

**Szerzők: Dr. Király László okl. villamosmérnök, a hadtudomány kandidátusa  
Szukfiel Gergely villamosmérnök**

## **Villámvédelem a repülés földi és légi objektumaiban**

### **Lighting protection for the landbase and flying objects of aviation**

A cikkben a szerzők a repülés földi és légi objektumain a repülésbiztonságot nagymértékben veszélyeztető természeti jelenséget, a villámcsapást teszik vizsgálatuk tárgyává. Ismertetik a villámjelenséget, említést téve annak keletkezésében szerepet játszó meteorológiai jelenségről. Részletesen írják le a villám fizikai paramétereit és azokat az elektromos, mechanikai és hőhatásokat, amelyek a repülésbiztonságot veszélyeztető rombolásokat okozzák. A cikk a védekezési lehetőségek közül a földelés kialakítását és a túlfeszültség levezető eszközöket tárgyalja részletesebben. Leszögezi, hogy a védelmi eszközök csak akkor lehetnek hatásosak, ha azok a tervezéstől az üzemeltetésig előrelátóan megtervezett és karbantartott rendszert alkotnak.

Kulcsszavak: repülésbiztonság, villámcsapás, földelés, túlfeszültség levezető

Into this article the authors analyse the lightning as one of the source of the hazard for landbased and flying objects of the aviation. They make known the meteorological phenomenon as the reason of the lightning effect. Given detailed review of the lightning phenomenon's physical parameters, and the effect of the lightning such as electrical, mechanical, and thermal influence, which cause the destruction into the objects of aviation. This article shows in details the surge protection devices and the lightning protection as the possibilities of the protection. Authors make it clear, that the any protection can be effective only the way, if those are correctly designed and scheduled from the design to the maintenance.

Keyword: aviation safety; lightning; grounding; surge protection

## **A villámjelenség**

A villám egyike az ember által legrégebben megfigyelt és a mai napig sem teljesen feltárt természeti jelenségnek.



1. ábra Villám [1]

A természeti népek a villám fény és kísérő hangjelenségét félték, istenként imádták. Nem véletlen, hogy a fizikában amúgy eléggé jártas ókori görögök a haragvó főistent, Zeuszt villámokkal a kezében képzeltek el, és a mennydörgést az ő hangjának tulajdonították.

Az ész századának nevezett XVIII. század fizikusai kezdtek rendszeresen foglalkozni a kvalitatív elektrosztatikai jelenségekkel. A korszak érdekes egyénisége és egyik legeredményesebb kutatója az amerikai Benjamin Franklin (1706-1790) volt, aki a villamos töltések és a csúcs hatás tanulmányozása során 1752-ben jutott el a villámhárító felfedezéséhez (Simonyi, 1986 [2]).

