

# **Detekce bouřkové situace a blesků**

Detection of Storm and Lightning Situations

Bc. Jitka Totková

---

Diplomová práce  
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jitka TOTKOVÁ**  
Osobní číslo: **A10921**  
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Detekce bouřkové situace a blesků**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte literární rešerši v oblasti ochrany před bleskem a ochrany před přepětím.
2. Popište procesy vedoucí ke vzniku bouřkové činnosti v atmosféře a její důsledky.
3. Uveďte soudobé technické prostředky používané pro detekci blesků.
4. Navrhněte laboratorní úlohu použitelnou v laboratořích FAI UTB ve Zlíně a pokuste se o její realizaci.
5. Navrhněte možnosti pokračování výzkumu v dané oblasti v podmínkách FAI UTB ve Zlíně.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. BURANT J. Ing. Blesk a přepětí, Systémová řešení ochran, Vydalo nakladatelství FCC Public s.r.o., Praha 2006, str. 256, ISBN 80-8653-10-3.
2. ŘEZÁČOVÁ D., NOVÁK P., KAŠPAR M., SETVÁK M. Fyzika oblaků a srážek, Nakladatelství Academia Praha, str. 622, 2007, ISBN 80-200-1505-1.
3. YATSEVICH E., NICKOLAENKO A. P., SHVETS A.V. Preliminary Results on the Global Lightning Activity Inferred from Schumann Resonance Records two Years Long, Ukrainian National Academy of Science Kharkov, Ukraine, Electromagnetic compatibility, Sixteenth International Wroclaw, Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility, June 25-28, 2002, part 2, s.507-510, 794 str., ISBN 83-916146-0-3.
4. ZICH R., MARCHI S. Lightnin Modeling Including the Effects of Channel Geometry, Technical University of Milan, Italy, Electromagnetic compatibility, Sixteenth International Wroclaw, Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility, June 25-28, 2002, part 2, s. 517-520, 794 str., ISBN 83-916146-0-3.
5. NOVÁK P., ŽEJDLÍK T., TOLASZ R. Deset let využívání dat detekce blesků v Českém hydrometeorologickém ústavu, Meteorologické zprávy, roč. 62-2009, číslo 6, s. 165-172, ISSN 0026-1173.
6. CLAYTON R.P. Introduction to Electromagnetic Compatibility, Published by John Wiley&Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 2006, str. 1013, ISBN-13: 978-0-471-75500-5, ISBN-10:0-471-75500-1.

Vedoucí diplomové práce:

**doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.**

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání diplomové práce:

**24. února 2012**

Termín odevzdání diplomové práce:

**15. května 2012**

Ve Zlíně dne 24. února 2012

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*děkan*



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.  
*ředitel ústavu*

## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá detekcí bouřkové situace a blesků. V první části podrobně popisuje mechanismus vzniku bouřek, vznikem elektrického náboje v bouřkovém oblaku, a typy blesků. Ve druhé části jsou pak popsány sítě zabývající se detekcí blesků, zejména středoevropská CELDN. Dále jsou popsány metody ochrany před účinky blesku jak osob, tak i budov a zařízení. Jsou sebrány a krátce charakterizovány normy, věnující se ochraně před bleskem a předpětím. V poslední část je pak věnována amatérským detektorům blesků a experimentální stavbě jednoho z nich.

Klíčová slova: detekce bouřky, detekce blesků, elektrické náboje, typy blesků, detektory blesku

## **ABSTRACT**

This work concerns the detection of storm situations as well as lightning. In the first part, the mechanism governing the origin of storms, electrical charges in storm clouds and differing types of lightning are described in detail. The second part goes on to describe types of networks devoted to lightning detection - and especially, the Central European CELDN network. It continues with descriptions of lightning strike effect protective measures and methods for individuals and buildings and other ancillary equipment. The valid norms governing lightning strikes and power overloads are also briefly characterised. The final part is devoted to amateur lightning detectors and the experimental construction of one exemplar.

Keywords: storm and lightning detection, types of lightning, lightning detectors



Chtěla bych poděkovat vedoucímu mé diplomové práce doc. RNDr. Vojtěchu Křesálkovi, CSc. za odborné vedení, připomínky, čas a za lidský přístup, kterým přispěl k vypracování této práce.

Mé poděkování patří doc. RNDr. Petru Ponížilovi, Ph.D. za ochotu, poskytnutý volný čas a materiály, které mi věnoval.

Děkuji své rodině, která mi po dobu mého studia poskytla zázemí a byla mi velkou oporou.

*Každý kdo se přestane učit, je starý, ať je mu dvacet nebo osmdesát. Každý kdo se stále učí, zůstává mladý. To nejlepší v životě je zůstat mladým.“*

Henry Ford

**Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

**Prohlašuji,**

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....  
podpis diplomanta

**OBSAH**

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 HISTORIE A SOUČASNOST</b> .....	<b>11</b>
1.1 HISTORIE.....	11
1.2 SOUČASNOST.....	12
<b>2 FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY</b> .....	<b>14</b>
2.1 STAVOVÁ ROVNICE IDEÁLNÍHO PLYNU .....	14
2.2 SKUPENSTVÍ VODY .....	14
2.3 VLHKOST VZDUCHU .....	16
2.4 ATMOSFÉRA .....	16
2.4.1 Chemické složení .....	17
2.4.2 Závislost tlaku vzduchu na výšce.....	17
2.4.3 Vertikální členění atmosféry .....	17
2.4.4 Závislost teploty vzduchu na výšce.....	19
2.5 OBLAČNOST .....	20
2.5.1 Orografická oblačnost .....	21
2.5.2 Frontální oblačnost.....	21
2.5.3 Konvekční oblačnost.....	22
2.6 BLESK .....	24
2.6.1 Vznik elektrického pole .....	24
2.6.2 Vznik blesku.....	25
2.6.3 Druhy blesků .....	26
<b>3 DETEKCE BLESKU</b> .....	<b>28</b>
3.1 POZEMNÍ DETEKCE .....	28
3.1.1 Metoda času příchodu – (time of arrival - TOA) .....	28
3.1.2 Metoda určování směru (direction finding – DF) .....	29
3.1.3 Systém detekce blesků na území ČR .....	32
3.2 DETEKCE POMOCÍ DRUŽIC .....	32
3.3 JEVY POZOROVATELNÉ Z DRUŽIC .....	35
3.3.1 Red sprites .....	35
3.3.2 Blue jets.....	35
3.3.3 Elves.....	35
3.4 VIZUALIZACE DAT DETEKCE BLESKŮ.....	36
3.5 RADAROVÁ MĚŘENÍ .....	38
3.5.1 Historie radarových měření.....	38
3.5.2 Princip radarového měření .....	39
3.5.3 Typy oblačnosti při radarovém pozorování .....	39
Konvekční oblačnost.....	39
Vrstevnatá oblačnost.....	39
3.5.4 Radarová detekce srážek .....	40
3.6 DETEKCE BLESKŮ V ČHMÚ.....	40
<b>4 OCHRANA PŘED BLESKEM</b> .....	<b>43</b>

4.1	OCHRANA LIDSKÉHO ŽIVOTA PŘED BLESKEM .....	43
4.1.1	Ochrana v přírodě.....	43
4.2	OCHRANA BUDOV PŘED BLESKEM .....	46
4.2.1	Přepětí .....	48
4.2.2	Vnější ochrana před bleskem - jímací zařízení .....	51
4.2.3	Vnější ochrana před bleskem - svody .....	52
4.2.4	Ochrana před bleskem - uzemnění.....	53
4.2.5	Konstrukční prvky vnější ochrany .....	53
4.2.6	Vnitřní ochrana a přepětí.....	55
4.2.7	Ochrana v budovách.....	55
4.2.8	Úder blesku .....	56
4.2.9	Bleskosvod .....	59
<b>5</b>	<b>TECHNICKÉ PROSTŘEDKY POUŽÍVANÉ PRO DETEKCI BLESKŮ.....</b>	<b>61</b>
5.1	DETEKTORY BLESKŮ .....	61
5.1.1	Storm Tracker, LD - 50 .....	61
5.1.2	EFM-100 .....	62
5.1.3	Indikátor bouřky Strikealert .....	62
5.1.4	Mobilní telefon.....	63
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>64</b>
<b>6</b>	<b>KONSTRUKCE VLASTNÍHO DETEKTORU .....</b>	<b>65</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>68</b>
	<b>ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....</b>	<b>69</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>70</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>73</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>74</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>76</b>
	<b>SEZNAM ROVNIC .....</b>	<b>77</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>78</b>

## ÚVOD

Diplomová práce je zaměřena na detekci bouřkové situace a blesků.

Oblaka a srážky zajímají lidi již delší dobu, okouzlují nás rozmanitostí oblaků, které plují oblohou a jsou unášeny větrem. Každý, kdo pozoruje oblohu, zjistí u oblaků změny tvaru a velikosti. Fyzika oblaků a srážek je rozvíjena od konce čtyřicátých let dvacátého století, kdy byla vyslovena myšlenka o „umělé infekci oblaků“, která může v omezené oblasti vyvolat srážky nebo oblačnost rozpustit.

Na oblačnost a srážkové procesy nahlížíme jako na výsledek působení termodynamických, mikrofyzikálních a dynamických procesů majících charakteristické rozměry a doby trvání.

Meteorologické procesy určující průběh počasí v dané oblasti, mohou mít rozdílné rozměry a doby trvání. Vnější projev procesů v zemské atmosféře a interakce s povrchem jsou meteorologické jevy, které můžeme pozorovat a detekovat pomocí velké palety měření. Rozsah se týká procesů a jevů spojených s vývojem oblaků a srážek. Vrstvená oblačnost zasahuje do několika km a dní, kupovité oblaky pěkného počasí mají rozměry několik desítek metrů a životní cyklus nepřesahuje desítky minut.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 HISTORIE A SOUČASNOST

Počasí od jara do podzimu je velmi proměnlivé, léto je jak na houpačce, jeden den je jasno a vedro, během dne popř. druhý den je náhlá změna počasí, přijdou prudké bouřky, blesky a hromobití. Blesky dosahují délky 1 - 3 kilometry, vzduch se při úderu blesku ohřeje až na 30 000 °C. Napětí blesků je kolem 100 milionů voltů. Za hodinu zasáhne zemský povrch přibližně milion blesků.

Blesky jsou nebezpečným jevem pro společnost, jsou zodpovědné za řadu úmrtí i značné ekonomické škody.

Detekce srážek jsou založené na radarových a družicových oblačných a srážkových pozorováních. Detekce blesků patří k nejmladším distančním metodám v meteorologii. Data z detekce blesků jsou využívána ve všech evropských meteorologických službách.

### 1.1 Historie

Meteorologie je věda zabývající se atmosférou. Studuje její složení, stavbu, vlastnosti, jevy a děje v ní probíhající, například počasí. Člověk byl na počasí závislý vždy, ale tato závislost se velmi prohloubila asi před 7 000 lety, kdy začal přecházet k usedlému způsobu života a k obživě mu sloužilo zemědělství. Tuto dobu můžeme pokládat za počátky meteorologie. Za další mezníky ve vývoji meteorologie můžeme považovat 4. století př. n. l. kdy Platón zavedl pojem meteora pro věci nadzemské (proto třeba meteor znamená úkaz v atmosféře). Kolem roku 340 př. n. l. Aristoteles sepsal své dílo Meteorologica. S historií meteorologie i našimi zeměmi je spojena 1771 klementinská řada teplot, která začíná v roce 1771 a v roce 1804 se k ní přidává i měření srážek.

První zmínky o blesku najdeme v bájích, mezi nejstarší řecké báje patří vyprávění o Prometheovi, který bohům ukradl oheň a dal ho lidem. První oheň člověk poznal při úderu blesku do keře nebo suché trávy. Podle báje oheň přišel z nebe.

V egyptských chrámech postavili vysoké dřevěné stožáry pobité měděnými pásy, které sloužily pro zachycení nebeského ohně. Tyto poznatky byly po sléze zapomenuty.

S bleskem je také spjat příběh proroka Eliáše: Před krále Achabem a kněžími boha Baala na hoře Karmel spadl oheň Hospodinův a spálil oběť, zápalné dříví, kamení i plst', po této události se strhl velký vítr a bouře.

V prvním století po Kristu se Říman Lucrecius věnoval rozboru blesku a hromu. Uvedl, že blesk Jupiterem, ale je přírodním jevem. Plinius rozeznával několik druhů blesků a to studený a zápalný blesk.

Ve středověku se člověk obával blesku, věřil v jeho božské poslání, nedokázal si vysvětlit podivný přírodní úkaz, který zapaloval obydlí a zabíjel lidí [1, 2].

V 18. století se začaly rozvíjet snahy, které vedly k poznání blesku, vzniku a probíhání bouřkové elektřiny. V roce 1749 Benjamin Franklin jako první navrhl postavit uzemněné kovové stožáry v blízkosti budovy. Doporučil později tyto stožáry stavět na ochranu budov a navrhl rozměry jímačů a svodů do země, které mají za úkol svést bleskový výboj do země. Domníval se, že bleskosvod vysává elektřinu z mraku. V roce 1753 ruský vědec M. V. Lomonosov společně s G. V. Richmanem studovali bouřkové jevy a sestrojili několik přístrojů. Lomonosov navrhl, aby byly na ochranu budov vystavěny bleskosvody v podobě vysokých zahrocených železných tyčí, zaražených spodním koncem hluboko do země.

Ochrannou před bleskem se zabýval také přírodovědec Prokop Diviš, který 15. června 1754 postavil bleskosvod, který několikrát upravoval. Bleskosvod sloužil nejen jako ochrana před úderem blesku, ale zároveň měl svádět úder blesku do země. Během několika let a staletí se vyvinul bleskosvod do takové míry, že je nejdůležitější ochranou budov před bleskem [2].

## 1.2 Současnost

V současné době meteorologové většinou už dobře rozumí procesům probíhajícím v atmosféře a jevům, které jsou s nimi spojeny. Meteorologie už není omezena na zpracování pouze synoptických měření, jak to bylo ještě před 30 lety, ale využívá radarových měření, pozorování z družic v různých oblastech elektromagnetického spektra, podrobných simulací vývoje atmosféry, běžících na nejvýkonnějších současných počítačích. Stejně tak ochrana před nepříznivými meteorologickými jevy se v poslední době posunula na kvalitativně vyšší úroveň. Na druhé straně jsou moderní elektronické systémy mnohem citlivější na rušivé elektrické a elektromagnetické působení. Relativně častá jsou i úmrtí způsobená zásahem bleskem. Například zpravodajský server [www.lidovky.cz](http://www.lidovky.cz) přinesl 5. 5. 2012 na titulní stránce zprávu s titulkem: Blesk v Českém ráji zasáhl čtrnáctiletého chlapce, přežil. V článku jsou zmiňovány případy zasažení dětí či mladistvých bleskem z posledních let:



12. června 1996 - Třináctiletou dívku z Vrchlabí na Trutnovsku zasáhl blesk na školním výletě v krkonošských Rýchorách, když se vracela se skupinkou dětí do chaty. Zemřela o čtyřicet hodin později v nemocnici. Další tři žákyně, které byly v bezprostřední blízkosti elektrického výboje, utrpěly lehké popáleniny a šok.

4. června 2000 - Třináctiletého chlapce z Loun našel náhodný chodec na cestě z bývalé pískovny u Dobroměřic na Lounsku. Soudní pitva potvrdila vyšetřovací verzi policistů, že dítě zabil blesk.

15. července 2001 - Patnáctiletého chlapce usmrtil blesk v letním táboře u Dlouhého Hradiště na Tachovsku. Události předcházela táborová hra v lese. Při návratu do tábora se chlapec před prudkou bouřkou schoval pod strom a přitom ho zasáhl blesk. Policie nezjistila cizí zavinění.

7. srpna 2005 - Dvě čtrnáctileté dívky zasáhl u obce Mokrosuky u Sušice na Klatovsku blesk, který uhodil do stromu na fotbalovém hřišti, kde se dívky nacházely. Jedna z dívek byla odvezena do nemocnice v kritickém stavu, ale přežila.

26. července 2008 - Patnáctiletého chlapce popálil blesk v Hranicích na Přerovsku. Ten samý den zasáhl blesk také osmnáctiletého mladíka u Rudíkova na Třebíčsku a lehce poranil i o rok mladší dívku, která ho doprovázela.

2. července 2009 - Blesk zasáhl patnáctiletou dívku v Třinci. Utrpěla popáleniny prvního stupně na rukou a nohou.

23. července 2009 - V Bradkovicích na Kladensku blesk uhodil do zastávky a zranil dva chlapce, kteří se v ní schovali - třináctiletý chlapec utrpěl popáleniny hrudníku, o rok starší hoch přestal po úderu blesku slyšet.

22. května 2010 - Blesk těžce zranil dva mladíky u Hostinného na Trutnovsku. Jeden z mladíků po úderu blesku naštěstí nabyl vědomí a mobilním telefonem zavolal záchranáře.

14. července 2011 - Při bouři v Černé u Bohdanče na Pardubicku zasáhl blesk šestnáctiletého mladíka. Blesk jej zřejmě udeřil, když zavíral okno. Mladík vyvázl bez popálenin a jiného zranění.

Je tedy vidět, že blesky si vybírají svou daň i v dnešní době.

## 2 FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY

### 2.1 Stavová rovnice ideálního plynu

Suchý vzduch lze považovat za ideální plyn, pro který platí stavová rovnice vyjadřující vzájemnou závislost stavových veličin při termodynamických dějích v plynu:

$$pV = nRT$$

Rovnice č. 1: Vzájemná závislost stavových veličin [1].

kde:

$p$  – tlak

$V$  – objem

$n$  – látkové množství

$R$  – univerzální plynová konstanta

$T$  – absolutní teplota

Pro naši potřebu je důležité uvědomit si, že při konstantním tlaku a rostoucí teplotě se vzduch rozpíná a jeho hustota tedy klesá.

Druhou důležitou informací je, že pokud se plyn adiabaticky (bez výměny tepla s okolím) rozpíná, jeho teplota klesá [1].

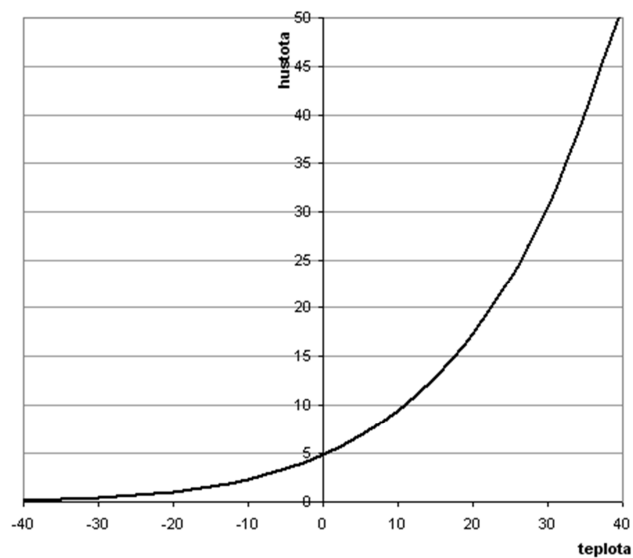
### 2.2 Skupenství vody

Voda je jediná látka ve vzduchu, která se za běžných meteorologických podmínek vyskytuje ve všech třech skupenství tj. vodní pára, kapalná voda a led. Fázové přechody vody hrají při vývoji oblaků a srážek velkou roli [15]. Změny skupenství spotřebovávají nebo uvolňují velké množství energie a tím mění chování vlhkého vzduchu ve srovnání s ideálním plynem. Následující tabulka uvádí hustotu nasycených vodních par nad vodou (nad ledem jsou hustoty nasycených par, při teplotách menších než 0 °C, o něco menší). Hustota nasycených par vlastně říká, kolik vodní páry se vejde do vzduchu při určité teplotě. Stejnou závislost uvádí graf na obr. 1. Všimněme si, že hustota nasycených par roste s teplotou exponenciálně.

