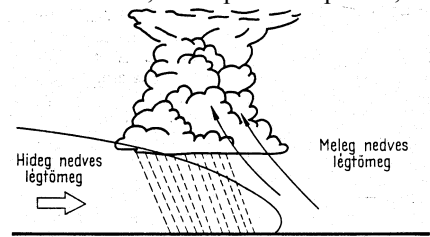


1. Hogyan alakul ki a zivatarfelhő? Milyen hődinamikai folyamatok jellemzik?

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

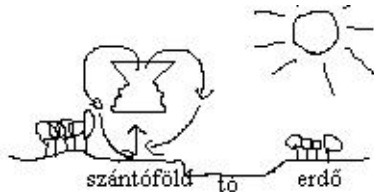
Zivatar esetén meleg, nedves légtömeg emelkedik gyorsan fölfelé és közben lehűl, ami párákicsapódást, felhőképződést és a villamos töltések szétválását idézi elő. A zivatarfelhő képződése ott kezdődik, ahol a felszálló levegő eléri a harmatpont hőmérsékletét, vízcseppek csapódnak ki, melyek melegítik környezetüket. Ez meredekebb adiabatikus egyenest eredményez, nagyobb lesz a felhajtóerő. Minden zivatarfelhő eléri a fagyási szintet (3000-3500m). E fölött jégszemcsék keletkeznek, melyek szétterülnek a nagy felhajtóerő és a légnyomás hatására (üllő forma).

$mgh - mc(t+t_0) + mQ = 0$. Felszálló levegő lassabban hűl – melegebb a környezeténél – a felhajtóerő megmarad, sőt erősödik – harmatpont; a levegőben levő pára kicsapódik, ezen a hőmérsékleten már vízcseppek vannak (nem molekulák), ezt ködnak látjuk – felhőképződés; kicsapódáskor hő szabadul fel (párolgási hő) – a hőmérséklet $0,6^\circ/100m$ -rel hűl felfelé – felhajtóerő nő – tágulás; hőmérséklet csökken - $0^\circ C$ – fagyás – még szabadul fel hő - $0,1^\circ C/100m$ – felhajtóerő még nagyobb, 7-8000m-en pára elfogyott, nincs felhőképződés. (Felhők felső része jégből van.)



2. Hogyan alakul ki a hőzivatar és a domborzati zivatar?

Zivatarnak nevezik azt a légköri jelenséget, amely villámok keletkezésével jár. Zivatar idején többnyire eső



vagy szél is lehet, de a villámok nélküli zápor vagy szélvihar (orkán) nem zivatar. *Hőzivatar* esetén a föld elnyeli a napsugarakat, a felmelegedő földből páras levegő áramlik ki, így kialakult a meleg, nedves légtömeg, mely szükséges a zivatarfelhő kialakulásához. Egyedül jönnek létre, kör folyamat játszódik le.

A *domborzati zivatart* a hegyek lejtőjének ütköző és ott fölfelé áramló, nedves, meleg légtömeg hozza létre. Felemelkedik, harmatpont, kicsapódik. Az Alpokban, Pireneusokban fordul elő ilyen. A hegy túloldalán tiszta, száraz levegő ereszkedik le (föhn).

3. Hogyan jön létre a mérsékelt égövi ciklon, a meleg és a hidegfront, valamint ezek következtében zivatar?

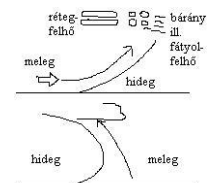
Tf.: Kis nyomású terület van nálunk. Mivel a Föld sugara északon kisebb, mint délen, ezért ha északról levegő levegő áramlik, ez elmarad a Föld forgásától, nem É-D irányban halad, hanem eltérül NY-ra. Ha a levegő délről érkezik, akkor pedig K felé. Coriolis-erő:



Először a melegfront ér el minket. Utána több óra, vagy több nap múlva a hidegfront.

Anticiklon: nagy nyomású helyről ki a levegő, leszálló légáramlás jön létre – száraz időt hoz létre (nyáron aszály, télen erős lehűlés)

Melegfront: $5-10^\circ C$ hőmérséklet növelés. A meleg levegő utoléri a hideget, és felsiklik rá. Ez a felsiklási front.

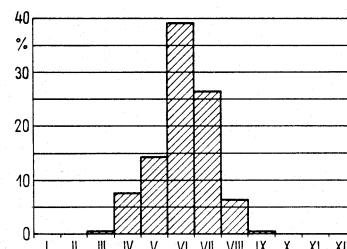
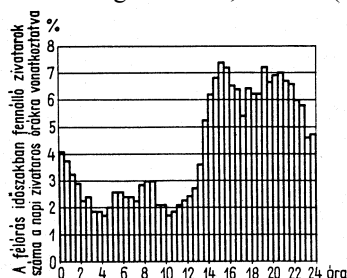


Hidegfront: gyorsabban mozog. A hideg levegő utoléri a meleget, és felnyomja azt (gyorsan emelkedik). Betörési front. A felemelkedés miatt zivatarfelhők képződhetnek.

A front nem viszi magával a felhőket, hanem mindig újak képződnek (zivatarcellák), így halad a front. Ha a hidegfront utoléri a melegfrontot, akkor záródó front.

4. Milyen a zivatarok eloszlása a nap illetve az év folyamán?

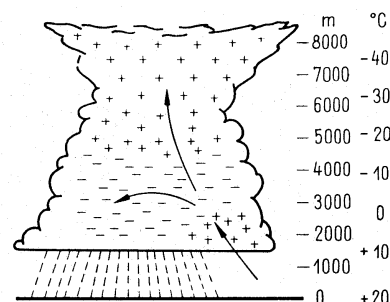
A zivatarfelhő képződéséhez szükséges meleg, nedves levegő a kora-délutáni órákban alakul ki, ezért a legtöbb zivatar is ekkor keletkezik. Nálunk hajnalban van a legkevesebb zivatar és 15...16 óra körül keletkezik a legtöbb zivatar. Időtartamuk átlagosan 1,5 óra, de különösen az este kezdődő zivatarok 8...10 óráig is eltarthatnak. A legtöbb zivatart a júniusban érkező óceáni monszun idézi elő, amely júliusra is áthúzódik. Ritkábban, kora tavasszal és késő ősszel is lehet zivatar, sőt kivételesen télen is előfordul, ha a betörő hidegfront az itt levő melegebb, nedves levegőt heves felfelé áramlásra kényszeríti. Nálunk 20-30 zivataros nap van évenként. Az egész ország területére átlagosan $2...2,5$ villám/(km².év) villámsűrűséget lehet számításba venni.



5. Milyen fizikai folyamatok idézik elő a töltések szétválását a zivatarfelhőben? Milyen töltéeloszlás alakul ki?

Villamos töltések keletkezése már a zivatarfelhőnek a fagypont alatti részén megkezdődik. A töltésképződésre sok elmélet létezik, **feltöltődés a vizes zónában:** Lénárd–Simpson-féle vizesésemélet szerint a légáram hatására szétporladó vízcseppek nagyobb maradványai pozitív, a finomabb permet cseppjei negatív töltésűek lesznek. Ennek következtében a nagyobb vízcseppek a zivatarfelhő alsó részén pozitív töltésű gócot hoznak létre, míg a negatív töltésű vízpermetet a szél a felhő magasabb illetve távolabbi részébe ragadja magával.

feltöltődés a jeges zónában: a vízcseppek megfagyása is töltésmegosztást okoz, mégpedig apró, pozitív töltésű jégzilánkok pattannak le a nagyobb és negatív töltésűvé váló jégzemcsékről. Ezek a zilánkok alkotják a felhő felső részén látható pozitív töltésgócot, a nagyobb jégzemcsék viszont a fagyponthoz közeli zóna környékén a negatív töltéstömeget növelik. Így alakul ki az ábra szerinti töltéeloszlás a zivatarfelhőben.

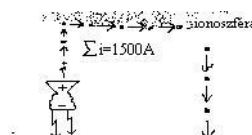


Bár a valóságos zivatarfelhő töltéeloszlása a légáramlások következtében elég változatos, a fagypont fölötti zónában helyezkedik el a zivatarfelhő töltéseinek nagyobb része. Az alsó pozitív góc ehhez képest kicsi, de erősen koncentrált. Egy frontzivatarban a 2.2. ábrán bemutatott felépítésű zivatarfelhők különböző kialakulási állapotban szorosan egymás mellett helyezkednek el. A fronttal vonuló zivatart ezek a zivatarcellák alkotják.

6. Mi a szerepe a zivatároknak az ionoszféra keletkezésében? Mit jelent a "szép idő áram" és milyen nagyságrendű?

Az ionoszféra és a föld között mindig van egy lefelé irányuló télerősség, az ionoszférát a villámáramok hozzák létre.

szép idő áram: az ionoszférából pozitív ionok áramlása a föld felé a lefelé mutató télerősség hatására, 2-3pA/m².

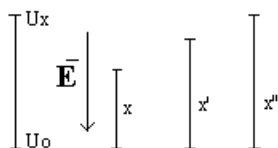


7. Mi jellemzi a fotonok által előidézett gerjesztést ill. ionozást? Milyen töltéshordozók keletkeznek természetes levegőben?

A fotonok energiája: $W = h \cdot f$. Az energia határozza meg a foton színét. A gerjesztési energia: $W_g = q_e \cdot U_g$. Ha $h \cdot f > W_g$, akkor létrejön a gerjesztés. Az ionozási energia: $W_i = q_e \cdot U_i$. A fotonok ütköznek más molekulákba, ekkor gerjesztés történik, és más színű fotonokat bocsát ki. Ha $h \cdot f > W_i$, akkor ionozás. Ha $W_a > 1/2 \cdot m \cdot v^2$, akkor abszorpció. Az oxigén ragadozó molekula, mert a szabadon csámborgó elektronokat elnyeli.

14-15 eV energia szükséges a levegő ionozásához. A szabad levegőben szabad elektron gyakorlatilag nincs, mert elnyelődnek. A fotonok leginkább a Napból jönnek, UV sugárzás formájában, ami ionozni tudja a levegő gázait. Csak 5 v. 6 ionozás/sec*cm³, vagyis az ionok az oxigén zsákmányává lesznek. Ionok rekombinációja esetén két semleges molekula jön létre. Szabad levegőben 500-600 ionpár/cm³ nyugodt körülmények között. (10000-re is felmehet zivatarban)

8. Milyen törvényszerűségei vannak az ütközési ionozásnak? Hogyan fejlődik ki az elektronlavina?



$W_e = \int F dx = q_e (U_x - U_0)$ Ennyi energiát szed össze az elektron az erőteréből.

Ha nem elég az energia, akkor **Lepattanás** jön létre. (1-es ábra) $W = q_e E_x$

Gerjesztés: $W_g > W_g = q_e \cdot U_g$ – gerjesztési potenciál

Ionozás: $W_i > W_i = q_e \cdot U_i$ – még egy elektron kiszabadul. Az ütközés útján létrehozott ionok az átütési folyamat alapjelensége. Az elektronok száma az út

mentén exponenciálisan nő az ütközési ionozás következtében. Townsend-féle lavinatörvény (elektronok száma): $n(x) = n(0) e^{\alpha x}$. A lavina megnöveli maga előtt a télerősséget, ezáltal önmagát gyorsító folyamat. 30kV/cm télerősség kell a lavinához, az ütközési ionozáshoz. A lavina sebessége 1-2*10⁷cm/sec.

9. Milyen tulajdonságok jellemzik a pamatos és a csatornakisülést?

Nagyenergiájú fotonok haladnak előre (sokkal gyorsabban, mint a lavina), és ionozást hoznak létre a lavina előtt, így szabad elektronok jönnek létre a nagy télerősségű részben a lavina előtt. Másodlagos lavinák alakulnak ki. Ionozott csatorna jön létre, és ezen a fonalon rengeteg töltéshordozó van. Fonalszerű kisülés valósul meg, amit pamatos kisülésnek nevezünk. A pamatos jelentése vékony, finom szálakból álló.

