

# Vpliv neviht na geomagnetne meritve na Gori nad Ajdovščino

Rudi Čop<sup>1</sup>, Goran Milev<sup>2</sup>, Damir Deželjin<sup>3</sup>

## Povzetek

Geomagnetni observatorij Sinji vrh je bil aprila 2012 preizkusno vključen v mednarodno informacijsko mrežo INTERMAGNET preko vozlišča GIN Edinburg. Julija 2012 je investitor prevzel observatorij od izvajalca gradbenih del. Ta leži na robu Gore, na območju najpogostejših udarov strel v Evropi. Ko vlažne zračne mase nevihtne fronte z juga zadenejo rob Gore, se morajo zelo naglo dvigniti za več kot 600 m, kar povzroči dodatno naelektritev nevihtnih oblakov. Razumevanje nastanka strel v nevihtnem oblaku, analiza merilnih rezultatov in uporaba že preizkušenih metod zavarovanja pred udari strel in njihovimi sekundarnimi vplivi omogočajo povečanje zanesljivosti delovanja observatorija. Za doseg tega cilja pa je nujno sodelovanje tako izvedencev s področja zaščite pred strelami, konstruktorjev in proizvajalcev merilnih instrumentov kot tudi upravljavcev tega observatorija.

Ključne besede: magnetometri, strele, zaščita

Key words: magnetometers, lightning, protection

## Udari strel

Ioni v atmosferi na višini nad 100 km nastajajo v glavnem zaradi ultravijoličnega sevanja in žarkov X iz Sonca. Na višinah pod 50 km pa so glavni povzročitelji naelektrenosti ozračja kozmični žarki. Največja gostota ionov v višinah pod 50 km je na okoli 15 km nad tlemi (Handbook of Geophysics and the Space Environment, 1985). Atmosfera v nižjih plasteh se ionizira ne samo zaradi radiacije kozmičnih žarkov, temveč tudi zaradi termodinamičnih pojavov v njej. Za krajši čas pa se ionizira ozračje v obliki kanalov ob udarih strel in drugih pojavih razelektritve v nevihtnih oblakih. V teh oblakih se nabirajo majhni ledeni kristali, nastali iz vodne pare, ki se mešajo z večjimi poroznimi in krhkimi ledenimi oblikami (babje pšeno). Te so nastale zaradi nagle podhladitve, podobno kot nastane ivje. Trdi ledeni kristali so nosilci pozitivnega naboja, krhke ledene oblike pa negativnega. Konvekcijski zračni toki v nevihtnem oblaku odnašajo snežne kristale na vrh oblaka, težje krhke ledene oblike pa ostanejo na dnu. Ta proces se odvija pri temperaturi od  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $-20^{\circ}\text{C}$  in preneha pri temperaturi  $-40^{\circ}\text{C}$ . V nevihtnem oblaku zato nastane potencialna razlika med  $10^8$  in  $10^{10}$  V, ki lahko pripelje do udara strele. Sam mehanizem naelektritve pa je v tem prispevku opisan zelo poenostavljeno (Ziegler et al., 1991; Saunders, 2008).

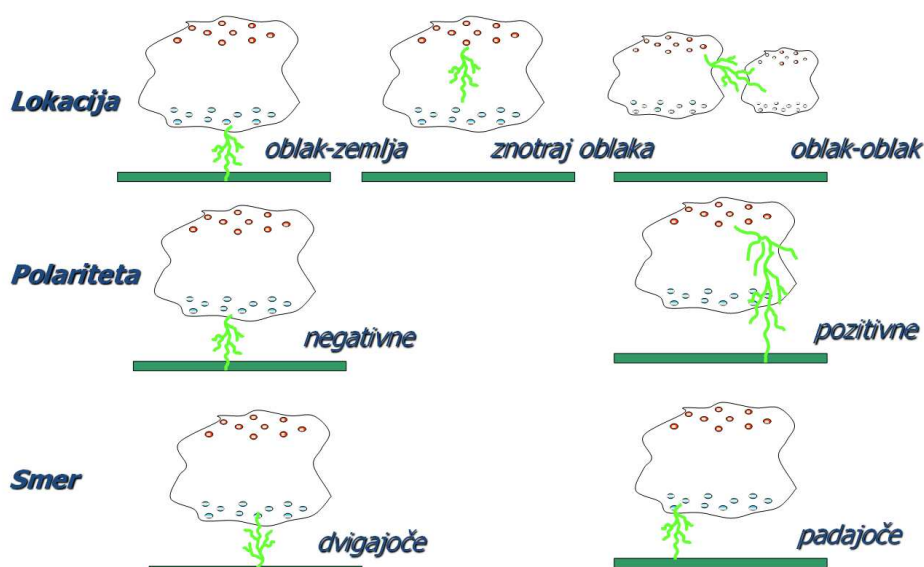
Da nastane udar strele, se mora oblak prej naelektriti. Zato mora vsebovati zadosti vlage, kondenzacijska jedra in vertikalne zračne tokove, ki so najpogosteje konvekcijski, nastali zaradi segrevanja tal. Poleg močnega elektrostatičnega polja so potrebne še molekule zraka z zadostno medsebojno oddaljenostjo. Ta razdalja mora biti tolikšna, da se prosti elektroni pospešijo na zadostno hitrost in pri tem pridobijo tolikšno kinetično energijo, da ta ob trku zadostuje za ionizacijo plinskih molekul.

