

UPORABA SISTEMA ZA DETEKCIJO STREL ZA NAPOVEDOVANJE OGROŽENOSTI PRED STRELO

The Use of Lightning Detection Systems in Lightning Hazard Forecasts

Janko Kosmač* UDK 551.5:621.31

Povzetek

Strele je električni pojav in ob razelektritvi povzroči elektromagnetni val, ki ga lahko s primernimi senzorji zaznamo na velike razdalje. Opisane so metode, ki se uporabljajo pri lokalizaciji strel. Za smerno, časovno in kombinirano metodo so podane osnove značilnosti, prednosti in slabosti. Slovenski sistem je povezan z avstrijskim sistemom zaradi večje točnosti, učinkovitosti in redundance. Podane so možnosti uporabe sistema.

Abstract

Lightning is an electric phenomenon which, in the discharge phase, produces an electromagnetic wave that can be detected at great distances. Methods used in lightning localization are described. The basic features of magnetic direction finding, time-of-arrival and the combined method are presented, together with their advantages and drawbacks. The Slovenian lightning detection system is connected with the Austrian lightning detection system in order to ensure greater detection accuracy, efficiency and redundancy. Different possibilities of using lightning data are discussed.

Uvod

Benjamin Franklin je pred približno 200 leti v znamenitem poskusu z zmajem pokazal, da je strela električni pojav. Rezultati njegovih nevarnih poskusov so dali človeštvu izjemno pomembno pridobitev – strelvod. Do današnjih časov se strelvod kot glavni ukrep za zaščito pred strelo ni bistveno spremenil.

Mehanizme nastanka strel so po Franklinu raziskovali veliki umi elektrotehnik kot so Tesla, Berger in drugi. Njihovo delo je pomembno vplivalo na razumevanje procesov v nevihtnem oblaku. Kljub temu da je bil v zadnjih petdesetih letih narejen izjemen napredek v razumevanju temeljnih procesov, povezanih z ločevanjem nabitih delcev v oblaku, obstaja več teorij o procesih ločevanja, od katerih ni nobena dokončno potrjena ali ovržena.

Poenostavljeno lahko rečemo, da morajo biti za nastanek strele izpolnjeni trije pogoji: vlaga, kondenzacijska jedra in toplota. Zaradi termičnega strujanja vlažnega zraka se v tipičnem nevihtnem oblaku začnejo pozitivno nabiti delci kopičiti v zgornjem delu, negativni pa ostajajo v spodnjem delu oblaka.

Strele delimo po različnih kriterijih. Najprej jih razdelimo po lokaciji: strele znotraj oblaka, strele med oblaki in strele med oblakom in zemljo. Tiste med oblakom in zemljo delimo na pozitivne in negativne. Negativne so tiste, ki ob razelektritvi odvedejo iz oblaka negativni naboj. Teh je približno 90 % vseh strel med oblakom in zemljo. Nadalje lahko strele med oblakom in zemljo razdelimo na padajoče in dvigajoče.

Posebnost strel je v tem, da so izjemno nepredvidljive. Njihovo pojavljanje na določeni mikrolokaciji je praktično izjemno težko napovedati. Vse ocene podajajo le verjetnost, da se bodo na določenem območju pojavile. Po ocenah raziskovalcev strel je z vsako strelo povezanih 10.000 do 20.000 m³ padavin. Navedene vrednosti lahko služijo za grobo oceno količin padavin na podlagi zaznanih strel.

Sistemi za lokalizacijo strele

Leta 1978 sta prof. Uman in prof. Krieder z univerze na Floridi naredila avtomatski sistem za lokalizacijo strel na večje razdalje. Prvi naročnik sistema je bilo gozdno gospodarstvo v zvezni državi Aljaska, ZDA. Sistem je bil

sposoben detektirati strele v oddaljenosti nekaj sto kilometrov z nekaj kilometrskim pogreškom.

Kako delujejo sistemi za lokalizacijo strele?