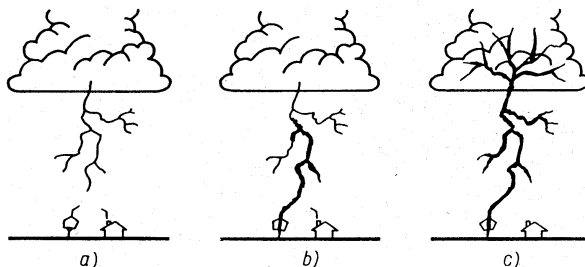
Ha az áram a határt túllépte, akkor hőionozás van fotonionozás helyett. A kisülés vezet, ennek következtében rövidebbre zár, és leesik a télerő a pamatos kisülés során. Mivel itt már alacsonyabb a télerő, ezért nincs elektron-ütközés. A pamat ugrásszerűen csatornává alakul. A csatorna nem folyamatosan halad, sebessége 10*lavina sebessége. Lavina hossza mm-es nagyságrendű, a pamaté 2-3 cm, a csatornaé kb. 10 m. n*10 m felett már azonban nem így működik a dolog. Lavina – pamatos kisülés – csatorna kisülés.

10. Hogyan indul meg a villám előkísülése a felhő belsejében?

A zivatarfelhőben levő vízcseppek eltorzulnak az elektromos erőter hatására. Az elektromos mező szétválasztja az ellentétes töltéseket az esőcseppekben. A cseppek kihegyesednek, és belőlük koronakisülések indulnak, amik végül pamatos kisüléssé alakulnak. A keletkező hőtől a cseppek elpárolognak, a keletkező kisülések összeérnek, és viszonylag hosszabb előkísülést alkotnak, így indul meg a villám előkísülése.

11. Hogyan fejlődik ki egy villámcsapás lefelé haladó előkísülésből? Hogyan jelenik meg ez Boys-féle felvételen?

A felhőből kilépő előkísülés a föld felé közelít zégzugos pályán, miközben többször elágazik. A földfelszín közelébe érve a tárgyakból vagy a talajból ellenkísülések indulnak vele szemben felfelé. Mikor az egyik ellenkísülés találkozik az előkísüléssel, összefüggő csatorna alakul ki a felhő és a föld között. Ezen az ionozott csatornán alulról felfelé megindul a gyors, fényes villám főkísülése. Ha az előkísülés a föld közelében ágazik el, minden ágon kialakulhat főkísülés, ekkor elágazó becsapás jön létre.

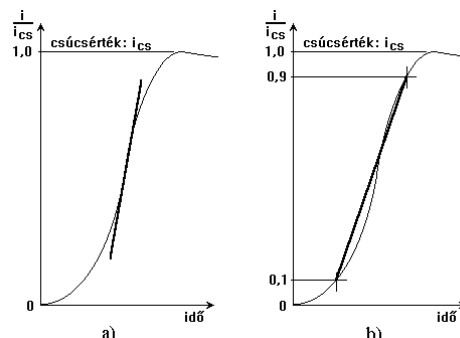


Magas tornyokon és hegytetőkön előfordul, hogy az előkísülés nem a felhőből indul meg, hanem egy torony csúcsából vagy egy hegytetőn álló tárgyból. Ezt az idézi elő, hogy a kiemelkedő ponton a felhőben levő töltések önmagukban is olyan nagy télerősséget hoznak létre, ami már elegendő a kisülés megindításához. Az ilyen előkísüléséből fejlődő villámcsapást nemcsak futó filmre készített Boys-féle felvételen, hanem álló fényképen is meg lehet különböztetni a lefelé csapó villámtól. A villám nemcsak a felhő és a föld között, hanem a felhőn belül, két töltésgóc között is kialakulhat. A mérsékelt égövben az összes villámnak 30...40 %-a csap a földre, tehát gyakoribbak a felhők közötti villámok. Északi területeken, pl. Skandináviában nagyobb a lecsapó villámok aránya.

12. Melyek a pozitív és a negatív villámok lefolyásának és áramhullámának jellegzetességei?

A földre lecsapó villámokat pozitív vagy negatív villámnak nevezik, attól függően, hogy milyen polaritású töltésgócot sütnek ki a felhőben. A kétféle polaritású villám között a lényeges fizikai tulajdonságokban is nagy különbségek vannak, amint pl. a többszörös villámokkal kapcsolatban már láttuk, hogy a negatív villámokra a több egymást követő részvillám, a pozitívokra viszont egyetlen főkísülés jellemző. Áram csúcsérték a becsapási pontban: $+>-$, becsapási pontban kiegyenlítődő töltés: $+>-$, az áramhullám homlokán fellépő árammeredekség: $+<-$, fajlagos energia: $+>>-$. $Th+ >> Th-$. Az áramhullámnak fontos jellemzője a kezdeti felfutó szakaszon, vagyis a hullám homlokán fellépő árammeredekség, amit kA/ μ s mértékegységben fejezünk ki. Áramhullám homlokának legnagyobb/átlagos meredeksége

Az áramhullám csúcsértékének eléréséig eltelt idő, a hullám homlokideje, mely pozitív villámok esetén a leghosszabb. Lényegesen rövidebb ideig tart viszont az ismételt negatív részvillámok gyors felfutása. A pozitív villámok fajlagos energiája lényegesen nagyobb, mint a negatívoké.



13. Milyen tulajdonságokat figyeltek meg a gömbvillámoknál?

Általában izzó, vöröses színűk van (ekkor $d=5-50$ cm), de akár zöldék is lehetnek. Nagyobb méret esetén ($d=100-150$ cm) kékes, lilás és ködszerűek. Általában vízszintesen mozognak. A sebességük emberi nagyságrendű. Hőhatás szempontjából vizsgálva őket nincs hőhatásuk, legfeljebb enyhe pörkölődés. Élettartamuk változó, maximálisan kb. 10 sec.

Kialakulása: - összehúzó áramvonalak

- rezonancia-elmélet: magas frekvenciájú elektromágneses erőkterek rezonanciába lépnek egy plazmagömbbel. A magas frekvencia GHz körüli ($\lambda=30$ cm). A baj, hogy ilyen hullámokat még nem sikerült kimutatni a zivatarban. Másik probléma, hogy akkor a radarok előtt is tömegével keletkeznének gömbvillámok.

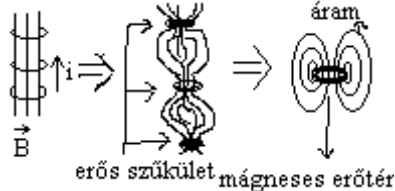
Normális villám utólagos hatásának vélik (forró plazma), és az esetek egy részében forgásba jön. A megfigyelések nagy része zivataros időben történik, úgyhogy valószínűleg van köztük egymáshoz. Megszűnése: - felrobban, elpukkan: általában nem látják, sárgás, szúrós szagú gáz marad utána

14. Mi a gömbvillám energetikai problémája és magyarázatának kétféle megközelítése?

Plazmagömb: legkisebb a felület a térfogathoz képest a gömbben.

Kétféle megközelítés a sugárzott energia forrása szerint: külső táplálás: kívülről megy bele energia, Kapica rezonancia elmélete, $\lambda=30\text{cm}$, $f=1\text{GHz}$, belső tárolás: belülről jön, Wien-törvény: $P(\text{rad})=c \cdot T^4$, Neugebauer Tibor kvantummechanikai elmélete – egyensúly áll be $T=600\text{--}800\text{K}$ környékén.

15. Hogyan magyarázza a gömbvillámot a mágneses örvény elmélet?



erős szűkület mágneses erőter

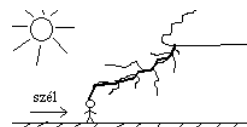
Először rendes villám létrehozza a kisülési csatornáját. Ennek a mentén erős szűkület jönnek létre. Az erős szűkület mentén elszakad, mivel itt erős hő, és fotonionizáció van. A plazmatömeg életre kel. A mágneses erőter húzza össze a rendszert. Az elsugárzás következtében a plazma elkezd hűlni, az áram csökken. Lenz-törvény. A mágneses indukció visszafogja az áramcsökkenést, és a mágneses energia átadódik a plazmának. Ez azonban nem magyarázza meg, hogy jön létre

gömbvillám, ha rendes villám előzőleg nem hozott létre plazmát. A mágneses erőter zárt.

16. Hogyan keletkezik a gyöngysorvillám és jön létre a derült égből lecsapó villám?

Gyöngysorvillám: Valószínűleg felhők közötti villámokból jön létre. Ahol az előkísülés a szökellések után megáll, ott töltés halmozódik fel, és a főkísülés plazmagömböket hoz létre ezeken a helyeken. A főkísülés árama ne legyen túl nagy, mert a gyöngyök elmosódnak.

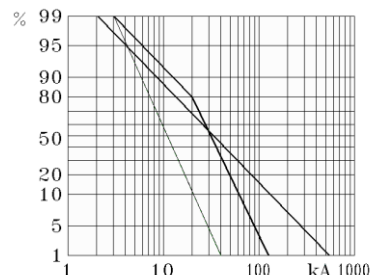
Derült égből lecsapó villám: A villámok útja nem függőleges egyenes, ezért megtörténhet, hogy a jóval távolabb lévő felhőből kiinduló előkísülés napfényes területen indít meg ellenkísülést.



17. Hol keletkeznek felfelé haladó villámok, és hogyan lehet őket a villámpálya alapján megkülönböztetni a lefelé csapó villámtól? Felfelé haladó villámok leginkább magas tornyokról és hegytetőkről indulnak. Ekkor az előkísülés nem a felhőből, hanem a toronyból indul. Ezekre a villámokra jellemző, hogy felfelé ágaznak el, ugyanis a villámpálya elágazásai mindig a haladás irányába mutatnak. Tehát kiemelkedő pontokon jellemző a felfelé induló villámok, sőt 400-500m magas tornyokból is a villámok nagyobb része felfelé indul. 100m-nél alacsonyabb tárgyakon nem figyeltek meg még ilyen villámokat. Rajz: toronyról felfelé elágazó villám belemegy a felhőbe

18. Milyen a villámáram és más paraméterek gyakorisági eloszlása? Milyen statisztikai eloszlási függvénnyel írható le? A villámcsapás egyik legjellemzőbb fizikai tulajdonsága az áramhullám csúcsértéke a becsapási pontban, amit röviden villámáramnak neveznek. Az 50% gyakorisággal előforduló mediánérték azt jelenti, hogy minden második villám árama ennél kisebb. A villám káros hatásai szempontjából a ritkán előforduló nagy villámáramok fontosak. A pozitív villámok mediánértéke nagyobb, mint a negatív villámok első áramhullámáé. A negatív villámok későbbi részszökelléseinek a mediánértéke lényegesen kisebb az első áramhulláméénál. A villámcsapás másik jellemzője a becsapási ponton kiegyenlítő töltés. Az adatokból látható, hogy pozitív villámok esetén a kiegyenlítő töltés minden tekintetben nagyobb, mint negatív villámok esetén. Az áramhullámnak fontos jellemzője a kezdeti felfutó szakaszon, vagyis a hullám

homlokán fellépő árammeredekség, amit $\text{kA}/\mu\text{s}$ mértékegységben fejezzük ki. A legnagyobb meredekségek a negatív villámok későbbi részvillámjai alkalmával keletkeznek, ezért az átlagértékek ezekre a részvillámokra vonatkoznak. A pozitív villámok meredeksége általában olyan kicsi, hogy káros hatásaival egyáltalán nem számolnak. Az áramhullám csúcsértékének eléréséig eltelt idő, a hullám homokideje. Az adatok szerint ez a pozitív villámok esetén a leghosszabb. Lényegesen rövidebb ideig tart viszont az ismételt negatív részvillámok gyors felfutása. A villámcsapás káros hatásai közül több a fajlagos energiától függ. A pozitív villámok fajlagos energiája lényegesen nagyobb, mint a negatívoké.



