszert sem elvetni, mind a hagyományos, mind a geometriai morfometria módszereit érdemes alkalmazni az adott adatsoron.

A két faj állkapcsának összehasonlításakor megállapítható, hogy mind méretbeli, mind alakbeli különbségek vannak. A tapasztalt méretbeli különbségek egybevágnak a korábbi irodalmi adatok alapján (Bühler, 1964) a várakozásainknak. Az alakbeli különbség viszont új eredmény. A mérőpontok korrelációs mátrixából kiderül, hogy az állkapocs testén és a nyúlványok lévő pontok eltérően viselkednek. Az alakbeli különbségek leírásakor is megfigyelhető, hogy a két régió eltérő módon változik. Az állkapocs különböző morfogenetikai régióinak eltérő viselkedésére próbál magyarázatot találni Atchley (1993).

A vizsgálatokból kiderült, hogy növelni kell a vizsgált egyedszámot. Bookstein (1995) szerint legalább négyszer annyi példányt kell lemérnünk, mint ahány mérőpontot vizsgálunk. Magyarországon a *Neomys fodiens* ritkábban fordul elő, mint a *Neomys anomalus*, így vizsgálataimban ebből a fajból elég kevés volt (41db), ezért elsősorban ebből a fajból szeretnék még további példányokat lemérni.

Az eredményeket tervezem felhasználni a bagolyköpetanyag vizsgálatára, hiszen egyik távlati célom is ez volt. Az elliptikus Fourier analízis ígéretes eljárásnak látszik, alkalmas lehet a két faj biztonságos elkülönítésére. A módszer előnye, hogy gyorsan, automatikusan végezhető, kevésbé fárasztó, mint a mérőpontok felvétele. A mérőpontok alkalmazásakor további egyedeken azt lehet megállapítani, hogy nem érdemes mind a 17 mérőpontot felvenni, hanem csak célzottan a két faj szétválását jól mutató mérőpontokat (1, 2, 3, 6, 8, 9, 12, 14, 16). Ez lerövidíti és meggyorsítja a munkát.

Vizsgálataimat ennek a dolgozatnak megírásával nem tekintem lezártnak. A geometriai morfometria manapság elérhető teljes eszköztárát nem használtam fel, mivel vannak olyan eljárások melyek alkalmazásához további matematikai-statisztikai ismereteket kell elsajátítanom. Csak azokat az eljárásokat használtam fel melyeket, remélem helyesen, alkalmazni tudtam.

A statisztikai számítások és az ábrák a STATISTICA 4.5 (StatSoft, Inc. 1993) programmal készültek az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karán.

Egyedek besorolása diszkriminancia-analízissel különböző adatok alapján

Mérőpont alapján való csoportosítás * Távolságadatok alapján

Mérőpont	Távolság		
	N.fodiens	N.anomalous	Összesen
N.fodiens	32	1	33
N.anomalous	1	45	46
Csop. összesen	33	46	79

Mérőpont alapján való csoportosítás * Fourier együtthatók alapján

Mérőpont a.	Fourier együtthatók				Összesen
	N.fodiens	N.fodiens	N.anomalous	N.anomalous	
	ép	törött	ép	törött	
N.fodiens	24	3	5	1	33
N.anomalous	2	2	32	10	46
Csop. összesen	26	5	37	11	79

Távolságadatok alapján való csoportosítás * Fourier együtthatók alapján

Távolsága.	Fourier együtthatók				Összesen
	N.fodiens	N.fodiens	N.anomalous	N.anomalous	
	ép	törött	ép	törött	
N.fodiens	23	3	5	2	33
N.anomalous	3	2	32	9	46
Csop. összesen	26	5	37	11	79