Zakaj lahko strela zaznamo na veliko razdaljo?

Električni naboj, ki potuje v prostoru med različno polariziranimi deli oblaka ali med zemljo, se obnaša kot neke vrste radijski oddajnik. Vsaki fazi razelektritve je lastno elektromagnetno sevanje določene frekvence, torej določen elektromagnetni profil, ki ga lahko izmerimo s primernimi inštrumenti.

V grobem lahko spekter sevanja, povezanega s strelami, razdelimo na VHF, HF in LF, VLF področje. Elektromagnetni valovi iz vsakega področja imajo različne zmožnosti širjenja. Najlažje se širijo valovi z zelo nizkimi frekvencami, hitreje pa se zadušijo valovi z zelo visokimi frekvencami. Tipično frekvenčno področje, kjer delujejo sistemi za detekcijo strel (doseg senzorjev do nekaj 100 km), je v pasu od 100 kHz do 1 MHz.

V osnovi poznamo dva načina določanja lokacije strel, prvi je smerni, drugi je časovni. Če uporabljamo smerno metodo, moramo imeti za nedvoumno določitev lokacije najmanj dva senzorja. Če uporabljamo časovni princip, je treba imeti vsaj štiri senzorje.

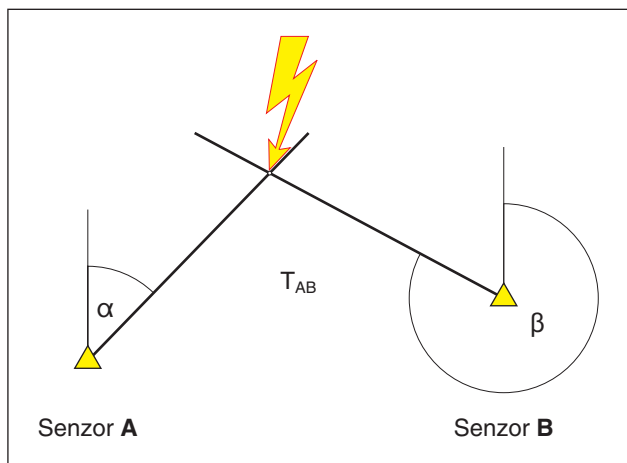
Ne glede na uporabljeno metodo, pošiljajo senzorji zbrane podatke v center v realnem času. V centru analizator pozicije iz neobdelanih podatkov izračuna lokacijo. Od udara strele do izračuna in prikaza strele na zaslonu tako mine le nekaj sekund.

Smerni način

Pri smernem načinu se za izračun lokacije strele uporabljata najmanj dva smerna kota α in β , pod katerim senzor vidi lokacijo strele. Zato morajo senzorji, ki delujejo po smernem načinu analizatorju pozicije sporočiti smerni kot pod katerim je senzor zaznal strela.

Iz znanih geografskih lokacij senzorjev in dveh ali več kotov lahko s pomočjo sferične trigonometrije izračunamo, kje je udarila strela.

* dr., Elektroinštitut Milan Vidmar, Hajdrihova 2, Ljubljana, janko.kosmac@eimv.si



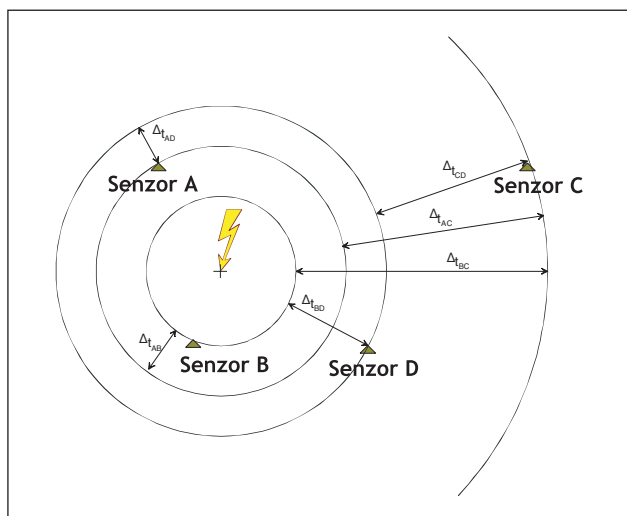
Slika 1. Določanje lokacije strele na podlagi smerne metode
Figure 1. The direction-finding method for lightning localization