19. Milyen szerepe van a becsapási pont meghatározásában az ellenkísülésnek? Mi az orientációs pont?

Az előkísülés még nem tudja, hova fog becsapni a villám. A villám eljut egy olyan pontra, hogy a földi tárgyon kifejlődő télerősség el tud vele szembe indítani egy ellenkísülést. Ezen a ponton dől el, hogy a villám merre megy tovább. Ezt a pontot orientációs pontnak nevezik. Innen tart a becsapódási pont felé. Orientációs távolság függ attól, hogy a villám előkísülési csatornája mennyi töltést hozott a felhőből. Ez határozza meg a villámáramot is.

20. Hogyan függ az orientációs távolság a villámáramtól? Milyen fizikai folyamatokra vezethető vissza ez az összefüggés?

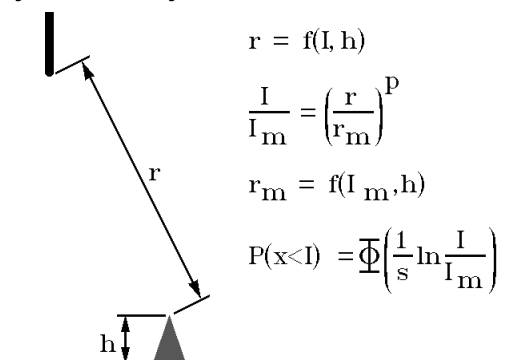
r – tényleges orientációs pont (távolság)

I/I_m – villámáram csúcs/medián értéke

r_m – orientációs távolság medián értéke

p – megválasztott érték (1.2 ... 2 között)

$P(x)$ -es képlet: annak a valószínűsége, hogy a villámáram aktuális értéke kisebb mint I , lognormált eloszlás



$$r = f(I, h)$$

$$\frac{I}{I_m} = \left(\frac{r}{r_m} \right)^p$$

$$r_m = f(I_m, h)$$

$$P(x < I) = \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{I}{I_m} \right)$$

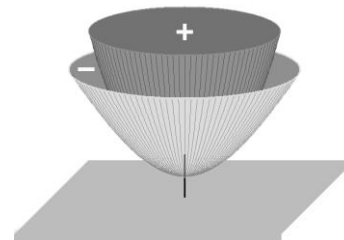
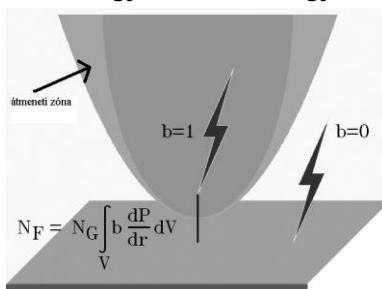
21. Mit jelent a védett tér és milyen megfigyelések okoznak ellentmondást? Milyen módszereket használnak a szerkesztésére?

A villámelffogó miatt kialakul egy térrész, melybe elvileg nem csap bele villám. Ezek ellenére regisztráltak már olyan villámot, ami a hártó ellenére is becsapott az épületekbe. Tipikusan pozitív villám.

Védett tér szerkesztése: védőszög módszer, körlapos módszer, gördülő gömb módszer.

22. Mit jelent egy földi tárgy vonzási tere? Hogyan alakul ez egyedülálló rúd esetén pozitív és negatív villámra?

földi tárgy vonzási tere: az a térrész, ahonnan a villám $b=1$ valószínűségi csap a földi tárgyba. Ekkor a vonzási tér:



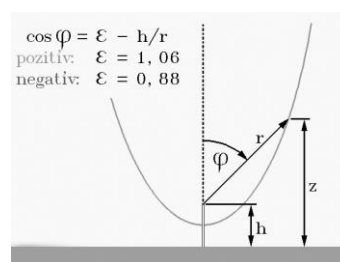
23. Milyen függvénnyel lehet leírni egy pontszerű felfogó és a sík föld vonzási terének határoló görbáját? Hogyan lehet figyelembe venni a villám polaritását?

Polaritás hatása általában akkor érvényesül, ha villámok kis lekerekítésű földelt tárgy és sík között kell választani. Ilyenkor a vonzási tér határfelülete az egyenlő távolságra lévő pontoktól távolodik. A kis lekerekítésű tárgy vonzási tere pozitív villámokra szűkebb, negatív villámokra tágabb.

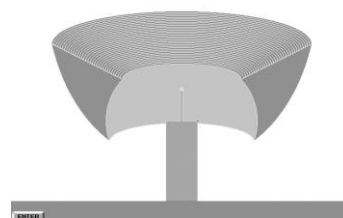
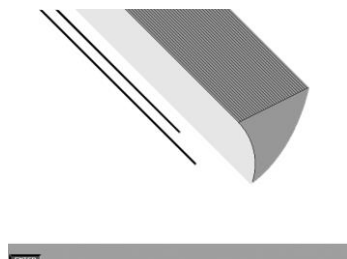
$\epsilon = 1$ parabola

$\epsilon < 1$ hiperbola

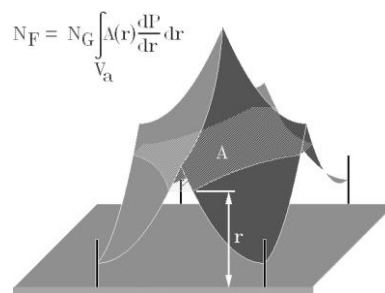
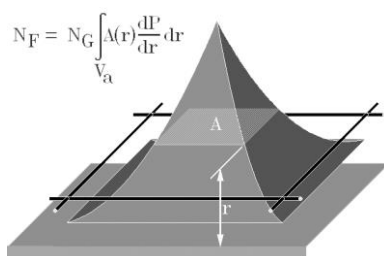
$\epsilon > 1$ ellipszis



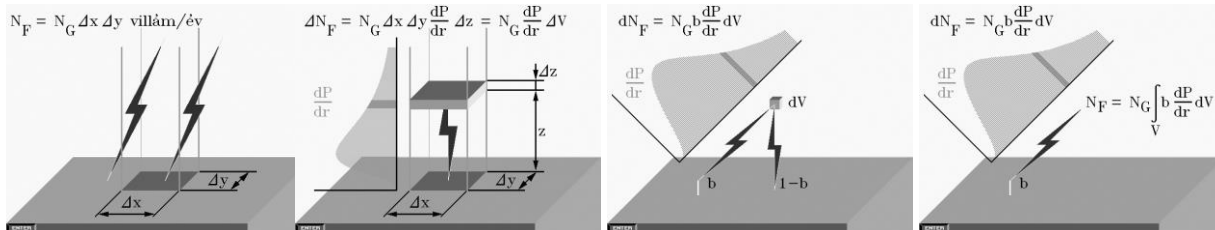
24. Milyen a vonzási tere egy távvezeték védendő áramvezetőjének és egy felfogórúddal védett kerek toronynak?



25. Milyen a lapos tető vonzási tere négyzetes elrendezésű felfogóháló illetve felfogórudak esetén? Milyen a vonzási tér vízszintes metszete?



26. Milyen elvi összefüggéssel lehet a becsapási valószínűséget kiszámítani? Mi a dimenziója?



Becsapási valsz: 1. mekkora gyakorisággal várható becsapás ezen a felület elemen(rajz1), 2. térfogatelem kijelölése(rajz2), 3. differenciáló kis méretű térfogatelemre áttérve, egy adott ponthoz képest hogy alakul a becsapás, ha ezen belül van az orientációs pont-többféle becsapás lehet, mekkora valószínűséggel esik az orientációs pont ebbe a térfogatelembe(rajz3), az egész térfogatra, összegezzük az összes térfogatelemre vonatkozó értéket(rajz4), plusz becsapási gyakoriság:rúdfelfogóra

27. Mivel jellemezhető a villámcsapásnak és következményeinek kockázata? Milyen összetevői vannak?

A villámcsapás elkerülése lehetetlen, ezt csak csökkenteni tudjuk, ezért teljes biztonságot nem tudunk elérni. Ezeknél a becsapódásoknál gyakran kár is keletkezik. Kár keletkezésének valószínűsége a kockázat. A kockázatot meghatározó első tényező annak valószínűsége, hogy az épületet villámcsapás éri. Ezt a valószínűséget a helyre jellemző villámsűrűségből, geometriai elrendezésből, terepviszonyokból számítjuk. De ez nem fejez még ki kockázatot, hisz más egy nád vagy cseréptetős ház kára villámcsapáskor. Becsapások várható értéke: $N_F = N_V + N_E$ (villámhárító és épület), N_V – villámhárítóba becsapás, N_E – épületbe becsapás. Ebből $p_i N_V$ illetve $p_i N_E$ sérülést okozhat. A következmény mértéke: c_j = okozott kár/teljes kár

Teljes kár súlyozott gyakorisága: $D = w_E N_E + w_V N_V + a w_T N_G$ [kár/év]

Teljes kár várható periódusa: $T = 1/D$ [év/kár], Súlyozott kár bekövetkezése: $R(t) = 1 - e^{-t/T}$

Elfogadható kockázat: $R(100\text{év}) < 0.001$

28. Mi az egyenértékű terület és hogyan lehet egyszerű módszerrel meghatározni?

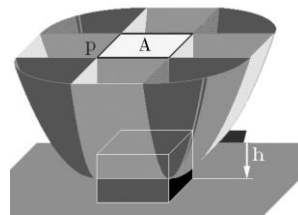
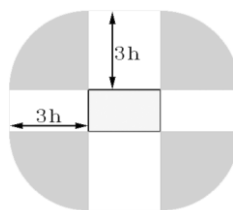
Az a sík terület, amit évente ugyanannyi villámcsapás ér, mint a bizonyos építményünket.

Egy tárgyba becsapási gyakoriság: $N_F = N_G * A_{eq}$ [villám/év],

ahol A_{eq} az ekvivalens terület, és N_G a területi villámsűrűség. Az ekvivalens terület kiszámítása:

$A_{eq} = A + C_1 * p * h + C_2 * h^2$ [m²], C_1 és C_2 nem lineáris függvénye h -nak, p a kerület értéke, h pedig a tárgy magassága. A $3h$ érték a szabvány előírása.

$A_{eq} = A + 3 * p * h + 9 * \pi * h^2$ [m²]



29. Milyen műszaki-fizikai szempontokat vesz figyelembe a magyar szabvány az épületek csoportokba való sorolásakor?

A villámvédelem szükséges fokozatának meghatározása az épület besorolásán alapul, mert ez fejezi ki a villámcsapás által okozott veszély nagyságát. A villámvédelmi csoportok helyes megállapítása ezért döntő jelentőségű a felülvizsgálatot végző szakember munkájában, hiszen ez képezi a meglévő villámhárító bíralatának és minősítésének alapját. Az épületben villámcsapás következtében keletkező kár és veszély különböző tényezőktől függ, mint pl. az épület belsejében levő anyagok tűzveszélyessége, vagy a veszélybe kerülő emberek száma, ill. az épület tetejének és falainak a tűzveszélyessége. Ezt a magyar villámvédelmi előírások úgy veszik figyelembe, hogy az épületeket különböző szempontok szerint villámvédelmi csoportokba sorolják. A csoportosítás szempontját a veszélyesség forrása és jellege határozza meg, ezen belül pedig a veszélyesség mértékének fokozódása határozza meg a növekvő sorrendet. Besorolási szempontok: 1. rendeltetés szerint(R1..R5), 2. magasság és környezeti hatások, 3. földréteg hatása szerint, 4. tető és fal anyaga szerint(nem éghető, nem fém, fém, éghető nemfém, stb), egyéb: levegő szennyezettsége szerint, belső villámvédelem alapján.

