

dva senzory, prakticky však při polohách výboje blížících se přímce spojující tyto senzory může dojít k chybné lokalizaci. V detekčních sítích je tedy optimální používat k detekci jednoho blesku alespoň tři senzorů (Rakov, Uman, 2003), (Finke, Kreyer, 2002). (2) Druhá metoda lokalizace výbojů se anglicky nazývá *time of arrival* (TOA). Senzory využívající tuto metodu určují přesný čas zaznamenání signálu od výboje; výsledná lokace výboje je průsečíkem hyperbol pro stejné časové difference několika senzorů (nejlépe tří až čtyř) (Dienhofer, 2007), (Finke, Kreyer, 2002), (Řezáčová et al., 2007). Je nutné velmi přesné zaznamenání času příchodu signálu, obvykle v řádech stovek nanosekund, což bývá řešeno synchronizací podle GPS (Leonibus et al., 2007a).

Bleskové výboje v atmosféře generují elektromagnetické vlny v širokém spektru, senzory pozemních detekčních sítí jsou však konstruovány na detekci pouze na určitém intervalu (dlouhé vlny, velmi krátké vlny, velmi dlouhé vlny – viz Obr. 3).

Systémy pracující na dlouhých vlnových délkách (DV, $\lambda=1 - 10$ km, $f=30$ kHz – 300 kHz) patří k nejrozšířenějším na světě. Detekují signály především ze zpětných CG výbojů (kdy je vyzářeno nejvíce energie na dlouhých vlnách) a nejsilnějších IC výbojů. Tyto senzory dokáží v malém počtu pokrýt velká území na úrovni států, jelikož dlouhé vlny se šíří téměř rovnoběžně se zemským povrchem. Využívány jsou rovněž k detekci na větších územích přesahujících velikost jednotlivých států (většina Evropy, S. Amerika) (Finke, Kreyer, 2002), (Leonibus et al., 2007a), (Rakov, Uman, 2003).

Systémy detekující výboje na velmi krátkých vlnách (VKV, $\lambda=1 - 10$ m, $f=30$ MHz – 300 MHz) zaznamenávají všechny výboje (tzv. *total lightning*). Narozdíl od senzorů pracujících na dlouhých vlnových délkách tedy detekují i slabé vůdčí výboje a většinu mezioblačných výbojů. Tato detekovaná elektrická aktivita oblaků může a nemusí vyústit v silné CG výboje. Nelze proto tvrdit ve všech případech, že oblačné výboje zaznamenané detektory VKV slouží jako prediktory silné konvektivní aktivity a s ní spojených nebezpečných atmosférických jevů. Tyto senzory nerozlišují mezi IC a CG výboji, proto na nich často bývá navíc umístěn detektor DV, který rozlišuje silné zpětné výboje (Finke, Kreyer, 2002), (Rakov, Uman, 2003). Senzory pracující na VKV jsou daleko více citlivé na zakřivení zemského povrchu a vliv orografie než dlouhovlnné detektory, nejsou proto příliš vhodné pro pokrytí velkého území a doporučují se využívat především v místech, kde je nebezpečná jakákoliv blesková aktivita (letišť, kosmodromy...). Existují však i VKV sítě pokrývající území celých států. Optimální vzdálenost mezi senzory se pohybuje v řádech desítek kilometrů (Lojou et al., 2009), (Řezáčová et al., 2007).

Detekční sítě pracující na velmi dlouhých vlnách (VDV, $\lambda=30 - 60$ km, $f=5$ kHz – 10 kHz) využívají odrazu elektromagnetických vln od ionosféry. Senzory těchto sítí

