A mágneses és elektromos erőterek hatásai az élő szervezetekre. Madarak az erőterekben

Dudás Miklós
dudasm1@t-online.hu

Abstract

Magnetism were already known in the ancient China and Egypt and used for medical purposes. Medical use of magnetic resonance frequency as an alternative medical approach has significantly improved in the past few decades. While alternating electromagnetic fields are highly stimulative, static magnetic fields have rather relaxing effects on host organisations. Extra-large and ultra-large aerial powerlines were started to be built in the 1970-ies in Hungary. Nowadays Hungary possesses 750, 400, 220 and 120 kV powerlines. Researchers found that electromagnetic fields have multiple biological effects, such as the modification of chemical levels in cell metabolism processes as well as functional alterations in neurons and the nervous system. The answer to the question, that to which degree are health damages are caused by these physiological processes, is far from straightforward. Conservationists have observed in the early 1990-ies that bird species which build good-quality nests started to breed on electricity pylons (Hooded Crow – *Corvus corone cornix* and Raven – *Corvus corax*). Their nests were occupied by nest parasites including a globally endangered raptor, the Saker Falcon (*Falco cherrug*). Based on the comparison of available data there is a substantial difference between the number of successfully fledged youngs between nests on pylons and other types of nests. However, it is even more remarkable that the proportion of infertile eggs is significantly higher in nests on pylons than in other nests. This suggests that besides environmental effects (precipitation, temperature, strong wind, insufficient food, pesticides and predators: Raven, Hooded Crow, Martens) other factors affect breeding success in nests on support poles of powerlines. This highlights the probability that electromagnetic fields may have indirect effects on life activities of falcons, which raises substantial discussions among experts. This thought-evoking summary aims to raise experts' attention to this issue and to include scientific organisations, environmental and technical experst in solving this problem.

A mágnesességet, mint fizikai jelenséget már az ókori Kínában és Egyiptomban is ismerték és a gyógyítás szolgálatában használták. A mágneses rezonanciás frekvencia orvoslás, mint „alternatív” gyógymód hatalmas lépésekkel fejlődött az utóbbi évtizedekben. A korai kutatások során észrevették, hogy az egyes baktérium- és vírustörzseknek van egy saját rezonáns-frekvenciája, s felfedezték, hogy a betegségeket keltő organizmusok sebezhetőek egy speciális frekvencia-besugárzással. A kezelt gazdaszervezetre pozitív hatással van. A sejtekben fiziológiai változások mennek végbe a pulzáló, alacsony frekvenciájú tér hatására. Felgyorsul a gazdasejtek anyagcsere-folyamata, regenerációja és harmonizálódik az immunrendszer. Az oxigén felvételét, a salakanyagok eltávolítását a sejtmembrán elektromos potenciálja tartja fenn. A megváltozott membránpotenciál mágnesmező terápiával visszaállítható, ezáltal a szövetek optimális anyagcseréje, a megfelelő biokémiai folyamatai is normalizálódnak. Az idegsejtek ingerületátviteli tulajdonsága is változik, csökken az idegsejtek ingerelhetősége, vagyis a fájdalom impulzusok továbbítása és érzékelése az agyközpontban is jelentősen lelassul. A mágnesterápia kitágítja az ereket, ezáltal megszünteti az ízületek és izmok fájdalmait, regenerálja a bőrt, valamint erősödnek a csontszövetek (a csontképződést segíti), harmonizálódik a vegetatív idegrendszer. Megfigyelték, hogy jelentősen lerövidül a sebek, zúzódások gyógyulásának időtartama, lecsökkennek, vagy teljesen megszűnnek az izmok és ízületek fájdalmai a mágnesesség jelenlétében (MADARÁSZ 2009).

Később, a tudomány előrehaladtával az angol W. Sturgeon és az amerikai J. Henri (1826-1828) felfedezte az elektromágnesességet, ami jelentős előrelépést jelentett a mágnesterápiás gyógymódok fejlődésében is. A váltakozó elektromos mező ingergazdag, inkább stimuláló

hatású, míg a statikus mágneses mezők nyugtató, jótékony hatást fejtenek ki a gazdaszervezetre.

De hogyan is definiálhatóak ezek a fizikai jelenségek? Minden vezetőt, melyben áram folyik, erőtér vesz körül. Ha egyenáramról van szó, akkor az erőtér iránya és erőssége állandó, ezért magnetosztatikus erőtérről beszélünk. A mágneses erőtér a vezeték körül koncentrikusan alakul ki. A mágneses erőtér minden esetben önmagában zárt. Ha a vezetőn váltakozó áram folyik, a mágneses erőtér nagysága és iránya a váltakozó áram ütemében változik. A feszültség hatására „elektromos erőtér", az áramerősség hatására pedig „mágneses erőtér" alakul ki. Az áram azonban csak feszültség hatására folyhat, ebből következik, hogy a mágneses erőtérhez mindig tartozik elektromos erőtér is. A villamos erőteret maga a töltés okozza, a mágneses erőtér viszont a töltés mozgásának a következménye. Az erőtér két komponense, az elektromos és mágneses erővonalak, mindig merőlegesen állnak egymásra. Európában a hálózati feszültség hatására az áram egy másodperc alatt 50 oda-vissza periódust tesz meg, azaz a frekvenciája 50 hertz (MVM Rt. 1999).

