

Légekőri elektromos és ionoszféra vizsgálatok, valamint gyakorlati alkalmazásuk lehetőségei

BENCZE PÁL* – MÁRCZ FERENC*

A légekőri elektromos paraméterek (vezetőképesség, potenciálgradiens, vertikális áram) vizsgálataának gyakorlati vonatkozásait tekintve a levegő szennyezettségével és elektromos állapotának az emberi szervezetre gyakorolt hatásával kapcsolatos kutatások emelhetők ki. Ami az ionoszférára vonatkozó vizsgálatokat illeti, azok elsősorban a rövid hullámon történő távolsági hírközlés biztonságának növelését szolgálhatják.

Считая практические отношения исследований атмосферно-электрических параметров (проводимость, градиент потенциала, вертикальный ток) можно выделить испытание, связанное с загрязненностью воздуха и влияние электрического состояния на человеческий организм. Что касается ионосферных исследований, то они могут служить для увеличения безопасности дальней ВЧ передачи.

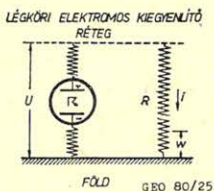
Regarding the utility of the study of atmospheric electric parameters (conductivity, potential gradient, vertical current), the investigations connected with the contamination of air and the effect of the electrical state of the air on human organism may be emphasized. The study of the ionosphere can be used first of all to the increase of the security of long-distance HF telecommunication.

Az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet Nagycenk melletti geofizikai obszervatóriumában 1960-ban kezdődött meg egyes légekőri elektromos paraméterek regisztrálása. Ezekhez járult 1966-tól a rádióhullámok ionoszférikus abszorpciójának mérése. Az obszervatóriumban végzett megfigyelésekkel párhuzamosan más obszervatóriumokban mért, más légekőri elektromos és ionoszféraparaméterekre vonatkozó adatokat is felhasználva az említett paraméterek idő- és térbeli változásának, azok törvényszerűségeinek megállapításával kapcsolatos vizsgálatok kezdődtek.

Az utóbbi években egyre inkább előtérbe került a tudományos kutatás eredményeinek gyakorlati hasznosítása. A következőkben ezen alapvetően *alapkutatás jellegű vizsgálatok* gyakorlatban való alkalmazásának lehetőségeivel foglalkozunk. Ahhoz, hogy fejtegetéseink érthetőkké váljanak, elkerülhetetlen néhány alapvető fogalom tisztázása. A légekőri elektromos teret a ma általánosan elfogadott felfogás [Wilson, 1920] szerint a globális zivatartevékenység hozza létre és tartja fenn a Föld felszíne és a felső légekőri elképzelt kiegyenlítő réteg, mint egy gömbréteg kondenzátor két fegyverzete között [Israel és Lahmeyer, 1948] (1. ábra). Mivel a levegő elektromosan nem teljesen szigetelő, — a talajban és a levegőben levő radioaktív anyagok sugárzása, valamint a galaktikus eredetű, nagyenergiájú részecskék fluxusa (galaktikus kozmikus sugárzás) ionizálja azt — az elektromos tér a „szép idő”-vel rendelkező területeken függőleges irányban áramot hoz létre. Így jön létre a *globális légekőri elektromos áramkör*, amelynek elemei a *vezetőképesség, a térerősség (potenciálgradiens) és a vertikális áram*. A globális áramkörre jellemző törvényszerűségek a Föld felszínén végzett mérésekkel csak zavartalan helyen tanulmányozhatók. A légekőri elektromos

* MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézete, Sopron

áramkör elemei közül ugyanis a vezetőképesség a helyi hatásokra nagyon érzékeny. Ezek többé-kevésbé a másik két áramköri elemben is tükröződnek. Ami a globális hatások, vagyis az alap kutatás szempontjából zavaró, az fontos az alkalmazott kutatás, a gyakorlati alkalmazás szempontjából. Ugyanis a levegő elektromos vezetőképessége az elektromos töltéssel rendelkező részecskék, az ionok koncentrációjával és mozgékonyaságával, tehát nagyságának reciprokértékével arányos. Ebből következik, hogy minél nagyobb a nagy mozgékonyaságú kis ionok koncentrációja, annál nagyobb a vezetőképesség és fordítva. A nagy mozgékonyaságú kis ionok koncentrációja azonban elsősorban a levegő szennyezettségének a függvénye. Minél szennyezettebb a levegő, annál nagyobb a kondenzációs magok koncentrációja, amelyek a kis ionokat befogva, azoknál kisebb mozgékonyaságú közepes, valamint nagy ionokat hoznak létre és így a levegő vezetőképessége is csökken. Mivel a légköri elektromos potenciálgradienst (a talaj felszíne felett) 1 m magasságú légoszlopon mérjük, annak nagysága a helyi hatásokra legkevésbé



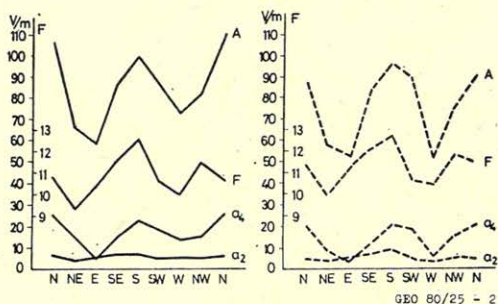
1. ábra. A légköri elektromos tér kialakulása (elvi vázlat)

Рис. 1. Образование атмосферно-электрического поля (принципиальная схема)

Fig. 1. The formation of the atmospheric electric field (principal sketch)

érzékeny vertikális áram és a vezetőképesség függvénye. Így a vezetőképéségen keresztül az antropogén hatások a potenciálgradiensben is tükröződnek, mint azt a következő példák is mutatják. Ha a mérőhely távol van levegőt szennyező forrásoktól, akkor a nap azonos időszakában, szép idő esetén a potenciálgradiensnek a szél irányától és erősségétől gyakorlatilag függetlennek kell lennie. A 2. és 3. ábrán azoknak a vizsgálatoknak az eredményeit mutatjuk be, amelyeket a Nagycenk melletti obszervatóriumban regisztrált potenciálgradiens-értékekkel végeztünk [Márcz, 1965]. Látható, hogy északi és déli szélirány esetén a potenciálgradiens ingadozásai sokkal nagyobbak, mint keleti, vagy nyugati szélirány esetén. Ez arra enged következtetni, hogy a szennyező források hatása még egy olyan zavartalan környezetben működő megfigyelő hely adataiban is kimutatható, mint a Nagycenk melletti obszervatórium. Megállapításunkat alátámasztja a potenciálgradiens-ingadozások és a szél erőssége közötti összefüggésre vonatkozó vizsgálat eredménye is, amely szerint az ingadozások amplitúdója a szélerősség növekedésével nő. A szélerősség növekedésével ugyanis adott helyen távolabbi szennyező források is éreztetik hatásukat. Megjegyzendő, hogy a különböző eredetű légtömegekben a kondenzációs magok koncentrációja is különböző, tehát elektromos vezetőképességük is eltérő. A sarki eredetű légtömegek tisztábbak, bennük a kondenzációs magok koncentrációja kisebb, mint a trópusi eredetű légtömegekben, amelyek sok lebegő anyagot tartalmaznak. Így a fenti vizsgálatok eredményét a nagy kiterjedésű meteorológiai folyamatokkal kapcsolatos légtömegcsere is befolyásolja, ennek hatása azonban antropogén szennyező források jelenléte esetén háttérbe szorul. A levegő szennyezettségére utal pl. nagy városok közelében a légköri elektromos potenciálgradiens napi menete

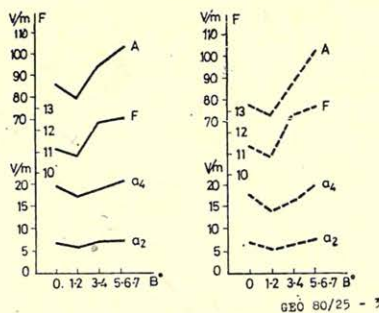
is, amely az ipari üzemek tevékenységének eredményeként megnövekedett levegő szennyezés következtében munkanapokon magasabb értékeket mutat, mint munkaszüneti napokon [Mühleisen, 1953] (4. ábra).