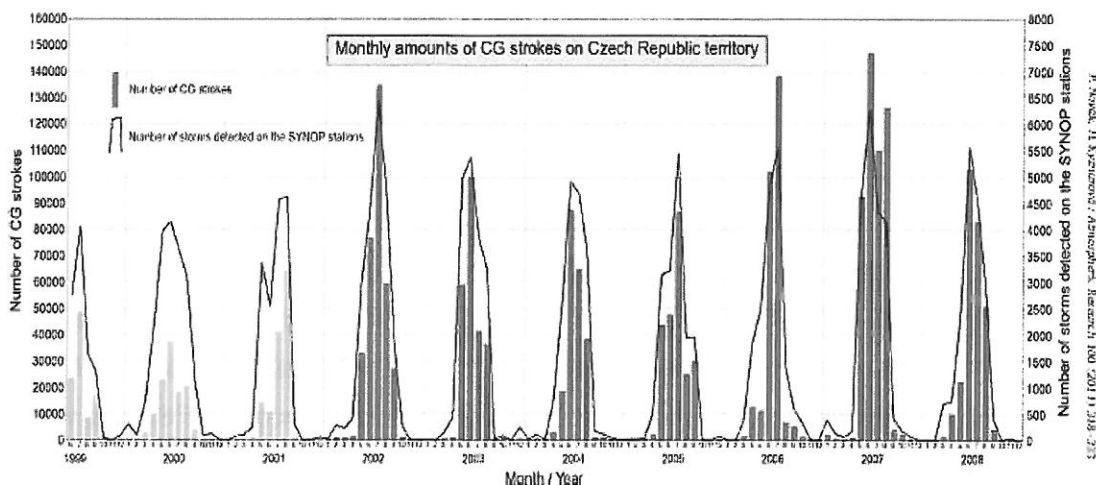


Fig. 4. Monthly amounts of CG strokes and storm records from the Czech meteorological stations.

Obr. 6: Měsíční úhrny bleskových výbojů nad Českou republikou (sloupce) a zaznamenané bouře (linie) v období 1999-2008. Zdroj: Novák, Kyznarová (2011).

Z výsledků práce byly vyselektovány dny, kdy byla detekovaná blesková aktivita nižší než pět blesků (tj. byly klasifikovány jako dny bez bleskové aktivity a úhrny v těchto dnech nebyly počítány do celkových úhrnů za jedenáctileté období). Hlavním důvodem zmíněného výběru bylo vyloučení falešně identifikovaných blesků. Podle Nováka a Kyznarové (2011) produkuje CELDN určitý počet těchto falešných blesků v řádech jednotek na denním záznamu. Tito autoři proto rovněž navrhuji označovat jako den s bleskovou aktivitou takový, během kterého je detekováno alespoň pět nebo deset bleskových výbojů. Pokud byla výše popsanou selekcí výbojů ztracena nějaká skutečná blesková aktivita, jedná se pouze o velmi malé procento.

Většina výrazné bleskové aktivity se u nás vyskytuje v teplých měsících a aby tedy výrazná blesková aktivita v zimním období úplně nezanikla v řadě letních bleskových výbojů, byly kalendářní roky rozděleny do dvou období. Jedno období tvoří první a poslední čtvrtina roku (dále jako zimní půlrok), druhé období tvoří půlrok mezi dubnem a zářím (dále jako letní půlrok). V každém půlroce byly vybrány 2 % dnů s nejvyšší bleskovou aktivitou a pro tyto dny byly zjištěny následující meteorologické charakteristiky: (1) První z nich je hodnota Convective Available Potential Energy (CAPE), která představuje tzv. pozitivní energii instability. To je energie, jakou je vzduchová částice vynášena směrem vzhůru po dosažení hladiny, která se nazývá hladina volné konvekce (HVK). (2) Hodnotou, která s první jmenovanou do jisté míry souvisí je Convective Inhibition (CIN). Tato hodnota představuje tzv. negativní energii instability, tedy energii, kterou je nutné vynaložit k dosažení HVK z přízemní vrstvy atmosféry. Pro více

informací o zmíněných ukazatelích instability teplotního zvrstvení viz Řezáčová et al. (2007) nebo Marek (2011). (3) Třetí charakteristikou ovzduší užitou v práci, je výška výstupné kondenzační hladiny (VKH). Tato hladina je pokládána za aproximaci základny oblačnosti (angl. *cloud base height* – CBH). (4) Poslední charakteristikou, která byla pro dny s výraznou bleskovou aktivitou zjišťována je typ povětrnostní situace (typizace podle ČHMÚ) a přechody front přes Prahu-Ruzyň.