30. Milyen környezeti hatások és hogyan befolyásolják az épületek besorolását magasság és környezet szerint?

Az épületek magasság szerinti csoportosítása az épület vagy építmény saját magasságán kívül figyelembe veszi a környezetben levő épületek és egyéb tárgyak magasságát és a környezetnek a villámcsapási veszélyt növelő vagy csökkentő hatásait is. A villámvédelmi besorolás szempontjából az épület magassága (a jele: **M**) az épület, ill. építmény legmagasabb pontjának az alaprajzi körvonal mentén lévő legmélyebb terepszinttől mért magassága. A terepszintre vonatkozó meghatározás olyan lejtős helyen szükséges, ahol az épület az egyik oldalról lényegesen (pl. egy emelettel) magasabb, mint a másiktól. Az épületen a tetőfelület magasságát legfeljebb 5 m-rel meghaladó magasságú kiemelkedő épületrészeket vagy tárgyakat nem kell figyelembe venni, hanem a tetőfelület (gerinc) magasságát kell az épület magasságának tekinteni. Az épületen lévő villámhárítót, illetve a villámvédelem céljára felhasznált, de egyébként az épülethez tartozó, kiemelkedő fémtárgyat akkor sem kell számításba venni, ha magassága több, mint 5 m-rel meghaladja a tető magasságát. A magas környezet csökkenti a becsapási veszélyt, ezért az épület magasság szerinti besorolásakor ezt figyelembe lehet venni. A magas környezet hatásával akkor lehet számolni, ha 20 m távolságon belül legalább két oldalról olyan épületek vagy tárgyak vannak, amelyeknek magassága legfeljebb 2 m-rel kisebb, vagy a terep-szint emelkedik az épület magasságával azonos szintre. A fák környezeti hatása nagyon eltérő lehet. Ha magas fák állnak közvetlenül az épület mellett, az őket érő villámcsapás könnyen átugrik az épületre és így a kiemelkedő fák növelik a becsapási veszélyt. Ugyanez az eset következik be, ha az épület mellett az általános koronaszintből kiemelkedő magas fa áll. Abban az esetben azonban, ha az épületet magasabb, de kiemelkedő fát nem tartalmazó erdő veszi körül, a becsapási veszélyt csökkentő környezeti hatással lehet számolni. A becsapási veszélyt fokozó környezet hatásával kell viszont számolni olyan épületnél, ill. építménynél, amely hegytetőn önmagában áll; száraz, sík területen, vízfolyástól 10 m-nél kisebb távolságban van és magassága legalább 10 m; síkságon 100 m-es körzeten belül magában áll és magassága meghaladja a 10 m-t; olyan területen áll, ahol a talajvíz átlagos szintje 1 m-nél közelebb van a terepszinthez és magassága legalább 10 m. Ha az előbb felsorolt körülmények magas környezetben álló épületekre vonatkoznak, akkor a becsapási veszélyt fokozó környezeti hatással nem kell számolni, viszont a magas környezet kedvező hatása figyelembe vehető. Az erdőben vagy magas sziklák között hegytetőn álló épületekre pl. a magas környezet hatását kell csak számításba venni.

31. Mit kell figyelembe venni a tető villámvédelmi besorolásakor? Milyen anyagok együttes használata idézi elő a legnagyobb veszélyt és miért?

A szabvány értelmében besorolásnál a külső légtérrel közvetlenül érintkező *héjazat anyagát*, valamint az alatta levő *tetőszerkezet anyagát* kell figyelembe venni. Ehhez azonban meg kell ismernünk az *éghetőségi csoportokat*. Éghetőség szempontjából az építőanyagokat a szabvány szerint a következő éghetőségi csoportokba sorolhatjuk: nem éghető, éghető. Az éghető anyagok további három csoportra bonthatók, mégpedig: nehezen éghető, közepesen éghető, könnyen éghető. A szabvány azt az esetet minősíti a legveszélyesebbnek, amikor a tetőzetet összefüggő fémrészek és éghető (közepesen vagy könnyen éghető) anyagok olyan kombinációja alkotja, amelynél a villám - esetleg a vékony fémet átolvasztva - képes meggyújtani az éghető anyagot. Ilyen esetben ugyanis az összefüggő fém szerkezet mintegy magához vonzza a villámot és a közvetlenül mellette (vagy alatta) lévő anyag meggyullad.

32. Melyek az épületek villámhárító berendezésének fő részei? Mit jelent a belső villámvédelem?

Az épületek villámhárító berendezése, feladatát tekintve, három, jól elválasztható részből áll.

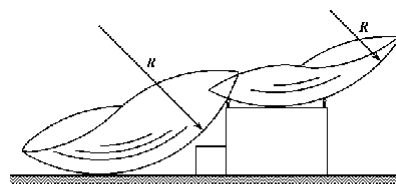
A **felfogó** a védendő épület tetején van és feladata az, hogy a villámcsapást magához vonzza, és ezáltal megóvjaa az épületet a közvetlen villámcsapástól. A fémből készült felfogóból az épülethez közeledő előkisülés felfelé haladó ellenkisülést indít meg, és ha ez megelőzi a védendő épületből esetleg meginduló további ellenkisüléseket, a főkisülés a felfogóból fog kiindulni. A felfogónak ezért a védendő épületnél jobban vezető anyagból kell készülnie, vagy föléje kell emelkednie. A **levezető** feladata az, hogy a felfogót érő villámcsapást levezesse a földelőhöz anélkül, hogy az közben kárt okozna. Levezetés közben a villámáram hőhatása okozhatna kárt a levezetővel közvetlenül érintkező, könnyen gyulladó anyagokban. A megfelelő keresztmetszetű vezető felmelegedése azonban olyan kicsi, hogy közvetlen érintkezés esetén sem okoz tüzet. A villámáram dinamikus erőhatása elszakíthatja a levezetőt, de sérülést okozhat az épületben is. A **földelés** feladata az, hogy a villámáramot kár okozása nélkül szétossza a földben. A talajon belül kevés kárt okozhat a villámcsapás, de ott, ahol a villámáram sűrűsége megnő, áttűrés keletkezik, és ennek lehetnek káros következményei, pl. a betonlapokra. A földelőnek olyannak kell lennie, hogy a villámáram nagyobb része rajta keresztül folyék a földbe, nem pedig a talajjal érintkező egyéb fém szerkezeteken át. Az áramsűrűséget főleg azzal lehet csökkenteni, hogy a földelő nagy felületen érintkezik a talajjal.

A **külső villámvédelem**, amely a felfogót, a levezetőket és a földelést foglalja magába, kiküszöböli a villámcsapás által közvetlenül előidézett nagyobb károkat. A másodlagos hatások következtében azonban az épületen belül, különösen a villamos berendezésekben keletkezhetnek olyan kisülések és áttűrések, amelyek ezeket a berendezéseket üzemképtelenné teszik. A **belső villámvédelem** az ilyen másodlagos hatásból eredő károk ellen véd. Feladata kettős: egyrészt csökkenti a másodlagos hatások következtében keletkező feszültséget, másrészt a mégis bejutott túlfeszültségeket kár okozása nélkül levezeti, és ezáltal megvédi a berendezés érzékeny és értékesebb részeit.

33. Milyen geometriai módszereket ad meg a magyar szabvány a villámhárító felfogók elrendezésének szerkesztésére?

A felfogórendszer a felfogók olyan rendszere, amelynél

- nem lehet egy R sugarú képzeletbeli gömböt a védendő felülettel érintkezésbe hozni a felfogók érintése nélkül;
- nem lehet a védendő felületre egy d átmérőjű körlapot ráhelyezni a felfogók érintése nélkül;
- az épület (legfeljebb 40 m magasságban lévő) bármely pontjától a felfogóhoz húzott egyenesnek a függőlegeshez viszonyított hajlásszöge (az α védőszög) 45° -nál kisebb.

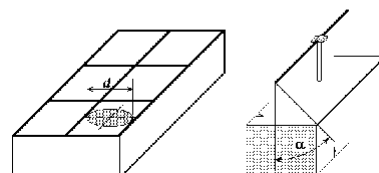


V3 fokozat esetén: $R = 100$ m, $d = 20$ m, $\alpha = 45^\circ$. V4 fokozat esetén: $R = 80$ m, $d = 15$ m, $\alpha = 30^\circ$.

Módszerek: 1. védőszög módszer: az épület bármely pontjától a felfogóhoz húzott egyenesnek a függőleges viszonyított hajlásszöge $< 45^\circ$

2. gördülő gömb módszer: nem lehet egy R sugarú képzeletbeli gömböt

a védendő felülettel érintkezésbe hozni a felfogók érintése nélkül. 3. körlapos módszer: nem lehet a védendő felületre egy d átmérőjű körlapot ráhelyezni a felfogók érintése nélkül.



34. Mit jelent a felfogó V3a...V3c, V4a...V4c fokozata?

A felfogó fokozatát a **V** betű, az általános elrendezést jellemző (**0...5**) szám és az épülethez viszonyított helyzetet jellemző (**o, a...d**) betű jelöli.

A **V3** fokozatú normál felfogórendszer az $R=100$ m sugarú gördülő gömbbel, $d=20$ m átmérőjű körlappal, vagy $\alpha=45^\circ$ védőszöggel szerkeszthető meg. A **V4** fokozatú biztonsági felfogórendszerénél $R=80$ m, $\alpha=30^\circ$, $d=15$ m.

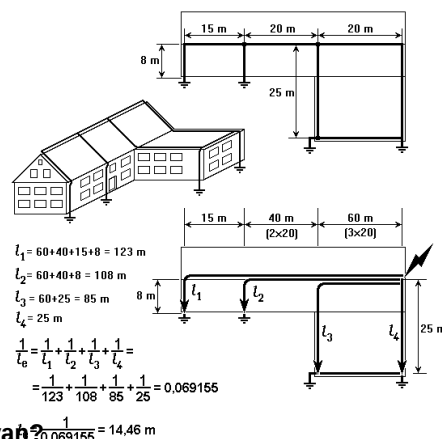
A felfogónak az épülethez viszonyított helyzetét a következő általános követelmények jellemzik:

- a nem éghető tetőhéjazat, nem éghető tetőszerkezet, hő hatására meggyulladhat a tető, felfogó védendő felületen van, távolság 0...15 cm között
- b A felfogóvezetők, valamint a felfogórendszeren feltételezhető becsapási pontok távolsága a védendő felülettől mindenütt nagyobb mint 0,15 m, nem éghető tetőhéjazat, éghető tetőszerkezet, hőhatás + izzó fémdarabok
- c A felfogóvezetők és az épület között mindenütt legalább 0,5 m távolság van, éghető tetőhéjazat, a becsapáskor esetleges keletkező izzó fémdarabok ne gyűjtsék meg a tetőt.

35. Milyen műszaki-fizikai szempontok határozzák meg a levezetők számát és elrendezését? Hogyan valósul ez meg a szabványos követelményekben?

A levezető általános elrendezésének fokozatai **L0...L5** sorrendben növekedő biztonságot fejeznek ki a lefutó villámáram másodlagos hatásaival szemben. **L0 fokozat:** sem természetes, sem mesterséges levezető nincs. Ez csak akkor fordulhat elő, ha semmilyen felfogó sincs, tehát az épületen nincs villámhárító. **L1 fokozat:** természetes levezetők rendszere, amely az épület falának fémalkatrészeiből áll, amelyek eredetileg nem villámvédelmi célra készültek vagy kerültek a helyükre. **L2 fokozat:** egyetlen levezető olyan helyen, ahol a felfogónak bármelyik pontjától a levezetőig mért áramút vízszintes vetülete a vezetők mentén 20 m-nél nem hosszabb. **L3 fokozat:** amely legalább két levezetőből áll olyan elrendezésben, hogy felfogó bármely pontjától a legközelebbi levezetőig a vezetők mentén az áramút vízszintes vetülete, vagy a levezetőkig mért (több) áramút vízszintes vetületének eredője legfeljebb 15 m. **L4 fokozat:** amely legalább két levezetőből áll, az **L3** fokozatnak megfelelő feltételekkel, de a leghosszabb áramútnak vagy az eredő áramútnak a vízszintes vetülete legfeljebb 10 m. **L5 fokozat:** amely az **L4** fokozatnak megfelelően elrendezett levezetőkől áll, de minden levezető felül (vízszintesen) össze van kötve egymással, a felfogóhoz való csatlakozástól legfeljebb 2 m távolságban. A 20 m-nél hosszabb levezetők közben is (vízszintesen) össze vannak kötve egymással úgy, hogy az összekötések között a levezető mentén mért távolság legfeljebb 20 m. A levezetők összekötő vezetői elhelyezhetők az épület külső falán, de lehetnek az földemekben is.

