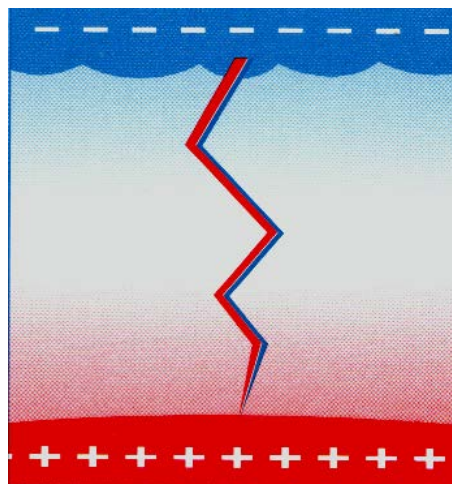


# PRINCÍP ČINNOSTI AKTÍVNYCH BLESKOZVODOV

## 1. MECHANIZMUS BLESKU A JEHO VÝSKYT

### 1.1 Búrka

Prítomnosť nestabilnej vlhkej a horúcej vzdušnej masy vedie ku vzniku a tvorbe formácie búrkových mrakov typu cumulonimbus. Tieto mraky sú veľmi rozsiahle obidvomi smermi - horizontálne (okolo 10 km v priemere) a vertikálne (do 15 km). Ich charakteristické tvary sa podobajú na kovadlinu, ktorá ukazuje vrchné a dolné plochy. Existencia mimoriadneho teplotného gradientu v mrakoch cumulonimbus (teplota môže klesnúť až na  $-65^{\circ}\text{C}$ ) vytvára veľmi prudké vzostupné vzdušné prúdy, výsledkom čoho je elektrické nabíjanie vodných kvapiek. V typickom búrkovom mraku sa horná časť skladá z kryštálikov ľadu a je bežne nabitá kladne, zatiaľ čo dolná časť mraku sa skladá z vodných kvapiek nabitých záporne. V dôsledku toho spodná časť mrakov spôsobuje vyvíjanie výbojov proti opačnej polarite (kladne nabitá časť blízko ležiacej zemi). Takto formácia mrakov cumulonimbus vytvára druh akéhosi gigantického rovinného kondenzátora (mrak-zem), ktorého priemerná vzdialenosť medzi platňami je často medzi 1 až 2 km. Atmosférické elektrické pole na zemi (okolo  $100\text{ V/m}$  pri peknom počasi) sa pred búrkou otočí a môže narásť až do hodnôt okolo  $15 - 20\text{ kV/m}$  pri hrozbe úderov blesku do zeme.



### 1.2 Blesk

Podľa smeru vývoja elektrického výboja (dole smerujúci alebo hore smerujúci) a podľa polarite výboja sa vyvíjajú (kladné alebo záporné) 4 triedy bleskov mrak-zem. Prakticky úderý zozvisných bleskov negatívneho typu sú najčastejšie. Na rovinách a v miernom pásme pripadá do úvahy asi 90% všetkých výbojov mrak-zem.

### 1.3 Mechanizmus bleskového výboja

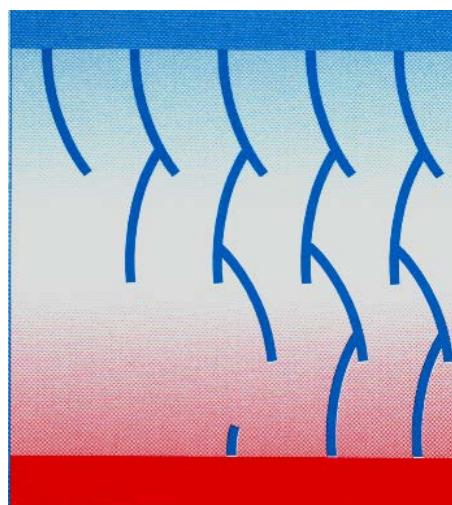
Jednoduché zrakové pozorovanie nemôže rozlíšiť jednotlivé fázy úderu blesku a preto je potrebné množstvo výkonných fotografických zariadení. Najviac úderov blesku ukazuje nasledujúci jav:

Hlavný líder vychádza z bodu mraku a postupuje rýchlo (cca  $50\text{ m}$  rýchlosťou asi  $50\,000\text{ km/s}$ ) a potom zmizne.