Hodnoty CAPE a CIN jsou k dispozici ve veřejném online archivu aerologických sondáží světových meteorologických stanic na webových stránkách University of Wyoming. Pro Českou republiku jsou na tomto serveru k dispozici data z observatoře Praha-Libuš pro každý den od roku 1973. CAPE a CIN byly vybrány jako charakteristiky instability ovzduší a byl zkoumán rozsah těchto hodnot pro vybrané dny a jejich korelace s bleskovou aktivitou. Výška VKH byla vypočtena pomocí hodnot přízemního tlaku, tlaku ve VKH, teploty ve vrstvě vzduchu, pro kterou byla k dispozici aerologicky změřená data a měla VKH nejbližší vyšší tlak (výškově nejbližší nižší; dále označována jako „vrstva/hladina X“) a směšovacího poměru vodní páry ve vrstvě X. Zmíněná data jsou volně k dispozici na webových stránkách University of Wyoming.

Pro výpočet výšky VKH byla využita barometrická formule, podle které platí:

$$z_2 = z_1 + \left\{ \left(\frac{R_d T_v}{g} \right) \cdot \left[\ln(p_1/p_2) \right] \right\}$$

kde z je výška (1 - přízemní/2 - VKH), R_d je měrná plynová konstanta nenasyceného vzduchu (287 J/kgK), T_v je virtuální teplota v hladině X (v Kelvinech) a p je tlak (1-přízemní/2 - ve VKH).

Virtuální teplota v hladině X byla vypočtena podle vztahu:

$$T_v = T_2 \cdot (1 + 0,61 \cdot q)$$

kde T_2 je teplota v hladině X (v Kelvinech) a q je specifická vlhkost v hladině X.

Specifická vlhkost v hladině X byla vypočtena podle vztahu:

$$q = w / (1 + w)$$

kde w je směšovací poměr vodní páry ve vrstvě X.

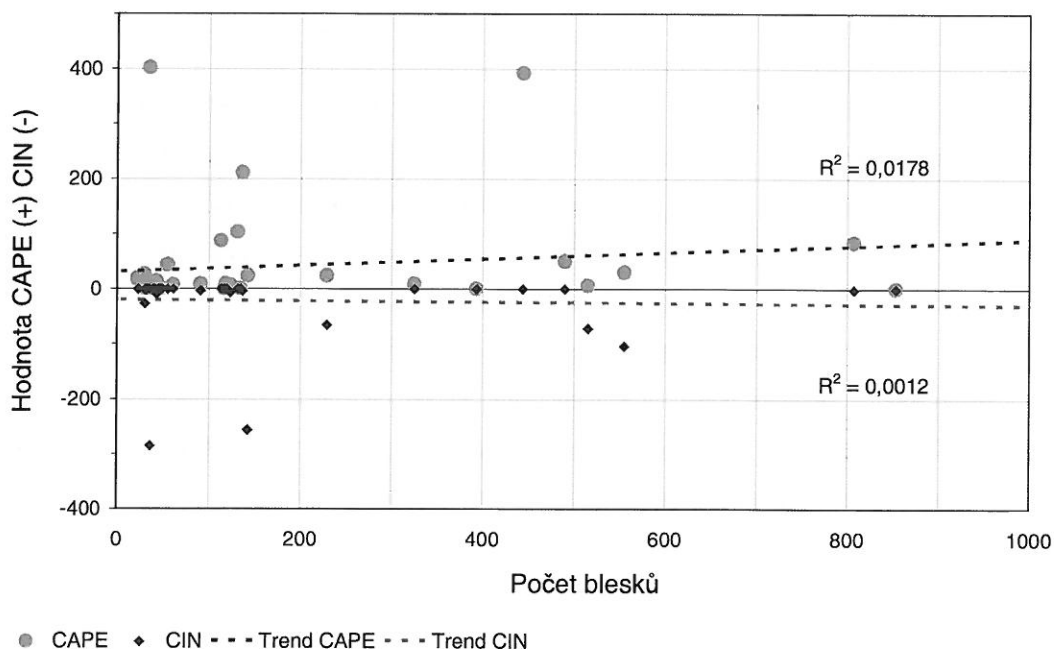
Tabulka 1: Vybrané dny s výraznou bleskovou aktivitou v zimním půlroce.

