

# Elektrotechnika – 2. rész...

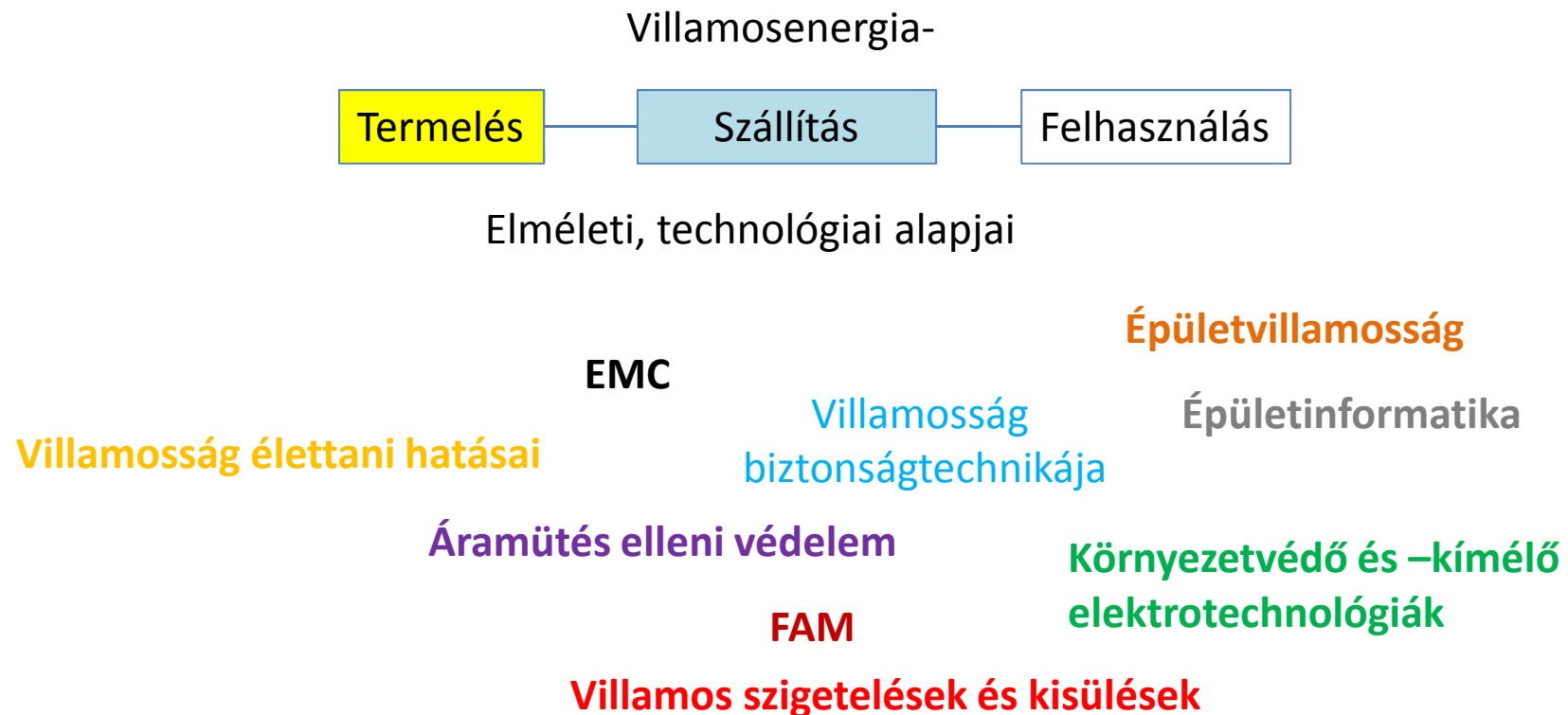
**Dr. Kiss István**

tanszékvezető egyetemi docens

[kiss.istvan@vet.bme.hu](mailto:kiss.istvan@vet.bme.hu)

# Amiről szó lesz...

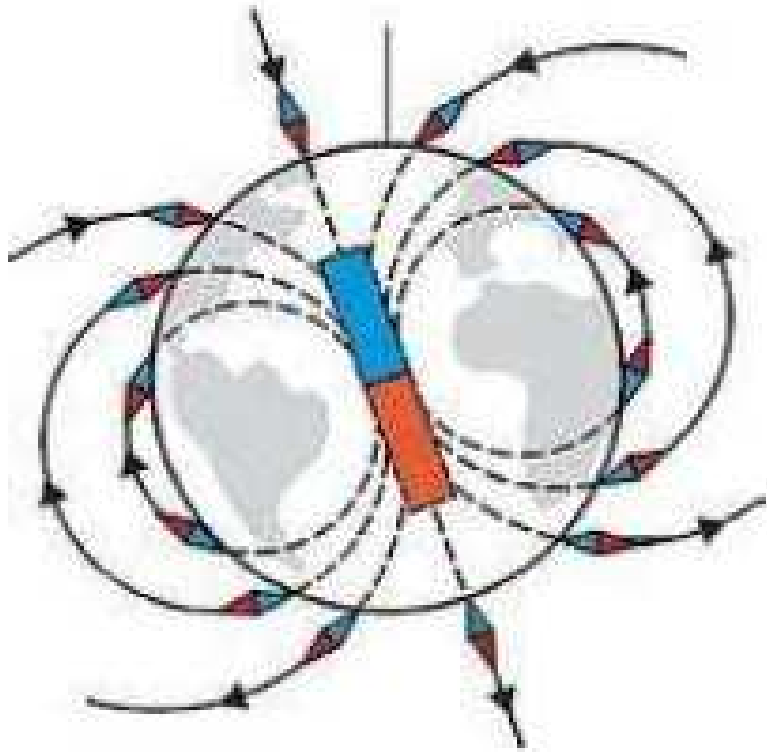
- Elektrotechnika és környezet kölcsönhatása
  - Természeti környezet, beleértve az embert
  - Technikai környezet



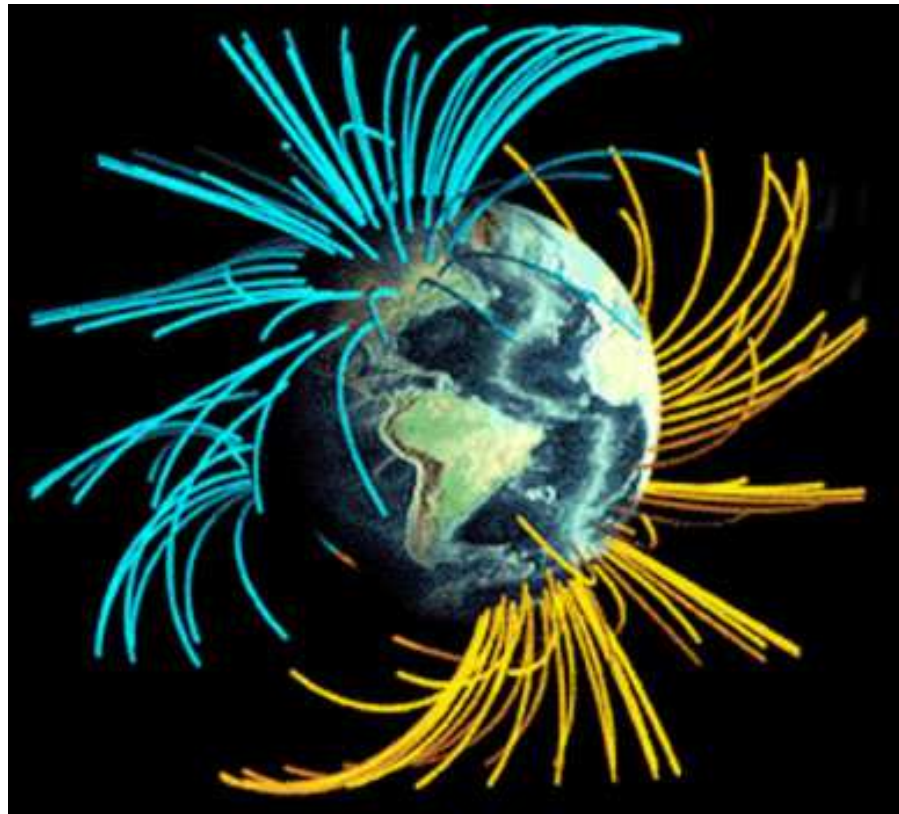
# Mivel is kezdjük...?

- Magunkkal! – A villamosság élettani hatásai
  - Előtérben az **ember az erőtérben...**
  - amúgy is népszerű téma az elektroszmog...
  - ... és a 33/2016. (XI. 29.) EMMI rendelet
    - Az elektromágneses terek hatásának kitett munkavállalókra vonatkozó minimális egészségi és biztonsági követelményekről
- Mielőtt belevágnánk, fontos tudni: nem csak a villamos eszközök, berendezések, távvezetékek közelében találkozunk villamos, mágneses ill. elektromágneses erőtérrel!

## A FÖLD MÁGNESES ERŐTERE

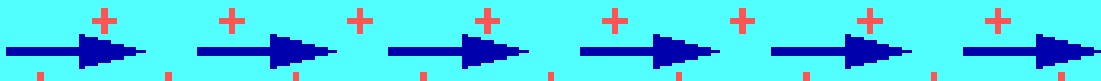


**30 – 60  $\mu\text{T}$**



# Ionoszféra

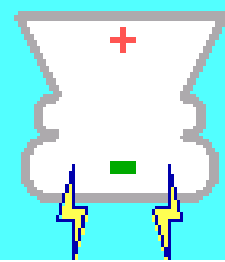
80 km



$$\Sigma i \approx 1500 \text{ A}$$

Szépítő áram

10 km



$$E = 100 - 200 \text{ V/m}$$

$$2-3 \text{ pA/m}^2$$

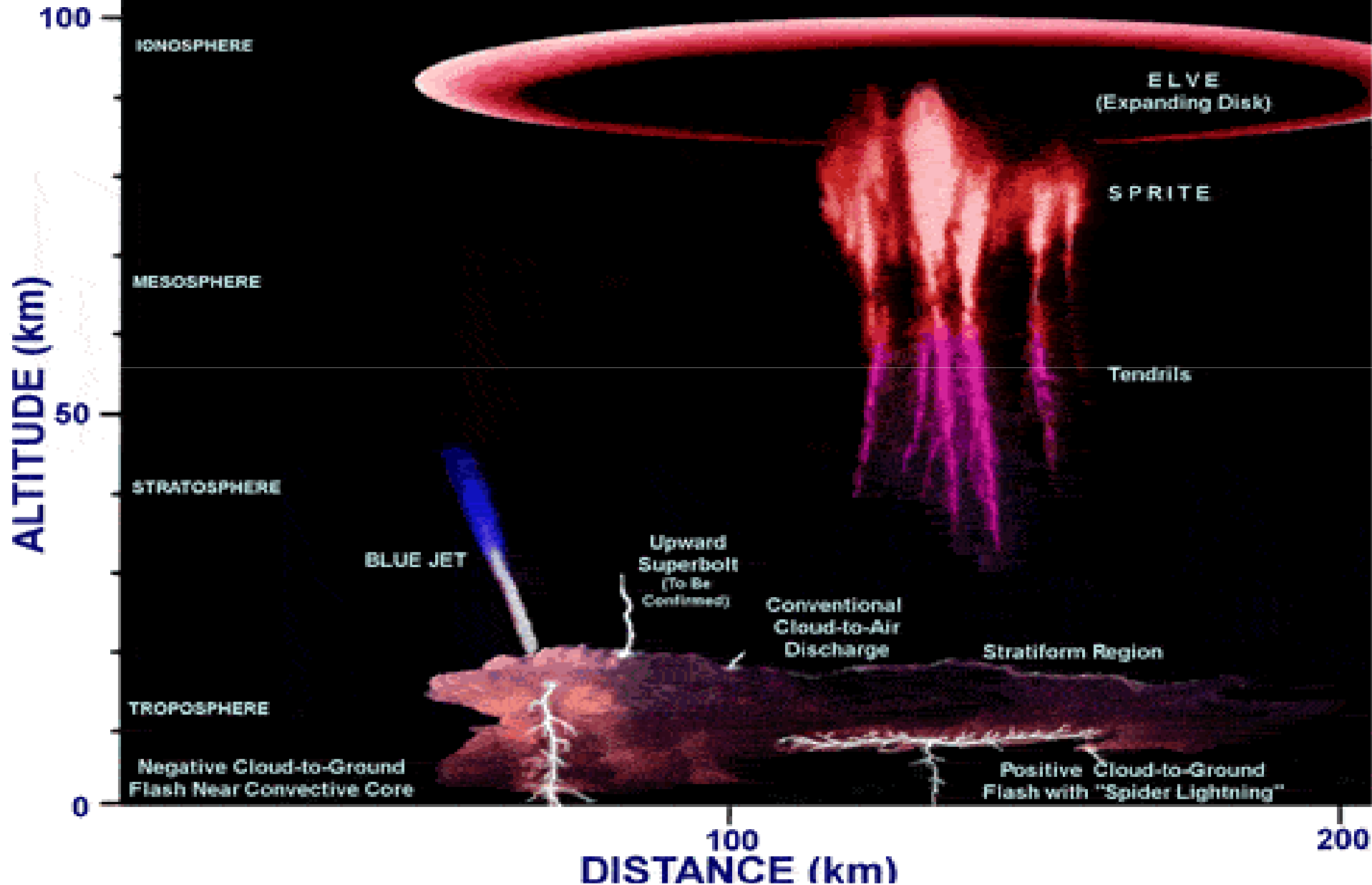
$E \uparrow$

Föld

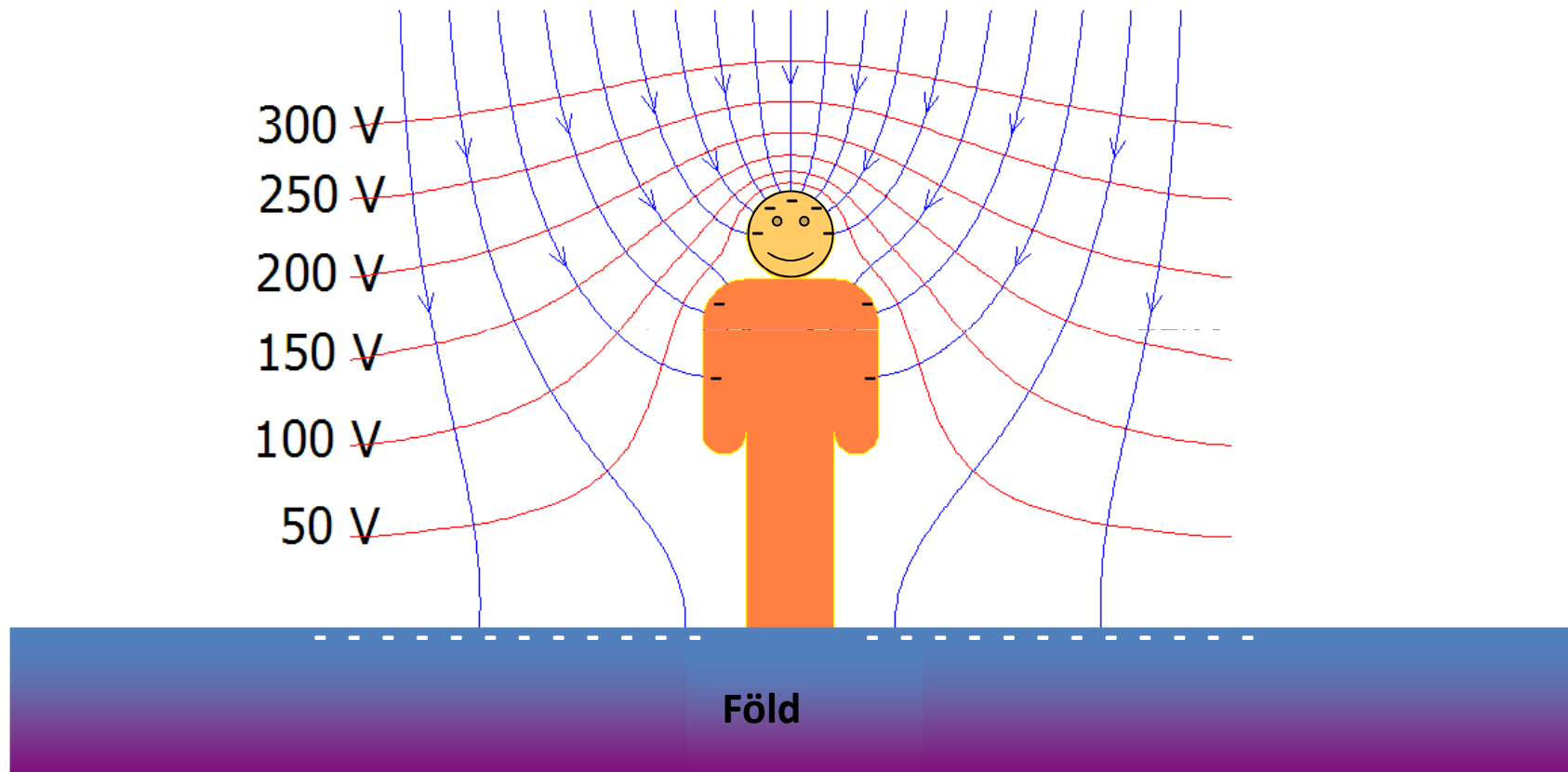


Graphic courtesy of Carlos Miralles (AeroVironment) and Tom Nelson (FMA)

