

# Villamos szigetelések és kisülések

*Készítette: Koszó Norbert*

Ezt a doksit szinte csak összeollóztam. Egy része wikipedia. Másik, jelentős része Hoborg kidolgozása (aki-nek ezúton is köszönöm a munkáját) begépelve. Mivel nagy része nem az én munkám, ezért kérek Titeket, kíméljete meg az ezzel kapcsolatos e-mailektől. Ezért is raktam fel a forrását wikire, mindenki letöltheti, és módosíthatja ahogy akarja. (Ha a forrás nem érhető el, akkor írj emailt!)

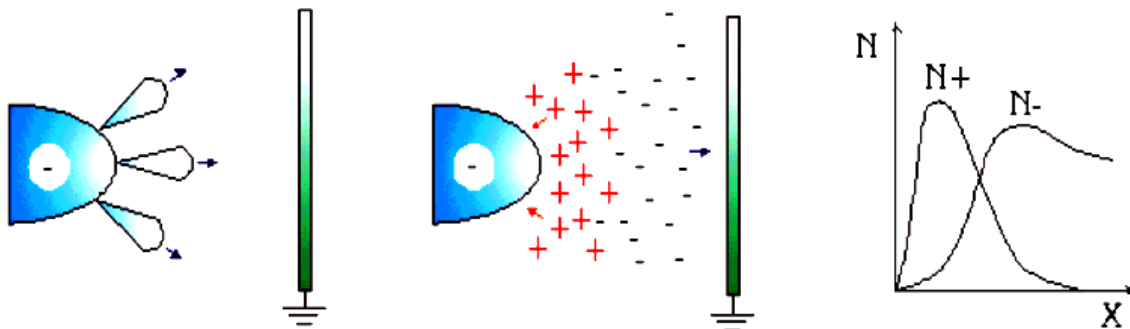
Persze tudnotok kell, hogy továbbra is egy halandó hallgató vagyok, tehát ebben a doksiban lehetnek hibák szép számmal, amikért felelősséget nem vállalok.

Köszönöm mindenkinek, aki segített abban, hogy legalább ez a kezdetleges változat létrejöhessen.

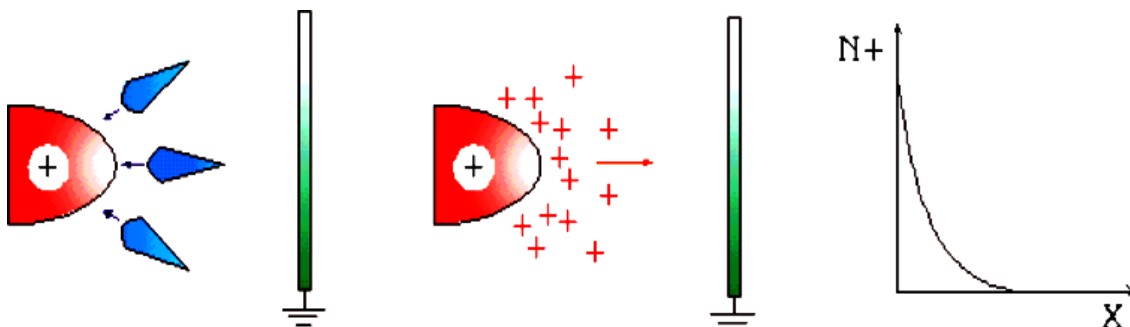
## 1. A koronakisülés értelmezése

A koronakisülés (vagy csendes kisülés) az elektromos áram egy megjelenési formája, amely normál atmoszferikus nyomású gázokban jön létre, erős, inhomogén elektromos tér jelenlétében (amit többnyire nagyfeszültség kelt), ha a feszültséggradiens az elektromosan töltött felület egy pontján meghaladja a gáz ionizációjához szükséges, az adott konkrét körülmények között érvényes értéket, de nem haladja meg az átütési feszültséget (ez utóbbi esetben „hangos” kisülés: szikrázás vagy elektromos ív jön létre).

A koronakisülés az elektródok élein, csúcsain, hegyes fémalkatrészeken jelentkezik, hiszen itt van a térerősségnek nagy maximuma. A koronakisülés részleges kisülés, hiszen a szigetelőanyag csak egy adott térrészben veszi el a szigetelőképességét.