Eltérően besorolt meghatározatlan példányok:

azonosító	hiányzó p.	Távolságadatok		Mérőpontok		Fourier együtthatók						
		besorolás	Besorolási val.	besorolás	Besorolási val.	Besorolási val.				N.fodiens	N.fodiens	
						N.anomalous	N.fodiens	N.anomalous	N.anomalous			N.fodiens
1790-189	0	nf	.174892	.825108	nf	.000802	.999198	na-i	.829257	.000012	.170729	.000002
4095-88	0	nf	.001581	.998419	nf	.000024	.999976	na-i	.962312	.000233	.037423	.000032
4561-3	6	na	.58568	.41432	na	.999858	.000142	nf-b	.186637	.016785	.00335	.793228
53-70-6	0	nf	.000322	.999678	nf	0	1	na-i	.735195	.004877	.259752	.000176
53-82-7	2	na	.978014	.021986	na	.963331	.036669	nf-i	.144039	.285948	.461464	.108549
54-3-5	2	na	.942805	.057195	na	.989848	.010152	nf-b	.000005	.202934	.000001	.797059
74-21-1	0	na	.994052	.005948	na	.999435	.000565	nf-i	.008208	0	.990512	.00128
77-169-1	0	nf	.043253	.956747	nf	.140998	.859002	na-i	.769126	.002297	.225352	.003225
77-169-3	0	nf	.405542	.594458	nf	.012166	.987834	na-i	.934274	.022794	.041877	.001055
77-81-4	0	na	.938021	.061979	nf	.024271	.975729	nf-i	.002943	0	.99705	.000006
84-31-1	6	nf	.478566	.521434	na	1.	0	na-b	0	.991678	0	.008322
92-6-1	2	nf	.001419	.998581	nf	0	1.	na-b	0	.889536	0	.110464

4. táblázat Egyedek besorolása diszkriminancia-analízissel különböző adatok alapján (Bôr alapján meghatározatlan egyedek)

Egyedek besorolása diszkriminancia-analízissel különböző adatok alapján

Mérőpont alapján való csoportosítás * Távolságadatok alapján

Mérőpont	Távolság		Összesen
	N.fodiens	N.anomalous	
N.fodiens	39	2	41
N.anomalous	2	123	125
Csop. összesen	41	125	166

Mérőpont alapján való csoportosítás * Fourier együtthatók alapján

Mérőpontok	Fourier együtthatók		N.anomalous		41
	N.fodiens	N.fodiens	N.fodiens	N.fodiens	
N.fodiens	30	9	2	0	
N.anomalous	4	3	98	20	
Csop. összesen	34	12	100	20	
	166				

Távolságadatok alapján való csoportosítás * Fourier együtthatók alapján

Távolságadatok	Fourier együtthatók		N.anomalous		41
	N.fodiens	N.fodiens	N.fodiens	N.fodiens	
N.fodiens	29	9	3	0	
N.anomalous	5	3	97	20	
Csop. összesen	34	12	100	20	
	166				

Eltérően besorolt, bôr alapján meghatározott példányok:

azonosító	hiányzó p.	Távolságadatok		Mérőpontok		Fourier együtthatók						
		besorolás	Besorolási val. N.anomalous	besorolás	Besorolási val. N.anomalous	besorolás	Besorolási val. N.anomalous	besorolás	Besorolási val. N.fodiens			
4095-93	2	nf	.020899	.979101	na	.893165	.106835	nf-i	.033426	.093606	.860363	.012605
4205-3	2	na	.965629	.034371	na	.999799	.000201	nf-b	.000064	.081435	.002655	.915846
4205-5	2	na	.980241	.019759	na	.999708	.000292	nf-b	.000038	.273293	.000005	.726664
53-62-12	0	nf	.000362	.999638	nf	0	1.	na-i	.501939	.000038	.498015	.000008
53-82-3	0	na	.78776	.21224	na	.999986	.000014	nf-i	.278588	.000002	.721406	.000004
54-100-4	0	na	.996178	.003822	na	.999999	.000001	nf-i	.471126	.000011	.528825	.000038
76-214-1	0	na	.802113	.197887	na	.999996	.000004	nf-i	.391441	.003186	.604736	.000637
77-148-1	0	na	.583401	.416599	nf	.000013	.999987	nf-i	.00182	.000467	.915281	.082432
77-162-8	0	nf	.018905	.981095	nf	.000012	.999988	na-i	.673162	.001448	.325276	.000114
86-97-2	2	na	.999404	.000596	na	.999999	.000001	nf-b	.000002	.056535	.000011	.943452
9870	2	nf	.4785	.5215	na	.99927	.00073	na-i	.976564	.000065	.023258	.000112
18519218	0	na	.528881	.471119	nf	.000009	.999991	nf-i	.054757	.003239	.904064	.03794

5. táblázat Egyedek besorolása diszkriminancia-analízissel különböző adatok alapján (Bôr alapján meghatározott egyedek)