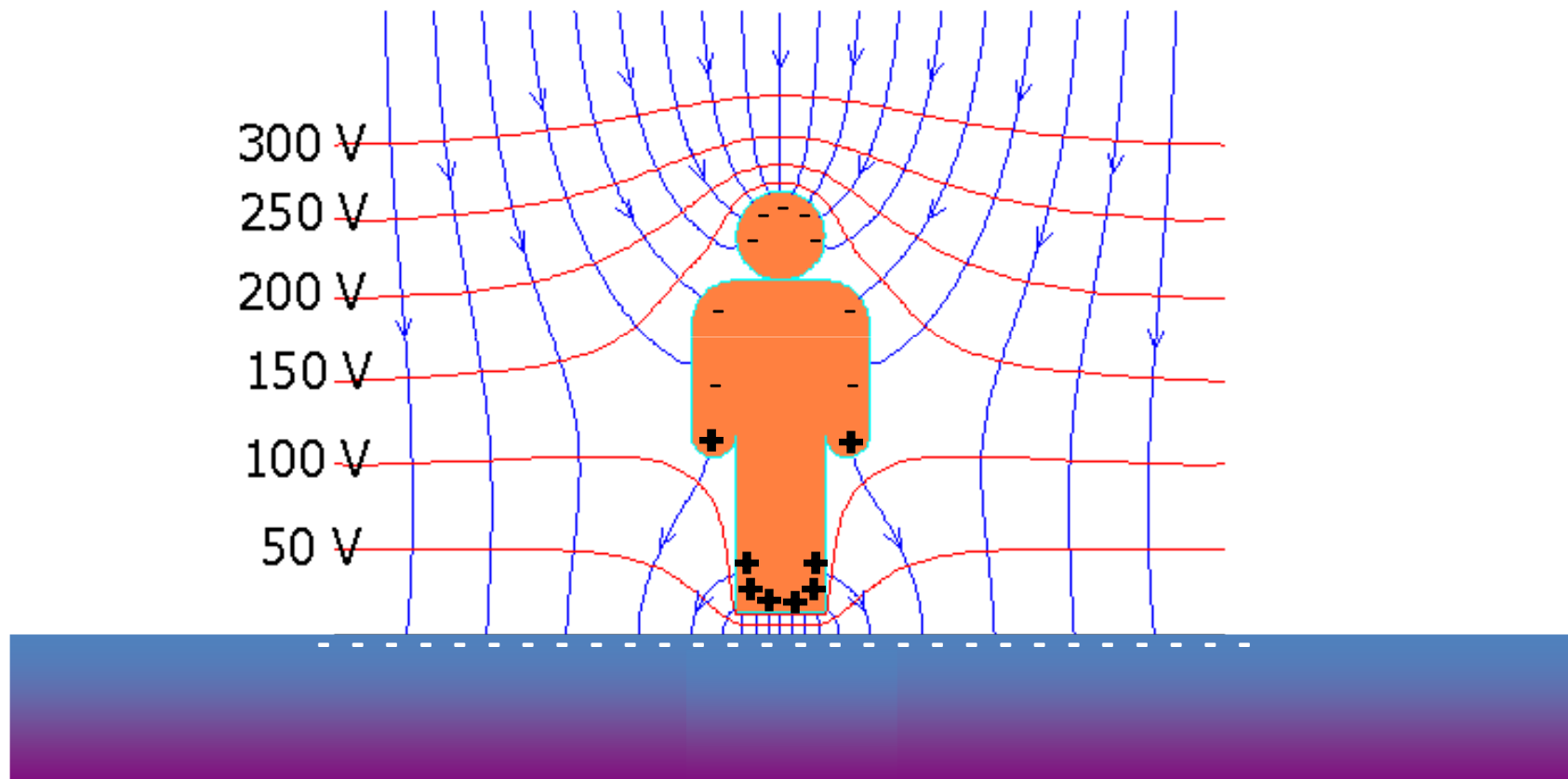
# ÓRIÁSI „VILLÁMOK” A FELHŐK FELETT



# Álljunk meg egy pillanatra...



# Szigetelő talpú cipőben sincs gond...

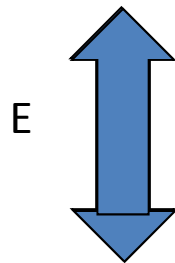


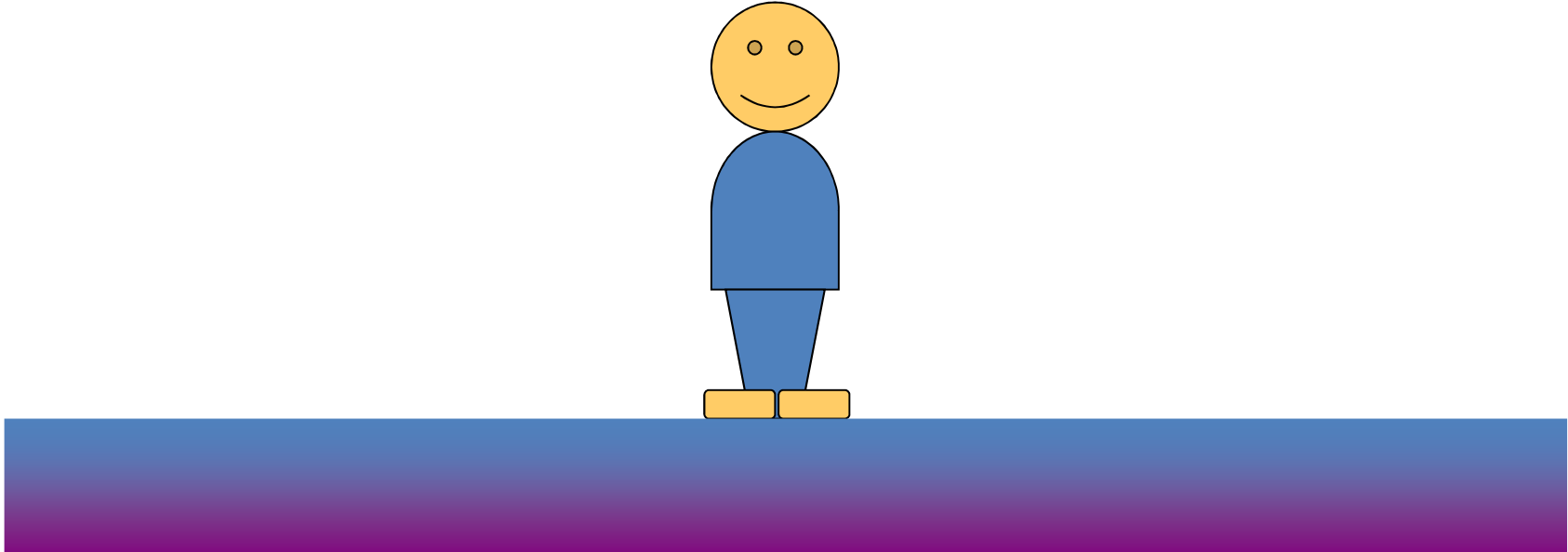


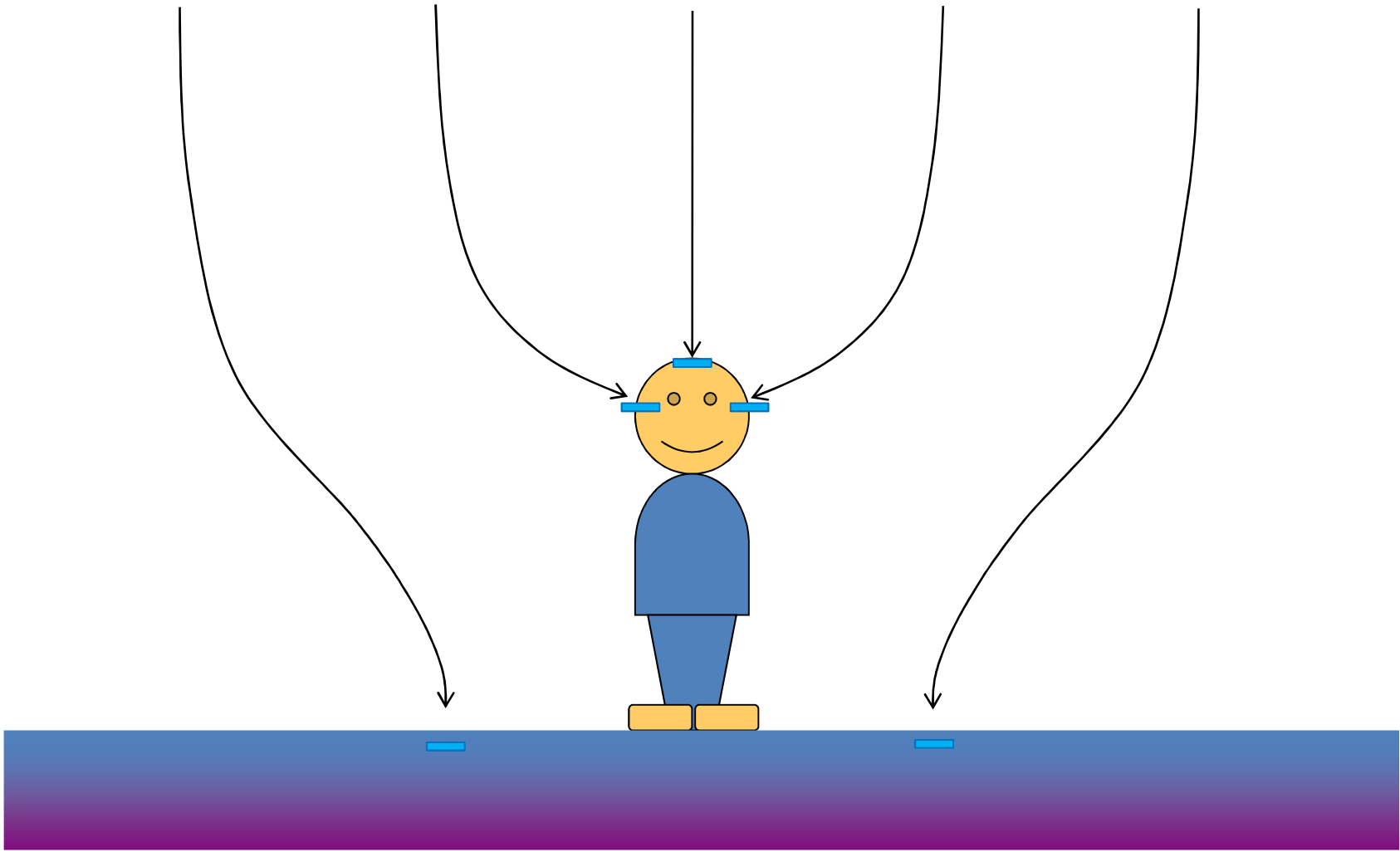
... de mi a helyzet váltakozó  
erőtér esetén?

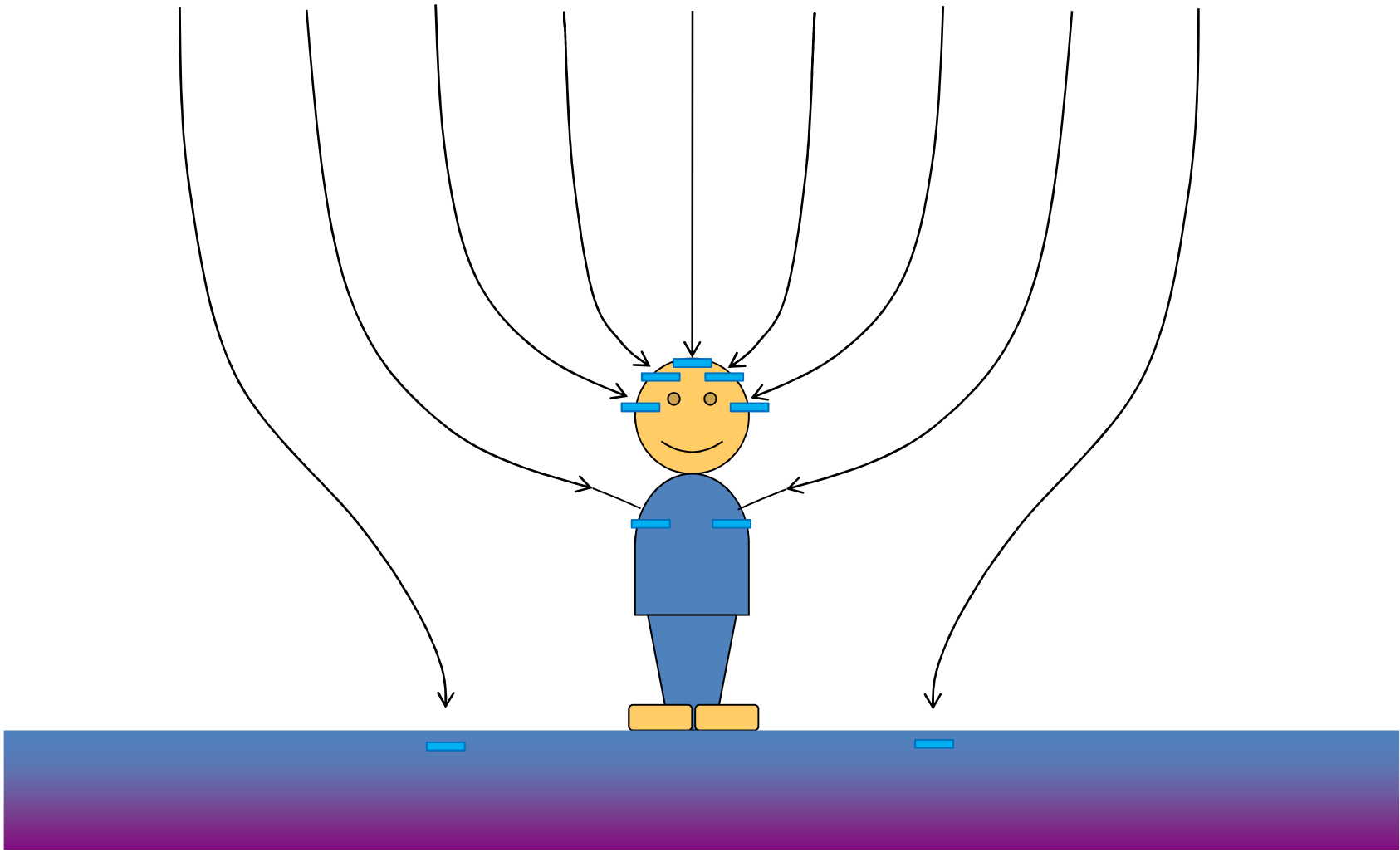
Például: távvezeték közelében.