2. ábra. A légköri elektromos potenciálgradiens-ingadozások amplitúdója (A), frekvenciája (szélső-értékek száma óránként) (F), valamint a 6–12 és 24–60 perc periódusú változások átlagamplitúdói (a_2 , a_4) középértékének változása a szél irányával (bal oldalon az összes, jobb oldalon a csapadék nélküli napok adatai alapján)

Рис. 2. Средняя величина амплитуды (A), растоты (F) флуктуаций градиента потенциала и амплитуд-вариаций с периодом 6–12 (a_2) и 24–60 (a_4) мин., как функция направления ветра (налево – на основании всех данных, направо – на основании данных дней без осадков)

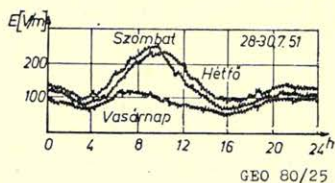
Fig. 2. The variation of the average amplitude (A), frequency (F) (the number of extremes per hour) of the atmospheric electric noise, as well as that of the mean amplitude of fluctuations of periods 6–12 (a_2) and 24–60 (a_4) min. with the direction of wind (left – based on all data, right – on the basis of days without precipitation)



3. ábra. A légköri elektromos potenciálgradiens-ingadozások amplitúdója (A), frekvenciája (szélső-értékek száma óránként) (F), valamint a 6–12 és 24–60 perc periódusú változások átlagamplitúdói (a_2 , a_4) középértékének változása a szél erősségével (bal oldalon az összes, jobb oldalon a csapadék nélküli napok adatai alapján)

Рис. 3. Средняя величина амплитуды (A), частоты (F) флуктуаций градиента потенциала и амплитуд-вариаций с периодом 6–12 (a_2) и 24–60 (a_4) мин., как функция балла ветра (налево – на основании всех данных, направо – на основании данных дней без осадков)

Fig. 3. The variation of the average amplitude (A), frequency (F) (the number of extremes per hour) of the atmospheric electric noise, as well as that of the mean amplitude of fluctuations of periods 6–12 (a_2) and 24–60 (a_4) min with the intensity of wind (left based on all data, right – on the basis of days without precipitation)



4. ábra. A légköri elektromos potenciálgradiens napi változása munka- és munkaszüneti napokon
 Рис. 4. Суточные вариации градиента потенциала атмосферно-электрического поля в рабочие и выходные дни

Fig. 4. The diurnal variation of the atmospheric electric potential gradient on working days and holidays

A légköri elektromos vizsgálatok végeredményben, mint arra még az alábbiakban röviden kitérünk, a mindennapi élet szempontjából azért fontosak, mert a levegő elektromos állapotának tapasztalat szerint élettani hatása van. Megfigyelések bizonyítják, hogy ha a levegő nem tartalmaz megfelelő számú kis iont (pl. a levegő szennyeződése, elhasználódása esetén, légkondicionáló berendezéssel ellátott helyiségekben), légzőszervi megbetegedések és egyéb, a munkavégzőképességet csökkentő hatások lépnek fel. A pontos hatásmechanizmus még nem tisztázott, de úgy látszik, az emberi szervezet a törzsfajlás folyamán hozzászokott és ez a jó „közérzethez” is szükséges, hogy az egységnyi térfogatú levegőben a sok elektromosan semleges molekulán kívül mindig van néhány ezer kis ion.