Magyarországon az 1970-es években kezdődött az extra-nagy és ultra-nagyfeszültségű (400 kV, 750 kV) rendszerű szabadvezetékek építése. Ma hazánkban a 750, 400, 220, és a 120 kV-os nagyfeszültségű távvezetékek léteznek. Ennek következtében mind szakmai körökben, mind pedig a lakosság érdeklődésének középpontjába került a létesítmények környezetében kialakuló, a korábbiaknál lényegesen nagyobb villamos és mágneses erőtereknek lehetséges élettani konzekvenciákkal járó negatív egészségügyi hatásai is. E kérdésre ugyan egyértelmű válasz még ma sem létezik, mégis a külföldi tapasztalatok alapján hazánkban is felmerült a szükségessége annak, hogy e vezetékek alatt és környezetében a napi tartózkodási idő korlátozását megfontolják. Az utóbbi időben felgyorsultak az ezirányú kutatások főleg laboratóriumi szimulációs eljárások kidolgozásával az egészségre még nem káros, megengedett testáramok, mint határértékek nagyságának megállapítása céljából. Az egészségre gyakorolt kedvezőtlen hatások szempontjából a megengedett határértéket megközelítő villamos térerősségek csak a nagyfeszültségű háromfázisú vezetékek környezetében alakulhatnak ki. A vezeték nyomvonalára merőleges sík egyes pontjaiban elliptikusan polarizált villamos és mágneses erőtereket hoz létre. A legnagyobb ill. legkisebb térerősség az ellipszis nagy ill. kistengelyének irányába alakul ki. A térerősség az időben és az egyes térbeli irányokban is változik. A legnagyobb térerősség kissé a szélső fázisok vetületén kívül jön létre. A mágneses tér gyakorlatilag akadálytalanul hatol át a tárgyakon, a villamos teret viszont lényegesen csökkentik, azaz leárnyékolják az elektromosan vezető anyagok.

Sok neves kutató szaktekintély feltételezi, hogy az erőterek veszélyeztetik az egészséget. A világ számos laboratóriumában elismert tudósok vizsgálták és vizsgálják napjainkban is, hogy mennyire helytállóak ezek a feltételezések. Vannak szerzők, akik azt sugallják, hogy van összefüggés egyes betegségek és az erőterek között. Érthető, hogy a médiában is többnyire az ilyen vélemények kapnak nagy visszhangot. Valójában azonban eddig még senkinek sem sikerült egyértelműen bizonyítania, hogy a környezetünkben jelenlévő erőterek milyen mértékben veszélyeztetik az egészséget. Természetesen ez nem jelentheti azt, hogy ne is kételkedjünk, hiszen létezhetnek olyan biológiai folyamatok, amelyeket ma még nem kellő alapossággal ismerünk (HUMMEL 1994).

Alapjában eddig három típusú vizsgálatot végeztek az 50 Hz-es erőterek biológiai hatásáról:

1, Laboratóriumi vizsgálatok, melyben egyedülálló sejteket, sejtcsoportokat és szerveket tettek ki az erőterek hatásának. A kérdés az volt, hogy mit károsít jobban: a szomatikus (testi) vagy a genetikai (ivar) sejteket-e. A szomatikus sejtek viszonylag rövid idő alatt

regenerálódnak és bizonyos mennyiség alatt ártalmatlan a behatás. A genetikus károsodás már súlyosabb következményekkel járhat.

- Egyik kísérletben azt vizsgálták, hogy a mágneses erőtér hogyan befolyásolja (felgyorsítja-e) az ionok mozgását a sejtmembránon keresztül. Az anyagcseretermékeknek az összetételében kisebb eltéréseket tapasztaltak ugyan, ez azonban nem lépte túl a szórás határait, s amint megszűnt az erőtér, beállt a "normális" állapot

- Egy genetikai laborkísérletben a sejtek szaporodása inkább lelassult a távvezeték közelében előforduló legnagyobb fluxus-sűrűség százezerszeresének kitett sejtekben. A patkányembriók fejlődésében is csak a nagyon erős mágneses erőtér okozott zavart, viszont a kromoszómáik egyáltalán nem sérültek meg

2, Laboratóriumi vizsgálatok, melyekben növényeket, állatokat és embereket tanulmányoztak a terekben és nézték a hatásokat a testi funkciókra, a test fiziológiai állapotára, az egyes betegségekre és a viselkedésre:

- Egyértelműen bizonyítható, hogy a távvezetékek mellett és alatt növő tűlevelű fás szárúak (lucfenyő, erdei fenyő stb.) levélkárosodást szenvednek. Ennek oka, hogy a tűlevek hegyén a térerősség megnő és így a közvetlen környezetében levő levegőmolekulák ionizálódnak (NÉMETH 1993).