Rok	Měsíc	Den	Počet blesků nad ČR	Přechody front přes Prahu	Typ Povětrnostní situace	Nejvyšší počet blesků na 1 km ²
2007	1	18	853	11TF, 21SF	Wc	5
2007	10	5	807	6SF	Vfz	4
2010	3	26	555	18SF	SWc	3
2012	10	4	515	15SF, 17SF	Ap	4
2008	3	1	490	0TF, 2SF, 9SF	Wc	2
2006	10	29	444	2OF, 13SF, 21SF	Vfz	2
2006	3	31	393	1OF, 10SF	SWc	3
2002	3	21	325	žádná fronta	Vfz	3
2012	3	23	229	žádná fronta	Cv	2
2007	2	28	164	3SF	Wc	2
2006	3	27	142	6OF	SWc	2
2002	10	26	136	2SF, 5SF	Wc	2
2006	10	1	134	1OF	SWc	2
2003	3	30	131	21SF	NWc	2
2003	12	15	123	1SF	NWc	1
2002	2	27	119	9SF	Wc	2
2004	10	30	118	žádná fronta	SWc	2
2009	3	23	116	4TF, 7SF, 11TF, 16SF, 21SF	NWc	3
2006	10	5	113	žádná fronta	Wc	2
2003	10	5	91	žádná fronta	Bp	2
2010	3	14	61	6SF, 12TF, 22SF	NWc	2
2008	3	12	55	1TF, 3SF, 12SF	Wc	2
2007	1	1	49	5TF, 9SF, 14SF, 18SF	SWc	1
2002	10	16	46	2SF, 14TF, 21SF	SWc	2
2002	2	23	45	5SF	NWc	3
2008	11	21	45	10OF, 15SF	NWc	2
2012	3	24	45	žádná fronta	NWa	1
2004	2	8	44	10SF, 14SF	NWc	2
2002	10	19	43	8SF	C	2
2007	3	3	41	10OF	Wc	1
2002	2	28	40	15SF	Wc	2
2002	3	22	39	2SF, 7SF	Vfz	1
2004	10	6	36	5SF	SWa	2
2002	10	6	35	1OF, 16SF	C	1
2005	12	16	33	9TF, 12SF	NWc	2
2002	10	23	31	16SF	SWc	1
2005	10	13	31	žádná fronta	Cv	1
2009	3	27	30	žádná fronta	B	2
2004	11	19	23	7SF	Nc	1
2009	3	24	23	16SF	NWc	2

Grafy 3 a 4 znázorňují rozsah studovaných charakteristik instability ovzduší (CAPE, CIN) pro vybrané dny. Dále je zobrazena korelace těchto charakteristik s bleskovou aktivitou.