Hustota nasycených vodních par nad vodou v  $\text{g/m}^3$ :

teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]	hustota [ $\text{g/m}^3$ ]
-40	0,18
-30	0,45
-20	1,07
-10	2,36
0	4,85
10	9,40
20	17,30
30	30,38
40	51,19

Tabulka č. 1: Hustota nasycených vodních par nad vodou



Obr. č. 1: Elektrický stav ovzduší kolem země [15]

### 2.3 Vlhkost vzduchu

Z vodní hladiny přecházejí do okolního vzduchu molekuly vody. Jak roste teplota, zvyšuje se kinetická energie (a tedy i rychlost) molekul ve vodě a zvyšuje se pravděpodobnost, že molekula překoná síly, které ji drží v kapalině a uvolní se do okolí, dochází k vypařování. S rostoucí teplotou proto do okolí přechází větší množství molekul. Naopak molekula páry, která narazí na vodní hladinu, se vrátí do vody v kapalném skupenství, dochází ke kondenzaci. Probíhají tu dva jevy s opačným směrem – jednak uvolňování molekul z kapaliny od plynné fáze a jednak návrat molekul z plynné fáze do kapaliny. Pokud koncentrace par dosáhne jisté hranice, je počet vypařených molekul a molekul zkondenzovaných totožný. V tom případě hovoříme o mokřém vzduchu. Neobsahuje-li vzduch žádné molekuly vody, jedná se o suchý vzduch. Podle množství vodních par určíme vlhkost vzduchu.

**Absolutní vlhkost** vzduchu udává hmotnost vodních par v  $1 \text{ m}^3$  vzduchu. Zpravidla se uvádí v gramech na metr krychlový.

**Relativní vlhkost** vzduchu udává poměr absolutní vlhkosti vzduchu a absolutní vlhkosti vzduchu, který by byl při téže teplotě sytý vodními parami. Relativní vlhkost vzduchu udává míru nasycení vodních par. Říká z jaké části je kapacita (schopnost vzduchu pojmout vodu) využita. Pro člověka je optimální vlhkost vzduchu okolo 60%. Mokřý vzduch definovaný výše je tedy vzduch se 100% vlhkostí.

Teplota, při níž se pára obsažená ve vzduchu stane nasycenou a začne tak kondenzovat, se nazývá **rosný bod**.

### 2.4 Atmosféra

Termín atmosféra pochází z řečtiny, kde *atmos* znamená pára, a *sphaira* je koule. Atmosférou se myslí plynný obal Země nebo jiného tělesa v kosmickém prostoru udržovaný na svém místě jeho gravitací.

### 2.4.1 Chemické složení

Suchý vzduch je složen z dusíku, kyslíku a malé příměsi dalších plynů.

plyn	množství
dusík (N <sub>2</sub> )	78 %
kyslík (O <sub>2</sub> )	21 %
Argon (Ar)	1 %
Oxid uhličitý (CO <sub>2</sub> )	0,031 %
Ne, He, CH <sub>4</sub>	<0,002 %

Tabulka č. 2: Chemické složení čistého suchého vzduchu (v objemových %)

Tabulka udává složení vzduchu blízko u povrchu země. Ve větších výškách klesá koncentrace těžších molekul (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>) a zvyšuje se množství lehčích molekul (He, H<sub>2</sub>). Reálný vzduch vždy obsahuje proměnlivé množství vody. Vzduch obsahuje také pevné a kapalné částice tzv. atmosférické aerosoly. Hustota vzduchu za normálního tlaku ( $p_n=1,01325 \cdot 10^5$  Pa) je 1,28 kg/m<sup>3</sup> [1].

### 2.4.2 Závislost tlaku vzduchu na výšce

Atmosférický tlak je určen hmotností vzduchu, který se nachází nad nějakým místem. Množství vzduchu nad povrchem Země je na různých místech různé, není ani atmosférický tlak na dvou místech stejný. Přibližně platí, že tlak klesá o 50%, když vystoupíme do výšky 5 km. Normální atmosférický tlak na úrovni mořské hladiny je přibližně 1013 hPa.

### 2.4.3 Vertikální členění atmosféry

Atmosféra je složena ze čtyř hlavních vrstev – troposféry, stratosféry, mezosféry, ionosféry a exosféry. Mezi vrstvami jsou přechody.

**Troposféra** je nejnižší vrstvou atmosféry, ve které je soustředěna asi 80 % hmotnosti atmosféry. Je to také vrstva, ve které se tvoří počasí. Troposféra je část atmosféry sahající od zemského povrchu k tropopauze, jež odděluje troposféru od výše ležící stratosféry. Na rovníku je troposféra mocná kolem 18 km, v mírných šířkách sahá k 11 km a panuje tam teplota kolem -55 °C. U pólů dosahuje troposféra ještě níže – jen k 9 km. V troposféře s rostoucí výškou klesá tlak i teplota. **Stratosféra** začíná ve výšce asi 10 km a končí 50 km

nad zemským povrchem. Teplota je v dolní části téměř konstantní, a pak roste až k bodu mrazu. Na horním okraji pásma je vysoká koncentrace ozonu  $O_3$  a nazývá se ozonosféra [2, 4].

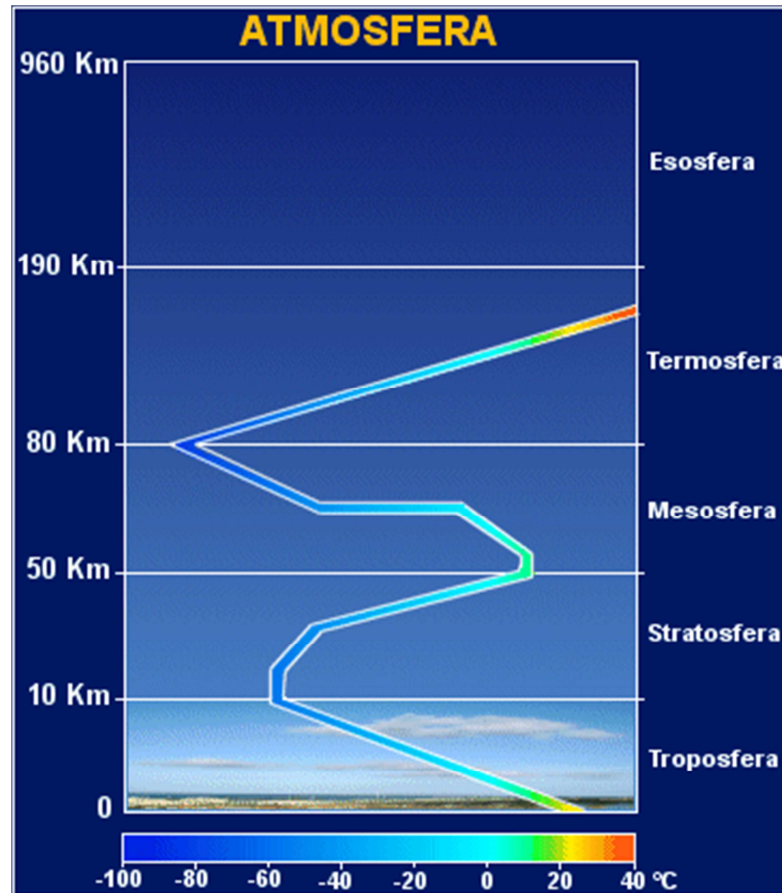
**Mezosféra** sahá od horních vrstev stratosféry, přibližně do 80 až 85 km. Teplota s nadmořskou výškou klesá až k  $-80\text{ }^\circ\text{C}$ .

**Termosféra** dosahuje až do výšky nad 500 km. Teplota zde s rostoucí výškou stoupá až na cca  $1\ 400\text{ }^\circ\text{C}$ . Vzhledem k velmi malé hustotě vzduchu ve velkých výškách, zde nelze měřit teplotu vzduchu standardními metodami, ale teplota se určuje na základě střední velikosti kinetické energie pohybu jednotlivých molekul. Molekuly plynu mají vysokou rychlost a tedy i teplotu, ale vzhledem k malému počtu nárazů molekul na povrch nebude předmět přiveden do tepelné rovnováhy s okolím. V termosféře se vyskytuje polární záře.

**Exosféra** je nejvyšší vrstvou atmosféry, liší se složením od troposféry a molekuly lehkých plynů H a He zde dosahují únikové rychlosti a vymaňují se přitažlivosti Země, unikají do meziplanetárního prostoru [2, 4].

Významnou vrstvou atmosféry a hlediska technického použití je **ionosféra**. Ta obsahuje velké množství iontů i volných elektronů, je velmi vodivá a proto odráží rádiové vlny.

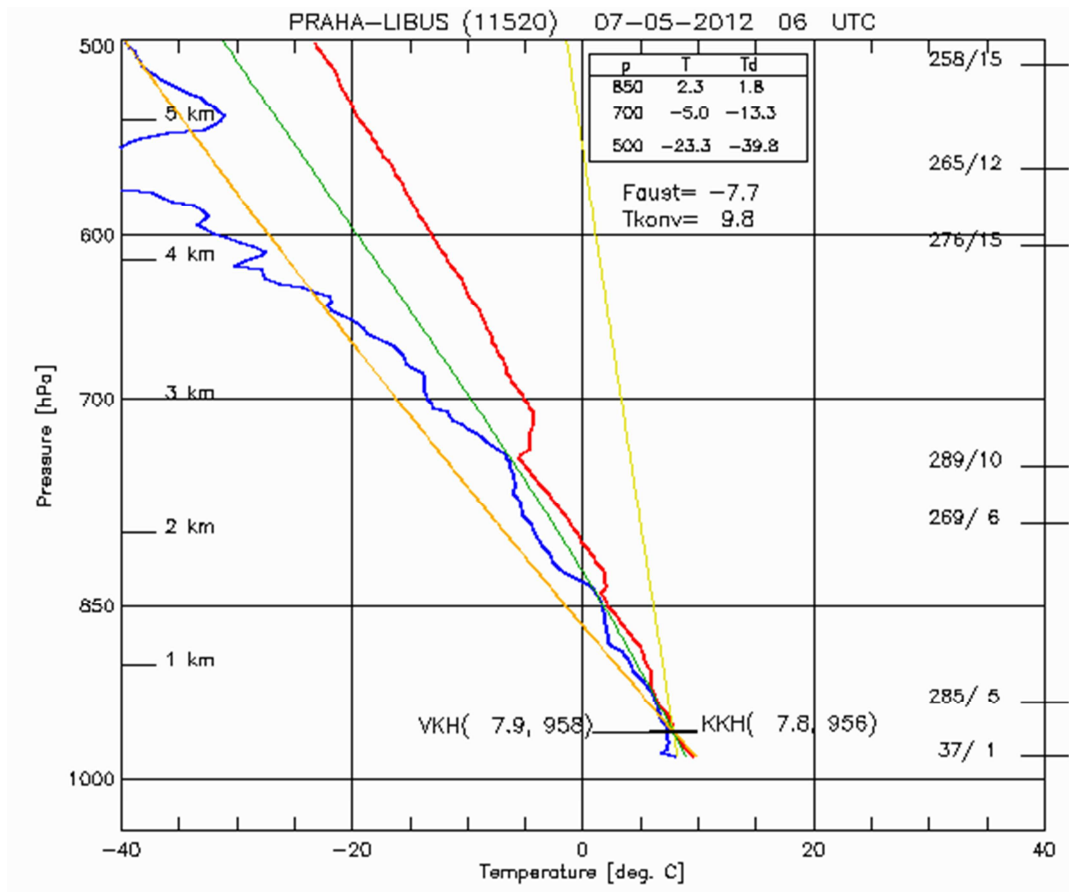
Výška 100 km je v letectví a kosmonautice považována za hranici kosmického prostoru. Ve výškách přes 200 km je hustota vzduchu už tak malá, že se zde na oběžných drahách mohou dlouhodobě pohybovat umělé družice Země.



Obr. č. 2: Vertikální členění atmosféry [25].

#### 2.4.4 Závislost teploty vzduchu na výšce

Jak jsme ukázali v předchozí kapitole, z hlediska počasí a dějů v atmosféře je nejvýznamnější její nejnižší vrstva – troposféra, kde se naprostá většina těchto dějů odehrává. Jak plyne už z popisu změny teploty s výškou v troposféře, je-li při zemi teplota vzduchu přibližně 10 °C a na horní hranici ve výšce 10 km teplota -55 °C, odpovídá tomuto rozdílu průměrný pokles teploty vzduchu s výškou o 0,65 °C na 100 m. V tropech, kde je přízemní teplota vyšší je vyšší i horní hranic troposféry, to znamená, že i v tropech je průměrná změna teploty s výškou přibližně stejná. Konkrétní změna teploty s výškou se od průměrné vždy více či méně liší. Dokonce může teplota v nějakém intervalu výšek s rostoucí výškou růst v případě inverze (např. inverze ve výšce 1500 m a 2500 m na aerologickém záznamu na obr. 3). Tvar závislosti teploty na výšce je určující pro vznik bouřek, protože určuje, jak vysoko může vystoupat částice teplého vzduchu v atmosféře.



Obr. č. 3: Závislost teploty (červená čára) na výšce na aerologickém záznamu [26].

## 2.5 Oblačnost

Jak jsme ukázali dříve, aby došlo ke kondenzaci vodní páry, musí se vzduch ochladit. K tomuto ochlazení dojde většinou tak, že se vzduch adiabaticky rozpíná a při tom klesá jeho teplota. Vystupuje-li takto vzhůru suchý vzduch, ochlazuje se o  $1^{\circ}\text{C}$  na 100 m výstupu. Jinou možností, pro nás méně významnou, je případ, kdy se vzduch ochladí od studené pevniny. V tomto případě voda kondenzuje nízko nad zemí a důsledkem je mlha. To je případ známých mlh v Londýně, kdy se teplý vzduch z Atlantiku ohřívajícího Golským proudem dostane nad chladnější pevninu britských ostrovů nebo časté podzimní ranní mlhy u nás, kdy se v důsledku vyzařování v noci ochladí povrch země a od něj přizemní vrstvy vzduchu.



### 2.5.1 Orografická oblačnost

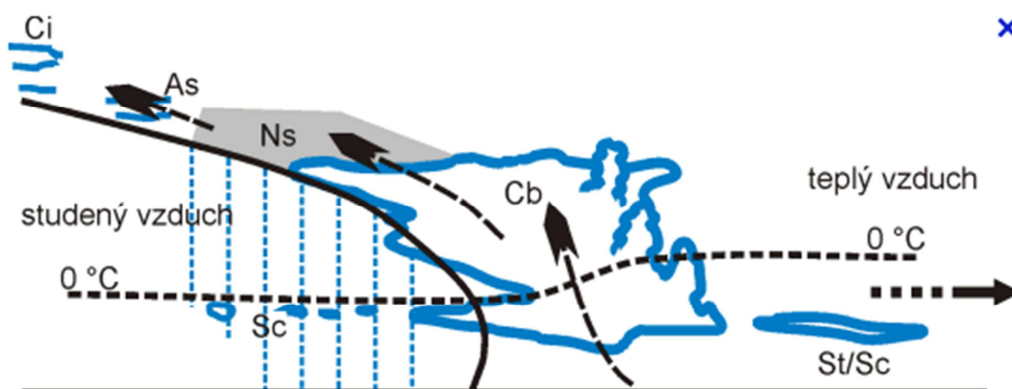
Pro vznik oblačnosti, srážek a zejména bouřek je rozhodující adiabatické ochlazování způsobené vzestupným pohybem vzduchu. Příčinou stoupání vzduchu může být jednak tvar terénu v případě, kdy pohybující se vzduchová hmota narazí na pohoří a po návětrné straně vystupuje vzhůru. Stoupající vzduch se rozpíná a ochlazuje a vzniká takzvaná orografická oblačnost (obr. 4).



Obr. č. 4: Příklad orografické oblačnosti vznikající v důsledku přetékání vzduchu přes kopec. Vítr fouká zprava [26].

### 2.5.2 Frontální oblačnost

Druhým případem vzniku oblačnosti v důsledku stoupání vzduchu je frontální oblačnost, kdy se setká teplá a studená vzduchová hmota. Studený vzduch má větší hustotu, zasouvá se pod teplý, který stoupá vzhůru a ochlazuje se. Rozhraní mezi teplým a studeným vzduchem se nazývá atmosférická fronta (obr. 5).



Obr. č. 5: Pohyb vzduchu a oblačnost na studené frontě [26].

### 2.5.3 Konvekční oblačnost

Posledním způsobem, jak vzniká oblačnost, je tzv. konvekce – vzestupný pohyb teplého vzduchu. Předpokládejme, že se za jasného letního dne zahřeje povrch země a od něj přízemní vrstva vzduchu. Teplý vzduch má menší hustotu než okolní studený a začne stoupat vzhůru. Jak stoupá, ochlazuje se o 1 °C na 100 m, zatímco teplota okolního vzduchu klesá průměrně jen o 0,65 °C na 100 m. To znamená, že se stoupající teplý vzduch ochlazuje rychleji než okolí, teploty se brzy vyrovnají a stoupání teplého vzduchu se zastaví. Ovšem není-li vzduch suchý, stoupá při ochlazování jeho relativní vlhkost, až dojde jeho nasycení vodní parou a ke kondenzaci vody. Při kondenzaci se uvolňuje teplo, které vzduch naopak zahřívá. To znamená, že mokřý stoupající vzduch se ochlazuje méně než suchý – pouze o 0,65 °C na 100 m. To znamená přibližně stejně jako okolní atmosféra. V tomto případě, pak záleží na tom, jak rychle se s výškou ochlazuje okolní vzduch. Je-li to více než 0,65 °C na 100 m, ochlazuje se okolí rychleji, než stoupající vzduch a stoupající vzduch je stále teplejší než okolí a stále stoupá. Stoupání trvá tak dlouho, dokud je stoupající vzduch teplejší než okolí. Tak vznikají oblaka zvaná Cumulus (kupa) – obr 6. Všimněte si na obr. 6 rovné spodní základny oblaků, která je ve stejné výšce. To je výška, ve které se stoupající vzduch ochladí natolik, že pára, v něm obsažená, začne kondenzovat.



Obr. č. 6: : Kumuly pěkného počasí [26].

Nejvyšší výška, které může stoupající vzduch dosáhnout je hranice troposféry, kde se pokles teploty okolního vzduchu s výškou zastaví (obr. 2). Pak vznikne oblak sahající od výšky několika set metrů nad zemí až po hranici troposféry v 10 km. Takový oblak se nazývá Cumulonimbus (dešťová kupa) – Obr. 7.



Obr. č. 7: Kumulonimbus [26].

Kumulonimbus se vyznačuje velkým vertikálním rozsahem, jeho dolní část má teplotu několik stupňů nad nulou, v horní části je teplota kolem  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Při takové teplotě je hustota nasycených par velmi nízká, to znamená, že prakticky všechna voda obsažená ve vzduchu zkondenzovala. Při kondenzaci se uvolnilo velké množství tepla a teplý vzruch uvnitř oblaku prudce stoupá vzhůru. Jak s výškou klesá teplota, vzniknou v oblaku kapičky vody, ty se dále ochlazují, mrznou a stoupají až do výšek, kde je teplota hluboko pod bodem mrazu ( $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Tam se podchladí na nízkou teplotu, a protože vzestupný pohyb ve velkých výškách slábne, začnou padat dolů. Při pádu se ovšem potkávají s kapičkami vody, které namrzají na jejich podchlazený povrch a vznikají ledové částice. Pokud se taková ledová částice znovu dostane do proudu stoupajícího vzduchu, znovu stoupá vzhůru, znovu se ochladí a opět padá kapičkami vody a nabaluje na sebe další mrznoucí vodu. V okamžiku, kdy jsou ledové částice tak velké, že je stoupající vzduch nedokáže udržet, vypadávají z oblaku. Pokud při pádu teplejšími vrstvami stihnou roztát, je důsledkem prudký déšť, pokud neroztají, padají kroupy. Kroupy na řezu mívají vrstevnatou strukturu podobnou cibuli – to jsou jednotlivé vrstvičky vody, které namrzly na povrch částice během opakovaných cest nahoru a dolů.

Všimněte si, že kumulonimbus (obr. 7) má v horní části tvar kovadliny – prudce stoupající vzduch narazí na hranici troposféry, nemůže stoupat vzhůru a začne se šířit do stran.

