Kvázi-egyenáramú légköri elektromosság a földtudományokban

Buzás Attila[1,2*]
[1] Tudományos segédmunkatárs, ELKH Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet (FI), Sopron
[2] PhD hallgató, ELTE, Földtudományi Doktori Iskola, Földtan-Geofizika Program
[*] **buzas.attila@epss.hu**

2021.11.02.
MMT Távérzékelési Szakosztály előadás

FI Légkörfizikai Kutatócsoport

- A soproni Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet (FI) **Légkörfizikai Kutatócsoport** (8 tag, 3 PhD hallgató, 3 PhD-val rendelkező munkatárs és 2 MTA doktora kutató):
  - Dr. Barta Veronika, tds. mts.
  - Bozóki Tamás, PhD hallgató
  - Dr. Bór József, tds. fmts.
  - Buzás Attila, PhD hallgató
  - Dr. Haszpra László, MTA doktora
  - Dr. Prácser Ernő, tds. mts.
  - Dr. Sátori Gabriella, MTA doktora
  - Szabóné-André Karolin, PhD hallgató

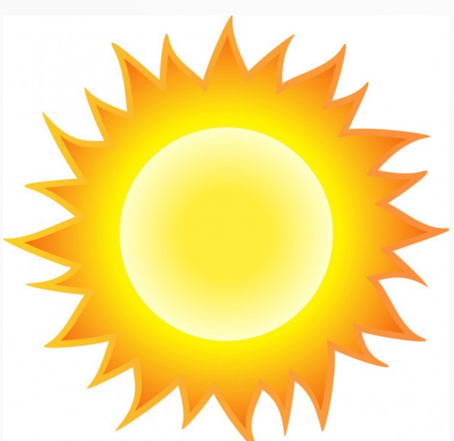
Az előadás vázlata

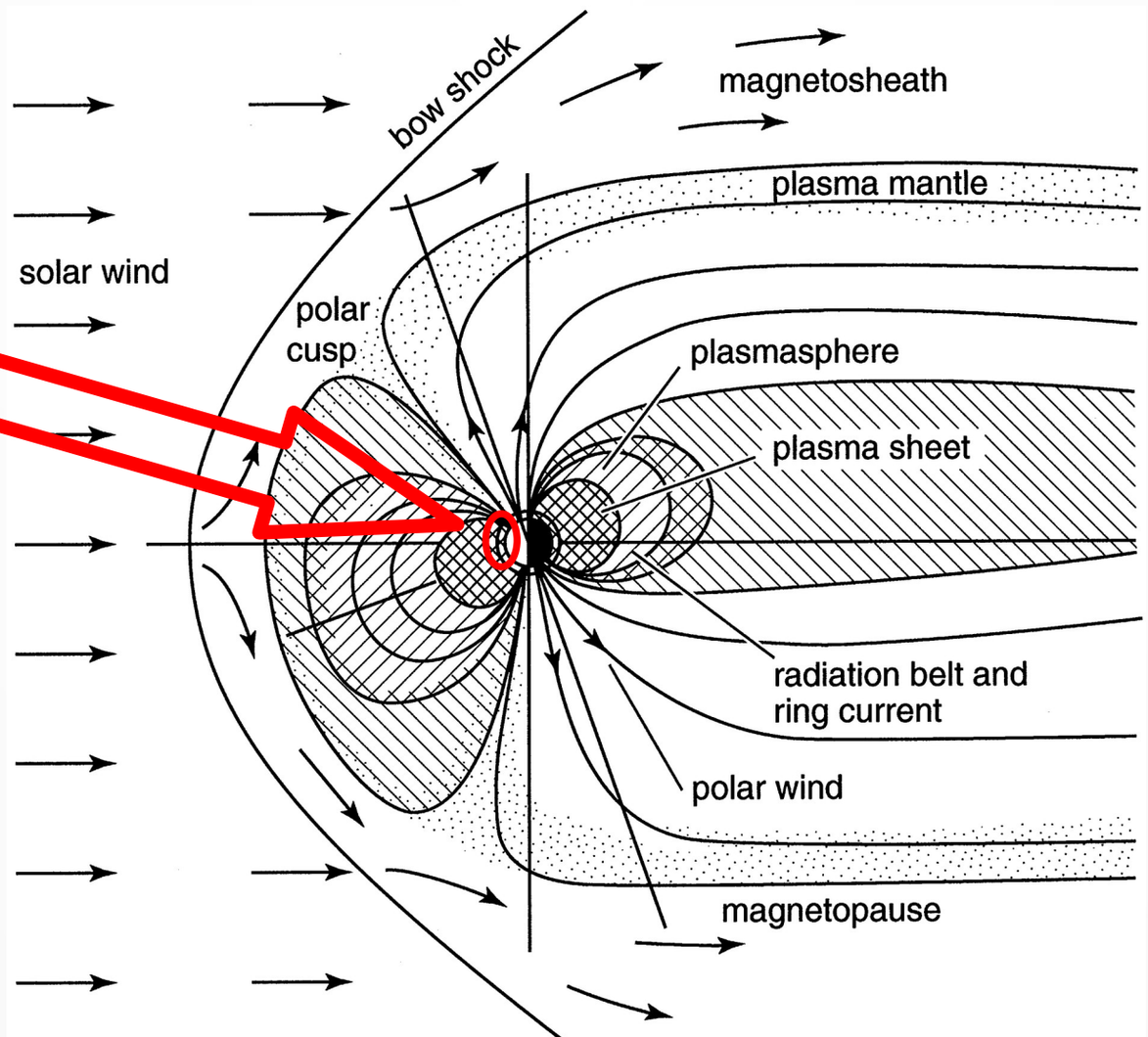
- Az előadás hossza: ca. 45 perc (14:00-14:45 + 15 perc Q/A)

- Az előadás vázlatos tartalma:
  - Bevezetés – a Globális Légköri Elektromos Áramkör és a kvázi-egyenáramú légköri elektromos potenciálgradiens
  - Kvázi-egyenáramú légköri elektromosság. - Mire használják ezt a nagyvilágban?
  - A kvázi-egyenáramú légköri elektromosság felhasználásai
  - Kvázi-egyenáramú légköri elektromos kutatások a FI-ben
  - Összefoglalás

Bevezetés

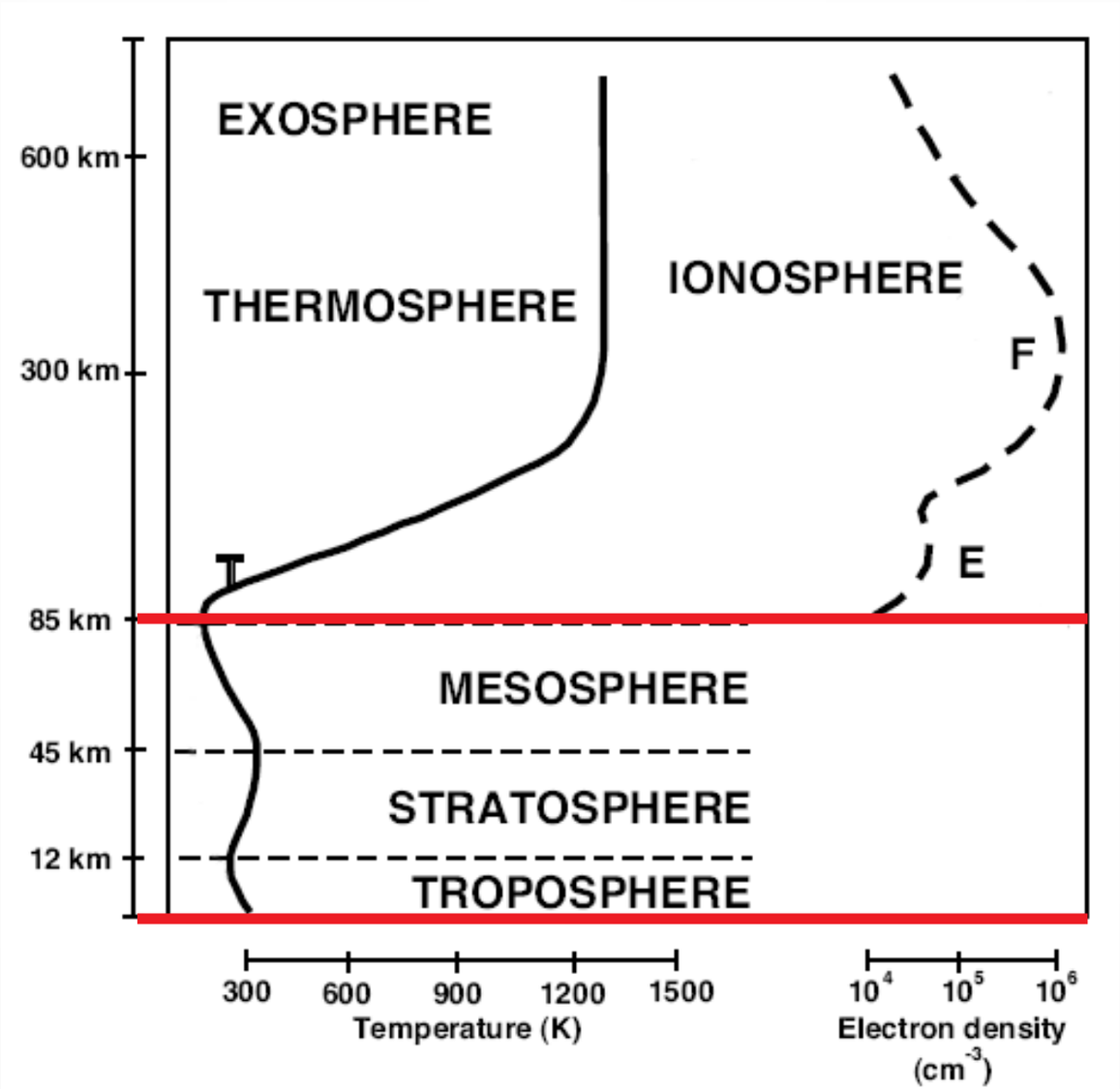
semleges légkör





Ábra forrása: Fig. 1. in Rycroft et al., 2000.