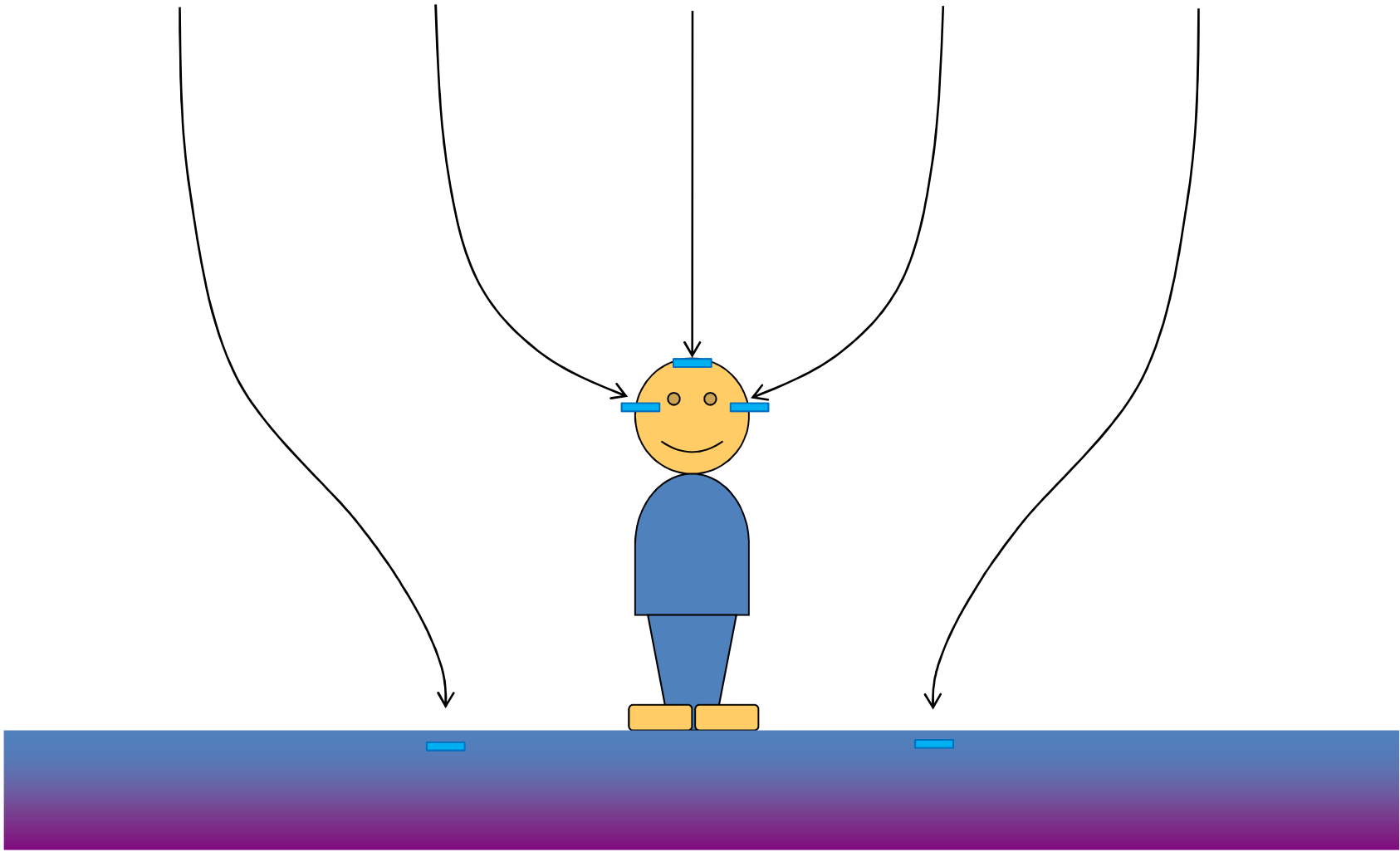
KISFREKVENCIÁS ERŐTEREK

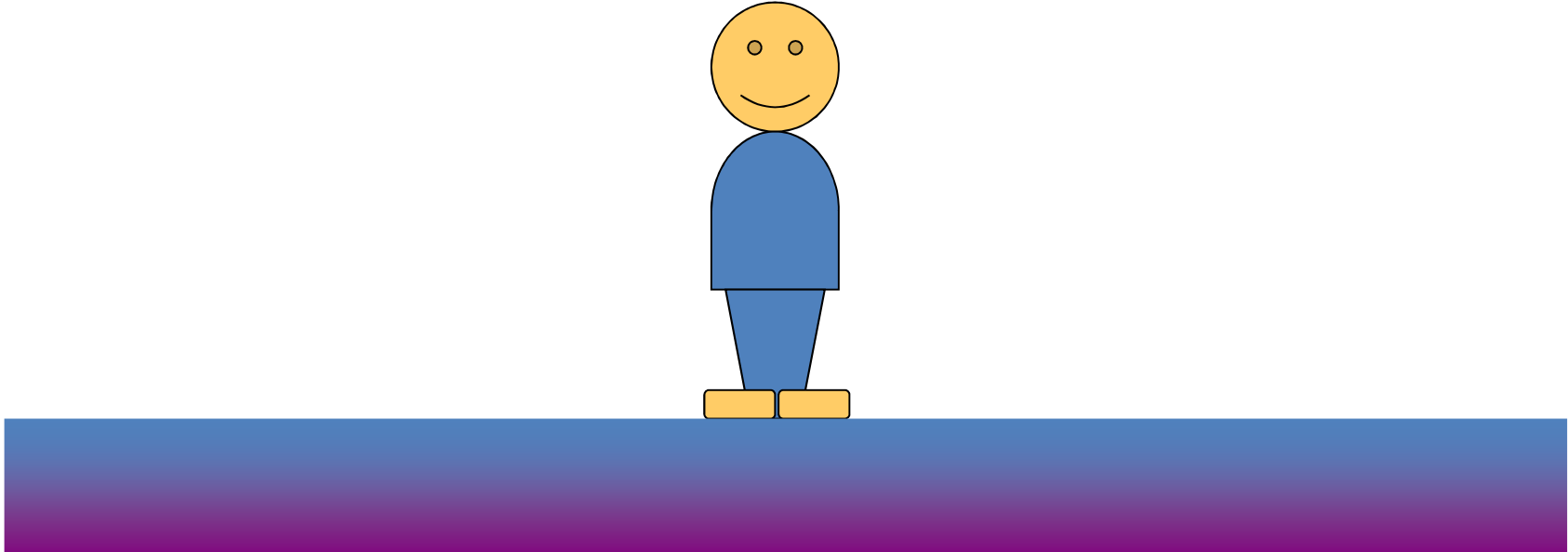


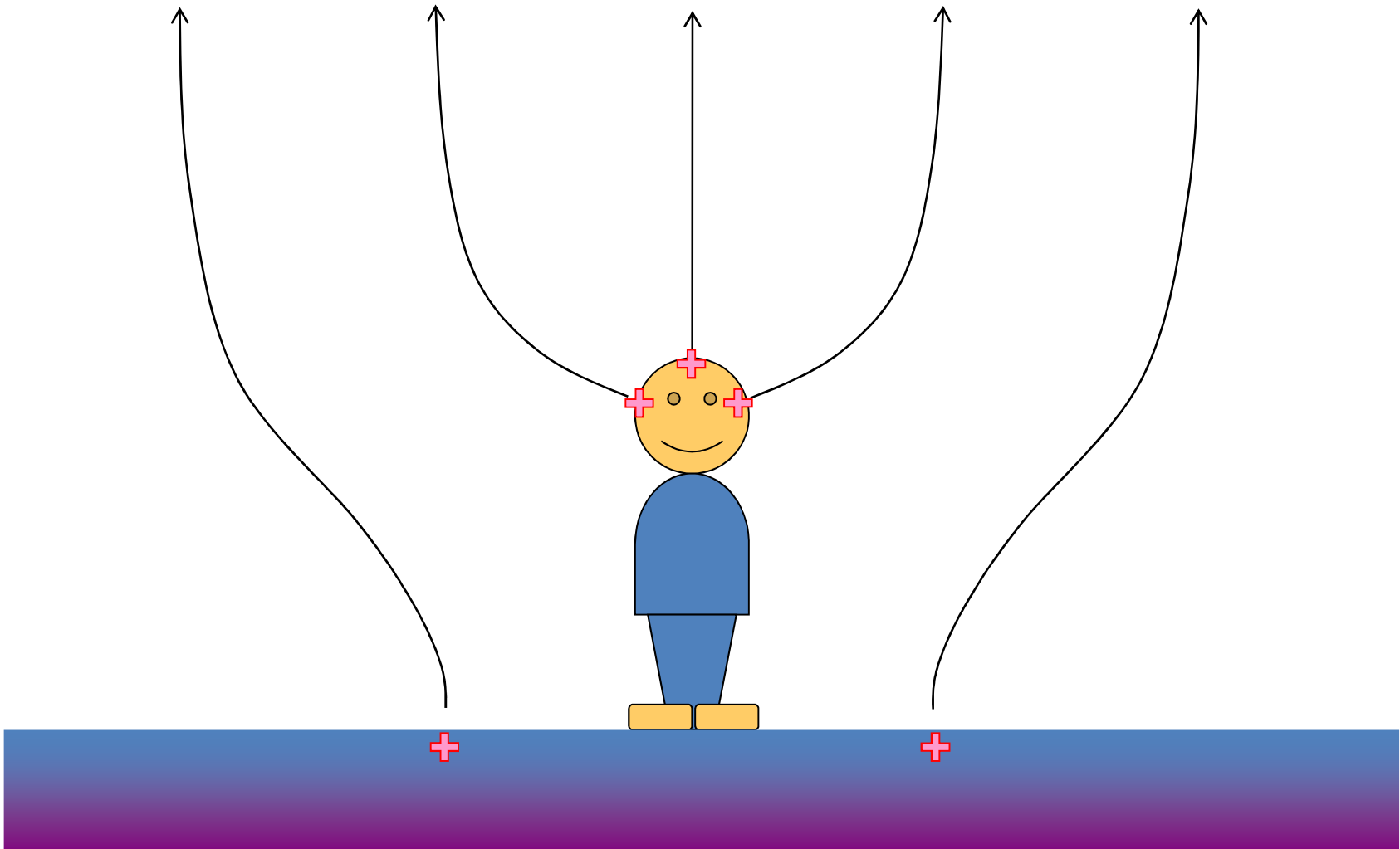


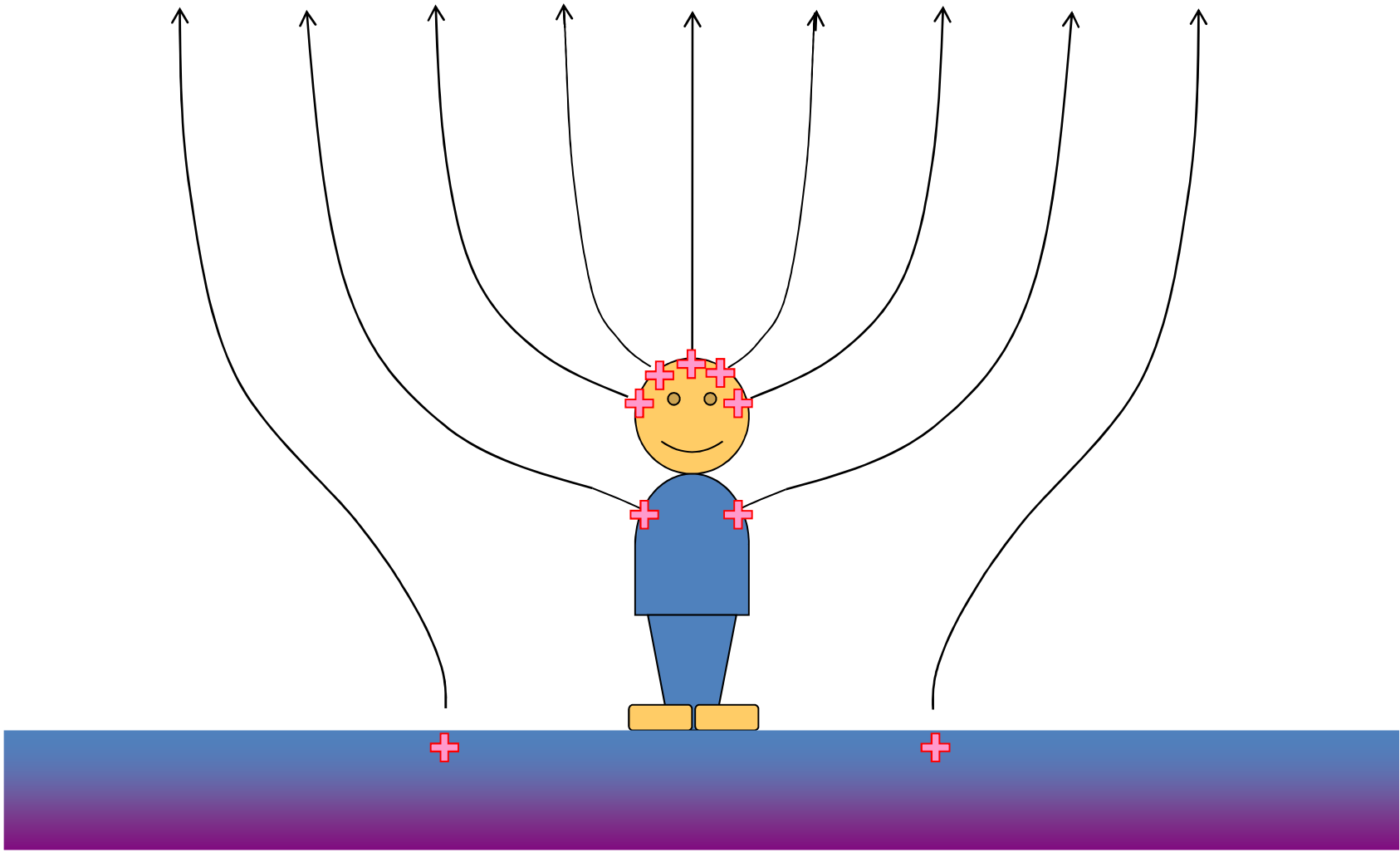




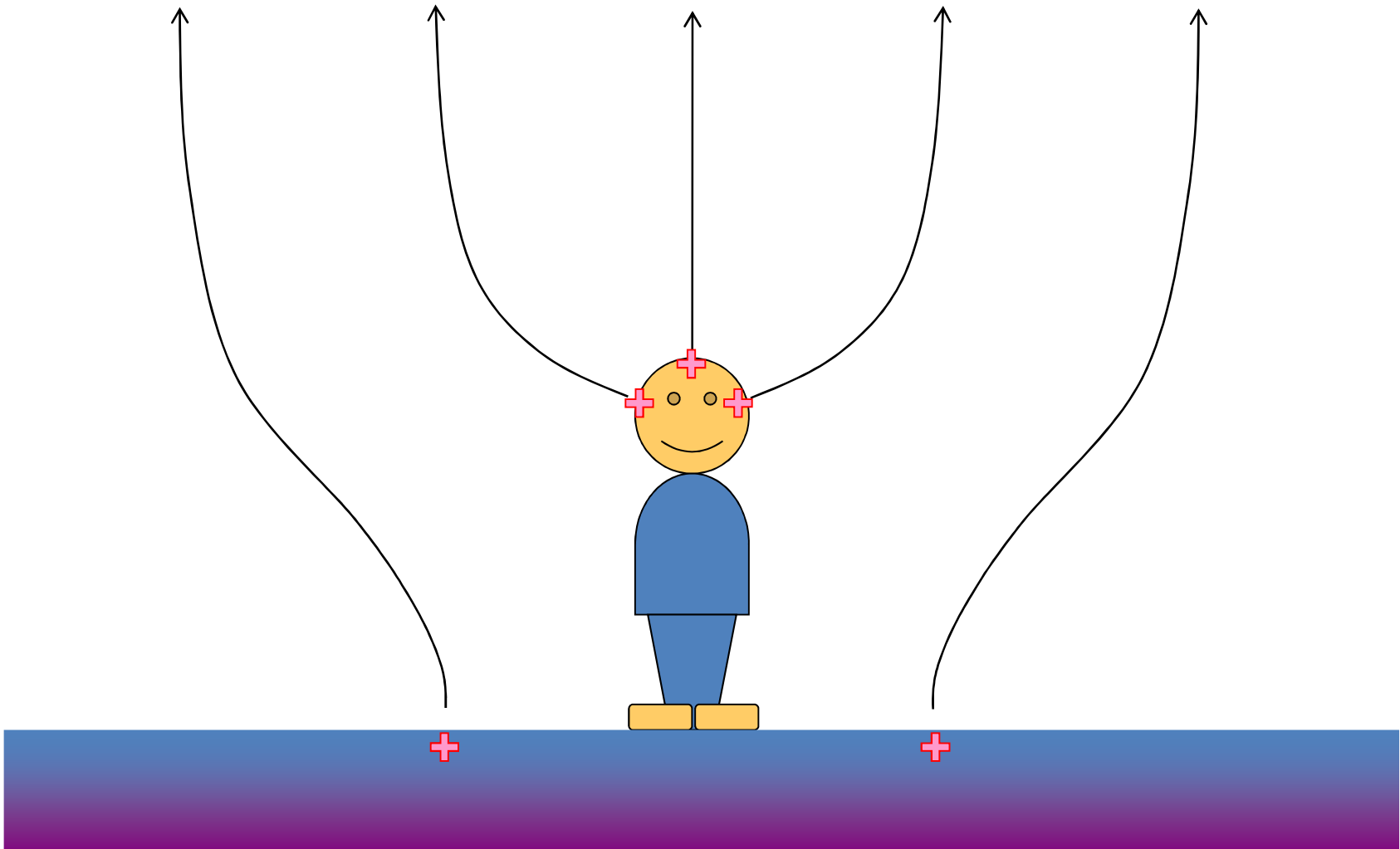


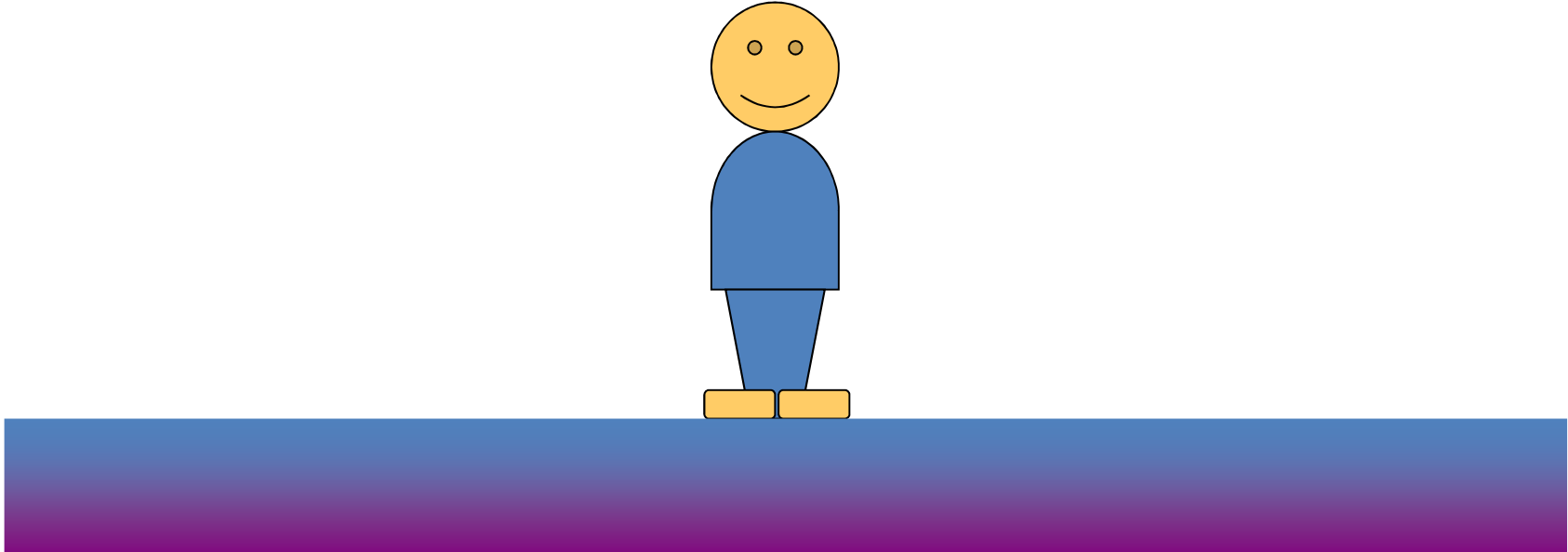




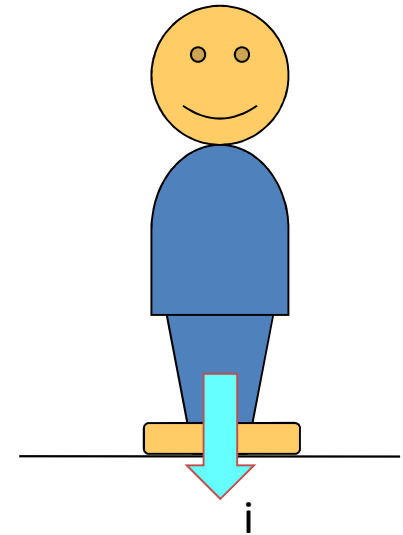






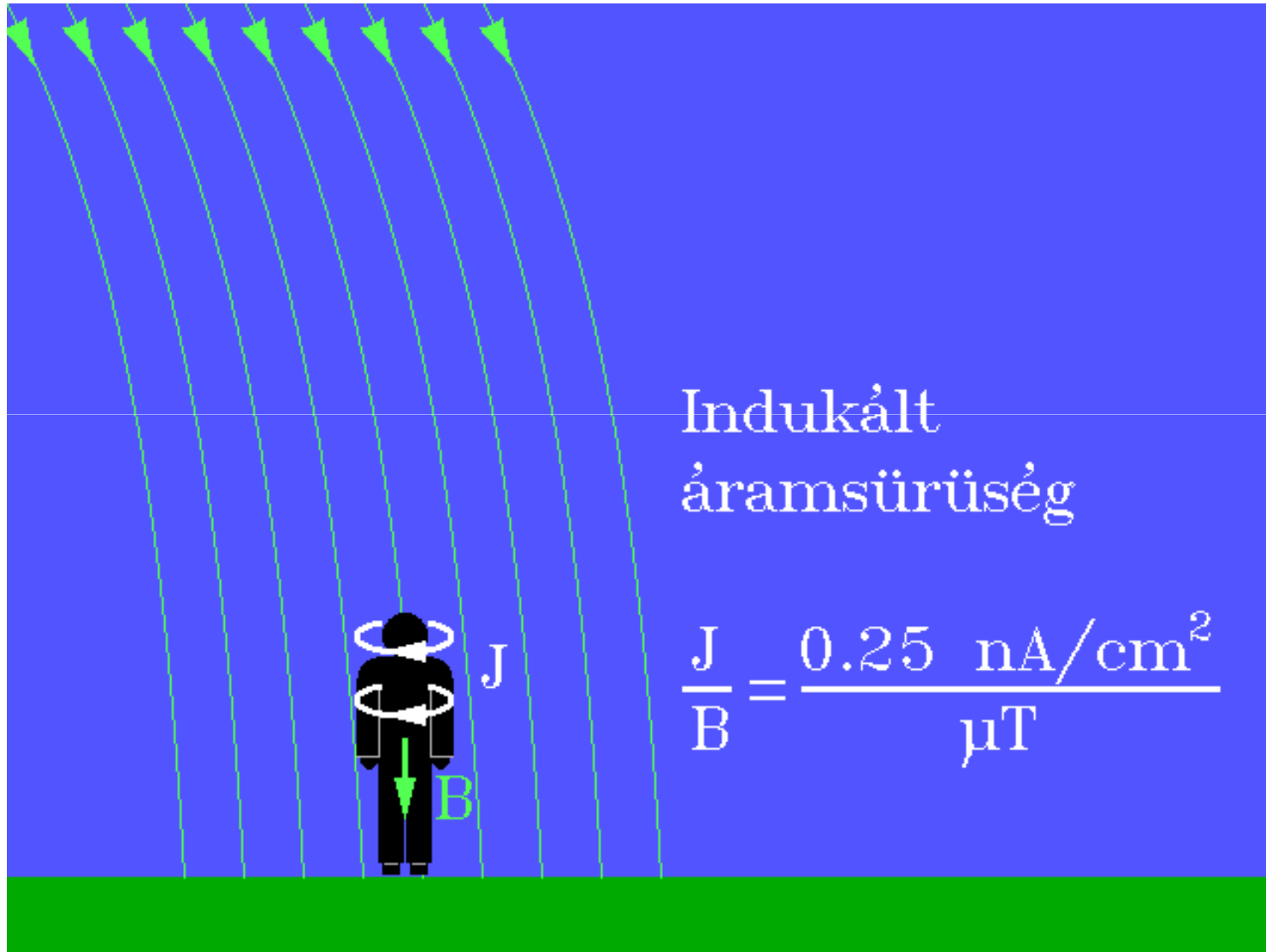


# Folyamatos AC eltolási áram



- Mégis, mekkora ?
  - Külső erőtér: 1 kV/m (AC, eff.)  
 $i = 14 \mu\text{A}$ . (AC, eff.)
  - Ennek hatására az agyban kialakuló áramsűrűség:  
kb.  $2,5 \text{ nA} / \text{cm}^2$
- Sok ez, vagy kevés?
  - Vessük össze az alábbiakkal...

# Váltakozó mágneses erőter (50Hz)



## Agy

Nyugalmi áramsűrűség:	0.1 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
Ingerlési küszöb:	10 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
Veszélyeztetés:	100 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$

## Szív

Szívkamra remegés:	500 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
--------------------	-------------------------------

## Agy

Nyugalmi áramsűrűség:  $100 \text{ nA/cm}^2$

Eltolási áramsűrűség:  $\frac{2.5 \text{ nA/cm}^2}{\text{kV/m}}$

Indukált áramsűrűség:  $\frac{0.25 \text{ nA/cm}^2}{\mu\text{T}}$

Az ezt előidéző

villamos térerősség:  $40 \text{ kV/m}$

mágneses térerősség:  $400 \mu\text{T}$

## Szív

Szívkamra remegés:  $500\ 000\ \text{nA/cm}^2$

Eltolási áramsűrűség:  $\frac{130\ \text{nA/cm}^2}{\text{kV/m}}$

Indukált áramsűrűség:  $\frac{0.25\ \text{nA/cm}^2}{\mu\text{T}}$

Az ezt előidéző

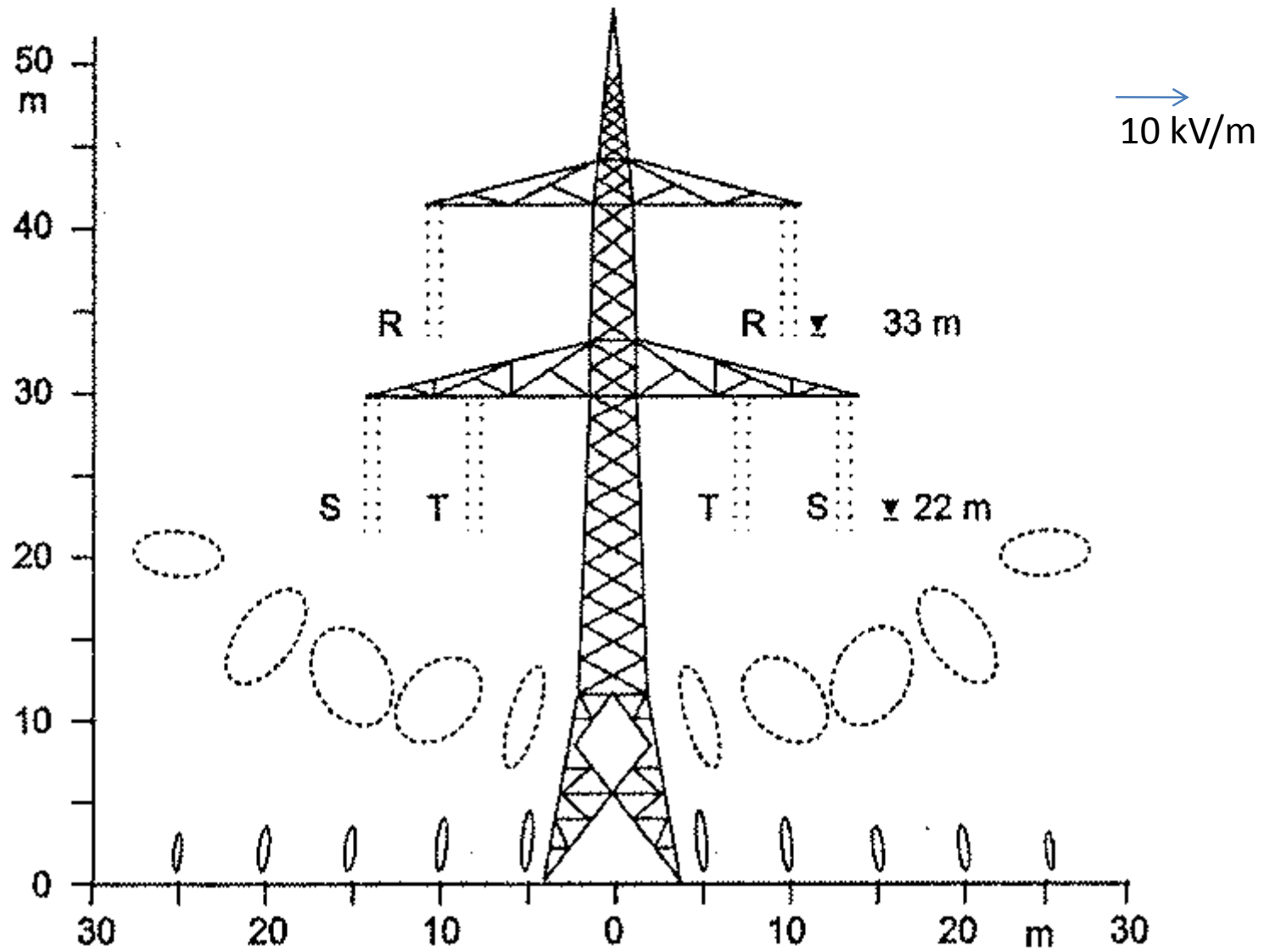
villamos térerősség:  $4000\ \text{kV/m}$

mágneses térerősség:  $2\ \text{tesla}$

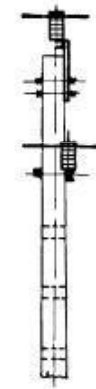
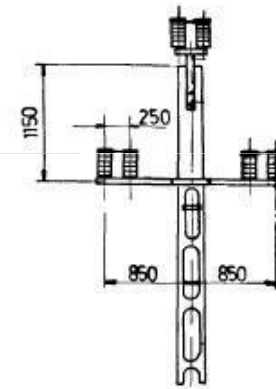
# WHO, ICNIRP előírások

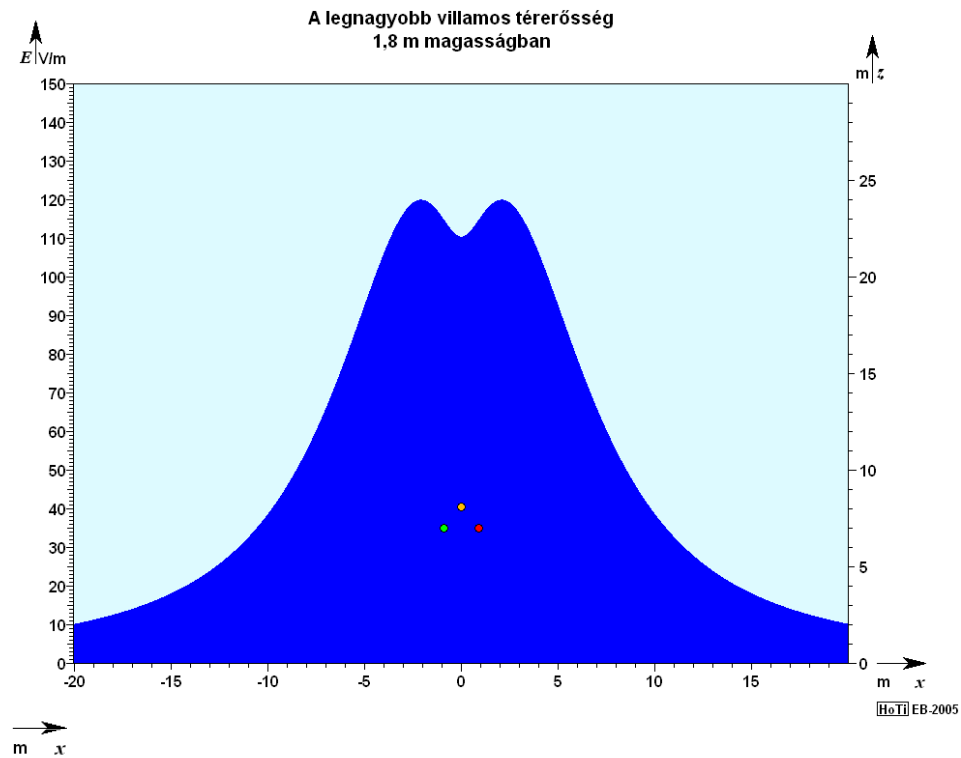
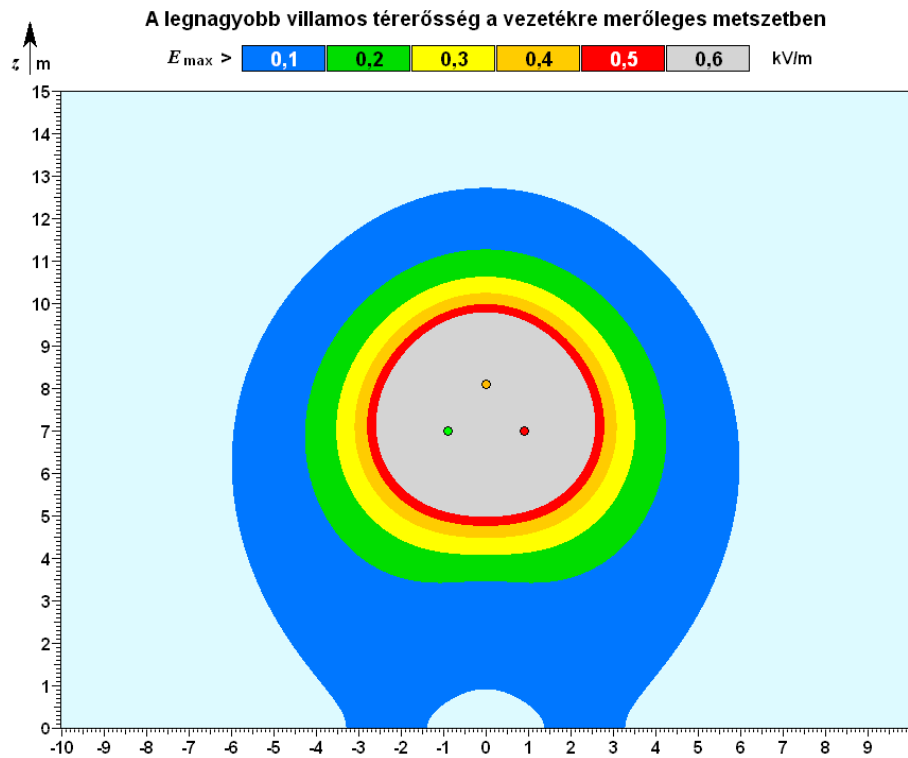
- Biztos, ami biztos...
  - Legnagyobb megengedett vill. térerősség, 50 Hz:
    - Lakosság, napi 24 óra, teljes testfelület: **5 kV/m**
    - Szakszemélyzet, napi 8 óra, teljes testfelület: **10 kV/m**
  - Legnagyobb megengedett mágneses indukció
    - Korábban hasonló elv szerint
      - Lakosság: 100  $\mu\text{T}$
      - Szakszemélyzet: 500  $\mu\text{T}$
    - A közelmúltban ezt megemelték (ez van érvényben)
      - Lakosság, napi 24 óra, teljes testfelület: **200  $\mu\text{T}$**
      - Szakszemélyzet, napi 8 óra, teljes testfelület: **1000  $\mu\text{T}$**