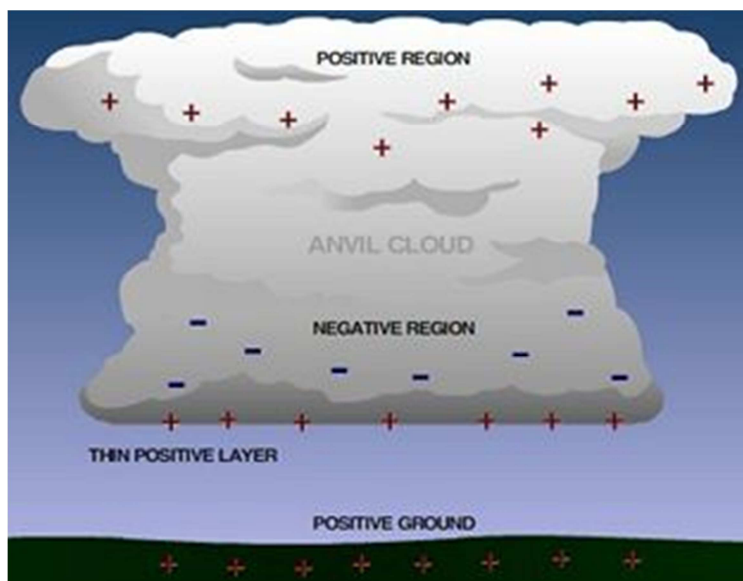
V případě studené fronty vznikají opět kumulonimby, ale počátečním impulsem vedoucím ke vzniku vzestupného pohybu vzduchu není přehřátí přízemních vrstev, ale studený vzduch, který se tlačí pod teplý a vytlačuje ho vzhůru.

## 2.6 Blesk

Blesky vznikají v oblacích druhu Cumulonimbus, vzácněji také Cumulus congestus (congestus znamená mohutný, jedná se tedy o kumuly s velkým vertikálním rozsahem), pouze v těchto oblacích totiž dochází k tvorbě dostatečně silných center elektrického náboje, aby výboj blesku nastal.

### 2.6.1 Vznik elektrického pole

Rozložení náboje v kumulonimbu se v různých případech liší, z pozorování však je možné sestavit zobecněný elektrický model kumulonimbu. Model předpokládá existenci hlavního centra kladného náboje v horní části oblaku a centra záporného náboje v nižších hladinách (obr. 8). Tato dvě centra mají zhruba srovnatelný náboj opačných znamének řádu desítek coulombů. Ve spodní části kumulonimbu je dále popisována existence podružného centra kladného náboje o velikosti jednotek coulombů. Toto podružné jádro kladného náboje nemusí existovat vždy, vyskytuje se zejména v pozdějším stadiu vývoje oblaku [15].



Obr. č. 8: Rozdělení náboje v mraku [3]

Teorie vzniku center elektrického náboje v kumulonimbu není v současnosti zcela jasná, jedná se o zřejmě o kombinaci několika jevů. Na základě současných znalostí získaných z pozorování i laboratorních měření se jako zřejmě nejvýznamnější jeví výměna náboje při kolizích malých ledových krystalků s většími ledovými krupkami v oblasti výstupného konvekčního proudu s vysokým obsahem vody. Při těchto kolizích se malé ledové krystalky nabíjejí kladně a větší krupky záporně. Následně vlivem výstupných pohybů a zemské tíže dochází k tomu, že malé krystalky jsou vyneseny do vyšších hladin, kde

formují hlavní centrum kladného náboje, zatímco větší krupky zůstávají ve středních hladinách nebo vypadávají jako konvekční srážky, čímž vzniká centrum záporného náboje [15].

### 2.6.2 Vznik blesku

Blesk je silný jiskrový výboj, vznikající mezi centry elektrického náboje opačné polarity. K výboji dochází buď mezi kladným a záporným centrem náboje uvnitř oblaku, poté mluvíme o blesku uvnitř oblaků, nebo mezi centrem náboje uvnitř oblaku a zemským povrchem, poté mluvíme o blesku do země. K výboji může též dojít mezi centry náboje dvou blízkých oblaků, popř. mezi oblakem a volnou atmosférou, tyto výboje jsou většinou z pohledu systémů detekce blesků označovány též jako blesky uvnitř oblaku.

Dosažením intenzity elektrického pole mezi mrakem a zemským povrchem 0,5 až 10 kV/cm se tvoří atmosférický výboj [3, 4].

Výboj blesku se skládá z několika fází. V případě blesku do země vzniká zárodek blesku uvnitř oblaku v oblasti s dostatečně silným elektrickým polem. První, vůdčí výboj (z angl. sepped leader) postupuje téměř neviditelně k zemskému povrchu, a to nejčastěji v postupných krocích rychlostí okolo  $200 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ . Postup vůdčího výboje v jednotlivých krocích je vysvětlován tím, na jeho dráze dochází k poklesu intenzity elektrického pole pod určitou kritickou hodnotu a pohyb výboje se pak na několik desítek mikrosekund zastaví, zatímco intenzita elektrického pole během tohoto času znovu dostatečně vzroste. Když se vůdčí výboj přiblíží k zemskému povrchu, začne proti němu, nejčastěji od nějakého vyvýšeného objektu, stoupat vzhůru vstřícný výboj. Následně se tyto výboje spojí a dojde k uzavření kanálu blesku. V takto vytvořeném kanálu vysoce ionizovaného vzduchu širokém nejčastěji několik centimetrů se následně začne šířit směrem vzhůru první zpětný výboj (v angl. return stroke), který je opticky mnohem jasnější a protéká jím proud v řádu desítek kA. Rozvíjí se tak postupně hlavní bleskový výboj dosahující maxima proudu po  $50 \mu\text{s}$  při době trvání  $250 \mu\text{s}$ , průměrné délce 6 km. Rychlost postupu zpětného výboje je řádově vyšší než rychlost vůdčího výboje a dosahuje hodnot až  $20\,000 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ . Teplota v kanálu blesku dosahuje při zpětném výboji až  $30\,000 \text{ K}$ , což má za následek náhlé zvětšení objemu vzduchu v kanálu a následnou tlakovou vlnu, kterou akusticky zaznamenáváme jako hřmění.

První zpětný výboj může být ve stejném kanálu následován dalšími vůdčími a zpětnými výboji. Jeden viditelný blesk se tak ve skutečnosti většinou skládá z několika následných

zpětných výbojů, v průmětu z tří až pěti, byly však detekovány blesky i s více než dvaceti zpětnými výboji. Čas mezi jednotlivými zpětnými výboji je v řádu stovek milisekund a celková doba výboje je obvykle menší než 1s.

V případě blesků uvnitř oblaku dochází též ke vzniku vůdčího výboje následovaného několika zpětnými výboji (v angl. recoil streamer), které většinou dosahují menších proudových amplitud i postupných rychlostí než zpětné výboje u blesků do země.

### 2.6.3 Druhy blesků

Atmosférický výboj probíhá mezi mraky a zemským povrchem, z hlediska ochrany jsou důležité především výboje proti zemi. Výboje začínají v mraku a šíří se směrem k zemi nebo naopak a to při kladné nebo záporné polaritě bouřkového mraku vzhledem k zemi. Kombinacemi dostaneme základní druhy zemních výbojů:

**Negativní výboj mrak – zem** – směrem od mraku k zemskému povrchu a přenáší záporný náboj (sestupný blesk),

**Negativní výboj zem – mrak** – mrak je nabitý záporně k zemskému povrchu, výboj vystupuje směrem od zemského povrchu k mraku (vzestupný blesk)

a přenáší kladný náboj ze zemského povrchu,

**Pozitivní výboj mrak – zem** – od mraku k zemskému povrchu (sestupný blesk), přenáší kladný náboj,

**Pozitivní výboj zem – mrak** – mrak je nabitý k zemskému povrchu kladným nábojem. Výboj postupuje od zemského povrchu k mraku (vzestupný blesk) a přenáší záporný náboj ze zemského povrchu [3].

Při bouřkách registrujeme obvykle atmosférický výboj typu mrak – zem. Jen u některých vysokých staveb a horských vrcholů se vyskytuje opačný výboj ve směru zem – mrak. Vzniká nerovnoměrné rozdělení polarit mraku, nejčastějším negativním výbojem je mrak - zem [3].

Z morfologického hlediska můžeme blesky rozdělit na:

**Růžencový blesk – perlový** – čárový blesk, který se podobá kulovému blesku. Dráha se skládá z většího počtu světelných kuliček od sebe oddělených, připomínají perly na šňůře nebo růženec.

**Blesk čárový** - vyskytuje se mezi oblakem a zemí, viditelný kanál není rozvětven.

**Blesk rozvětvený** – vyskytuje se mezi oblakem a zemí i uvnitř oblaku s bohatým větvením, optická intenzita rozvětvených kanálů slábne;

**Blesk plošný** – plošný blesk je skryt uvnitř oblaku, je vidět pouze osvětlení oblaku zevnitř.

**Blesk stuhový** - objevuje se zřídka s výrazně širším optickým kanálem, který je ovlivněn silným větrem

**Kulový blesk** – je to vzácný jev, který se vyskytuje při bouřkách, je to déle trvající elektrický výboj kulovité formy slabšího účinku než čárový blesk. Projevuje se jako zářící načervenalé elipsoidy nebo koule o průměru 10 až 20 cm, obklopená namodralou vrstvou s neostrými hranicemi, někdy může být bílá a ostře ohraničená. Vydává syčivý, bzučivý nebo přerušovaný zvuk. Po zmizení zanechá mlživý opar s ostrým zápachem, trvá od zlomků sekund po několik minut (3 – 5 min.). Objevuje se na pozadí spodní části mraků, vznáší se vzduchem nebo vzniká na povrchu předmětu. Následuje po úderu silného čárového blesku. Mizí tiše, nebo se slabým prásknutím podobným výstřelu, jindy zánik je spojen s ohlušujícím výbuchem ve formě exploze, kdy na všechny strany vyletí krátké jiskry. Rychlost kulového blesku je značná, pohybuje se od mraku k zemi a to v blízkosti země nebo v místnosti činí cca 2 metry za sekundy. Může se rozpadnout na menší kulové blesky a měnit se v perlový blesk, nebo z něho vzniká. Někdy se objeví dva kulové blesky nad sebou a jsou spojeny řetízkem svítících perliček. Uzavřené místnosti a dutiny jej přitahují a vniká do nich otevřenými okny, dveřmi a štěrbinami a hlavně komínem. Po určité době kroužení místnost opustí vzdušnou cestou bez hluku, nebo dochází k výbuchu. Zanechává za sebou sebedestrukční účinky a při dotyku vznikají popáleniny. Původ kulového blesku nebyl dosud objasněn, můžeme říci, že jde o určitou formu plazmy v atmosféře, které vznikly svinutím kanálů blesků [1, 5].

### 3 DETEKCE BLESKU

Při výboji blesku dochází ke vzniku tzv. atmosferiků, tj. vyzáření značného množství elektromagnetické energie v širokém frekvenčním spektru, které je vyvoláno pohybem elektrického náboje v kanálu blesku. Nejvíce energie je vyzářeno na nízkých frekvencích v oblasti velmi dlouhých a dlouhých vln (jednotky až stovky kHz) při zpětném výboji u blesku do země. Vůdčí výboje i zpětné výboje blesků uvnitř oblaků generují záření především na výrazně vyšších frekvencích v oblasti VKV (rádu stovek MHz). To je důvod, proč blesky můžeme slyšet jako rušení v rozhlasovém přijímači.

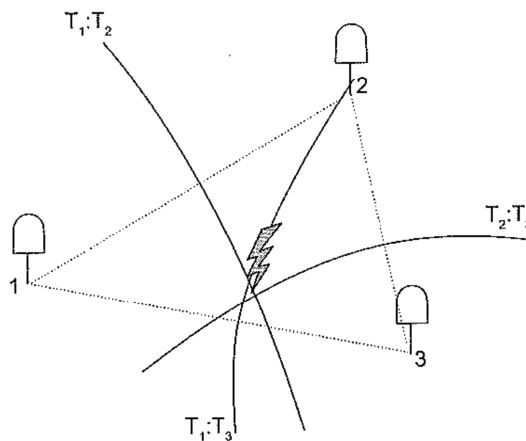
#### 3.1 Pozemní detekce

Pozemní detekce blesků je téměř výhradně založena na čidlech přijímacích a vyhodnocujících část spektra elektromagnetické energie generované bleskem. Protože informace z jednoho čidla neumožňují dostatečně přesnou lokalizaci výbojů blesků, je nejčastěji na sledovaném území rozmístěno větší množství detekčních čidel vzdálených od sebe desítky až stovky kilometrů a tvořících tzv. detekční síť blesků. Čidla jsou přesně časově synchronizována, nejčastěji pomocí přijímače signálu GPS, a v reálném čase propojena s centrálním zpracovatelským serverem. V případě, že je výboj blesku zaznamenán na dostatečném množství čidel, je na centrálním serveru vyhodnocena jeho poloha. K vyhodnocení polohy výboje blesku z měření více detekčních čidel jsou využívány dvě základní metody založené na času příchodu – (time of arrival - TOA) nebo určování směru (direction finding – DF)

##### 3.1.1 Metoda času příchodu – (time of arrival - TOA)

V této metodě je porovnáván přesný čas zaznamenání signálu anténou čidla. Poloha zdroje signálu je dána průsečíkem jednotlivých hyperbolických křivek představujících pevný poměr časových rozdílů zaznamenání výboje na detekčních čidlech (obr. 9). K vyhodnocení polohy touto metodou je zapotřebí detekovat signál blesku alespoň třemi čidly současně [15].

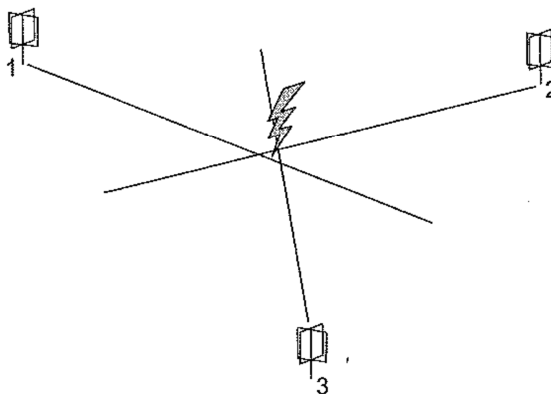




Obr. č. 9: Systém detekce TOA [15]

### 3.1.2 Metoda určování směru (direction finding – DF)

Při metodě určování směru musí být navíc anténou detekčního čidla vyhodnocen i směr signálu. Poloha zdroje signálu je určena průsečíkem jeho směrů vyhodnocených na více čidlech (obr. 10). K určení polohy při této metodě je teoreticky dostačující detekce signálu na dvou čidlech. Pokud však dojde k výboji poblíž přímky spojující tato dvě čidla, výrazně se zvyšuje chyba určení polohy, je proto vhodné využít k detekci alespoň tři čidla [15].



Obr. č. 10: Systém detekce DF [15].

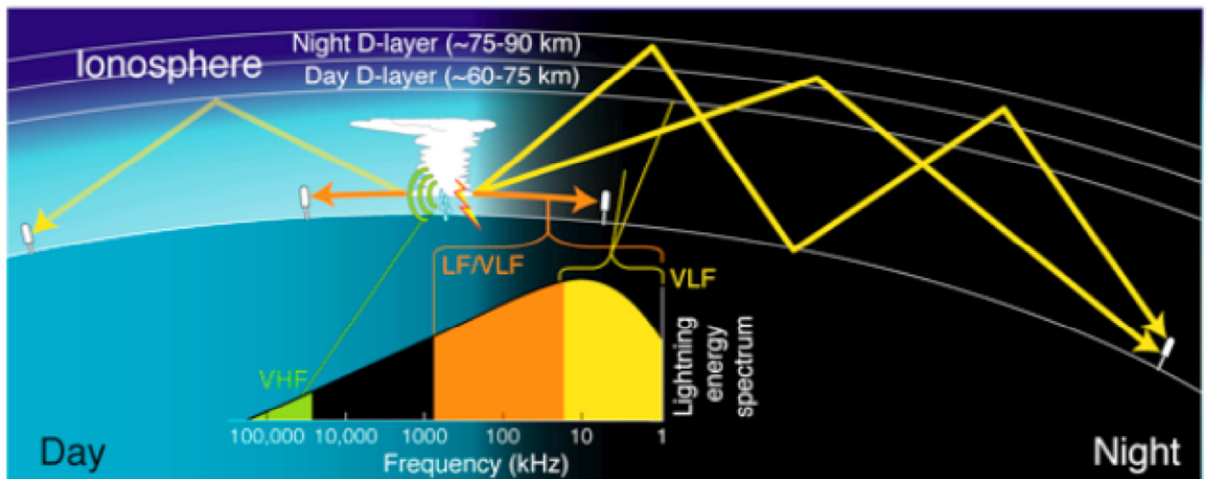
Moderní detekční systémy využívají pro zkvalitnění výpočtu polohy výboje blesku kombinaci obou zmíněných metod a dosahují tak přesnosti lokalizace až 500 m. Obecně platí, že nezávisle na použité lokalizační metodě je největší přesnost lokalizace i pravděpodobnost detekování výboje blesku uvnitř detekční sítě. Na hranicích a dále vně sítě přesnost i pravděpodobnost detekce postupně klesá. Přesnost a pravděpodobnost detekce obecně klesá též s rostoucí vzdáleností mezi detekčními čidly. Pro různá čidla

pracující v různých frekvenčních oblastech je však tento vztah odlišný z důvodu rozdílného způsobu šíření elektromagnetických vln o různých frekvencích [15].

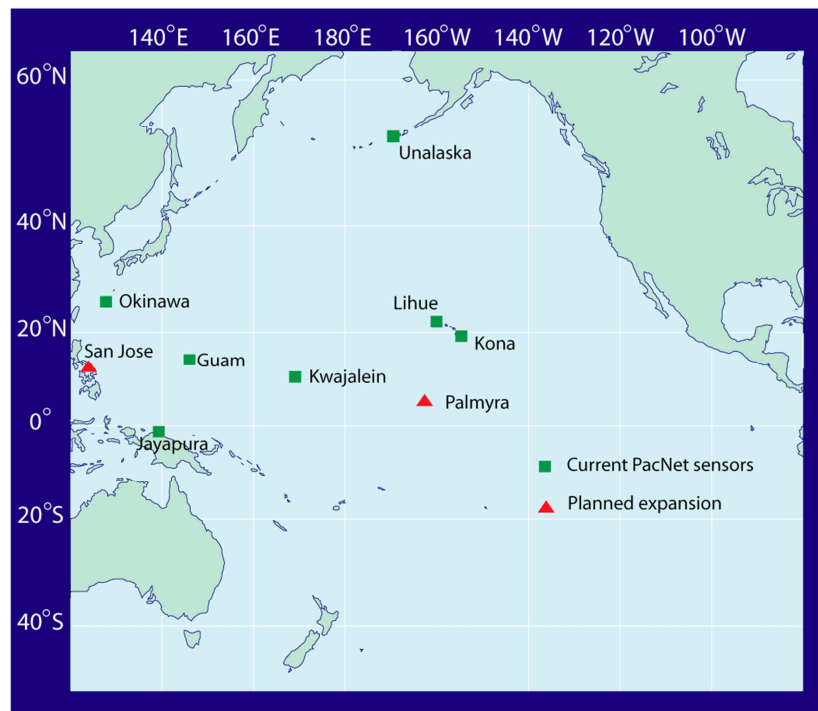
Přestože jsou ve většině případů využívány sítě detekčních čidel, existují i systémy lokalizující výboje blesků pouze na základě měření jediného čidla. Čidlo takového systému měří směr výboje, vzdálenost je odhadována ze síly přijatého signálu. Přesnost takovýchto systémů nedosahuje přesnosti měření pomocí detekčních sítí, jde však o systém autonomní, která je vhodný například pro armádní využití nebo místní varování. Zjednodušené verze těchto čidel jsou dostupné i pro domácí použití.

Různé pozemní sítě detekce blesků se principálně vzájemně odlišují zejména využívaným frekvenčním rozsahem. V operativních i experimentálních detekčních sítích se nejčastěji setkáme s čidly pracujícími v oblasti velmi dlouhých, dlouhých nebo velmi krátkých vln.