Glavna prednost te metode je, da za eno samo določitev lokacije strele potrebuje majhno število senzorjev. Ker se natančnost meritve kota med senzorjem in strelo v razredu $\pm 0,5^\circ$, so pogreški v območju blizu zveznice med senzorjema lahko zelo veliki, poleg tega s temi senzorji ne moremo detektirati strel med oblaki.

Časovni način

Pri časovnem načinu se za izračun lokacije strele uporablja podatke o času, ko je senzor zaznal elektromagnetni val. Ker se elektromagnetni val širi s končno hitrostjo, potuje do senzorjev, ki so na različnih geografskih lokacijah, različno dolgo. Na podlagi časovnih razlik Δt_{AB} , Δt_{AC} , Δt_{AD} , Δt_{BC} , Δt_{BD} in Δt_{CD} , ki jih izračunamo med časi, ko je senzor zaznal strelo, lahko nedvoumno izračunamo lokacijo strele.

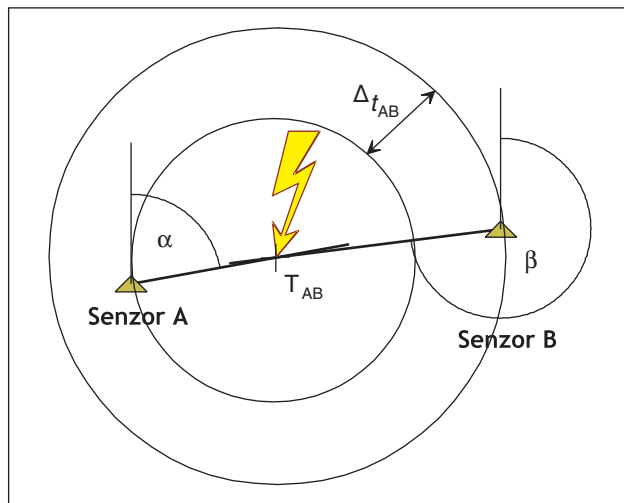
Prednosti te metode so dobra matematična pogojenost izračunov lokacij znotraj področja, ki ga pokrivajo senzorji, velika natančnost sistema in možnost detekcije strele med oblaki. Senčna plat te metode je, da za nedvoumno določitev strele potrebujemo vsaj štiri senzorje.



Slika 2. Časovna metoda določanja lokacije strele
Figure 2. The time-of-arrival method for lightning localization

Kombinirani način

Kombinirani način združuje dobre lastnosti detekcije po smerni in časovni metodi. V zadnjih letih je na tržišču mogoče kupiti senzorje, ki poleg smerne kota posredujejo analizatorju pozicije tudi čas detekcije strele. Na sliki 3 lahko vidimo, kako je mogoče s pomočjo dodatnega časa meritve rešiti problem lokalizacije strel na zveznici med senzorjema, ki posredujeta samo kot.



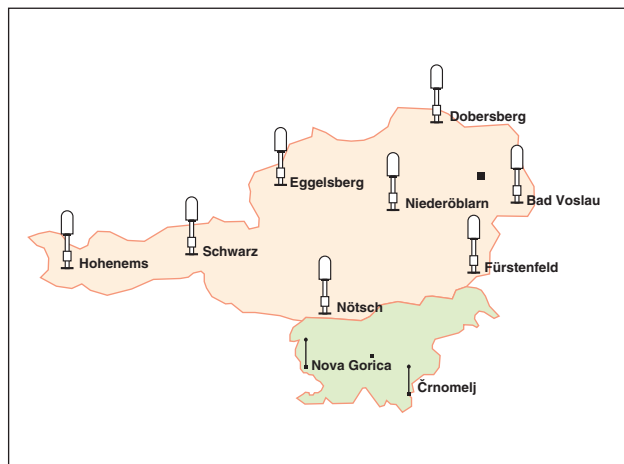
Slika 3. Kombinirana metoda določanja lokacije strele
Figure 3. The combined method for lightning localization