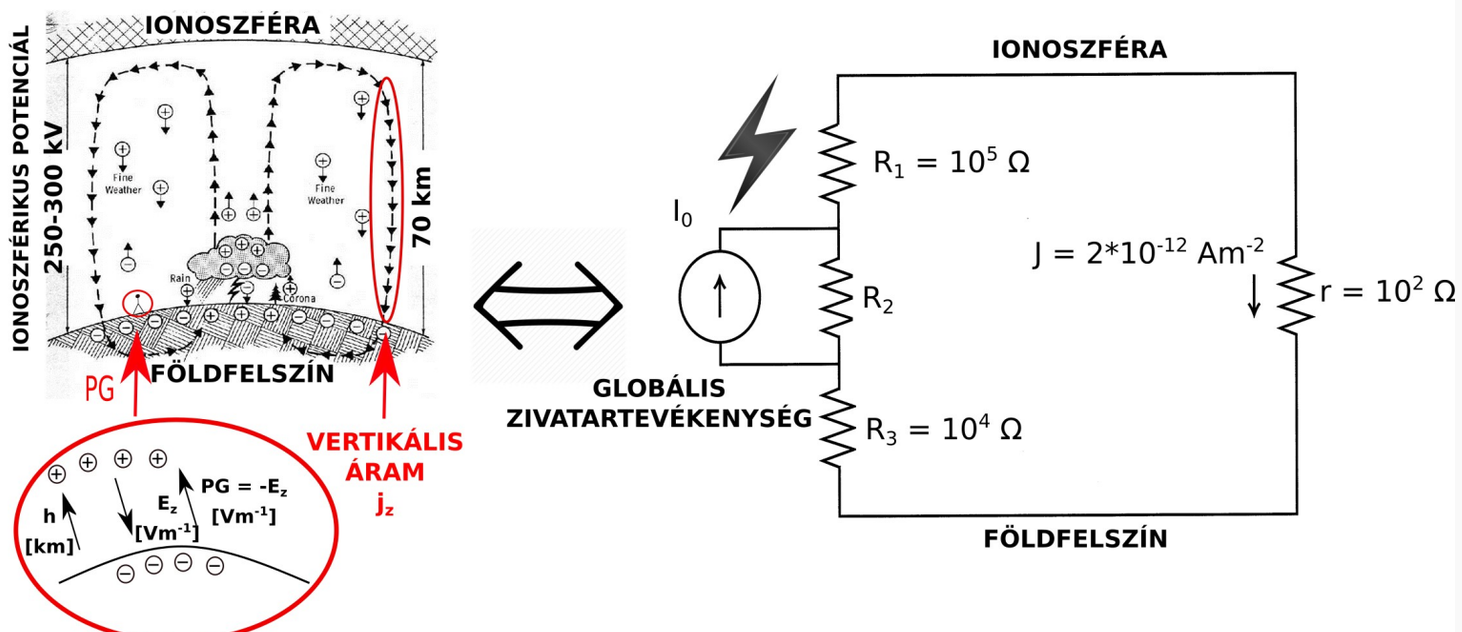
Bevezetés



Ábra forrása: https://hu.wikipedia.org/wiki/Ionoszf%C3%A9ra

A Globális Légköri Elektromos Áramkör

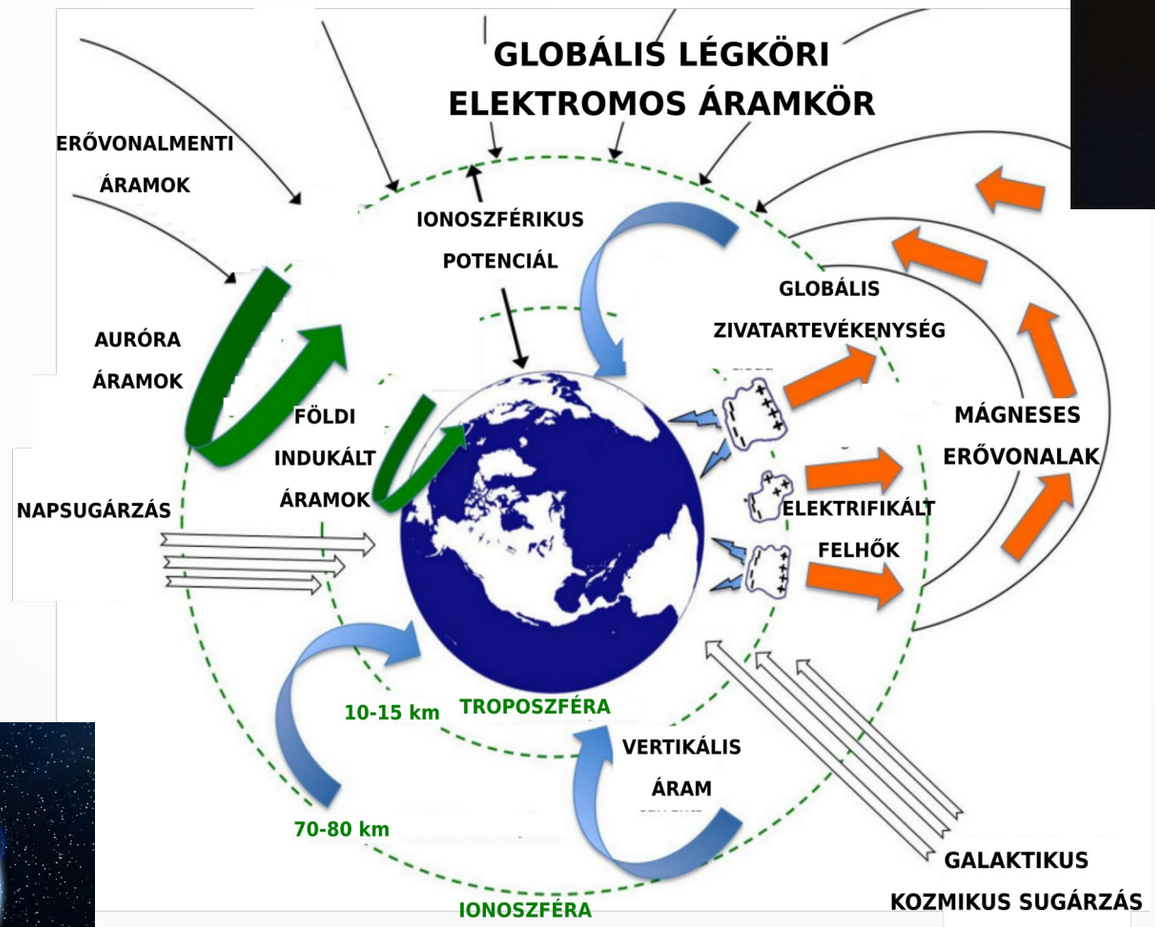
- A semleges légkörben **villámaktivitás hiányában is** jelen van egy kb. **130 Vm^{-1}** nagyságú **elektromos tér**.
- Az ionoszféra és a földfelszín közötti mintegy **250-300 kV**-os feszültséget (ionoszférikus potenciál) a **globális zivatartevékenység** tartja fenn.
- A jól vezető **ionoszféra** és a szintén vezető **földfelszín** között egy **globális áramrendszer** szállítja a töltéseket a tökéletlen dielektrikumnak tekinthető **alsó légkörön** át.
- Az áramkörben megkülönböztetik úgynevezett **„szép idő”** és **„rossz idő”** területeket.
- Az áramkörnek több jellemző egyen- és váltóáramú paramétere is van, de a leggyakrabban és legrégebben mért a kvázi-statikus **légköri elektromos potenciálgradiens ([PG] = Vm^{-1}).**



A Globális Légköri Elektromos Áramkör sematikus vázlata (balra) és az ekvivalens áramköri reprezentációja (jobbra).

Figure adapted from *http://www.keteu.org/posts/fieldmill.html* and from Fig. 4 in *Rycroft et al., 2000*.

A Globális Légköri Elektromos Áramkör



D
C

A
C

Figure adapted from Jeffrey Forbes, University of Colorado, Boulder

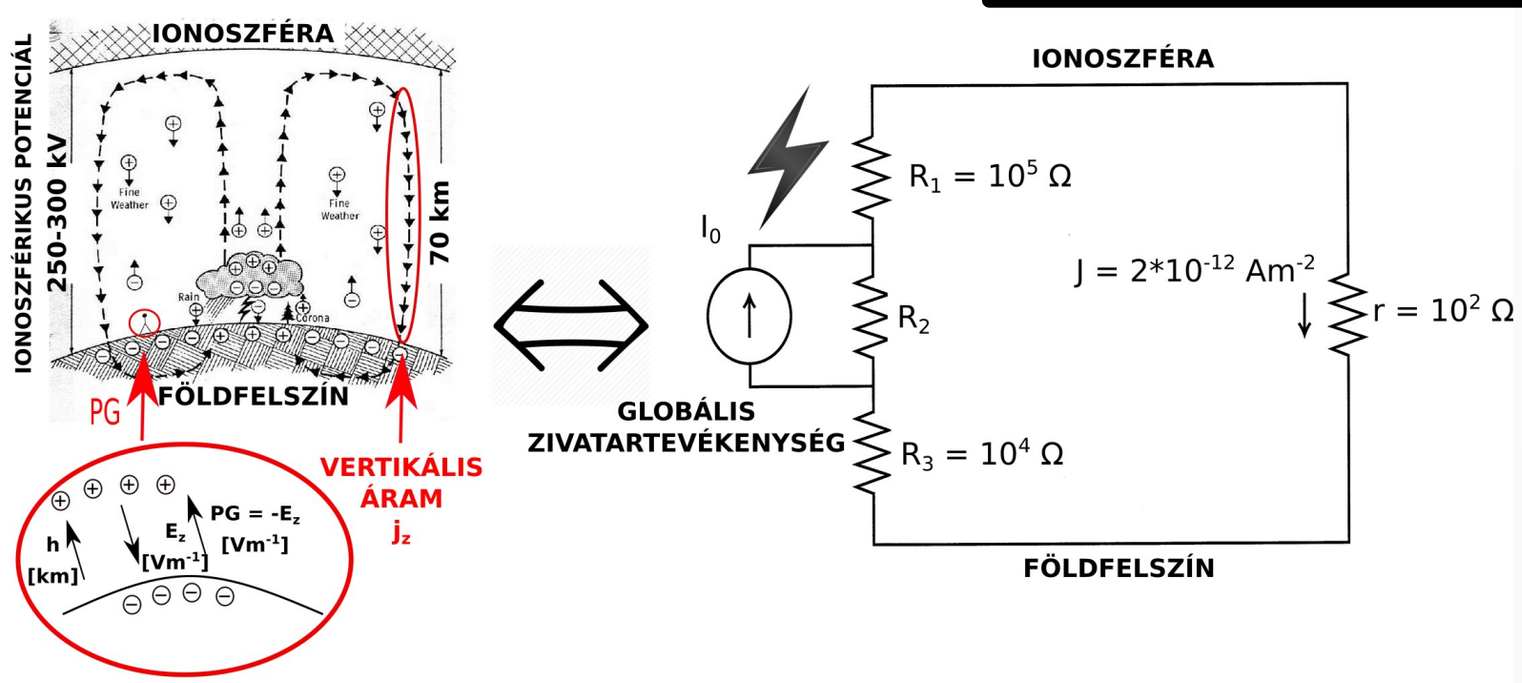
A Globális Légköri Elektromos Áramkör számokban avagy nagyságrendek a légköri elektromosságban

- Zivatarfelhőkben az elektromos töltéspolarizációs folyamatok következtében **~100 MV-os potenciálkülönbségek jöhetnek létre**
- **Szép idő területek: földfelszín kb. 1%-a, rossz idő területek: 99%**
- A **folyamatos, globális villámtevékenység** (kb. **minden időpillanatban 1250 aktív zivatar** a Földön ~ **1.25 kA erősségű áram** (háztartásokban max. 32 A)) hiányában **az elektromos tér kb. 150 s alatt e-ad részére csökkenne**
- **Vertikális áramsűrűség: 2-4 pA/m²**

$$j = \sigma E$$

$$I = R_2 I_0 / (R_1 + R_2 + R_3)$$

Figure adapted from *http://www.keteu.org/posts/fieldmill.html* and from Fig. 4 in *Rycroft et al., 2000*.

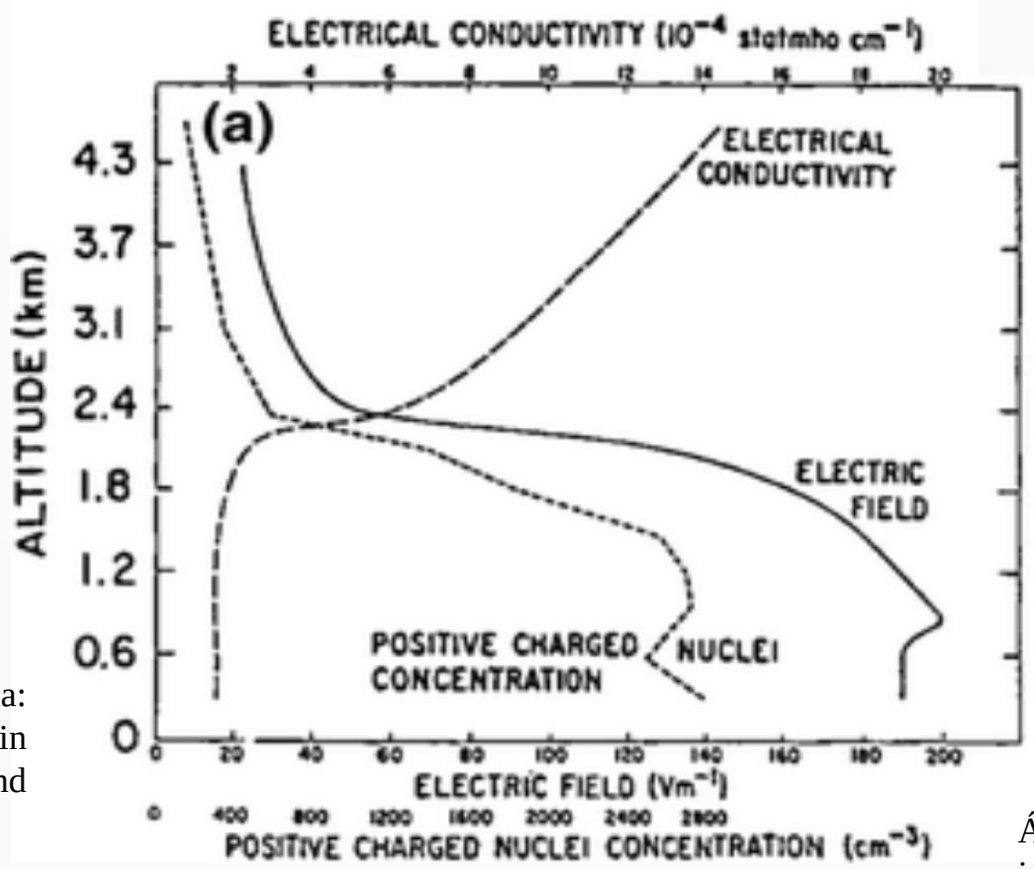


A Globális Légköri Elektromos Áramkör sematikus vázlata (balra) és az ekvivalens áramköri reprezentációja (jobbra).