Zřejmě nejrozšířenějšími systémy detekce blesků pracují v oblasti velmi dlouhých vln. Tyto systémy jsou primárně určeny pro detekci blesků do země, protože při blescích do země je během zpětného výboje v této frekvenční oblasti vyzářeno nejvíce energie. Energie o těchto vlnových délkách je však vyzářena i při silných mezioblačných výbojích. Tyto systémy jsou tedy schopny detekovat jak blesky do země (u moderních systémů se dosahuje pravděpodobnosti detekce kolem 90%), tak i část mezioblačných výbojů (přibližně 5-30 %). Rozlišení mezioblačných blesků a blesků do země se provádí vyhodnocením tvaru časového průběhu detekovaného záření. Výhodou využívání dlouhých a velmi dlouhých vln je též skutečnost, že se v atmosféře ohýbají a šíří téměř rovnoběžně se zemským povrchem a tím se zvyšuje vzdálenost, na kterou jsou zaznamatelné na zemském povrchu. Dlouhovlnná detekční čidla jsou tak vhodná zejména pro detekční sítě pokrývající velká území o rozloze států až kontinentů. Se sníženou přesností jsou tyto senzory využívány i na výrazně větší vzdálenosti, kdy využívají odrazu vln od ionosféry (obr. 11). Příkladem může být síť PACNET pokrývající značnou část Tichého oceánu (obr. 12) [15].



Obr. č. 11: Frekvence používané v síti PACNET [27].



Obr. č. 12: Stanice síť PACNET [27].

Systémy pracující v oblasti velmi krátkých vln nedetekují zpětné výboje blesků do země, ale zejména jednotlivé postupné vůdčí výboje blesků do země i uvnitř oblačnosti. Pravděpodobnost detekce se u těchto čidel udává též kolem 90 %. Rozlišení blesků do země a mezioblačných výbojů je obtížné a většinou se k tomu u těchto systémů využívá dodatečné čidlo pracující na dlouhých vlnách. Vzhledem k přímkovému charakteru šíření elektromagnetických vln o těchto vlnových délkách je pro detekci výboje třeba přímá viditelnost mezi čidlem a bleskem. Blesky v těchto vlnových délkách též vyzařují méně

energie než na dlouhých vlnách. Aby byla zachována stejná efektivita detekce blesků do země, je potřebná vzdálenost mezi jednotlivými VKV čidly výrazně menší (řádově desítky kilometrů) než u dlouhovlnných systémů (asi 200-300 km). Systémy VKV jsou vhodné zejména pro monitorování malých oblastí, pro které je nebezpečná veškerá aktivita blesků, ne nutně spojená s blesky do země. Typickým případem je zabezpečení provozu letišť, kosmodromů apod. Systémy VKV jsou však využívány i pro detekci na větší územích. Využívány jsou též pro různé meteorologické výzkumné účely, v těchto případech jsou pak často konstruovány pro možnost třírozměrné detekce jednotlivých postupných vůdčích výbojů [15].

Slabší výboje detekované systémy na velmi krátkých vlnách jsou většinou zaznamenány dříve než silnější výboje detekovatelné na dlouhých vlnách i než další význačné projevy konvekčních bouří; lze je tedy teoreticky využít jako prediktory silné konvekce. Časová prodleva mezi prvními identifikovanými výboji na velmi krátkých vlnách a na dlouhých vlnách je však velmi proměnlivá od pouze několika minut až po desítky minut. Vyskytuje se též oblačnost, u které k bleskům do země nakonec vůbec nedojde. Pokud jsou pro sledovanou oblast k dispozici radarová data, je vhodné pro předpověď silné konvekce. Časová prodleva mezi prvními identifikovanými výboji na velmi krátkých vlnách a na dlouhých vlnách je však velmi proměnlivá od pouze několika minut až po desítky minut. Vyskytuje se též oblačnost, u které k bleskům do země nakonec vůbec nedojde. Pokud jsou pro sledovanou oblast k dispozici radarová data, je vhodné pro předpověď silné konvekce využívat především tato data a údaje o výskytu blesků použít jako informaci dodatkovou. V takovém případě však většinou postačují i data z dlouhovlnných systémů [15, 16].

### 3.1.3 Systém detekce blesků na území ČR

Česká republika provozuje spolu s Maďarskem a Polskem síť pro detekci blesků CELDN (Central European Lightning Detection Network), která je částí sítě EUCLID (European Cooperation for Lightning Detection), která sdružuje většinu zemí Evropy, kromě východní Evropy. Síť EUCLID provozuje v současné době 140 detektorů, které dodávají údaje do datového centra [16].

## 3.2 Detekce pomocí družic

Blesky byly pozorovány z oběžné dráhy Země od první poloviny 60. let minulého století, a to jak automatickými družicemi, tak posádkami pilotovaných kosmických letů. Do konce

20. století byly blesky detekovány více než tuctem družic, a to jak při cílených experimentech, tak občas nečekaně, přístroji zaměřenými na jiné úkoly či cíle. Výboje byly registrovány nejen v optickém oboru a v oblasti rádiových vln, ale například i v oblasti záření gama [15, 17].

Zatímco experimenty zaměřené na detekci blesků realizované během prvních letů amerických raketoplánů počátkem 80. let 20. století přístrojově navazovaly na předchozí letecký pozorování ze stratosférických letadel NASA U-2 a ER-2, pozdější experimenty koncem 80. let již využívaly nově zkonstruované přístroje, speciálně navržené pro budoucí implementaci na družicích. Byly to právě tyto experimenty a přístroje, které se staly základem pro detekci blesků ze soudobých i budoucích automatických družic Země. Pozorování z raketoplánů z konce 80. a počátkem 90. let 20. Století zároveň odhalila a zdokumentovala celou novou kategorii výbojů generovaných konvekčními bouřemi. Označujíc se jako sprites, blue jets a ELVES., vyskytují se nad konvekčními bouřemi a zasahují desítky kilometrů od stratosféry.

Jedním z nejvýznamnějších přístrojů pro optickou detekci výbojů z oběžné dráhy je přístroj LIS (Lightning Imaging Sensor), umístěný na družici TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) na polární dráze od listopadu 1997 (obr. 13). Družice sice pokrývá pouze tropické a subtropické oblasti (vymezené 35. stupni zeměpisné šířky), svým významem však přesahuje pouhé monitorování bouřkových procesů této oblasti. Přístroj LIS je totiž prototypem, na jehož základě bude pracovat obdobný přístroj, v budoucnu umístěný na geostacionárních družicích a monitorující celou polokouli. LIS nepřetržitě monitoruje území o velikosti 600x600 km, což v kombinaci s nízkou oběžnou dráhou (kolem 400 km) znamená souvislé pozorování určitého území pro dobu přibližně 90 sekund během přeletu družice nad danou lokalitou. To by se sice mohlo zdát málo, nicméně je to již dostatečně dlouhá doba na stanovení základních charakteristik – frekvence blesků (počet blesků za sekundu), jejich lokalizaci (s rozlišením 4 až 7 km) a stanovení jejich zářivé energie. Přístroj pracuje v nočních i denních hodinách, principem je rychlé odečítání hodnoty „pozadí“ od momentálních, rychle se měnících hodnot, což umožňuje detekci i relativně slabších záblesků. Efektivita detekce blesků do země je u tohoto přístroje přibližně 45 - 70 %, u mezioblačných výbojů o něco vyšší. Kromě samotného testování přístroje jsou jeho měření využívána při studiu vlastností tropické a subtropické konvekce a pro klimatologické účely.

Kromě přístroje LIS nese družice i srážkový radar PR (Precipitation Radar) schopný měřit množství srážek, mikrovlnný senzor TMI (TRMM Microwave Imager) pro měření množství vodních par a vody v oblacích, scanner ve viditelné a infračervené oblasti VIRS (Visible and Infrared Scanner)



Obr. č. 13: Družice Tropical Rainfall Measuring Mission [31].

Na podobném principu bude pracovat přístroj GLM. Kromě porovnávání okamžitého jasů s průměrnou hodnotou pozadí bude efektivita měření zvýšena implementací úzkopásmového interferenčního filtru propouštějícího pouze záření kolem 777,4 nm, což odpovídá silným emisním čarám atmosférických blesků. Rozlišení přístroje bude 8 km v nadiru družice, předpokládaná efektivita detekce kolem 90 % a procento falešné detekce by mělo být menší než 5 %. Přístroj bude mapovat území obou amerických kontinentů a přilehlých oceánů; jeho předpokládané nasazení je kolem roku 2014 na družici GOES-R (Geostationary Operational Environmental Satellite je síť meteorologických geostacionárních družic NASA vypouštěných od roku 1974) a na družicích následujících.

Kromě zmíněných přístrojů založených na pozorování pouze v optickém oboru probíhá paralelně i výzkum možnosti detekce v oblasti VHF. Příkladem těchto aktivit je družice FORTE, vypuštěná na polární dráhu v srpnu 1997, jejíž výška dráhy je 800 km a sklon dráhy 70 stupňů. Na její palubě jsou jak optické přístroje odvozené z přístroje LIS, tak přístroje pracující v různých pásmech VHF. Význam družice spočívá především v možnosti současného testování obou systémů (optického a VHF). Tyto experimenty potvrdily poměrnou spolehlivost VHF detekce z vesmíru, proto v současnosti probíhají studie možnosti využít VHF systémy detekce na družicích GPS, popř. družicích geostacionárních.

Systemy detekce blesků umístěné na oběžných drahách mají na jednu stranu výhodu v globálnosti svých měření, na druhou stranu nemohou pozemním systémům konkurovat z hlediska přesnosti lokalizace. Jsou či budou dostatečné pro monitorování aktivity či intenzity jednotlivých bouří, naproti tomu přesná lokalizace nejspíš ještě dlouho zůstane doménou pozemních systémů [15, 17].

### 3.3 Jevy pozorovatelné z družic

Velké bouřky jsou schopné produkovat jiné typy elektrických jevů tzv. přechodné světelné události (transient luminous events - TLE). Nejběžnější je TLE jsou červení skřítki (red sprites), modré paprsky (blue jets) a elfové (elves) (obr. 14). Tyto jevy byly poprvé pozorovány piloty vysoko létajících špionážních letounů (U-2) a byly zprvu považovány za přeludy způsobené dlouhým pobytem ve velkých výškách.

#### 3.3.1 Red sprites

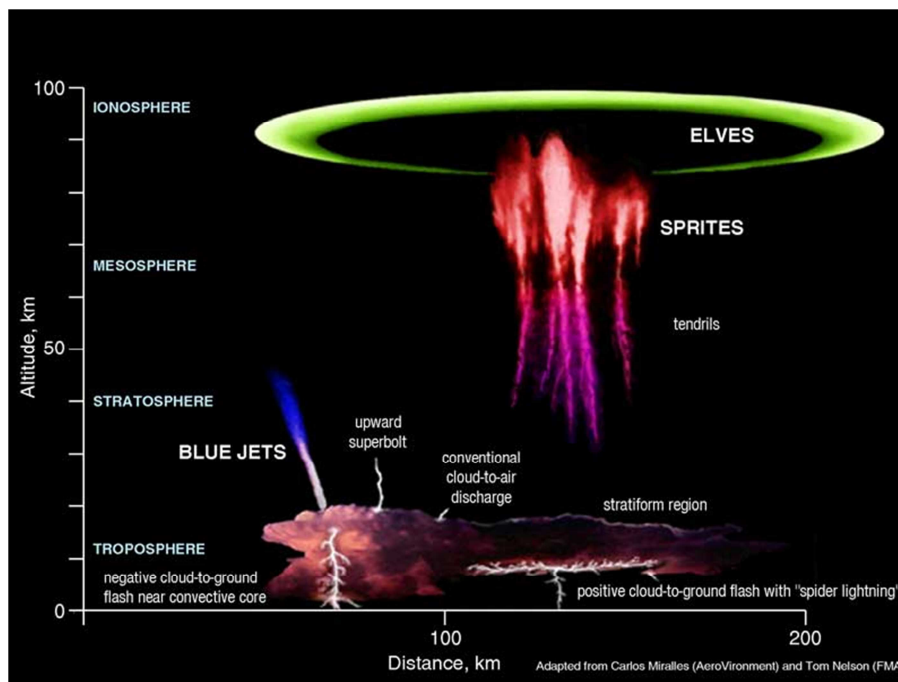
Red sprites se objevují přímo nad aktivní bouřkou jako velké, ale slabé blesky. Obvykle se objeví ve stejném okamžiku jako silný pozitivní blesk mrak - země. Mohou dosahovat až 90 km nad vrchol mraku. Red sprites jsou většinou červené a obvykle netrvají déle než několik sekund, a jejich tvary jsou popisovány jako připomínající medúzy, mrkev, nebo sloupce. Vzhledem k tomu, red sprites nejsou příliš jasné, mohou být pozorovány jen v noci. Jsou jen zřídka pozorovatelné lidským okem a nejčastěji jsou zachycovány vysoce citlivými kamerami (obr. 14) [20].

#### 3.3.2 Blue jets

Blue jets se objevují v horní části bouřkového oblaku, ale nejsou přímo spojeny s bleskem oblak-země. Natahují se do úzkých kuželů, které se mohou větvit a mizí ve výšce 25-35 km. Modré paprsky trvají zlomek sekundy a občas bývají pozorovány piloty (obr. 14) [20].

#### 3.3.3 Elves

Elves jsou rychle se rozvíjející diskovité zářící oblasti, které mohou mít rozsah až 300 kilometrů. Trvají méně než tisícinu sekundy, a vyskytují se nad bleskem oblak-země. Vědci se domnívají, že elves jsou důsledkem energetického elektromagnetického pulsu šířícího se do ionosféry. Elves byly objeveny v roce 1992 vysoce citlivou kamerou na raketoplánu (obr. 14) [28].



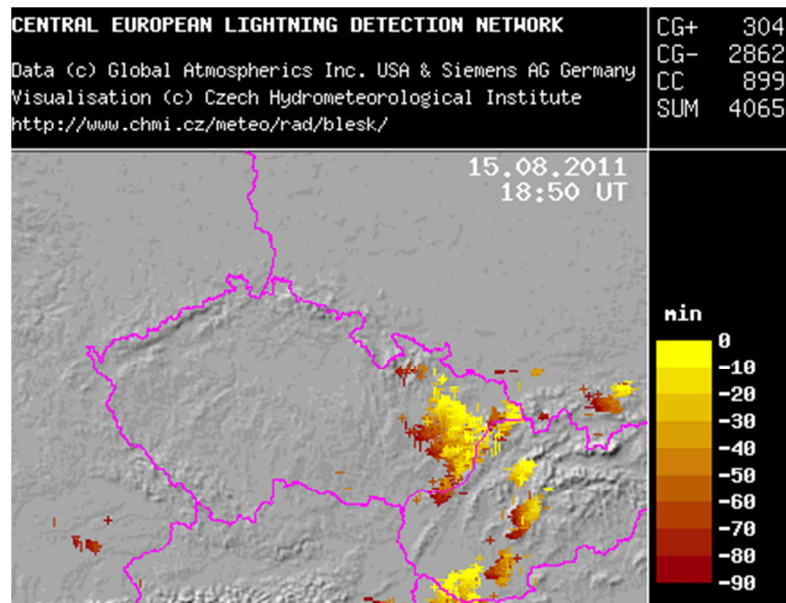
Obr. č. 14: Sprites, blue jets a elves [20]

### 3.4 Vizualizace dat detekce blesků

Data výskytu blesků jsou získávána ze zpracovatelského serveru průběžně tak, jak jsou jednotlivé výboje vyhodnocovány. Ke každému výboji je většinou k dispozici informace o čase, poloze, typu a pro blesky do země i odhad proudové amplitudy. Tato data je možné v reálném čase vykreslovat do mapového podkladu, častěji jsou však data ukládána do databáze, ze které jsou v pevných časových intervalech generovány obrázky znázorňující výboje blesků za určité časové období. Z databáze je možné zpětně získávat i dlouhodobá historická data [15, 16].

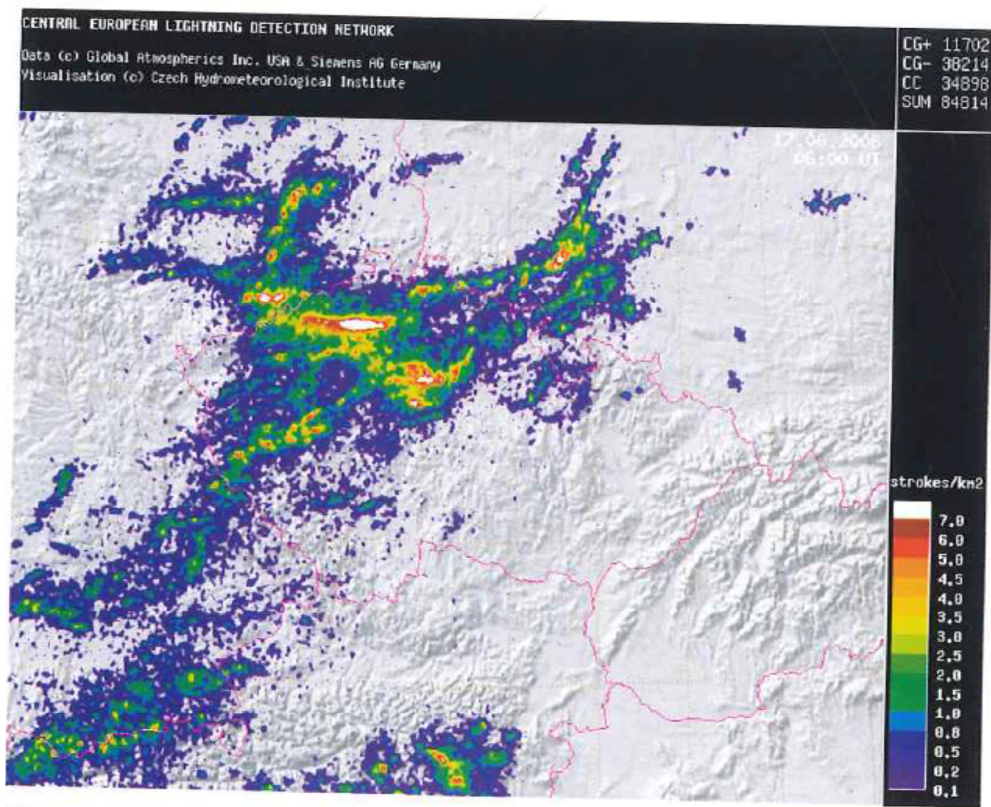
Pro zjištění časového vývoje bouřkové aktivity je optimální zobrazovat generované obrázky jako animaci. Důležitou možností je postupné vykreslování jednotlivých výbojů od nejstarších po nejnovější a kódování jejich stáří pomocí barevné škály. Z takto vygenerovaného obrázku je sice sledování vývoje obtížnější, není však třeba zobrazovat animaci více snímků (obr. 15). Všimněte si přesouvání bouřek ze západu na východ (nejstarší blesky jsou hnědé, nejnovější žluté).





Obr. č. 15: Mapa s časovým vývojem blesků ze systému CELDN [15].

Při vyhodnocování aktivity výbojů za delší časový období není vhodné zakreslovat do mapy data blesků jako jednotlivé výboje, protože v oblastech silné aktivity blesků jsou údaje překreslovány přes sebe a není pak možné posoudit skutečnou aktivitu blesků.



Obr. č. 16: Ukázka zobrazení bleskové aktivity za 24 hodin. Barevná stupnice zobrazuje počet bleskových výbojů na čtvereční kilometr [15].

V takových případech je vhodnější vykreslovat hustotu výbojů blesků jako počet detekovaných blesků na jednotkové ploše (obr. 16) [15].

### 3.5 Radarová měření

Radarová měření sice nejsou schopna zaznamenat přímo blesky, ale umožňují sledování rozsahu a pohybu mohutné kupovité oblačnosti, která je podmínkou pro vznik blesků, případně sledování a odhad intenzity srážek, které bouřku provází.

#### 3.5.1 Historie radarových měření

Kořeny radarového měření hledáme již koncem devatenáctého století, německý fyzik Heinrich Hertz objevil elektromagnetické vlnění. Rádiová detekce byla dříve experimentální, za zrod radaru je považován rok 1935, kdy R. Watson-Watt sestrojil a vyzkoušel úspěšně radiolokátor pro detekci letadel. Radarová detekce se nejvíce používala za 2. světové války a byla utajovanou vojenskou technologií. Po válce byly

principy a techniky radiolokace odtajňovány a rozšířeny do mnoha zemí včetně Československa.