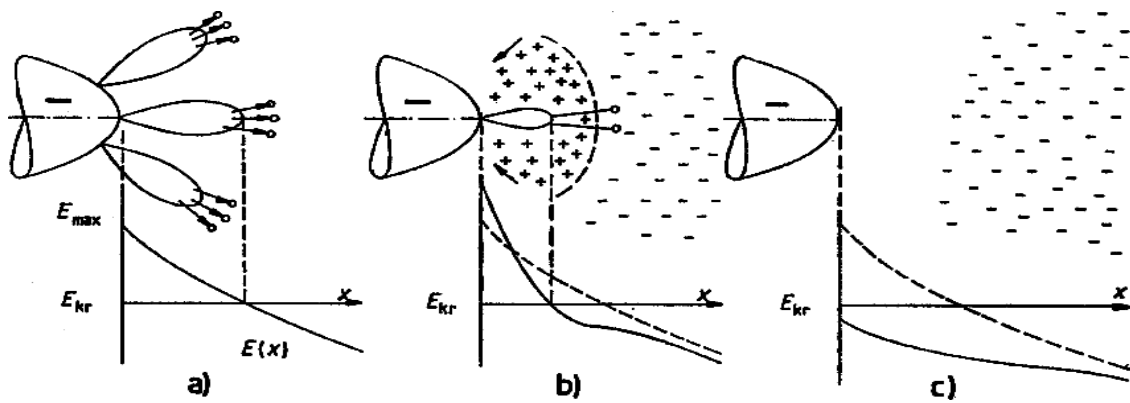


1. ábra. Koronakisülés negatív elektródán

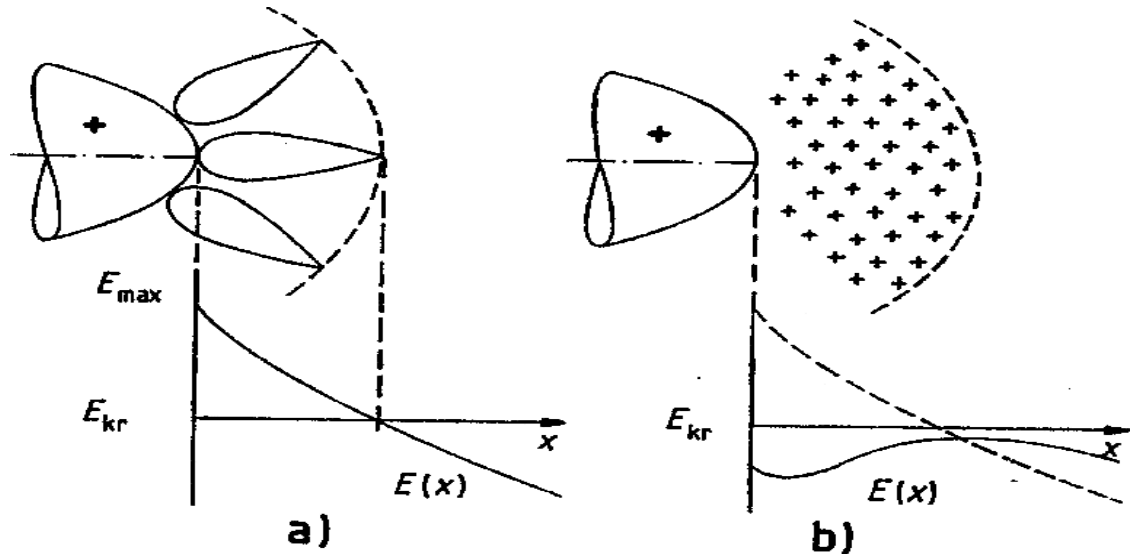


2. ábra. Koronakisülés pozitív elektródán

Az ábrákon az  $N$  a töltéshordozók térbeli eloszlását jelöli.



3. ábra. Koronakisülés negatív csúcson



4. ábra. Koronakisülés negatív csúcson

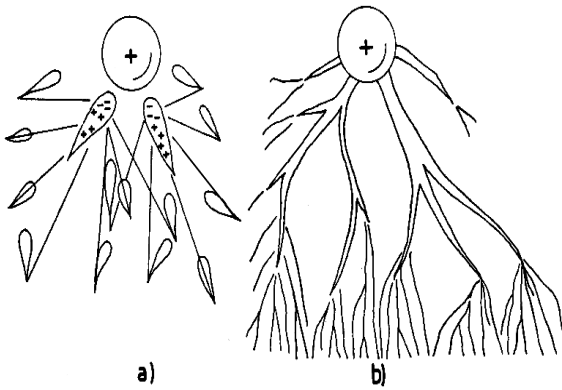
A koronakisülés távvezetéseken is felléphet, ami jelentős veszteséget okoz (a diák között van ábra róla).

## 2. A villamos kisülések vizsgálata: elektron lavina (electron avalanche)

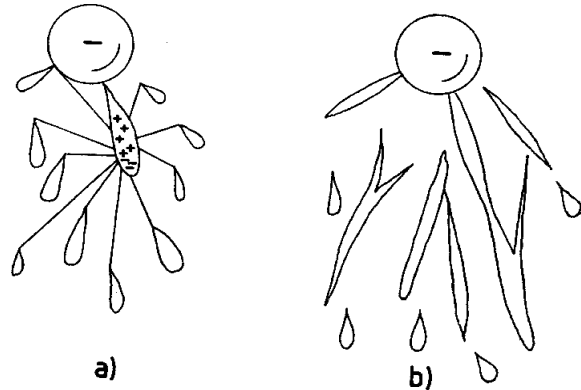
Az elektron lavina egy olyan folyamat, melyben a közeg (jellemzően gáz) szabad elektronjait az elektromos térerősség nagy mértékben gyorsítani kezdi. A nagy sebesség hatására a szabad elektronok beleütköznek a közeg atomjaiba, és ionizálják őket. Az ionizáció eredményeképpen „újabb” szabad elektronok keletkeznek, amelyek szintén végigmennek az előző folyamaton.

## 3. A villamos kisülések vizsgálata: pamatos kisülés (streamer)

Elektron lavinák sokasága (amelyek néhány nanoszekundumig tartanak), amik kitöltik az elektród körüli térszert kb. minden irányban. Az elektróda körül tértöltés alakul ki (amit a pamatok hoznak létre).



5. ábra. Pamatos kisülés pozitív elektródán



6. ábra. Pamatos kisülés negatív elektródán

A különbség a pozitív és a negatív elektróda között az a) ábrákon az, hogy merrefelé állnak a cseppek, a b) ábrákon a pozitívnál fa alakú, a negatívnál meg mintha lehányták volna.

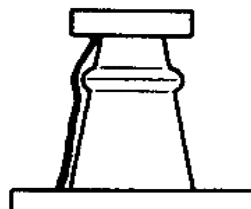
#### 4. A villamos kisülések vizsgálata: csatorna kisülés (leader)

Ha az elektromos térerősség elég nagy a pamatos kisülések elektronlavinája létrehoz egy jól vezető csatornát az elektródák közötti tér egy részében. A csatorna vezetőképessége megközelíti az ív vezetőképességét. A csatorna olyasmí, mint egy „kis vezeték” ami a légrésben végződik, a végén pamatos kisülés alakul ki. Ha a feszültség elég nagy a csatorna folyamatosan növekszik, amíg össze nem köti a teljes légrést.

#### 5. A villamos kisülések vizsgálata: ívkisülés (arc)

Amikor a csatorna kisülés már összeköti a két elektródát, na akkor alakul ki közöttük egy ilyen jól vezető tér-rész, na az az ív.

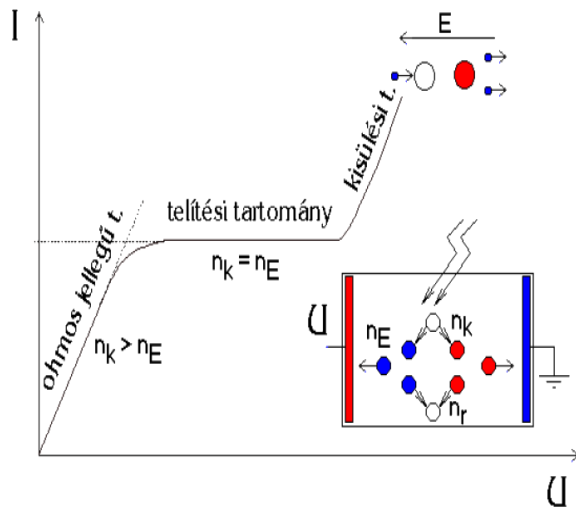
#### 6. Átívelés szigetelések határfelületén



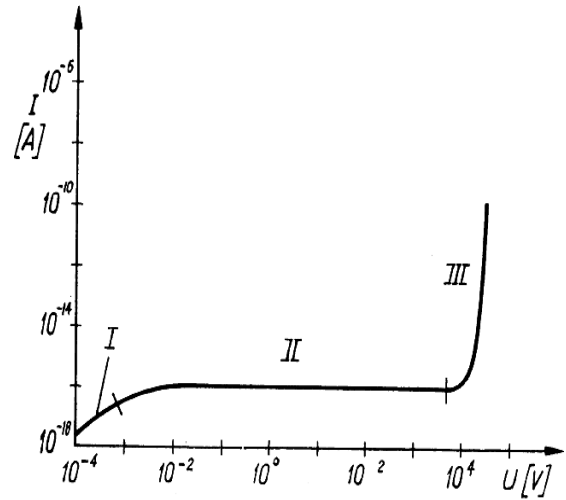
7. ábra. Átívelés szigetelés határfelületén

Szigetelések határfelületén, mindig a kisebb szilárdságú (rosszabb) szigetelőanyagban átívelés alakulhat ki. Ezért szokás a szigetelőket valamiképpen „ernyőzni” ezzel megnövelve a „kúszó utat”, és csökkentve az átívelés veszélyét.