- A költöző, vonuló madarakat befolyásolhatja a mesterséges erőterek közelsége, ami a vonulási útvonal orientációját megzavarhatja. A postagalambok tájékozódását a fejre erősített mágnes zavarja, ha pedig egy tekerccsel szerelik fel és abban folyó áram irányát és ezzel együtt a gerjesztett elektromágneses mezőt is megváltoztatják, a madarak ellenkező irányba kezdenek repülni. Mindez arra utal, hogy a madarak nem csak érzékelik a mágnesességet, hanem a tájékozódásukban fel is használják ezt a képességüket (DÉTÁRI et KARCAGI 1981).

- Egy másik laboratóriumi vizsgálat szerint termékeny tyúktojásokat tettek ki pulzáló mágneses térnek. Az értékelés nagyobb hányadban talált defektusokat azokban a tojásokban, melyek ki voltak téve az erőtérbe, mint a kontrolltojások, melyeket nem ért ilyen hatás

- Az egyik állatkísérletben azt tapasztalták, hogy a laborpatkányok étvágya csökkent. Ez annak a következménye volt, hogy az etetőedények nem voltak földelve, s ezért amikor az állatok az edényt megérintették apró szikrák keletkeztek. Az edényt földelve a tünetek megszűntek. Egy másik esetben a testsúlyuk azért csökkent, mert a villamos erőtér a patkányok bajuszát rezegtette. A kísérletet szőrtelenített állatokkal megismételve nem tapasztaltak további súlycsökkenést.(USA-Coloradó)

- A következő tesztelésen egy 400 KV-os távvezeték alatt elkerített területen tartottak 86 db szarvasmarhát 120 napig. Ebből 80 napig 2-5, 40 napig 5-10 kilovolt/méteres villamos erőtérben tartották őket. Rendszeresen mérték az életműködésre jellemző adatokat (pulzusszám, vérnyomás stb.), s figyelemmel kísérték a megtermékenyülési arányt. Az adatokat összehasonlították a kontrollcsoport állatainak a vizsgálati eredményeivel. Nem találtak semmilyen eltérést a két adatsor között (Svédország). Ez az eredmény megingatta azt a föltevést is, hogy az erőtér csak hosszabb idő alatt fejti ki kóros hatásait az élő szervezetben (HORVÁTH 1989).

3, Epidemiológiai vizsgálatok, melyekben összefüggést kerestek az 50 Hz-es erőterek és a különböző betegségtípusok között:

- Számos humánkísérlet azt sugallja, hogy az 50 vagy 60 Hz-es erőterek a test biológiai óráját zavarják, vagyis idegrendszeri zavarokat okozhatnak. Egyes kutatók szerint a krónikus depresszió kialakulásában is szerepet játszhat.

- Fantommodelleken végzett kísérletek azt mutatták, hogy a mágneses tér indukció a nyakon és a csuklókon hoz létre „meleg pontokat", maximális energiaabszorpciót. Elektromos tér által történő gerjesztés esetében ágyék táján jelentkeznek meleg pontok (HUMMEL 1994).

Az élő szervezetben normális körülmények között is folyik bizonyos nagyságú áram: pl. a nyugalmi áramsűrűség az agyban mintegy 100 nanoamper/négyzetcentiméter. Az idegsejtek körülbelül százszor ekkora árammal ingerelhetők, ezerszer ekkora áram pedig már károsíthatja a szervezetet. A szívkamralebegés, ez általában halállal végződő állapot, csak 500 nanoamper/négyzetcentiméteresnél is nagyobb áramsűrűség esetén lép fel. Felmerül a kérdés, hogy mekkora erőtér képes arra, hogy az élő szervezetben ilyen nagyságú áramokat indukáljon. Az agy nyugalmi áramsűrűségét 40 ezer volt/méter villamos térerősség vagy 400 mikrotesla mágneses fluxus-sűrűség hozná létre. Ezeket az értékeket a távvezetékek erőtere meg sem közelíti. Az életveszélyes szívkamralebegést 4 millió volt/méter villamos térerősség váltaná ki, ez azonban a levegőben létre sem jöhet. A levegő villamos szigetelőképessége ennél sokkal kisebb, a levegő már 3 millió volt/ méteren "átüt", azaz szikra keletkezik

De vannak, akik azt vallják, hogy ha az erőtér kockázatot is jelent, az expozíció ezen szintjein a gyengébb térerősség nem jelent nagyobb biztonságot, mint az erősebb tér. Ezt a hipotézist nehéz lehet megérteni, mivel a legtöbb szennyezőnél (ivóvíz, levegő stb.) a több a rosszabb. A kétségeket főleg a laboratóriumi kísérletek okozzák. Néhány vizsgálat nagyon bonyolult összefüggést mutat az expozíció formái és hatásai között. Nem egyértelmű, hogy az 50 Hz-es erőtér mely aspektusa jelent kockázatot. Arra már van bizonyíték, hogy abban a térerősségi tartományban, amellyel a legtöbbször találkozunk a hétköznapi életben, az erősebb térerők nem jelentenek nagyobb kockázatot, mint a gyengébbek (HUMMEL 1994).