6. Köszönetnyilvánítás

Köszönetet mondok dr. Demeter Andrásnak, témavezetőmnek, aki figyelmemet erre a témára irányította és mind az elméleti problémák, mind a gyakorlati kivitelezésben felmerülő kérdések megoldásában segített. Köszönöm a múzeum munkatársainak, különösen dr. Topál Györgynek és Csorba Gábornak, hogy segítettek a gyűjteményben eligazodni. Az egyetemi oktatók közül megköszönöm szakmai konzulensem, dr. Pásztor Erzsébetnek, és a Genetika Tanszék vezetőjének, Vida Gábor akadémikusnak a segítségét.

Természetesen köszönetet mondok szüleimnek, akik tanulmányaimat támogatták miközben rossz tulajdonságaimat elviselték.

7. Irodalom

- Afifi, A. A.; Clark, V. 1984: Computer aided multivariate analysis. Lifetime Learning Publications, Belmont, California.
- Appelt, H. 1973: Fellstrukturuntersuchungen an Wasserspitzmäusen. Abh. Ber. Naturk. Mus. Mauritianum Altenburg 8, 81-87.
- Atchley, W.R. 1993: genetic and developmental aspect of variability in the mammalian mandible. Pages 207-247 in The skull. Volume 1, Development (Hanken J. and B.K. Hall, eds.) The University of Chicago Press, Chicago
- Bárta, Z. 1981: Zur Verbreitung und Kranimetrie der Neomys- Arten im böhmischen Mittelgebirge. Faun. Abh. Mus. Tierk. Dresden 8, 1-7.
- Bejcek, V.: Weitere Funde der Sumpfspitzmaus, *Neomys anomalus milleri* Mottaz, 1907. Lynx (Praha) (n. s.) 14, 1973, 132.
- Bookstein, F. L. 1982: A comment upon the uses of Fourier methods in systematics. Syst. Zool. 31(1): 85-92.
- Bookstein, F. L. 1991: Morphometric tools for landmark data. Geometry and biology, Cambridge University Press, New York.
- Bookstein, F. L. 1995: Combining the tools of geometric morphometrics. in: L. F. Marcus, M. Corti, A. Loy, G. Naylor and D. E. Slice (eds): Advances in Morphometrics. Plenum Press, New York (megjelenés alatt)
- Borowski, S. 1973: Variations in coat and colour in representatives of the genera *Sorex* L. and *Neomys* Kaup. Acta theriol. 18, 247-279.
- Buchalaczyk, T. 1961: Einseitige Gebißanomalie bei *Neomys fodiens* Pennant 1771. Acta theriol. 4, 277-278.
- Buchalaczyk, T.; Raczynsky, J. 1961: Taxonomischer Wert einiger Schädelmessungen inländischer Vertreter der Gattung *Sorex* Linnaeus 1758 und *Neomys* Kaup 1829. Acta theriol. 5, 115-124.
- Bühler, P. 1964: Zur Gattungs- und Artbestimmung von *Neomys*-Schädeln - Gleichzeitig eine Einführung in die Methodik der optimalen Trennung zweier systematischer Einheiten mit Hilfe mehrerer Merkmale. Z. Säugetierk. 29, 65-93.
- Catzeflis, F. 1984: Différenciation génétique entre populations des espèces *Neomys fodiens* et *N. anomalus* par électrophorèse des protéines (Mammalia, Soricidae). Rev. suisse Zool. 91, 835-850.
- Corti, M. 1992. Data analysis in systematics: a workshop and a manual to introduce Geometric Morphometrics. I CO. LA. TER, Caracas, Venezuela.
- Dehnel A. 1950: Studies on the genus *Neomys* Kaup. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska 5, 1-63.
- Demeter, A.; Rác, G.; Csorba, G. 1995: Identification of house mice (*Mus musculus*) and mound-building mice (*Mus spicilegus*) using distance and landmark data. in: L. F. Marcus, M. Corti, A. Loy, G. Naylor and D. E. Slice (eds): Advances in Morphometrics. Plenum Press, New York (megjelenés alatt)