## 7. Gázok villamos vezetése



8. ábra. Gázok villamos vezetése 1



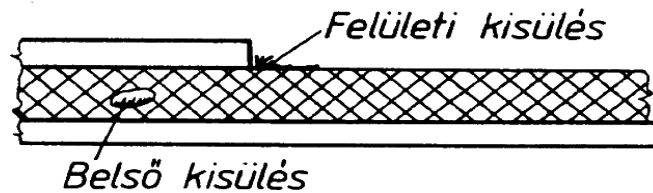
9. ábra. Gázok villamos vezetése 2

A gázok villamos vezetése három szakaszra osztható:

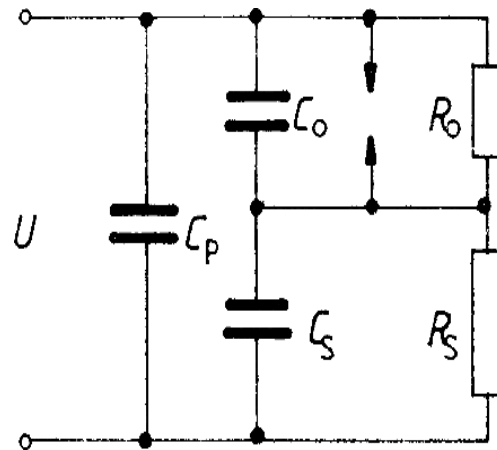
1. *Arányos szakasz* vagy *ohmos szakasz*, amikor a gáz ohmosan viselkedik.
2. *Telítési tartomány*, ahol a feszültségtől függetlenül az áram körülbelül állandó (nincs több elektron, ami nagyobb áramot létrehoz).
3. *Kisülési tartomány*, amikor az elektronlavinák megindulnak és keletkeznek újabb elektronok a nagyobb áramhoz. Az ionizáló hatás szerepe jelentős.

## 8. Belső, vagy üregkisülések

Szigetelőanyagok belsejében légbuborékokban kisülések alakulhatnak ki (mivel a levegő villamos szilárdsága lényegesen kisebb, mint a körülötte levő szigetelőé).



10. ábra. Belső kisülés

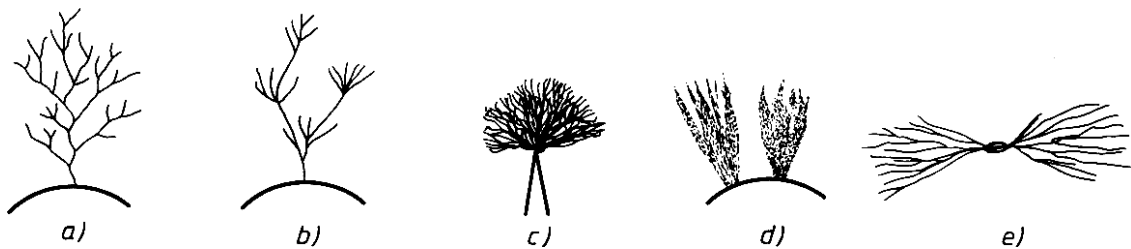


11. ábra. Belső kisülés villamos helyettesítő képe

$C_p$  a két elektróda közötti kapacitás,  $C_o$  a szikraköz kapacitása és  $C_s$  a szikraköz alatti és feletti rész együttes kapacitása.

## 9. Treeing

Szigetelések belsejében alakul ki, általában egy kis hibából, pl. légbuborékból, vagy egyéb szennyeződésből kiindulva. Az üregben létrejövő kisülések roncsolják a szigetelő anyagot, így az üreg tovább növekedik, és jellegzetes fa alakja lesz.



12. ábra. Treeing

## 10. Polarizáció a szilárd szigetelőanyagokban (thx. Niki)

szigetelő anyag -> töltés – ellen töltés

A töltések 2 részre bonthatóak:

- rövidre zárva távozik – ez a szabad töltés
- egy hosszú folyamat során – ez a polarizáció miatt kötött töltés

Reális szigetelő anyagokban vagy eleve van dipólus vagy indukált dipólusok keletkeznek bennük.

Külső erőtér hiányában a töltések rendezetlenül mozognak, így az anyag kifelé semlegesnek látszik. Erőtér hatására a dipólusok rendeződnek és egy pozitív valamint egy negatív töltésű felületet hoznak létre, aminek hatására az anyagban télerősség keletkezik.

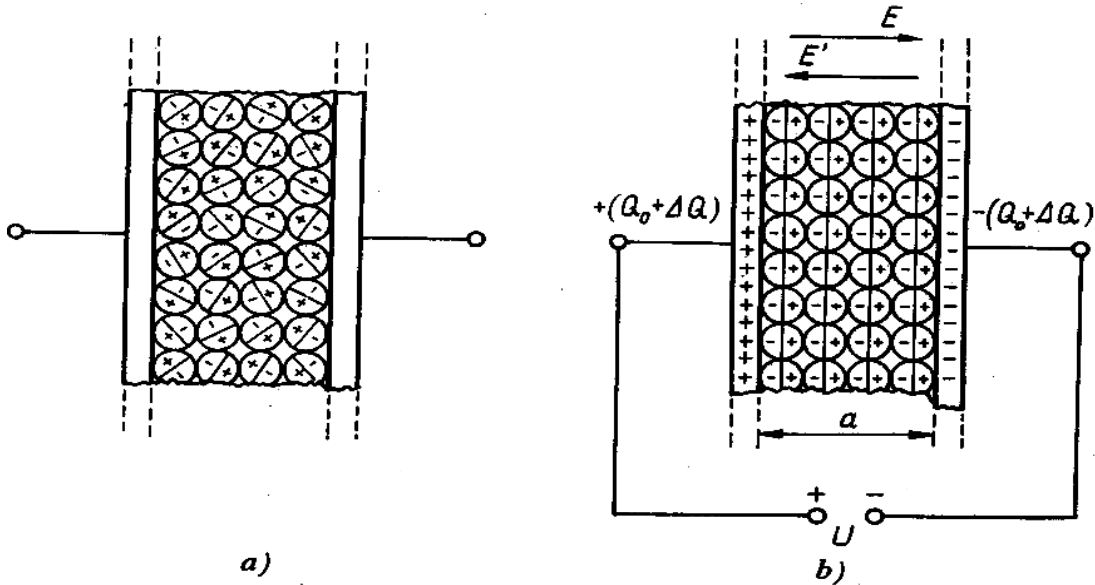
Ahhoz hogy az eredeti télerősség ne változzon, plusz  $A \cdot Q$  töltést kell a felületre vinni, ez a szigetelő anyag hatása.