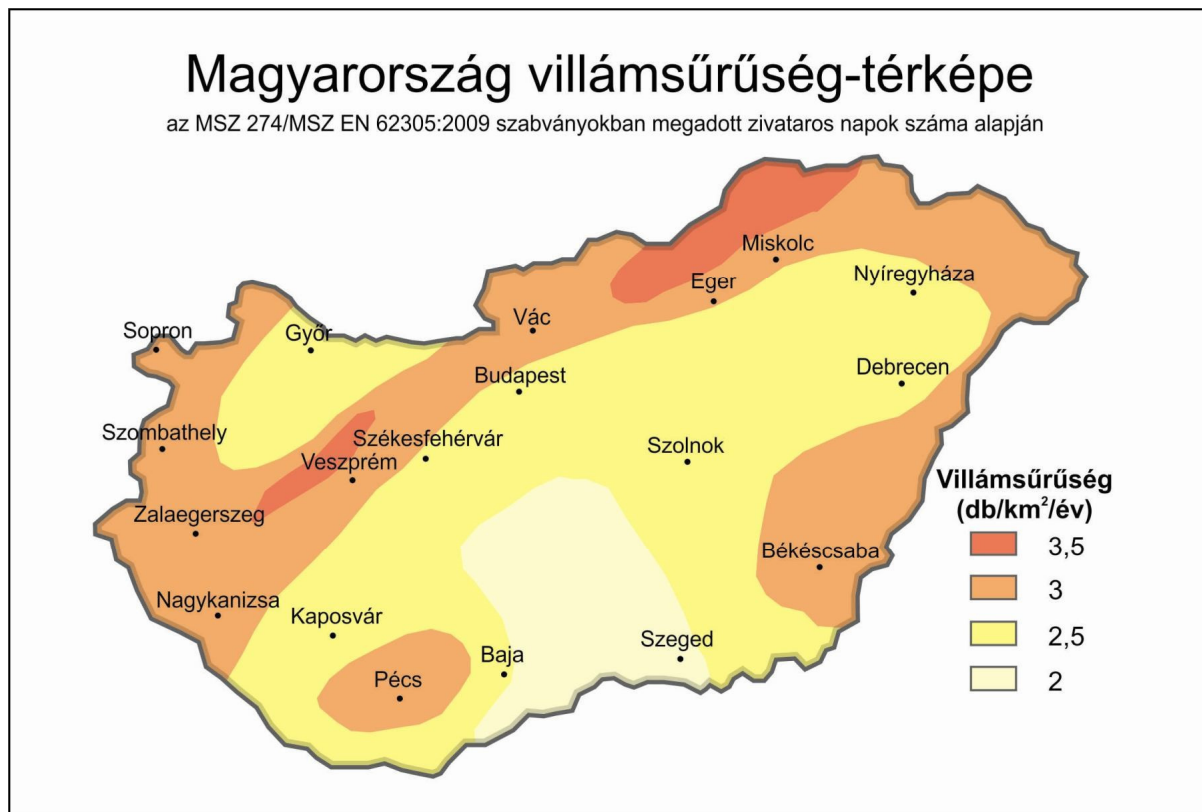
Korszerű fizikai ismereteink szerint a villám a zivatarokat kísérő légköri elektromos jelenség, amely a zivatarfelhők részecskéinek egyenlőtlen eloszlása nyomán létrejövő töltésmegosztás (a felhőn belül kialakuló villamos tér erőssége 100 kV/m nagyságrendű) és az azt követő töltés kiegyenlítődést biztosító kisüléssel jön létre. A villám létrejöhet felhőn belül, felhő – felhő és felhő – föld között. A villámok nagyobb hányada (kb. 80%) felhőn belül és felhők között keletkezik.

A cikkben a kisebb hányadot képező felhő – föld és felhő – repülő objektum közötti villámokat és az ellenük való védelmet tárgyaljuk, mivel ezek a meghatározóak a repülésbiztonság szempontjából, és ezekről rendelkezünk bővebb empirikus ismeretekkel. Nem kívánunk foglalkozni az ún. felületi és gömbvillámokkal, így a szövegben szereplő villám szó minden esetben ún. vonalas villámot jelent (Dr. Lakotár [3]).

## A villám

A zivatarokat kísérő légköri elektromos gázkisülés kapcsán szót kell ejtenünk magáról a meteorológiai jelenségről is.

A zivatar hazánkban a meleg évszakokban, a felszálló légáramok hatására kialakuló, závorszerű csapadékhullással, villámlással, mennydörgéssel együtt járó meteorológiai esemény, amelynek gócpontjában az ún. zivatarcellában alakul ki az a töltésmegosztás, amely a villám forrása. A zivatarok eloszlását és a valószínű zivataros napok számát mutatja a 2. ábra. Ebből az is látható, hogy az 1 km<sup>2</sup>-re jutó villámcsapások száma évente 1 – 3 között alakul.



2. ábra Villámsűrűség térkép[4]

A villámok detektálása a meteorológiai radarrendszer részét képező SAFIR és LINET hálózatok eszközeivel történik. Az előbbi a villám keltette elektromágneses tér nagyfrekvenciás összetevőit, míg az utóbbi az utóbbi az alacsonyfrekvenciás összetevőket észleli (Perlai, 2014 [7]).

A jellemzően nem nagy, 1-2 Coulombnyi töltéskiegyenlítőds igen rövid idő alatt (mikrosec nagyságrendű) játszódik le, így a kialakuló áramerősség 1000 – 100 000 A nagyságrendű (tájékoztatásul említjük, hogy az emberi szervezetben néhányszor 10 mA erősségű áramütés már halálos lehet). A villámáram erősségének mérésére a nagy áramok mérésére szolgáló áramváltó (lakatfogó) elvén működő műszer szolgál, ahol az áram nagyságára a vasmag visszamaradó mágnességéből (remanencia) következtetünk (Simonyi, 1986[2]).

A Magyarországon megfigyelt (SAFÍR program az MVM Rt. és az OMSZ részvételével, 1999-ben) villámcsapások erőssége a 3. ábrán olvasható le.