Fokozat	Lev. száma	Er.ár.út	Követelmény
L0	0	-	Csak V0-ra
L1	0	-	Term. Levezető
L2	1	-	Csak V2-re
L3	>2	<15	Csal. Ház, stb.
L4	>2	<10	Tűzveszély
L5	>2	<10	Összekötés



36. Hogyan lehet kiszámítani az áramutak eredő hosszát négy

levezető esetén, ha több párhuzamos áramútnak közös szakasza is van?

37. Mi a földelés szerepe a villámvédelemben? Milyen földelőtípusok vannak?

A földelés feladata az, hogy a villámáramot kár okozása nélkül szétossza a földben. Nagy áramsűrűség esetén átütés keletkezhet a talajban, és ez veszély forrása lehet. Tehát az áramsűrűség csökkentése a cél, ezért nagy felületen érintkezzen a földelő a talajjal. Földelés esetén a potenciálkiegyenlítésről gondoskodni kell, mert nem létezik független földelő. A **rúdföldelő** a faltól legalább 1 m távolságban a földbe függőlegesen lesüllyesztett, többnyire körkeresztmetszetű rúd, amelynek szilárdsági okokból legalább 20 mm az átmérője. A **vízszintes földelő** a fagyhatár alatt kb. 0,7...1,0 m mélységben, a falra merőlegesen a földbe fektetett vezető. A földelőt hullámosan is szokták vezetni, mert ezzel nagyobb lesz a talajjal érintkező felület. A hullámok hosszának legalább 3 m-nek kell lennie. A **lemezföldelő** többnyire négyszögletes lemezből készül, amelyet mindig függőlegesen kell elhelyezni, mert a vízszintes lemez alól a víz elhordja a talajt és csak az egyik oldala fog érintkezni a földdel. Az épület alapja mellett levő lemezföldelő síkjának a falra merőlegesnek kell lennie, mert különben nem lenne megfelelő hely az áram szétterjedésére. A **sugaras földelő** olyan vízszintes földelőkből áll, amelyek egy csatlakozási pontból sugarasan futnak szét a földben. Az egyes ágakból a földbe kilépő áramok zavarják egymás terjedését, ezért a sugarakat úgy kell elhelyezni, hogy 90° körüli szöget zárjanak be egymással és a falhoz is legalább 45° legyen. Ebből következik, hogy egyenes fal mellett kettő, saroknál legfeljebb három lehet a sugarak száma. A **keretföldelő** vagy **gyűrűföldelő** az épület alapját körülvevő, a fagyhatár alatt a földbe fektetett vízszintes vezetőkből áll. Mindig több helyen csatlakozik a villámhárító földfeletti részeihez úgy, hogy a villámáram legalább kétfelé ágazzék el. A faltól legalább 1 m távolságot kell tartani. A gyűrűföldelő elvileg köralakú, ezért csak ott lehet megvalósítani, ahol semmi sincs körülötte a földben, viszont az épület alapját körülvevő keretföldelőt is gyakran nevezik gyűrűföldelőnek vagy földelőgyűrűnek, noha nem köralakú.

38. Mi a földelési ellenállás és hogyan lehet mérni? Hogyan mérjük a talaj fajlagos ellenállását?

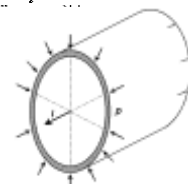
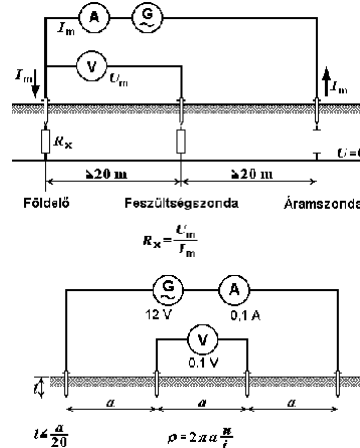
Földelési ellenállásnak nevezzük a földelőhöz való csatlakozás és a távoli, nulla potenciálúnak tekintett pont (ahol $U = 0$) közötti ellenállást. Ez a földelővezető ellenállásából és a földben szétfolyó áram útjába eső **szétterjedési ellenállásból** áll. A földelési ellenállásra a következő követelmények érvényesek: bármilyen földelő megfelel az előírt követelménynek, ha (eredő) földelési ellenállása legfeljebb 2Ω . Független, vagy vizsgáló összekötővel leválasztható egyedi földelő ill. földelő csoport esetén a földelési ellenállás: $r \leq 6\rho/(\sqrt{A})$. Összefüggő földelőrendszer esetén az eredő földelési ellenállás: $r \leq 3\rho/(\sqrt{A})$. (ahol ρ a talaj fajlagos térfogati ellenállása (Ωm), A az épület alapterülete (m^2).

A **földelési ellenállás mérése**. Mindkét esetben használható a volt/ámpér mérés elve, amikor külön műszerrel méri meg a földelőn folyó I_m áramot és a távoli nulla ponthoz viszonyítva rajta keletkező U_m feszültségemelkedést. A földelési ellenállás ezekből az Ohm-törvénnyel számítható ki. A helyi áramforrás, amelyet a kapcsolási rajzban a G generátor jelöl, váltakozó áramot hajt át a mérendő földelő, a föld és az áramszonda által alkotott áramkörön. A **talaj fajlagos ellenállásának mérése**: Szondákat verünk le egymástól kb. fél méterre. Két szélső szonda között árampálya van. Minél messzebbre tesszük a szondákat egymástól, az áram annál mélyebb rétegekig megy le. A talaj fajlagos ellenállása egy adott helyen is tág határok között változhat, többnyire az időjárás hatására, viszonylag ritkán, csak különleges esetekben szokták a talaj fajlagos ellenállását méréssel meghatározni. ($\rho = U/I * 1/2\pi$).

39. Milyen mechanikai erőhatások keletkeznek a levezetőben, ha villámáram folyik rajta és milyen rombolást idéznek elő?

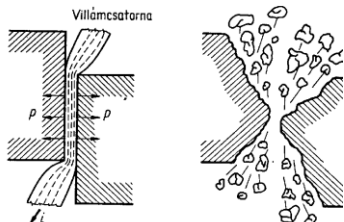
Rúd végébe csapó villám: Minden hurokban olyan erő jön létre, ami azt tágítani igyekszik. A villámcsatornában vagy $\frac{dF}{dx} = \frac{\mu_0}{4\pi} * i^2 \frac{1 - \cos\alpha}{\sin\alpha} * \frac{1}{x}$ valamilyen vezetőben folyó villámáram mágneses erőteret létesít maga körül, és ez erőt fejt ki minden olyan egyéb vezetőre, amelyben áram folyik.

Az egyenes szakaszokon nem keletkezik erőhatás, de iránytörésnél az egyik szakasz mágneses erőtere hat a másik szakaszban folyó áramra és ennek következtében ugyanannak a vezetőnek a két szakasza között is keletkezik erő. A bonyolult erőhatások közül két jellegzetes és gyakran előforduló példát lehet kiemelni: a párhuzamos és egyirányú áramszálak vonzzák, az ellenkező irányúak taszítják egymást, az áramhurkok mindig tágulni igyekeznek. A **párhuzamos áramszálak** miatt keletkező erő jellegzetes példája egy olyan cső, amelynek hosszában villámáram folyik. A cső két szemben álló alkotója mentén párhuzamos és egyirányú áramok vannak és a közöttük fellépő erő eredője a cső belseje felé irányuló nyomás lesz. Ilyen erőhatás terheli az esővizet levezető csatornacsöveket, ha villámáram folyik le rajtuk, ezért jellegzetes sérülés ezeknek az összeroppanása. Megfigyelték olyan eseteket is ahol a nagy áramerősségű villám erőhatása vastagfalú acélcsőből készült antennatartó rudat roppantott össze.



40. Mi a réshatás és milyen rombolást idéz elő?

A villám által érintett falakat és hasonló rideg anyagokat a *réshatás* következtében repesztí meg a villám. Ha a villám útja szűk résen vezet keresztül, a szűkületben megnő a gáznyomás, és ennek következtében a villámcsatornában keletkező feszültségcsúszás is. A szűkületre eső feszültség növekedése pedig megnöveli az ott felszabaduló energiát, amittől a nyomás még erősebben növekszik. Ennek az önmagát erősítő folyamatnak a következtében a rideg határoló falak megrepednek és a rés két végén az anyag az ábra szerint kráterszerűen kirobban. Az erő olyan nagy lehet, hogy erős falakat is megrepeszt és kimozdít a helyéről.



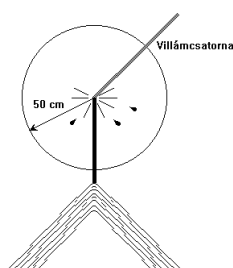
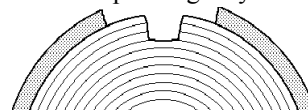
A villámcsatorna összehúzódásakor keletkező réshatás

a.) a keletkező nyomás iránya; b.) a rideg anyag jellegzetes, kráterszerű kirobbanása

A réshatás következtében jellegzetes sérülések keletkeznek a kőből vagy téglából falazott épületekben. A repedések itt többnyire az illesztési hézagokat követik és a mellettük levő kő vagy téglapereme kicsorbul.

41. Milyen jellegzetes nyomot hagy a villám élő fán, illetve fából készült szerkezeti elemeken?

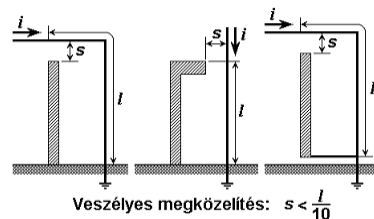
A dinamikus erőhatások közé tartozik az a repesztő, romboló hatás is, amit a villám nem vezető anyagokban pl. falakban, fákban hoz létre. Az erőt itt nem elektromágneses erőhatások, hanem lényegében hőhatás létesíti. Nedvességet is tartalmazó anyagokból a villám elpárologtatja a vizet, és a keletkező gőznyomás olyan nagy feszültséget hozhat létre, hogy az szétreped. Ez a jelenség játszik szerepet az előfák esetében, ahol a villám a fa nedvkeringésében legnagyobb arányban részt vevő, kéreg alatti rétegekben halad. Az itt képződő gőznyomás, a 3.6. ábrán látható módon, szélesebb sávban lehántja a fa kérgét, és a sáv közepén néhány cm széles és ugyanolyan mély, léchez hasonló darabot szakít ki a fa gesztjéből. Nagyobb villámáram a teljes törzset is megrepesztí, és a kéreg nagy részét lehántja. A belső gőznyomás feszítő erejétől esetleg ágak is letörnek vagy a fa törzse is eltörik. A szerkezeti faanyagokban szintén van víz, amit a villámáram elpárologtat és feszítő erőt hoz létre. E mellett a villamos erőter hatására megjelennek ún. elektrostriációs erők is, amelyek a cellulóz rostokat egy pillanatra összerántják és ennek következtében a fa rostos szerkezete fellazul. Már kis villámáram hatására is vékony szálkák emelkednek ki, és így a felület felborzolódik. Nagyobb áram esetén ezek egyre vastagabbak és akár 1 m körüli hosszúságúak is lehetnek, és végül az egész fa megreped vagy eltörik, a külső része pedig szilánkokra hasad szét. Ilyen sérülések gyakran keletkeznek a fából készült tetőszerkezetekben, vagy ajtó- és ablakkeretekben, továbbá a vezetékoszlopokon. A szilánkos, szálkás sérülés olyan jellegzetes nyom, aminek segítségével a villámcsapás helyét vagy akár a villámáram útját is fel lehet ismerni.



