

6.

OCHRANA PŘED BLESKEM

Oteplení vodičů hromosvodu při průchodu bleskového proudu

Zmapování této problematiky v předpisech, normách a odborných publikacích za posledních sto let

**Jan Hájek, Dehn + Söhne GmbH + Co.KG.,
organizační složka Praha**

Blesk je již několik století deklasován na pouhou elektrickou jiskru, a tak se z božího záměru či rozmaru nebo zlomyslnosti různých démonů stal fyzikálním problémem, který se lidstvo snaží na základě všech fyzikálních poznatků, které má a také neustále rozšiřuje, technicky zvládnout tak, aby již problém nepředstavoval.

Jaká musela být hrůza našich předků, když se z podmračené oblohy nebo – o to hroznější – z nebe zalitého slunečními paprsky snesl s rychlostí šlehajícího konce biče na zem oslnivý blesk, který na své dráze, ale především na svém dolním konci ničil a zapaloval vše, čeho se dotkl. Snad s vynálezem a rozšířením střelného prachu, začali lidé tušit, že součástí tohoto jevu je i explodující masa vzduchu, díky které vzniká hřmění. Proto se vždy báli „hromu“, který „udeřil“ současně s nebeským ohněm, a blýskání na obzoru už nebudilo takový strach.

Jakmile byly odpozorovány fyzikální zákonitosti chování blesku, navíc ruku v ruce s vědeckým pokrokem, vyvstala samozřejmě obava, co způsobí spoutaný blesk ve vodiči, zda ho tento nebeský posel špatných zpráv svou přítomností nezahřeje na stejnou teplotu, jako má kanál blesku.

Co to je proud, odpor nebo rázová impedance, nevíme jako lidstvo zas tak dlouho a aplikace těchto poznatků na blesk také neproběhla ze dne na den. V současné době však bez zdlouhavé práce a časově náročného studování je k dispozici platná řada norem ČSN EN 62305 (*Ochrana před bleskem*), kde lze odpověď na oteplení najít s mnoha dalšími důležitými informacemi v podstatě během okamžiku.

Zalistujeme-li v normě [1] *Část 1 – Obecné principy*, narazíme u bodu přílohy D.4.1.1 *Odporový ohřev* na popis fyzikálního jevu oteplení aplikovaném na hromosvodní část – drát z běžně používaného kovu. Dokonce budeme-li listovat o pár stránek dále, narazíme na tab. D.3, kde je uvedeno, jak se který drát přibližně ohřeje, a celý tento exkurz informací uzavírá bod D 5.2.1. Takto prosté, rychlé, a tedy i velmi snadné, to v současné době elektrotechnici mají. Toto je hlavní výhoda využívání elektrotechnických norem v rámci IEC (*International Electrotechnical Commission*, Mezinárodní elektrotechnická komise) a CENELEC (*Comité européen de normalisation électrotechnique*, Evropský výbor pro normalizaci v elektrotechnice).

Jak jsme na tom byli před řadou norem IEC/EN 62305?

Pojďme se nyní společně vydat od počátků ochrany před bleskem po tak snadnou současnost, abychom se seznámili s jednotlivými, ze současného pohledu krůčky, které však pro naše předchůdce znamenaly velké kroky.

Jako prvního je třeba jmenovat Josefa Steplinga (*29. červen 1716 Řezno †11. červenec 1778 Praha), který stál u zrodu české technické vzdělanosti. Jaké se používaly materiály a jak měl vypadat správně provedený hromosvod, se dozvídáme z jeho dopisu P. Ignáci Musilovi [2], ze kterého vybírám:

1. Na nejvyšších místech budovy budtež vztyčeny jímače končící hrotem; tyto hroty budtež pocínovány nebo pozlacený, aby nerezavěly.
2. Všechny jímače budtež spojeny železnými nebo mosaznými dráty nebo tyčemi, které jdou od dolního konce jednoho jímače k dolnímu konci jiného jímače.
3. Jímače mějte tloušťku přes půl palce (tj. 13,17 mm), tyče nebo dráty od konce jímačů vedené nejméně 1/10 palce (tj. 2,63 mm); čím silnější, tím bezpečnější.
4. Čím hustěji a souvisleji tyče a dráty od konců jímačů a mezi sebou a mezi jímači budou vedeny, tím lépe; pročež bedlivě jest se vystříhati toho, aby vznikly mezery nebo články, jak je tomu při obyčejných řetězích.