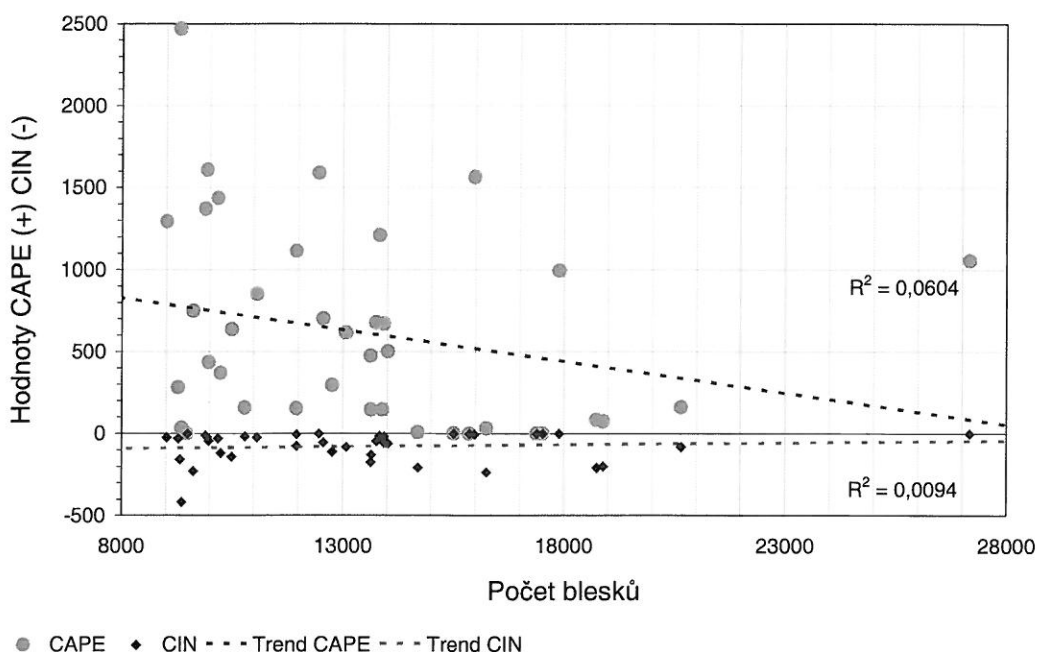
Rozsah hodnot CAPE byl ve vybraných dnech 0 – 402 J/kg pro zimní období a 0 – 2470 J/kg pro letní období. Hodnoty CIN se pohybovaly v zimním půlroce v rozmezí 0 – -286 J/kg, v letních měsících v rozsahu 0 – -418 J/kg. Pomocí hodnot denních úhrnů, které lze nalézt v Tabulkách 1 a 2 je možné z Grafů 3 a 4 odečíst hodnoty CAPE a CIN pro každý vybraný den. Poměrně zajímavý je fakt, že nejvyšší hodnoty CAPE a CIN pro každý vybraný den. Poměrně zajímavý je fakt, že nejvyšší hodnoty CAPE se v obou půlrocích vyskytly u dní se slabší bleskovou aktivitou. V zimě to bylo u dne s 35blesky, v létě u dne s 9 315blesky.

Korelace mezi zvolenými charakteristikami instability a bleskovou aktivitou se ukázala jako velmi slabá (koeficienty determinace R^2 se pohybovaly od 0,1 % do 6 %). Tato skutečnost se dala očekávat vzhledem ke komplexnosti faktorů, které ovlivňují a mohou ovlivňovat v první řadě už tvorbu konvektivní oblačnosti a navíc pak center elektrického náboje (tyto faktory jsou v současné době stále předmětem studia).



Graf 3: CAPE a CIN ve dnech s výraznou bleskovou aktivitou, zimní půlrok
Data: CELDN (poskytnuto ČHMÚ), University of Wyoming.

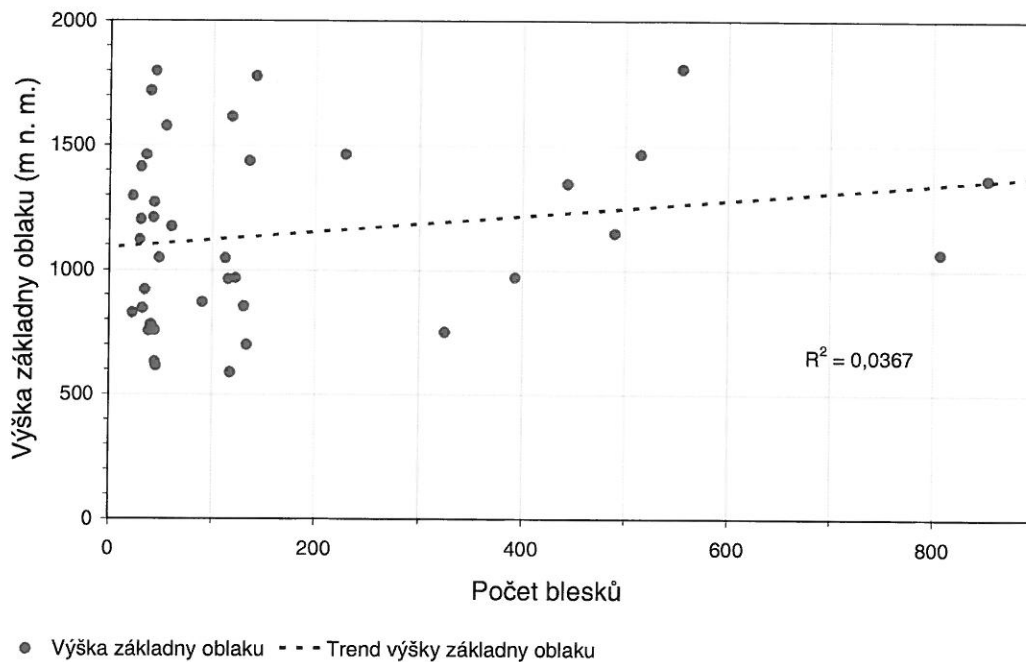
Pozn.: V Grafech 3 a 5 nejsou zahrnuta data pro den 28. 2. 2007 (164 blesků), jelikož pro tento den nebyla k dispozici aerologická sondáž pro 12UTC.