Így  $Q = Q_0 + \Delta Q = Q_{szabad} + Q_{kötött}$ , ahol  $Q_{szabad}$  a polarizált szigetelő anyag felületi töltése,  $Q_{kötött}$  ami rövidzáron semlegesítődik. ahogy csökken a  $+Q$  a felületen, kötött töltésből szabad töltés lesz, majd kisül

A polarizáció a kötött töltések felületi töltéssűrűsége:  $P = \frac{Q_k}{A} = \sigma_k$

Polarizáció és térerősség kapcsolata:  $P = (\epsilon - 1)\epsilon_0 E$

A polarizáció megadható a térfogategységre jutó dipólusmomentummal is:  $P = \frac{M}{V}$



13. ábra. Polarizáció kondenzátorban

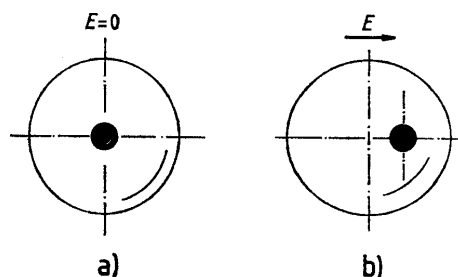
## 11. A kötött és szabad töltések a szigetelőanyagokban (thx. Bea)

ha van egy kondid, amiben nincs szigetelő, akkor a két elektróda között a geometria kapacitás miatt szabad töltések vándorolnak illetve csak az elektronok a negatív elektródáról a pozitív felé ha a két elektróda közé teszel egy szigetelőt, abban polarizáció által kötött töltések lesznek előbbi szabad, utóbbi kötött töltés a kötött töltés nem a szigetelőben van (ott a polarizáció van), hanem az elektródák Ha van szigetelő a fegyverzetek között, akkor belül már nem csak az elektródák polaritásából adódó térerősség lesz, hanem a polarizáció miatt még nagyobb lesz A kötött töltések a polarizáció miatt vándorolnak a megfelelő elektródákra. Itt lerajzolod, hogy a kis dipólusok a szigetelőben szépen beállnak polarizáltan. Az ő területet kell ellensúlyozni a kötött töltéseknek.

## 12. Polarizáció fajták

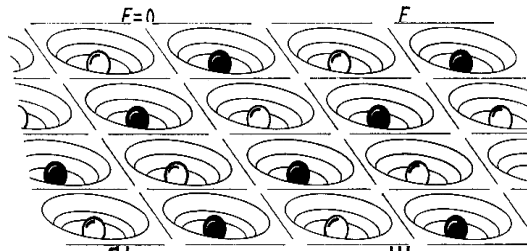
Na ebből nyolcféle van.

1. Elektroneltolódási polarizáció  $\tau = 10^{-16} - 10^{-14} \text{ s}$



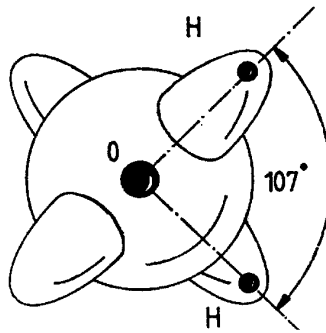
14. ábra. Elektroneltolódási polarizáció

2. Ioneltolódási polarizáció  $\tau = 10^{-13} - 10^{-12} \text{ s}$



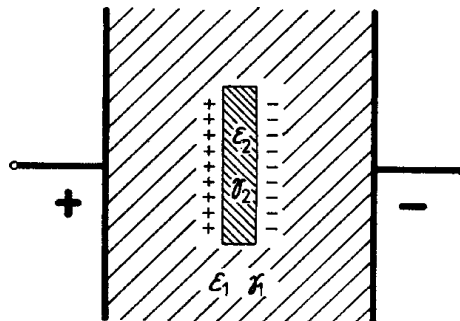
16. ábra. Homoszekvén ionpolarizáció

3. Hőmérsékleti ionpolarizáció  $\tau = 10^{-13} - 10^{-12} \text{ s}$   
 4. Állandó dipólusok



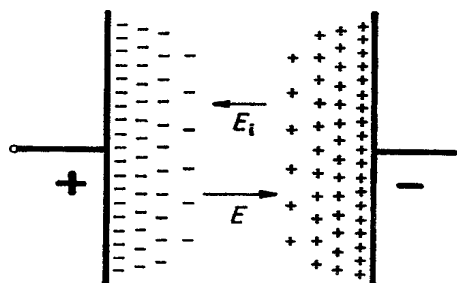
17. ábra. Állandó dipólus

5. Hőmérsékleti orientációs polarizáció  $\tau = 10^{-10} - 10^{-6} \text{ s}$   
 6. Rugalmas orientációs polarizáció  $\tau = 10^{-13} - 10^{-10} \text{ s}$   
 7. Határréteg polarizáció