5. Nejenže musí býti jímače mezi sebou spojeny dráty a tyčemi, upevněnými na jejich dolních koncích, nýbrž z týchž konců a místy i z drátů a spojovacích tyčí musí býti vedeny dráty do země, zejména z míst budovy nejvíce vyčnívajících; a nutné dbáti toho, aby žádný z těchto drátů nedostal se do styku s dřevěnými součástkami. Jestliže svodným drátům na dolních koncích bude postupně přibývat na tloušťce, bude obzvláště užitečné; tyto části nechť končí ve vlhké zemi nebo v kolem tekoucí vodě; aspoň jeden pak z drátů, když ne všechny, budiž položen do vlhké země nebo tekoucí vody; dolní konce svodných drátů budtež vzdáleny několik stop od základů budovy.

Tento text byl napsán v roce 1778 a popis jímací soustavy nejenom že odpovídá současnému pohledu na věc, ale uvědomíme-li si, že v té době uběhlo necelé čtvrtstoletí od vztyčení prvního hromosvodu Prokopem Divišem, musíme ocenit pokrok, který byl dosažen za tak krátkou dobu.



*Obr. 1. J. T. Klinkoš
1775 – jímací tyč
na zámku Nosticů
v Měšicích u Prahy
(foto: D. Šalanský)*

K instalaci prvního hromosvodu na území ČR nemám dokumenty, které by mně umožnili uvést tehdy použité síly vodičů na jímací soustavu, navíc po své instalaci v krátké době dvakrát zasažené, čímž došlo k utišení proti

novotám, stejně jako v Příměticích brojícího poddaného lidu, a napomohlo dalšímu rozšíření takto praxí ověřené ochrany před bleskem. Nejsou mně bohužel známy jiné česky psané publikace z období konce 18. až počátku 20. století, které by se zmiňovaly o síle materiálu pro hromosvody, ale určitě se časem něco objeví a předpokládám, že by se mohlo jednat o práci K. V. Zengera.

Počátek 20 století

Takto se přeneseme o více než století zpět, až na počátek 20. století, kdy nově vznikající elektrotechnický průmysl potřeboval standardy pro práci, včetně standardů pro práci s blesky.

Jednou z prvních publikací, které se odborně věnovaly této problematice, byla kniha [3] J. Žuvnička *Zařizování hromosvodů*. Zde se dozvíme, že železný drát má mít 13 mm v průměru a dobře ho zastoupí měděný o průměru 9 mm.

V té době bylo obvyklé používat pro jímací soustavu na střeše vícero průřezů (jak je v omezené míře ostatně možné i nyní), a tak bylo pro rozvětvené jímací soustavy možné zmenšit průřez až na 6 mm v průměru nebo na průřezu asi na $S = 9 \times 3,14 = 28 \text{ mm}^2$. Za instalace železných končí dovolený průměr odboček na hodnotě $d = 8 \text{ mm}$ či průřezu $S = 4^2 \times 3,14 = 16 \times 3,14 \approx 50 \text{ mm}^2$.

Kde se hlavní vedení nevětví a v celé síle sbíhá jednou linií k zemi, zachovává měděný drát průměr nejméně 8 mm či průřez asi 50 mm^2 , železný drát průměr $d = 10 \text{ mm}$ nebo na průřez $S = 95 \text{ mm}^2$.

Ve stejné publikaci již máme informaci o vědeckých poznatcích profesora z Waltenhofen, jenž stanovil pro jedno vedení oblým železem nejmenší průměr 14 mm, pro dva svody 10 mm, pro tři nebo více svodů 8 mm. Menší průměr pro železné vedení nepřipouští.