42. Milyen hőhatás keletkezik a villámhárító vezetőben a becsapási ponton és a villámáram levezetésekor? Melyik villámparamétertől függenek? A villámhárító erő villámcsapás esetén a becsapási ponton a fém megolvad és izzó fémcseppek repülnek szét. Röptükben ezek gyorsan lehűlnek, de 50 cm távolságon belül még számolni kell azzal, hogy éghető héjazatú tetőn tüzet okozhatnak. A becsapási ponton a forró villámcsatorna erős hőszugárzást is hoz létre, amely meggyúlthatja a könnyen gyulladó anyagból készült tetőt. Ilyen tetőnél ezért a becsapási pontot távol kell tartani a tetőfelülettől. A becsapási ponton keletkező hőhatás másik jellegzetes következménye a *villámhárító vezetők megolvadása* és ennek következtében szakadása. Ebben az esetben a hengeres vezető mintegy 50 mm hosszú darabja melegszik föl az

olvadáspontig. A villámáram nemcsak a becsapási ponton melegíti a fémeket, hanem hőt fejleszt azokban a vezetőkben (huzalokban, sodronyokban) is, amelyeken átfolyik. Ez a Joule-féle hő úgy melegíti föl a vezetőket, mint a lámpákban az izzószálat. Az így keletkező hőenergia a vezető ellenállásával arányos, ezért a villámáramok mérésakor meghatározzák az 1Ω ellenállásra eső energiát, és statisztikai adatok vannak ennek a fajlagos energiának az előfordulási gyakoriságára is. Mivel a vezető ellenállása az átmérőjének is függvénye, ki lehet számítani, hogy mekkora fajlagos villámenergia szükséges egy adott átmérőjű, kör keresztmetszetű vezető megolvasztásához. Fokozott hőtermelés van viszont a kötési helyeken, ahol a rossz érintkezés miatt az ellenállás jelentősen megnőhet. Az átfolyó villámáram hatására ezért legtöbbször ott keletkezik olvadás és szakadás. Ezért különösen fontos a villámhárító vezetőkben levő kötések, csatlakozók és szorítók állapotának ellenőrzése.

43. Mit jelent a veszélyes megközelítés? Mikor és hol kell összekötni a villámhárítóval az épületben levő összefüggő, függőleges fémtárgyakat? A veszélyes megközelítés a belső villámvédelem egyik alapvető fogalma, amely a szabvány szerint meghatározza, hogy hol kell másodlagos kisülés veszélyével számolni, mivel indukált vagy elektrosztatikus potenciálkülönbség lép fel. Indukált feszültség hatására keletkező másodlagos kisülés keletkezhet akkor, ha a villámhárító felfogó, levezető vagy velük fémesen összekötött fémtárgy és egy függőleges irányban nagy kiterjedésű földelt fémtárgy közötti megközelítési távolság kisebb, mint a megközelítési helytől a villámhárító vezetői mentén a földelésig terjedő áramút hosszának tizedrésze. Kapacitív töltéskiegyenlítés miatt keletkező másodlagos kisülés veszélyével kell számolni akkor, ha a villámhárító felfogó, levezető vagy velük fémesen összekötött tárgy a villámhárító felől nézve 1 m^2 -nél nagyobb felületű fémtárgyat 1 méternél kisebb távolságra közelít meg. A kétféle veszélyes megközelítés folytán keletkező áttűtés közül az indukált feszültségből eredő kisülésnek nagyobb az energiája, ezért veszélyesebb, mint a kapacitív hatásból eredő kisülésé. A veszélyes megközelítés helyén keletkező kisülés elhárításának leghatásosabb módja az, hogy fémesen összekötjük a villámhárítóval azokat a fémtárgyakat, fémrendszereket, amelyek között villámcsapás alkalmával másodlagos kisülés várható. Összefüggő csövezetéknek vagy egyéb fémtárgynak számít minden olyan fémrendszer, amelyben nincsenek 1 méternél hosszabb szigetelőszakaszok, illetve a 10 mm -nél hosszabb szigetelőszakaszokat az adott villámvédelmi fokozatra előírt keresztmetszetű vezetővel áthidalták. A legfelső szintről induló fémszerkezeteket mindkét végükön össze kell kötni a villámhárítóval, ha 5 méternél nagyobb távolságon több szinten át futnak lefelé. Abban az esetben, ha a függőleges fémszerkezet nem éri el a legfelső szintet, a hosszától függően, vagy mindkét végén össze kell kötni a villámhárítóval. Az összekötés szükségessége attól is függ, hogy a fémszerkezet mekkora távolságban van a villámhárítótól.



44. Milyen szabályok szerint kell összekötni a szigetelő közdarabokkal elválasztott függőleges fémtárgyakat?

Az épületekben függőleges fém szerkezetek vannak. A villámáram levezetésekor áttűtés keletkezhet a potenciálkülönbségek miatt, ezért ezeket egyenpotenciálra kell hozni.

Ha közdaraboknál van elválasztva, akkor ha kisebb 1 m -nél, akkor át kell hidalni, mert áttűtés lehet, ha nagyobb 1 m -nél, akkor legfelül és legalul elég. Mindnél van az adott ábra.

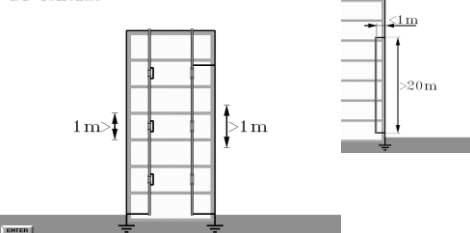
B1 és B2: 1 m -nél rövidebb szigetelőt át kell hidalni, 1 m -nél hosszabbat alsó és felső végét be kell kötni a villámhárítóba.

B3 és B4: Nem maradhat szabad potenciál fém szerkezet.

Az 1 m -nél hosszabb közdarabok esetén minden résznél be kell kötni a villámhárítóhoz.

B4: minden nagyobb fémtárgyat be kell kötni. (pl.: páncélszekrény)

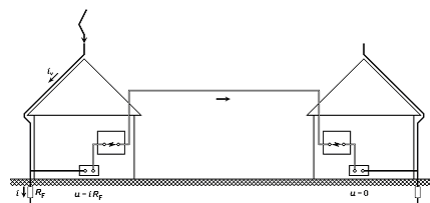
B1 fokozat



45. Milyen hatások következtében keletkezik túlfeszültség az épület belsejében villámcsapás alkalmával?

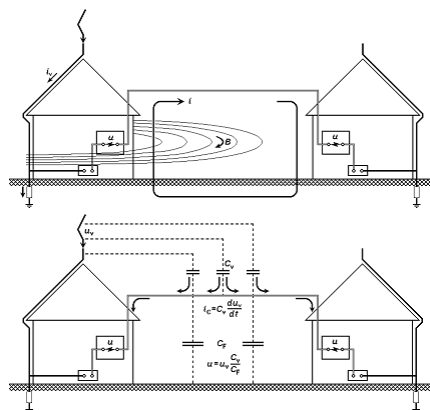
Vezetési csatolás úgy jön létre, hogy villámcsapáskor az egész épület potenciálja megemelkedik, és mivel az épület össze van kötve egy vezetékekkel a másik házhoz, ami jól földelt, zárlat keletkezik, mely az összekötő vezetéken keresztül átjut. EPH-Egyenpotenciálra hozó hálózat, van egy EPH sík, amely veszélytelen potenciálra tartja a dolgokat, mindent rá kell kötni, ami földpotenciálra lehet.

Hasonló feszültség keletkezik a villámsújtott épületben is, a távoli föld potenciálját behozó vezetők és a megemelkedett potenciálú helyi föld között. Ez a feszültség a készülékeken belül is megjelenik és tönkreteszti a szigetelésüket.



Induktív csatolás akkor keletkezik, ha villám csap be valahol a házhoz kívül, és a villámáram útja miatt mágneses erőteret keletkezik, ami a bejelölt hurkokban feszültséget indukál ($100-1000 \text{ V}$ -t).

Kapacitív csatolás akkor keletkezik, ha nem direkt becsapás esetén a villámcsatornában nagy feszültség van a földhöz képest, így a levegőn keresztül vannak kapacitások, $C_{\text{villám}}/C_{\text{föld}}$ arányban jön létre a feszültség $\Sigma C = C_{\text{villám}} \cdot dU_{\text{villám}}/dt$. A kapacitív csatolás veszélyessége sokkal kisebb, mint a vezetéki vagy az induktív csatolásé, ezért a védelem kialakításakor alig vesszük figyelembe.



46. Hogyan lehet kiszámítani a villámcsapás által létrehozott indukált feszültséget? Milyen árnyékolási hibák vezetnek az erőter behatolására?

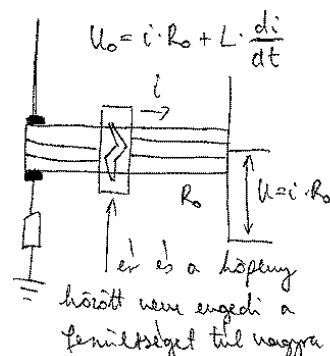
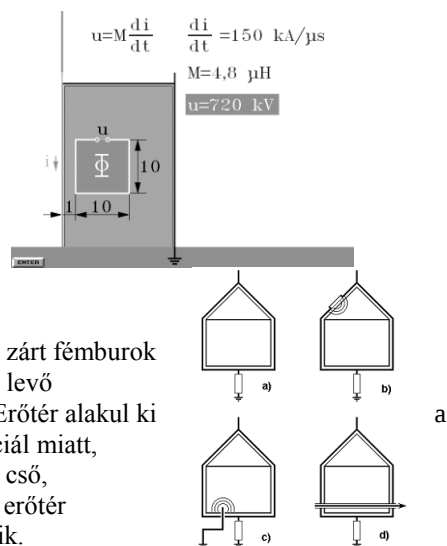
Indukált feszültség: kölcsönös induktivitás, és árammeredekség

szorzata, $U_0 = d\Phi/dt = M \cdot di/dt$

Az árnyékolás lényegében Faraday-féle kalitka, amelynek belsejébe a zárt fém burkok elvileg sem áramot, sem erőteret nem enged be. A zárt fém burkolaton levő nyílásokon, pl. a b) ábra szerinti ablakon azonban erőter hatolhat be. Erőter alakul ki c) ábrán látható szigetelten bevezetett vezető körül a távoli földpotenciál miatt, valamint ha a d) ábra szerint az árnyékolt téren átmenő vezetőben (pl. cső, összekötősín, kábelköpeny) villámáram folyik, és körülötte mágneses erőter keletkezik. Ezt a hiányosságot újabban Faraday-féle lyuknak is nevezik.

47. Mitől függ az árnyékolt kábel belsejében keletkező túlfeszültség?

A kábel árnyékolása földelve van, becsapást kap, a földelésen feszültség emelkedés történik, áram indul a kábelben ennek hatására, a feszültség ezen a hosszon csak a kábelköpeny ohmos ellenállásától függ.



48. Miért sérül meg különösen gyakran a telefax, a telefon üzenetrögzítő, a távközlési hálózatra kapcsolt számítógép és a kábelantennára csatlakozó televízió?