Druhý stopovač vychádza z toho istého miesta a sledujúcu dráhu predchádzajúceho lídra porovnateľnou rýchlosťou, ide ďalej ako bol koniec prvého lídra na približne rovnakú vzdialenosť a potom zmizne.

Tento proces sa opakuje až kým hrot posledného stopovača dorazí do bodu niekoľko desiatok metrov nad zemou alebo dokonca len niekoľko metrov blízko zeme.

Vzostupné čiastkové výboje sa zbiehajú a produkujú spätný úder zo zeme smerom do mraku (včasná emisia výboja). Toto je hlavný výboj, ktorý môže byť nasledovaný nerušeným prechodom série ďalších sekundárnych výbojov pozdĺž dráhy ionizovanej hlavným výbojom. Maximálny prúd priemerných záporných bleskových úderov je takmer  $25\text{ kA}$ .



## 1.4 Účinky blesku

Účinky veľmi silných impulzných prúdov, šíriacich sa kvapalným médiom (atmosférou) a potom vedením viac menej pevným médiom do zeme, sú nasledovné :

- viditeľný účinok (záblesk) - spôsobuje ho Townsendov lavínový mechanizmus
- zvukový účinok - spôsobuje ho šírenie nárazovej tlakovej vlny vo vytvorenej dráhe výboja, vnímanie tohto účinku je limitované do vzdialenosti cca 10 km
- tepelný účinok - teplo uvoľnené podľa Jouleovho zákona
- termodynamický účinok - pôsobia tu mechanické sily na vodič umiestnený v magnetickom poli vytvorenom iným vodičom - následkom môžu byť deformácie
- elektromechanické účinky - tieto relatívne malé účinky prebiehajú vo forme elektrolytického rozkladu použitím Faradayovho zákona.
- indukčné účinky - v premenlivom magnetickom poli vedie každý vodič indukovaný prúd
- účinky na živé bytosti (ľudí i zvieratá) - prechod prechodového prúdu môže vyvolať riziko smrti el. prúdom zastavením srdcovej činnosti alebo zastavením dýchania, spoločne s rizikom popálenín.

## 2. ZÁKLADNÉ ČLENENIE NEHÔD SPÔSOBENÝCH BLESKOM

Blesk zapríčiňuje dva hlavné typy nehôd :

- nehody spôsobené pri priamom údere, keď blesk narazí do domu, budovy, osoby alebo špecifickej zóny. V tomto prípade môžu byť spôsobené značné škody. Ochrana proti tomuto nebezpečenstvu poskytuje tyčový bleskozvod.
- nehody spôsobené nepriamo, keď blesky udrú do silových káblov alebo prenosových vzdušných vedení. Zariadenia musia byť vybavené prepäťovou ochranou.

## 3. OCHRANA PROTI PRIAMEMU ÚDERU BLESKU

V snahe chrániť stavbu proti priamym úderom blesku je možné riešiť jej ochranu spôsobmi :

1. vonkajší LPS podľa STN EN 62305-3:2012, umiestnený na samotnom chránenom objekte
2. vonkajší izolovaný (oddialený) bleskozvod podľa STN EN 62305-3:2012, umiestnený mimo chráneného objektu
3. aktívny bleskozvod podľa NF C 17-102:2011, umiestnený na samotnom chránenom objekte
4. aktívny izolovaný (oddialený) bleskozvod podľa NF C 17-102:2011, umiestnený mimo chráneného objektu