Meteorologické cíle se zobrazovaly na obrazovkách leteckých radarů jako nežádoucí šum a byla snaha je odstranit, brzy bylo rozpoznáno rušení a začalo se studovat jak ho využít. První detekce meteorologických cílů proběhla v roce 1941, kdy přes velký šum byla rozpoznána frontální konvekční oblačnost.

Na území České republiky se radar dostal pro meteorologické účely koncem 60. let 20. století do observatoře v Praze – Libuši [3, 15].

### 3.5.2 Princip radarového měření

Radar je složen ze tří částí – vysílače, antény a přijímače. Vysílač generuje krátké vysokoenergetické pulsy v mikrovlnné oblasti elektromagnetického spektra. Tyto pulsy jsou anténou zformovány do úzkého kužele, pokud puls narazí na oblačnou částici, je elektromagnetická energie pohlcena a rozptýlena do všech směrů. Část energie je rozptýlena zpět k anténě, je zesílena a detekována radarovým přijímačem. Analogový signál je zpracovaný radarovým přijímačem a dále digitalizován a softwarově zpracován. Za rychlost šíření pulsu v atmosféře s dostatečnou přesností je považována rychlost světla [15].

### 3.5.3 Typy oblačnosti při radarovém pozorování

Radarová měření jsou využívána ve formě maximální odrazivosti s bočními průměry (MAX Z 3D), produkt poskytuje nejvíce informací v jednom obrázku. Používá se animace polí za posledních 1-2 hodiny, znalost časového vývoje radarového echa je velmi důležitá.

#### **Konvekční oblačnost**

Konvekční charakter oblačnosti je charakteristickou existencí výrazných jader s vyšší odrazivostí, často buněčné struktury, je to velká časová proměnlivost. U vzniklých buněk se vytváří jádro maximální odrazivosti v horní části, během vývoje buňky jeho výška klesá. Projevuje se denní chod, spojený s nástupem a vývojem množství cílů a pozvolným rozpadem při stabilizaci zvrstvení [4, 14, 15].

#### **Vrstevnatá oblačnost**

Meteocíl má jednotvárný plošný vzhled, nemá výraznou odrazivost a vývoj je pozvolný k typické existenci odpovídající řádu hodin. Pozorujeme pásmo zvýšené odrazivosti

ve vrstvě o tloušťce několika stovek metrů pod nulovou izotermou. Zvýšení odrazivosti o 6-15 dBZ je způsobené změnou velikosti a dielektrické konstanty při tání srážkových částic.

#### 3.5.4 Radarová detekce srážek

Pro kvalitní využívání radarových odhadů srážek je důležité odstranit z radarových dat rušivé pozemní odrazy, nejvíce používanými dopplerovskými filtry. Zajistí se korektní a časově stabilní elektronická kalibrace radaru tj. správnost technického nastavení. Dopplerovské radiolokátory měří nejen radiolokační odrazivost, ale také změnu frekvence navraceného signálu prostřednictvím měření jeho fáze.

### 3.6 Detekce blesků v ČHMÚ

V devadesátých letech minulého století se začal rozšiřovat V Evropě systém na detekci blesků, tento systém začal pořizovat jednotlivé meteorologické služby. V ČHMÚ se o přístroji na detekci blesků začalo uvažovat v roce 1998.

Systém přístroje na detekci blesků spočívá v samotné detekci výboje a analýze elektromagnetického záření blesků zachycených sítí senzorů rozmístěných v určité oblasti. Sensory jsou přesně časově synchronizovány pomocí GPS a online připojeny k hlavní zpracovatelské jednotce, která na základě triangulace informací ze senzorů vyhodnotí finální polohu bleskových výbojů. Síť CELDN vznikla propojením existujících sítí BLIDS v Německu, ALDIS v Rakousku a byla rozšířena o nové senzory v Česku, Polsku, Maďarsku a na Slovensku.

Informace z těchto senzorů jsou zasílány do centra sítě v německém Karlsruhe, kde jsou na centrálním serveru zpracovány a jsou detekovány bleskové výboje a vyhodnocovány jejich parametry. Výsledky jsou poskytovány v reálném čase uživatelům. Pro vyhodnocení výboj je k dispozici informace o přesném čase, poloze a typu, zda se jedná o výboj do země nebo mezioblačný). A pro blesky do země informace o polaritě a odhad proudové amplitudy.

Typ (0 = blesk do země, 3 = mezioblačný)	Rok	Měsíc	Den	Hodina	Minuta	Milisekundy	Zeměpisná délka [°]	Zeměpisná šířka [°]	Proudová amplituda [kA] <sup>1</sup>
***									
0	2009	8	17	21	0	28416	16.5884	51.4268	10
3	2009	8	17	21	0	28695	14.8316	49.6473	-6
3	2009	8	17	21	0	33377	10.2276	47.6713	-5
0	2009	8	17	21	0	35509	15.7621	50.1667	-14
0	2009	8	17	21	0	36457	16.5974	51.3568	-25
0	2009	8	17	21	0	36508	16.6002	51.3555	-26
0	2009	8	17	21	0	36532	16.6008	51.3551	-16
0	2009	8	17	21	0	36590	16.5481	51.3455	52
0	2009	8	17	21	0	36736	16.6029	51.3547	-15
0	2009	8	17	21	0	36807	16.5988	51.3558	-21
***									
<sup>1</sup> pro blesky do země znaménko proudové amplitudy určuje polaritu, u mezioblačných výbojů nemá význam									

Tabulka č. 3: Přijímané data ze sítě CELDN a jejich dekódování do formátu textu [14].

Přesnost a úspěšnost detekce jsou obtížně určitelné hodnoty, které je možné odhadnout dle technických specifikací senzorů a jejich rozmístění. Podle analýzy odborníků z firmy Siemens a nezávislých studií se pravděpodobnost detekce blesků do země měla pohybovat kolem 90% v mezioblačných výbojích však výrazně klesá na cca 30%. U blesků do země se přesnost vyhodnocení polohy pohybuje pod 1 km a nejistota určení velikosti amplitudy je odhadována na 30%. Množství falešných vyhodnocených výbojů je nízká, nikoliv nulová.

Prvním nejčastějším využitím bleskových dat je nowcasting a varování před konvektivními bouřemi a s nimi spojenými blesky. V pravidelných intervalech jsou generovány mapky aktuálně detekovaných blesků ve standardním obrazovém formátu PNG. V ČHMÚ jsou každých 10 minut (nověji 5 minut) generovány obrázky s blesky ve shodném formátu jako radarová obrázky CZRAD s prostorovým rozlišením 1 x 1 km [14].

V posledních letech se blesková data využívají i numericky, statistický advekční model pro nowcasting srážek na 0-3 h vyvíjený v ÚFA AV ČR nebo nowcastingový systém CELLTRACK pro identifikaci a předpověď pohybu konvektivních bouří. Blesková data jsou používána pro akci „Pozorování krátkodobých slabých záblesků nad silnými bouřemi“.

Délka časové řady bleskových dat je krátká a schopnosti zpracovaných dlouhodobých charakteristik je omezená. Konce roku 2008 obsahovala databáze 15 979 870 zaznamenaných blesků [14].

Závislosti počtu blesků do země na nadmořské výšce lze pozorovat s rostoucí nadmořskou výškou, kdy se zvyšuje blesková aktivita. Odlehlé hodnoty s vysokou četností představují

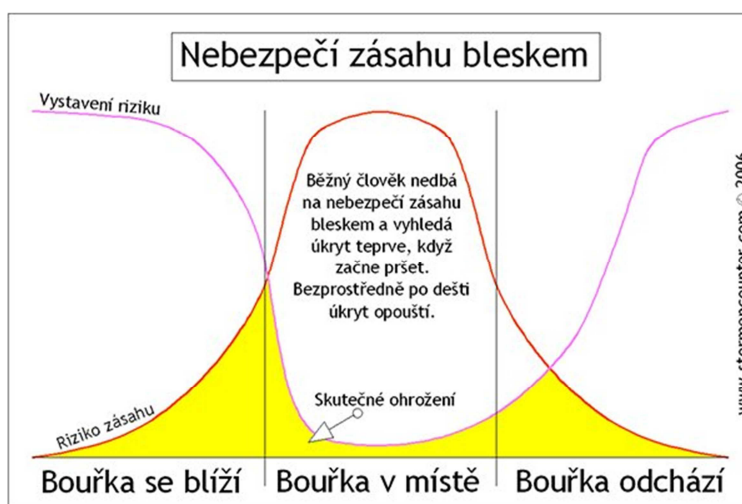
body s výskytem významných vysokých budov či konstrukcí. Plošné rozložení průměrného ročního počtu dnů s výskytem blesků je definováno podle okolí od 5 km, 10 km, 15 km a 20 km. K nadhodnocení počtu dnů vlivem falešných odhadů byl zkoumán i různý počet blesků vyskytujících v daném okolí. Výsledkem je kombinace stejně plošného rozložení, lišící se rozsahem výsledného počtu dní. Počty s bouřkou zaznamenaných na stanicích se pohybují mezi počty dnů pro okolí 10 km a 15 km. Což je méně, než je udáváno podle kterého, by bouřky měly být na stanicích pozorovatelné do vzdáleností 15 – 25 km. Údaje jsou generovány z mapek pro rozdílné časové období. Blesková data jsou informací k distančnímu měření meteorologických radarů a družic. Rozvoj CELDN probíhá mimo ČHMÚ a je zaměřen na zpřesnění poskytovaných dat a jejich dostupnost, hlavními milníky jsou rok y 2008-2009. Blesková data jsou používána v operativních nowcastingových aplikacích [14].

## 4 OCHRANA PŘED BLESKEM

### 4.1 Ochrana lidského života před bleskem

#### 4.1.1 Ochrana v přírodě

Jak je vidět z obrázku 17, je z časového hlediska nejkritičtější doba na začátku bouřky, kdy dešť ještě není tak silný, aby každého donutil se ukryt a pak na konci bouřky, kdy ustává dešť, ale nebezpečí blesku ještě hrozí [21]. Je proto rozumné ukryt se před bouřkou s dostatečným předstihem a úkryt opustit, až bouřka opravdu odezní. Blesk může udeřit až ve vzdálenosti 20 kilometrů od místa vzniku bouřky.



Obr. č. 17: Nebezpečí zásahu bleskem [21]

Vstoupí-li elektrický proud při úderu blesku v jednom jediném bodu do homogenní plochy, vznikne gradient potenciálů (potenciálový trychtýř). Tento efekt vznikne také při úderu blesku do homogenní půdy. Jestliže se osoby a zvířata nacházejí uvnitř gradientu potenciálů, mohou být ohroženy krokovým napětím. Čím je vodivost půdy větší, tím je tento gradient plošší – riziko nebezpečného krokového napětí se zmenšuje. Elektrický proud se z místa úderu šíří v půdě paprscitě všemi směry. Půda má celkem dobré izolační vlastnosti a energii blesku šířící se kruhově zemí od místa úderu rychle tlumí. Napětí postupně klesá se čtvercem vzdálenosti. Můžeme si tedy kolem místa zásahu představit několik soustředných kružnic, z nichž každá představuje zónu s jiným energetickým potenciálem. Ten je nejvyšší u místa zásahu a s rostoucí vzdáleností se rapidně snižuje a tlumí. Pokud stojíte tak nešťastně, že každá vaše noha spočívá na jiné kružnici, zkratujete je mezi sebou a rozdílový potenciál proběhne vaším tělem. Mezi dvěma body je rozdíl potenciálů, mezi nimiž vzniká rovněž napětí, takže mezi nohama rozkročeného člověka

může protékat proud i smrtelné intenzity (proto krokové napětí). Takto nebezpečná zóna představuje přibližně kruh o poloměru 20 metrů. Uvádí se, že krokové napětí se může vyskytnout až 40 metrů od místa úderu.

Při úrazu bleskem, jde většinou o úrazy způsobené sekundárními jevy blesku, jako jsou přeskoky náboje a indukované výboje.

Člověk je usmrčen i ve vodě, když je v určité vzdálenosti od místa úderu. Úder blesku má pro lidský organismus podobné účinky jako styk s elektrickým proudem. Člověk ztrácí vědomí, ustane srdeční činnost a je zasažen nervový systém a dojde k ochrnutí nervů a svalů, především svalstva dýchacího ústrojí. Je důležité přivolat okamžitou pomoc, aby nevznikly trvalé následky ze zranění.

Pokud člověk přežije přímý úder blesku, je pravděpodobné, že větší část proudu se vybila do jiného předmětu. Kromě elektrických šoků a ran zanechává blesk na těle popáleniny, hluboké a otevřené rány. První pomoc při úrazech bleskem je stejná jako při úrazech elektrickým proudem a popáleninách. Umělé dýchání může zabránit úmrtí.

Jako doplněk pro bezpečí osob v přírodě se může využít rádio naladěné na frekvenci AM 300kHz. Blesk způsobuje elektrostatické rušení a to se v rádiu projevuje praskáním. Druhou možností je zhotovení vlastního detektoru blesků nastavitelnou citlivostí, který bude varovat před blížící se bouřkou. Je potřeba dodržet zásadu, aby člověk setrval v úkrytu dalších 30 minut poté, co bylo slyšet poslední hrom a to i v případě, že se bouřka rozpadla a přes mraky začalo svítit slunce. V mracích a v zemi mohou přetrvávat poslední zbytky náboje a nebezpečí zásahu bleskem tedy stále ohrožuje zdraví člověka.

Člověk by se měl chránit před bouřkou a dbát následujících pokynů:

Pokud je venku, volí velkou kovovou stavbu nebo stavbu s kovovou rámovou konstrukcí, obytnou budovu nebo jinou stavbu chráněnou bleskosvodem, velkou nebo malou nechráněnou stavbu.

Pokud nenajde úkryt v budově, nesmí se schovávat před deštěm pod kůlny nebo jiná přístřeší, která jsou na místech úderu blesku, nebo pod osamělé stromy.

Člověk by neměl zůstat na kopcích a otevřených nezastavěných místech, blízko drátěných plotů, větších kovových předmětů a hlavně v bezprostřední blízkosti svodů bleskosvodu.



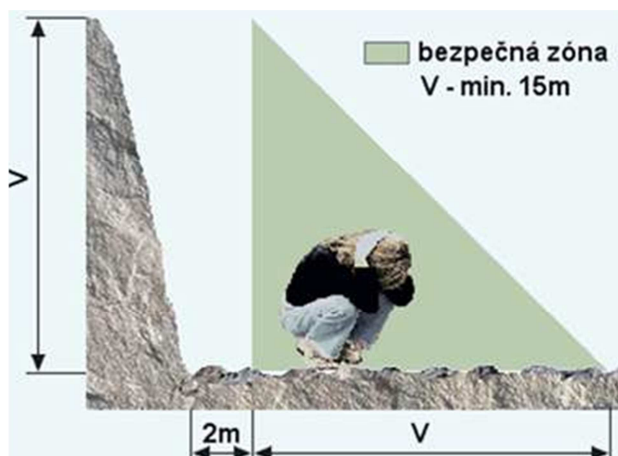
Je třeba se skrýt v údolí, v jeskyni, v jámě úpatí srázné nebo převislé skály, v hustém lese. Vzhledem ke vzniku krokového napětí při úderu blesku je dobré mít nohy u sebe.

Pokud člověk jede autem, měl by zastavit zavřít okna a zůstat uvnitř [1, 21].

Pokud nás zastihne bouřka v lese, vyhledáme si strom a ve vzdálenosti od kmene cca 2 m přechkáme bouřku v podřepu s nohama při sobě. Snažíme se nohy odizolovat od země popř. mít co nejmenší plochu chodidel na zemi.

Pokud člověka zastihne bouřka na úpatí skal, měl by se vzdálit od skály nejméně 2 m, aby nebyl vystaven přímému zásahu blesku. Čím vyšší je skála, tím se bezpečná zóna od skály snižuje. Skály jsou za deště hodně mokré, tedy vodivé. Proto je důležité dodržovat bezpečnou zónu.

Pokud se nachází člověk v blízkosti jeskyně, je bezpečné vstoupit do nich a zajít až do středu jeskyně a bouřku přečkat skrčený v podřepu nebo v sedět na batohu, popř. vyhledat suchý plochý kámen [21].



Obr. č. 18: Správné místo na skalách [21]



Obr. č. 19: Správná poloha v jeskyni nebo na převisu skal [21]

Je nutné dát elektricky vodivé předměty co nejdále od sebe. Mezi vodivé předměty patří např. termoska, karabiny, kladivo, hůlky aj. Je důležité odstranit z těla kovové předměty (hodinky, náhrdelníky, náramky prsteny apod.) a oděvy obsahující kovové výztuže, opasky s kovovými sponami apod. Při bouřce je třeba vypnout mobil, rádia, GPS a vložit je do středu batohu [21].

#### 4.2 Ochrana budov před bleskem

Systémem ochrany lidí, zvířat a majetku před přepětím a bleskem, zahrnuje technické prvky a zařízení, které se používají při návrzích konstrukcí stavební části objektů. Tento systém musí plnit funkce:

- omezení vzniku přepětí
- snížení vzniklých přepětí na přijatelnou úroveň.

Plnění těchto funkcí je důležité především ve zdroji přepětí, v trase přenosu přepětí a v cílovém zařízení (obr. 20).

Opomenutí jakékoliv části systému ochrany provází snížení celkové účinnosti a znehodnocení prostředků vynaložených k zajištění bezpečnosti osob, zvířat i majetku v chráněném prostoru.

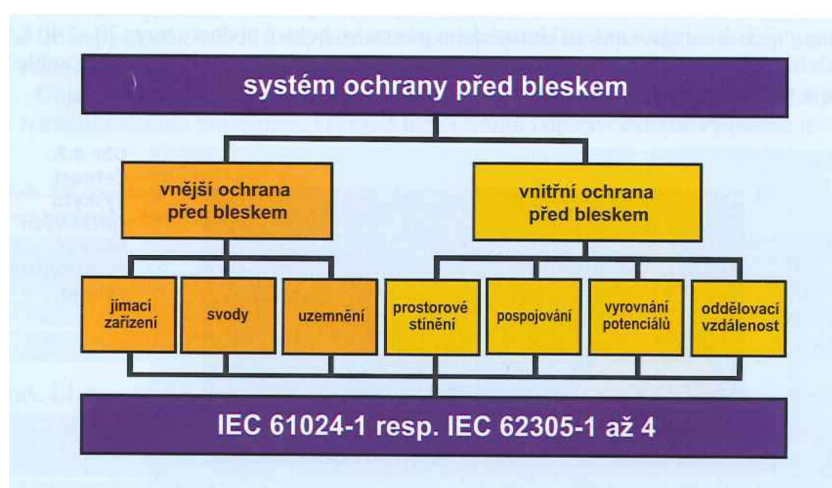
Mezi obecné zásady systému ochrany patří:

- respektování koncepce zón bleskové ochrany,
- zřízení spolehlivé a účinné soustavy potenciálů v ochraně před bleskem,
- realizace stínění aparatury betonových konstrukcí a kovové prvky stavby propojit a připojit na soustavu vyrovnání potenciálů,

- návrh a instalace zařízení komplexní ochrany před účinky blesků a přepětí,
- připojení stínění kabelů a vodičů k soustavě vyrovnání potenciálů,
- zařízení ochrany před bleskem,
- výpočet a dodržení oddělovacích a bezpečnostních vzdáleností,
- přednostní použití optických vláken a kabelů bez metalických jevů [2].

Tyto zásady jsou stanoveny na základě požadavků mezinárodních a evropských norem (IEC 61024-1, IEC 62305).

Norma IEC 61024-1 přinesla do praxe definici atmosférického výboje. Pro ochranu před účinky zavádí čtyři ochranné úrovně, tzv. třídy ochrany před bleskem, a přiřazuje jim hodnoty parametrů bleskového výboje. Stanovuje podmínky pro návrh ochranných systémů, u nichž vyžaduje schopnost svodu bleskového výboje bez poškození [2, 19].



Obr. č. 20: Rozdělení systému ochrany před bleskem podle IEC 61024-1 [3]

**Vnější ochrana před bleskem** zachycuje údery blesku směřující do stavebních objektů, svádí je z míst úderu až k zemskému povrchu a rozptýlit je do země. Vnější ochrana před bleskem zahrnuje ochranu střechy, bočních stěn chráněných objektů, jímací zařízení, svody a uzemňovací soustavu.