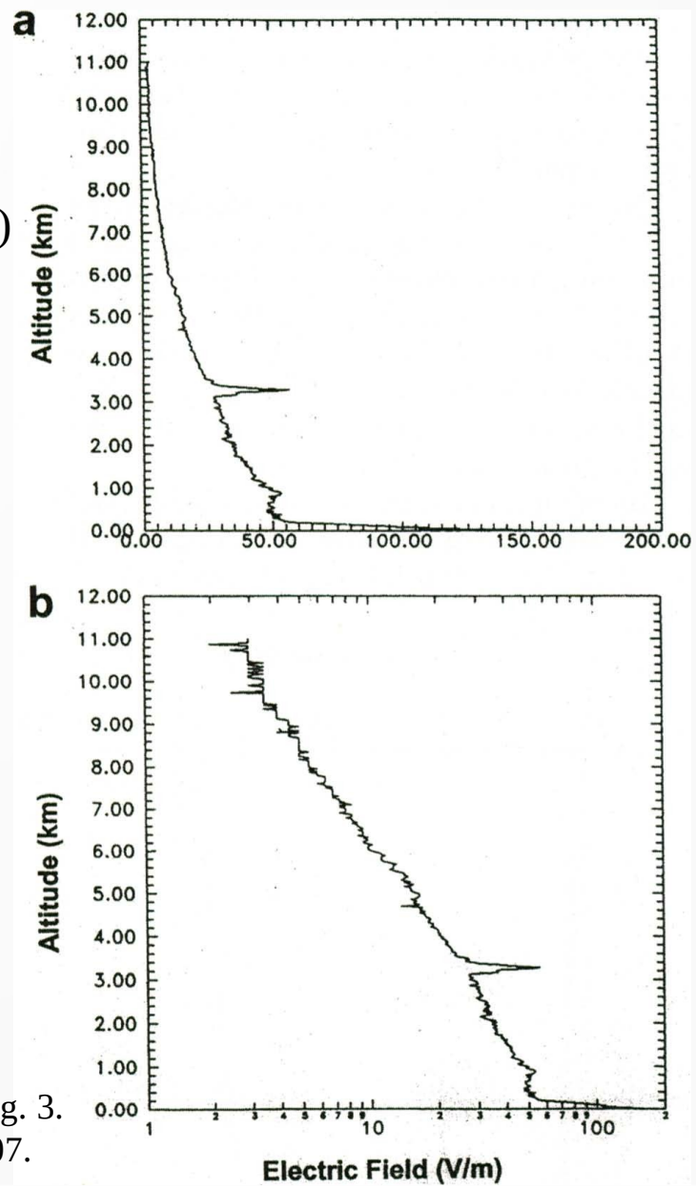
A Globális Légköri Elektromos Áramkör számokban avagy nagyságrendek a légköri elektromosságban

- A levegő **fajlagos vezetőképessége a földfelszín közelében: σ = 10^{-14} S/m**
- (fémeknek ~10^{7} S/m)
- σ közel **exponenciálisan növekszik** a magassággal kb. 60-70 km-ig (10^{-10} S/m-ig)
- Földfelszín vezetőképessége: ~10^{-2} S/m
- **PG a felszín közelében: kb. 130 V/m**, magassággal csökken kb. 60-70 km-ig (10 mV/m)

$$j = \sigma E$$

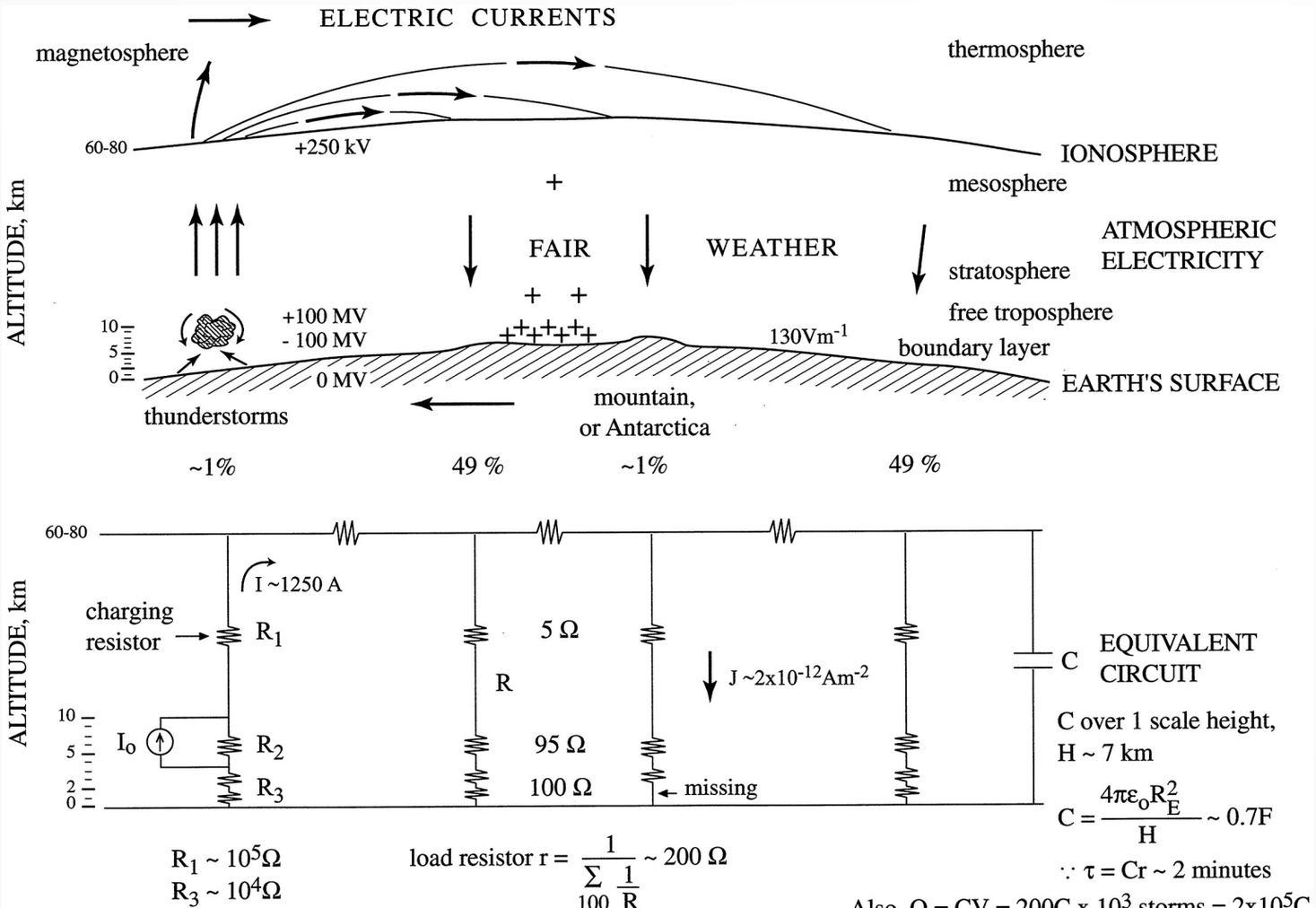


Ábra forrása: Fig. 8. in Sagalyn and Faucher, 1954.



Ábra forrása: Fig. 3. in Markson, 2007.

A Globális Légköri Elektromos Áramkör számokban avagy nagyságrendek a légköri elektromosságban



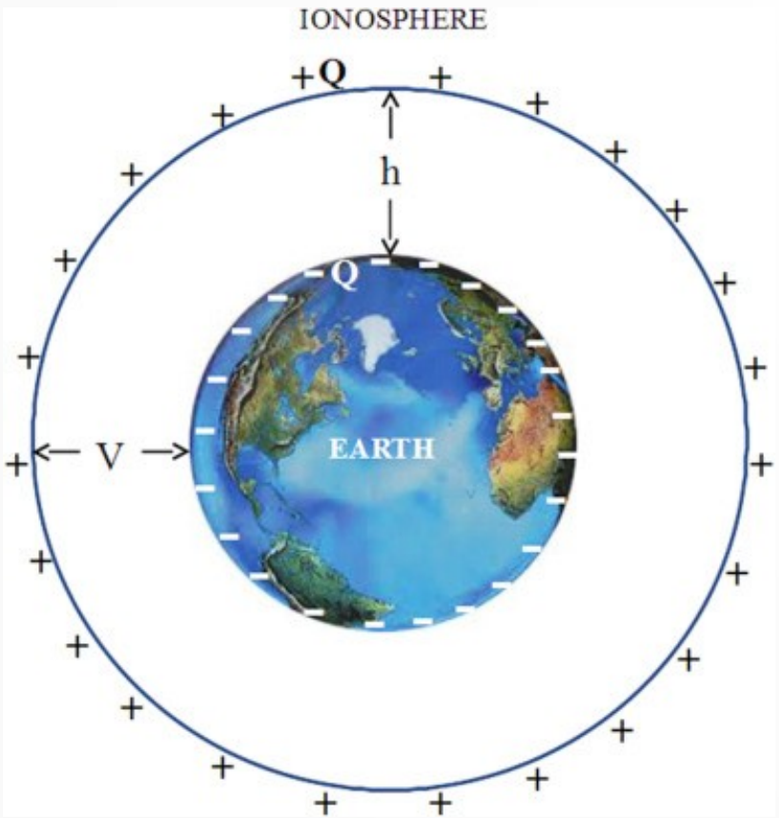
- Egy **zivatarcella töltése**: 200 C
- Összesen: 10^3 * 200 C = 2*10^5 C
- Így a GEC-hez rendelhető **energia**:

$$W = CV^2/2 = 2 * 10^{10} J$$

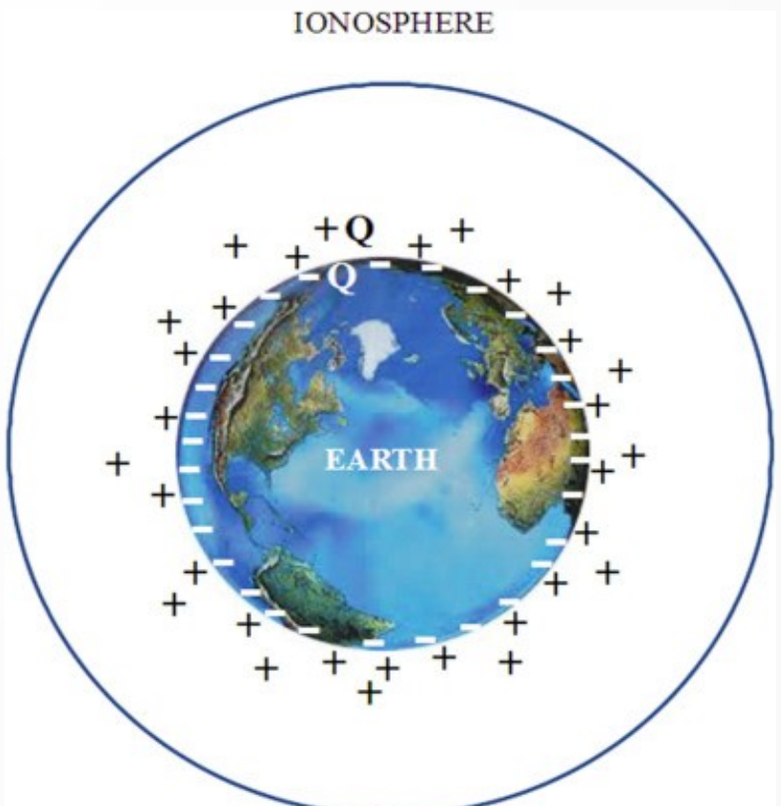
- Egy háztartás éves fogyasztása kb. 10^9 J.

Figure adapted from Fig. 5 in *Rycroft et al., 2000*.

A Globális Légköri Elektromos Áramkör számokban avagy nagyságrendek a légköri elektromosságban



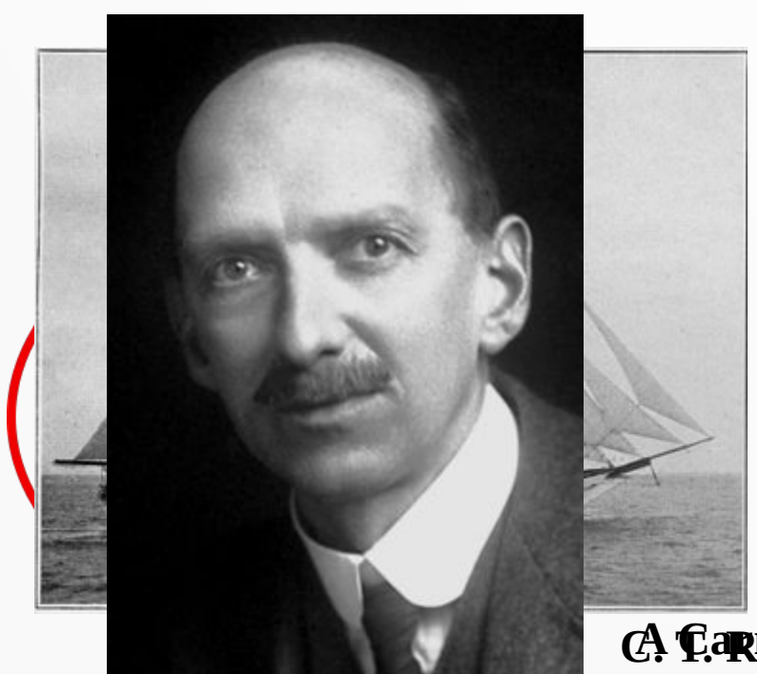
Ábra forrása: Fig. 1. in Haldoupis et al., 2017.



Ábra forrása: Fig. 2. in Haldoupis et al., 2017.