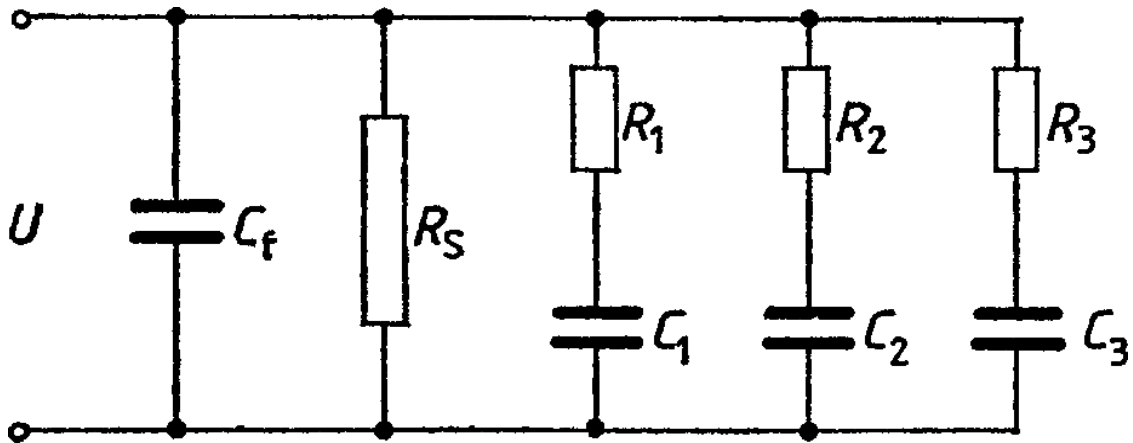
18. ábra. Határréteg polarizáció

8. Polarizáció tértöltés



19. ábra. Tértöltéses polarizáció

### 13. Szigetelőanyagok helyettesítő kapcsolása

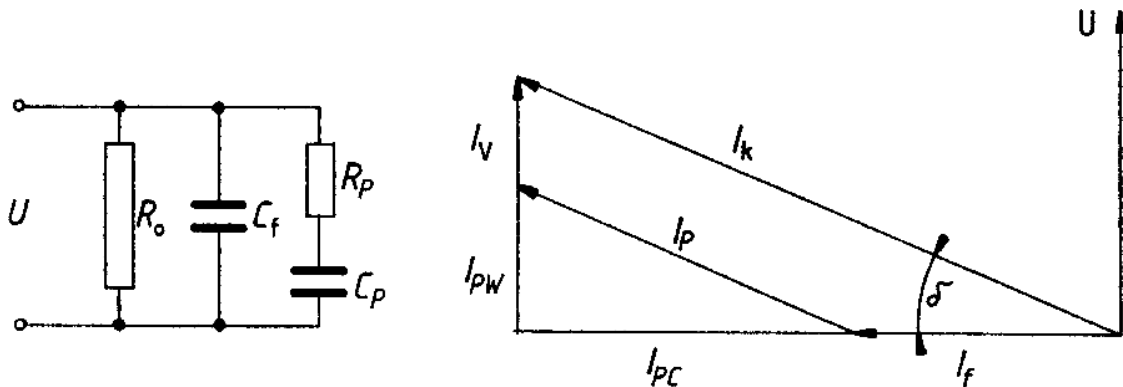


20. ábra. Szigetelőanyagok helyettesítő kapcsolása

A  $C_f$  gondolom az elektródák közötti kapacitás a szigetelőnek köszönhetően, az  $R_s$  pedig a szigetelő vezetéből adódó.  $R_1 C_1 \dots$  az egyes polarizációfajtákat szimbolizálják megvalósítva azok időállandóját másrészt azt a képességüket, hogy mekkora töltést tudnak megkötni az elektródákon.

### 14. Szigetelőanyagok egyszerűsített fázorábrája

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_W}{I_C} = \frac{I_{PW} + I_V}{I_f + I_{PC}}$$



21. ábra. Szigetelőanyagok egyszerűsített fázorábrája

Azért egyszerűsített, mert csak egyetlen polarizáció szempontjából vizsgáljuk a szigetelőt.

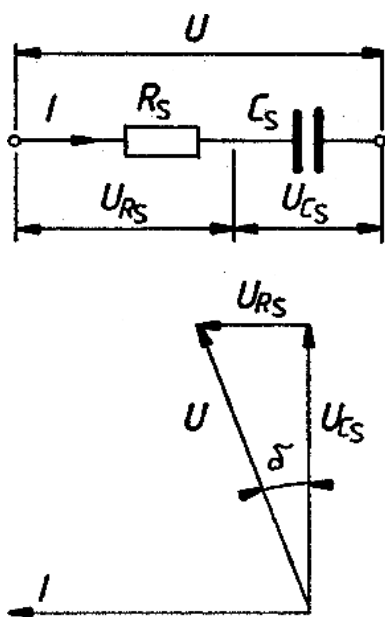
### 15. A szigetelőanyagokban váltakozófeszültségen fellépő veszteségek

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_W}{I_C}$$

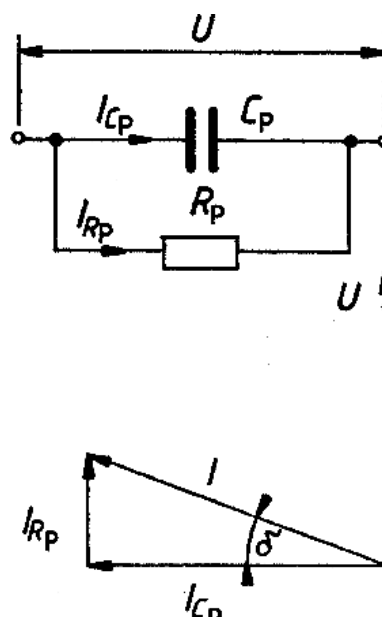


Anyag	$10^4 \operatorname{tg} \delta$
Csillám	2 – 5
PE	2 – 5
Trafó olaj	20
Porcelán	150
PVC	1000 – 1500

## 16. A reális szigetelésekben fellépő egyszerűsített helyettesítő kapcsolások



22. ábra. Soros helyettesítő kapcsolás



23. ábra. Párhuzamos helyettesítő kapcsolás

Párhuzamos helyettesítő kapcsolás:

$$I_v = \frac{U}{R_p}, \text{ és } I_c = \omega C_p U$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_v}{I_c} = \frac{U/R_p}{\omega C_p U} = \frac{1}{\omega R_p C_p}$$

$$P = \frac{U^2}{R_p} \rightarrow R_p = \frac{U^2}{P}$$

$$P = \omega C_p U^2 \operatorname{tg} \delta \rightarrow C_p = \frac{P}{\omega U^2 \operatorname{tg} \delta}$$

Soros helyettesítő kapcsolás:

$$U_R = IR_s, \text{ és } U_c = \frac{I}{\omega C_s}$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{U_R}{U_c} = \frac{IR_s}{I/\omega C_s} = \omega R_s C_s$$

$$P = \frac{U_R^2}{R_s} = \frac{U^2}{R_s} \sin^2 \delta \rightarrow R_s = \frac{U^2}{P} \sin^2 \delta$$

$$P = IU_R = \omega C_s U^2 \cos^2 \delta \operatorname{tg} \delta \rightarrow C_s = \frac{P}{\omega U^2 \operatorname{tg} \delta \cos^2 \delta}$$

## 17. A visszatérő feszültség kialakulása (thx. Bea)

Egyenfeszültséggel adott ideig töltöm a szigetelést, hogy a kapacitások feltöltődjenek (ez csak a helyettesítő képre igaz, a valóságban azt jelenti, hogy kialakulnak a szigetelőben polarizációk az elektródákon pedig kötött töltések jelennek meg). Ezután a szigetelőanyag elektródáit rövidre zárom – például a töltés idejének felére. Ezután a rövidzárát megszüntetve a kapcsok között a

visszatérő feszültség jelenik meg. Oka, hogy a rövidzár ideje alatt a helyettesítő kép kondenzátorai nem tudtak teljesen kisülni – a valós szigetelőben pedig a polarizációk nem tudtak megszűnni. Ez a módszer szigetelésdiagnosztikában használható (kábelnél, trafónál...).

## 18. A szikrakisülés veszélyessége *(thx. Bea)*

Tönkretehet egy IC-t jól, vagy berobbanhat valamit, amit nem kéne (pl. porrobbanás)

## 19. Zivatarfelhők kialakulása *(thx Hoborg, viharvadaszok.hu)*

Zivatarfelhőnek nevezik azt a légköri jelenséget, amely villámok keletkezésével is jár. Zivatar idején többnyire eső vagy szél is lehet, de a villámok nélküli zápor vagy szélvihar nem zivatar.

Zivatar esetén meleg, nedves légtömeg emelkedik gyorsan felfelé és közben lehűl, ami páralecsapódást, felhőképződést és a villamos töltések szétválasztását idézi elő.