A kutatók azt találták, hogy az erőtereknek nagyon sokféle biológiai hatásuk van, úgymint speciális kémiai anyagok szintjének változása a szervezet sejtanyagcsere folyamataiban, valamint funkcionális változások az idegsejtekben és az idegrendszerben. Kérdés az, hogy vajon ezek a fiziológiás változások milyen mértékben okoznak egészségkárosodást a szervezetben, ez már nem teljesen egyértelmű. Nagyon sok a bizonytalansági tényező, s a különböző nézetek abból is adódhatnak, hogy maga a hozzáférhető tudományos bizonyítékok bonyolult összefüggéseket rejtenek. A jelenlegi tudás pedig, úgy tűnik, még nem elégséges ahhoz, hogy egyértelmű és konzekvens következtetések születhessenek a vizsgálati eredményekből.

A térerősség nagyságát – a feszültség nagyságán kívül – befolyásoló egyéb tényezők:

a. vezetők föld feletti magassága, amit a hőmérséklettől függő lelógás lényegesen befolyásol.
b. fázisvezetők és az esetleges védővezetők geometriai elrendezése.
c. többrendszerű távvezeték esetén a fáziskiosztás.
d. fázisvezetőknek a középvonalhoz viszonyított oldalirányú távolsága. Az oldalirányú távolság csökkentésével jelentősen csökkenthető a térerősség.
e. magas objektumok (fasorok, kerítések, épületek stb.) amelyek árnyékoló hatása jelentősen csökkentheti a térerősséget (NÉMETH 1993).

Az elektromágneses sugárzások és terek frekvenciaspektruma:

Sugárzás típusa	**frekvenciatartomány**	**hullámhossz**
Elektromos és mágneses terek		
- alacsony frekvencia	300-30 KHz	1-10 km
- nagyon alacsony frekvencia	30-3 KHz	10-100 km
	3-0,3 KHz	
- extrém alacsony frekvencia	0,1-0,3 KHz	> 1000 km

A villamos erőtér által létrehozott testáramok, elsősorban a nagyfeszültségű szabadvezetékek és a szabadtéri alállomásoknál járnak együtt nagy töltéssel és ezeknek a környezetében jön létre nagy villamos erőtér. A villamos erőtértől mentes környezetben, az élő szervezetben lévő szabad pozitív és negatív töltések párokban, egymást lekötve helyezkednek el. Mágneses erőtér által létrehozott testáramok, a kisfrekvenciás mágneses erővonalak gyakorlatilag csillapítatlanul behatolnak az élő test szöveteibe és benne, mint elektromosan vezető anyagban „örvényáramokat" indukálnak. Az indukált testáram sűrűsége arányosan nő a frekvenciával, az érintett szervhez tartozó adott metszet kerületi sugarával és a mágneses erőtér nagyságával és fordítva arányos a testszövet fajlagos ellenállásával. Az alapvető korlátokat és határértékeket a központi idegrendszerre kifejtett negatív hatás alapján határozták meg. Ugyanolyan behatásnak kitett más testszövetekben megengedhető ennél nagyobb áramsűrűség is.

A biológiai hatások és testáram határértékek meghatározásánál fontos annak tisztázása, hogy az élettani hatások az elektromágneses térnek milyen fizikai jellemzőihez köthetők, s milyen határértékek szintje alatt nem lépnek fel az egészségkárosító hatások:

1. 0-1 Hz-ig terjedő, időben változó erőterekre a szív- és érrendszeri, valamint a központi idegrendszeri hatások elkerülése (alapvetető korlát a mágneses fluxussűrűség)
2. 1 Hz - 10 MHz között a korlát az áramsűrűség, hogy az idegrendszeri funkciókat érő hatások ne alakuljanak ki.
3. 100 KHz - 10 GHz között a korlát a fajlagosan elnyelt teljesítménynek a teljes testre gyakorolt hőhatása, valamint a szövetek helyi túlmelegedése szempontjából.
4. 10 GHz - 300 GHz között a korlát a testfelület, illetve az annak közelében lévő szövetek melegedése.

A lehetséges élettani hatások a 100 KHz-nél kisebb frekvenciájú erőterekben az általuk a testben indukált áramok sűrűségével hozhatók összefüggésbe.

A különböző testáram – sűrűségeknél fellépő hatások:

A hatás megnevezése	áramsűrűség – tartományok (mA/m²)
nincs biológiai hatás	< 1
minimális élettani hatás	1 – 10
látószervi és idegrendszeri hatás	10 – 100

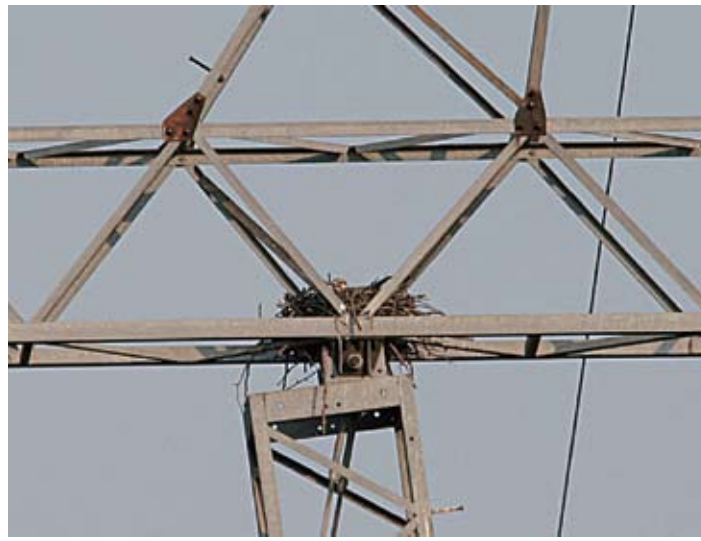
Ezek az értékek napi 24 óráig tartó behatás esetére vonatkoznak, a rövidebb behatási idő határértékei nagyobbak (NÉMETH 1993).