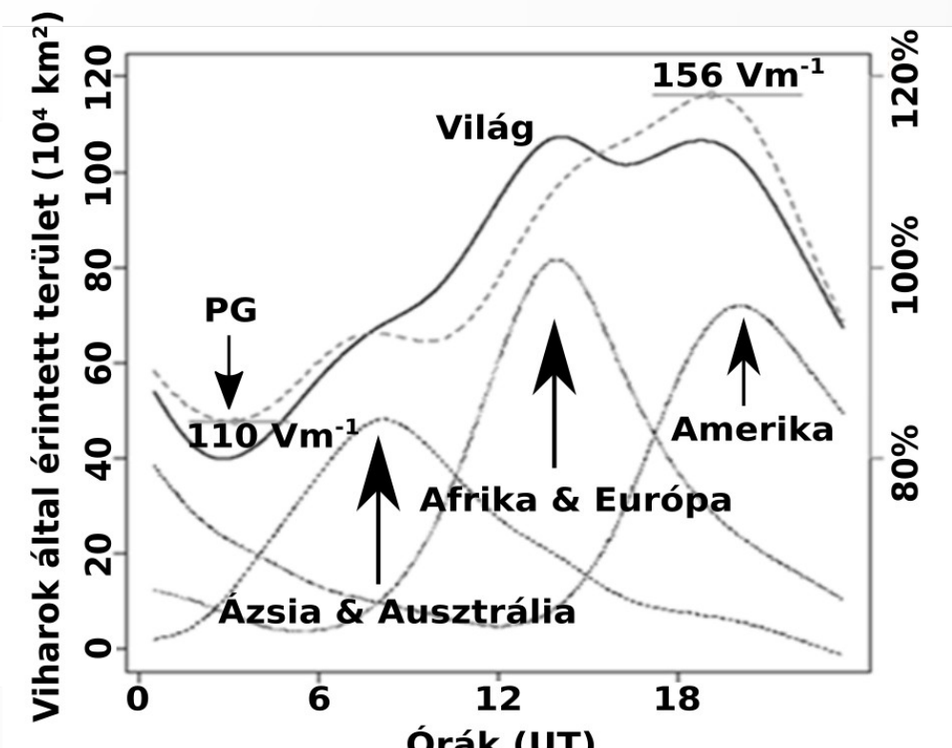
A légköri elektromos potenciálgradiens (PG)

- Nagysága a **vertikális elektromos térerősség**gel egyenlő, míg iránya azzal ellentétes.
- Általában a **földfelszín közelében** (1-3 m), „szép idő” körülmények között mérik szerte a világon.
- Ideális esetben a PG képes az ionoszféra és a földfelszín közötti feszültséget reprezentálni (globális jellemző). Viszont a mérések interpretációját megnehezíti, hogy a PG **érzékeny sok lokális faktorra** is.



A Carnegie kutatóhajó 1909-1929

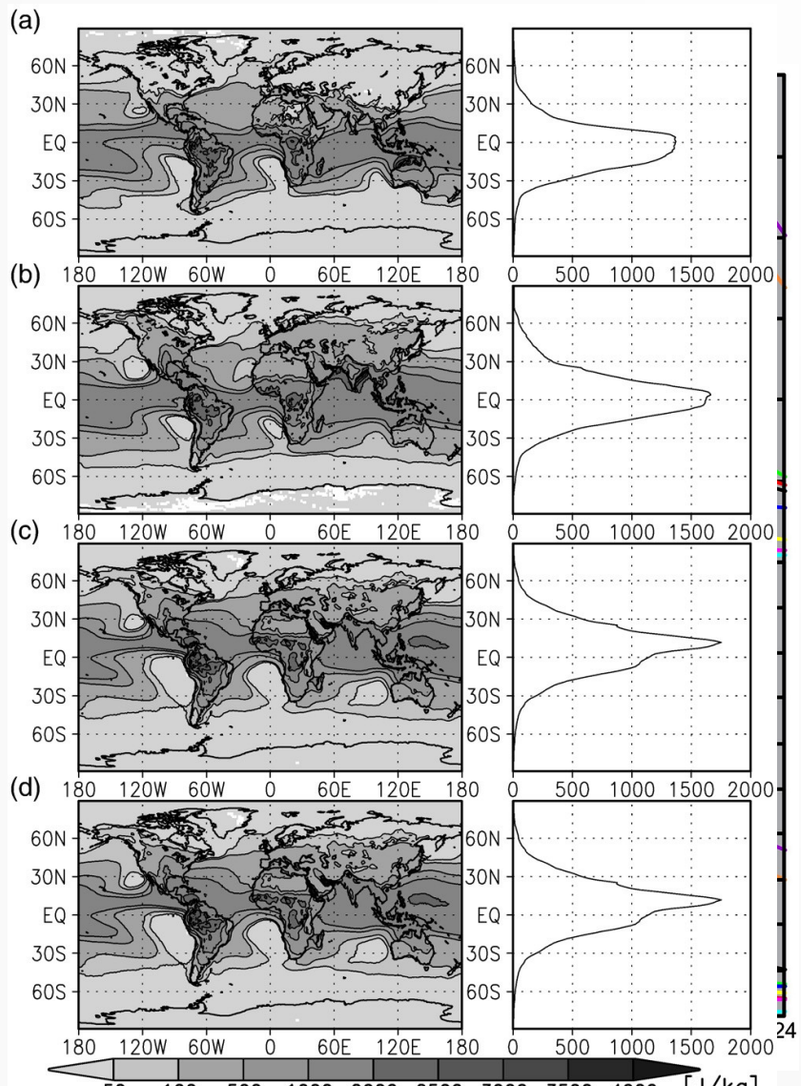
C. T. R. Wilson és a GEC elmélete? 1921



A Carnegie-görbe.

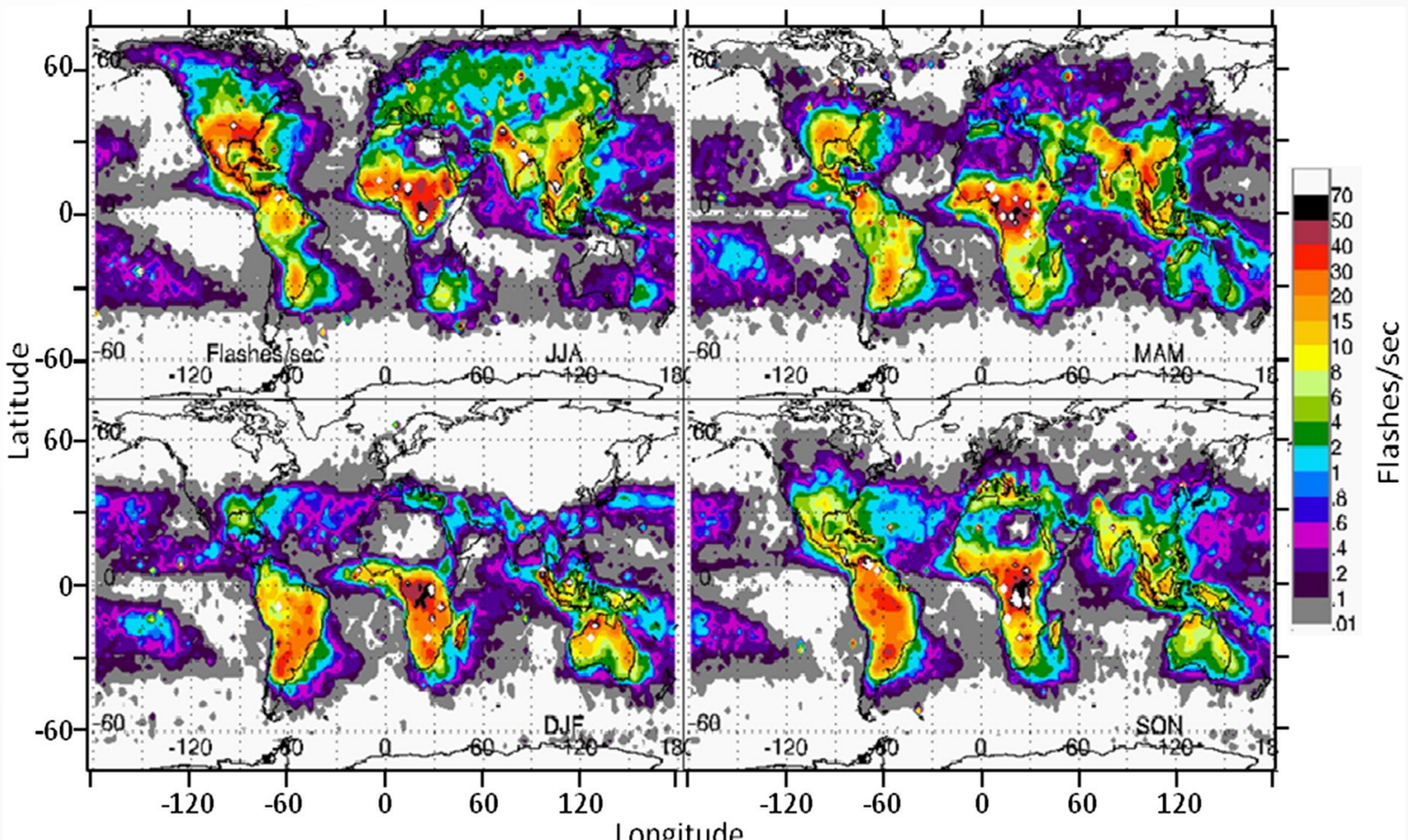
Kép forrása: Harrison, R.G. (2013): The Carnegie curve. *Surveys in Geophysics*, **34**(2):209-232.

A globális zivatartevékenység



Ábra forrása: Fig. 3. in Blakeslee et al., 2014.

Ábra forrása: Fig. 1. in Riemann-Campe et al., 2009.



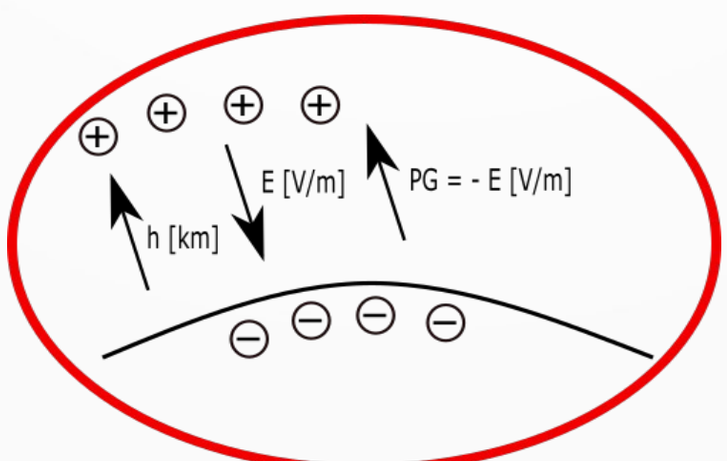
Ábra forrása: Fig. 11. in Blakeslee et al., 2014.

A légköri elektromos potenciálgradiens (PG)

$$PG = -E_z = \frac{dV_i}{dz}$$

$$J_z = \sigma E_z$$

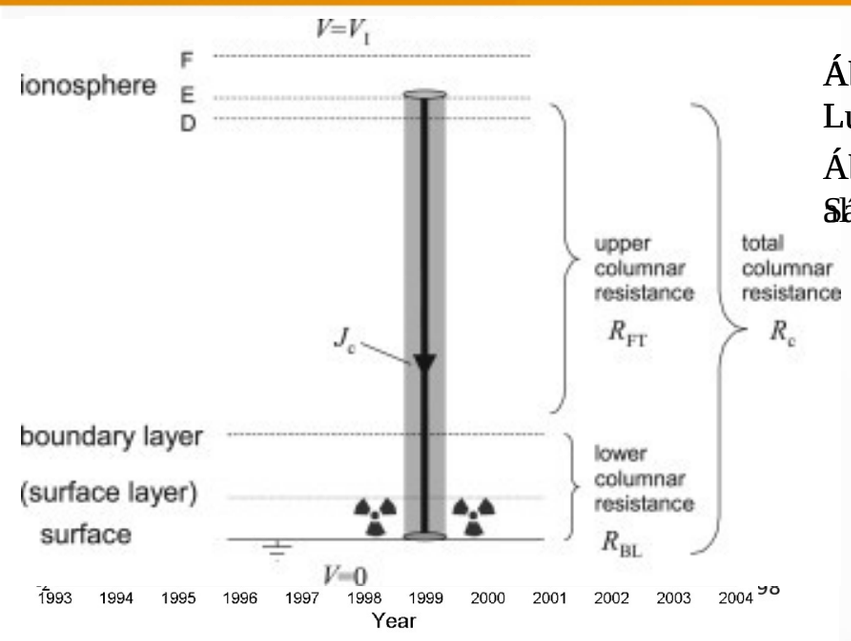
$$E_z = \frac{J_z}{\sigma} = \frac{V_i}{\sigma R_c}$$



A PG a földtudományokban

- **Geofizika** vagy **meteorológia**? → **Interdiszciplináris** terület.
- Kapcsolatok a **biológiával**.
- De mire jó mindez?
- **Globális, lokális és regionális környezeti folyamatok vizsgálata. =>** WMO beválasztotta a villámtevékenységet az ún. “essential climate variables” körébe.
- Nehéz a **különböző tér- és időbeli skálájú hatások szeparálása**.
- De mitől is függ a PG?
- **Általában a helyi**, a levegő vezetőképességét in-situ befolyásoló **folyamatok dominálnak** (időjárás!!!, talaj természetes radioaktivitása, Rn kibocsátása, különböző töltésszállító folyamatok a légkörben, planetáris határrétegbeli turbulencia, stb.).
- Szignifikáns hatás lehet még: aeroszol koncentráció változása (iparosodás, vagy éppen dezindusztrializáció, ld. pl. '90-es évek eleje Oroszország; COVID lezárások, hétvége effektus), a regionális zivatartevékenység intenzitásának változása.
- Ezek a hatások olyan erősek lehetnek, hogy képesek teljesen elnyomni a GEC globális változásai okozta hatásokat.