**Vnitřní ochrana před bleskem** obsahuje opatření uvnitř chráněného prostoru. Zmírňuje účinky elektromagnetického pole, které provází výboj. Zajišťuje ochranu vyrovnání potenciálů a stínění před bleskem.

**Zhodnocení účinnosti ochrany před účinky atmosférických výbojů** - prvky vnější a vnitřní ochrany před účinky blesku a přepětí musí splňovat výrobové normy.

**Zkoušky materiálů vnější ochrany před bleskem** – do této skupiny patří různá vedení, spojky, svorky, podpěrky a tyče jímacího zařízení, ale i prvky pro svody nebo uzemnění. Pro jímací vedení a svody jsou vyžadovány zkoušky proudové vlny vyvolané bleskem.

**Zkoušky svodičů** – jsou určeny výrobními normami. Vyžadují pro svodiče zkoušku proudem vyvolaného bleskem. [2].

#### 4.2.1 Přepětí

Přepětí působí na součásti a zařízení připojené k rozvodové síti. Přepětí se vyskytují u vysokofrekvenčních a nízkofrekvenčních sítí a šíří se vzájemnými vazbami mezi systémy prostřednictvím indukčních a kapacitních vazeb.

Průmyslová přepětí se dělí na spínací přepětí a přepětí vzniklé vzájemným působením mezi systémy [3].

**Spínací přepětí** – se vyskytuje u velkých průmyslových strojů, i u domácích elektrospotřebičů. Přepětíové impulzy generují zářivková svítidla a svařovací přístroje aj.

**Přepětí vzniklé vzájemným působením mezi systémy** – nedosahuje při běžném provozu vysokých hodnot a působí občasně poruchy při přenosu dat. Indukované přepětí se prudce zvýší při zkratu v silové síti a může trvale poškodit navazující elektronická zařízení.

**Elektrostatické přepětí** se vytvoří mechanickým třením dvou izolantů. Výboj se objeví při styku osoby oděné do oblečení ze syntetických vláken s kovovou kostrou nebo s obvody elektrických zařízení. Hodnota výboje dosahuje až několik desítek kilovoltů a může poškodit elektrostaticky citlivé součástky [2, 3].

Přepětíové vazby dobře přenáší nežádoucí přepětíové jevy.

**Galvanické vazby** – vznikají přímým vodivým propojením proudových okruhů, v elektrických rozvodech. Tyto vazby vznikají v systémech ochrany před blesky a přepětím a to propojením vodivých částí budov. Vyskytují se při atmosférickém výboji mezi dvěma budovami, které mají elektrická zařízení vzájemně propojené napájecími nebo signálovými metalickými vodiči.

**Kapacitní vazby** – k průchodu proudu vlivem kapacitní vazby dochází při napětí mezi dvěma vodivými předměty. Kapacitní vazby vznikají mezi blízkými vodiči, mezi kanálem blesku a metalickým vedením, nebo částmi strojů [2, 8].

**Indukční vazby** – elektromagnetické pole vzniká při průchodu proudu vodičem. Pole procházející vodičem indukuje napětí ve smyčkách vytvořených z vodičů. Proto se část nežádoucí energie blesku a přepětí přenáší do oddělených systémů v budově, kde je prostorová pavučina silnoproudého a slaboproudého vedení.

Využíváním elektronických přístrojů se zvyšují požadavky na jejich spolehlivost.

Významnou roli v této oblasti hraje ochrana budov před účinky blesků a přepětími.

Ochranné systémy jsou nedílnou součástí obytných, veřejných a průmyslových budov [2].

Ochrana před bleskem a přepětím souvisí s technickými normami a předpisy.

Ochrana před bleskem a přepětím vyžaduje komplexní řešení. V Evropě je řada normativů nejen na národní, ale i na globální úrovni. Normativy preferují především bezpečnost osob, zvířat a majetku [3].

Stručný obsah nejdůležitějších norem je uveden v příloze č. 1.

Při posuzování vzniku škod v objektu musí být stanovena pravidla a postupy pro určování rizikových faktorů: zdroje možných škod rozdělených podle místa úderu blesku, příčiny vzniku škod, druh a povahy vzniklých škod.



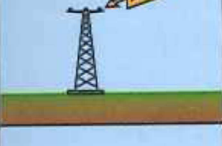

Zdroje škod způsobené bleskovým výbojem závisí na poloze místa úderu (obr. 21):

S1 – přímý úder blesku do stavebního objektu (budovy),

S2 – úder blesku do zemského povrchu v blízkosti stavebního objektu,

S3 – přímý úder blesku do přívodního vedení silového napájení,

S4 – úder blesku do zemského povrchu v blízkosti přívodu silového napájení [2].

Druh úderu bleskového výboje	Zdroje škod	Příčiny škod	Druhy škod
 Přímý úder do budovy	S1	C1 C2 C3	D1,D4** D1,D2,D3,D4 D1*,D2,D4
 Úder do země v blízkosti budovy	S2	C3	D1*,D2, D4
 Přímý úder do napájecího vedení	S3	C1 C2 C3	D1,D4** D1,D2,D3,D4 D1*,D2,D4
 Úder do země vedle napájecího vedení	S4	C3	D1*,D2, D4
*) Pro nemocnice a budovy ohrožené výbuchem. **) Pro zemědělské usedlosti (škody na zvířatech)			

Obr. č. 21: Kombinace zdrojů úderů blesku [3]

**Přímý úder blesku do budovy** představuje nebezpečí ztrát na lidských životech a zdraví z důvodu vzniku nebezpečných krokových nebo dotkových napětí v oblasti do 3 m okolo stavebního objektu. Rizika nebezpečí vzniku fyzikálních škod je způsobeno nežádoucím jiskřením, požárem nebo výbuchem.

**Úder blesku do země v blízkosti budovy** zahrnuje rušení elektrických a elektronických zařízení indukovanými přepětími, vznikajícími ve vnitřních elektrických rozvodech.

**Přímý úder blesku do napájecího vedení** zahrnuje ztráty na zdraví lidí a lidských životech. Rizika fyzikálních škod vyjadřují vznik požárů a výbuchů a to vlivem jiskření mezi vstupujícími energetickými přívody a kovovými díly stavby. Rizika důsledkem přepětí vznikají při přímých úderech do přívodních napájecích vedení. Jsou zdrojem rušení elektrických a elektronických zařízení připojených k silové napájecí síti.

**Úder blesku do země v blízkosti napájecího vedení** zahrnuje rušení elektrických a elektronických zařízení v důsledku přepětí vyvolaných elektromagnetickou indukcí. Vznikají podél napájecích energetických vedení a prostřednictvím nich jsou přenášeny do stavebního objektu.

#### 4.2.2 Vnější ochrana před bleskem - jímací zařízení

Vnější ochrana před bleskem tvoří spolehlivý systém, zajišťuje vodivou cestu svádějícího bleskového výboje do země tak, aby nedošlo k poškození části chráněného stavebního objektu. Návrh a realizace vnější ochrany před bleskem rozdělíme na tři základní části – jímací zařízení, svody a uzemnění.

Jímací zařízení zachycuje bleskový výboj, směřující k chráněnému stavebnímu objektu nebo vymezenému prostoru, skládá se z tyčí, napnutých drátů a speciálního vedení. Používají se náhodná nebo strojená jímací zařízení tvořena kovovými střechami, zábradlím nebo stavebními konstrukcemi. Výběr závisí na rozměrech objektu. Jímací zařízení využívá metod ochranného úhlu, mřížové jímací soustavy a bleskové koule.

**Ochranný prostor** – je prostor, chráněn s určitou spolehlivostí před úderem atmosférického výboje. Závisí na metodě návrhu systému vnější ochrany.

**Ochranný úhel** – je považován za zjednodušený. Používá se u jednoduchých staveb s tyčovými jímači. Ochranný úhel se používá ke stanovení ochranného prostoru vytvořeného jímačem.

**Jímací zařízení pro menší stavby** chrání i přečnívající části stavby jako jsou např. komíny nebo odvětrání sanitárního zařízení.

**Jímací soustava mřížová** – využívá se k ochraně stavebních objektů s plochými střechami. Vytvořením sítě vzniknou mříže vodivých jímacích vedení propojených vzájemně křížením. Na okrajích, kde vystupují části technologických zařízení např. vzduchotechnické výdechy, anténní nástavby, klimatizační jednotky se doplňuje vertikálními jímači. Součástí jímací mřížové soustavy pro zvlášť velké stavby je keramická blesková koule. Jímací soustava je sestavena z prvků vyrobených speciálně pro ochranu před bleskem (strojené jímače) nebo z kovových stavebních dílů tvořících součást stavby (náhodné jímače).

**Strojené jímače** jsou upevněny přímo ke střeše stavebního objektu a zřizují se za předpokladů:

- na střechách z nehořlavých materiálů lze vedení a jímače pokládat i přímo na povrch stavebního objektu,
- na střechách z hořlavých materiálů je třeba dodržet určitou minimální bezpečnou vzdálenost jímače od povrchu.

**Náhodné jímače** jsou součástí ochrany před bleskem a využívají se jako součást vodivých materiálů, které tvoří trvalou a neoddělitelnou součást stavebních zařízení. Příkladem jsou propojené kovové betonářské výztuže, klempířské prvky a skelety staveb a fasády.

Jako součástí jímacího řízení lze použít:

- vodivě propojené kovové klempířské plechové díly,
- kovové konstrukční části stavby, mezi to patří nosné konstrukce a ocelové betonářské výztuže pod nekovovou střešní krytinou,
- kovové části střechy např. střešní žlaby, zábradlí, ozdoby,
- kovové trubky a nádrže na střeších vyrobené z odpovídajících materiálů s tloušťkou od 4 do 7 mm,
- kovové trubky a nádrže s hořlavým nebo výbušným obsahem na střeších, vyrobené z materiálů, u nichž nemůže při úderu blesku nastat zvýšení teploty a požár [3].

**Oddálená zařízení** se zřizují pro celý stavební objekt nebo pouze pro jednu část. U celých objektů se používají oddálená jímací zařízení k vytvoření zesílené vnější ochrany před bleskem:

- stožárové jímací systémy s jímačem velké výšky, z důvodu vytvoření ochranného prostoru před bleskem s pokrytím celého chráněného objektu,
- lanový závěsný jímací systém s jímacím lanem zavěšeným nad chráněným objektem ve výšce, aby pokryl celý chráněný objekt,
- klecový nebo mřížový jímací systém, který tvoří vodivou mříž z lan nad chráněným objektem [3].

#### 4.2.3 Vnější ochrana před bleskem - svody

Zabezpečují svedení energie od jímacího zařízení do uzemňovací soustavy. Dříve se vyskytovaly vně objektu, nyní se montují pod obvodový plášť nebo přímo do vnitřního prostoru budov.

Svody jsou - paralelní vodivé cesty zajišťující proudové cesty a uzemnění

Při větším počtu paralelně propojených svodů se zvětšuje vodivost a rovnoměrnost rozdělení proudu mezi jímacím zařízením a uzemněním.



Svody musí být rozmístěny v blízkosti rohů objektu a rovnoměrně podél obvodových stěn. Vedou svisle dolů a nevytvářejí zbytečné oblouky a smyčky, na jímacím a uzemňovacím systému jsou připojeny svorkami nebo pevnými spoji, které byly vytvořeny svařováním nebo pájením. Dále se dodržují odstupy od vodivých částí staveb a technologického vybavení. Respektují se průřezy vodičů a zabrání se souběhu svodů se silovými a slaboproudými rozvody vně i uvnitř objektu.

Svody se neinstalují do míst, kde hrozí zvýšená koroze to je např. střešní okap, odpadní trubky plastové nebo kovové. Neinstalují se zároveň na balkóny, lodžie ani do šachet uvnitř stavebních objektů.

Jímací soustavu je třeba propojit přímo nebo přes jiskřiště kovových částí střešní konstrukce s uzemňovací soustavou objektu. Ke svedení výboje se používají paralelně vnitřní svody tvořené nosnými sloupy. Energie výboje se rozdělí do různých drah a velikost proudu jednotlivých odvětví je zmenšena stejně jako intenzita vyvolaného rušivého elektromagnetického pole.

Svody s ocelovými konstrukčními díly stavby uvnitř objektu tvoří ohraničenou oblast se sníženou úrovní elektromagnetického pole. Stínících účinků svodu dosáhneme propojením s kovovými konstrukcemi.

#### 4.2.4 Ochrana před bleskem - uzemnění

Uzemňovací soustava je nedílnou součástí vnější ochrany před bleskem.

Hlavním úkolem uzemňovací soustavy je svod proudu atmosférického výboje pod zemský povrch s rozptýlením do povrchových vrstev země. Mezi hlavní kritéria patří rovnoměrný a spolehlivý přechod bleskového proudu do země pomocí uzemňovací soustavy.

Uzemnění je vodivé spojení elektrických obvodů, vodivých předmětů a bleskosvodů se zemniči, to je zemními elektrodami. Zemnič má malý celkový odpor a bezpečně odvádí proud vřemi směry do země. Jeho odborný výraz je **strojený zemnič**, na rozdíl od náhodného zemniče jako je kovové potrubí vodovodu.

#### 4.2.5 Konstrukční prvky vnější ochrany

Změny, které se vyskytly ve stavebnictví, vedly k rozšíření materiálů používaných při realizaci ochrany před bleskem. V minulosti se používala pozinkovaná ocel a nyní se využívá materiál z mědi, hliníku nebo oceli korozivzdorné.

Materiál je odolný proti korozi a používá se u jímačů, svodů i uzemňovací soustavy. Pro historické objekty se vyžaduje měď pro jímače a svody.

Použité materiály ve vnější části ochrany před bleskem závisí na druhu vodiče, z kterého je materiál vyroben viz tabulky 1 a 2.

Materiál	Možnost uložení			Koroze		
	ve vzduchu	v zemi	v betonu	odolnost	zvýšená ve styku s	galvan. vazbou s
Měď	plná lano (s povlaky)	plná lano (s povlaky)	plná lano (s povlaky)	dobrá ve všech prostředích	sirnými sloučeninami a organickými materiály	-
Pozinkovaná ocel	plná lano	plná	plná lano	dobry ve vzduchu, betonu, a kyselých půdách	vysokým obsahem chloridů	mědi, armovaným betonem
Korozivzd. ocel	plná lano	plná	plná lano	dobrá ve všech prostředcích	volnými chloridy	-
Hliník	plná lano	nelze použít	plná lano	dobrá ve vzduchu bez síry a chloridu	základními roztoky	mědi

Tabulka 4: Materiál pro ochranu před bleskem

Materiál	Pozinkovaná ocel	Hliník	Měď	Korozivzdorná ocel
pozinkovaná ocel	doporučeno	lze	nelze	lze
hliník	lze	doporučeno	nelze	lze
měď	nelze	nelze	doporučeno	lze
korozivzdorná ocel	lze	lze	lze	doporučeno

Tabulka č. 5: Kombinace materiálu pro ochranu před bleskem

Lana jsou citlivější na korozi než plné dráty a proto se nevyužívají na místech přechodů z betonu do země.

#### 4.2.6 Vnitřní ochrana a přepětí

Úkolem vnitřní ochrany je zabránit vzniku nebezpečných rozdílů potenciálů uvnitř objektu a předejít ohrožení života a zdraví osob popř. vzniku dalších škod.

Vyrovnaním rozdílů potenciálů vzniká jiskření např. mezi jímacími vodiči popř. svody, kterými prochází bleskový proud. Dále pak mezi vodivými částmi objektů technologickými instalacemi v elektrických rozvodnách a elektrických vybaveních objektu.

Jiskření můžeme zabránit dvěma způsoby:

- Vodivé části objektu propojíme se systémem vnější ochrany před bleskem.
- Zajistíme dostatečnou izolační vzdálenost mezi vodivými částmi objektu. Pokud nelze dodržet oddělovací vzdálenost, musíme vodivé části a vedení vzájemně propojit. Propojení nám způsobí zavlčení bleskového proudu do vnitřního prostoru objektu a průchod provází vznik nežádoucích elektromagnetických polí a rozdíl potenciálů.

Vyrovnaní rozdílů potenciálů je dáno propojením vnější soustavy ochrany s kovovou konstrukcí objektu, s vnějšími vodivými částmi, se zařízeními připojenými k silovému rozvodu a se zařízeními informační techniky.

Přepěťová ochrana pro jiskrově bezpečné obvody má zóny ochrany před bleskem a zóny v prostředí s nebezpečím výbuchu, které by měly být spolu ve shodě při projektování. Topologie soustav sloužících k vyrovnaní potenciálů smí uspořádání hvězdicové, mřížové. K vyrovnaní potenciálu je důležité dosáhnou malého odporu mezi povrchem země a připojeným zařízením [4].

Bezpečná vzdálenost zajišťuje odstup mezi zařízením vnější ochrany a kovovými částmi stavebního objektu. Zamezuje vzniku elektrického oblouku při úderu blesku do jímacího zařízení.

#### 4.2.7 Ochrana v budovách

Jedním ze základních opatření ochrany před rušivými elektromagnetickými poli, které pronikají z vnějšku do budovy je odstínění vnitřních prostorů metodou Faradayovy klece. Ve vnitřním prostoru získáme snížení intenzity vnějších rušivých polí.

Stínění je tvořeno kovovými stavebními částmi, jako jsou betonářské výstuže, nosné i nenosné stavební konstrukce, opláštění fasád a stínění kabelů. Stínění kabelů se provádí pomocí vodivého obalu, který je jinou formou Faradayovy klece.

#### 4.2.8 Úder blesku

Intenzita proudu hlavního bleskového výboje může dosáhnout až několik tisíc ampérů, průměrná vrcholová hodnota proudu je mezi 20 – 40 kA, tyto hodnoty mohou způsobit velké škody na majetku a zdraví.

**Přímý úder blesku do objektu bez vnější ochrany před bleskem** – je atmosférický výboj mrak – zem, který probíhá mezi bouřkovým mrakem a zemským povrchem. Pokud se v dráze výboje objeví cizí objekt, výboj hledá nejuhodnější trasu po povrchu nebo skrz objekt. Pokud budovy nemají bleskosvod, je přesně určena vodivá dráha mezi povrchem a zemí. Výboj prochází nekontrolovatelně prvky nosných i nenosných konstrukcí, rozvodů a vnitřním vybavením stavby. Přenášenou energii rozptýlí, protože odpor materiálů není nikde nulový. Vznikají rozdíly např. v teplotě a dalších nežádoucích jevech, které mohou ohrožovat život a zdraví osob, poškození instalačních a přístrojových svorek elektrických rozvodů, vytrhávání kabelů z držáků nebo i zpod omítek. Hlavním zdrojem škod je požár od úderu blesku, který vzniká lokálním přehřátím přechodu vzdušné dráhy blesku do budovy, nebo přechod blesku za doprovodu jisker nebo elektrického oblouku mezi prvky konstrukcí částí staveb.

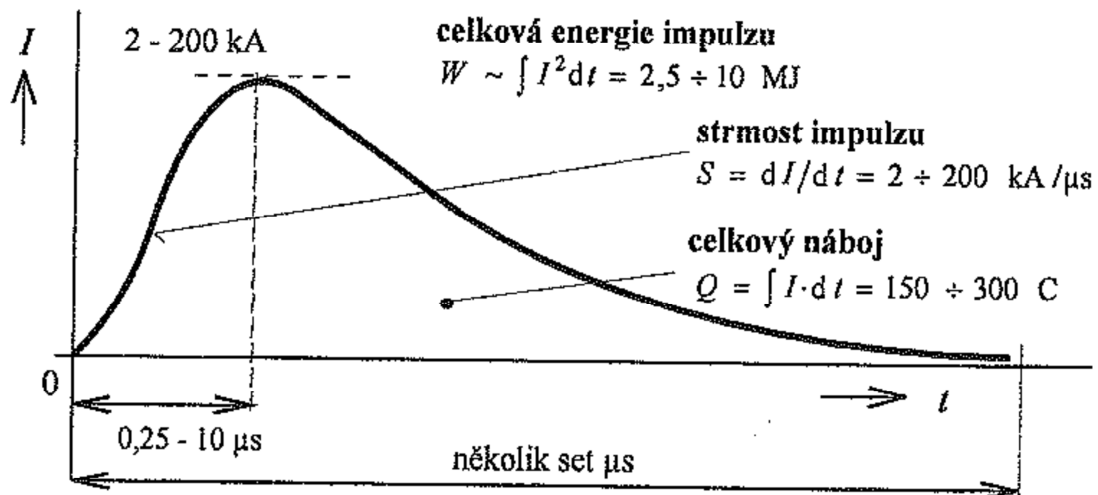


Obr. č. 22: Typy úderů blesků [3]

**Přímý úder blesku do objektu s vnější ochranou před bleskem** – při zásahu atmosférickým výbojem je stanovena vodivá dráha pro svedení výboje. Do prostoru by neměly pronikat žádné části bleskových proudů. Při přímém zásahu do zařízení je výboj sveden jímacím zařízením, svody do uzemňovací soustavy, kde je nenulový odpor uzemnění a při průtoku bleskem se krátkodobě zvýší potenciál uzemňovací soustavy.