Vodivost lan dlužno posuzovat podle celkového průřezu všech pramenů. Hranici dovolenou vymezují čísla 30 mm^2 v průřezu u větví, 60 mm^2 u svodů nerozvětvených při instalaci měděné nebo 60 mm^2 a 110 mm^2 , když se použijí lana železná, pozinkovaná.

No a jdeme v čase dále a již se nacházíme v mladém Československu

Elektrotechnický svaz český (ESČ) vydává v roce 1924 *Předpisy a normálíe*, které ve své publikaci *Stavba hromosvodů* [4] vysvětluje Ing. L. Seyfrt.

Předpisy ESČ uvádějí jako minimální průřez v § 13 914 u mědi 35 mm² a 50 mm² u pozinkovaného železa, které se doporučuje používat pouze ve výjimečných případech (§ 13 911).

Náležitého rozvedení tématu se dočkáme v druhé části publikace, kde je doporučeno v případě použití jednoho svodu volit průřez 50 mm² u mědi a 100 mm² u železa.

Norma ČSN ESČ 113 z roku 1933 [5] kromě identických průřezů zavádí i určitou úlevu pro objekty s malou důležitostí a malou pravděpodobností zásahu, a to je snížit průřez až na 25 mm² u mědi a 50 mm² u oceli.

Tab. 1. ČSN ESČ 113 z roku 1933

Materiál	Průřez (mm ²)	Průměr (mm ²)
měď (Cu)	25	5,7
hliník (Al)	35	7
železo-zinek (FeZn)	50	8

U spalných krytin byla doporučena vzdálenost podpěrou 20 cm a při průchodech střechou měl být svod obložen ohnivzdornou průchodkou, např. porcelánovou (viz bod 16. *Kladení*).

Druhá polovina 20 století

Přeskočíme požadavky normy ČSN ESČ 113 z roku 1949 i jejích doplňků z roku 1951 a podíváme se do publikace rázu vysloveně praktického *Zařizování hromosvodů* E. Siebra z roku 1952 [6]. Zde se pro kladení drátů na spalný povrch dozvídáme toto:

U lehko spalitelných krytin, jako je dřevo, šindel, došky apod., je třeba vždy udržet místo úderu blesku daleko od povrchu krytiny, zejména je-li krytina vázána drátem. Užije se tedy podpěr aspoň 20 cm vysokých. Vhodnější by podle cizích vzorů bylo neukládat kovové držáky vodiče přímo na krytinu, zejména ne doškovou, nýbrž podložit je dřevěnými špalíky.

Tab. 2. ČSN 34 1390 z roku 1955 [7]

Materiál	Průměr (mm)
měď (Cu)	6 a 7
hliník (Al)	8
železo-zinek (FeZn)	10

Opět je při průchodu vodiče střechou doporučeno drát obložit nehořlavým materiálem.

Kniha knih: Bouřky a ochrana před bleskem [8]

V roce 1957 vychází almanach všech nejen československých hromosvodářů. Absolutní hodnotou této knihy je, že podává zprávu o ochraně před bleskem do roku svého vydání a stav a porovnání národních norem ostatních států technického světa s naší tehdejší praxí.

Ve všeobecném úvodu se říká:

Udeří-li blesk do předmětu na zemi, tento předmět se víceméně poškodí v závislosti na své vodivosti. Tak např. kov je úderem blesku jen málo poškozen. Vydrží i slabé vodiče jako telegrafní a telefonní vedení a vodiče pro elektrické světlo, aniž by se roztavily, s výjimkou místa úderu do kovu. Byl zjištěn případ, že měděný vodič o průměru pouhých 2,5 mm odolal výboji větším než 100 000 A. V místě vniknutí obloukem může náboj 1 C roztavit 0,5 mm² kovu.

Přehled norem:

- **Sovětský svaz: *RU MES, RU Geavenergo 1938, VEI 1940, RU NKES 1941, RU MES 1946***

Protéká-li totiž proud blesku svody, vzniká teplo. Pochod zahřívání je tak krátký, že je při výpočtu možné zanedbat odvádění tepla do okolního prostředí.