A PG a földtudományokban



Ábra forrása: Fig. 5.9 in Gegg M. Lucas PhD dolgozat, 2017

Ábra forrása: Fig. 5. in Harrison and Stozhkov, 2005.

Globális hatások

Litoszféra-atmoszféra-ionoszféra csatolások, földrengés prekurzor?

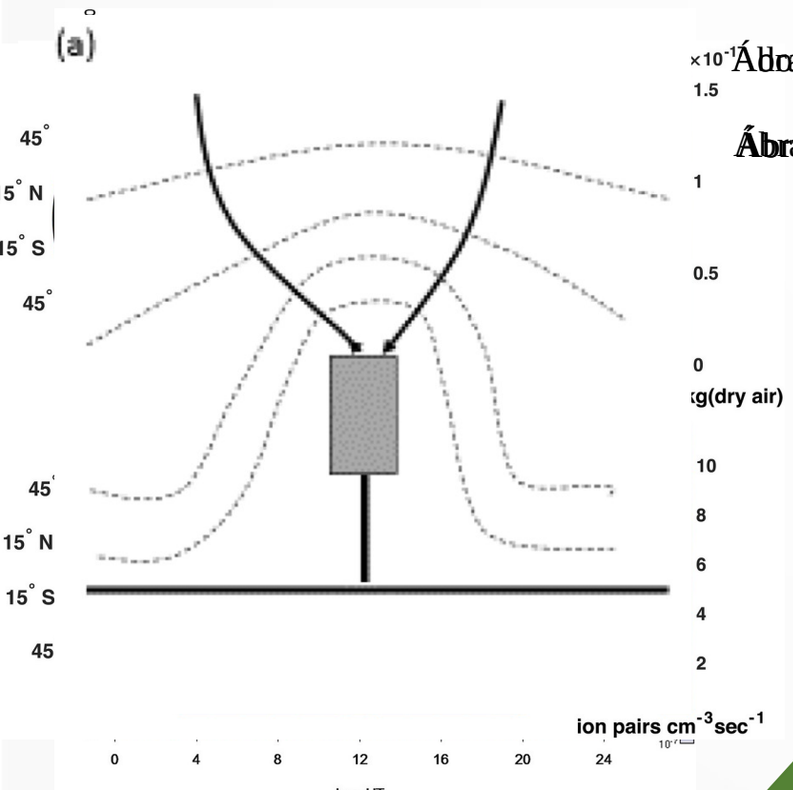
ENSO klimatikus hatások

Napciklus, GCR okozta változások

Magnetoszféra áramok, részecskekiszóródások

Nagyobb vulkánkitörések

A PG a földtudományokban



Adopted from Fig. 1 in Harrison and Nicoll, 2018.

Adopted from Fig. 4 in *Dziembowska, 2009*.

Ábra forrása: Fig. 1 in Harrison and Nicoll, 2018.

Ábra forrása: Fig. 12 in Dziembowska, 2009.

Lokális, regionális hatások

Elektrosztatikus árnyékolás

Talaj természetes radioaktivitása

Nukleáris szennyezések

Aeroszol koncentráció változásai

Helyi időjárás

PG és a légszennyezettség

- PG és az **aeroszol koncentráció** között egyenes arányosság áll fenn.
- **Nyomgázok**, pl.: NOx, SO2, O3.

$$PG = \frac{2\pi J_z k_B T R_a}{e^2 q} Z_{0,X} + \frac{2\pi J_Z k_B T R_a}{e^2 q} y_X \, [X]$$

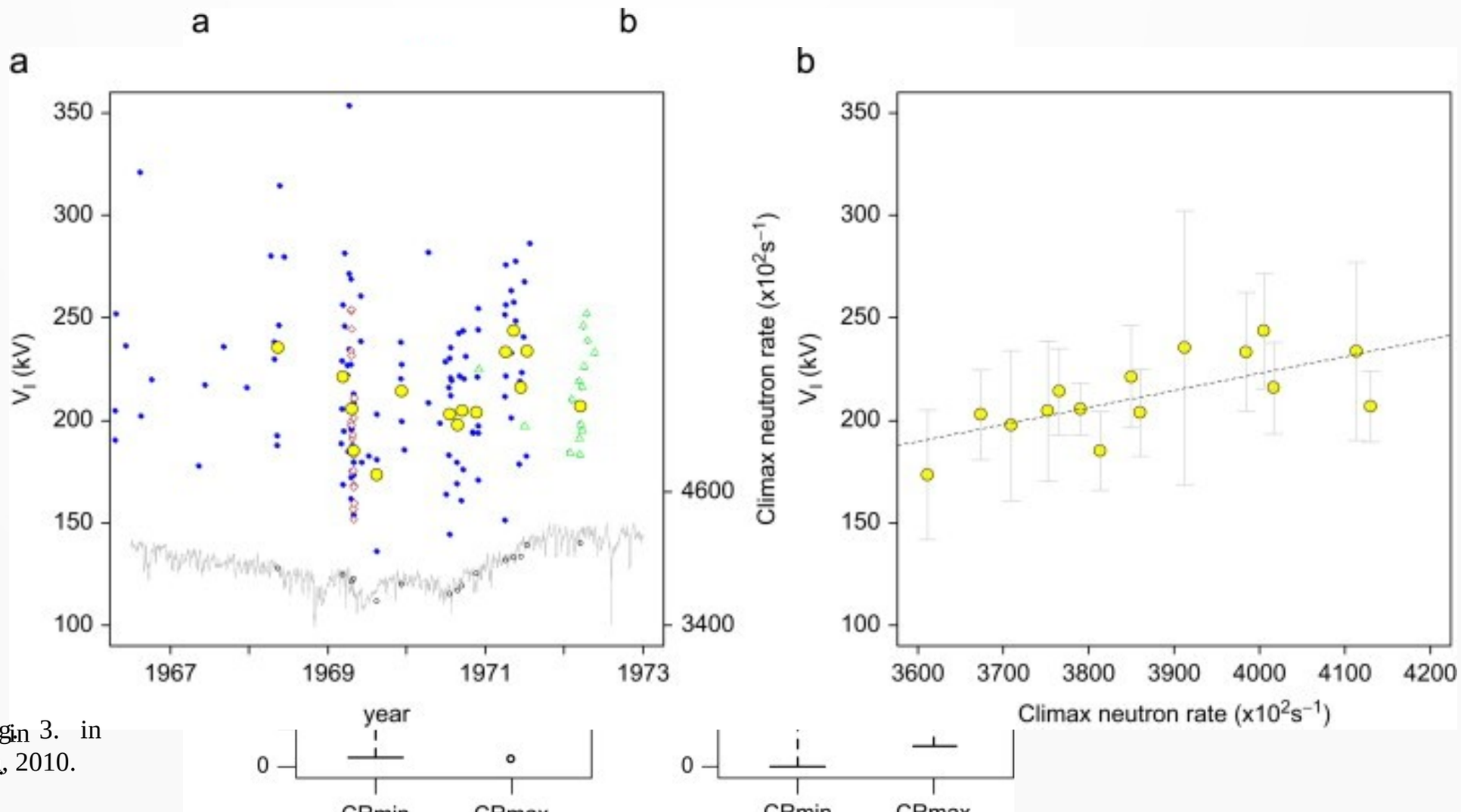
- k_B – Boltzmann-állandó,
- T – környező levegő hőmérséklete,
- R_a – effektív PM sugár,
- $Z_{0,X}$ – háttér PM konstans.
- y_X – PM és TG (Trace Gases) közötti arányossági tényező,
- $[X]$ – nyomgáz koncentrációja.

$$PG = \frac{J_z}{2\mu_m e q} \beta_a Z_a$$

- μ_m – ion mobilitás,
- e – elektron töltése,
- q – ion produkciós ráta,
- β_a – ion-PM csatlakozási ráta.
- Z_a – PM koncentráció.

PG és a galatikus kozmikus sugárzás

- A bejövő **Galaktikus Kozmikus Sugárzás (GKS) ionizálja a levegőt** ezzel növelve a levegő elektromos vezetőképességét.

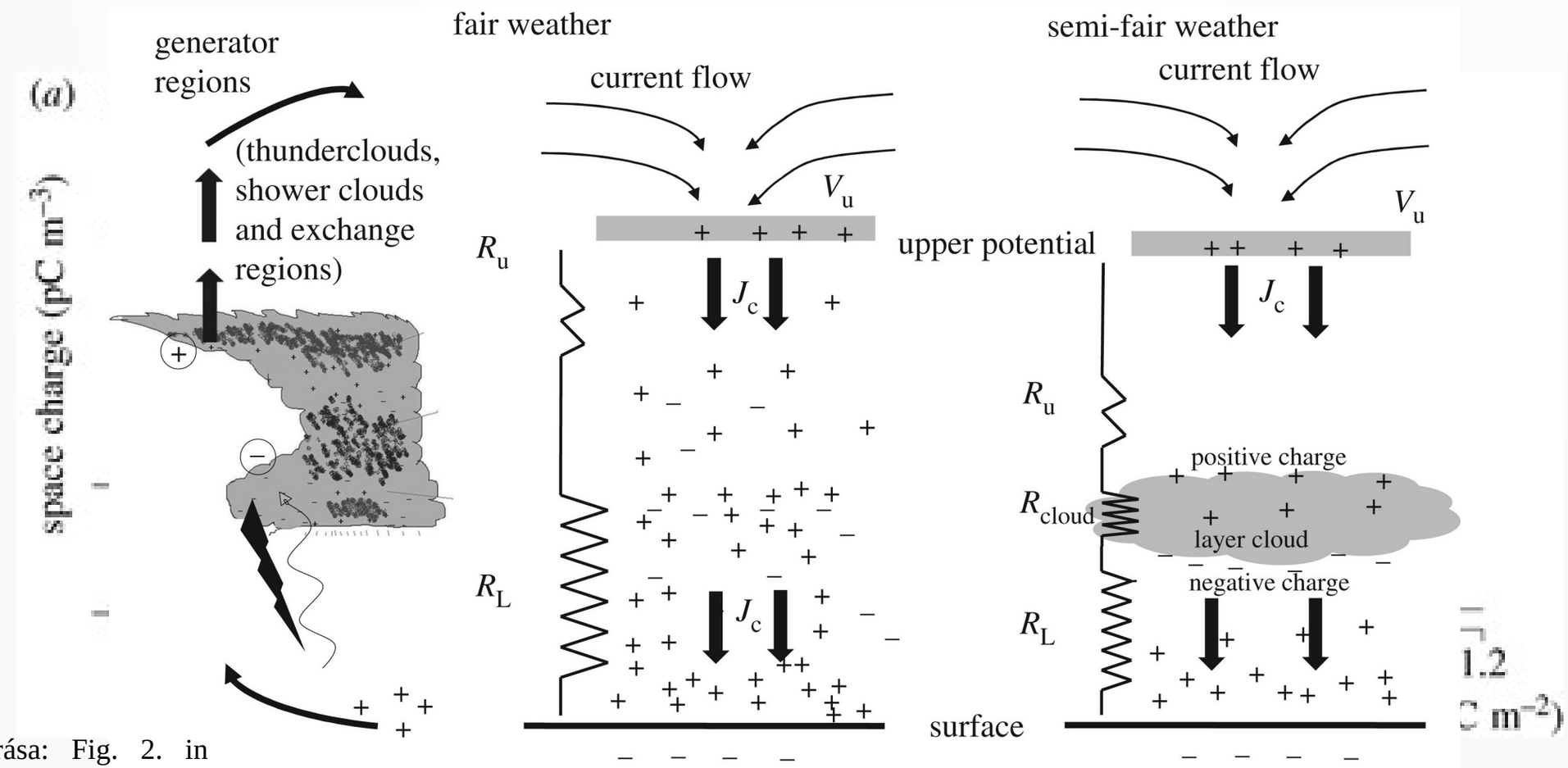


Ábra forrása: Fig. 3. in Harrison&Usoskin, 2010.

Ábra forrása: Fig. 4. in Harrison&Usoskin, 2010.

PG és a felhőfizika

- A légköri elektromos tér **hatással van a felhőképződésre** és a felhők az elektromos térre.