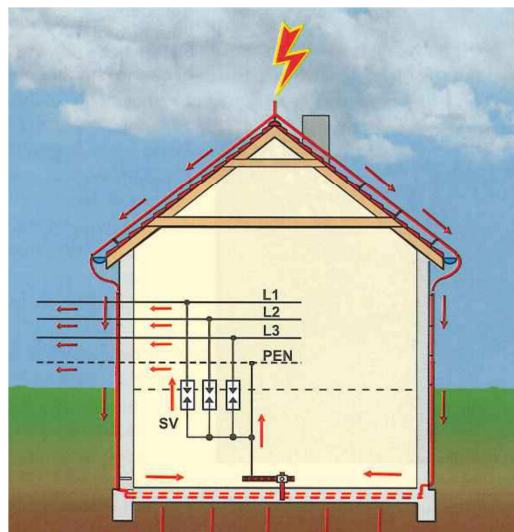
Rázový impulz proudu u přímého úderu blesku neprotéká jenbleskosvodem, může se uzavřít i přes kovové konstrukce budovy a protéká vnitřkem v blízkosti elektronických zařízení. Indukuje napěťové rázy v síťovém rozvodu budovy.

Napěťové a proudové bleskové impulsy mají společnou velkou strmou náběžnou stranu (jednotky  $\mu\text{s}$ ) a pomalejší pokles (stovky  $\mu\text{s}$ ) závislé na velikosti náboje blesku [18].



Obr. č. 23: Průběh proudového impulsu blesku a základní parametry [18].

Pokud je budova s vnější ochranou před bleskem řádně propojena hlavním a doplňkovým pospojováním, zvýší se s potenciálem uzemňovací soustavy potenciál kovových částí budovy i ochranných vodičů elektrické instalace. Rozdíl potenciálů u uvažovaných objektů a širokým okolím dosahuje až milionu voltů. Důsledkem toho je zničení izolace nebo vzniku velkých vyrovnávacích proudů mezi uzemněnými přístroji a napájecím vedením, které přichází z vnějšího prostředí.



Obr. č. 24: Vyrovnání potenciálů před bleskem [3]

Při úderu do zařízení jsou bleskové proudy svedeny jímacím zařízením a svody do uzemňovací soustavy a vzhledem k nenulovému odporu dochází ke krátkodobému zvýšení potenciálu uzemňovací soustavy a vzniká potenciálový rozdíl mezi prvky elektrických rozvodů chráněné budovy.

Vznik a rozsah škod závisí na vedení vstupující do chráněné budovy a vystupující propojení s uzemňovací soustavou, uzemňovací vodiče můžeme připojit galvanickou vazbou, kterou nemůžeme použít u pracovních vodičů. Propojení se používá u speciálního zařízení na ochranu před přepětím – SPD, které je označováno **svodič**. Svodič v elektrických rozvodech není při provozu patrný, projevuje jako potenciál (tj. napětí) mezi vstupními svorkami. Pokud je překročena hodnota, prudce se zmenší vnitřní odpor napětí a zabrání dalšímu nárůstu napětí.

**Přímý úder blesku do nadzemního vedení nn** – jedná se o nepříjemný jev, při kterém se po silovém vedení šíří přepět'ové vlny s velkou energií. Pro domácnosti jako spotřebitele elektrické energie je tato situace velmi nebezpečná, protože hrozí zavlčení bleskových proudů do instalovaných zařízení v připojených budovách. Primární přepět'ová ochrana (bleskojistky, varistory) se nainstaluje na vstupu budovy, taky aby budova byla chráněna zemnicím systémem.

Ochranou před bleskovými proudy se zajistí uzemňovacím systémem, doplněným o kvalitní svodiče bleskových proudů. Pokud se chybně navrhnu nebo realizují ochranné systémy, projeví se závady na elektronickém zařízení polovodičů [3].

**Přímý úder blesku do nadzemního vedení vn** – úder blesku do nadzemního vedení vysokého nebo velmi vysokého napětí je šetrnější ke koncovým zařízením napojených na rozvodnou síť nn. Hodnota bleskového proudu je redukována vlivem oddělení vn/nn transformátorem a počítá se s přenosem přepětových impulsů indukčními a kapacitními vazbami mezi vinutím a vývodem transformátoru. Galvanické vazby mezi soustavami napětových úrovní mohou být zdrojem komplikací.

#### 4.2.9 Bleskosvod

Blesk je elektrickým jevem a vyvolá účinky jako elektrický proud ve vodiči nebo průchodu proudu špatným vodičem nebo izolátorem. Má účinky tepelné (vyvíjí se teplo), elektrodynamické (vznikají síly) a elektrochemické (galvanický rozklad).

Pokud udeří blesk do předmětu na zemi, předmět je poškozen podle své vodivosti. Bleskový výboj pokud je malý, trvá delší dobu, až roztaví a zapálí pevné hmoty. U proudu s velkou vrcholovou hodnotou jsou vyvolány elektrodynamické účinky např. ohnutí nebo roztrhání kovových částí. Na malé kovové předměty např. hřebíky, spony působí nepřímo tepelné účinky proudu blesku a magnetické elektrodynamické síly se zanedbají.

Při zásahu blesku je izolační nebo poloizolační hmota poškozena vážněji a má ráz výbuchu např. stromy jsou rozštípnuty na třísky a je sloupnutá kůra. Poškození stromu se může rozšířit až pod zem ke kořenům stromu. U staveb je to demolice, cihly a kameny z nich jsou odhozeny až do vzdálenosti 30 m a více.

Rozsah škod závisí na zasaženém předmětu, zda byl mokřý (vodivý) či nikoliv. Pokud je bouřka bez deště vyskytne se větší škoda než, když je bouřka za deště, protože blesk jde po povrchu předmětu. U mokřých stromů je uloupnuta kůra stromů a ukazuje cestu po zásahu blesku. Při bouřce bez deště jsou suché stromy na povrchu od vrchu až po zem sloupnuty nebo rozštípnuty. Škody jsou větší při průchodu blesku špatným vodičem, protože se uvolňuje energie ve formě tepla a tepelné účinky vznikají v místech, kde je velký odpor. Vlivem tepla se vlhkost obsažená ve zdivu promění v páru a zvětší objem tisíckrát větší, vznikne přetlak a nastane výbuch.

Největší škody způsobené bleskem pocházejí z požárů nebo výbuchem plynů, prachu popř. papíru. Lesní požáry jsou způsobeny bleskem v suchém a trouchnivějícím dřevě popř. ve vrstvách listů a jehličí.

Elektrodynamické účinky jsou způsobené střídavým působením mezi proudem blesku ve vodiči a magnetickým polem země. Při úderu blesku do izolovaných vodičů, které leží rovnoběžně blízko sebe, jsou izolace poškozeny, pokud jsou však vzdáleny od sebe více než 50 cm účinky jsou pak bezvýznamné [1, 3].

**Bleskosvod** je zařízení sloužící k ochraně majetku a živých bytostí před nebezpečnými účinky blesku, tvoří umělou vodivou cestu k přijetí a svedení bleskového výboje do země.

Bleskosvod má tři části – jímací zařízení (zachycuje blesk), svody (tvoří vodivé spojení od jímacího zařízení k uzemnění) a uzemnění (zajišťuje svod bleskového výboje do země pomocí zemniče, který je zapuštěn v zemi) [3, 13].

Bleskosvod je instalován podle platných norem a předpisů a chrání objekt před atmosférickým výbojem od blesku a pravidelně revidované bleskosvody zabráňují škody na životech a majetku, které by mohly vzniknout.

Bleskosvod byl dříve instalován odděleně nebo přímo do objektu. V současnosti je bleskosvod přímo instalován na budovy a to v určité vzdálenosti.

Na střeše je instalován jímač nebo jímací zařízení, které zachytí blesk a zabrání poškození střechy budovy. Ze střechy je bleskový proud sveden bleskosvodem pod intenzitou stovek tisíc ampérů do země, k tomu slouží svody bleskosvodu, které jsou vnější nebo skryté. Zabezpečují, aby nedošlo k tepelnému nebo mechanickému poškození budovy a aby bleskový proud nemohl přeskočit ze svodu na jiné kovové hmoty. Konec bleskového proudu je rozptýlen do země pomocí uzemnění, které je vyhovující z hlediska koroze.

Bleskosvody zajišťují vysokou spolehlivost řešení, dlouhou životnost a estetický vzhled před poškozením budovy a ochranou života a majetku [3].

Bleskosvod Franklinova typu je nejrozšířenější způsob ochrany před přímým úderem blesku, spočívá ve vytvoření vodivé překážky znemožňující průnik bleskového výboje k chráněnému objektu a svede energii blesku do zemnicí soustavy [3].



## 5 TECHNICKÉ PROSTŘEDKY POUŽÍVANÉ PRO DETEKCI BLESKŮ

### 5.1 Detektory blesků

Detektory blesků jsou přístroje detekující elektromagnetické záření vznikající při úderu blesku. Detektory se většinou používají profesionálně v meteorologických stanicích, kdy elektrickou bouři předchází statistické výboje na spodním pásmu. V poslední době se šíří i amatérské použití. Amatérské přístroje k detekci blesků jsou rádiové přijímače, které detekují širokopásmové rušení vzniklé při úderu blesku.

#### 5.1.1 Storm Tracker, LD - 50

Je to zařízení ve formě PCI karty, instalované přímo do počítače, do které se připojí anténa k detekci blesků. Sleduje vývoj a rozpad bouře od prvního úderu do posledního, ukládá všechny data pro budoucí analýzu. Zařízení zachycuje rádiové signály, které vznikají při bleskovém výboji. Přístroj měří pomocí směrové antény jednak směr, ze kterého záření přichází a podle intenzity signálu odhaduje i vzdálenost blesku [24].



Obr. č. 25: Storm Tracker detekuje bleskové výboje [24]

### 5.1.2 EFM-100

Zařízení měří změnu polarity a intenzity elektrického pole. Vzhledem k tomu, že změny elektrického pole jednak předchází bouřku, jednak se pole mění v důsledku přesunu elektrických nábojů při blesku, může tento detektor sloužit jak pro předpověď bouřky, tak i pro detekci blesků. Přístroj detekuje blesky nanejvýš do 50 km [24]. Cena zařízení je přibližně 2000 USD.



Obr. č. 26: Detektor EFM-100 [24]

### 5.1.3 Indikátor bouřky Strikealert

Tento indikátor poruch je přijímač pevně naladěný na kmitočet kolem 300 kHz. Jedná se o bateriový přístroj určený k detenzi blesků v přírodě. Indikátor při zachycení statického výboje varuje bliknutím LED diody. Citlivost přijímače se mění potenciometrem a jeho kladná vazba má za následek, že LED obvod je otevřen, dokud se nevybije kondenzátor 100  $\mu$ F a proto záblesk diody je vidět. Obvod se zotaví nabitím kondenzátoru přes diodu [29].



Obr. č. 27: Indikátor blesku [29].

Je to malý přístroj, který informuje o výskytu blesků v okruhu cca 64 km. Pomocí LED diody zobrazí vzdálenost bouřky 32-60 km, 20-40 km, 10-20 km a do 10 km. Detektor je napájen 2 x AAA baterií a má výdrž asi 100 hodin.

#### 5.1.4 Mobilní telefon

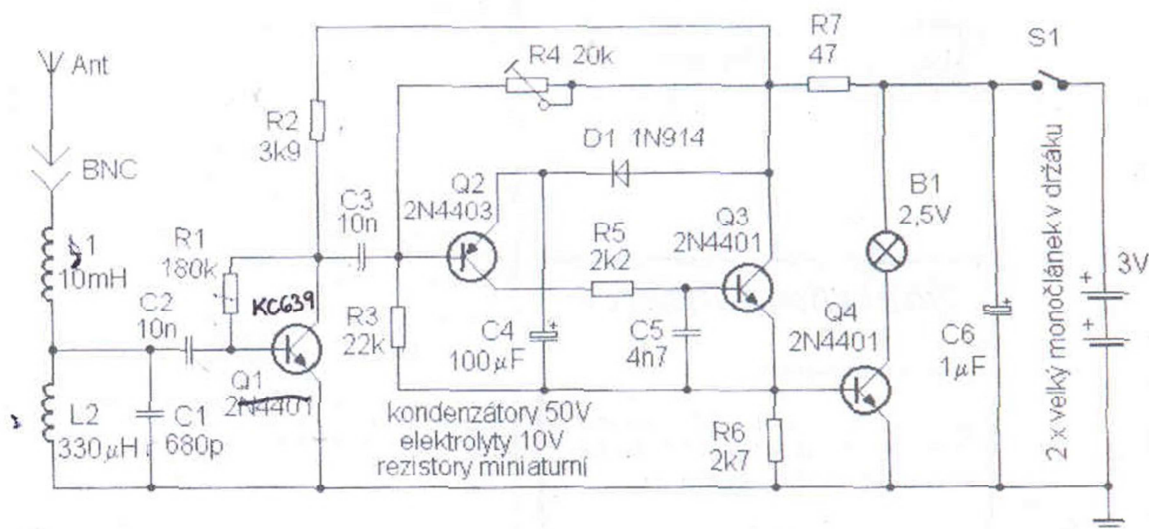
Výrobce telefon Nokia plánuje přidat do telefonů další funkci a to detekci blesků. Blesky generují elektromagnetický šum s frekvencí (10 Hz až 5 Ghz), šum je možno zachytit ve vzdálenosti 30 i více kilometrů. Pokud je šum detekován oběma kanály (např. FM rádiem, Wi-Fi, RFID, Bluetooth) může se jednat o bleskový výboj, který varuje uživatele mobilního telefonu [30].

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

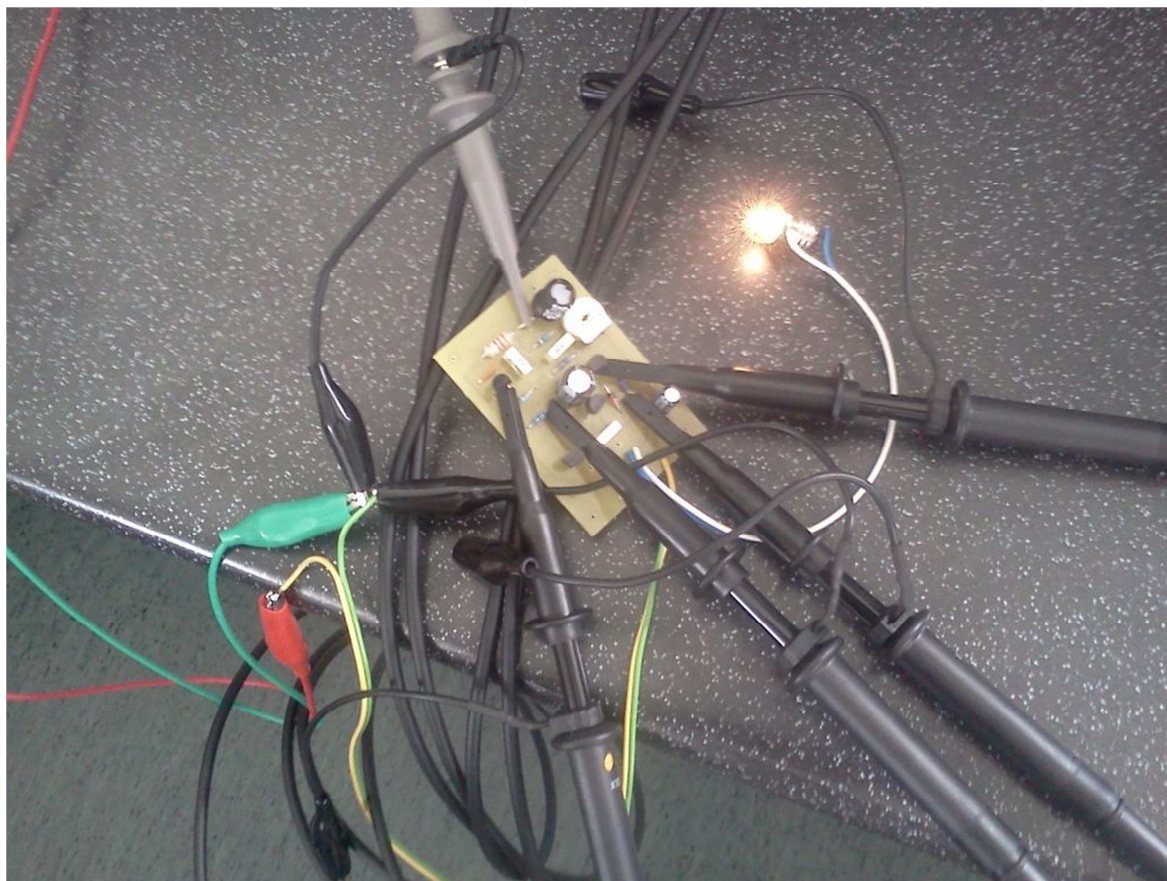
## 6 KONSTRUKCE VLASTNÍHO DETEKTORU

Pokusili jsme se sestavit zařízení podobné přístroji Strikealert, který jsme popsali v minulé kapitole. Indikátor opět detekuje výrazné statické výboje a poruchy na spodních pásmech, které předchází bouřku. Indikátor tyto poruchy "poslouchá" na kmitočtu kolem 300 kHz.

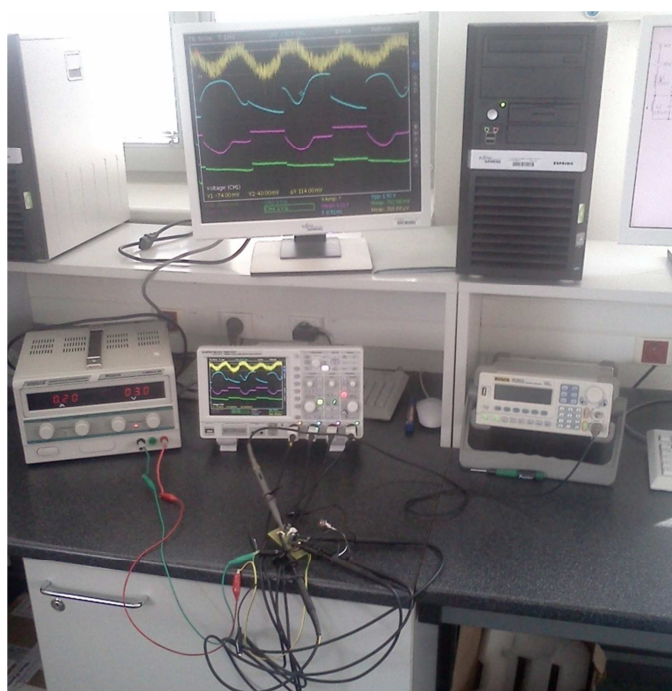
Zachytí-li statický výboj, poskytne varování v podobě bliknutí LED diody. V podstatě indikátor představuje přijímač pevně naladěný na kmitočet 300 kHz. Statické poruchy související s blesky jsou na těchto frekvencích výrazné a pravděpodobnost rušení jinými službami je mizivá. Cívka 10 mH zařazená v sérii s anténou pomáhá na ladění krátké antény na mnohem větší vlnovou délku. Indukčnost 330  $\mu\text{H}$  a kondenzátor 680 pF tvoří laděný obvod, naladěný na 300 kHz a navázaný přes kondenzátor na bázi prvního tranzistoru zesilovače. Zesílený signál z kolektoru je přiveden do báze druhého tranzistoru, který tvoří část obvodu pro blikání LED. Citlivost přijímače se mění potenciometrem. Kladná zpětná vazba má za následek, že obvod LED je plně otevřen, dokud se kondenzátor 100  $\mu\text{F}$  nevybijí, takže záblesk diody je zřetelně vidět. Obvod se rychle zotaví nabitím kondenzátoru 100  $\mu\text{F}$  přes diodu D1 [23].