- Demeter, A., Vámosi, J.; Peregovits, L.; Topál, Gy. 1995: An image analysis system for morphometric studies. in: L. F. Marcus, M. Corti, A. Loy, G. Naylor and D. E. Slice (eds): *Advances in Morphometrics*. Plenum Press, New York (megjelenés alatt)
- Dolgov, V. A. 1961: Variation in some bones of postcranial skeleton of the shrews (Mammalia, Soricidae). *Acta theriol.* 5, 203-227.
- Dolgov, V. A. 1971: Compensatory growth of incisors in *Neomys fodiens* (Soricidae, Insectivora). *Zool. Zh.* 50, 448-449.
- Dziurzik, B. 1973: Key to the identification of hairs of mammals from Poland. *Acta zool. Cracov.* 18, 73-91.
- Ehrlich, R.; Phar, B. R.; Healy-Williams, N. 1983: Comments on validity of Fourier descriptors in systematics: A reply to Bookstein et al. *Syst. Zool.* 32(2): 202-206.
- Fedyk, S.; Borowski, S. 1980: Colour variation in the Bialowieza population of the European water shrew. *Acta theriol.* 25, 3-24.
- Hamar, M.; Kovacs, A. 1964: Neue Daten über die Gattung *Neomys* Kaup (1829) in der Rumänischen Volksrepublik. *Acta theriol.* 9, 377-380.
- Hutterer, R. 1985: Anatomical adaptations of shrews. *Mammal Rev.* 15, 43-55.
- James, Frances C.; McCulloch, C. E. 1990: Multivariate analysis in ecology and systematics: panacea or Pandora's box? *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 21: 129-166.
- Kuhl, F. P.; Giardina, C. R. 1982: Elliptic Fourier features of a closed contour. *Computer Graphics and Image Processing* 18: 236-258.
- Marcus, L. F. 1990: Traditional morphometrics. Pages 77-122 in *Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop* (F. J. Rohlf and F. L. Bookstein, eds.). Special Publication Number 2. University of Michigan Museum of Zoology, Ann Arbor.
- Marcus L. F. 1993. Some aspects of multivariate statistics for morphometrics. Pages 95-130 in *Contributions to morphometrics* (Marcus, L. F., E. Bello and A. Garcia-Valdecasas, eds.). *Monografias del Museo Nacional de Ciencias Naturales*, Madrid.
- Michalak, I. 1983: Colour patterns in *Neomys anomalus*. *Acta theriol.* 28, 25-32.
- Michalak, I. 1986a: Number and distribution of the teats in *Neomys fodiens*. *Acta theriol.* 31, 119-127.
- Michalak, I. 1986b: Variation in colour patterns of the belly in *Neomys anomalus*. *Acta theriol.* 31, 167-171.
- Miller, G. 1912: *Catalogue of the mammals of western Europe in the collection of the British Museum*, London.
- Mottaz, C. 1907: Préliminaires a nos "Etudes de Micromammalogie". Description du *Neomys milleri*, ssp. nova. *Mém. Soc. zool. France* 20, 20-32.
- Niethammer, J. 1953: Die Rundschwänzige Wasserspitzmaus *Neomys anomalus milleri* Mottaz in der Eifel. *Natur Heimat* 13, 36-39.