**V ďalšom popise sa budeme zaoberať iba aktívnymi bleskozvodmi.**

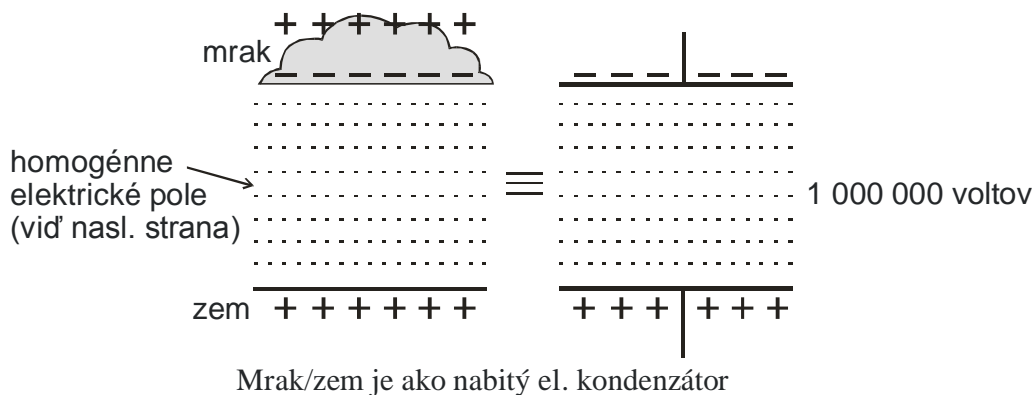
### 3.1 Vznik búrky a priebeh blesku

Ak sa stretnú dve masy vzduchu s rozličnou teplotou a obsahom vlhky, vytvoria sa podmienky vhodné na vznik búrky. Silné vzostupné prúdenie vzduchu presunie vlhkosť, kúsky ľadu, krúpy a kvapky vody do vrchnej časti mraku. Ešte presne nepoznáme mechanizmus tvorby el. náboja v búrkovom mraku. Tam, kde je silná turbulencia, narážajú ťažšie častice (krúpy) do ľadových kryštálov, pričom sa krúpy nabíjajú záporne, a keďže padajú rýchlejšie ako kryštály, ostávajú pri dopade nabité záporne.

Oddelenie nábojov v mraku je možné vďaka:

- sile vzostupného vetra, ktorého rýchlosť môže prekročiť 25m/s
- prítomnosti ľahších i ťažších ľadových častíc v mraku.

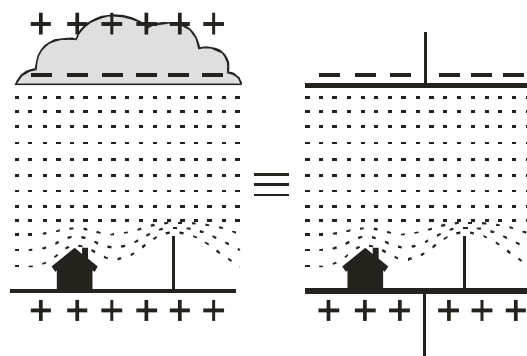
Keď búrkový mrak „dozrie“, el. náboje sa dostanú do rôznych častí mraku. Potenciálny rozdiel vyvoláva veľké elektrické výboje a búrka prepukne.



Benjamin Franklin preukázal el. vlastnosti mraku v roku 1752. Zem a mrak sa dajú prirovnať k veľkému nabitému elektrickému kondenzátoru. Vo väčšine prípadov sa negatívny náboj nachádza v základni mrakov a pozitívny náboj sa indukuje pri zemi v blízkosti mrakov.

Plné čiary sú pomyselné hranice. Ak sú siločiaru paralelné priamky, hodnota poľa v zóne je konštantná.

Akýkoľvek objekt mení tvar siločiar a el. pole mení svoju intenzitu a smer. Intenzita na najvyššom bode objektu je lokálne najdôležitejšia. Väčšie el. pole v blízkosti špicatých objektov zvyšuje tvorbu predvýboja vznikajúceho tesne pred bleskom.



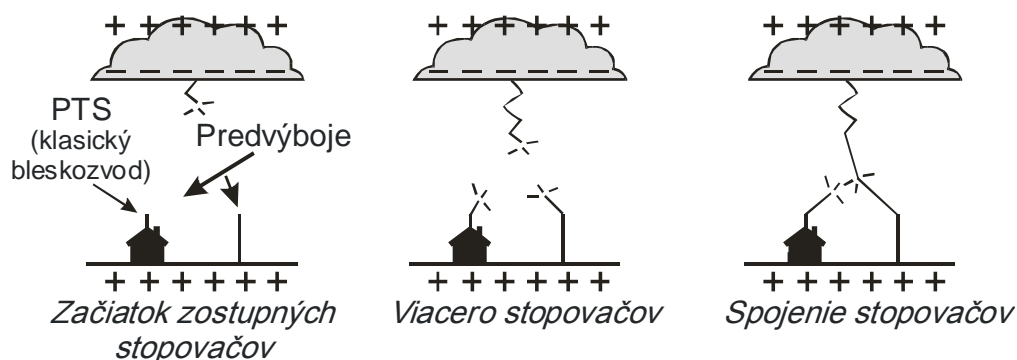
Vplyv pozemných stavieb na lokálne el. pole