Obr. č. 28: Schéma zapojení [23].



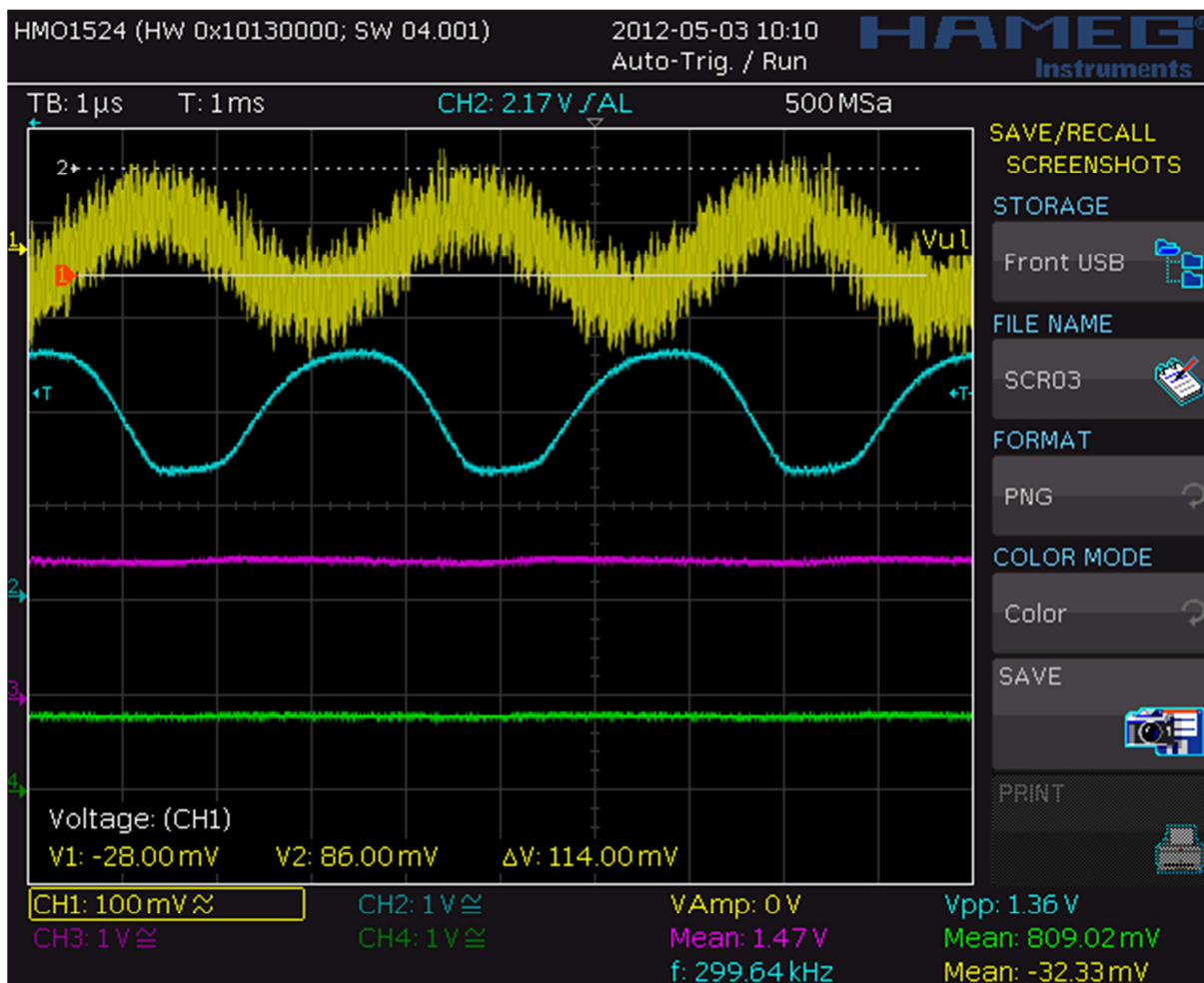
Obr. č. 29: Zapojená karta



Obr. č. 30: Celkové uspořádání experimentu.



Na obrázku 30 je celkové uspořádání experimentu. Na stole vlevo je napájecí zdroj a vedle něho čtyřkanálový digitální osciloskop se šířkou pásma 2Hz až 150MHz, HAMEG HMO 1524, který sloužil jako detektor. Na obrázku 31 je pak sejmутá obrazovka osciloskopu.



Obr. č. 31: Obrazovka osciloskopu.

Z výsledku (obr. 31) lze vyčíst, že odezvy jsou impulzní a charakterizují impulzní zesilovač, bylo zjištěno, že sestavený obvod je účelově navržený pro detekci bleskových výbojů. Jeho charakter vyžaduje odlišné měření od charakteru běžných střídavých zesilovačů.

Problém impulsního zesilovače je poněkud širší a vzhledem k časovým možnostem diplomové práce nebylo možné plně realizovat měření a laboratorní úlohu.

Problematiky zasahuje do elektromagnetické kompatibility, kterou je potřeba chránit a zabezpečovat prostředky proti rušení před blesky.

Doporučuji na fakultě v této problematice pokračovat, protože detekce bouřkových situací a blesků je zajímavé téma a je potřeba se touto problematikou zabývat.

## ZÁVĚR

Fakulta aplikované informatiky se zabývá studiem nejen problematiky elektromagnetické kompatibility u měřicích a automatizačních technik, ale i aplikacemi moderních metod automatického řízení, monitorováním a řízením systémů mikropočítačů a průmyslových počítačů aj.

Na fakultě nebyla doposud řešena problematika týkající se vypracováním detekce bouřkové situace a blesků. Při zpracování své diplomové práce, která je první prací na dané téma, jsem se zaměřila na publikační činnost týkající se blesků a detekce blesků. Zjistila jsem, že je velice důležité, aby se na dané téma pokračovalo z důvodu zabezpečení elektronického zabezpečení systémů proti těmto nežádoucím jevům a elektromagnetické kompatibility a zabezpečení stability.

Zároveň jsem se seznámila s předpisy a normami, které se zabývají problematikou elektromagnetické kompatibility a problematikou atmosférických jevů.



## ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The Faculty of Applied Informatics is concerned not only with the study of the problems and issues relating to electromagnetic compatibility for measurement and automatised techniques and technical equipment, but also with the applications of modern methods of automatised control and management, the monitoring and management of microcomputer systems and industrial computers, etc.

No-one at the faculty as yet to resolve problems and issues regarding the detection of storm situations, as well as of lightning. In the course of the elaboration of this diploma topic - the first ever on the given topic, attention was oriented on publications relating to lightning and lightning detection. It was discovered that it is of great importance that work continue on this subject, given the need for rendering electronic safety systems safe against such undesirable phenomena and for electromagnetic compatibility and to ensure stability.

At the same time, the author familiarised themselves with the current valid legislative regulations and requirements as well as norms that are related to the problems and issues of electromagnetic compatibility and atmospheric phenomena.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] CLAYTON R. P.: Introduction to Electromagnetic Compatibility, Published by John Wiley&Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 2006, str. 1013, ISBN – 13:978-0-471-75500-5, ISBN-10:0-471-75500-1
- [2] Řihánek L. V. Ing., Postránecký J. Ing. Dr.: *Bouřka a ochrana před bleskem*, Nakladatelství Československá akademie věd, sekce technická, Praha 157, Náklad 2 300 výtisků – 05/32 – DT 551.515.4 699.81, vydavatelský arch 41.830/56-C-HS-I/2/7503 – D-572803, str. 507.
- [3] Burant J. Ing.: *Blesk a přepětí, Systémová řešení ochran*, Vydalo nakladatelství FCC Public s.r.o., Praha v roce 2006, ISBN 80-8653-10-3, str. 256.
- [4] Viggiano A. A., Arnold F.: Handbook of Atmospheric Electrodynamics, Volume I, Table of Contents - Ion chemistry and composition of the atmosphere, editor Hans Volland, *Consultant, Bonn, Germany*, Press Germany 1995, **ISBN:** 9780849386473, str. 432.
- [5] Jirků J., Popolanský F.: *Atmosférická přepětí v rozvodu elektrické energie*, SNTL Praha 1966, Řada elektrotechnické literatury, str. 254.
- [6] ČSN 33 2000-1 Elektrické instalace budov – Část 1: Rozsah platnosti, účel a základní hlediska. Praha ČSNI, 1/2003
- [7] ČSN 33 2000-4-41 Elektrotechnické předpisy – Elektrická zařízení – Část 4:Bezpečnost – Kapitola 41: Ochrana před úrazem elektrickým proudem. Praha, ČSNI, včetně pozdějších změn a doplňků 2/2000
- [8] ČSN 33 2000-4-41 Elektrotechnické předpisy – Elektrická zařízení – Část 4: Bezpečnost – Kapitola 41: Ochrana před úrazem elektrickým proudem. Praha ČSNI, včetně pozdějších změn a doplňků, 2/2000
- [9] ČSN 33 2000-4-443 Elektrická instalace v budovách. Část 4: Bezpečnost. Kapitola 44: Ochrana před přepětím, Oddíl 443: Ochrana před atmosférickým nebo spínacím přepětím. Praha, ČSNI, 2011
- [10] ČSN 33 2000-5-54 Elektrotechnické předpisy – Elektrická zařízení – Část 5: Výběr a stavba elektrických zařízení – Kapitola 54: Uzemnění a ochranné vodiče. Praha, ČSNI 3/1998
- [11] ČSN 34 1390: Předpisy pro ochranu před bleskem. Praha, ČSNI, včetně pozdějších změn a doplňků, 4/1970

- [12] ČSN P IET/TS 61312-2 Ochrana před elektromagnetickým impulsem vyvolaným bleskem – Část 2: Stínění staveb, pospojování uvnitř staveb a uzemňování, Praha, ČSNI, 3/2004
- [13] ČSN IEC 61312-3 : Ochrana před elektromagnetickým impulsem vyvolaným bleskem – Část 3: Požadavky na přepětová ochranná zařízení (SPD), Praha, ČSNI, 4/2003
- [14] NOVÁK P, ŽEJDLÍK T., TOLASZ R.: *Deset let využívání dat detekce blesků v Českém hydrometeorologickém ústavu*, Meteorologické zprávy, ročník 62/2009, číslo 6, str. 200, 0026-1173,
- [15] ŘEZÁČOVÁ D., NOVÁK P., KAŠPAR M., SETVÁK M.: *Fyzika oblaků a srážek*, Academia Praha 2007, AV ČR, v.v.i., str. 574, ISBN 978-80-200-1505-1
- [16] YATSEVICH E. I., NICKOLAENKO P., SHVETS V.: *Preliminary Results on the Global Lightning Activity Inferred from Schumann Resonance Records two Years Long*, Ukrainian National Academy of Science, Kharkov, Ukraine, Sixteenth International Wroclaw Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility, June 25-28, 2002, str. 794, ISBN 83-916146-0-3
- [17] MURDIN, P. et. al.: *Encyklopedia of astronomy and astronophysics*, 1 London, New York, Nature Publishing Group, 2001, ISBN 1561592684
- [18] SVAČINA Jiří: *Základy elektromagnetické kompatibility*, VUT v Brně, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ústav radioelektroniky, Vydání první, 2001, str. 155, ISBN – 80-214-1573-8
- [19] IEC 61024-1 Protection of structures against lightning – Part 1: General principles IEC, 3/1990; IEC 61312-1, 2/1995; IEC 62305-1, 1/2006

### Internetové stránky

- [20] <http://www.sky-fire.tv/index.cgi/spritesbluejetselves.html#1>
- [21] <http://www.etm.cz/rubriky/praxe/134-zakladne-pravidla-ako-sa-chranit-pred-bleskom>
- [22] <http://boltek.com>
- [23] <http://www.ok1jfh.net/technika/blesky/blesky.htm>
- [24] <http://www.stormencounter.com>
- [25] <http://text.meteoweb.cz/>

- [26] <http://www.bourky.cz/>
- [27] <http://www.soest.hawaii.edu/met/Faculty/businger/projects/pacnet/>
- [28] [http://www.nssl.noaa.gov/primer/lightning/ltg\\_tle.html](http://www.nssl.noaa.gov/primer/lightning/ltg_tle.html)
- [29] <http://www.strikealert.com/>
- [30] <http://news.softpedia.com/news/Lightning-detectors-in-Nokia-cell-phones-55708.shtml>
- [31] [http://planety.mysteria.cz/zeme/zeme\\_mise.htm](http://planety.mysteria.cz/zeme/zeme_mise.htm)

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

p	Tlak
V	Objem
n	Látkové množství
R	Univerzální plynová konstanta
T	Absolutní teplota
°C	Teplota
g/m <sup>3</sup>	Určení hustoty
N <sub>2</sub>	Dusík
O <sub>2</sub>	Kyslík
Ar	Argon
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
Pa	Pascal
μs	Mikrosekunda

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. č. 1: Elektrický stav ovzduší kolem země [15].....	15
Obr. č. 2: Vertikální členění atmosféry [25].....	19
Obr. č. 3: Závislost teploty (červená čára) na výšce na aerologickém záznamu [26]. .....	20
Obr. č. 4: Příklad orografické oblačnosti vznikající v důsledku přetékání vzduchu přes kopec. Vítr fouká zprava [26].....	21
Obr. č. 5: Pohyb vzduchu a oblačnost na studené frontě [26]. .....	21
Obr. č. 6: : Kumuly pěkného počasí [26].....	22
Obr. č. 7: Kumulonimbus [26].....	23
Obr. č. 8: Rozdělení náboje v mraku [3].....	24
Obr. č. 9: Systém detekce TOA [15] .....	29
Obr. č. 10: Systém detekce DF [15].....	29
Obr. č. 11: Frekvence používané v síti PACNET [27]. .....	31
Obr. č. 12: Stanice sítě PACNET [27].....	31
Obr. č. 13: Družice Tropical Rainfall Measuring Mission [31].....	34
Obr. č. 14: Sprites, blue jets a elves [20] .....	36
Obr. č. 15: Mapa s časovým vývojem blesků ze systému CELDN [15]. .....	37
Obr. č. 16: Ukázka zobrazení bleskové aktivity za 24 hodin. Barevná stupnice zobrazuje počet bleskových výbojů na čtvereční kilometr [15].....	38
Obr. č. 17: Nebezpečí zásahu bleskem [21].....	43
Obr. č. 18: Správné místo na skalách [21].....	45
Obr. č. 19: Správná poloha v jeskyni nebo na převisu skal [21] .....	46
Obr. č. 20: Rozdělení systému ochrany před bleskem podle IEC 61024-1 [3] .....	47
Obr. č. 21: Kombinace zdrojů úderů blesku [3] .....	50
Obr. č. 22: Typy úderů blesků [3].....	56
Obr. č. 23: Průběh proudového impulsu blesku a základní parametry [18]. .....	57
Obr. č. 24: Vyrovnání potenciálů před bleskem [3] .....	58
Obr. č. 25: Storm Tracker detekuje bleskové výboje [24].....	61
Obr. č. 26: Detektor EFM-100 [24] .....	62
Obr. č. 27: Indikátor blesku [29].....	63
Obr. č. 28: Schéma zapojení [23]. .....	65
Obr. č. 29: Zapojená karta .....	66
Obr. č. 30: Celkové uspořádání experimentu. ....	66

---

Obr. č. 31: Obrazovka osciloskopu..... 67

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka č. 1: Hustota nasycených vodních par nad vodou.....	15
Tabulka č. 2: Chemické složení čistého suchého vzduchu (v objemových %) .....	17
Tabulka č. 3: Přijímané data ze sítě CELDN a jejich dekódování do formátu textu [14]. .....	41
Tabulka 4: Materiál pro ochranu před bleskem .....	54
Tabulka č. 5: Kombinace materiálu pro ochranu před bleskem .....	54



## SEZNAM ROVNIC

Rovnice č. 1: Vzájemná závislost stavových veličin [1]. .....	14
---	----

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Stručný obsah nejdůležitějších norem.....	79
---	----

# **PŘÍLOHA I**

Příloha č. 1: Stručný obsah nejdůležitějších norem

## **ČSN 33 2000-1**

Určuje pravidla pro návrh a realizaci bezpečných elektrických zařízení a to především v budovách, věnuje pozornost zajištění bezpečnosti a základní ustanovení o nutnosti použití ochrany před účinky bleskových proudů a přepětí. osoby, majetek a hospodářská zvířata v článku 131.6.2 a 132 obecně popisuje, jak chránit před poškozením v důsledku napětí z atmosférického jevu, spínacího přepětí a statické elektřiny. tato ochrana před přepětím upozorňuje projektanty jak zajistit ochranu osob, majetku a zvířat při návrhu elektrických instalací, rozvodů nebo zařízení [6].

## **ČSN 33 2000-4-41**

Určuje ochranu před úrazem elektrickým proudem, především správné propojení ochranných vodičů, uzemňovacích přívodů ke kovové části uvnitř budovy. Týká se i průřezů ochranných vodičů a maximální hodnoty uzemnění pracovního středu zdroje nebo pracovní uzemněného místa zdroje [7, 8].

## **ČSN 33 2000-4-443**

Zabývá se ochranou elektrických instalací před účinky atmosférických a spínacích přepětí v silových rozvodech nn [9].

## **ČSN 33 2000-5-54**

Určuje zásady pro uzemnění a pospojování před úrazem elektrickým proudem a návaznosti silových a slaboproudých zařízení na vnější ochranu před bleskem (bleskosvod). Uzemnění vnější ochrany před bleskem a silového zařízení není třeba spojovat v případě, kdy mezi nimi v zemi je vzdálenost větší než 5 m. V elektrických stanicích by se vnější ochrana před bleskem měla spojovat s uzemňovací soustavou zařízení vysokého napětí. Uzemnění zařízení informačních technologií by mělo být podle ČSN 33 2000-5-54 co nejdále od uzemnění vnější ochrany před bleskem. Uzemňovací soustavy se spojí v případě, kde je vzdálenost mezi částmi menší než 5m. Tato norma se zabývá především ochranou před úrazem elektrickým proudem, proto nemusí průřezy ochranných vodičů vyhovovat zásadám ochrany před účinky bleskových proudů [10].

*Mezi další normy, které se zabývají izolací elektrického zařízení, patří ČSN EN 60664-1 a ČSN 0420-1 [9].*

### **ČSN 31 1390**

Norma se zabývá návrhem, realizací, údržbou a revizemi jímacího zařízení, svodů a uzemnění pro rodinné a bytové domy, vysoké objekty, kovové konstrukce, zemědělské a speciální budovy. Zároveň určuje i specifické požadavky na objekty s nebezpečím požáru nebo výbuchu hořlavých kapalin, plynů, prachů, především se věnuje výrobnám nebo skladům s výbušninami [11].

### **ČSN P IEC/TS 61312-2**

Přebírá mezinárodní normativy pro ochranu před atmosférickými výboji, vyhodnocuje postupy stínícího opatření v ochraně před prostorovými účinky elektromagnetického pole vyvolaného atmosférickým výbojem uvnitř staveb a uvádí pravidla pro uzemnění v posuzovaných stavbách [12].

### **ČSN IEC 61 312-3**

Převzato z mezinárodního normativu v oblasti ochrany před atmosférickými výboji a uvádí požadavky na ochranu před přepětím, která jsou instalována v souladu s koncepcí zón ochrany před bleskem. Tato instalace se vyžaduje přímo na místě, kde silové elektrické rozvody nn procházejí rozhraním mezi dvěma zónami před bleskem [13].

*Mezi další významné normy patří – ČSN 34 1393-4, ČSN 33 4000, ČSN 33 410, ČSN EN 61643-11, ČSN EN 61643-21, ČSN EN 50164, část 1 a 2, ČSN EN 61000-4-5, ČSN EN 50174, PNE 33 3430-5, PNE 33 0000-5 a další předpisy, které jsou převzaty z mezinárodních norem.*