Posuzováno jen z hlediska tepelného účinku, stačí u ocelového svodu jen minimální průřez 16 mm^2 , u mědi pak pouze 6 mm^2 , ovšem za předpokladu, že kov je chráněn trvalou vrstvou proti korozi. U vodičů bez tohoto ochranného opatření je třeba volit průřez minimálně 25 mm^2 u železa, resp. 16 mm^2 u mědi. I. S. Stekolnikovem prosazovaná maximální hodnota bleskového proudu byla 200 kA.

- **Polská norma: *PNE05003***

Průměr svodů na budovách byl u oceli 7 mm a u vysokých objektů 10 mm.

- **Britské předpisy z roku 1948**

Maximální bleskový proud uvažují 100 až 160 kA a doporučený je na svody měděný pás 19 × 3 mm, popř. u větších budov 25 × 3 mm.

- **Švýcarské předpisy: *SEV Leitsätze für Gebäudeblitzschutz z roku 1952* (viz tab. 3)**

Tab. 3. Švýcarské předpisy z roku 1952

Materiál	Budovy	Vysoké objekty
	průměr (mm)	
měď (Cu)	6	8
hliník (Al)	9	11

- **Německá příručka *Blitzschutz z roku 1951* – společná pro NDR i západní Německo (viz tab. 4)**

Tab. 4. Německá příručka z roku 1951

Materiál vodiče	Průměr (mm)
měď (Cu)	8
hliník (Al)	10
železo-zinek (FeZn)	8

Zlatá léta šedesátá

Bezespору zajímavým dílem, autorů J. Jirků a F. Popolanského, je publikace *Atmosférická přepětí v rozvodu elektrické energie* z roku 1966 [9], na jejichž informacích staví i současná norma a výzkum. Vzhledem k zaměření této publikace obsahuje již i výpočty oteplení a měknutí vodičů. Vše v souladu s tehdy známými vlastnostmi blesku.

Tab. 5. Vzdálenosti vedení od objektu podle druhu krytiny nebo stěny

Druh krytiny nebo stěny	Vzdálenost vedení (cm)
<i>nespalná krytina</i>	5
<i>lepenková krytina, šindele, krytina z desek a fólií z plastických hmot</i>	10
<i>ostatní hořlavé krytiny</i>	20
<i>zed' z nehořlavého materiálu</i>	5

V roce 1969 vyšla druhá edice ČSN 34 1390 [10], která k požadavkům na průřez vodiče pro připojení kovových součástí v podstatě umožňovala použít FeZn 6 mm a pro skryté svody v případě jejich pevného zabetonování naopak navýšení na 10 mm. Měděný vodič zůstal v rozměrech 6 až 7 mm a hliníkový vodič 10 mm.

Počátek 90. let

Počátek devadesátých let je dobou vzniku IEC 1024, o jejichž poznatcích velmi obsáhle ve svých přednáškách a příspěvcích referoval Ing. František Popolanský, CSc.

Velmi zajímavý je jeho příspěvek ve sborníku z roku 1991 [11]:

Jestliže porovnáme pravděpodobnost výskytu proudových impulzů s pravděpodobností přepálení vodičů Fe různého průřezu, lze očekávat přepálení svodu na malém objektu s jedním svodem jednou za rok na počtu objektů uvedeném v následující tabulce (zde viz tab. 6).