- Peman, E. 1983: Biometria y sistemática del género *Neomys* Kaup, 1771 (Mammalia, Insectivora) en el País Vasco. *Munibe* 35, 115-148.
- Pieper, H. 1966: Über die Artbestimmung von *Neomys*-Mandibeln mit Hilfe der Fischerschen Diskriminanz-Analyse. *Z. Säugetierk.* 31, 402-403.
- Pieper, H.; Reichstein, H. 1980: Zum frühgeschichtlichen Vorkommen der Sumpfspitzmaus (*Neomys anomalus* Cabrera, 1907) in Schleswig-Holstein. *Z. Säugetierk.* 45, 65-73.
- Pucek, Z. 1964: The structure of the glans penis in *Neomys* Kaup, 1929 as a taxonomic character. *Acta theriol.* 9, 374-377.
- Pucek, M. 1981: *Neomys anomalus* Cabrera, 1907. In: Pucek, Z.; Raczynski, J. (eds.): Atlas of mammal distribution in Poland. Warszawa.
- Ramalhinho, M.G. 1988: Application of multivariate analysis to the taxonomy of the portuguese population of *Neomys* Kaup, 1829. *Arquivos do Museu Bocage, Nov. Ser.*, 1. 219-232.
- Raczynski, J. 1961: Convenient taxonomic features of certain mammals from owl pellets. *Acta theriol.* 20, 295-297.
- Read, D.W.; Lestrel, P.E. 1986: Comment on uses of homologous-point measures in systematics: a reply to Bookstein et al. *Syst. Zool.* 35(2): 241-253.
- Rempe, U. 1982: Die Trennung von *Neomys*-Mandibeln aus verschiedenen Teilen Mitteleuropas. *Säugetierk. Mitt.* 30, 118-126.
- Rempe, U.; Bühler, P. 1969: Zum Einfluß der geographischen und altersbedingten Variabilität bei der Bestimmung von *Neomys*-Mandibeln mit Hilfe der Diskriminanzanalyse. *Z. Säugetierk.* 34, 148-164.
- Richter, H. 1965: Die Unterscheidung von *Neomys anomalus milleri* Mottaz, 1907, und *Neomys fodiens fodiens* (Schreber, 1777) nach dem Hüftbein (Os coxae) nebst einer Mitteilung über neue Funde erstgenannter Unterart aus dem Erzgebirge und dem Vogtland und Ostthüringen. *Säugetierk. Mitt.* 13, 1-4.
- Rode, P.; Cantuel, P. 1945: Les crossopes de l'Europe occidentale. Contribution a la systematique du genre *Neomys* Kaup. *Mammalia*, 9, 20-30.
- Rohlf, F. J.; Archie, J. W. 1984. A comparison of Fourier methods for the description of wing shape in mosquitoes (Diptera: Culicidae). *Syst. Zool.* 33: 302-317.
- Rohlf, F. J.; Slice, D. 1990a: Extension of the Procrustes method for the optimal superimposition of landmarks. *Syst. Zool.* 39/1: 40-59.
- Rohlf, F. J. 1990b: Fitting curves to outlines. Pages 167-177 in Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop (F. J. Rohlf and F. L. Bookstein, eds.). Special Publication No. 2. University of Michigan Museum of Zoology, Ann Arbor.
- Rohlf, F. J.; Marcus, L. F. 1993: A revolution in morphometrics. *TREE* 8: 129-132.
- Rowe-Rowe, D. T.; Meester, J. 1985: Altitudinal variation in external measurements of two small-mammal species in the Natal Drakensberg. *Ann. Transvaal Museum* 34, 49-53.

- Ruprecht A. 1971: Taxonomic value of mandible measurements in Soricidae. *Acta theriol.* 16, 341-357.
- Schmidt, E. 1969: Über die Koronoidhöhe als Trennungsmerkmal bei den *Neomys*-Arten in Mitteleuropa sowie über neue *Neomys*-Fundorte in Ungarn. *Säugetierk. Mitt.* 17, 132-136.
- Spitzenberger, F. 1980: Sumpf- und Wasserspitzmaus (*Neomys anomalus* Cabrera 1907 und *Neomys fodiens* Pennant 1771) in Österreich. *Mitt. Abt. Zool. Landesmus. Joanneum* 9. 1-39.
- Spitzenberger, F. 1990: Gattung *Neomys*. pp 313-374. *Handbuch der Säugetiere Europas. Insektenfresser, Primates 3/I* (J. Niethammer; F. Krapp, eds.) AULA-Verlag GmbH, Wiesbaden
- Sváb, J. 1967: Biometriai módszerek a kutatásban. *Mezőgazdasági kiadó*
- Sváb, J. 1979: Többváltozós módszerek a biometriában. *Mezőgazdasági kiadó*
- Szunyoghy, J. 1972: Rovarevők. *Magyarország Állatvilága XXII/1* füzet, 1-54.
- Taberlet, P. 1982: Hauteurs mandibulaires de *Neomys anomalus milleri* Mottaz, 1907 et de *Neomys f.fodiens* (Pennant, 1771) (Insectivora, Soricidae) dans le Bas-Chablais (Haute-Savoie). *Mammalia* 46, 113-116.
- Tvrkovic, N.; Đulie, B.; Mrakovcic, M. 1980: Distribution, species characters, and variability of the southern water shrew, *Neomys anomalus* Cabrera, 1907 (Insectivora, Mammalia) in Croatia. *Biosistematika* 6, 187-201.