Ak blesk zasiahne zem, negatívny náboj v spodnej časti mraku sa premiestni k pozitívnemu náboju pri zemi a to po klúkatej dráhe. Tieto náboje tvoria kanál nazývaný **skokový stopovač** (jeho cesta k zemi trvá 1/100s a jeho rýchlosť je asi 200km/h).

**El. pole na zemi sa rýchlo zosilňuje s príchodom zostupného stopovača.** Vzostupné predvýboje sa tvoria na najvyšších častiach pozemných objektov (aj na nekovových). Keď sa zostupný stopovač priblíži na stovky metrov, okolité elektrické pole prekročí kritickú hranicu a vznikne jeden alebo aj viac vzostupných stopovačov.

Často dochádza k **simultánnemu vzniku viacerých vzostupných stopovačov** v smere zostupného. Jeden z nich sa stretne so zostupným, dochádza k výboju, medzi mrakom a zemou vzniká skrat. Ak sa oba stopovače spoja, dôjde k hlavnému výboju; po krátky čas veľmi silný prúd cirkuluje medzi zemou a mrakom. Vzniká spätný zápal, často sprevádzaný zvukovými efektmi.

Po prvom blesku zvyčajne nasledujú ďalšie výboje v tom istom kanáli, čo mu dodáva ten kmitavý vzhľad. Tento proces pokračuje až do vybitia mraku.



Veľké búrky môžu vyvolať až 100 zábleskov za minútu. Väčšina výbojov sa odohrá vo vnútri mraku. Ale každý štvrtý výboj udrie do zeme a tento výboj nazývame blesk. 90% bleskov je záporných (záporný náboj v základni mrakov).

### 3.2 Princíp predstihu iniciácie

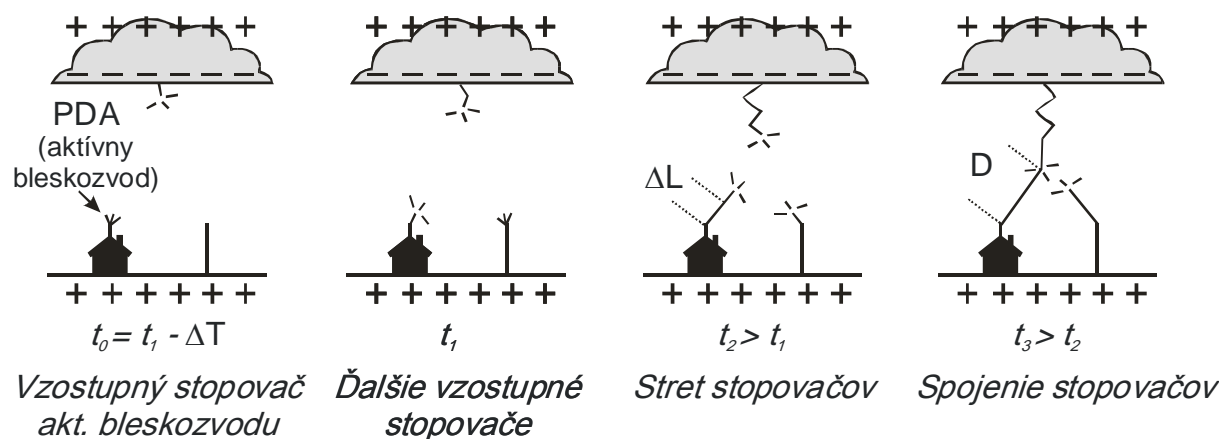
Predchádzajúci opis javu ukazuje, že na zemi existujú javy signalizujúce príchod blesku. Sú to:

- výrazné zväčšenie elektrického poľa
- predvýboj u vyšších objektov
- vznik vzostupných stopovačov.