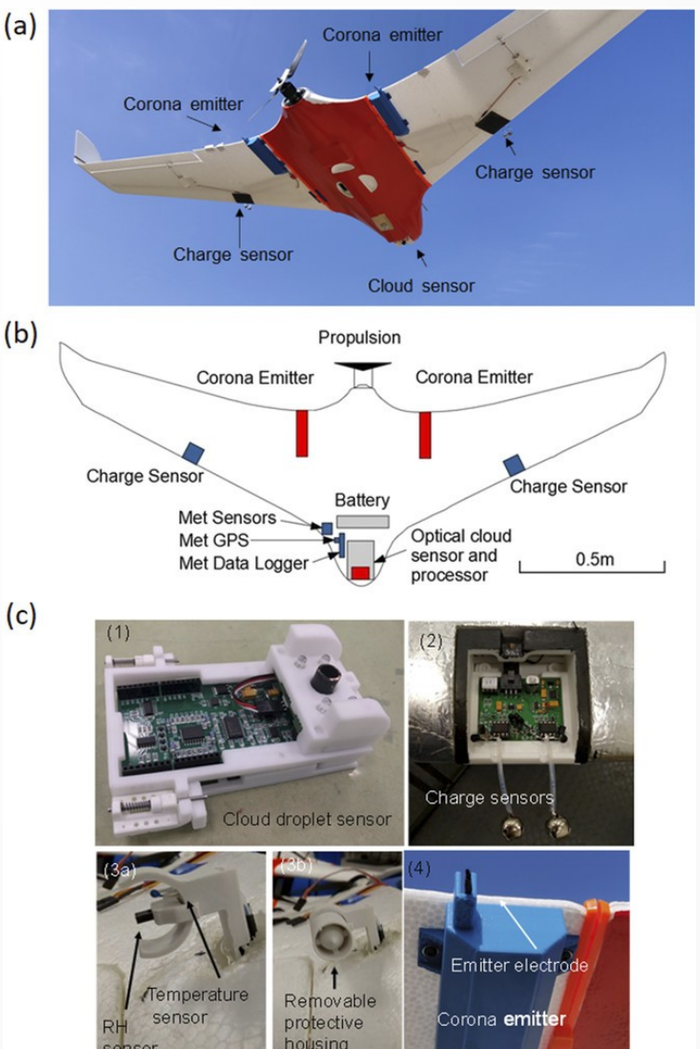
Ábra forrása: Fig. 2. in Harrison et al., 2020.

Ábra forrása: Fig. 7. in Harrison et al., 2020.

PG és az aeronautika

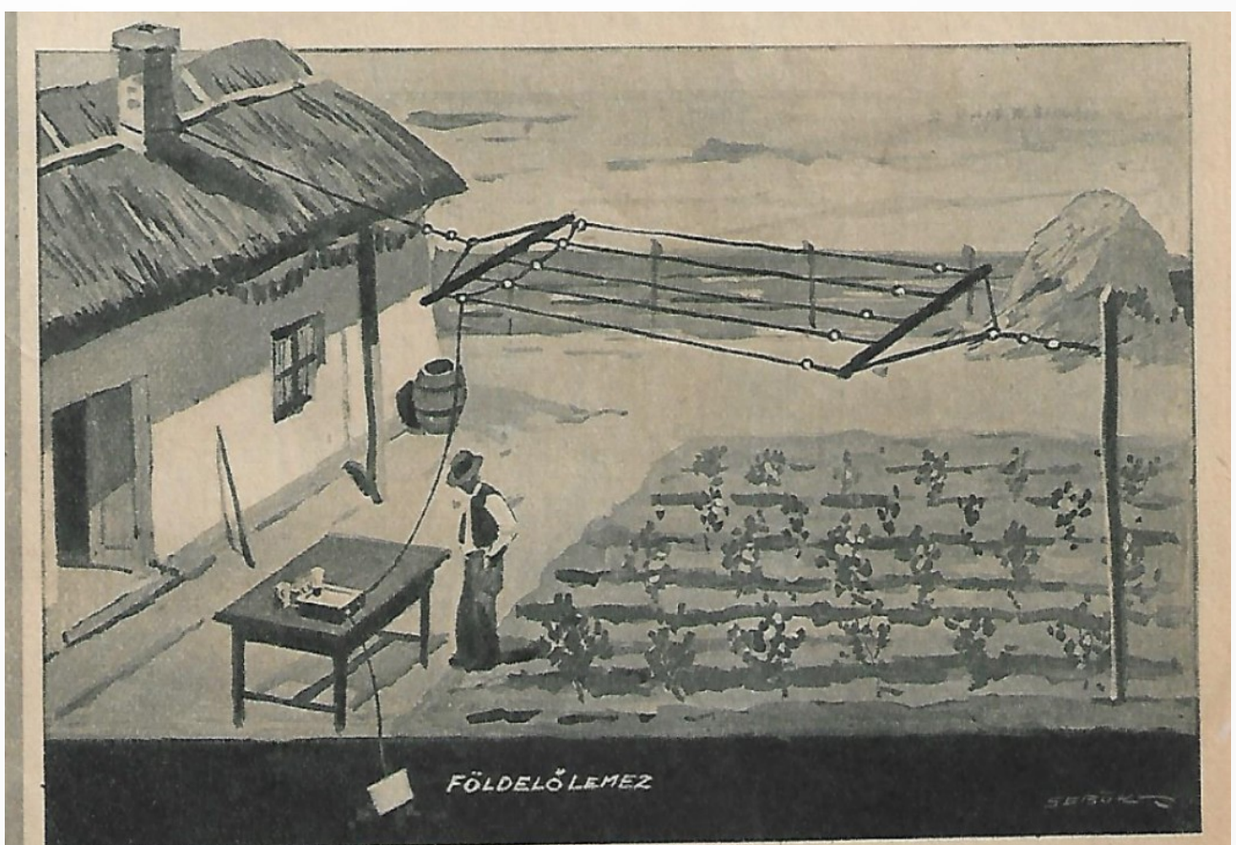
- **Repülők villámvédelme** → kiemelten fontos terület.
- Elektromos tér mérése **drónokkal, pilóta nélküli repülőkkel**

Ábra forrása: Fig. 5. in Harrison et al., 2021.



PG és az élettan

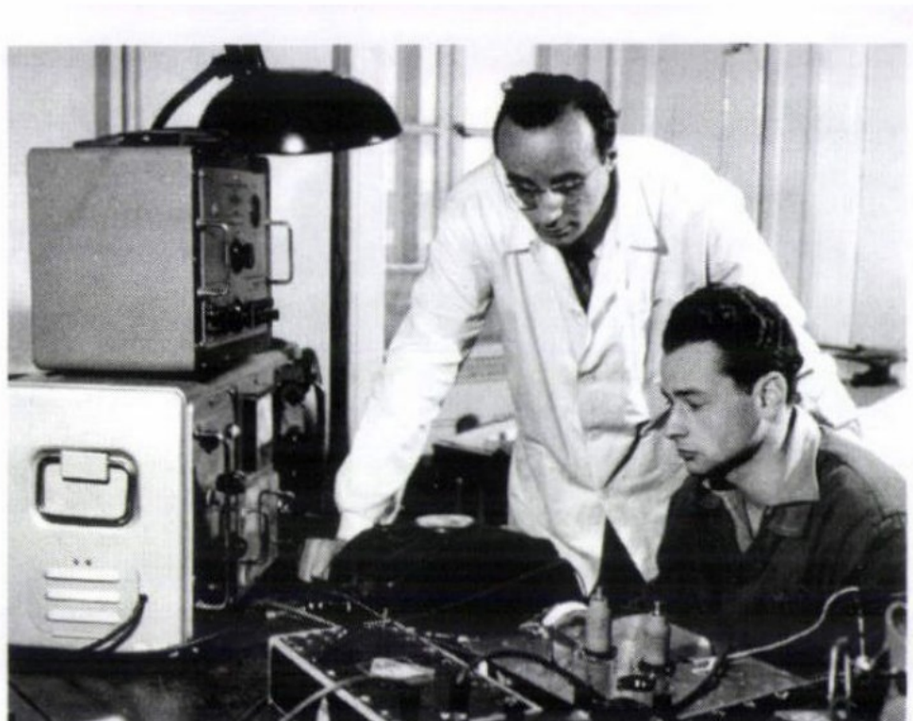
- A földi környezetben az adott élőlények ki vannak téve a változó elektromos térnek → hogyan változott ez a múltban? **Hatás az evolúcióra**?
- Pl. Schumann-rezonancia és agyhullámok, talajban lakó **baktériumok, méhek** és a virágok beporzása, PG és a **növénytermesztés**?, PG és a fák vízszállítása stb.

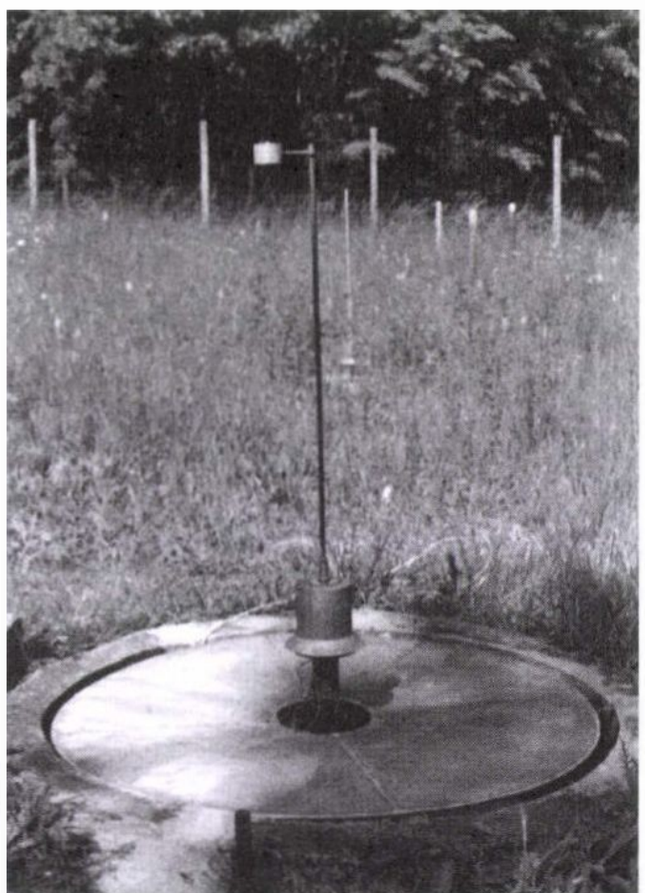


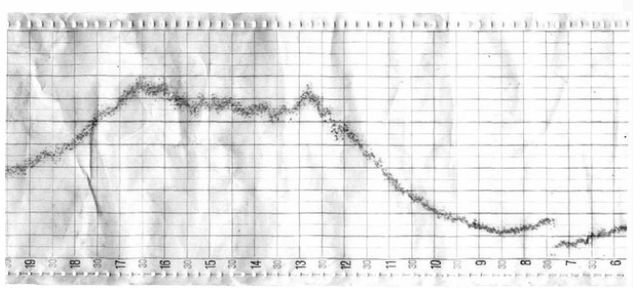
Ábra forrása: Tolnai Világlapja, 1920-as évek.

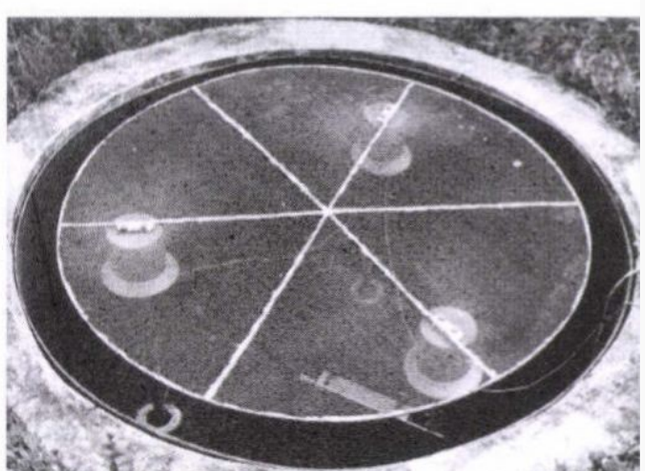
PG kutatások a GGI/FI-ben

- Világviszonylatba régóta, **1961 óta folynak ez irányú kutatások az intézetben**.
- **Bencze Pál** és **Märcz Ferenc** kezdték meg a kutatásokat.