Slovenski sistem za lokalizacijo strele SCALAR

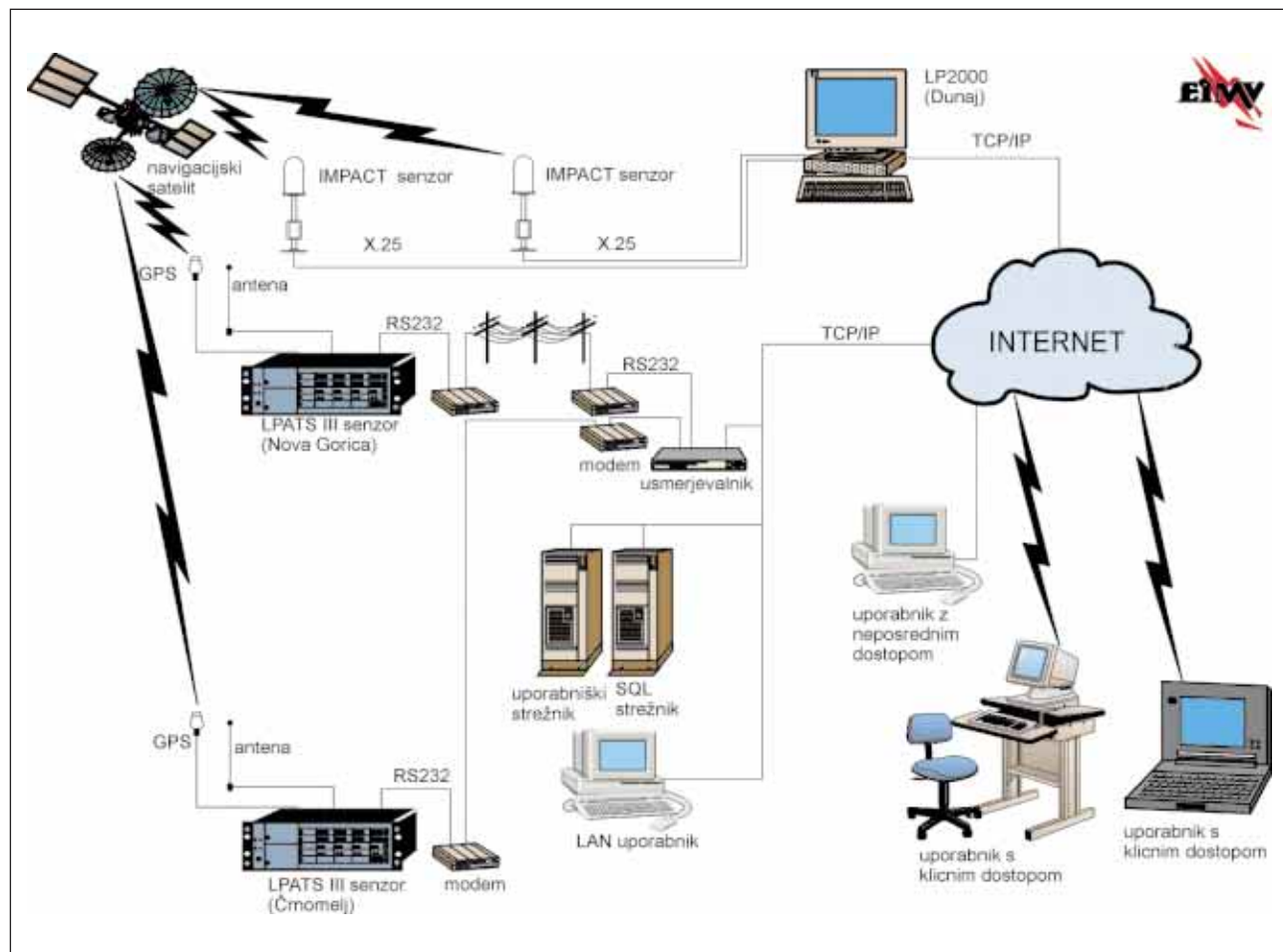
V Sloveniji že od aprila 1998 deluje Slovenski center za avtomatsko lokalizacijo atmosferskih razelektritev (SCALAR), s pomočjo katerega zbiramo podatke o strelah, ki so se zgodile na širšem območju Slovenije. Sistem je nastal v sodelovanju med Elektroinštitutom Milan Vidmar in ELES-om.