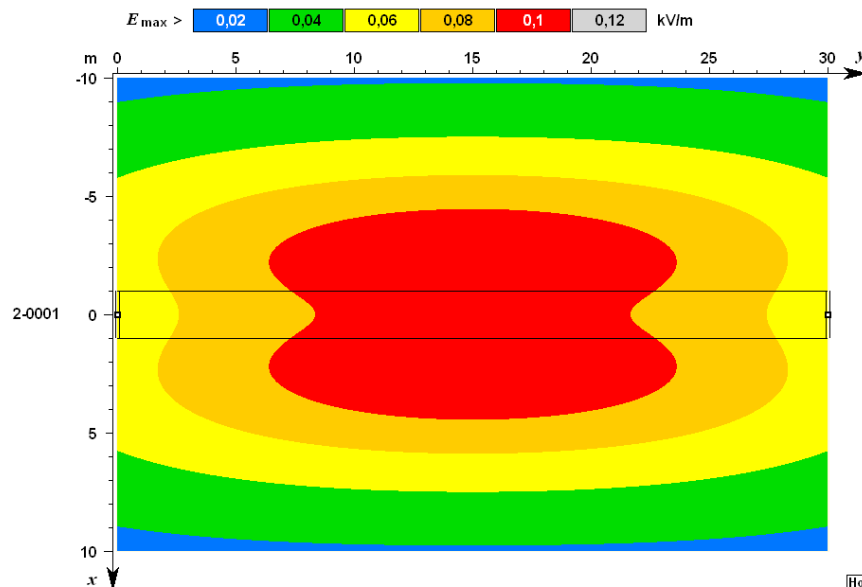


# Középfeszültségű példa: 22 kV-os távvezeték

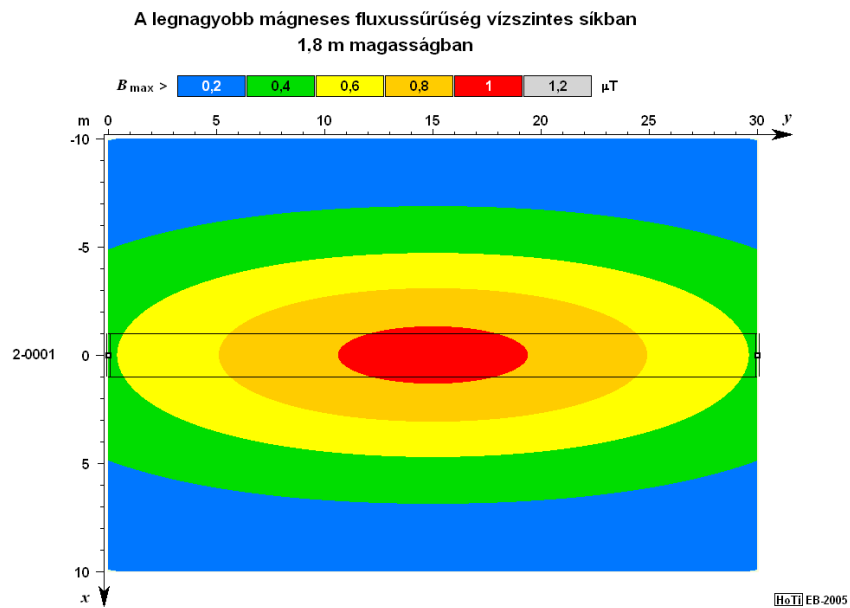
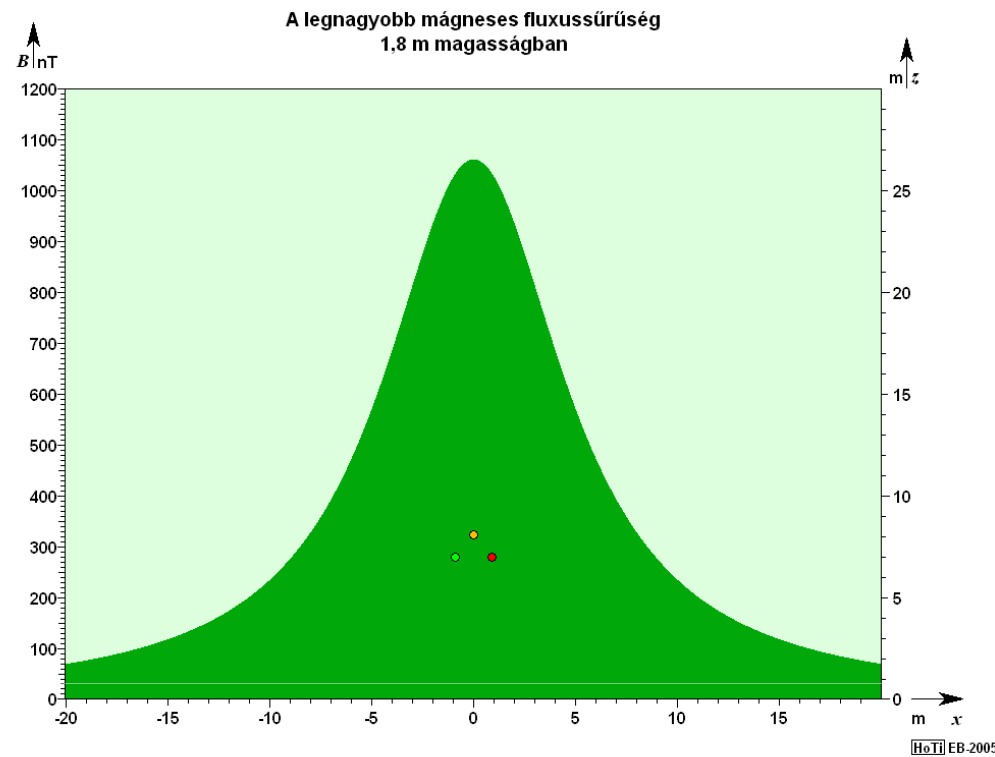
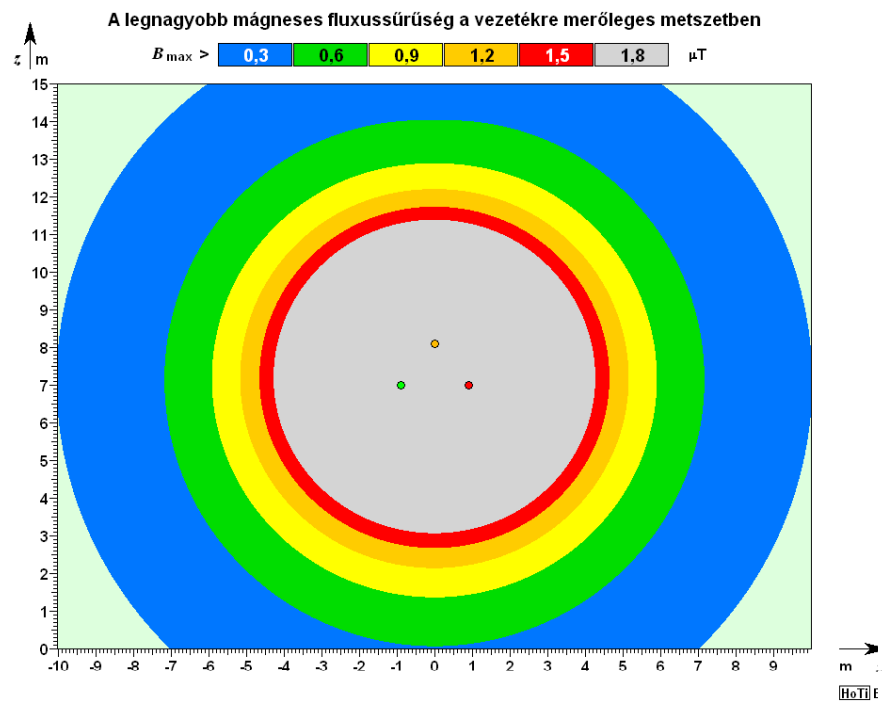




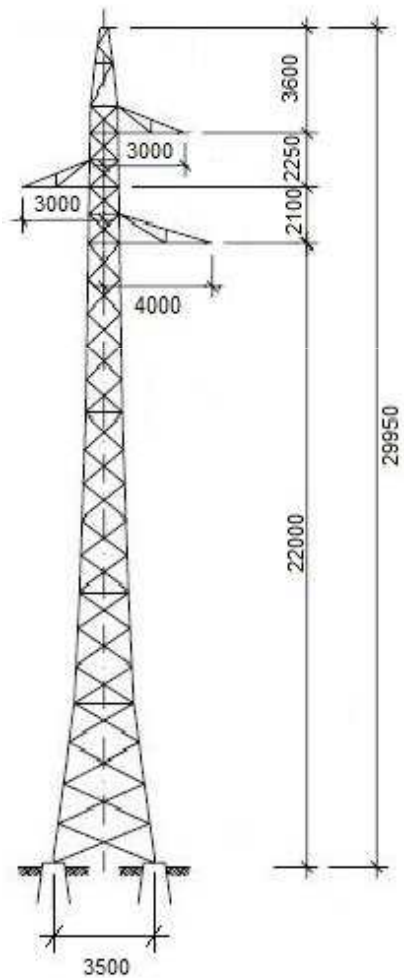
**A legnagyobb villamos térerősség vízszintes síkban  
1,8 m magasságban**

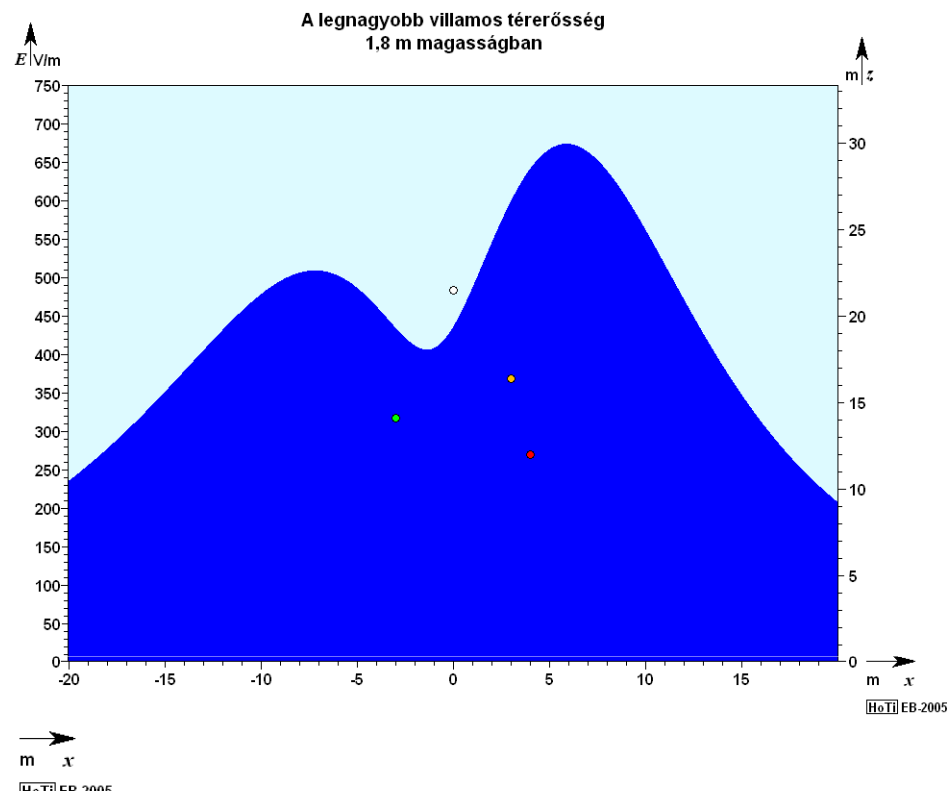
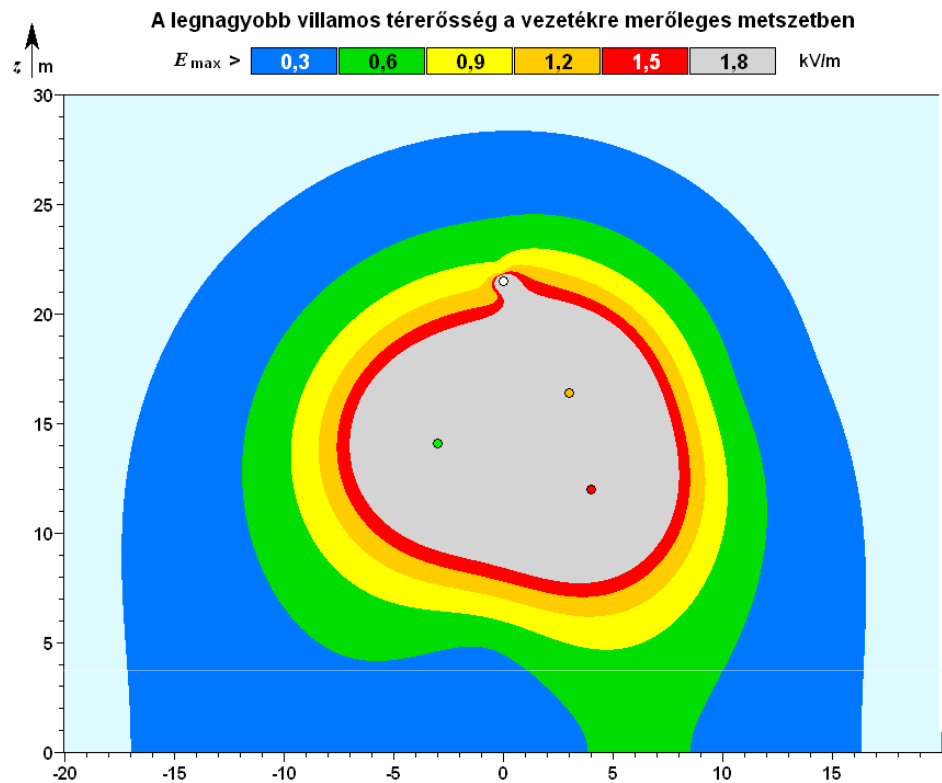


Forrás: Dr Horváth Tibor

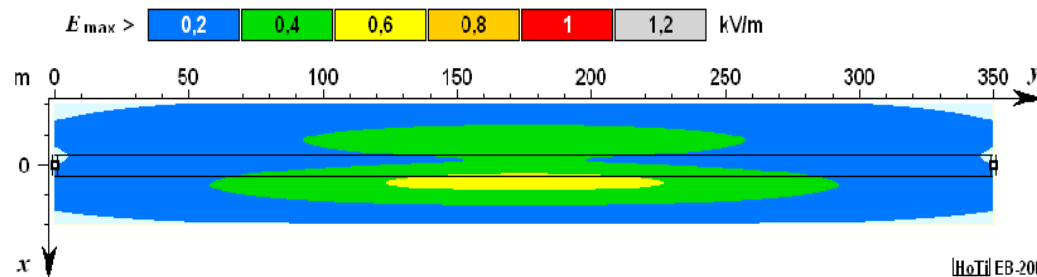


# További példa: 120 kV-os távvezeték



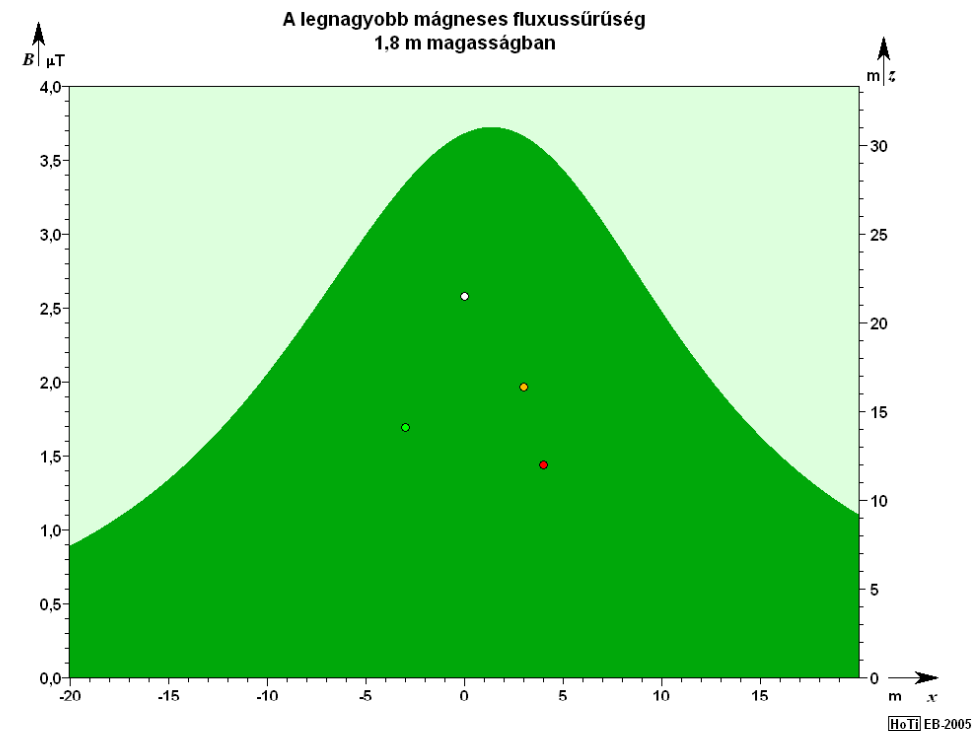
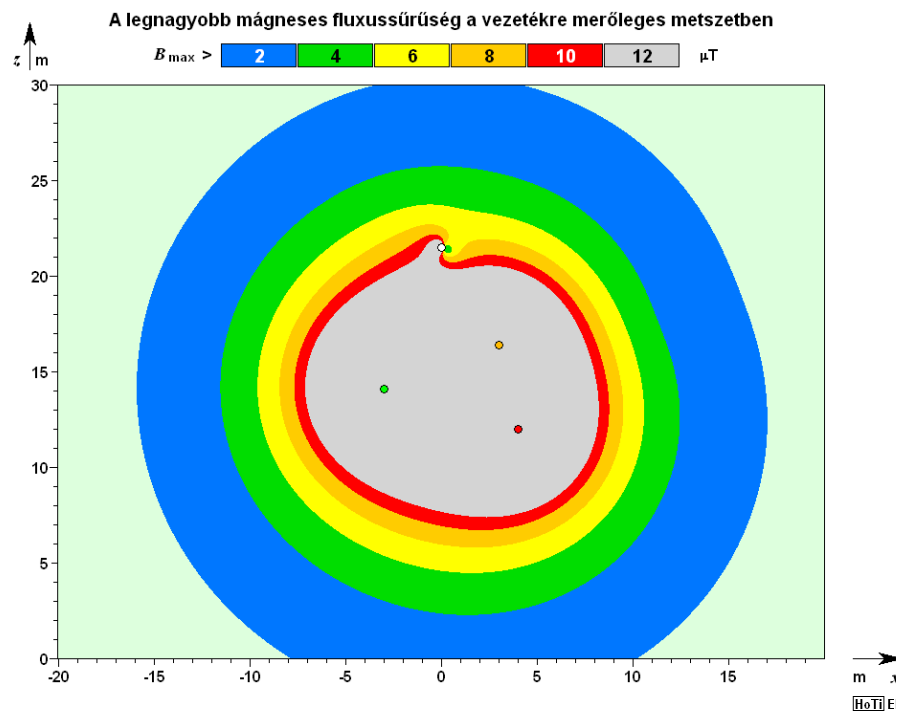


**A legnagyobb villamos térerősség vízszintes síkban 1,8 m magasságban**

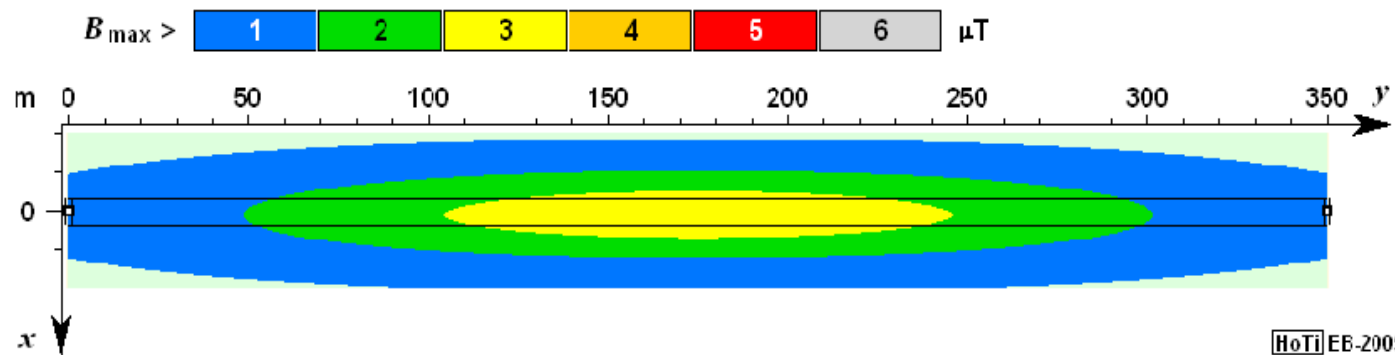


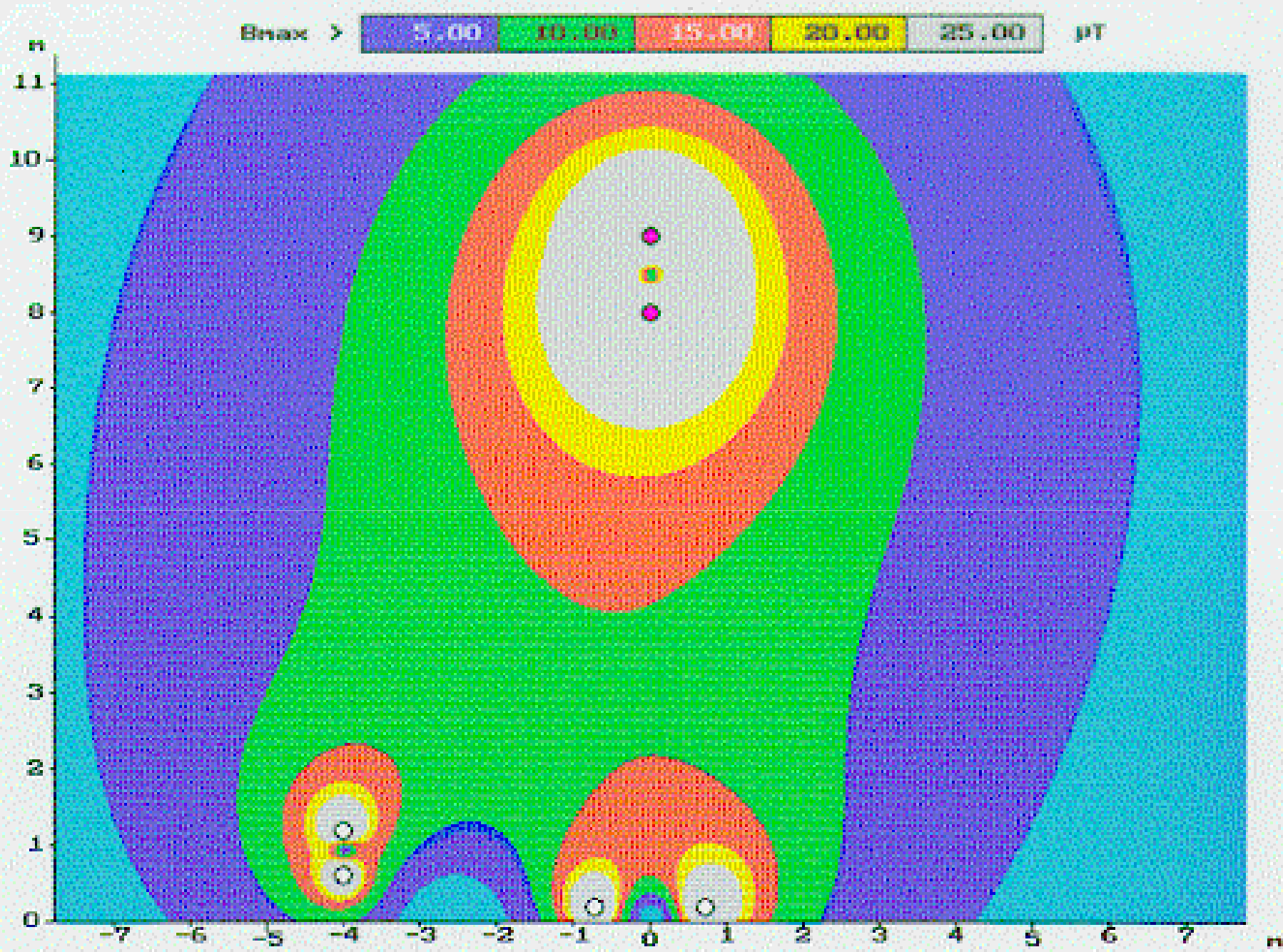
Forrás: Dr. Horváth Tibor

HoTi EB-2005



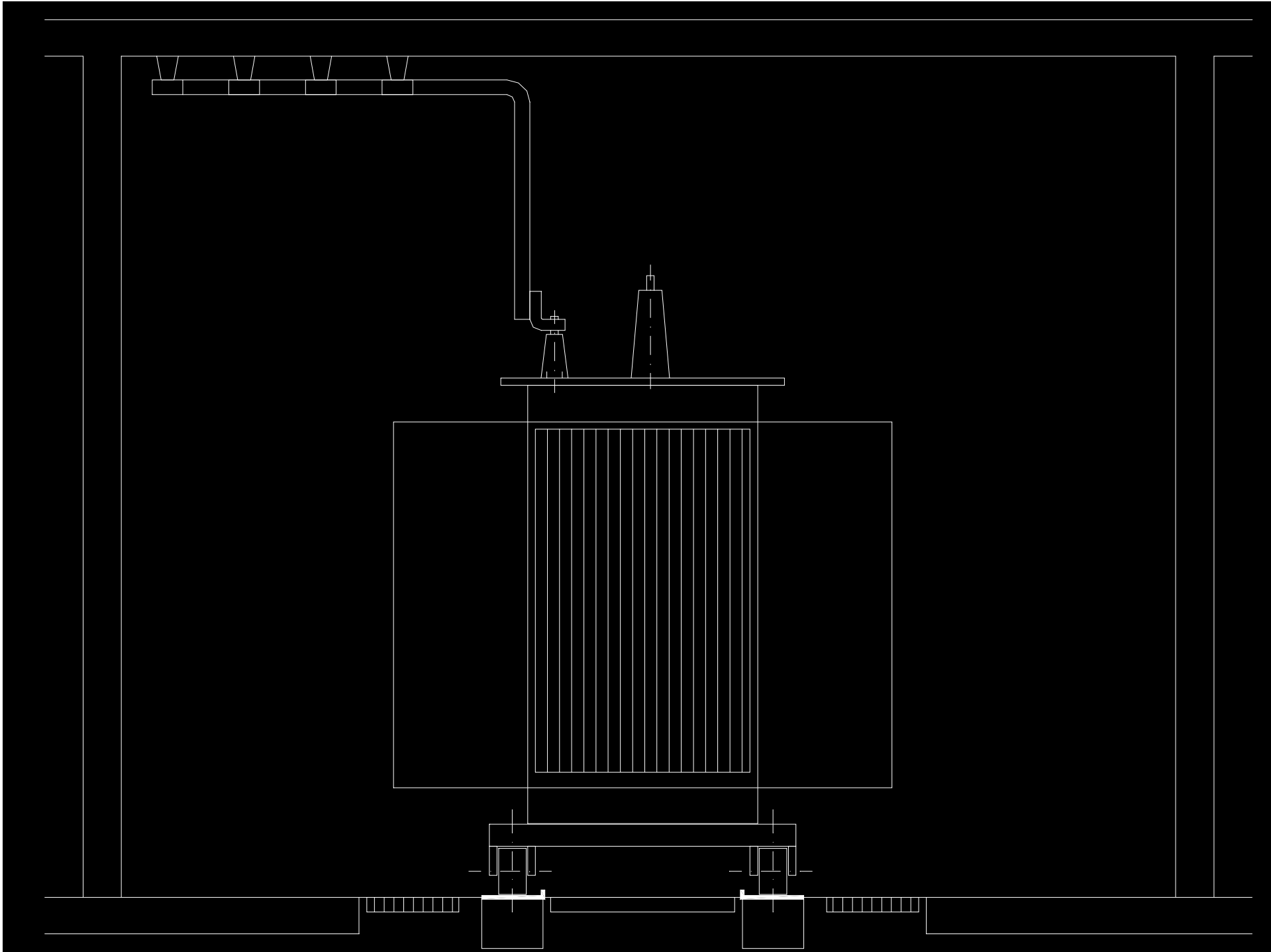
**A legnagyobb mágneses fluxussűrűség vízszintes síkban  
1,8 m magasságban**