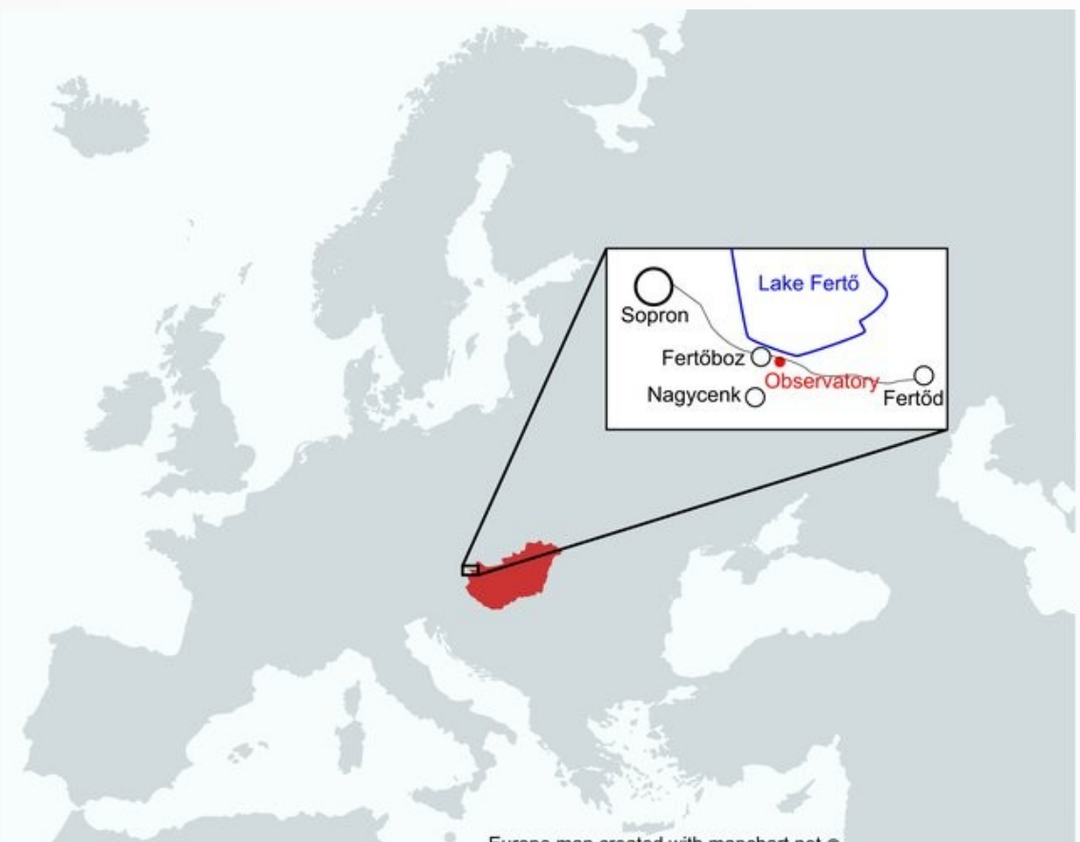




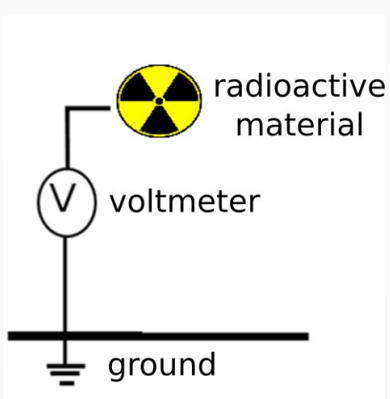
A nagycenki PG mérések

- A **nagycenki Széchenyi István Geofizikai Obszervatórium** (NCK, 47°38' É, 16°43' K)
- Az obszervatórium a **Fertő-Hanság Nemzeti Park területén** helyezkedik el Soprontól mintegy 10 km-re
- **Kvázi-folyamatos PG mérések 1962 óta** (tesztmérések már 1961-ben, Bencze Pál és Märcz Ferenc)

Ábra forrása: Fig. 1. in Bór et al., 2020.



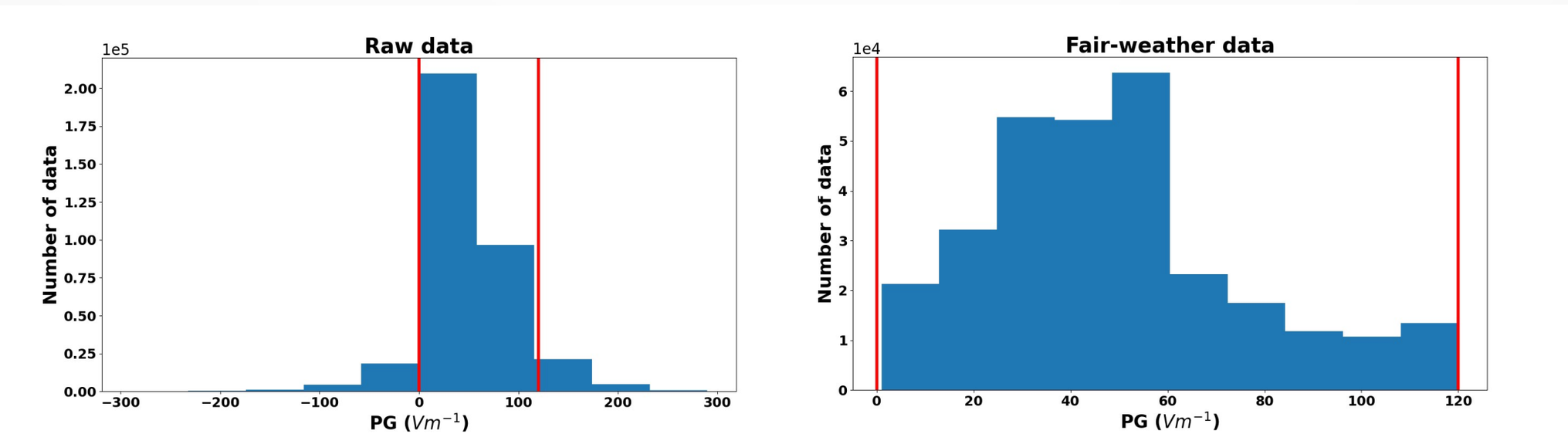
- Jelenleg **3 műszer** méri a PG-t szimultán:
  - **2 db radioaktív anyagot tartalmazó, potenciál kiegyenlítéssel működő műszer**: **1962** (PG62) és **1998** óta (PG98, tesztmérések már voltak a megelőző 2-3 évben, de a folyamatos működés 1998-tól datálható)
  - **1 db Boltek EFM100 field mill**: **2013** óta
- +1 db Boltek field mill kampánymérésekre



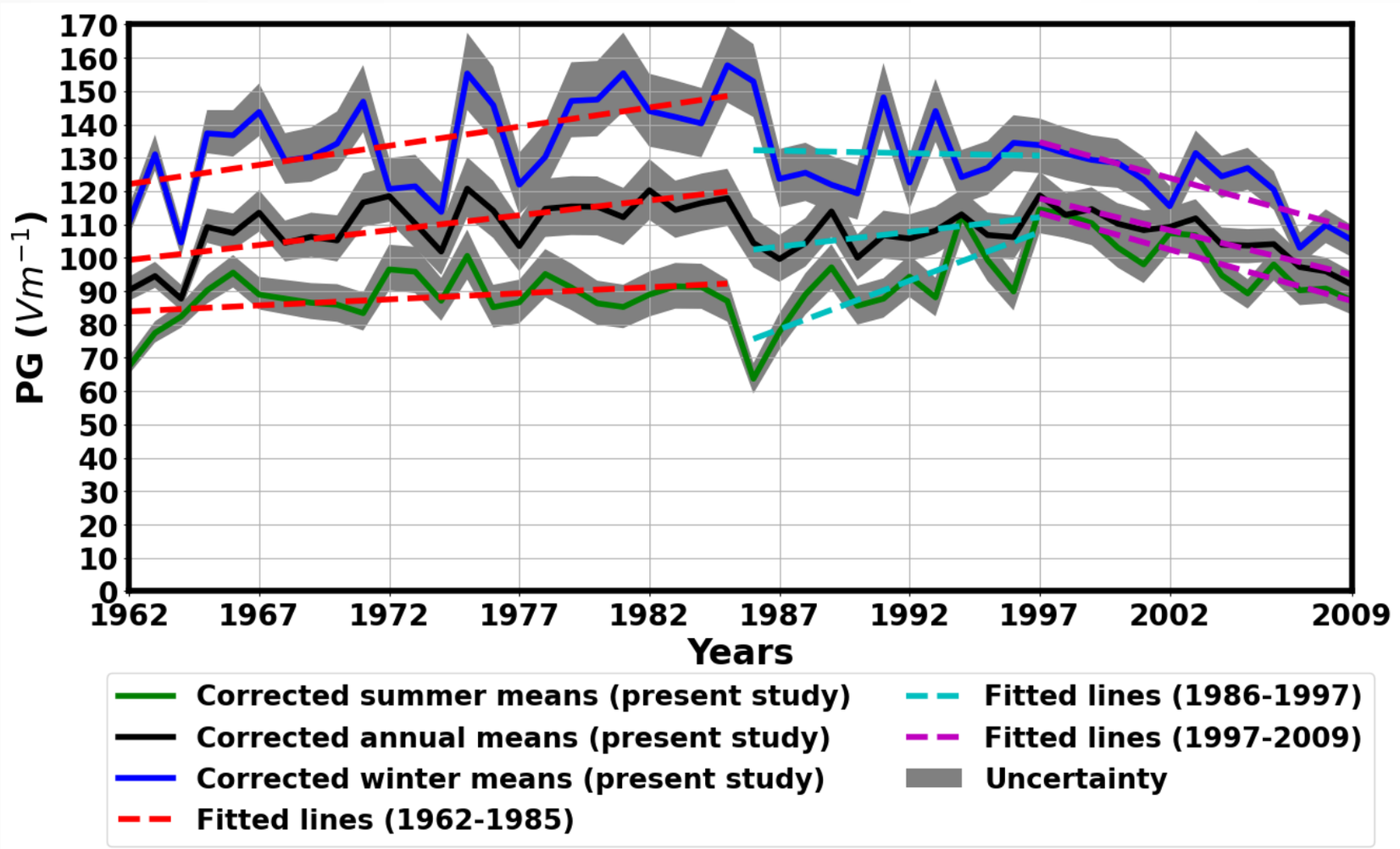
A szép idő adatszelekció

- **A helyi időjárási perturbációk által érintett adatokat nem szabad figyelembe venni globális jelek keresésekor**
- Az ún. szép idő adatok kiválogatását többféleképpen is meg lehet valósítani:
  - **Ideális esetben**: **kiegészítő meteorológiai adatok** segítségével: nincs csapadék, látástávolság > 2 km, maximum 1 okta felhőfedettség, nincsenek alacsony rétegfelhők, RH < 95%, talajközeli szélsebesség 1 ms^{-1} és 7 ms^{-1} között
  - Meteorológiai adatok hiányában: **statisztikai megközelítés** az adatok eloszlásán alapulva (NCK is):
    - **Negatív PG értékek elhagyása**
    - A felső pozitív határértékre több megoldás van:
      - A pozitív PG értékek eloszlásának belső 80%-a
      - Az ún. medián abszolút eltérés ötszöröse (MAD: Median Absolute Deviation)
      - Nagycenken, a radioaktív műszerek esetében: **[0 Vm^{-1}, 120 Vm^{-1}]**

$$MAD = (|x_i - median(X)|)$$



A nagycenki PG hosszú távú változásai



- **Három fő szakasz**:
  - Egy **növekvő trend 1962-től kb. 1985-ig**,
  - egy **stagnáló-csökkenő vagy növekvő szakasz 1986 és 1997 között** és
  - egy **erőteljes csökkenés 1997 óta**