Tab. 6. Pravděpodobný očekávaný počet přepálení svodu podle průřezu

Průřez (mm^2)	Průměr (mm)	Počet objektů
10	3	25 000
20	5	167 000
30	6	375 000
50	8	1 500 000

Závěr historie

Z uvedeného vyplývá jednoznačná snaha volit průřezy vodičů pro svody v rozsahu 6 až 8 mm^2 u Cu a 8 až 10 mm^2 u FeZn a Al. Uvedené hodnoty průřezů se dařilo za pomoci velkého množství pozorování, měření a teoretických poznatků zdůvodňovat jako dostačující a v podstatě i předimenzované pro běžný blesk. Jako nejdůležitější opatření proti zapálení objektu od svodu bylo dodržení vzdušné vzdálenosti od hořlavých povrchů tak, aby případné jiskření a odkápnutí nataveného materiálu nevyvolalo zahoření. K natavení či přepálení vodiče docházelo především při přímém úderu blesku do drátu, v důsledku špatné vodivosti způsobené zúžením průřezu vodiče korozí či nevhodně provedeným spojem, popř. špatným uzemněním. Jediný popis zahoření objektu od kontaktu lepenky s vodičem hromosvodu uvádí A. Hlaváč v knize *Bojíte sa blesku?* z roku 1986 [12], a to v podobě spíše bulvární zprávy než seriózním popisem situace. V tomto případě tedy šlo – tak jako v jiných případech – spíše o zahoření díky přeskoku mezi hromosvodem a zařízením či konstrukcí s jiným potenciálem, tedy nedodržením dostatečné vzdálenosti.

No a nyní zpět do současnosti a trochu si ten úvod rozšíříme

Vyčerpávající informace lze najít v tab. 5 normy ČSN EN 62305-1 [1], nejprve se základním popisem elektrických vlastností blesku (zde jako tab. 7).

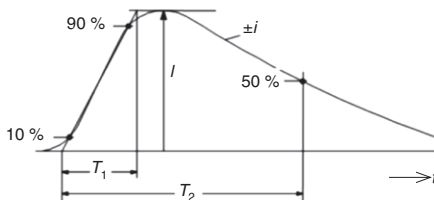
Tab. 7. Maximální hodnoty parametrůblesku v závislosti na hladině ochrany před bleskem (LPL)

První krátký výboj			LPL			
Parametry proudu	Označení	Jednotka	I	II	III	IV
vrcholový proud	I	kA	200	150		100
náboj krátkého výboje	Q_{short}	C	100	75		50
specifická energie	W/R	MJ/ Ω	10	5,6		2,5
časové parametry	T_1/T_2	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$			10/350	
Následný krátký výboj			LPL			
Parametry proudu	Označení	Jednotka	I	II	III	IV
vrcholový proud	I	kA	50	37,5		25
střední strmost	di/dt	kA/ μs	200	150		100
časové parametry	T_1/T_2	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$			0,25/100	
Dlouhý výboj			LPL			
Parametry proudu	Označení	Jednotka	I	II	III	IV
náboj dlouhého výboje	Q_{long}	C	200	150		100
časové parametry	T_{long}	s			0,5	
Parametry proudu	Označení	Jednotka	I	II	III	IV
Výboj			LPL			
náboj výboje	Q_{flash}	C	300	225		150

Příloha A (informativní) – viz obr. 2.

D.4.1.1 Odporový ohřev

Tento bod přílohy obsahuje podrobné rozebrání metodiky výpočtu oteplení pro různé materiály vodičů, včetně tab. D.3 s přepočtem na běžné průřezy vodičů.



*Obr. 2. Definice parametrů krátkého výboje
(zpravidla $T_2 < 2 \text{ ms}$) obr. A.1 přílohy A normy ČSN EN 62305-1)*

D.5.2.1 Odporový ohřev

Výpočty a měření týkající se ohřevu vodičů s různými průřezy a materiály při průtoku bleskového proudu vodičem byly publikovány mnoha autory. Ve smyslu vyhodnocení a rovnic jsou hlavní výsledky shrnuty v D.4.1.1. Obecně proto nejsou nutné žádné laboratorní zkoušky na kontrolu chování vodičů s ohledem na oteplení. Ve všech případech, pro které se vyžadují laboratorní zkoušky, se musí brát v úvahu tyto skutečnosti:

- Hlavní uvažované zkušební parametry jsou specifická energie a doba trvání impulzního proudu. Specifická energie určuje oteplení v důsledku Joulova tepla vyvolaného průtokem bleskového proudu.
- Uvažují se numerické hodnoty, které odpovídají prvnímu výboji. Konzervativní údaj lze získat uvažováním kladných výbojů.