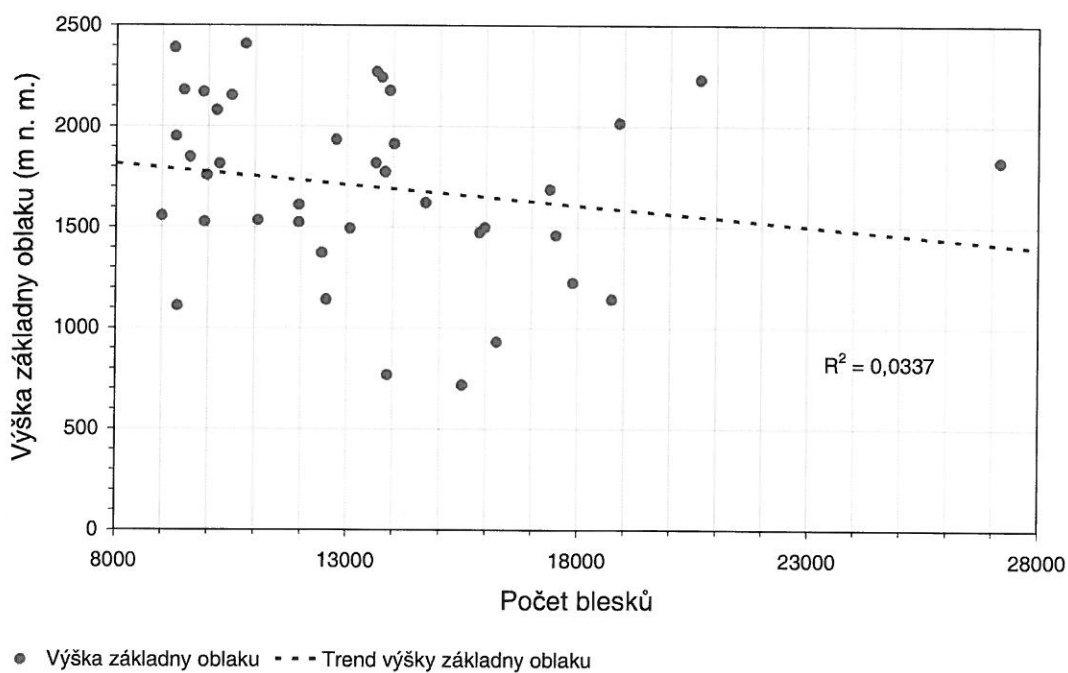
Graf 4: CAPE a CIN ve dnech s výraznou bleskovou aktivitou, letní půlrok. Data: CELDN (poskytnuto ČHMÚ), University of Wyoming.

Pohled na rozsah výšek základen oblaků ve dnech výrazné bleskové aktivity poskytují Grafy 5 a 6. Rovněž je znázorněna korelace bleskové aktivity s výškou základen oblaků nad Českou republikou. Ověřování zmíněného vztahu bylo inspirováno studií Williamse et al. (2005), která prokázala lineární korelaci mezi výškou základny oblaku a silou bleskové aktivity pro tropické oblasti.