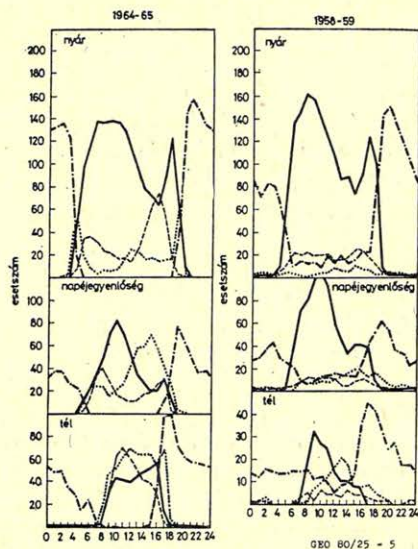
A Föld légkörében az ionoszféra a Nap hullámtermészetű, elektromágneses sugárzása és az eredetileg elektromosan semleges állapotú légkör közötti kölcsönhatás eredményeként jön létre. A sugárzás spektrumának 1300 Å-nél rövidebb hullámhosszúságú része a semleges gázkeveréket ionizálni képes és így mintegy 50 km felett a térfogategységben a magasság növekedésével az elektromosan töltött részecskék (elektronok, ionok) száma a semleges molekulákhoz, atomokhoz viszonyítva nő. Az alsó ionoszférának nevezett 50-től 150 km-ig terjedő magasságintervallumban az elektromos töltéssel rendelkező részecskék száma annyira kevés, hogy az elektronok mozgását mintegy 90 km alatt, az ionokét 140 km-nél kisebb magasságban, a semleges részecskékkel való gyakori ütközés következtében a semleges közeg mozgása is befolyásolja. Mivel az elektronok, ionok mozgását eredendően a mángeses tér határozza meg, az eredő mozgás a két erő viszonyának megfelelően alakul.

A légkörnek ebben a magasságtartományában a semleges gázkeverék mozgása gyakorlatilag a vízszintes síkra korlátozódik. Nyugati szél esetén a földmágneses tér az ionokat felfelé, keleti szél lefelé való mozgásra kényszeríti. Az északi, illetve déli szélkomponens a függőleges mozgás szempontjából alárendelt szerepet játszik.

A légkör felszínközeli részében időjárási frontokkal, orografikus akadályokkal kapcsolatban olyan légköri hullámok keletkeznek, amelyek az alsó ionoszféráig is eljuthatnak, mivel függőleges irányban alig szenvednek csillapítást. Függőleges hullámhosszuk 10–20 km, vízszintes hullámhosszukhoz (100–500 km) viszonyítva kicsi. A kis függőleges hullámhossznak az a következménye, hogy a mozgás iránya kis függőleges távolságon belül ellentétessé válik, szélnyírás jön létre. Az ilyen irányváltással jellemzett zónák magassága a hullám terjedése következtében változik. Mivel az előbb elmondottak szerint az ionok mozgását a semleges

gázkeverék áramlása és a földmágneses tér együttesen alakítja ki, ott, ahol a semleges áramlás iránya a hullámmozgás eredményeként a magasság növekedésével nyugatiról keletre változik, az ionkoncentráció növekedése jön létre. Az alsó rétegben fellépő nyugati szél ugyanis felfelé, a felső rétegben uralkodó keleti szél lefelé való mozgást kelt, melynek eredményeként az eredeti, a Nap ionizáló sugárzásának hatására kialakult ionsűrűség-eloszlás megváltozik, az irányváltás magasságában rétegződés jön létre. Az ily módon közepes földrajzi szélességeken a szélnyírás következtében létrejött réteget *szporadikus E rétegnek* nevezik. A réteg kialakulásához vezető folyamat természetéből adódik, hogy annak vastagsága az állandó ionoszféra rétegekéhez viszonyítva nagyon kicsi, 1–3 km. A háttéreléktronsűrűségnél nagyobb elektronsűrűség ilyen kis vastagságú rétegben azonban csak akkor maradhat fenn, ha abban az ellentétes előjelű töltések egyesülése, a töltéssemlegesítődés igen lassú. Ez a körülmény olyan ionok jelenlétét teszi szükségessé, amelyeknek a rekombinációs tényezője nagyon kicsi. Ilyen tulajdonsággal az alkáli földfémek (Mg, Ca), továbbá a vas és alumínium ionjai rendelkeznek, melyek meteoritek felületéről elgőzölögve a légkör 90–120 km közötti részében kerülnek a levegőbe.