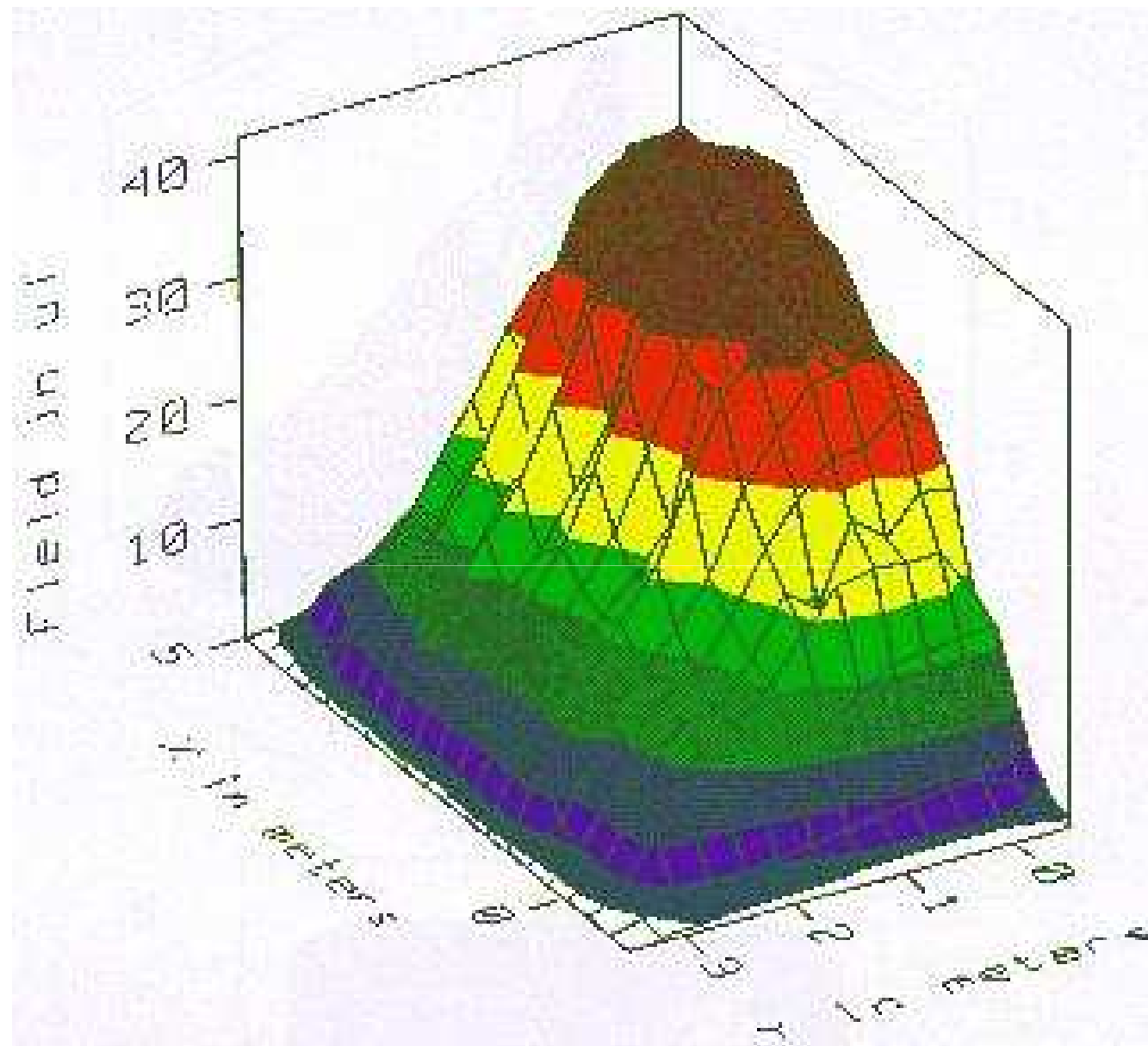
Metal fence      16 2/3 Hz Railway





# Eredeti állapot





0,52 < ■ <2.1< ■ <4.5< ■ <8< ■ <13< ■ <17.5< ■ <25< ■ <32.5< ■ (Br in uT)

# Átalakított állapot



**A háztartási gépek által  
csak kis távolságban  
(néhány cm-nél közelebb) és  
rövid ideig (néhány percig) létrehozott  
mágneses erőtér  
bár igen nagy,  
de általában nem veszélyes.**

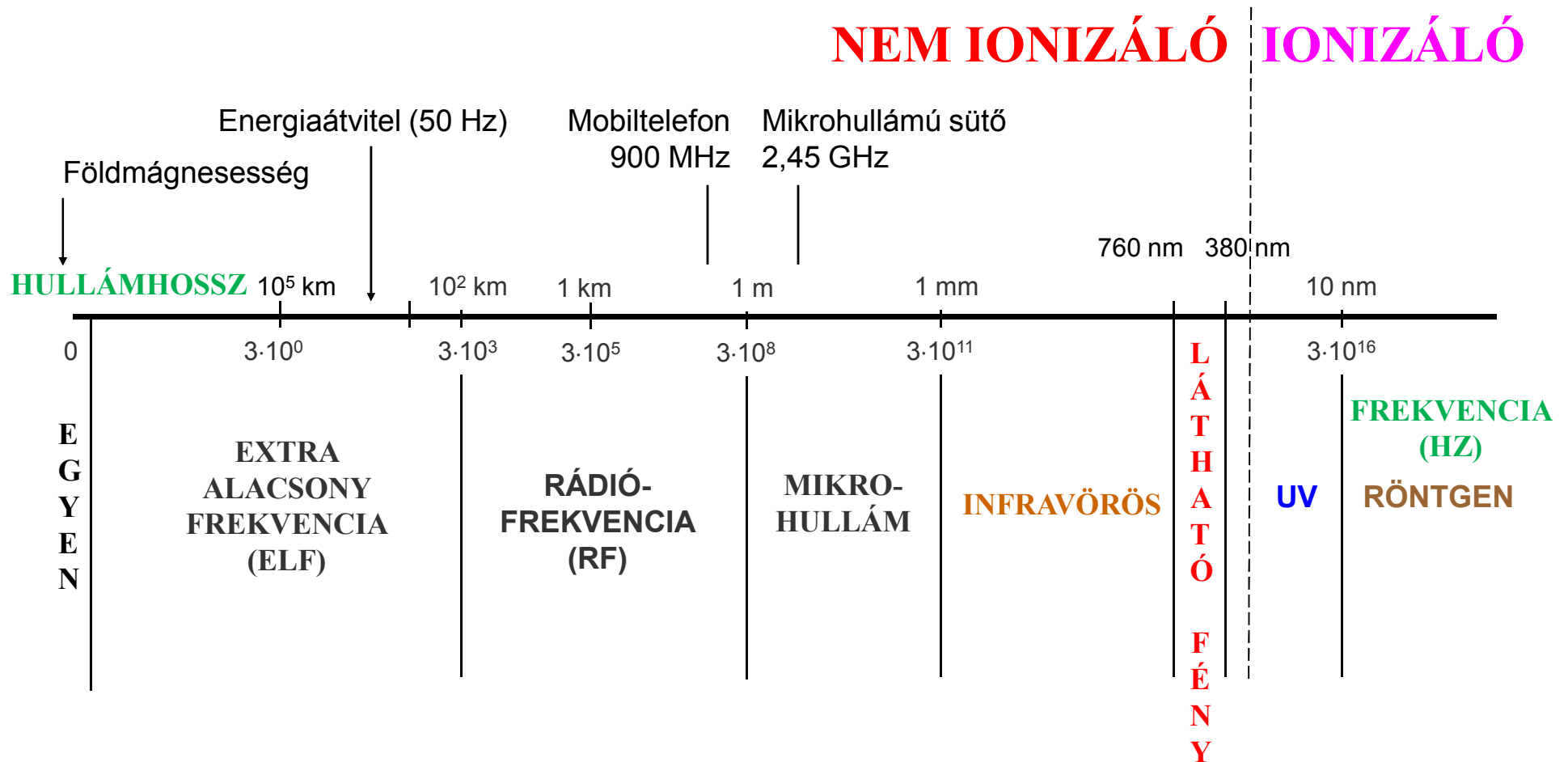
Készülék	Villamos térerősség (V/m)	Mágneses fluxussűrűség ( $\mu\text{T}$ )
Tűzhely	8	500-1000
Vasaló	120	10-100
Hajszárító	80	1000-2500
Porszívó	50	10-1000
Asztali lámpa	5	500-1000
Színes TV	60	100-500
Sztereórádió	180	
Fűtőpárna	500	
Bojler	260	
Kávéfőző	60	
Mosógép		10-100
Borotva		500-1000
Fúrógép		100-500

# A KISFREKVENCIÁS MÁGNESES ERŐTEREK JELLEMZŐ ÉRTÉKEI

- távvezeték alatt (fejmagasságban) 3,5  $\mu\text{T}$
- vasúti vontatásnál (a peronon) 35  $\mu\text{T}$
- transzformátor (felett 1m-rel) 1 - 90  $\mu\text{T}$
- háztartási gépeknél (1cm-re) 10 - 2500  $\mu\text{T}$

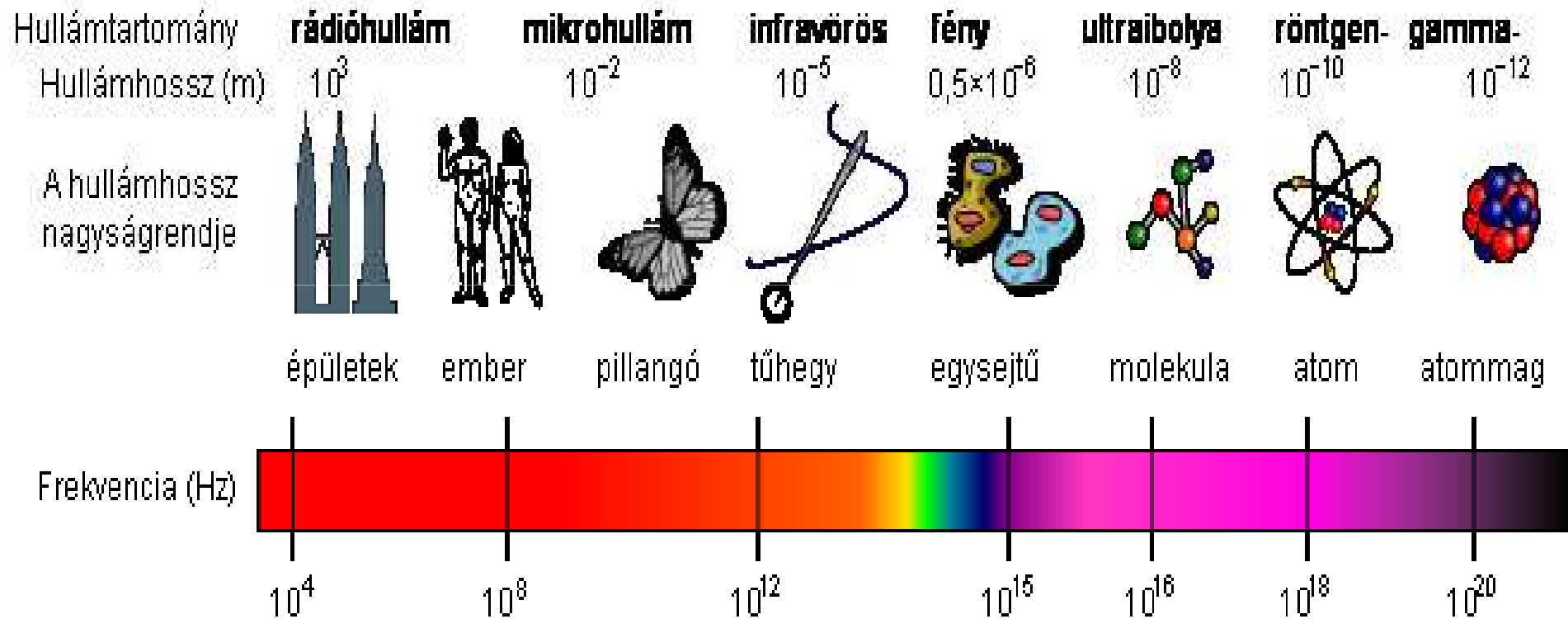
Emeljük a frekvenciát...

# ELEKTROMÁGNESES SUGÁRZÁSOK FREKVENCIATARTOMÁNYA (ELEKTROMÁGNESES SPEKTRUM)

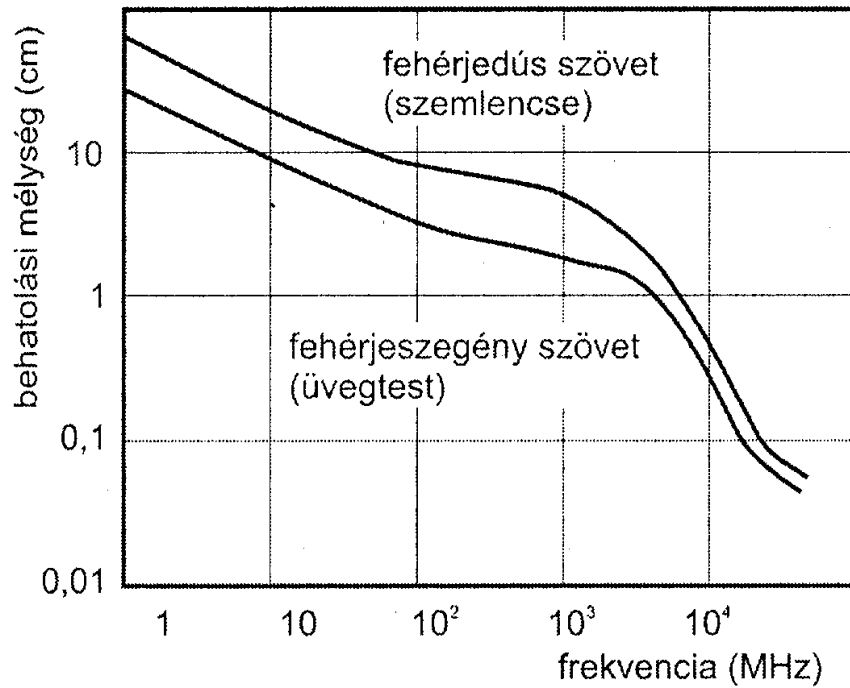




# Az elektromágneses spektrum

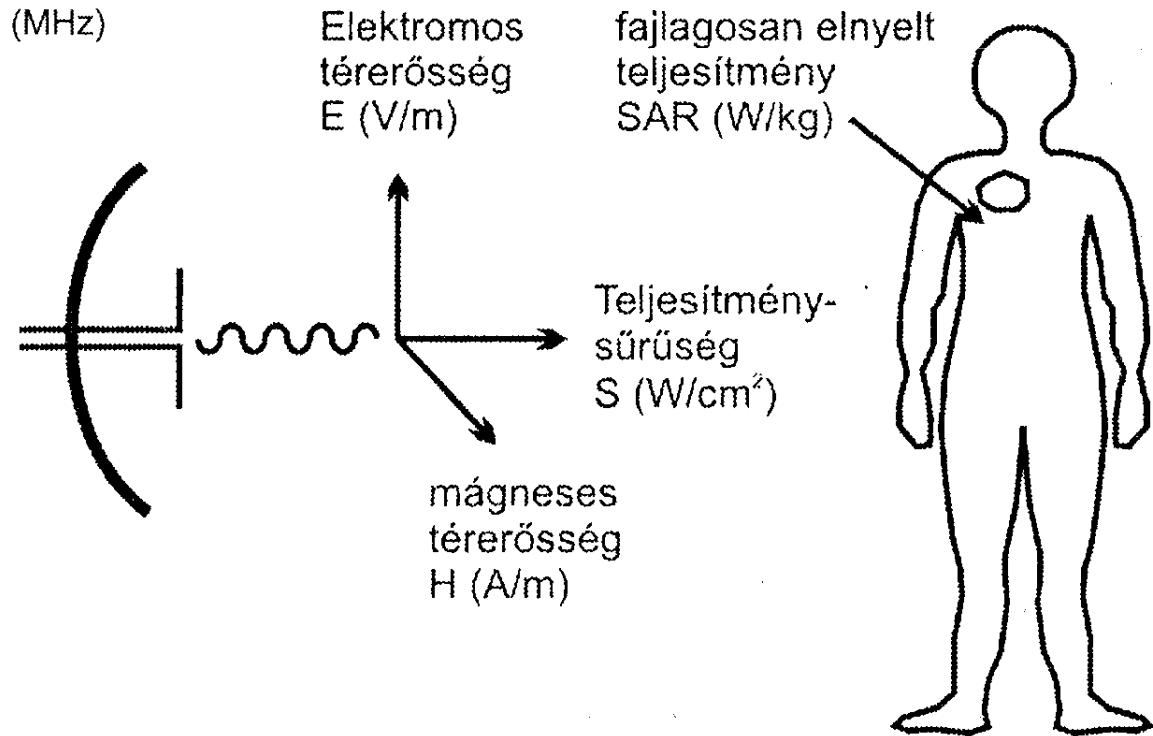


Source Szücs László



Kis frekvencián a villamos és a mágneses erőtér elkülönítve vizsgálható.

Nagyfrekvencián más a helyzet...



# Az EMMI rendeletről

**2.1. táblázat:** Egészségügyi határértékek a 100 kHz és 6 GHz közötti elektromágneses tereknek való expozíció esetében

A	B
<b>Egészségügyi határértékek</b>	<b>6 perces időtartamra átlagolt SAR értékek</b>
1. egésztest-átlagos SAR-ként kifejezett expozíciós határértékek a test egészében keletkező termikus stresszhez kapcsolódóan	0,4 Wkg <sup>-1</sup>
2. helyi SAR-ként kifejezett expozíciós határértékek a fejben és a törzsben keletkező helyi termikus stresszhez kapcsolódóan	10 Wkg <sup>-1</sup>
3. a végtagokra vonatkozó helyi SAR-ként kifejezett expozíciós határértékek a végtagokban keletkező helyi termikus stresszhez kapcsolódóan	20 Wkg <sup>-1</sup>

**2.3. táblázat:** Egészségügyi határértékek a 6 GHz és 300 GHz közötti elektromágneses terek expozíciója esetében

A	B
<b>Frekvenciatartomány</b>	<b>A teljesítménysűrűsége vonatkozó egészségügyi határértékek</b>
1. 6 GHz ≤ f ≤ 300 GHz	50 Wm <sup>-2</sup>

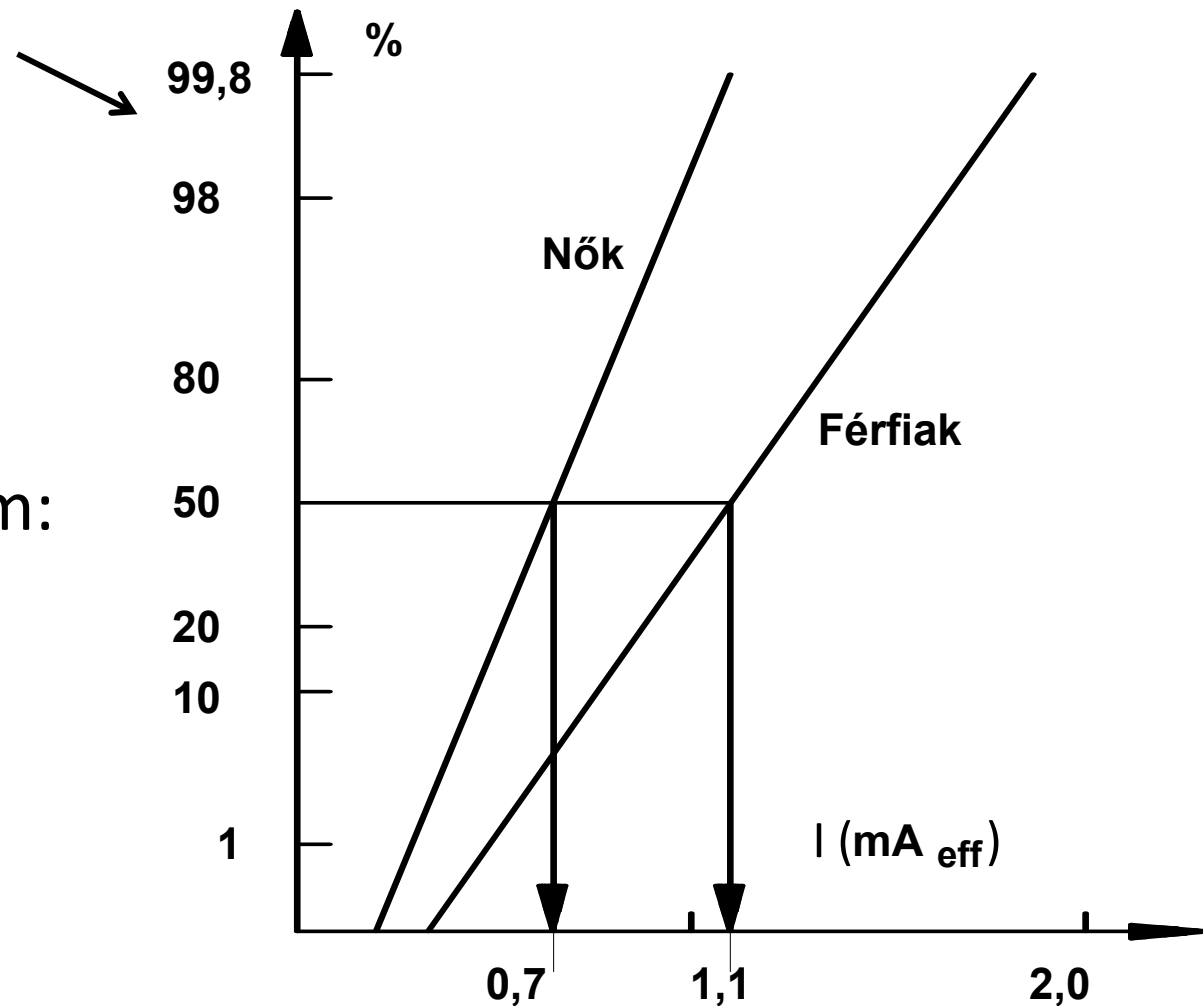
# Ember az áramkörben

- Eddig: erőterek hatásai
  - Villamos, mágneses, elektromágneses
  - Eltolási áram, örvényáram, fajlagos elnyelt teljesítmény hatása
  - Korlátozás: az erőtér intenzitásának előírt érték alá csökkentésével
    - Árnyékolás, távolság növelése, ellengerjesztés
- Következik: ember, mint az áramút része
  - Kisfrekvencia, villám, elektrosztatikus kisülés esetén

# Érzetküszöb

(Adott áram esetén az emberek ekkora százalékánál jelentkezik rázásérzet.)