3. ábra Magyarországi villámcsapások mért jellemzői [5]

A villámcsapás fővonalában az ún. csatornában jól vezető ionizált gáz, plazma alakul ki, ami lehetővé teszi, hogy egyazon csatornában több kisülés haladjon át. Ennek eredményeképpen a külső szemlélő a villámcsapás időtartamát néhány microsec-tól akár 1-2 sec hosszúságúnak észleli.

### A villám romboló hatásai és a fizikai alapok

A villám legrészletesebben tárgyalt hatása az általa okozott túlfeszültség (4. ábra).



4. ábra Villám romboló hatása [1]

Ehhez a jól ismert Ohm (1787- 1854) törvényhez kell visszanyúlnunk (jelen cikkben a törvényeknek a középiskolából ismert egyszerű alakját szerepeltetjük, holott a bonyolultabb geometriájú elrendezéseknél – pl. az erőhatás számításához – azok differenciális alakjának használata az indokolt).

Az

$$U = IR$$

(1)

összefüggésből számítható, hogy a 100 kA nagyságrendű villámáram az 1 ohm nagyságú (földelési) ellenálláson 100 kV feszültséget hoz létre. Ugyanakkor berendezéseink és az azokban használatos szigetelő anyagok roncsolás mentes vizsgálati feszültsége 1 – 10 kV nagyságú.

A mechanikai károsodást okozó erők számítása az elektrodinamikus kölcsönhatást leíró Ampere (1775 – 1836) törvényre kell hivatkoznunk. Ennek közismert alakja

$$F = (I_1 * I_2) * (l_1 * l_2) / r^2$$

(2)

A képletből következtethetünk, hogy egy 10m magas antenna szerkezet közelében lecsapó villám az ébredő erő hatására képes jelentősen deformálni azt. Szerencsénkre ez az erőhatás a párhuzamosnak tekinthető vezetékek távolságával négyzetesen csökken.

A villámcsatornában kialakuló plazma hőmérséklete néhányszor 10 000 Kelvin fok. Ezen a hőmérsékleten a használatos szerkezeti anyagok megolvadnak, elpárolognak és másodlagos hatásként tüzet okoznak.

## A villámcsapások elleni védekezés lehetőségei

A villám által gerjesztett elektromágneses tér hatásainak kiküszöbölésére szolgál az ún. Faraday – kalitka. Ez egy fémlemezekkel vagy sűrű fémhálóval körülvett (árnyékolt) térrész, ahová a külső elektromos erőtér nem tud behatolni.

A korszerű repülőgépek fém teste Faraday (5. ábra) – kalitkát képez, mechanikai szilárdsága azonban nem jelent garanciát a közvetlen villámcsapás ellen. A kereskedelmi és utasforgalmat lebonyolító nagy gépek pilótái évente beszámolnak egy – egy közvetlen villámcsapásról is. Azonban a tengerek fölött bekövetkezett légi katasztrófák utólagos elemzése nem egy esetben bizonyította, hogy a pilóták a késések behozása, vagy üzemanyag megtakarításra hivatkozva nem tartották be azokat az utasításokat, amelyeket a földi repülésirányítás, vagy a meteorológiai előrejelzésekből következő óvatosság a zivatarzónák elkerülésére adott.



5. ábra Faraday kalitka [1]

Közvetlen villámcsapáson kívül a fedélzeti eszközöket a távolabbi villámlások okozta induktív úton létrejövő túlfeszültség fenyegeti. Ez ellen a készülékek egyenpotenciálra hozásával (összeföldelésével) és bemenő áramkörök túlfeszültség levezetőikkel való ellátásával lehet védekezni.

Földi objektumaink védelmében (szemben a légi objektumokkal) óriási előnyt jelent a föld jelenléte, ami lehetővé teszi a létesítési (tábori eszközöknél a telepítési) utasításokban/szabványokban előírt földelések elkészítését.

A (földelő) hálózat méretezéséhez Kirchoff (1824 – 1887) csomóponti törvényéből (1845) indulunk ki, amely szerint a csomópontba befolyó áramok összege egyenlő az onnan elfolyó áramok összegével.

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (3)$$

Ennek a többlevezetős (többpontos) földeléséknél van jelentősége.