V zimním půlroce se výšky VKH (aproximace základny oblačnosti) pohybovaly mezi 587 – 1808 m n. m., v letním půlroce bylo rozpětí 717 – 2410 m n. m. Základny oblaků ve dnech s výraznou bleskovou aktivitou v zimních měsících se rovněž pohybovaly daleko častěji v menších výškách než základny oblaků v létě. Dny s VKH níže než 1000 m n. m. tvoří v zimě 40%, v létě pouze 7,5% podíl z vybraných dní s výraznou bleskovou aktivitou, což odpovídá obecným představám o změnách teplotního zvrstvení během roku. Z Grafů 5 a 6 lze rovněž s pomocí Tabulek 1 a 2 odečíst výšky základen oblaků pro každý vybraný den. Korelace výšky VKH s bleskovou aktivitou byla zjištěna v obou obdobích velmi slabá (koeficient determinace R^2 je 3,4 % u léta a 4 % u zimy) s opačně orientovanými spojnicemi trendu.



Graf 5: Výška základny oblaku ve vybraných dnech, zimní půlrok. Data: CELDN (poskytnuto ČHMÚ), University of Wyoming.



Graf 6: Výška základny oblaku ve vybraných dnech, letní půlrok. Data: CELDN (poskytnuto ČHMÚ), University of Wyoming.

6 Diskuse výsledků a závěr

V práci byla představena data denních úhrnů blesků nad Českou republikou za období 2002-2012. Každý rok byl ve studii rozdělen na zimní a letní půlrok (viz Kapitulu 5. 1) a v těchto půlrocích byla vybrána vždy 2 % dní s nejsilnější bleskovou aktivitou. Pro tyto dny byly zkoumány zvolené meteorologické charakteristiky. Nejvýraznější vazba byla nalezena mezi dny s výraznou bleskovou aktivitou a přechodem frontální oblasti, kdy v zimě bylo frontální rozhraní přítomno v 80% procentech vybraných dní. Pokud by se do výběru v zimním půlroce nepočítaly říjnové a březnové dny, bylo by frontální rozhraní přítomno u 100 % zimních dní s výraznou bleskovou aktivitou. Pro dny v letním půlroce byl přechod fronty zaznamenán v 61,5 % případů, je však potřeba brát v úvahu, že ne ve všech dnech s frontou byla blesková aktivita v letních měsících na tuto frontu vázána. Dále byly zkoumány rozsahy hodnot CAPE, CIN a výška VKH pro vybrané dny a jejich vztah k bleskové aktivitě. Rozsah hodnot CAPE byl ve vybraných dnech 0 – 402 J/kg pro zimní období a 0 – 2470 J/kg pro letní období. Hodnoty CIN se pohybovaly v zimním půlroce v rozmezí 0 – -286 J/kg, v letních měsících v rozsahu 0 – -418 J/kg. Výška VKH (aproximace základny oblaku) byla v zimních měsících ve vybraných dnech 587 – 1808 m n. m., v letním půlroce bylo rozptětí 717 – 2410 m n. m. Žádný významný vztah mezi zmíněnými indexy instability/výškou VKH a bleskovou aktivitou nebyl zjištěn.

Pro výsledky práce byla do určité míry jistě limitující data, se kterými bylo pracováno. K dispozici byly denní úhrny blesků nad celou Českou republikou a maximální počet blesků pro daný den ve čtverci 1 x 1 km. Zmíněná data o specifickém úhrnu jsou primárně určena ke studiu vlivu vysílačů a jiných vyvýšených objektů na bleskovou aktivitu v jejich blízkém okolí (viz Novák a Kyznarová, 2011), nebyla tedy vhodná pro vytváření závěrů o síle či prostorové rozsáhlosti bouře, která se nad Českou republikou vyskytla. Dále data o přechodu front, výšce základny oblaků a hodnotách CAPE a CIN byla k dispozici pouze pro Prahu (měření z Ruzyně pro fronty, měření z Libuše pro ostatní hodnoty). Vzhledem k tomu, že nebyla známa přesná poloha detekovaných výbojů, nebyla data pro jiné lokality zapotřebí, je však třeba brát v úvahu, že meteorologické charakteristiky ve skutečné lokalitě blesků se od uvedených mohly mírně lišit.