- $f=50$  Hz

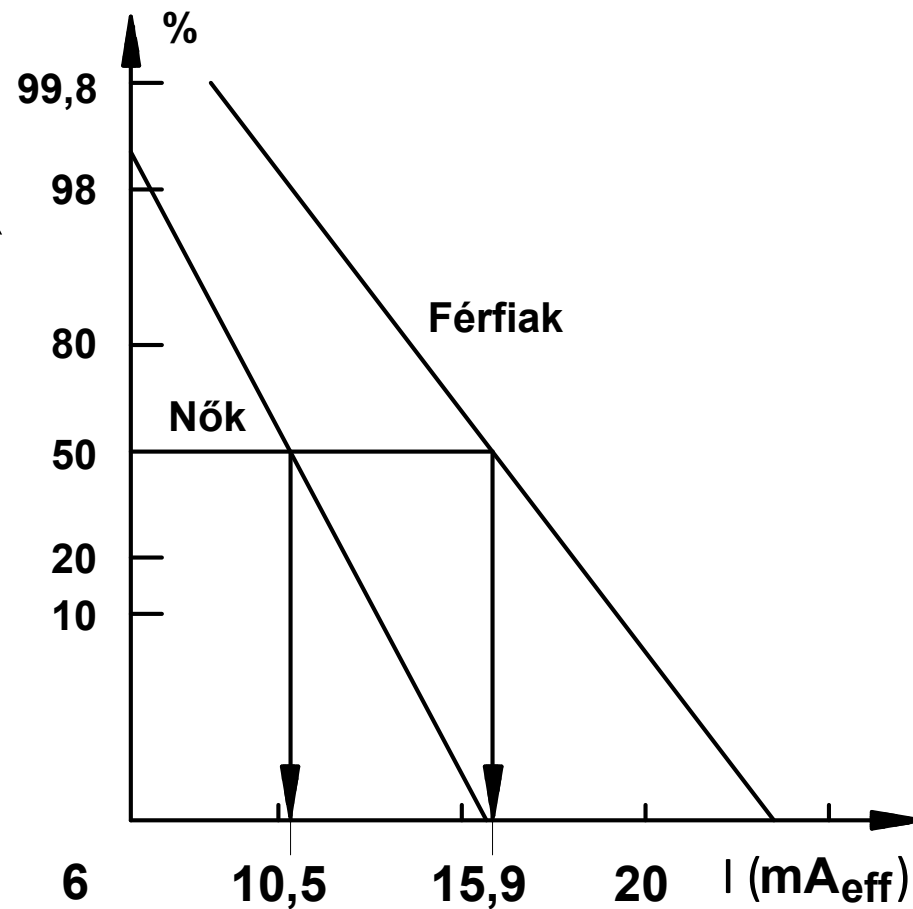


- Egyenáram:  
50 %-os  
érték  
férfiaknál:  
5,0 mA

# Elengedési áram

(Adott áram esetén az emberek ekkora százaléka tudja elengedni a megfogott, feszültség alatt álló elektródot.)

- $f=50$  Hz
- egyenáram:  
50 %-os érték  
férfiaknál:  
74 mA

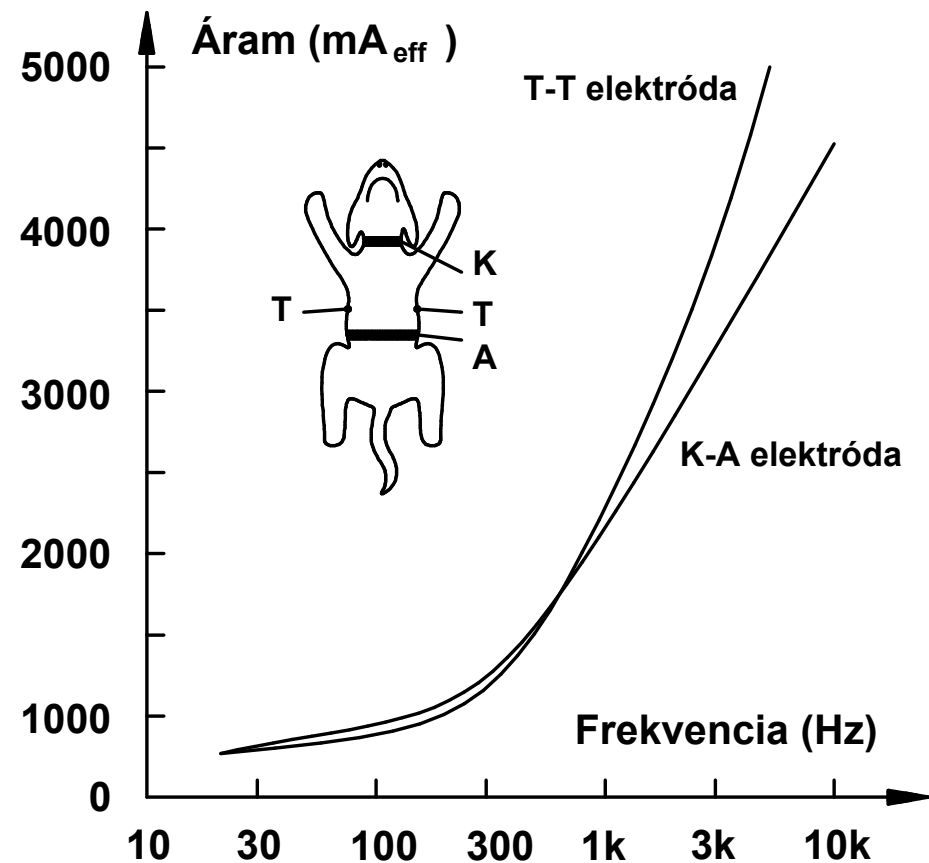


# Kamrai fibrilláció

- ***Szívkamraremegés (kamrai fibrilláció)***

*Kialakulása több tényezőtől függ*

- áram iránya (útvonala)
- áramütést szenvedő állapota
- frekvencia
- behatási idő
- Testtömeg
- Stb.



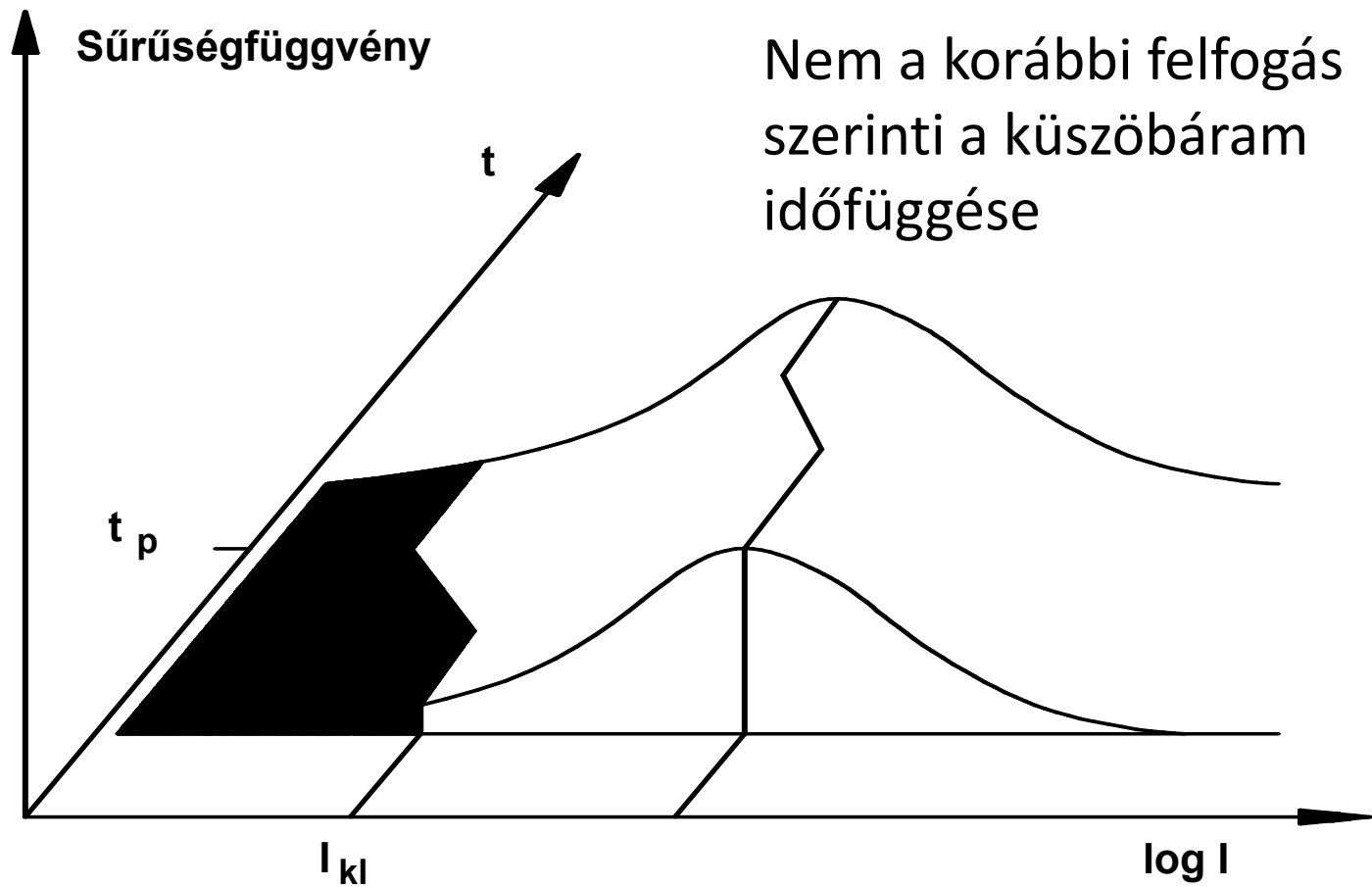
# Kamrai fibrilláció

- **Behatás ideje**
- Korábbi felfogás: a test által felvett energia értékét kell korlátozni.
- Az esetek 0,5%-ában kamrai fibrillációhoz vezet  $0,0156 \text{ A}^2 \cdot \text{s}$  dózis, ha  $0,03 < t < 3,0 \text{ s}$ 
  - Tehát pl. a 3s-hoz tartozó küszöbáram:  
 $I = (0,0165/3)^{0,5} = 75 \text{ mA}$



# Kamrai fibrilláció

- Újabb kutatások "Z"-görbe



# Kamrai fibrilláció

## **Referencia:**

**bal láb - bal kéz áramút**

## **rizikófaktorok:**

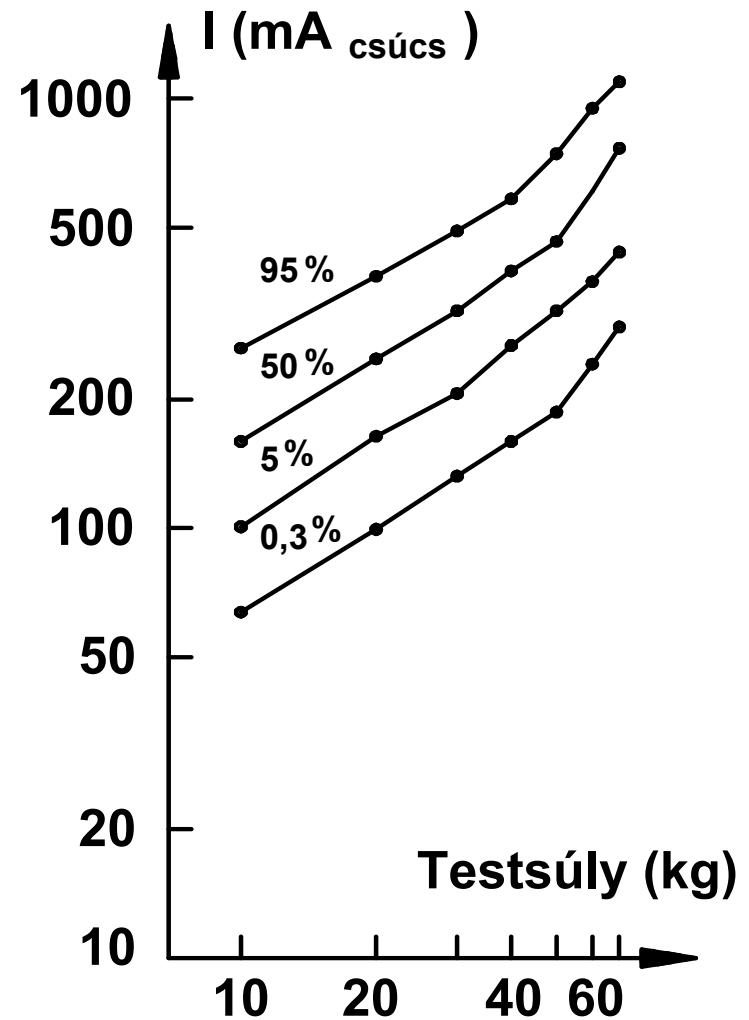
- **mell - hát.....1,73**
- **mell - bal kéz.....1,68**
- **jobb kéz - bal láb...1,36**
- **bal kéz - lábak.....1,07**
- **bal kéz - jobb kéz...0,46.**

Referencia-útvonalhoz tartozó értékek a diagramon, ezeket kell az adott áramúthoz tartozó rizikófaktorral osztani, hogy az arra érvényes görbét megkapjuk.

Tehát például:

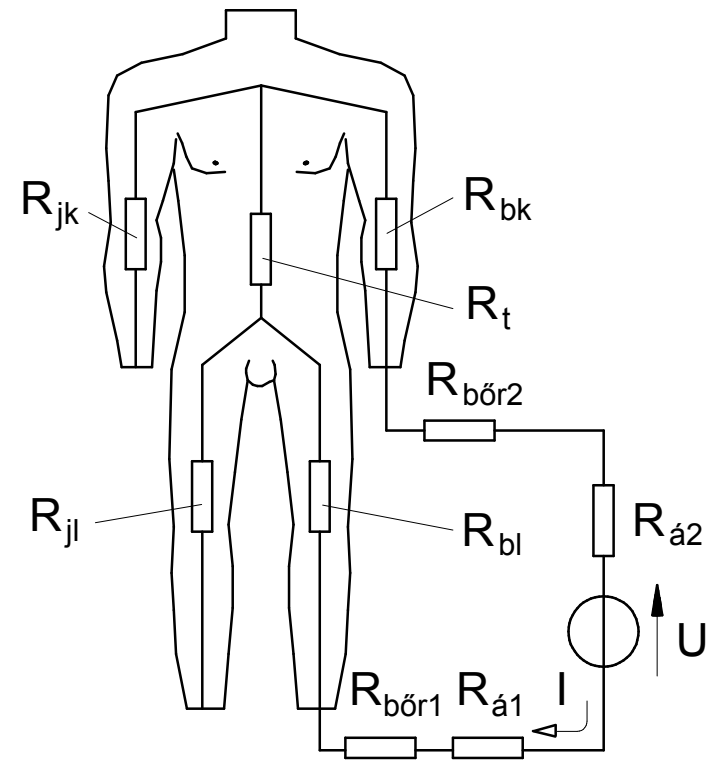
27 kg, 0,3 %, 87 mA,

a legrosszabb rizikófaktorral  $87 \text{ mA} / 1,73 = 50 \text{ mA}$

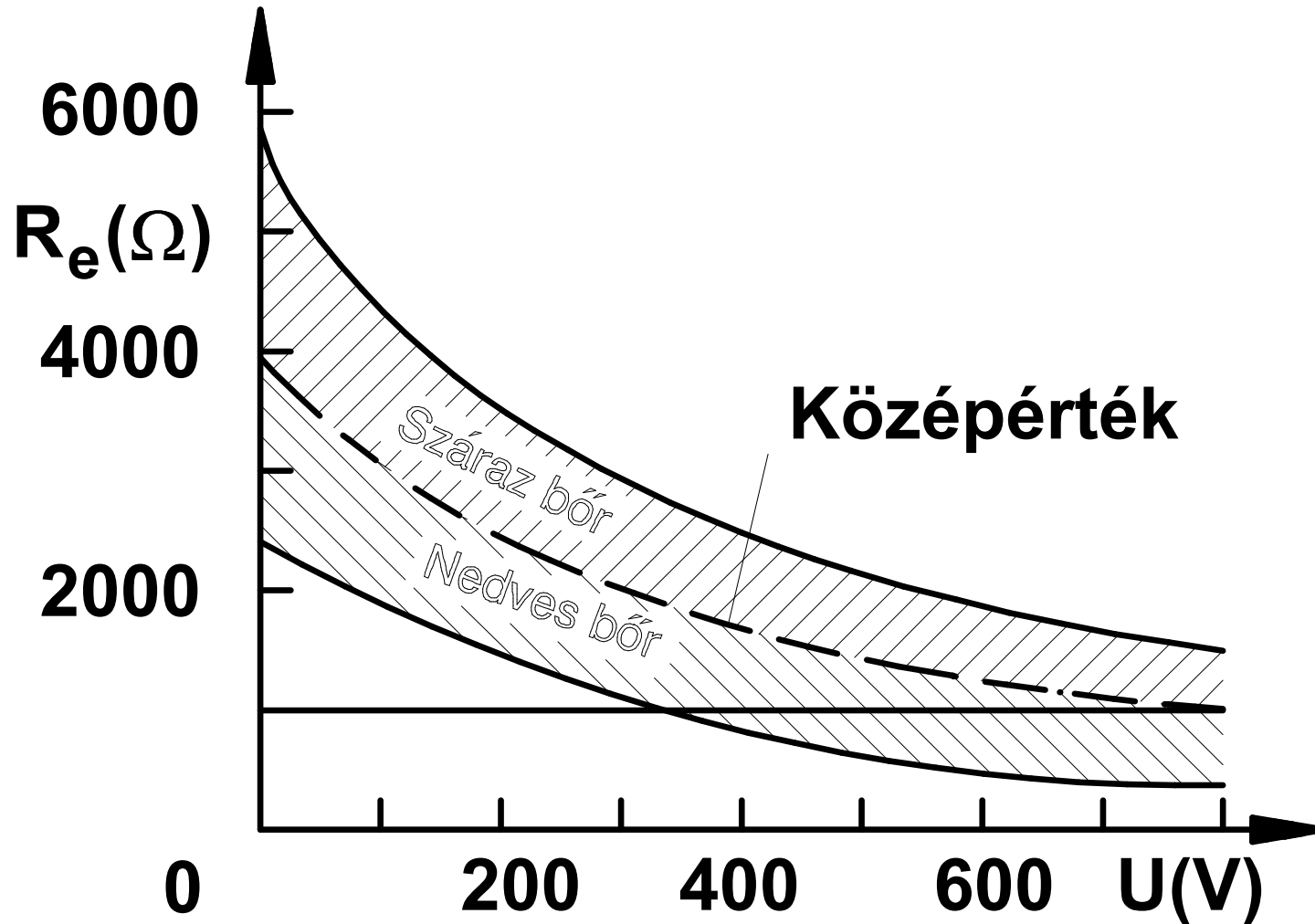


# Mekkora áram halad keresztül az emberi testen?

- $I = U_e / R_e$
- **Átmeneti ellenállás: cipő, kesztyű**
  - Nem mindig van
  - ha van, bizonytalan, eltekintünk tőle
- $R_e = R_{\text{belső}} + R_{\text{bőr1}} + R_{\text{bőr2}}$
- $R_{\text{belső}} = R_{\text{bl}} + R_{\text{t}} + R_{\text{bk}}$