- Hőzivatarakor a gyors emelkedést a napsugárzás miatt a talaj közelében felmelegedett és ezért könnyebb, valamint a fölötté lévő nehezebb, hideg légréteg lokális egyensúlyának felborulása okozza, amitől a nedves, meleg levegő felszáll.
- A domborzati zivatart a hegyek lejtőjének ütköző és ott fölfelé áramló nedves, meleg légtömeg hozza létre. A hazai hegyek azonban nem elég magasak ahhoz, hogy más hatások nélkül is zivatart hozzanak létre.
- Nálunk leggyakrabban vonulati vagy frontzivatar képződik, ha többnyire nyugat felől hidegfront tör be. Az óceán vagy a Földközi-tenger felől nagy sebességgel érkező és az itt lévőnél hidegebb légtömeg felfelé szorítja ki az előtte lévő meleg, nedves légtömeget, és az erős felfelé áramlás hozza létre a zivatarfelhőt.

A zivatarfelhő képződése ott kezdődik, ahol a felszálló levegő eléri a harmatpont hőmérsékletét, ezért a felhő alja egyenesnek látszik, és minden felhőé ugyanabban a magasságban van. A felszálló levegő állandóan hűl, és 2000-4000 m magasságban még nyári időben is eléri a 0 °C szintjét. Efölött túlhűtött vízcseppek, majd jégszemcsék keletkeznek. A zivatarfelhők 8000-10000 m magasan lévő tetején apró jégkristályokból álló, ernyőszerűen szétterülő képződmény jelenik meg.

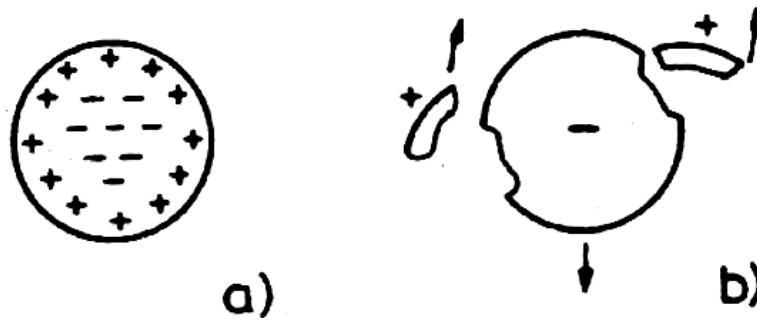
## 20. Töltések szétválása a zivatarfelhő belsejében

*(thx Hoborg, viharvadaszok.hu)*

Villamos töltések keletkezése már a zivatarfelhőnek a fagypont alatti részén megkezdődik. A töltésképződésre sok elmélet létezik, és nem tudjuk pontosan, hogy melyik játssza a legnagyobb szerepet.(?//Norbi)

A Lénárd-Simpson-féle vízesésmélelet szerint a légáram hatására szétporladó vízcseppek nagyobb maradványai pozitív, a finomabb permet cseppjei negatív többlettöltésűek lesznek (mERMÉR? //Norbi). Ennek következtében a nagyobb vízcseppek a zivatarfelhő alsó részén pozitív töltésű göcot hoznak létre, míg a negatív töltésű vízpermetet a szél a felhő magasabb, illetve távolabbi részébe ragadja magával.

A vízcseppek megfagyása is töltésmegosztást okoz, mégpedig apró, pozitív töltésű jégszilánkok pattannak le a nagyobb, és negatív töltésűvé váló jégszemcsékről. Ezek a szilánkok alkotják a felhő felső részén látható pozitív töltésgöcot, a nagyobb jégszemcsék viszont a fagypont alatti zóna környékén a negatív töltéstömeget növelik.



24. ábra. Töltésszétválasztás fagyás hatására

Bár a zivatarfelhő töltéseloszlása a légáramlások következtében elég változatos, a fagypont feletti zónában helyeződik el a zivatarfelhő töltéseinek nagyobb része. Az alsó negatív góc ehhez képest kicsi, de erősen koncentrált.

Egy frontzivatarban az előbb bemutatott felépítésű zivatarfelhők különböző kialakulási állapotban szorosan egymás mellett helyezkednek el. A fronttal vonuló zivatart ezek a zivatarcellák alkotják.

## 21. Foltott kisülés (brush discharge) az elektrosztatikában

(thx Hoborg, vedelem.hu)

Ez nem más, mint a feltöltődött szigetelő felület kisülése. A feltöltött szigetelő felület kisülésekor a feltöltött szigetelő felületéhez közeledő földelt elektródáról induló kisülés a felületet elérve, azon szétágazva egyrészt kisüti a felületnek mintegy  $1 \text{ dm}^2$ -nyi részét, másrészt ellentétes polaritással fel is tölti a kisüti felületet (nem értem miért, de biztos... //Norbi). A kisülés energiája  $0,1 \text{ mJ}$ – $1 \text{ mJ}$  nagyságrendbe esik. A feltöltött réteg kisülését igen jó szigetelő részecskék nagy tömegű és gyors mozgására vagy kezelésére épülő technológiában figyelték meg. A lerakódó rétegekben nagy töltésmennyiség halmozódhat fel, mert az apró részecskék miatt nagy a fajlagos töltés, valamint a szigetelő anyag töltését a rétegben is megtartja. A lerakódó réteg vastagságának növekedésével nő a határfelületen kialakuló térerősség, ami villamos kisülésekhez vezethet. A terjedő kisülés a nagyon vékony szigetelőanyagok felületén, a nagy kapacitások miatt erőteljes feltöltő folyamatok (pneumatikus anyagszállítás, folyadékáramlás) hatására igen nagy energia halmozódhat fel. A terjedő kisülés gyújtó hatása nagy,  $1$ – $10 \text{ J}$  nagyságrendű.

Szikkrisüléskor (feltöltődött vezető test kisülésekor) az áram hirtelen megnövekszik, majd utánpótlás hiányában lecsökken.

A foltos kisülés valójában koronakisülés, ami nem vezető anyaggal (pl. levegő) körülvevett elektródok között játszódik le.

## 22. Terjedő kisülés (propagating discharge) az elektrosztatikában (thx Hoborg)

(thx Hoborg)

Van egy vékony szigetelőrétegünk, melynek a két oldalán ellentétes töltések halmozódnak fel. Ha átütés történik akkor végigfut a kisülés. Gyakori eset, hogy a vékony szigetelőréteg egy fémlapon van, és ilyenkor ha pl. a pozitív töltést viszünk fel a szigetelő lapra, akkor a fém felületén tükörtöltések jelennek meg (odacibálja a szabad elektront).

A vékony réteg egy nagy kapacitást jelent, így ha pl. földelt tárggyal közelítjük meg, akkor kisülése nagy térerősséget hoz létre. A kisülés energiája nagy, gyújtóképesége is nagy. A kisülés terjedése nem csak a hiba (mert nyilván ott fog kisülni, ahol valami hibuci van) környékére korlátozódik, hanem több méteres távolságra tud elágazni és töltéseket összegyűjteni.

Itt még van valami.