Jednoduchá úvaha, ktorá viedla k vývoju aktívnych bleskozvodov, je takáto:

- ak nejaké ochranné zariadenie vygeneruje vzostupný stopovač nad nejakým blízkym objektom, logicky musí byť najsilnejší pri vzniku ďalších vzostupných stopovačov. Jeho predstih je  $\Delta T$  vzhľadom ku klasickému bleskozvodu.
- ak zariadenie má predstih  $\Delta T$ , stopovač, ktorý generuje, prejde vzdialenosť  $D$ , ktorá je väčšia ako u klasického bleskozvodu a teda jeho dosah je tiež väčší. Zachytí blesk skôr. Podľa rýchlosti šírenia vzostupného stopovača vypočítame zväčšenie polomeru

$$\Delta L = v \cdot \Delta T$$



### 3.3 Rôzne technológie vytvárania predstihu iniciácie

Nekonvenčné bleskozvody sa volajú aktívne alebo bleskozvody s včasnou aktiváciou (iniciáciou). Sú ich viaceré typy. Treba ich rozlišovať kvôli rôznym technológiám a rozdielom v správaní. Existujú 4 typy technológií vytvárania predstihu iniciácie:

- - rádioaktívne
- - s elektronickým spúšťaním
- - piezoelektrické
- - so špeciálnym profilom

#### 3.3.1 Rádioaktívne bleskozvody

Ide o bleskozvod s jednou tyčou, na ktorom je v blízkosti vrcholu upevnený obvod obsahujúci rádioaktívny prvok. Rádioaktívny zdroj generuje značnú ionizáciu vzduchu nachádzajúceho sa v blízkosti vrcholu bleskozvodu, čím sa zvyšuje počet elektrónov schopných spustiť prvú fázu zachytávania blesku. Od r. 1930 sa napr. vo Francúzsku nainštalovali desaťtisíce rádioaktívnych bleskozvodov.

Od roku 1986 je výroba a predaj bleskozvodov s rádioaktívnymi prvkami zakázaný. Pri nahradzovaní tohto výrobku sa konštruktéri rozhodli použiť iné spôsoby ionizácie vzduchu na úrovni bleskozvodov a tak sa objavili elektronické bleskozvody.

#### 3.3.2 Bleskozvody s elektronickým spúšťaním

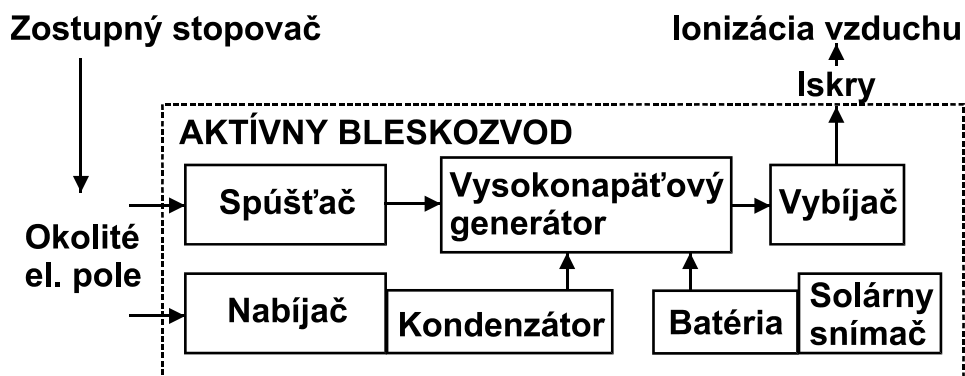
Bleskozvody s elektronickým obvodom sú tvorené jednoduchou tyčou, na ktorej je upevnený elektronický obvod umožňujúci ionizáciu vzduchu potrebnú na vytvorenie vzostupného stopovača. Ionizácia sa dosiahne generovaním iskier v bezprostrednej blízkosti vrcholu bleskozvodu. Vývojové typy bleskozvodov využívajú rôzne techniky na generovanie iskier. Ionizácia vzduchu na úrovni vrcholu bleskozvodu zvyšuje počet elektrónov a tým sa zvyšuje pravdepodobnosť vzniku Corona efektu pri dostatočne vysokej intenzite okolitého el. poľa.