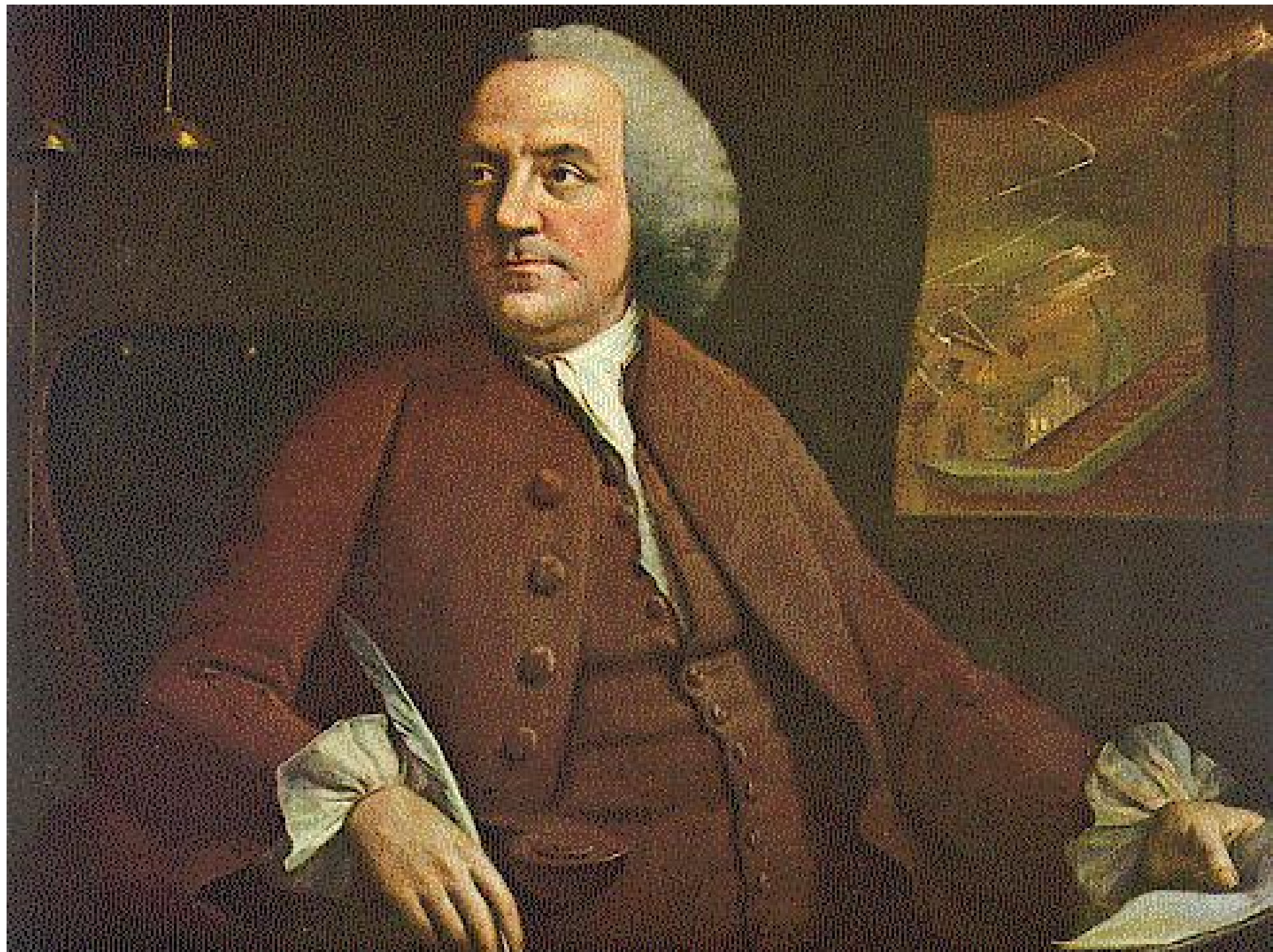
# Az emberi test ellenállása



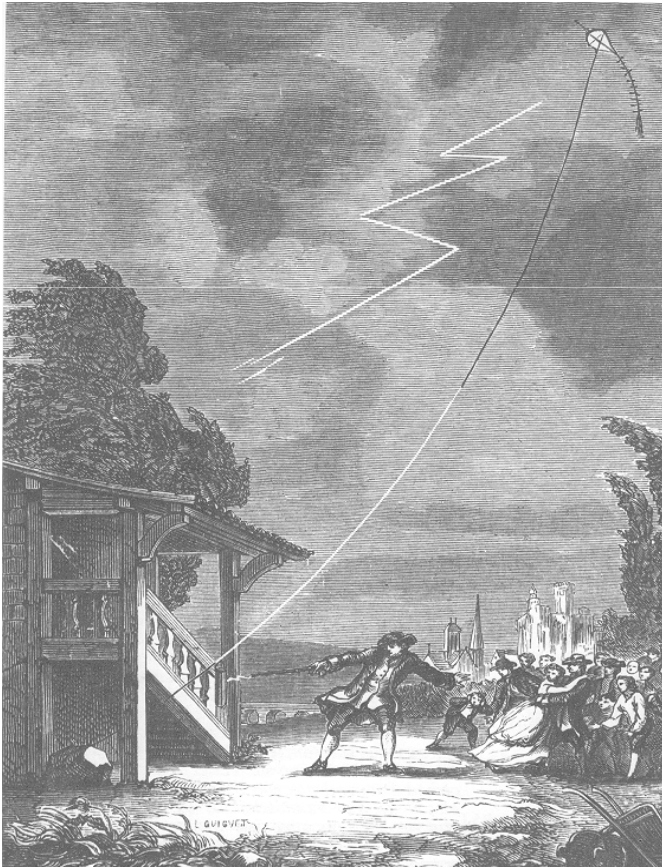
# Kamrai fibrilláció

- 27 kg, 0,3 %, 87 mA, legrosszabb rizikófaktorral  
 $87 \text{ mA} / 1,73 = 50 \text{ mA}$ ,  $R_e = 1 \text{ k}\Omega \rightarrow \mathbf{50 \text{ V}}$
- $\mathbf{U_L = 50 \text{ V}} \quad \mathbf{f \leq 100 \text{ Hz}}$
- $\mathbf{U_L = 120 \text{ V}} \quad \mathbf{f = 0 \text{ Hz}}$
- Cél: a limitfeszültségnél nagyobb érintési feszültség tartósan ( $t_p$ -nél nagyobb ideig) ne állhasson fenn
  - Az érintési feszültség  $U_L$  alatt legyen
  - v. az  $U > U_L$  csak  $t < t_p$  ideig

Ember a villámáram útjában



# Nem, nem, ő nem került a villámáram útjába...



Inkább levezetési utat biztosított neki.  
Bár először (tévesen) azt gondolta, a  
Koronakisüléssel közömbösíthető a felhő  
töltése...

A kísérlet során a felhő tértöltése hozott  
létre villamos megosztást a nedves kötélén,  
ez eredményezte a szikrát.

Villám nem csapott bele a papírsárkányba.



De nem mindenki  
volt ilyen  
szerencsés...



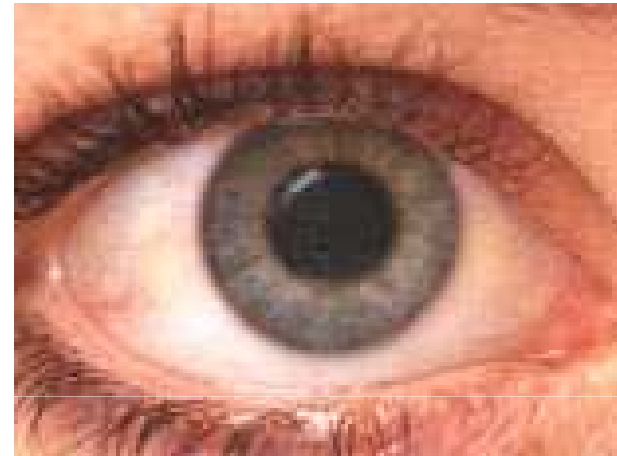
# Villámcsapás I.

- Bőr és támasztószövetek károsodása
  - Villámrajzolat
  - Égési sérülések
  - Kontrakcióból eredő sérülések nincsenek



# Villámcsapás II.

- Érzékszervek
  - Szem
    - Kötőhártya gyulladás
    - Szemhéj duzzanat
    - Szaruhártya-gyulladás
    - Szivárványhártya-gyulladás
    - Szürkehályog



Gyors áramimpulzus – skin hatás

Fő probléma: idegrendszerre gyakorolt hatás

- légzésbénulás
- fibrilláció

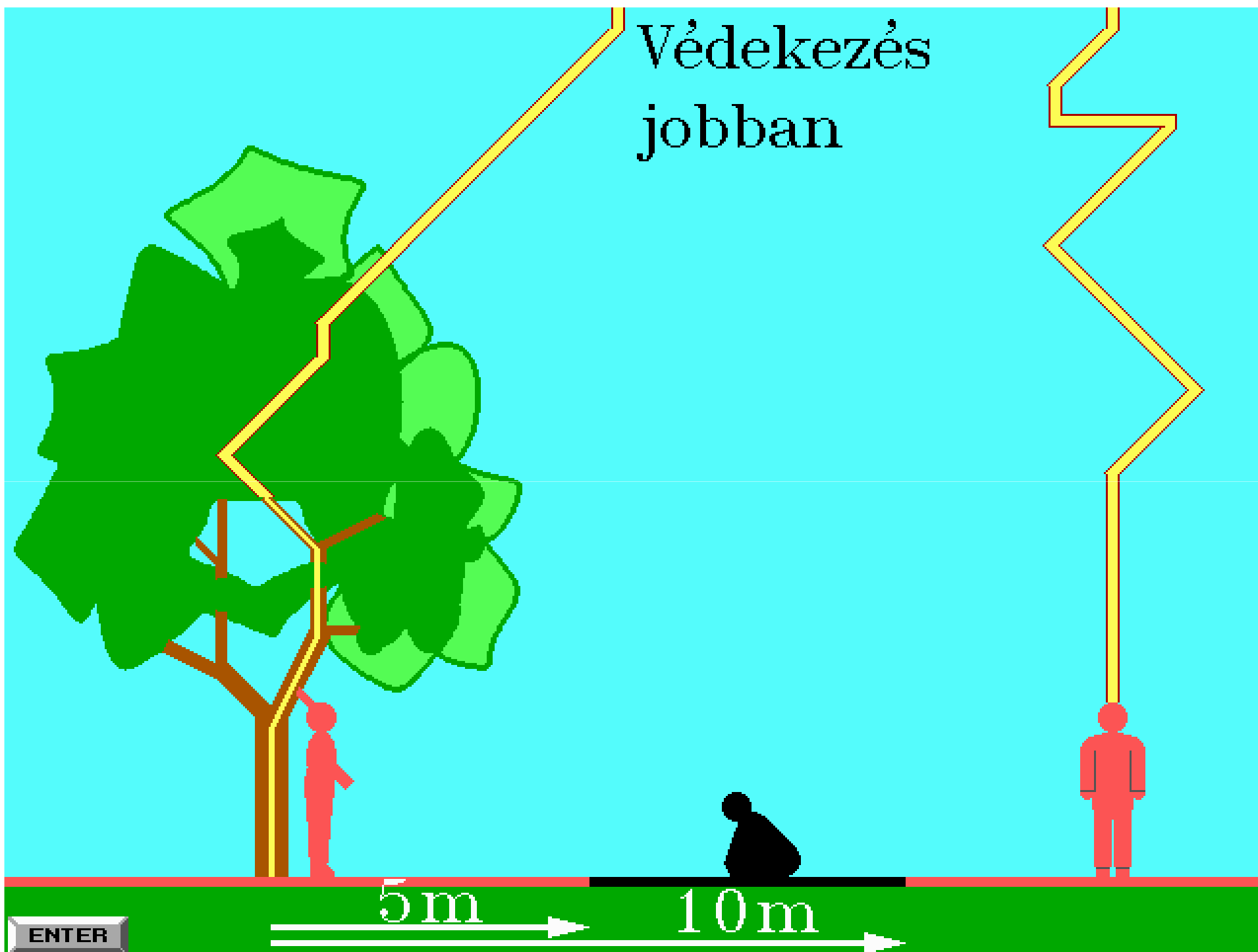
Az emberek 10%-a túléli a közvetlen villámcsapást.

Azonnali orvosi segítséggel ez az arány növelhető.

De azért ne kockáztassunk, hogy benne vagyunk-e

A 10%-ban...

Védekezés  
jobban

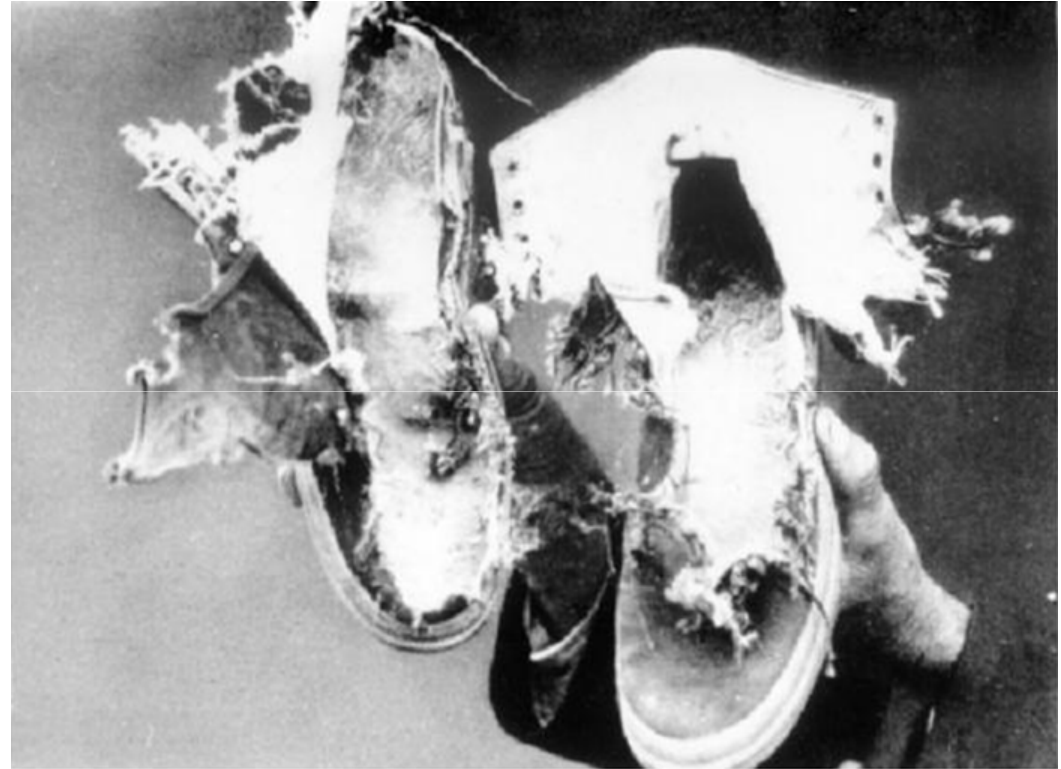


ENTER

5 m

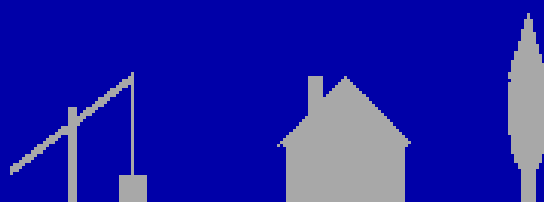
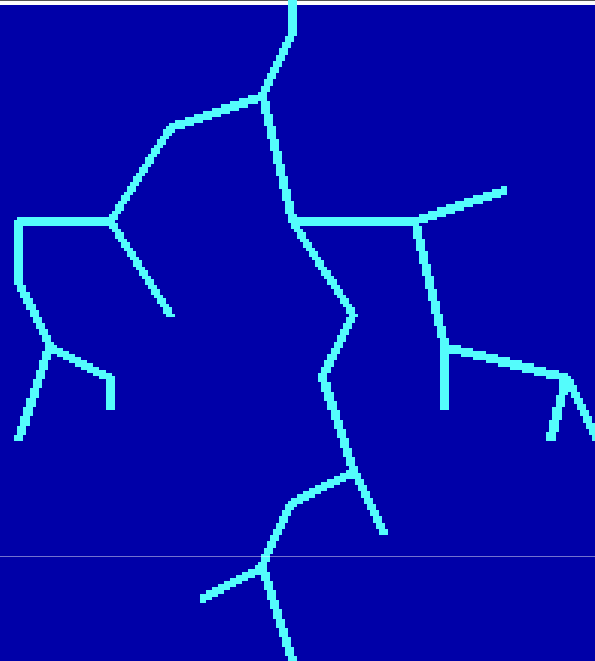
10 m

Van, aki szerint a szigetelő cipő, sapka megvéd a villámcsapás ellen...

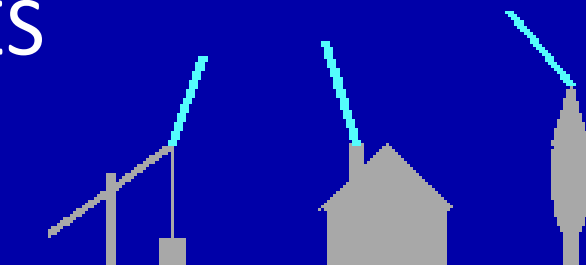


**Tényleg ?!**

ELŐKISÜLÉS



ELLENKISÜLÉS





FŐKISÜLÉS









**Nem igazán ajánlott !**





**VESZÉLYES AZ USA-BAN  
GOLFOZNI!**

**ÉVENTE 400 EMBER HAL MEG  
VILLÁMCSAPÁSOK MIATT  
GOLFOZÁS KÖZBEN**

# ÚJ TERÜLET

## A PREVENTÍV VILLÁMVÉDELEM

a Budapesti Villámvédelmi Iskola tudományos és gyakorlati eredménye

**Világszerte működő automatikus riasztási rendszerek:**

- **villámcsapásokat lokalizáló és detektáló rendszerek**
- **radar rendszerek**

**Automatikus rendszerek a villámcsapások káros hatásainak megelőzésére**

# **PREVENTÍV VILLÁMVÉDELEM (PLP)**

**A preventív villámvédelem során a villámcsapások káros hatásait speciális megelőző akciók révén akadályozzuk meg.**

**A preventív villámvédelem célja, hogy úgy csökkentsük a károk kockázatát, hogy a megelőző intézkedéseket csak a zivatar idején alkalmazzuk.**

**A megelőző intézkedéseket csupán a veszély megjelenésekor indítjuk el, és annak elmúlásával leállítjuk.**



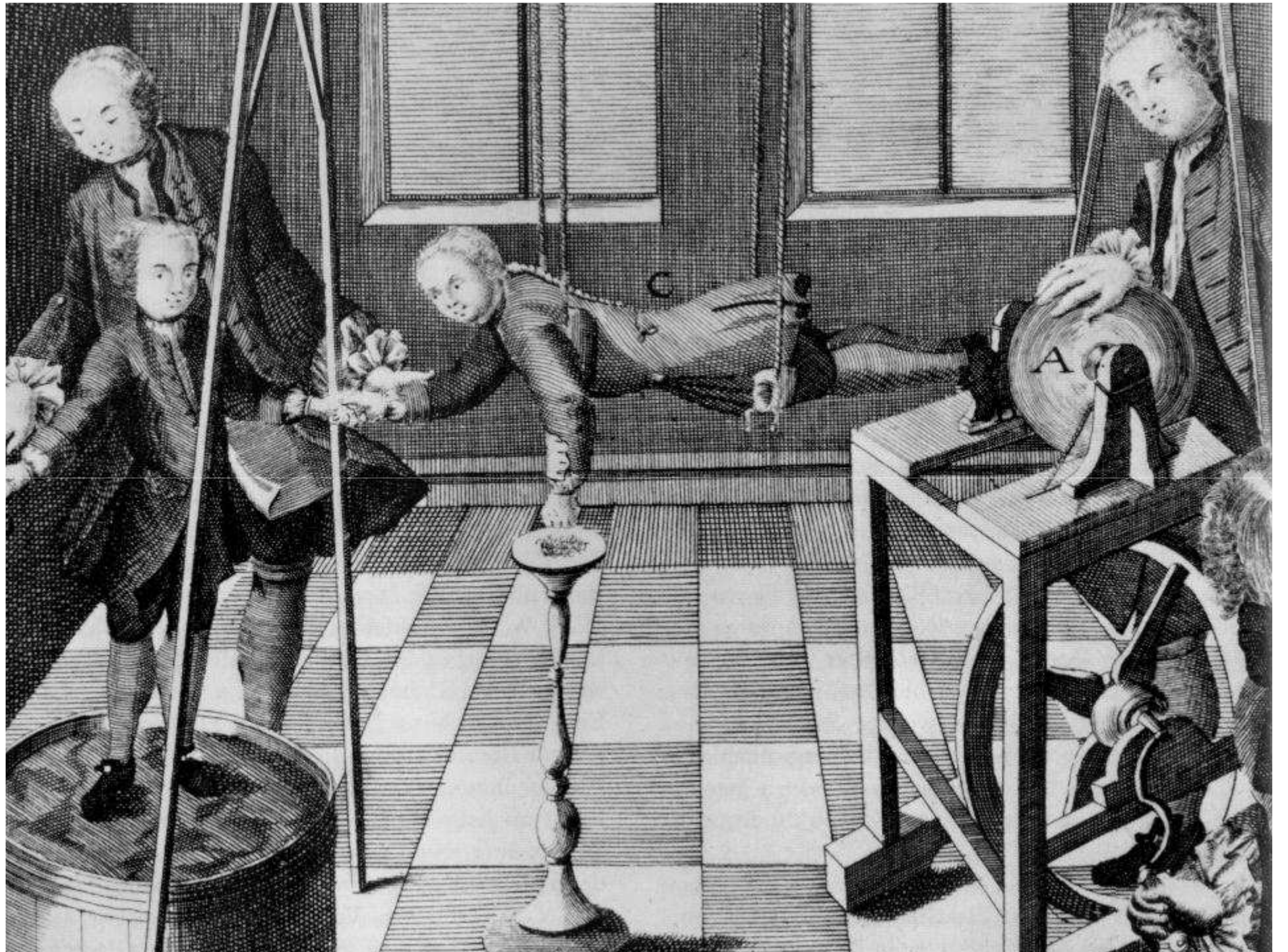
# Az elektrosztatikus kisülés élettani hatásai



Otto von  
GUERICKE



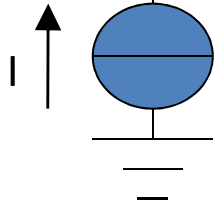
William GILBERT



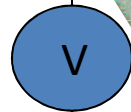




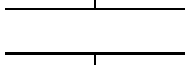
# Mekkora potenciálra töltődhetünk?



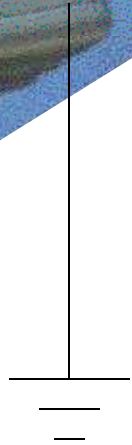
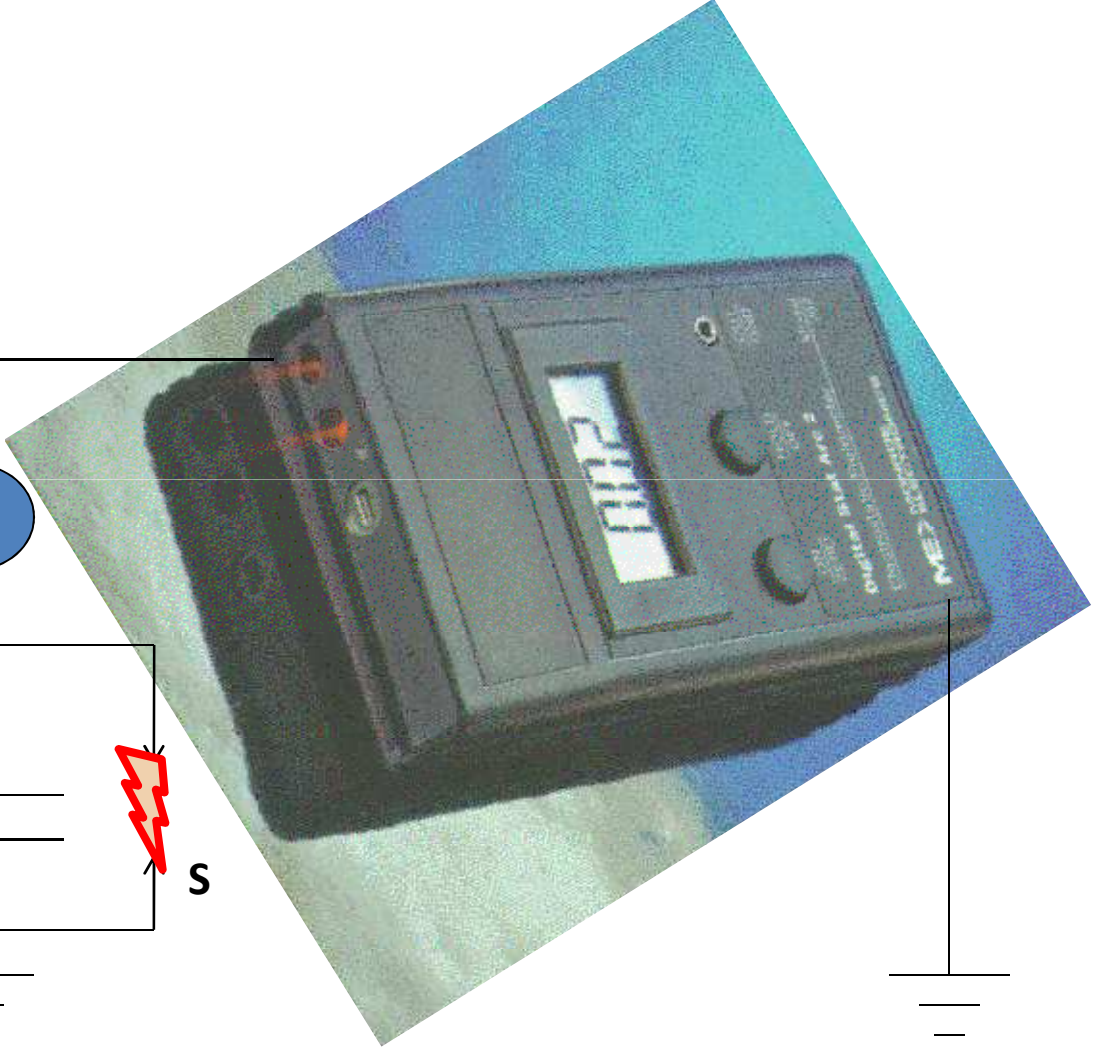
R



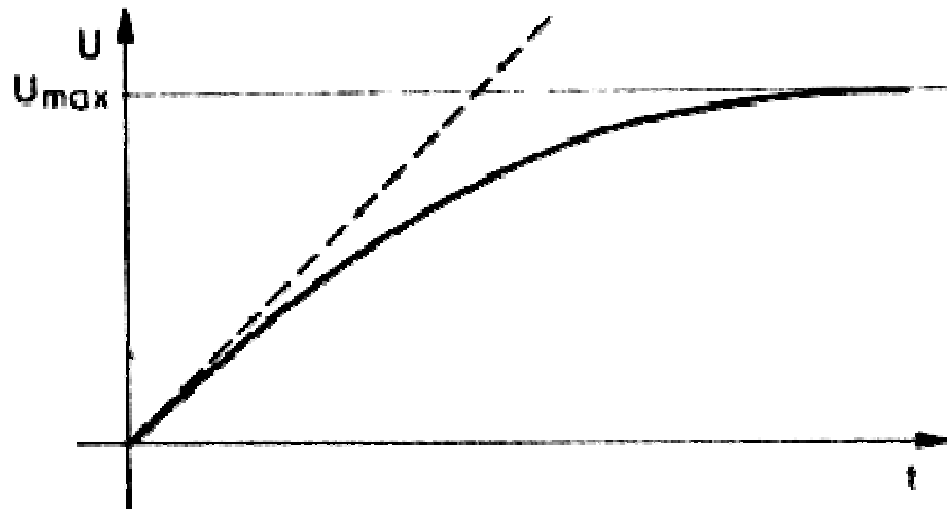
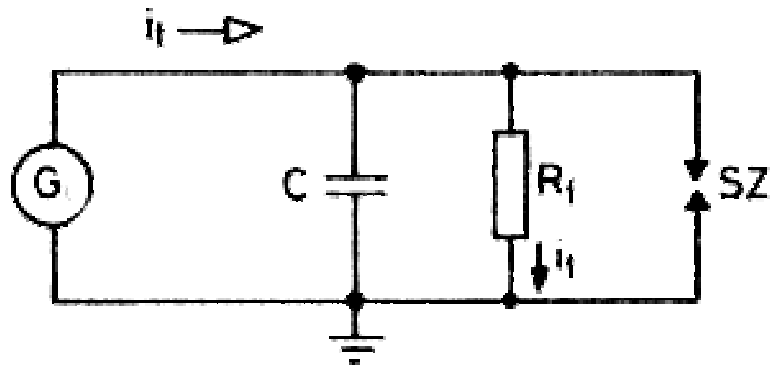
C



S



U<sub>max</sub> akár 10-20 kV is lehet!