Vytvořit charakteristiky ovzduší pro výskyt výrazné bleskové aktivity je obtížný úkol vzhledem k její vazbě na konvektivní oblačnost, jejíž charakteristiky výskytu nejsou dosud úplně objasněny a dalším faktorům, které mohou ovlivňovat elektrifikaci oblaku. Rozhodně se tedy jedná o zajímavý námět na další průzkum. Vzhledem k vývoji, kterým prochází systémy na detekci blesků, lze v budoucnu doufat v ještě přesnější a komplexnější pohledy na výskyt bleskové aktivity. Tento komplexnější pohled

Seznam obrázků, tabulek, grafů a příloh

1 Obrázky

Obr. 1: Geneze výboje	15
Obr. 2: Typy výbojů	16
Obr. 3: Frekvenční intervaly senzorů	19
Obr. 4: Globální úhrny srážek a blesků za období 1998-2011/2012 (data z družice TRMM)	23
Obr. 5: Místní čas maximálního úhrnu blesků	25
Obr. 6: Měsíční úhrny bleskových výbojů nad Českou republikou a zaznamenané bouře v období 1999-2008	29

2 Tabulky

Tabulka 1: Vybrané dny s výraznou bleskovou aktivitou v zimním půlroce	35
Tabulka 2: Vybrané dny s výraznou bleskovou aktivitou v letním půlroce	36

3 Grafy

Graf 1: Blesky nad ČR v zimním půlroce (I.-III.+X.-XII.) v období 2002-2012	32
Graf 2: Blesky nad ČR v letním půlroce (IV.-IX.) v období 2002-2012	32
Graf 3: CAPE a CIN ve dnech s výraznou bleskovou aktivitou, zimní půlrok	37
Graf 4: CAPE a CIN ve dnech s výraznou bleskovou aktivitou, letní půlrok	38
Graf 5: Výška základny oblaku ve vybraných dnech, zimní půlrok	39
Graf 6: Výška základny oblaku ve vybraných dnech, letní půlrok	39

4 Přílohy

Příloha 1: Blesková aktivita nad Českou republikou v letech 2002-2012	48
---	----

Seznam zkratek

ALDIS	Austrian Lightning Detection and Information System, rakouská detekční síť
BLIDS	der Blitz Informationsdienst von Siemens, německá detekční síť
CAPE	Convective Available Potential Energy, kladná energie instability
CBH	Cloud Base Height, výška základny oblaku
CELDN	Central European Lightning Detection Network, středoevropská detekční síť (zahrnuje detekční síť Německa a Rakouska a senzory České republiky, Polska, Slovenska a Maďarska)
CIN	Convective Inhibition, záporná energie instability
CG	cloud-to-ground, výboj mezi oblakem a zemí
DF	direction finding, metoda detekce elektrického výboje
DV	dlouhé vlny ($\lambda=1 - 10$ km), angl. LF (low frequency)
EUCLID	European Cooperation for Lightning Detection, evropská spolupráce pro sdílení a poskytování dat z detekce výbojů (blesků)
HVK	hladina volné konvekce
IC	inter-cloud, oblačný výboj, který nezahrnuje kontakt se zemí
LIS	Lightning Imaging Sensor, senzor užívaný pro detekci blesků z oběžné dráhy
NLDN	National Lightning Detection Network, americká národní detekční síť
OTD	Optical Transient Detektor, senzor užívaný pro detekci blesků z oběžné dráhy
TOA	time of arrival, metoda detekce elektrického výboje
VDV	velmi dlouhé vlny ($\lambda=30 - 60$ km), angl. VLF (very low frequency)
VKH	výstupná kondenzační hladina, angl. Lifted Condensation Level, aproximace základny oblaku
VKV	velmi krátké vlny ($\lambda=1 - 10$ m), angl. VHF (very high frequency)