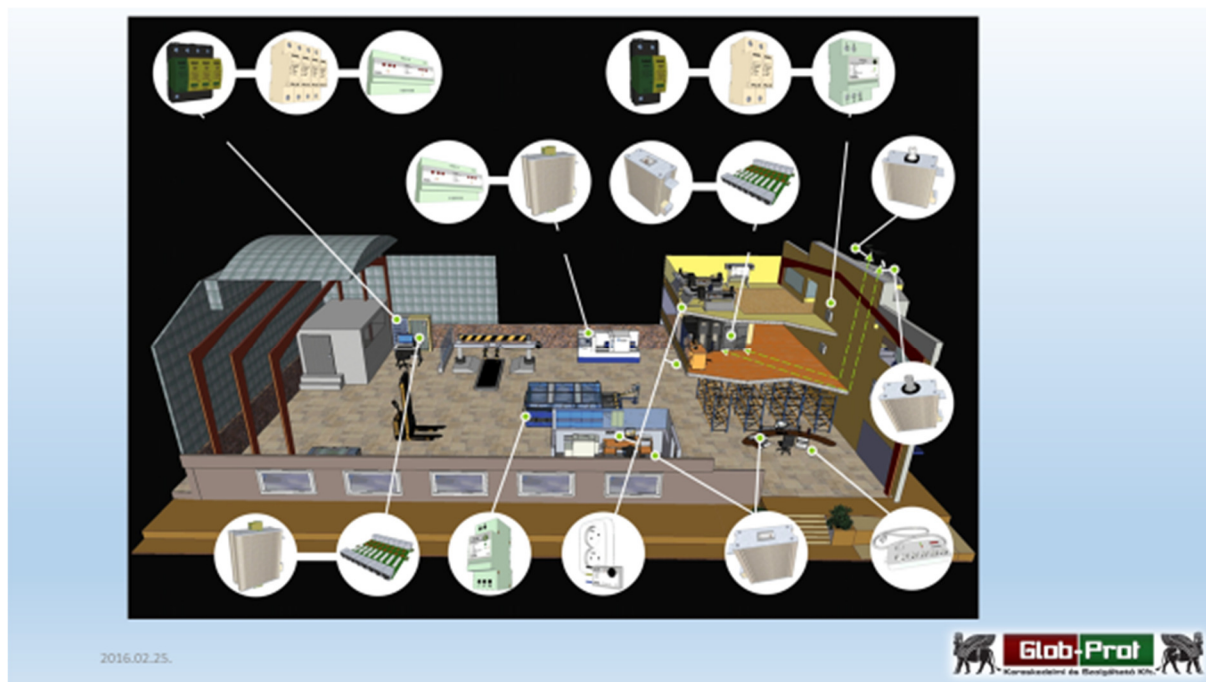
A föld villamos tulajdonságait a  $\rho$ .(ró) fajlagos ellenállás határozza meg. Erre mutat néhány értéket az alábbi táblázat (6. ábra).

| Talaj fajta                                 | Fajlagos ellenállás $\rho$ [ $\Omega\text{m}$ ] |                |
|---|---|----------------|
|   | tartomány                                       | átlag          |
| mocsár                                      | 2 – 50  | 30             |
| agyag                                       | 2 – 200   | 40             |
| iszap és homokos agyag, termőtalaj          | 20 – 260  | 100            |
| homok, homokos föld                         | 50 – 3,000                                      | 200 (nedves)   |
| tőzeg                                       | > 1,200   | 200            |
| kavicsos homok (nedves)                     | 50 – 3,000                                      | 1,000 (nedves) |
| köves, sziklás talaj                        | 100 – 8,000                                     | 2,000          |
| beton (1 rész cement, 3 rész homok)         | 50 – 300  | 150            |
| beton (1 rész cement 5 rész kavicsos homok) | 100 – 8,000                                     | 400            |

6. ábra Fajlagos ellenállás különböző talajtípusokra [6]

Ez azonban csak tájékoztató érték lehet, amit nagymértékben befolyásol a talaj nedvességtartalma az adott helyszínen, illetve vannak évszakos változások is. Tovább bonyolítja a helyzetet, hogy a föld másképpen viselkedik a nagyfrekvenciás és nagyáramú impulzusokkal szemben (ilyen a villám), mint az állandó hálózati frekvencián (50 Hz). Ennek részleteibe itt nem megyünk bele, csak felhívjuk a figyelmet, hogy egy szokásos erősáramú elosztóhálózathoz szabályosan megtervezett földelés villámcsapással szemben az elvártól egészen eltérően viselkedhet (European Copper Institute – Földelő rendszerek- számítási és tervezési alapok 2003 [6]).