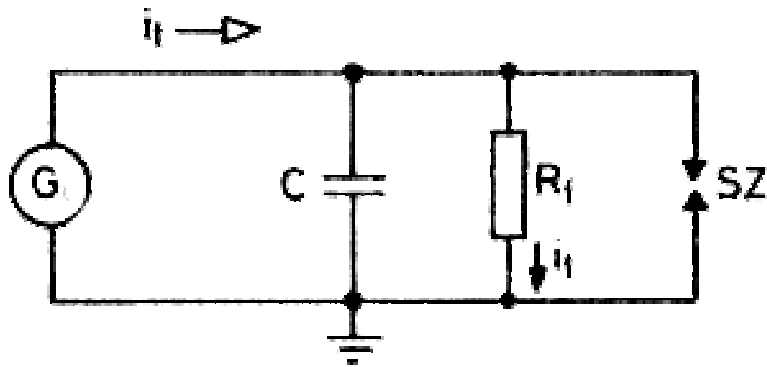
$$i_t = \frac{dQ}{dt}; \text{ legfeljebb } 10^{-4} \text{ A}$$

$$i_f = \frac{U}{R_f}$$

$$U_{\max} = i_t R_f$$

$$Q_{\max} = i_t R_f C$$

A kisülés áramának csúcsértéke akár több 10 A lehet. De – nagyon rövid ideig tart, Az áramimpulzus homlokideje ns körüli. – a teljesítmény nagy, az energia nem.



$$W = \frac{1}{2} QU = \frac{1}{2} CU^2$$

$$U_{\max} = i_t R_f$$

$$W_{\max} = \frac{1}{2} i_t^2 CR_f^2$$

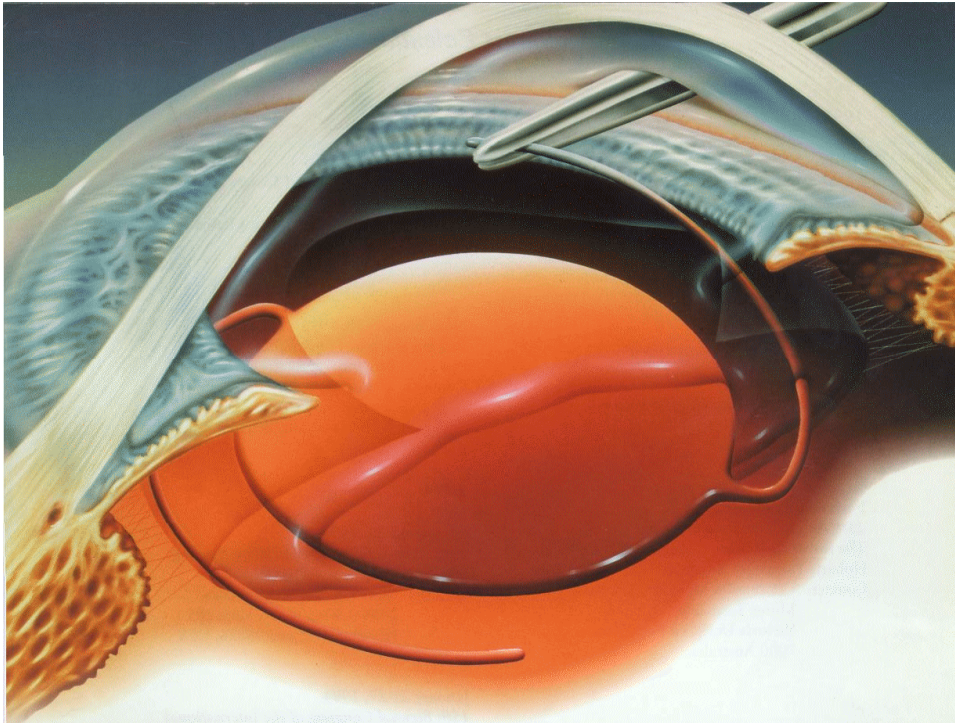
$$R_f = \frac{1}{i_t} \sqrt{\frac{2W_{\max}}{C}}$$

Ha nem én sülök ki, hanem felhalmozott töltést sütök ki,  
nagyobb energiájú kisülés is kialakulhat.

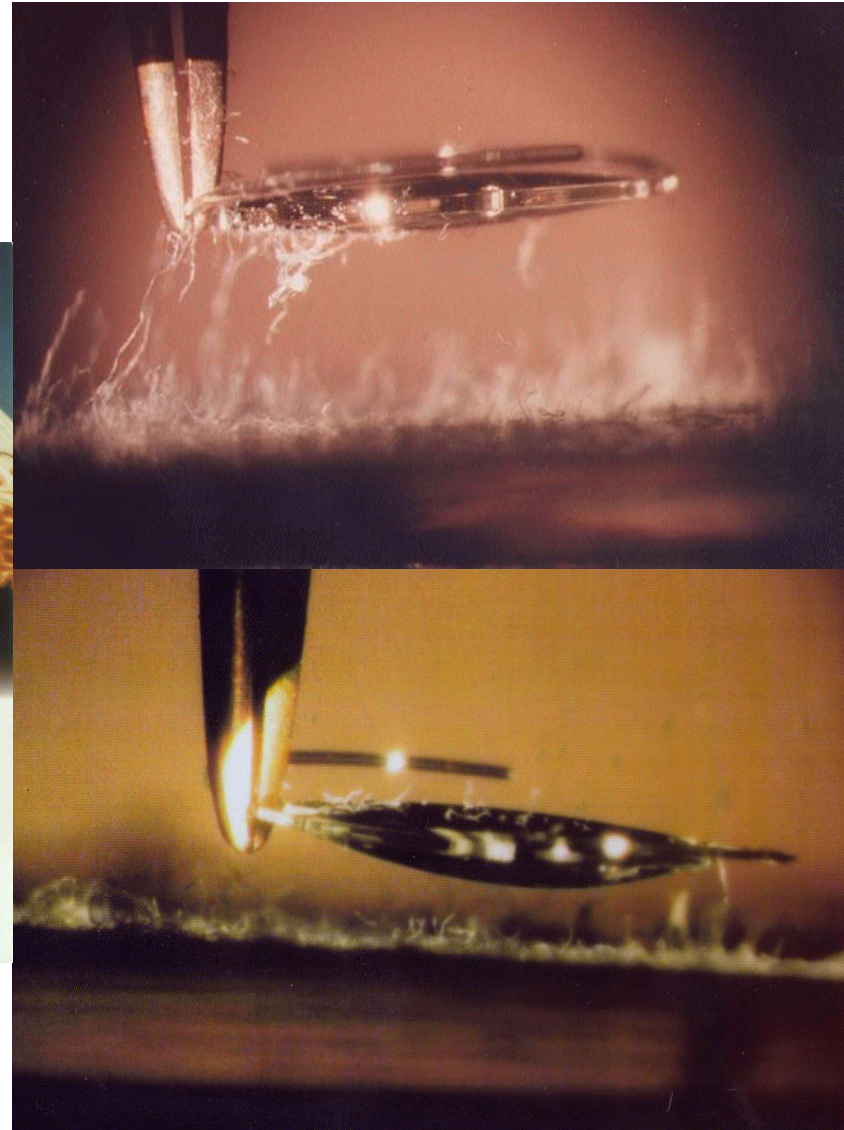
Kisülés energiája	Emberi testre gyakorolt hatás
$W_{ki} < 10^{-3} \text{ J}$	Nem érzékelhető
$10^{-3} \text{ J} < W_{ki} < 0,05 \text{ J}$	Szűrő érzés
$0,05 \text{ J} < W_{ki} < 1 \text{ J}$	Ütő érzés
$1 \text{ J} < W_{ki} < 10 \text{ J}$	Égető érzés
$10 \text{ J} < W_{ki} < 50$	Izomgörcs
$50 \text{ J} < W_{ki}$	Halál



# Elektrosztatikai sterilitás



Műanyag  
implantátumok  
töltésmentesítése

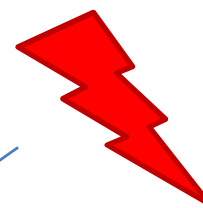


# Összefoglalás: Biológiai hatások

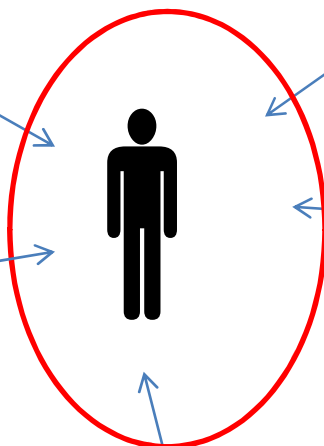
Effects of  
Electro-  
magnetic  
Fields



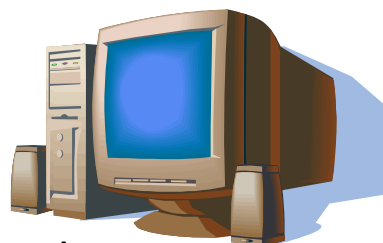
Effects of  
Lightning Current,  
Lightning EM Field



Electrostatic  
discharge



Effects of  
Electric Shock



Effects of Low Frequency  
Electric and Magnetic fields;  
Power Systems



Mintha valahonnan  
ismerős lenne ez a  
felosztás...

Megvan! Alaplabor...

# EMC

**RFI:**  
Radio-Frequency  
Interference



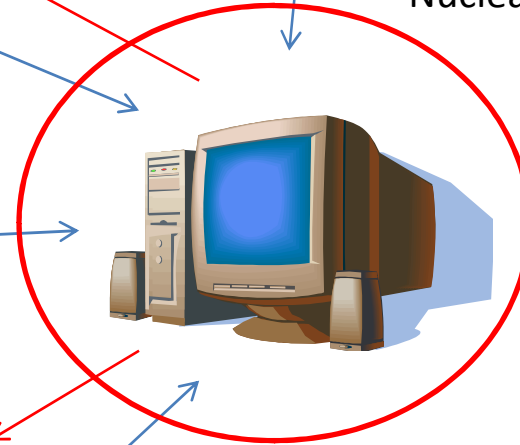
**ESD:**  
Electrostatic  
Discharge/  
Damage



**LFI:**  
Low Frequency  
Interference



**EMP:**  
Electromagnetic Pulses  
**LEMP:**  
Lightning EMP  
**NEMP:**  
Nuclear EMP



3. méré

# ELEKTROMÁGNESES KOMPATIBILITÁS (EMC)

„Egy adott készüléknek az a képessége, hogy az elektromágneses környezetében megfelelően tud üzemelni **(immunitása = zavarálló-képessége elegendően nagy)** anélkül, hogy elviselhetetlen zavarokat okozna más eszközökben **(emissziója = zavarkibocsátása kellően kicsi).**”



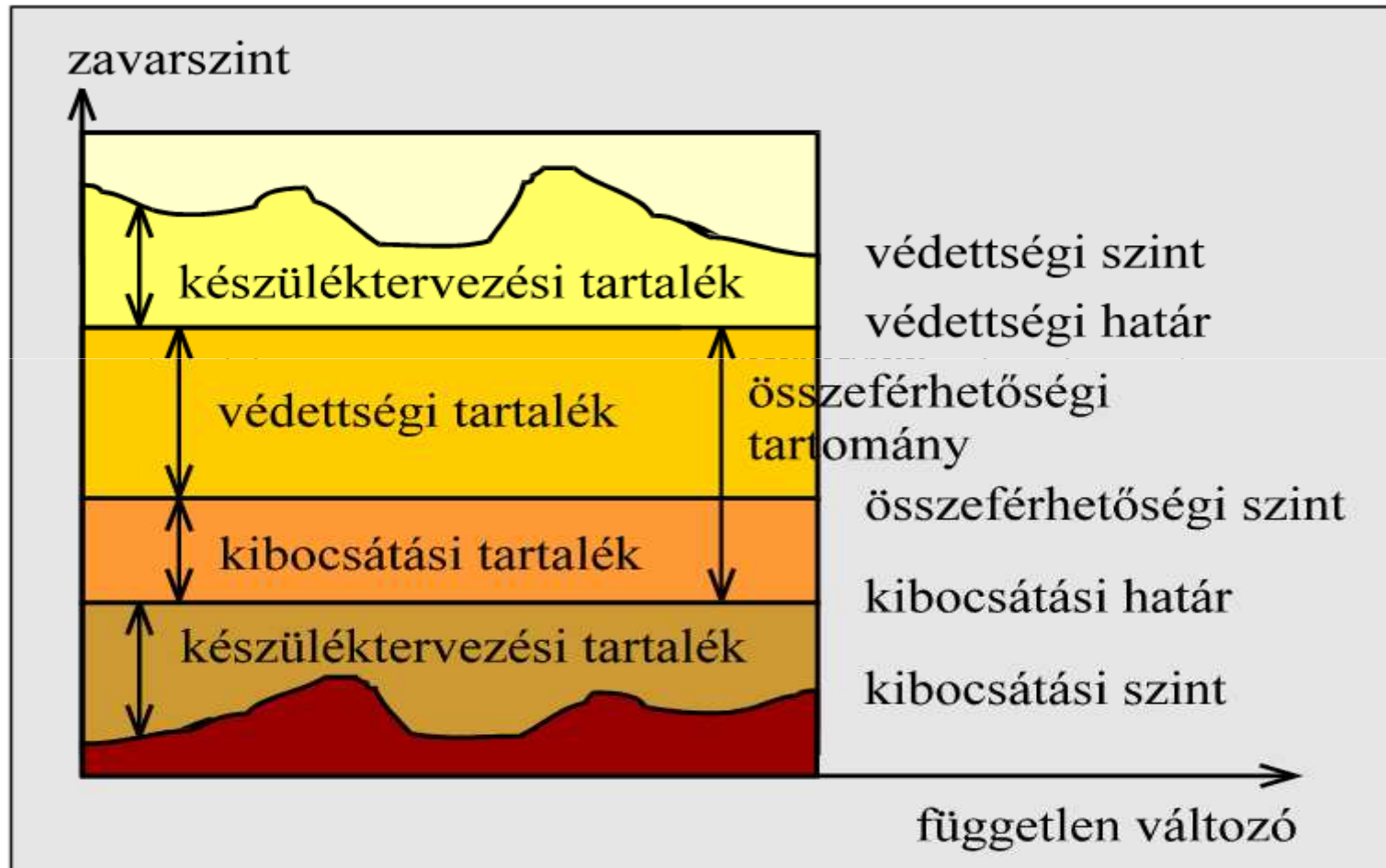


# Elektromágneses Kompatibilitás (EMC)

**„A szomszédomnak  
új pacemakerre van.  
Valahányszor szeretkezik a  
feleségével, mindig kinyílik a  
mi garázsajtónk!”**

**Bob Hope**

# Összeférhetőségi szintek



Ahol nagyfeszültség és nagyáram is van – de nem egyszerre....

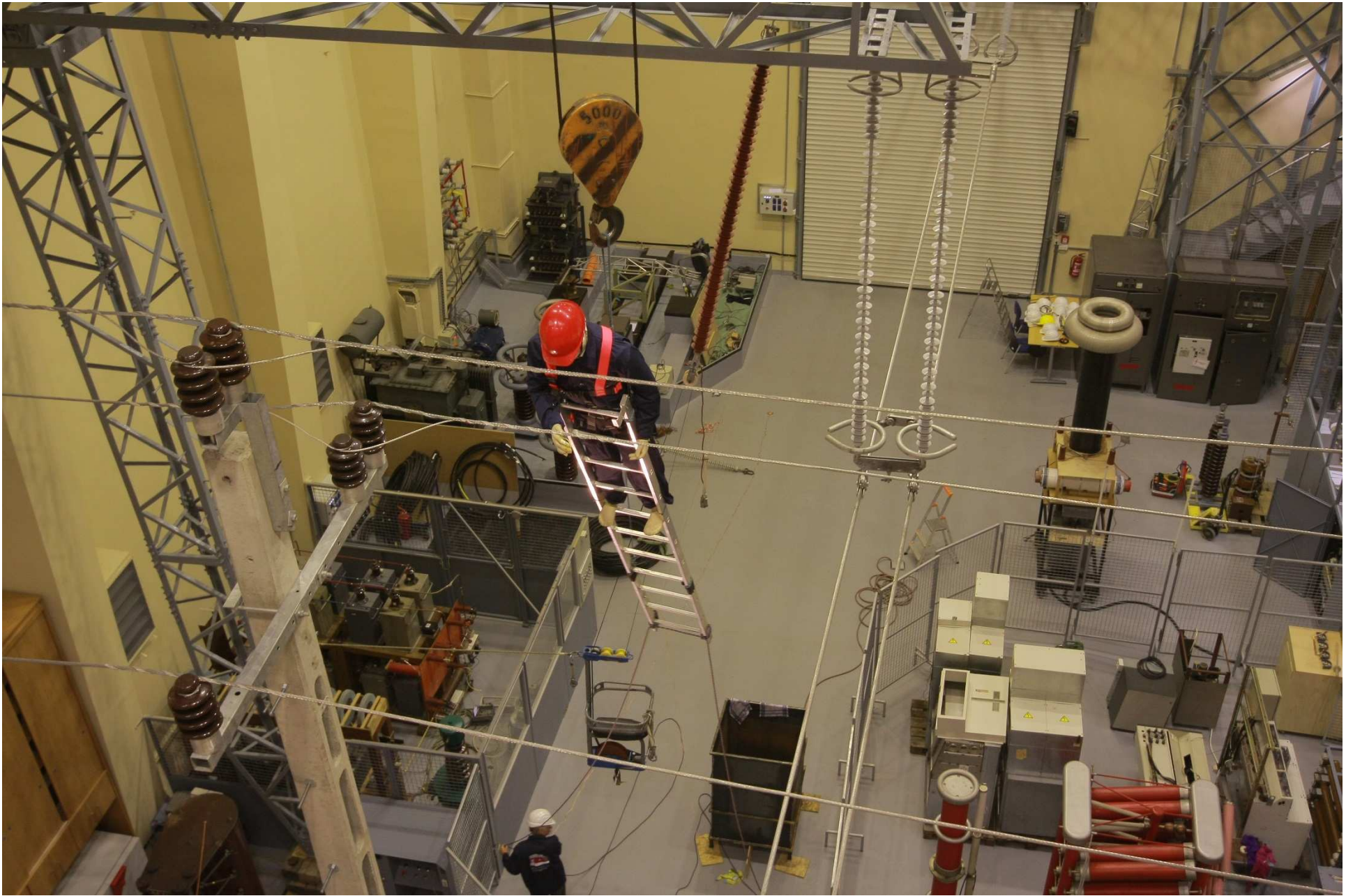
előtte



utána

**A Nagyfeszültségű Laboratórium felújítása a V1 épületben,  
2012**





2018. november 12.

[www.vet.bme.hu](http://www.vet.bme.hu)

88



Köszönöm a figyelmet!

# Ellenőrző kérdések

- Milyen természetes eredetű villamos és mágneses erőter található Földünkön? Mekkora ezek intenzitása?
- Hogyan kap folyamatos töltésutánpótlást az ionoszféra? Hogyan alakul ki a zárt áramkör?
- Milyen hatással van a kisfrekvenciás villamos erőter az emberi szervezetre? Milyen értékekkel jellemezhető?
- Milyen hatással van a kisfrekvenciás mágneses erőter az emberi szervezetre? Milyen értékekkel jellemezhető?

# Ellenőrző kérdések

- Milyen határértékek vannak érvényben a kismagfrekvenciás mágneses és villamos erőterek intenzitására?
- Mivel jellemezzük nagyfrekvenciás erőterek hatását? Milyen határértékek vannak érvényben erre vonatkozóan?
- Mi az érzetküszöb és az elengedési áram? Körülbelül milyen nagyságúak ezek 50 Hz esetén?

# Ellenőrző kérdések

- Milyen paraméterektől függ az emberi test ellenállása? Milyen értékkel vesszük figyelembe az áramütés elleni védelemben?
- Mi a kamrai fibrilláció és mitől függ a kialakulása?
- Milyen hatása lehet az emberi szervezetre a villámáramnak?
- Min alapszik a preventív villámvédelem és mire használható?

# Ellenőrző kérdések

- Milyen hatása lehet az emberi szervezetre az elektrosztatikus kisülésnek? Hogyan befolyásolható az emberi test feszültsége, töltése, a róla induló kisülés energiája?
- Mit értünk EMC alatt, melyek a fő területei?
- Hogyan jellemezhetők diagram segítségével az immunitási és emissziós szintek?