Ennyi bevezető után rá kell térni az erőterek természetvédelmi vonatkozásainak probléma- felvetésére. A 90-es évek legelején vették észre a természetvédelmi szakemberek, hogy a nagyfeszültségű távvezetékek tartóoszlopain jó fészeképítő madárfajok (dolmányos

varjú-*Corvus corone cornix*, holló-*Corvus corax)* jelentek meg. Ezen madarak fészkeit pedig egyre-másra foglalták el a fészket nem építő fajok, köztük a hazánkban, de a világon is kiemelten veszélyeztetett ragadozó madár a kerecsensólyom (*Falco cherrug*). Abban az időben nagy örömmel fogadták a szakemberek ezt a tendenciát, hogy a biztonságosabbnak tűnő magasfeszültségű tartóoszlopokon sikeresen fognak költeni. Jelenleg a magyarországi ismert kerecsensólyom fészkelő állomány 80 %-a ilyen traverzeken költ.



1. fotó: Gyöngykaviccsal megtöltött műfészek tálca (Fotó: Balázs I.)
Photo 1. Nest platform filled by pea gravel (Photo: I. Balázs)



2. fotó: Hollófészekben költő kerecsensólyom (Fotó: Balázs I.)
Photo 2. Saker Falcon breeding in Raven's nest (Photo: I. Balázs)

A HNP működési területét különböző erősségű távvezeték rendszerek (750, 400, 220, 120 kV-os) hálózzák be.

A 80-as évek végére a hazai fokozottan védett kerecsensólyom állomány az aktív védelem hatására lassú növekedésnek indult, s elindult egy folyamat, hogy a fészkelő párok lehúzódtak fokozatosan az alföldi területekre. S ezeken a művi élőhelyeken látványos térhódítást tapasztaltak a szakemberek. Ezek a megfigyelések is kellőképpen bizonyítják az egyes ragadozó madárfajoknak a kiváló alkalmazkodó képességét, hogy a jóval zavartabb hegyvidéki sziklai fészkelőhelyeket elhagyva, (ami korábban az utolsó menedékhelyei voltak e fajnak) benépesítették a síkvidéki füves pusztákkal tarkított mezőgazdasági területeket, ami tulajdonképpen a kerecsensólyom tradicionális élőhelye.



3. fotó: Vetési varjút zsákmányoló kerecsensólyom (Fotó: Balázs I.)
Photo 3. Saker Falcon preying upon Rook (Photo: I. Balázs)

Néhány éve vastraverz tartóoszlopokon két halászsas (*Pandion haliaetus*) pár is foglalt revírt és fészket is építettek, de sikeres költés nem történt. Hazánkban a XIX. század végén költött utoljára ez a fokozottan védett faj. Nyugat-Európában ilyen típusú traverzeken számos pár költ.

A 90-es évek elején, amikor is sikerült bizonyítani az első kerecsensólyom párok költését a magasfeszültségű légvezetékek tartóoszlopain, akkor elkezdődött egy szisztematikus állományfelmérési program, mely még napjainkban is tart. A feltárt adatok alapján a Hortobágyi Nemzeti Park Igazgatósága és az OVIT szakemberei egy közös megállapodás értelmében elkezdtek egy műfészek kihelyezési programot a 750 KV-os légvezetékek tartóoszlopaira Jász-Nagykun-Szolnok, Hajdú-Bihar, és Szabolcs-Szatmár-Bereg megye területén. A műfészkek kihelyezését az indokolta, hogy ezek a fészekfoglaló sólyomfélék nem építenek saját fészket, hanem más fajokéban költenek. Ebben az esetben a dolmányos varjú és a holló fészkeit foglalják el, mert ezek a madarak előszeretettel építik fészkeiket az oszlopok vasszerkezetei közé. A sólyomfélék által elfoglalt fészkek az évek során lassan lepusztulnak, mivel a sólymok nem "tatarozzák" újra. Így sorra szűnnek meg a fészkelőhelyek, illetve növekszik a sikertelen költések száma a széthulló fészkekben. Továbbá más jellegű "balesetek" is előfordulhatnak, ugyanis a varjúfélék a fészeképítés során előszeretettel használnak fészekanyagként műanyag bálamadzagot, ami a fészekcsészébe kerülve, nem csak a sólyomfiókák, hanem még a szülőmadarak lábaiba is beleakadhat, ami a pusztulásukat is előidézheti.