A földelés tervezése során tekintettel kell lenni az objektum (épület, csarnok, antennatorony stb.) geometriájára és annak megfelelően elhelyezni a „villámhárítókat”, amelyek a csúcshatás és az ún. előkisülés révén bizonyos fokig irányíthatóvá és ezzel levezethetővé teszik a villámcsapást. Az ennek során fellépő túlfeszültségektől a berendezéseket lépcsőzött védelemmel látjuk el, amit a (7. ábra) mutat. Például az energiaellátás belépési pontján Type I, régi „B” osztályú levezető alkalmazása szükséges, míg az elosztórendszerben Type II, régi „C” osztály és a végberendezéseknél pedig Type III régi „D” osztály. A lépcsős túlfeszültségvédelemnél a megszólalási idők és a levezetési képességek összehangolása rendkívül fontos, mert így érhető el a szükséges védelem.



7. ábra Többlépcsős túlfeszültség-védelem [1]

Természetesen a legjobban megtervezett védelem sem zárja ki az üzemeltetés során (főleg emberi hanyagságból) bekövetkező hibákat, mint amilyenek a földelési ellenállás rendszeres mérésének elmulasztása, a meghibásodott túlfeszültség levezetők eltérő értékűre cserélése stb.

### Az eszközökről

A túlfeszültség levezető eszközök fejlődése hosszú utat tett meg az egyszerű szikraköztől, a neoncsöves villámvédő patronon keresztül a korszerű félvezetős eszközökig.

Eljutottunk egészen a kifinomult varisztoros sőt az EMI szűrőkkel ellátott túlfeszültség-védelmi eszközökig. Nagyon fontos leszögezni azt, hogy villám és túlfeszültség-védelmi szempontból az összes szereplő (a tervezőtől az üzemeltetőig) együttműködése szükséges ahhoz, hogy a védelem jól működjön, és funkcióját be tudja tölteni! Tökéletes védelem nem létezik, de a tapasztalatok azt mutatják, hogy a megfelelő védelem kialakításával a károk minimalizálhatók.

Rövid áttekintésünk célja volt, hogy ráirányítsuk a figyelmet a repülésbiztonság egy nem elhanyagolható tényezőjére.

### Felhasznált irodalom

[1] Hakel sales presentation 2013 Hradec Kralove

[2] Simonyi Károly, A fizika kultúrtörténete Gondolat, Budapest, 1986.



[3] Dr. Lakotár Katalin A légköri elektromosság  
<http://ttk.nyne.hu/fldi/Documents/Lakot%C3%A1r%20Katalin/L%C3%A9gk%C3%B6rtan/A%20l%C3%A9gk%C3%B6ri%20elektromoss%C3%A1g.pdf> (Letöltés 2016.02.21.)

[4] MSZ EN 62305:2009 szabvány

[5] Szonda, S., Wantuch, F., 2001: A SAFIR villámfigyelő rendszer által 1999-ben regisztrált adatok. Elektrotechnika, 54-58.

[6] European Copper Institute: Földelő rendszerek – számítási és tervezési alapok 2003)

[7] Perlai Katalin Zivatarcella-áthelyeződési vizsgálatok a kombinált módszerrel korrigált, rekonstruált villámadatbázis segítségével  
[http://nimbus.elte.hu/tanszek/docs/MSc/2014/PerlaiKatalin\\_2014.pdf](http://nimbus.elte.hu/tanszek/docs/MSc/2014/PerlaiKatalin_2014.pdf) (Letöltés 2016.02.21.)

|  |   |
|--|---|
| Dr. Király László<br>okl. villamosmérnök, a hadtudomány<br>kandidátusa<br>MHTT alelnök<br><a href="mailto:kiraly.laszlo@uni-nke.hu">kiraly.laszlo@uni-nke.hu</a> | Dr. László Király<br>MSC electro engineering, candidate of<br>science<br>Vice president of Hungarian Association of<br>Military Science<br><a href="mailto:kiraly.laszlo@uni-nke-hu">kiraly.laszlo@uni-nke-hu</a> |
| Szukfiel Gergely<br>villamosmérnök<br>Üzletág igazgató Glob-Prot Kft<br><a href="mailto:gergely.szukfiel@globprot.hu">gergely.szukfiel@globprot.hu</a>           | Gergely Szukfiel<br>BSC electro engineering<br>Division director Glob-Prot Ltd<br><a href="mailto:gergely.szukfiel@globprot.hu">gergely.szukfiel@globprot.hu</a>  |