Villámcsapás estén a különféle vezetékes hálózatokban különböző potenciálok alakulnak ki, túlfeszültség keletkezik. Ez károsítja a hozzájuk csatlakozó elektronikus készülékeket. A túlfeszültség oka lehet a levezetőn és a földelési ellenálláson eső feszültség különbsége. Nem a jó földelés számít, hanem a kis potenciálkülönbség. Emellett még indukciós hurok is okozhat tönkremenetelt. Számítógépes hálózatoknál különösen veszélyes, mert két csatlakozása van. Ezeket nem lehet összekötni. Mindegyik készüléknek van energiaellátása, és valamilyen más vezeték (telefon, antenna, ...). Villám becsapásakor a különféle rendszerek vezetékai között potenciálkülönbség lép fel. Megelőzés szempontjából fontos, hogy a kábeleket, vezetékeket egy helyen vezessék be. A túlfeszültségvédelmeket külön-külön kell megvalósítani.

49. Miért fokozódik a másodlagos villámkárok gyakorisága a technikai fejlődés következtében? Hogyan függ ez a túlfeszültség hullám energiájától?

A régi csövek, készülékek sokkal nagyobb igénybevételt is elviseltek, szemben a mai technikával, ahol mV is számít, és maximum néhány volt túlfeszültséget bírnak ki. Egyre specifikáltabb, és egyre kisebb igénybevételt elviselő készülékeket gyártanak. A másodlagos átütés létrehozásához több ezer voltra van szükség, és a kisülés elég hosszú tüzet vagy robbanást is okozhat. Hasonló nagyságú energia kell az erősáramú villamos berendezések tönkretételéhez is. A korszerű berendezésekhez ennek az energiának $1/10^6$ része is elég.

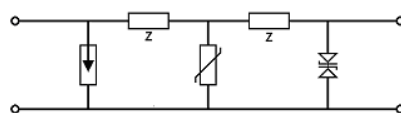
50. Mi az elektromágneses villámimpulzus elleni több-lépcsős védelem elve? Mi a szerepe a soros impedanciáknak illetve a közbeeső vezetékszakaszok hosszának?

Másodlagos hatások miatt, gondos tervezés ellenére is kialakulhatnak túlfeszültségek (kV), és nagy áramok (kA). Ezt korlátozni kell V és mA nagyságra. Erre egyetlen védőeszköz sem képes, ezért többlépcsős védelmet alkalmazunk. Ezen védelem eszközei: szikraköz, varisztor, dióda.

A többlépcsős túlfeszültség védelem fontos része a két impedancia, amelyet általában a két vezetők közti vezeték impedanciája biztosít.

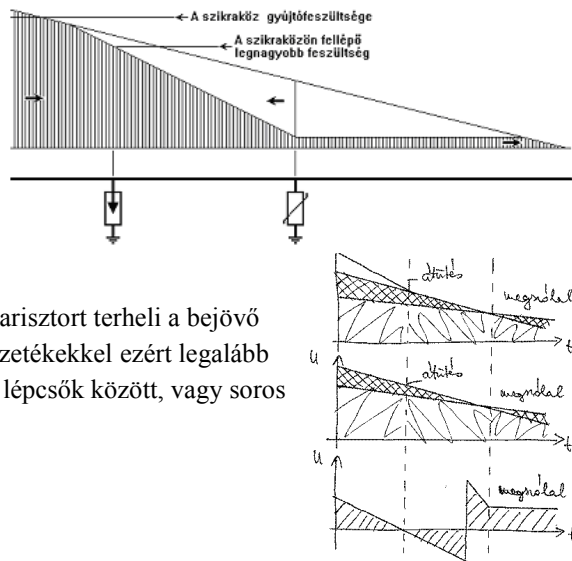
Ha ez nem létezik, akkor az impedanciák hiányában a rendszer hatástalan, mert a varisztor nem engedné a szikraköz átütésig nőni a feszültséget, és a teljes áramot a varisztornak kellene levezetni, amely hatására szétrobbanna.

A harmadik lépcsőben levő *suppresszor dióda* a hozzá befutó hullámot még másik két lépcsőt megelőzve, a kimenetre kapcsolt készülék érzékenységeinek megfelelő szintre korlátozza. Az impedanciának nem kell nagy lennie, hanem néhány ohm ellenállás vagy néhány menetes légmagos tekercs már megfelel.



51. Hogyan verődik vissza az ékhullám a varisztor megszólalásakor illetve a szikraköz átütésekor?

A többlépcsős védelem készülékeit sok esetben jelentős távolság választja el egymástól. A lépcsők közötti impedancia ebben az esetben elég arra, hogy a soros impedanciákat pótolja, ezért ilyenkor nem is iktatnak be soros elemeket. Tudatában kell azonban lenni annak, hogy a kisebb feszültségen megszólaló védőkészülék az általa meghatározott szinten tartja a feszültséget és előfordulhat, hogy a nagyobb feszültségre beállított másik lépcső emiatt esetleg nem lép működésbe. Ilyen eset akkor következik be, ha a két lépcső között kicsi a távolság és soros impedancia nincs beiktatva. Az ábra azt mutatja, hogy a varisztor levágja a beérkező hullámot és egy visszavert hullámot indít el. Ez a bejövő hullámból levonódik és egyrészt megnöveli a hullám meredekségét a két készülék között, másrészt csökkenti a szikraközön megjelenő feszültséget. A szikraköz így nem szólal meg, hanem a varisztort terheli a bejövő hullám teljes energiája, amitől felrobban. A szokásos vezetékkel ezért legalább 6 m, de inkább 10 m távolságot célszerű tartani az egyes lépcsők között, vagy soros impedanciát kell beiktatni.



52. Miért működik rosszul a több-lépcsős túlfeszültségvédelmi rendszer, ha a fokozatok között nincs soros ellenállás és kicsi a távolság?

Mivel a varisztor megszólalási szintje lényegesen kisebb, mint a szikraközé, előbb lép működésbe és nem engedné, hogy a feszültség a szikraköz gyújtási feszültségéig nőjön. Ezért soros impedanciát (Z) kell beiktatni, mert az azon eső feszültség következtében valamivel később a szikraköz is begyújthat, levágva a bejövő hullámot. Ez azért is fontos, mert ha a szikraköz nem lép működésbe, a bejövő hullám egyedül a varisztort terhelné és az szétrobbanna. Az impedanciának nem kell nagy lennie, hanem néhány ohm ellenállás vagy néhány menetes légmagos tekercs már megfelel.

53. Milyen az elektromágneses villámimpulzus elleni zónás védelem elvi felépítése?

A védendő terület villámvédelmi zónákra kell osztani, amelyekben meg kell határozni a különböző elektromágneses villámimpulzusok hatásának kitett térrészeket és a zónahatárokon ki kell jelölni a kapcsolódó pontokat. A zónákra jellemző, hogy határaikon az elektromágneses erőter jellemzői jelentősen változnak.

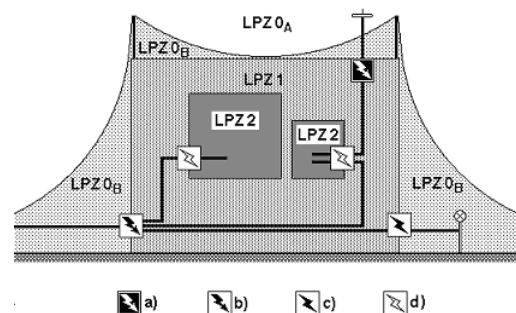
LPZ 0_A: Az a zóna, ahol a berendezések közvetlen villámcsapásnak vannak kitéve, és ezért a teljes villámáramot kell vezetniük. Ebben a zónában az elektromágneses erőter csillapítatlanul létrejön.

LPZ 0_B: Az a zóna, ahol a berendezések nincsenek közvetlen villámcsapásnak kitéve, de az elektromágneses erőter csillapítatlanul létrejön.

LPZ 1: Az a zóna, ahol a berendezések nincsenek közvetlen villámcsapásnak kitéve, de a zónán belül az áram minden vezetőszerkezetben korlátozva van a 0_A és a 0_B zónákhoz képest, továbbá az árnyékolástól függően az elektromágneses erőter is csillapítva lehet.

LPZ 2 és további zónák: Amennyiben még kisebb vezetési áramot és/vagy elektromágneses erőteret lehet megengedni, további zónákat kell bevezetni. A velük szemben támasztott követelményeket a védendő rendszer elektromágneses környezeti jellemzői határozzák meg.

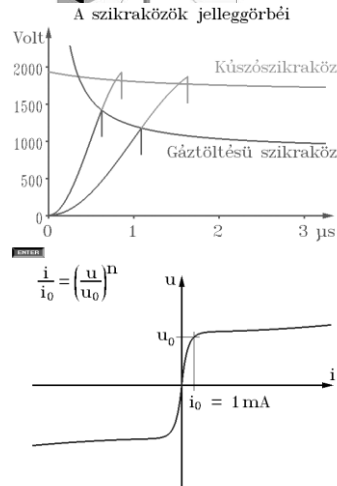
Általában minél nagyobb a zóna sorszáma, annál kisebbek az elektromágneses környezet jellemzői értékei. A védendő tér különböző villámvédelmi zónákra való felosztásának általános elvét az ábra mutatja, ahol az is látható, hogy több azonos zóna is lehet.



54. Milyen védelmi eszközöket használnak az elektromágneses villámimpulzus elleni védelemben? Milyenek a tulajdonságaik és a jelleggörbéik?

A védendő épületekben és egyéb létesítményekben levő villamos, távközlési, adatátviteli és más szigetelt vezetékek potenciál kiegyenlítését nem lehet földeléssel megoldani, viszont a hozzájuk csatlakozó berendezések már kis túlfeszültségre is érzékenyek, ezért a keletkező feszültséget korlátozni kell. A szigetelt villamos és informatikai rendszereket a villám villamos és mágneses erőtere is zavarja vagy veszélyezteti, mégpedig a becsapási helytől távolabb is, ezért ezek ellen is védekezni kell.

Gáztöltésű szikraköz: Mérete akkora, hogy egy nagyobb borsószem befér. A síkelektrod jelentősége, hogy a lavinához startelektron kell. Ennek az elektronnak a nagy térerejű térfogatrészben kell jelentkeznie. A csúcsok között kicsi ez a térfogat, a síkok között nagyobb. További segítség az ív kialakításában a gyújtásgyorsító réteg, mely egy gyengén sugárzó anyagból van. Az elektródok olyan aktiváló réteggel vannak bevonva, amely csökkenti az elektronok kilépési munkáját.



Kúszószikraköz: íterelő, alatta földelt elektrod, alatta elektrod, átívelés után végigfut a kiálló elektrodán, majd ívkioltás.

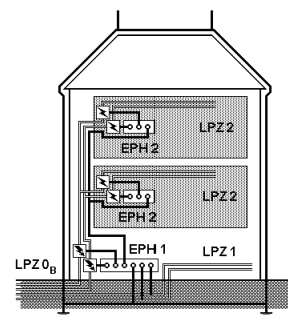
Kífűrószikraköz: ívkisülés-gázfejlődés-nyomás-kifűrés-ívkioltás

Kífűrásmentes szikraköz is van.

Varisztor: ZnO-ból van a belseje. Ez szemcsés, ami egy üvegszerű anyagba van ágyazva. A szemcsék között olyan, mintha két p-n réteg lenne egymással szembefordítva. (hasonló a Zener diódához) A szemcsék között szivárgási áram van, amelynek megszűnése után visszaáll az eredeti állapot. A szivárgási áram képes nagy áramot is elvezetni.

55. Mi a potenciál-kiegyenlítés? Hogyan kell kialakítani a bejövő vezetékek hálózati csatlakozását? Hogyan kell összehangolni a túláram- és a túlfeszültség-védelmet?