4. fotó: Kerecsensólyom fióka terméketlen tojásokkal (Fotó: Balázs I.)
Photo 4. Chick of Saker Falcon with infertile eggs (Photo: I. Balázs)

A legelső műfészektípus háromszög alakú volt és pontosan beilleszthető a tartóoszlopok kereszttartó vasidomai közé. Ebben az időszakban aprószemcséjű sóderrel lettek feltöltve a fészkelő alumíniumtálcák. A következő fészkelési szezon végén derült csak ki, hogy ez a megoldás nem tökéletes, ugyanis a sóder eltömte a tálca aljzatán lévő sűrű perforációt, aminek az lett a következménye, hogy a nyár eleji nagy zivatarok során felgyűlt a tálcákban a csapadék, s emiatt sok fészkelés hiúsult meg, a fiókák, vagy a kotlott tojások kihűlése következtében. A másik probléma az volt, hogy a sóder rövid idő alatt összeállt-cementálódott a madarak ürülékétől és a behordott táplálékmaradványoktól, ami szintén növelte az esélyét annak, hogy tartósan megmaradjon az odahullott csapadék. Ezért szükségessé vált, hogy a műfészkeknél bizonyos módosítások történjenek. Az első lépésben a tálcáknál a sódert le kellett cserélni azonos szemnagyságú gyöngykavicsra, valamint, új megoldásként, hogy az időjárás viszontagságait tovább csökkentsék (erős szél, hirtelen lehulló csapadék stb.) tetőszerkezettel látták el a tálcákat, illetve a jövőben csak ilyen kialakítású fészkelő „boxokat" helyeznek ki a szakemberek, ami biztonságosabbá teheti a költések sikerességét. 2006-tól kezdődően egy országos kerecsensólyom védelmi Life program indult, aminek következtében még további 340 darab „költőbox" lett kihelyezve az ország különböző tájegységein húzódó magasfeszültségű távvezetékek tartóoszlopaira.



5. fotó: Fedett költőbox 3 fiókával (Fotó: Balázs I.)
Photo 5. Covered nest boksz with three chicks (Photo: I. Balázs)

Ezen technikai módosítások után egy újabb „ismeretlen” problémával találták szemben magukat a szakemberek, ugyanis a fedett, vagyis az időjárási viszontagságokkal szembeni védettebb „költőboxokban” mégis hasonló volt a költési siker, mint a fedetlenekben. Hazánkban 1930-ban készült el a legelső 120 kV-os légvezeték, azóta 220 és 400 kV-osok, sőt a Hortobágy szélén egy 750 kV-os is megépült, ami Szabolcs-Szatmár-Bereg és Jász-Nagykun-Szolnok megyéket is érinti. Az elektromos erőtereknek a negatív biológiai hatását csak a hetvenes években kezdték el komolyabban kutatni, itt is elsősorban a humán vonatkozásaira helyezték a fő hangsúlyt. Az élő szervezet az elektromágneses térben egyaránt viselkedhet vezetőként, szigetelőként, generátorként. Az élő szervezet maga is elektromágneses belső és külső tereket hoz létre. Így a károsodás lehetősége annál nagyobb, minél több az élő szervezet által elnyelt energia mennyisége. A testi sejtek viszonylag jól regenerálódnak, míg az ivarsejtekben gyakrabban fordulhat elő kromoszóma-aberráció (kromoszómatörés), illetve az idegrendszer (neuronokban) működésében az ingerület átterjedésénél okozhat zavarokat.

A mágneses erőtér befolyásolja az ionok mozgását is a sejtmembránon keresztül. Felmerülhet a kérdés, hogy egy ragadozómadár esetében, amely éveken át napjában többször is ki és berepül nagyfeszültségű légvezetékek elektromos és mágneses erőtereibe, s az ilyenkor fellépő ionáramlás ingadozás sejtszinten milyen anyagcserezavarokat okozhat nála. Aminek következménye lehet-e egy rendellenes neuro-hormonális szabályozás, ami szaporodási defektusokat eredményezhet. A rendszeresen a magasfeszültségű traverzek oszlopain éjszakázó, s azon fészkelő sólymok szervezetében jelentkezhetnek-e olyan élettani elváltozások az ott eltöltött idő arányában, amik csak jóval később, esetleg hosszú évek múltán válnak egyértelműen észlelhetővé. Erre vonatkozóan még konkrét vizsgálati eredmények nem állnak rendelkezésre, de nem zárható ki teljes mértékben, hogy szülőmadarakra, a tojások keltethetőségére, s a fiókákra az erőtereknek élettani konzekvenciákkal járó hatása van. Egyelőre a terepi megfigyelések csak részben támasztják alá ezeket a hipotéziseket (THÚROCZY 2002).