## 23. Kisülés porkupac felületén (discharge on a powder heap) elektrosztatikában *(thx Hoborg)*

A korszerű technológia egyre gyakrabban használja a pneumatikus porszállítást (a korszerű fenntartásokkal, mert én már 95-ben is láttam ilyet //Norbi), ahol a lebegtetett port a levegő vagy valamilyen más gáz csőben viszi magával. A szállított por anyaga az alkalmazás helyétől függően változatos (liszt, cukor, tejpor, paprika, kakaóőrlemény, cement, szénpor, mészkőpor).

A pneumatikus szállítás alkalmával a levegő részecskék rendezetlen mozgást is végeznek a cső tengelyére merőleges irányban, és ennek során időnként érintkeznek a cső falával. Amikor elszakadnak a csőfaltól töltés maradhat rajtuk, amit magukkal visznek. Végeredményben a porrészecskéknek a csőben való haladása részecskefeltöltődést hoz létre. A feltöltődés mértéke az érintkező és eltávolodó anyagok tulajdonságaitól függ. Érintkezés nem csak a por és a cső felülete között hanem különböző porok keverékének szállításakor a porrészecskék érintkezése alkalmával is okozhat feltöltődést.

Folyamatos áramlás esetén a feltöltődés nagyságára a kétfázisú folyadékok feltöltődésével kapcsolatos összefüggések érvényesek. Ezt esetleg jelentősen torzítja, hogy a porok mozgása nem mindig egyenletes. Előfordulhat, éppen az elektrosztatikus feltöltődések hatására összetapadnak, amelyek dugót képezhetnek a csőben és ennek átszakadása hirtelen, turbulens mozgást idéz elő. Az összetapadt portömeg szétesése szintén okozhat elektrosztatikus jelenségeket.

Portartályok körül a legnagyobb elektrosztatikus veszély a szerves porok és szemcsés anyagok tárolására használt nagy méretű silókban lép fel. Ezekbe általában pneumatikus szállítással felülről töltik be az anyagot, ami a tartályban szabadon esik lefelé. A síkókból egyszerre nagy mennyiségű port engednek le az alsó ürítő nyíláson.

A silóba belépő por a pneumatikus szállítás adottságai miatt általában már fel van töltve, és a töltőcsőről való elválás alkalmából további töltést vehet fel. Ha a por szigetelőanyag, a silóban lerakódó portömegben az elektrosztatikus töltés felhalmozódik, és lassan áramlik a falak irányába. Mivel a porszemcsék közötti érintkezés nem olyan tökéletes a portömeg villamos ellenállása nagyobb a tömör anyagénál, tehát a töltés levezetésére kisebb a lehetőség. Ürítés közben a silóban lévő portömeg lefelé csúszik, ami a falakkal való érintkezés és surlódás következtében növeli a feltöltődést. További növekedést ér el a portömeg lerakódása. A silókban tehát egyenletesen, vagy a középső részek felé növekvő töltéssűrűséggel számolunk.

Földelt fémtartály esetén a fémfal a közelében lévő töltéseket levezeti, ezért a szigetelőanyagban nem alakul ki olyan nagy térerősség, ami az anyagon belől átütést okozhatna. Felületi kisülésre van lehetőség, mert a portömeg felületén a közép felé nő a potenciál. Kisülések azonban nyugalomban lévő portömeg felületén nem szoktak kialakulni, mert a nyugalmi állapotot megelőzően nagyobb térerősségek vannak, és ezek hoznak létre kisülést (ha akart, akkor már korábban csattant).

Akár a por beöntése akár a már leülledett por lezuhanása alkalmával porfelhő verődik fel, amelyben a lebegő részecskék nagy térerősséget hoznak létre és többnyire ilyenkor indul meg a felhalmozódott töltés kisülése.

A szigetelő bevonatú fémtartályokban a por nagyobb töltést halmozhat fel, mert nincs meg a levezetés útja. A feltöltődés miatt keletkező kisülés következtében rendszerint a szigetelő bevonaton is keletkezik néhány átütési pont, ahol a felhalmozott töltés jelentős része utat talál a föld felé. Ebből több kJ energiájú kisülés is keletkezhet, aminek hatására a siló légterében lebegő porok már robbannak.

## 24. Villámszerű kisülés (lightning like discharge) az elektrosztatikában *(thx Bea)*

Egy porfelhő különbözően töltött térrészei között keletkező kisülés.

## 25. Folyamatos töltéskülönülés

## 26. Részecskefeltöltődés *(thx Hoborg)*

Elektrosztatikus feltöltődés villamosan vezető vagy szigetelő testben egyaránt keletkezhet. A vezető testben keletkező töltésfelhalmozódást azonban csak akkor tekintjük elektrosztatikus feltöltődésnek, ha a test nem kapcsolódik valamilyen feszültségforráshoz, vagy nincs földelve. Az elektrosztatikus töltések a szilárd testeknek rendszerint a felületén helyezkednek el (nyilván, mert az azonos töltések utálják egymást), viszont a folyadékok, a tömör por, vagy a gőz-, köd-, ill. porfelhők belsejében is lehetnek töltések.

A feltöltődési folyamatokat a következő három alapvető csoportba soroljuk:

a töltések szétválasztása, amikor egyidejűleg lát testen ellentétes polaritású feltöltődés keletkezik,  
a töltésleadás, amikor az eltávozó töltés következtében a testen ellenkező polaritású feltöltődés marad vissza,  
a töltésvétel, amikor a feltöltődő testre kívülről érkező töltések rakódnak le.

*(ide kell majd kép, meg ez legyen felsorolás)*

Ezeket a folyamatokat különböző okok és körülmények idézhetik elő, mégpedig:

- érintkezés utáni szétválásahasítás,
- darabolás vagy porlasztás,
- fotoionozás, hőionozás,
- nagyfeszültségű kisülés,
- halmazállapot-változás,
- mozgás, dörzsölés,
- ütés, nyomás.

A felsorolt okok közül néhány gyakorlatilag nem játszik szerepet a feltöltődések keletkezésében.