A nagycenki PG hosszú távú változásai

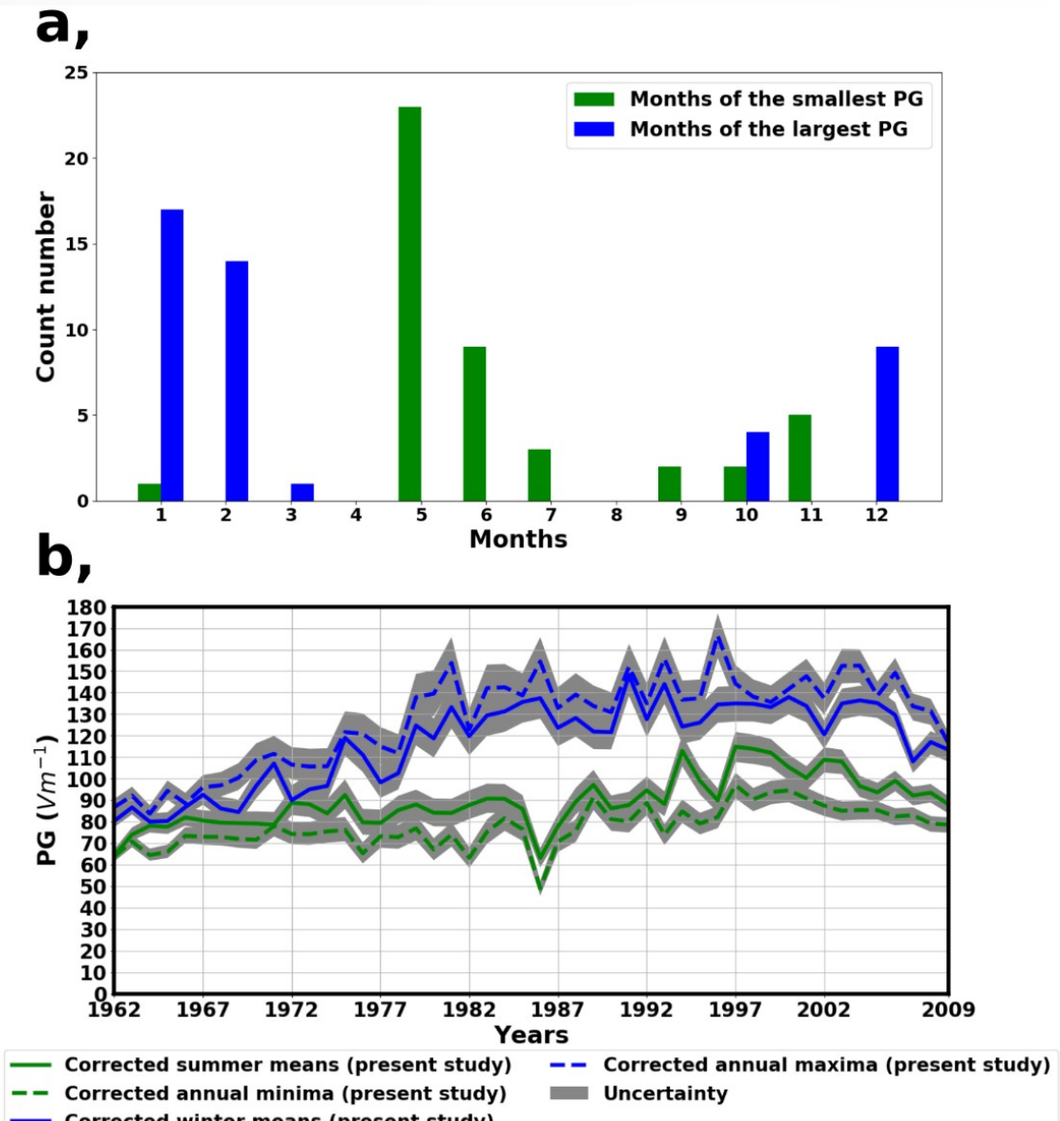
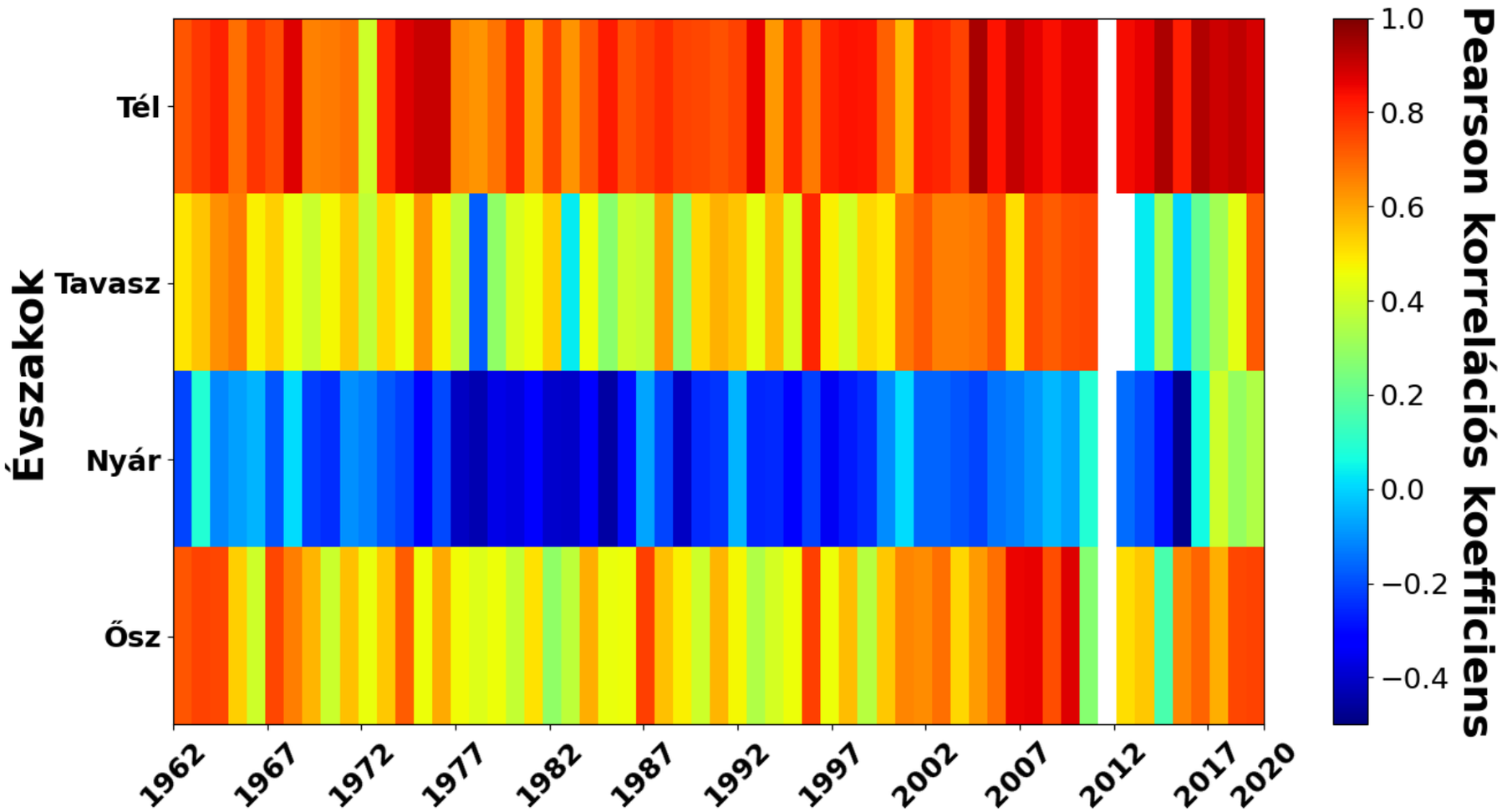


Fig. 7 from *Buzás et al., 2021*.

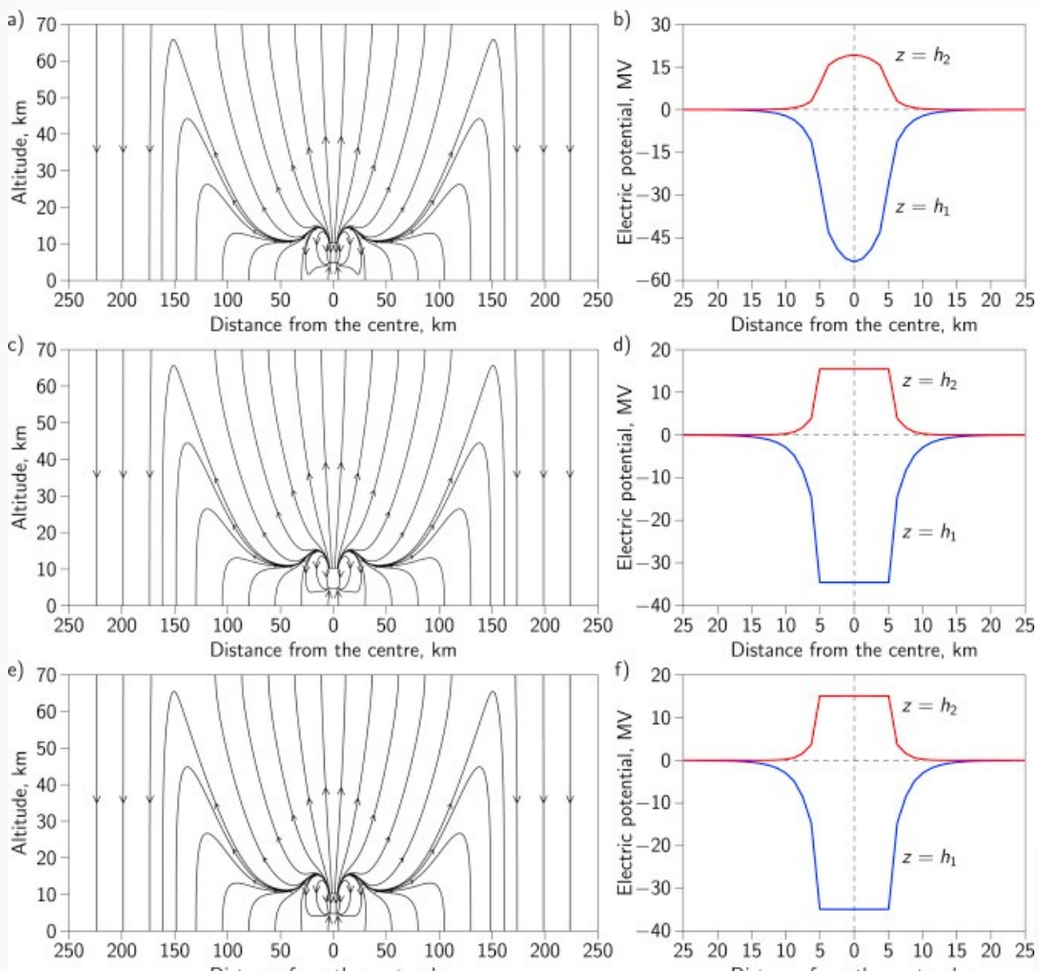
- A **különböző évszakok különböző módon járulnak hozzá a trendekhez**
- Az **éves maximum** (a legnagyobb havi átlag egy adott évben) **télen**, míg a **minimum** (a legkisebb havi átlag egy adott évben) **nyáron fordul elő** általában
- Viszont az éves minimumok és maximumok, valamint a nyári és téli átlagok eltérően viselkedhetnek
- Nagycenk esetében az **éves minimumok a tavasz (május) felé vannak eltolódva** (általában lokális, regionális hatások indikációja)

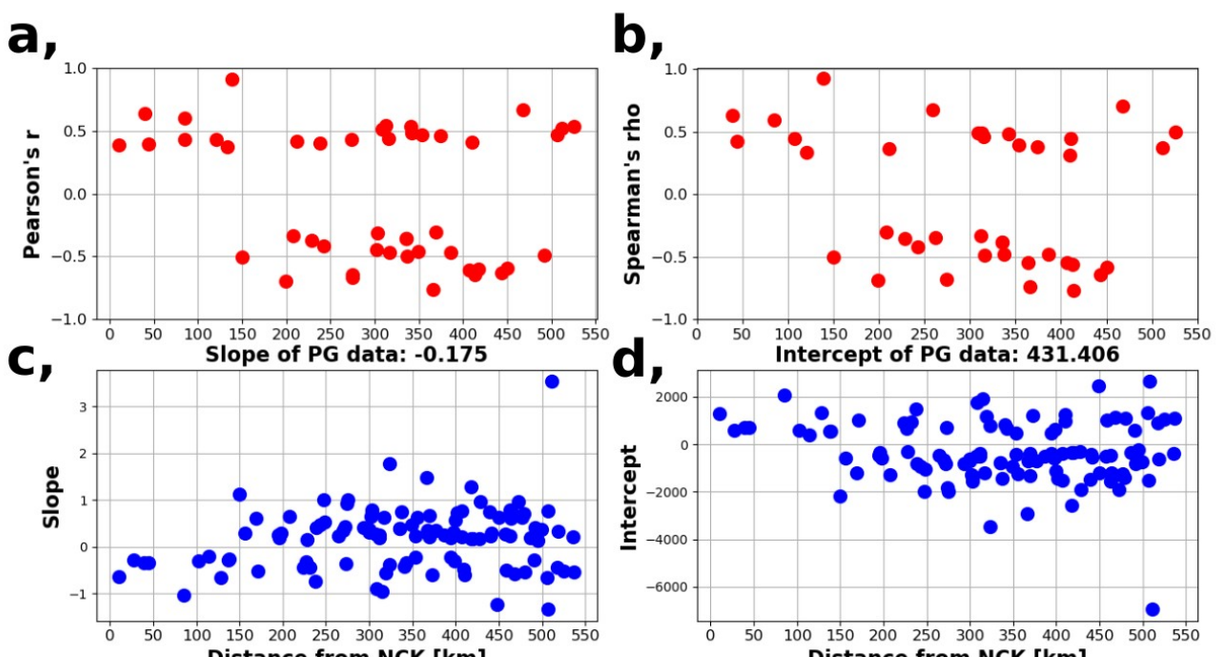
Nagycenki PG globális reprezentativitása



A PG és a regionális zivatartevékenység

- **Regionális léptékben a zivatarok hatása milyen módon nyilvánul meg a PG mérésekben?**
- **Zivataros napok száma**: hosszú távú mérési rekordok





Ábra forrása: Fig. 3. in Slyunyaev et al., 2019.

Összefoglalás

- A légköri elektromosság egy **“alulértékelt” tudományos terület**, ami **nagy segítséget nyújthat interdiszciplináris meteorológiai és geofizikai kutatásokban**.
- A **Globális Légköri Elektromos Áramkör** változásainak vizgálata által **új összefüggéseket tárhatunk fel a globális klímaváltozást illetően**.
- **A PG egy könnyen mérhető** és rendkívül **sok jelenség vizsgálatában hasznosítható fizikai mennyiség**. Sok esetben **proxiként szolgálhat** (ld. pl. légszennyezettség).
- **Magyarországon az 1960-as évek elejétől folynak a nemzetközi élmezőnybe tartozó kvázi-egyenáramú légköri elektromos kutatások.**

Köszönöm a megtisztelő figyelmet!

Buzás Attila
buzas.attila@epss.hu