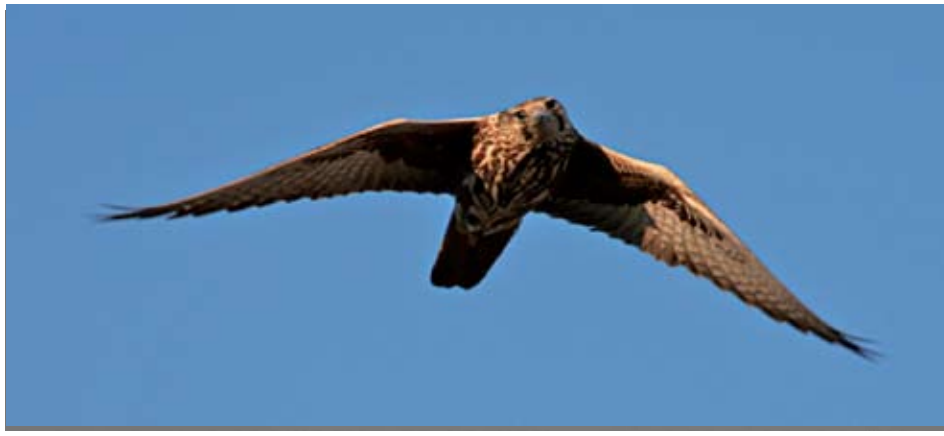
A Hortobágyi Nemzeti Park működési területén a hazai kerecsensólyom állomány 40 %-a költ, s döntő többségben traverzeken fészkel 83 pár, míg csak 21 pár költ fákon, így igen komoly felelősség nehezedik a védelmükkel foglalkozó szakemberekre.



6. fotó: Különböző típusú magasfeszültségű oszlopok (Fotó: Balázs I.)
Photo 6. Various types of pylons (Photo: I. Balázs)

Ugyanis a rendelkezésre álló adatok összehasonlítása során az is kiderült, hogy a traverzen és a nem traverzen költő párok évenkénti felnevelt és sikeresen kirepült fiókaszámai között is nagy eltérések mutatkoznak. Ami viszont igazán szembetűnő az az, hogy a terméketlen vagy egyéb ismeretlen okok miatt ki nem kelt tojások száma lényegesen több a traverzen található fészkekben, mint a fán lévőkben. Ekkor merült fel az a gyanú, hogy a közvetlen környezeti hatásokon (csapadék, hőmérséklet, erős szél, kevés táplálék, peszticidek, predátorok: holló, dolmányos varjú, nyest által kifosztott fészkek, stb.) kívül, egyéb más tényezők is befolyásolhatják a költések sikerességét az erősáramú légvezetékek tartóoszlopain. Ekkor került előtérbe annak a lehetősége, hogy esetleg az elektromos és mágneses erőtereknek lehet közvetett befolyása a sólymok élettevékenységére, de evvel kapcsolatban egyelőre még megoszlanak a vélemények. A természetvédelmi szakemberek az alábbi konkrét, de még eldöntésre, váró kérdésekre keresik a sürgető választ.

- Egy ragadozómadár egyed esetében, amely éveken keresztül, napjában többször is kibeszáll a nagyfeszültségű légvezetékek erőtereibe, az ionáramlás ingadozás sejtszinten milyen anyagcserezavarokat idézhet elő nála. A korábbi kutatások már arra is fényt derítettek, hogy a különböző erősségű mágneses erőterekben a belsőelválasztású tobozmirigy melatonin hormon termelése jelentősen megváltozott, ami az állat napi életritmusát, aktivitását szabályozza. Vagy olyan kémiai anyagok, mint a neurotranszmitterek (acetilcholin, dopamin, szerotonin stb.) amelyek mint ingerületátvivők játszanak fontos szerepet az idegsejtek normális működésében, csökkent mennyiségben voltak jelen a szervezetükben. Lehet-e ennek következménye, hogy a „tökéletlen" hormonális szabályozás hatására, nászviselkedéskor nincs szinkronban a hím és a tojó ivarsejtjeinek az érése, s ez szaporodásbeli defektusokat eredményezhet (pl. terméketlen tojások, örökítőanyag károsodás-kromoszóma, gén vagy DNS-szerkezet szinten lehet-e okozója?). Fölmerül annak a közvetett lehetősége is, hogy egy-egy szülőpár az erőterekben eltöltött idő arányában, a szervezetük és a környezet közötti tartós összhangja (homeosztázis) felbillenhet, aminek következtében az öregedési folyamatok felgyorsulhatnak és ez is okozhat korai improduktivitást a szaporodási ciklusok alatt. A felsorolt biológiai hatások élettani jellegeinek feltűnő hasonlósága a különböző elektromágneses hullámhatásnál nem lehet véletlen. Úgy tűnik, hogy az elektromágneses hullámok élettani hatása hasonló, de energiamennyiségtől és frekvenciától függően az adott hullámra jellemző sajátosságokkal is rendelkezik. Így az egyes hullámtartományok elemzésével kideríthető, hogy a fiziológiai hatás az adott hullámtartományban is csak egy szűkebb tartományon belül következik-e be? (VARJÚ 2002).



7. fotó: A fészkelőtálcára beszálló szülőmadár (Fotó: Balázs I.)
Photo 7. Parent landing on nest platform (Photo: I. Balázs)

A nagyfeszültségű energiaellátás természetes velejárója, hogy erős elektromos és mágneses erőterek jönnek létre, ezért a további tudományos kutatásoknak arra kell fókuszálnia, hogy a környezetünkben ne jelenjenek meg olyan erőterek, amelyek veszélyeztetik az egészséget.