A szporadikus jelző az előfordulásra utal. Ugyanis a *szporadikus E réteg* keletkezésének nem mindig vannak meg a feltételei. A réteg jelenléte viszont az alkalmi hőröszeköttetést illetően nagy gyakorlati jelentőséggel bír. A rádióhullámok terjedését a levegőben a térfogategységben levő elektronok száma szabályozza. Az elektronkoncentráció határozza meg azt a frekvenciát, amellyel a töltéseket tartalmazó térrész töltéseit pl. elektromos tér segítségével szétválasztva, az elektromos tér megszűnését követően a különböző előjelű töltéscsoportok az egyensúlyi helyzetnek megfelelő semleges állapot körül rezegnének. Ennek az önrezgésnek a frekvenciáját plazmafrekvenciának nevezzük. A rádióhullámok az ionoszférában abban a magasságban verődnek vissza, ahol a rádióhullám frekvenciája az elektronkoncentráció által meghatározott plazmafrekvenciával egyenlő. Tehát minél nagyobb az elektronkoncentráció egy adott magasságban, annál nagyobb annak a rádióhullámnak a frekvenciája, amely ebből a magasságból még visszaverődik. A még visszavert legnagyobb frekvencia a beesési szögnek is függvénye, a beesési szög növekedésével ez a frekvencia nő. Normális körülmények esetén az elektronsűrűség az ionoszférában nem ér el akkora értékeket, hogy az ultrarövidhullámok visszaverődéséhez szükséges feltételek teljesülnének. Ezért nem lehet az ionoszférát ebben a sávban már távolsági összeköttetések létrehozására felhasználni és szükséges a kölcsönös láthatóság adó és vevő között. Mivel a szélnyírás eredményeként közepes földrajzi szélességen létrejövő szporadikus E rétegben az elektronkoncentráció a háttéreléktronsűrűség 5–10-szeresét is elérheti, a szporadikus E réteg biztosíthatja az ultrarövidhullámok visszaverődését is. Így válnak láthatóvá pl. távoli televízió adóállomások adásai. Ha tehát sikerül a *szporadikus E réteg* pontos keletkezési mechanizmusát, szerkezetét tisztázni, idő- és térbeli előfordulásának törvényszerűségeit megállapítani, fellépése előrejelezhetővé válik. Az előrejelezhetőség a közvetítő lánc nélküli távolsági összeköttetés lehetőségét jelentené ezeken a frekvenciákon is. Az 5. ábrán a különböző magasságokban jelentkező *szporadikus E rétegek* gyakoriságának napi változását látjuk a békéscsabai ionoszféraszondázó állomás adatai alapján [Bence, 1969]. Látható, hogy a szporadikus réteg típusától eltekintve az előfordulás valószínűsége a napkelte és napnyugta körüli órákban a legkisebb. Ezen kívül a délutáni órákban is jelentkezik egy kisebb minimum. A gyakoriság napi változása nem mutat összefüggést a naptevékenységgel. Az évszakos vál-



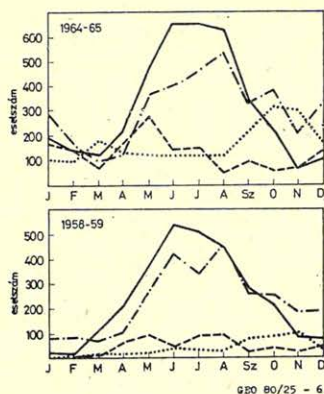
5. ábra. A különböző magasságban megjelenő sporadikus E réteg gyakoriságának napi változása (... E réteg maximuma (~110 km) alatt, _____ az E réteg maximuma körül, - - - - az E réteg maximuma felett, - . - . - éjszakai típus)

Рис. 5. Суточные вариации частоты появления спорадического слоя E в различных высотах (..... ниже максимума (~110 км) _____ около максимума, - - - - выше максимума слоя E и - . - . - ночной тип)