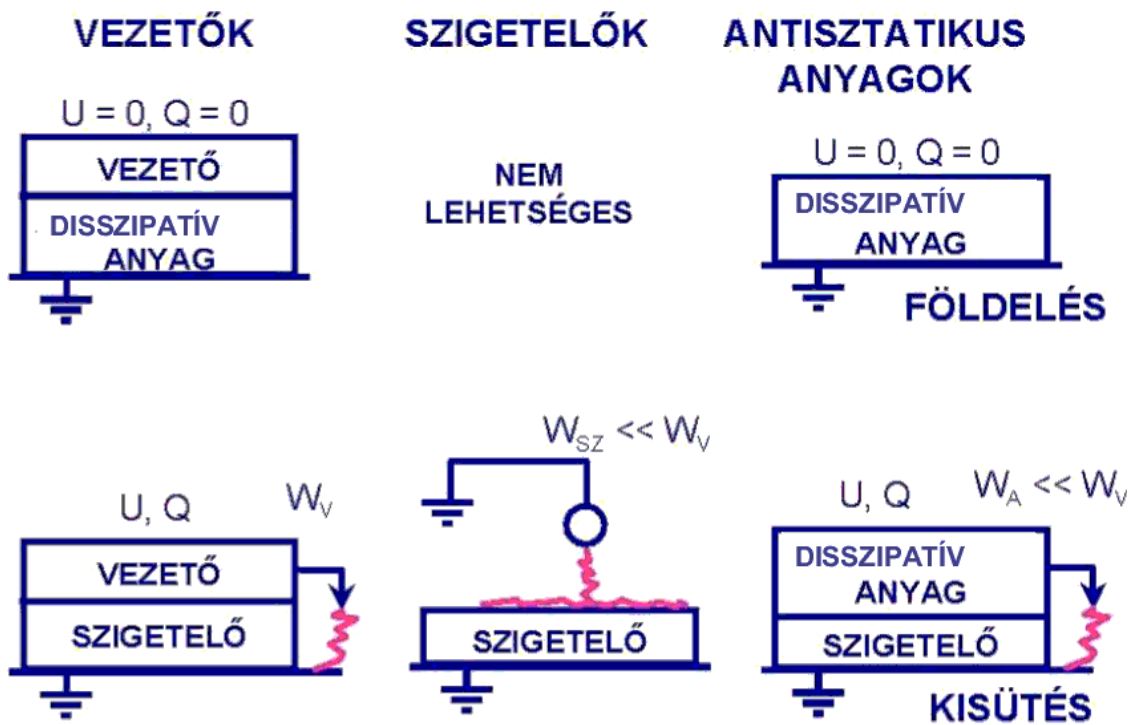
## 27. Elektrosztatikai földelés *(thx Bea)*

Az elektrosztatikus feltöltődés levezetése. Kisülése veszélyes:

- Legrosszabb esetben: igen jó szigetelőn fémes rész töltődik fel, mert ekkor nagyon nagy töltés fel tud halmozódni (a szigetelő miatt), és hirtelen kisül a teljes kapacitása.
- Kevésbé rossz esetben: nem fémes (disszipatív) anyag töltődik fel igen jó szigetelőn, ekkor a kisülés áramát korlátozza a disszipatív anyag, ezért kevésbé veszélyes.
- Legjobb eset: olyan szigetelőanyagot választunk, ami az elektrosztatikus töltéseket képes elvezetni. Ettől még szigetelőanyag persze, de nem teraohmos nagyságrendben. Magyarul egy olyan „szigetelőt” választunk, ami azért valamennyire vezet, mondjuk gigaohm, vagy hasonló.

## 28. Elektrosztatikai szempontból disszipatív anyagok *(thx Bea)*

Az a lényege ennek az anyagnak, hogy a kisülés energiája kisebb lesz, ha ilyet használunk, mert nem teraohmos az ellenállása csak gigaohmos.



25. ábra. Valami ábra a disszipatív anyagokról

$W_v$  a kisülés energiája vezető esetén,  $W_{sz}$  szigetelő esetén,  $W_a$  disszipatív anyag esetén. Disszipatív anyagon fém, illetve disszipatív anyag önmagában nem veszélyes, mert nem tud feltöltődni, így a feszültség és a töltés is nulla.

Az meg tök rossz, ha szigetelőn fém van, mert ekkor a legnagyobb a kisülés energiája ( $W_v$ ). Ettől kisebb akkor, ha feltöltött szigetelő felülete sül ki, és ha a szigetelőre helyezett disszipatív anyag sül ki akkor is.

## 29. Elektrosztatika ionizátorok (eliminátorok)

## 30. Elektrosztatikai eredető porrobbanások

## 31. Elektrosztatikus veszélyek az elektronikai iparban (ESD)

## 32. Áramütések veszélyessége

## 33. Embert érő elektrosztatikai eredető kisülések *(thx Bea)*

Ha szigetelő lapon állva feltöltődsz, majd lefölsz magad, akkor a kisülés energiája igen nagy is lehet. Ilyen könnyen előfordulhat, pl. nekem a Q-ban soha sem sikerült még a mellék helyiség ajtajának kilincsével azonos potenciálon lennem. Van itt egy jó kis táblázat is:

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

$1 J < W_{ki} < 10 J$	Égető érzés
$10 J < W_{ki} < 50 J$	Izomgörcs
$50 J < W_{ki}$	Halál

### 34. Embert érő villámcsapások *(thx Bea)*

Kb. fele menthető. Ha zivatar van, akkor keress egy magányosan álló fát, és a fától 5-10 méterre guggolj le. Nem szabad felállni. A fa alatt, vagy a fától túl messze veszélyes. Van ehhez szép ábra is, de nem vágom be ide. Igazából csak azt nem tudom, hogy kit kapott már úgy el zivatar, hogy pont volt kéznél egy magányosan álló fa...

Jelenleg 90% meghal, akit közvetlen villámcsapás ér, de ez 50%-ra csökkenne, ha mindenki azonnal kapna megfelelő orvosi segítséget (újraélesztés). (javaslat, minden villámhoz tartozzon orvos is!)

### 35. Villámfigyelő rendszerek (Lightning Localisation Systems)

*(thx Bea)*

Az Országos Meteorológiai Szolgálat pontosan figyeli a villámok eloszlását Magyarország felett. Egy Zafir nevű villámfigyelő és rögzítő rendszer tárolja az összes villámlás helyét, és azt is, hogy csak légköri kisülésről, vagy földre sújtó villámcsapásról volt-e szó. Az OMSZ honlapján még cuki térkép is van, amin látható, hogy hova hány villám csap le kábé (villámlás/km<sup>2</sup>)

### 36. Különleges villámjelenségek

### 37. Elektromágneses kompatibilitás (EMC)

### 38. Szekunder villámvédelem

### 39. Túlfeszültség- és zavarvédelem

### 40. Preventív villámvédelem

Például egy rendezvényt nem úgy biztosítasz, hogy felraksz metálsok gigantikus villámhárítót, hanem van egy villámfigyelő rendszered, és van egy előkészített kiürítési terved, és ha jön a zivatar, akkor szépen hazaküldöd az embereket. Azok meg szépen hazamennek, nem tapossák egymást agyon, mert van frankó kiürítési terved.

- 41. Gázkisülések a világítástechnikában, új fényforrások, LED**
- 42. Épület villamosság alapkérdései, az épület informatika alkalmazása**
- 43. Degradációk a villamos szigetelőkben**
- 44. Mérési módszerek a szigetelések vizsgálatára**
- 45. Új roncsolásmentes szigetelésvizsgálati módszerek, szigetelésdiagnosztika**
- 46. A villamos erők hatásai az emberi szervezetre**
- 47. A mágneses erők hatásai az emberi szervezetre**
- 48. Az elektromágneses sugárzások hatásai az emberi szervezetre**
- 49. Szigeteléstechika a mikrovilágban**
- 50. Szigeteléstechika a nanotechnológiákban**