A zónák határain, az ott áthaladó összes fém szerkezetek túlfeszültséget vagy erőteret vihetnek át egyik zónából a másikba. Ezt földelhető vezetők esetén egyszerű összekötéssel ki lehet küszöbölni, de az üzemszerűen feszültségre kapcsolt, szigetelt vezetők nem lehet földelni. Ezeket olyan eszközök beiktatásával kell összekötni, amelyek korlátozzák a zónahatáron belépő vezetők közötti feszültséget. A szabvány a közvetlen és a feszültségkorlátozó eszköz beiktatásával létesített potenciálkiegyenlítésre együttesen az **összecsatolás** elnevezést vezette be. Az elektromágneses erőterek a zónahatáron átmenő vezeték nélkül is behatolhatnak egy zónába, amit csak a zónahatáron kialakított **árnyékolás** segítségével lehet korlátozni. Ezek hatásos működéséhez olyan **földelés** ill. **egyenpotenciálra hozó hálózat** (EPH) szükséges, amely a fémesen összekötött rendszeren belül fellépő feszültségkülönbségeket a lehető legkisebbre korlátozza. Az. **egyenpotenciálra hozó hálózat** (EPH) alapeleme a **földelés**. Az **összecsatolás** célja a védendő térben levő fémalkatrészek és rendszerek között, villámcsapás esetén fellépő potenciálkülönbség csökkentése. Az EPH-sínekhez összekötő vezetőkkel és szorítókkal kell csatlakozni, ill. ahol szükséges, a túlfeszültségvédelmi eszközök földelővezetőit is ezekhez kell bekötni. Az összes bejövő vezetéket lehetőleg egy ponton kellene bevezetni, egy villámáram levezetőn keresztül. A szükséges földelést az EPH sík biztosítja. LPZ zónák összekapcsolásakor minden esetben el kell végezni a potenciálkiegyenlítést egy túlfeszültség korlátozó beiktatásával pedig a fellépő túlfeszültség ellen kell védeni érzékeny készülékeinket. Zónahatáron összecsatolást mindig el kell végezni. Túláramvédelem beiktatása a fogyasztásmérő után (szikraköz), ezután sörbe kötve a túlfeszültség korlátozót.



56. A vezetékek nyomvonalának kialakításával hogyan lehet csökkenteni az épületben keletkező túlfeszültségeket? Mi a sugaras, a hálós és a tálcás elrendezés elve?

Az épületben keletkező túlfeszültségeket lehet csökkenteni azzal, ha a veszélyes hurkokat megakadályozzuk.

Az információs rendszerhez tartozó, a villámok hatásának kitett fém szerkezetek számára összekötő hálózatot kell kiépíteni. Két elvi megoldás a sugaras elrendezés (S) és a hurkolt elrendezés (M).

Az S típusú összekötő hálózat alkalmazása esetén a rendszer összes fémes elemét az összekötési pont kivételével mindenütt kielégítően el kell szigetelni a közös földelőrendszerrel. Az S típusú összekötő hálózat egyetlen ponton, a *földelési referencia pontnál* (ERP) kell bekötni a közös földelőrendszerbe, és így S_s típusú hálózat

képződik. Ilyen esetben az indukciós hurkok elkerülése végett a berendezés egyes egységei között az összes vezetéknek és kábelnek, az összekötő vezetékekkel párhuzamosan, a sugaras elrendezést követve kell haladniuk.

M típusú összekötő hálózat esetén a rendszer elemeit nem kell a közös földelőhálózat elemeitől elszigetelni. Az **M** típusú összekötő rendszert több ponton kell a közös földelőhálózattal összekötni, és így **M_M** típusú hálózat keletkezik. A *tálcás rendszerben* a tálcá egy hurkolt rendszer, de a tálcák nincsenek összekötve (sugaras).

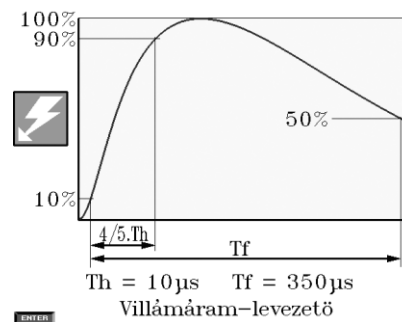
57. Milyen alakú feszültség- és áramhullámokat kell figyelembe venni az elektromágneses villámimpulzus elleni védelem tervezésekor? Mi a villámáram levezető?

Le tud vezetni egy olyan áramot, amelyre

$$T_h = 10\mu s$$

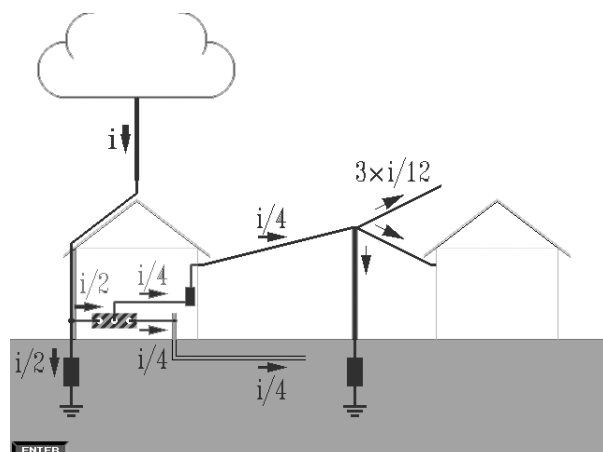
$$T_f = 350 \text{ } \mu\text{s}.$$

villámáram levezető: olyannak kell lennie, hogy villámcsapásból ténylegesen származó áramot le tudja vezetni tönkremenés nélkül. A félértékidő (T_f) relatív nagy, mert nagy energiát képvisel a villámáram. T_f -nek nem kell gyorsnak lennie, nem kell kicsi feszültséget sem tartania.



58. Hogyan oszlik el a villámhárítót érő becsapás árama a földelés valamint az épületből kimenő különböző vezetékek között?

A vezetett villámáram a szomszédos épületre is áterjedhet, sokféle útja lehet. Nemzetközi gyakorlat hogy az érkező áram fele lemegy a földbe, a másik fele megy tovább. Rajzon két ház között még $i/4$ fut be, de utána már fel és jobbra csak $i/24$ megy, lefele pedig $i/8$.



59. Hogyan kerülje el a villámcsapást a szabadban tartózkodó ember? Hová kell elhelyezkedni magas fa közelében?

Ha a szabadban tartózkodó ember nem tud védelmet nyújtó épületbe jutni, akkor arra kell törekedni, hogy ne emelkedjen ki a környezetéből, ne legyen fémtárgy közelében, vagyis ne legyen ellenkísülés előidézője. Sík terepen földre kell lefeküdni, magas fa bizonyos körzetén belül nem szabad tartózkodni, nehogy az áram útjában legyen, vagy átugorjon rá a villám. Ha az erdőben az összefüggő koronák között nincs kiugró, akkor az nagy védelmet biztosít. Magas fa védőhatása akkor a legjobb, ha 5-10 m-re vigyázállásban vagyunk tőle, hogy ne alakuljon ki lépésfeszültség. Még jobb, ha guggolunk. Nyílt terepen le kell feküdni.

Az ábrák: nyílt mezőn álló ember, biciklis nyílt mezőn, teherautó platóján ill. alatta levő ember, ember a fán, ember a fa alatt, lépésfeszültség, biciklis ember fa alatt, védekezés fa közelében(vigyázállás, guggolás).

60. Milyen fokozott veszélyeket okoznak a fémből készült járművek az embert érő villámcsapás szempontjából?

Ha az ember közelében fémtest van, akkor az ellenkísülés könnyebben indul meg, ugyanis az ember jó vezető. Ez történik, ha biciklin, vagy teherautón utazunk. Védekezés: kerékpár fa mellé, fától távolság 5-10m között, guggolás, autóba ülés esetén Faraday kalitka miatt nincs veszély, teherautónál ugyanez.

61. Milyen biológiai hatások idézik elő a halálos villámcsapást? Milyen égési sérüléseket okoz a villám?

A közvetlen villámcsapás a központi idegrendszert károsítja. Égési sérüléseket nem okoz, esetleg bőrpír jelentkezhet. Az égéshez több időre volna szükség. A halált az okozza, hogy a villámcsapás hatására bénulás lép fel, mely a tüdőt érinti, és az ember megfullad. Kékes-lilás elszíneződések jelennek meg a bőrön. A szívet nem bénítja meg, mert azt közvetlenül nem vezérli a központi idegrendszer. Éppen emiatt, ha nem történik maradandó károsodás a villámcsapás után, az ember újraéleszthető. Az izmokban keletkezik a becsapást követően ami károsodást okoz, de ez idővel elmúlik. A villám áramütés, de nem olyan mint az ipari. A villám hatása – tudat – eszmélet – mozgás – légzés – keringés. A ruhában levő fémek (gomb, zippzár) talppontot képeznek és ezért égési sérüléseket okozhatnak. A villámcsapás egyértelmű jele: páfránylevélszerű rózsaszín rajzolat – hajszálerék kitágulása, ami idővel elmúlik. A villám fénye még 5-10 m-re a becsapás helyétől is kiegészítheti a retinát, a hangja kiszakíthatja a dobhártyát. Az emberek 10% túléli a direkt villámcsapást.

62. Milyen veszélynek vannak kitéve a vízben vagy vízi járművön tartózkodó emberek? Mi ezeknek az oka?

A vízben vagy vízi járművön az emberek fokozott villámbeccsapásnak vannak kitéve. Könnyen indulhat ellenkísülés, mert a víz jó vezető. A vízben úszó ember esetén a villámáram félgömbszerűen szétterjed a vízben, és az áramsűrűség a becsapástól számított 100-150 m-en belül bénulást okozhat. Az áramütés halálos lehet (30kA). Vitorlásan a kiemelkedő árbóc veszélyes, a fémkötelek elvezetik az áramot. Az ábrák: álló ember a vízben, úszó ember mellé csapó villám, ember a csónakban.

63. Mit jelent a villámcsapás gyakoriságának várható értéke és az átlagos becsapásmentes idő? Milyen összefüggés van közöttük?

Villámcsapás gyakoriságának várható értéke: veszünk egy tárgyat, és ismerjük a területen becsapó villámok számát(NG), akkor ki tudjuk számolni hány villám fog belecsapni évenként. $NF=NG \cdot \int (dP/dr \cdot A(r) dr)$.

Átlagos becsapásmentes idő: NF reciproka, hány évente fog 1 villám belecsapni.

64. Hogyan lehet matematikai eszközökkel kifejezni a villám által okozott kár kockázatát? Milyen szerepe van ebben a Poisson-folyamatnak?

Poisson-folyamat alapján annak a kockázata, hogy súlyozott kár bekövetkezik. $R(t)=1-\exp(-t/T)$

T-súlyozott károk átlagos periódusa, elfogadható kockázat: $R(100\text{év}) < 0.001$ (0.1%).

65. Mi a levezetőn folyó villámáram mérésére használt módszerek alapelve?

A villám mágneses teret kelt a levezető körül. Ezt mérjük.

Mérőeszközök: *mágneses kártya* (nem túl pontos mérés, de megéri mivel olcsó, örvényárammentes legyen), *mágneses pálca* (hosszirányba kell mágneseznie), *söntellenállás* (kg-ra méretezik), *Rogowski tekercs* (áram deriváltja hordozza az információt)

66. Mi az iránymérésen és az időmérésen alapuló helymeghatározás elve villámcsapások regisztrálásakor?

Több helyen elhelyezett szondákkal mérik a villám által létrehozott elektromágneses erőteret, ebből megállapítják hova csapott a villám. Iránymérés: irányérzékeny szondákkal, 3 érzékelővel, 5°-os irányszög, repülőtereken inkább. Időmérés: holtterek miatt minimum 4 szonda kell, a szondák onnantól mérnek, hogy eléri őket a villám tere, két szonda által mért idő különbsége állandó, mely egy hiperbóla eredményez. Nem lehet max pontosságot elérni.