A humán vonatkozásokon túl a természetvédelemnek mindenképpen tisztáznia kell, hogy a traverzeken fészkelő egyes madárfajok egészségi állapotát milyen mértékben befolyásolják az erőterek. A Hortobágyi Nemzeti Park Igazgatósága célirányos alapkutatásokat fog kezdeményezni, ahol laboratóriumi szimulációs modellkísérletek segítségével (pl. termékeny tyúktojások keltethetősége különböző erősségű erőterekben) keres megnyugtatóbb választ a felvetett kérdésekre. A Budapesti Műszaki Egyetem erősáramú tanszékének laboratóriumaiban talán megvannak a feltételei annak, hogy kellő alapossággal ezeket a kísérleteket lefolytassák a szakemberek. Fontos lenne helyszíni méréseket is végezni az egyes műfészkekben a különböző erősáramú távvezetékeken (750, 400, 220, 120 kV) és azokon az oszlopokon ahol a felnőtt madarak szívesen tartózkodnak. A terepi kutatások során figyelemmel kellene kísérni a különböző áramerősségű traverzeken költő párok fészkelési sikerességét, de úgy, hogy mindkét szülő jelölve lenne (színes gyűrű, napelemes adó stb.), így pontosabb információ birtokába juthatnának a kutatók. Számtalan esetben nem lehet biztosan tudni, hogy az évek óta költő párnál nem történt-e párcsere az adott szaporodási ciklusban. Ilyen esetekben hamis következtetéseket vonhat le az értékelő. Továbbá választ kell keresni arra vonatkozóan, hogy csökkenthetőek-e egyáltalán az erőterek negatív hatásai és milyen módon a sólymok műfészkeinél.

Végső konklúzióként pedig el kell majd fogadni, hogy amennyiben bizonyíthatók az erőterek negatív hatásai, úgy a korábbi kerecsensólyom védelmi stratégiát felül kell vizsgálni a hazai szakembereknek. S a további műfészkek kihelyezését be kell szüntetni az egész ország területén. Ezen aggályok ellenére mégis ki kell hangsúlyozni, hogy hazánkban még mindig évről-évre növekedő tendenciát mutat a kerecsensólyom fészkelőállománya, így látszólag minden rendben van!

S ez alábbi néhány ellentmondásos külföldi kutatási eredmény is a további bizonytalanságot erősíti csak. A tengerentúli kutatók az amerikai vércse (*Falco sparverius*) reproduktivitási sikerét vizsgálták elektromágneses terekben többéves ciklusban. Azt tapasztalták, hogy a traverzeken költőknél a tojásméretek nagyobbak voltak, míg a tojáshéj vékonyabb, ami szerintük a rosszabb Ca-ion transzport következménye lehet, s így a kelési és kirepülési siker negatív korrelációt mutatott. Más kutatott fajoknál (szirti sas, holló, vörösfarkú ölyv) viszont ezeket az összefüggéseket nem tapasztalták.

Német szakemberek a traverzeken költő halászsasokat vizsgálták (német populáció 75 %-a traverzen költ), de az ő megállapításaik szerint a költési siker, illetve a kirepült fiatalok száma kifejezetten emelkedést mutatott, a fán fészkelőkhöz viszonyítva. Ezek után egyelőre továbbra is nyitott a bioelektromosság legalapvetőbb kérdése, hogy milyen mértékben lehetnek képesek a különböző frekvenciájú erőterek maradandó élettani elváltozásokat előidézni a biológiai rendszerekben.

Ez a gondolatébresztő összeállítás azt a célt kívánja szolgálni, hogy felkeltse a téma iránt a mélyebb szakmai érdeklődést és a további vizsgálatok körébe bevonja a már eddig is kutatásokat végző tudományos szervezeteket, egészségügyi, környezetvédelmi és műszaki szakembereket.

DÉTÁRI, L., KARCAGI, V. 1981. Bioritmusok. Natura, Debrecen: 39-41.

HORVÁTH, T. 1989. Erőterekben élünk - A coloradói kísértet. Élet és Tudomány 1989. 44., 32.: 1014-1017.

HUMMEL, Z. 1994. A villamos áram elektromos és mágneses erőterei: Mit tudunk ezek lehetséges egészségkárosító hatásairól. ANTSZ Tolna Megyei Intézete, Szekszárd: 4-35.

MADARÁSZ, S. 2009. Magneter-Terápiás Orvostechnikai eszköz: 3-18. Orvos- és Kórháztechnikai Intézet kiadványa, Budapest

MVM, Rt. 1999. Villamos és mágneses terek. Kiadvány a PR Iroda gondozásában, Budapest, 14 pp

NÉMETH, M. 1993. Az elektromágneses hullámok élettani hatásai. Az Országos „Frédéric Joliot-Curie" Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézet, Budapest, 44 pp

THÚROCZY, Gy. 2002. A radiofrekvenciás sugárzások egészségügyi kérdései. Magyar Tudomány 2002/8.: 1010-1025.

VARJÚ, Gy. 2002. Élet a sugárözönben. Kisfrekvenciás erőterek egészségi és elektromágneses összeférhetőségi kérdései. Magyar Tudomány 2002/8.: 1026-1047.