- Na proces výměny tepla s ohledem na okolní podmínky obklopující uvažovaný vodič má rozhodující vliv doba trvání impulzu proudu. Ve většině případů je doba trvání impulzu proudu tak krátká, že proces ohřevu může být považován za adiabatický^{*)}.

Literatura:

- [1] ČSN EN 62305-1 *Ochrana před bleskem – Část 1: Obecné principy.*
- [2] MUNZAR, J. – PEJML, K. – KRŠKA, K.: *Meteorologie skoro detektivní.* Horizont, Praha, 1990.
- [3] ŽUVNÍČEK, J.: *Zařízení hromosvodů. Výklady rázu praktického.* Nakladatelství Kober I. L., Praha, asi 1900–1920.
- [4] SEYFRT, L.: *Stavba hromosvodů.* Elektrotechnický svaz Český, 1924.
- [5] ČSN ESČ 113 z roku 1933.
- [6] SIEBER, E.: *Zařizování hromosvodů.* Vydavatelství ROH Práce, 1952.
- [7] ČSN 34 1390 z roku 1955.
- [8] ŘÍHÁNEK, L. – POSTRÁNECKÝ, J.: *Bouřky a ochrana před bleskem.* ČSAV, Praha 1957.
- [9] JIRKŮ, J., *Atmosférická přepětí v rozvodu elektrické energie.* SNTL, Praha, 1966.
- [10] ČSN 34 1390 z roku 1969.
- [11] POPOLANSKÝ, F.: *Ochrana před bleskem.* Sborník přednášek, Propag Team, Trutnov, 1991.
- [12] HLAVÁČ, A.: *Bojíte sa blesku?* Alfa, Bratislava, 1986.
- [13] <http://www.cs.wikipedia.org> a materiály společnosti Dehn + Söhne.

<http://www.kniSka.eu>

^{*)} **Adiabatický děj** [13] je termodynamický děj, při kterém nedochází k tepelné výměně mezi plynem a okolím. Děj probíhá při dokonalé tepelné izolaci, takže soustava žádné teplo nepřijímá ani nevydává. Za adiabatický lze pokládat takový děj, který proběhne tak rychle, že se výměna tepla s okolím nestačí uskutečnit.

ROČENKA
ELEKTRO 2012



FCC PUBLIC

Ročenka Elektro 2012

*Praha, FCC Public, 352 stran,
formát A6, vazba V2, cena 132 Kč*

V Ročence Elektro 2012 lze nalézt kromě přehledu odborných veletrhů, výročí slavných osobností vědy a techniky, seznamu úřadů a institucí či adresáře ČKAIT také např.

nejaktuálnější informace o nových elektrotechnických normách. S normami souvisí bezpečnost, které je věnována pátá kapitola. Jaké mohou být následky nesprávně projektované ochrany před bleskem, to se čtenář může dočíst v kapitole šesté. Přehled o pohonech výtahů lze získat v kapitole sedmé. Co je to inteligentní domácnost, je vysvětleno v kapitole osmé. Jak funguje magnetická rezonance a k čemu ji lze využívat, objasňuje zajímavý článek v kapitole deváté. Zelené energii, konkrétně větru, je věnována kapitola desátá.

Ročenka je určena technikům, konstruktérům, projektantům, elektromontérům, pracovníkům údržby, revizním technikům, pracovníkům obchodně-technických služeb a všem zájemcům o aktuální informace z oblasti elektrotechniky.

**Ročenka Elektro 2012 vyjde začátkem února 2012
a lze si ji objednat telefonicky na čísle: 286 583 011
e-mailem na adrese: public@fccgroup.cz
prostřednictvím internetu na: www.odbornecasopisy.cz
nebo poštou na: FCC Public, Pod Vodárenskou věží 4, 182 08 Praha 8**

**on-line
objednávka**