Fig. 5. Diurnal variation of the occurrence frequency of sporadic E layers appearing at different altitudes (.... below the E layer maximum (~110 km), _____ at the height of the maximum of the E layer, - - - - above the E layer maximum, - . - . - night type)

tozást tekintve (6. ábra) a sporadikus E réteg a nyári hónapokban a leggyakoribb (Bence, 1969). Gyakorisága augusztustól fokozatosan csökken és februárban, márciusban a legkisebb. A gyakoriság évszakos változása azt mutatja, hogy a *sporadikus E réteg* előfordulásának valószínűsége a naptevékenység növekedésével valamelyest csökken. A fentiek figyelembevételével tehát a *sporadikus E réteg* a napkelte és napnyugta körüli időszakok kivételével a nyári hónapokban használható fel a legnagyobb gyakorisággal ultrarövid hullámon történő távolsági összeköttetések létesítésére.

Az összeköttetés létesítése szempontjából a *sporadikus E réteg* szerkezete sem közömbös. Minél homogénebb vízszintes irányban az elektronsűrűség-eloszlás, annál megbízhatóbb az összeköttetés. A sporadikus E réteg szerkezete célszerűen a rádióhullámok inkoherens szóródásának módszerével tanulmányozható. A vizsgálatok azt mutatják, hogy a réteg részleges átlátszóságát rádióhullámok szempontjából az abban fellépő elektronsűrűség-irregularitások okozzák. A légköri gravitációs hullám hatására az irányváltás magasságában kialakuló elektronsűrűség-maximumot „modulálhatja” más légköri hullámmal kapcsolatos függőleges, vagy vízszintes szélnyírás. Irregularitásokat okozhatnak az elektronsűrűség-eloszlásban az áramlási sebesség gyors térbeli változása esetén fellépő instabilitások, különböző méretű örvények keletkezése. Az egyenetlen elektronsűrűség-eloszlás további forrása lehet a sporadikus E réteg fennmaradásához szükséges, meteoritikus eredetű fématomok egyenetlen eloszlása.



6. ábra. A különböző magasságban megjelenő sporadikus E réteg gyakoriságának évszakos változása (.... E réteg maximuma (~110 km) alatt, — az E réteg maximuma körül, - - - az E réteg maximuma felett, - . - . - éjszakai típus).

Рис. 6. Сезонные вариации частоты появления спорадического слоя E в различных высотах (.....ниже максимума (~110 км), — около максимума, - - - выше максимума слоя E и - . - . - ночной тип)

Fig. 6. Seasonal variation of the occurrence frequency of sporadic E layers appearing at different altitudes (.... below the E layer maximum (~110 km), — at the height of the maximum of the E layer, - - - above the E layer maximum, - . - . - night type)

IRODALOM

Bencze, P.: Szporadikus E ionizáció közepes földrajzi szélességen. Geofizikai Közlemények XVIII. (1969), 47–57.

Israel, H. und Lahmeyer, G.: Studien über das atmosphärische Potentialgefälle 1. Das Auswahlprinzip der luftelektrisch „ungestörten Tage”. Terr. Magn. 53 (1948), 373–386.

Márcz, F.: A lélegektromos nyugtalanság és a meteorológiai elemek összefüggése a Nagycenk melletti geofizikai obszervatórium megfigyeléseiben. MTA Műsz. Tud. Oszt. Közleményei, 35 (1965), 155–165.

Mühleisen, R.: Die luftelektrischen Elemente im Grosstadtbereich, Untersuchung der Schwankungen und Extremwerte des Potentialgradienten. Z. f. Geophys. 19 (1953), 142–160.

Wilson, C. T. R.: Investigations on lightning discharges and on the electric field of thunderstorms. Phil. Trans. Roy. Soc. London (A) 221 (1920), 73–115.

Egyesületi hírek

Egyesületünk 1981. évi tisztújító közgyűlése alkalmából alábbiakban néhány jellemző statisztikai adatot ismertetünk lapunk olvasóival (a közgyűlésre készült beszámoló alapján).

Az egyesületi taglétszám alakulása a beszámolási időszakban

Évszám	1978.	1979.	1980.
Létszám	820	820	752
Budapest	589	573	495
Vidék	231	247	257