Sistem temelji na dveh senzorjih LPATS III, ki sta nameščena v Črnomlju in Novi Gorici, ter osmih senzorjih IMPACT, ki so postavljeni v Avstriji, kot prikazuje slika 4.

Izračun lokacije strele na podlagi informacij, ki jih posreduje deset senzorjev, poteka na Dunaju. Za prenos podatkov med senzorji in računskim centrom na Elektroinštitutu Milan Vidmar (RC EIMV) se uporablja ELES-ovo telekomunika-



Slika 4. Lokacije senzorjev v Sloveniji in Avstriji
Figure 4. Sensor locations in Slovenia and Austria



Slika 5. Shematski prikaz sistema SCALAR
Figure 5. SCALAR system architecture

cijsko omrežje, za prenos podatkov med RC EIMV in Dunajem pa javno internetno omrežje.

Shematsko je sistem za detekcijo atmosferskih razelektritev prikazan na sliki 5.

Vsaka zabeležena strela ima več parametrov. Numerični parametri, ki jo definirajo, so naslednji:

- časovna značka,
- zemljepisna širina lokacije,
- zemljepisna dolžina lokacije,
- amplituda toka v kA,
- število povratnih udarov,
- večja polos elipse napake,
- manjša polos elipse napake,
- naklon elipse in
- parameter kvalitete.

Glavna parametra, ki govorita o kakovosti sistema, sta točnost in učinkovitost detekcije strele. Za združen slovensko-avstrijski sistem velja, da je točnost lokacij v mejah med 300 in 700 m. Učinkovitost, ki pove, koliko strel, večjih od 5 kA detektiramo, pa je več kot 92-odstotna. S temi parametri se sistem SCALAR uvršča med pet najboljših v svetu.

Informacijski sistem sistema SCALAR je plod slovenskega znanja in temelji na JAVA-nski tehnologiji in na internetu, kar omogoča dostop do vseh podatkov o strelah z običajnim brskalnikom.

Uporaba sistema za lokalizacijo strel

Možnosti uporabe sistema so velike, a so specifične za vsako področje. Kontrolorjev zračnega prometa ne zanima jo strele včeraj, ampak strele, ki se dogajajo v tistem trenutku, in nasprotno, zavarovalnice zanimajo posamezne strele, ki jih je sistem detektiral v prejšnjem tednu, mesecu in celo letu.

V grobem delimo uporabnike na tiste, ki:

- spremljajo atmosferske razelektritve v realnem času (elektrogospodarstvo, zračna plovba, veliki industrijski sistemi),
- imajo dostop do arhivskih podatkov o strelah (zavarovalnice, elektrogospodarstvo) in
- uporabljajo statistične podatke o strelah (elektrogospodarstvo, zavarovalnice, telekomunikacije, projektivni biroji).

Uporaba sistema v realnem času

Dostop do podatkov v realnem času je predviden za uporabnike, ki jim informacije o strelah v delovnem procesu lahko preprečijo škodo na opremi ali zavarujejo človeka. V ta sklop uporabnikov spadajo predvsem elektrogospodarstva, ki z opazovanjem gibanja nevihtnih jeder v smeri prenosnih daljnovodov povečajo pripravljenost na morebitno intervencijo ob izpadu daljnovoda zaradi udara strele.