Zdokonalenie u týchto bleskozvodov pri porovnaní s rádioaktívnymi bleskozvodmi spočíva v tom, že ionizácia vzduchu môže začať v presne stanovenej chvíli.

Na vytvorenie iskier ionizujúcich vzduch je aktívny bleskozvod vybavený vysokonapäťovým generátorom. Tento potrebuje energiu. Jeho napájanie sa zabezpečuje:

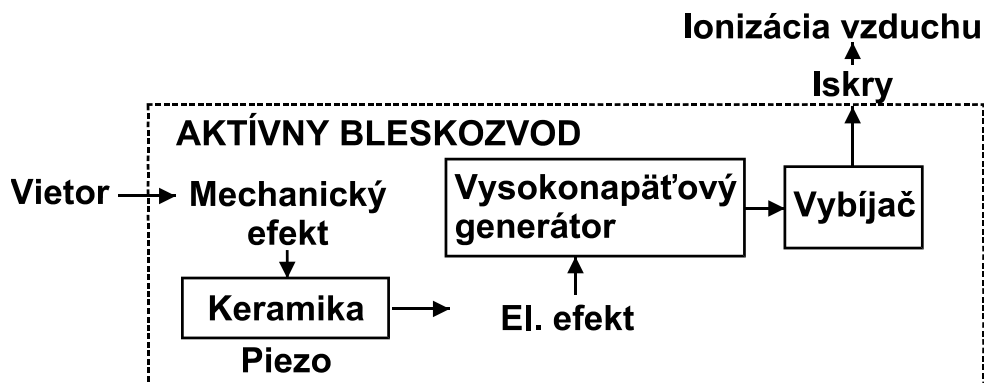
- batériou slúžiacou ako zdroj energie; bude sa nabíjať napr. solárnym panelom
- zachytávačmi energie okolitého statického el. poľa (el. pole je veľmi dôležité pri búrkovom mraku, prúd pochádzajúci z antény nabíja kondenzátor energie).

Spustenie vzostupných predvýbojov (stopovačov - streamerov), po ktorom nasleduje vzostupný stopovač (leader), je riadené snímačom el. poľa. Intenzita el. poľa sa zväčšuje, potom sa náhle mení pri priblížení sa zostupného stopovača. Citlivosť snímača a nastavenie prahu spustenia sú kritické parametre pri aktivácii aktívnych bleskozvodov s elektronickým spúšťáčom.



### 3.3.3 Piezoelektrické bleskozvody

Piezoelektrické bleskozvody získavajú potrebnú energiu z piezoelektrického odporu, ktorý je aktivovaný veternou energiou. Vrchná časť bleskozvodu je uložená na keramike. Vietor rozkmitáva vrchnú časť bleskozvodu, ktorá stláča piezoelektrický článok. Mechanické napätie sa mení na elektrické napätie pomocou piezoelektrického odporu. Toto napätie sa privádza na úroveň hrotu nachádzajúceho sa vo vnútri špičky bleskozvodu. Pomocný hrot má v závislosti od meteorologických podmienok dostatok napätia potrebného na generovanie iónov efektom Corona. Tieto ióny sú vedené k špičke bleskozvodu efektom Venturi. V tomto prípade nejde o riadiaci obvod spúšťania vzostupného stopovača, ale o zvýšenie hustoty elektrónov v blízkosti špičky bleskozvodu.



### 3.3.4 Bleskozvody so špeciálnym profilom

Tieto bleskozvody zachytávajú energiu vyžarovanú zostupným stopovačom blesku pomocou systému skladajúceho sa z klasického bleskozvodu (spojeného so zemou) a z izolovaných kovových súčastí (od okolitého el. potenciálu). Tesne pred bleskom napätie medzi špičkou na zemi a ostatnými kovovými časťami narastá veľmi rýchlo, a tak dosahuje niekoľko tisícok voltov. Len čo potenciál dosiahne ionizačné napätie, na úrovni vybjíjača vznikajú iskry a tento generuje prvú fázu priťahovania blesku.