Druge možnosti uporabe sistema so v primerih, ko lahko udar strele povzroči izpad daljnovoda, ki napaja industrijski obrat z zahtevnim tehnološkim postopkom, kjer vsak izpad električne energije povzroči velike stroške. Ob približevanju nevihte se lahko obrat izključi iz omrežja, med nevihto deluje očno s svojimi izvori električne energije, po koncu nevihte pa se ga ponovno priključi na omrežje.



Slika 6. Reanimacija nevihte dne 18.8.1997
Figure 6. Reconstruction of thunderstorm on 18 August 1997

Uporaba arhivskih podatkov o strelah

Arhivski podatki o strelah so lahko koristni v primerih, ko je strela povzročila izpad objekta, škodo na njem ali ko je bil z udarom strele povezan kakšen drug dogodek.

Sistem je posebej uporaben v primerih, ko strela povzroči izpad daljnovoda in je treba na njem locirati mesto okvare. Na sliki 6 je primer strele, ki je povzročila izpad daljnovoda Doblar–Nova Gorica 8. 7. 2000 ob 21. uri 27 minut in 52 sekund. Taki dogodki so s stališča kalibriranja sistema izjemno uporabni, saj z njimi stalno spremljamo natančnost sistema.

Uporaba statističnih podatkov o strelah

Na podlagi lokacij zabeleženih strel in njihovih osnovnih podatkov se sproti izvajajo številne statistične analize, ki daje-



Slika 7. Izpad 110-kV daljnovoda zaradi udara strele 8. 7. 2000 ob 21. uri 27 minut in 52 sekund
Figure 7. 110 kV power-line failure caused by lightning on 8 July 2000 at 21:27:52

jo odgovore na vprašanja, povezana s pričakovano ogroženostjo pred udarom strele.

Med temeljne statistične analize spadajo:

- karte gostote strel (slika 7),
- karte nevihtnih dni,
- izračun mediane in 95-odstotne vrednosti amplitud,
- verjetnostna porazdelitev amplitud (po polariteti in skupno za +/-),
- kumulativna verjetnostna porazdelitev amplitud (po polariteti in skupno za +/-),
- dnevni, tedenski, mesečni in letni histogrami zabeleženih strel po polariteti in skupno.

Na sliki 7 je primerjava gostote strel za del vzhodne Slovenije in del zahodne Slovenije. Razlika dosega faktor 10, kar pomeni, da je Primorska približno 5- do 10-krat bolj ogrožena od Prekmurja. Povprečna gostota strel za Evropo se giblje med eno in dvema strelama na km² na leto. S tega vidika je Primorska ena najbolj izpostavljenih regij v Evropi.

Morebitni uporabniki teh podatkov so projektivni biroji in zavarovalnice, ki na podlagi ogroženosti pred strelo določajo ali spodbujajo strelovodno in prenapetostno zaščito.



Slika 8. Primerjava gostote strel v zahodni in vzhodni Sloveniji
Figure 8. Flash density comparison for western and eastern Slovenia

Številne države po svetu uporabljajo podatke s sistemov za detekcijo strel tudi pri napovedovanju vremena in opazovanju gibanja nevihtnih jeder. V ZDA je takih več državnih agencij kot so npr. NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Agency), NLST (National Severe Storm Laboratory) in druge.

Sklepne misli

Želja vseh, ki delujemo na področju detekcije strel, je približati rezultate, dobljene s sistemom SCALAR, vsem uporabnikom, ki bi lahko s temi podatki povečali varnost ljudi ali premoženja ali zmanjšali stroške poslovanja. Poiskati moramo povezave med znanimi fizikalnimi dejstvi o strelah in jih narediti uporabne za vsa področja, ki delujejo na kurtivni, predvsem pa na preventivni ravni.