---

<sup>1</sup> Visokošolsko središče Sežana, Laboratorij za geomagnetizem in aeronomijo, Kraška ulica 2, 6210 Sežana

<sup>2</sup> Elektroinštitut Milan Vidmar, Hajdrihova 2, 1000 Ljubljana

<sup>3</sup> Visokošolsko središče Sežana, Laboratorij za geomagnetizem in aeronomijo, Kraška ulica 2, 6210 Sežana



Slika 1: Vrste udarov strel glede na mesto udara,

Začetna električna praznitev ali ionizirani kanal v zraku se začne pri negativno naelektrjeni mešanici vodne pare in krhkih ledenih delcev v nevihtnem oblaku. Ta začetna praznitev negativnega naboja se v skokih dolžine tudi do 50 m približuje zemeljski površini, pri čemer pa se običajno razvije v več vzporednih kanalov. Te začetne praznitve trajajo relativno dolgo, do nekaj sto milisekund, in so slabo vidne. Ko začetna praznitev doseže tla, se v izpostavljenih objektih na zemeljski površini inducira električni naboj nasprotnega predznaka, ki močno ojača začetno elektrostaticno polje. Če je to polje zadosti močno, se iz tal začne nova razelektritev. Ko je med tlemi in nevihtnim oblakom vzpostavljen kanal ioniziranega zraka, skozenj steče močan električni tok. Ta povratni udar spremlja močan svetlobni blisk (Staszewski, 2009). Poleg že opisane oblike električne praznitve med nevihtnim oblakom in zemeljsko površino obstajajo še praznitve znotraj nevihtnega oblaka in praznitve med nevihtnimi oblaki (slika 1).

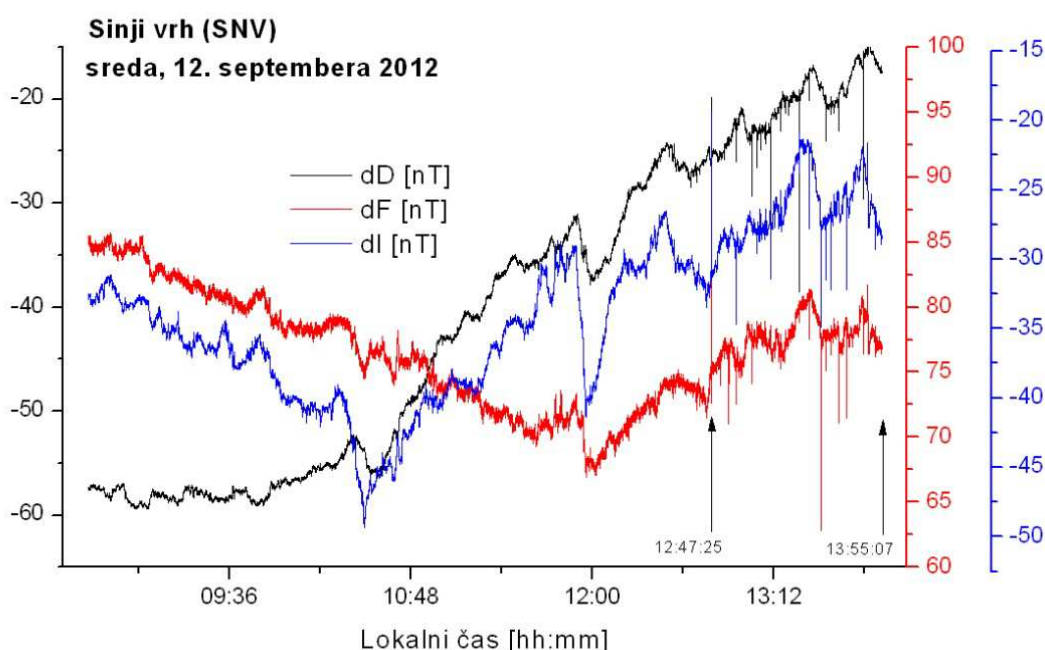
Preglednica 1: Podatki o strelah v Sloveniji

Območje	Največja amplituda [kA]	Mediana amplitude [kA]	p = 98 % [kA]
Slovenija	416,28	10,82	58
Primorska	385,73	11,15	60
Osrednja	416,28	11,09	60

Polariteto strele določa vrsta naboja v oblaku, ki se ob razelektritvi nevtralizira. Ker je oblak običajno v spodnjem delu negativen, je več kot 90 % vseh strel negativnih. Pozitivne strele so praviloma večjih amplitud in se pogosteje pojavljajo pred razpadom nevihtnega oblaka. Približno 80 % vseh udarov strel ima dva povratna udara ali več. Povprečni začetni negativni udar strele ima električni tok 30 kA, strele negativnih nosilcev tok do 120 kA in pozitivnih nosilcev več kot 300 kA. V posamezni strelji je moč  $10^{12}$  W in traja v povprečju 30 milisekund. Raziskovalni satelit Fermi, ki kroži okoli Zemlje od leta 2008, spremlja tudi razelektritve v zemeljski atmosferi. Ob udaru strele nastane v smeri proti vesolju sevanje

žarkov gama, ki ustrezajo energiji pozitronov, antimaterije po masi enaki elektronom, vendar nosilcev pozitivnega električnega naboja (Reddy, 2012).

Vsaka začetna razelektritev nevihtnega oblaka inducira tudi električni naboj v objektih in na zemeljski površini pod oblakom. Inducirani električni naboj ostane toliko čas, dokler ostane oblak v bližini in dokler se naboj v oblaku ne sprosti v obliki strele. Takrat inducirani električni naboj ni več vezan na oblak in se zato skoraj s hitrostjo svetlobe širi po zemeljski površini v obliki napetostnega vala v vse smeri od kraja udara strele:  $e_i = q/C$  [As/F]. Ta potencial zaradi sekundarnega udara strele je torej odvisen od razdalje od kraja, kamor je strela udarila v objekt na zemeljski površini, do kraja, kjer se zazna sekundarni udar strele (Punekar & Kandasamy, 2011; West).



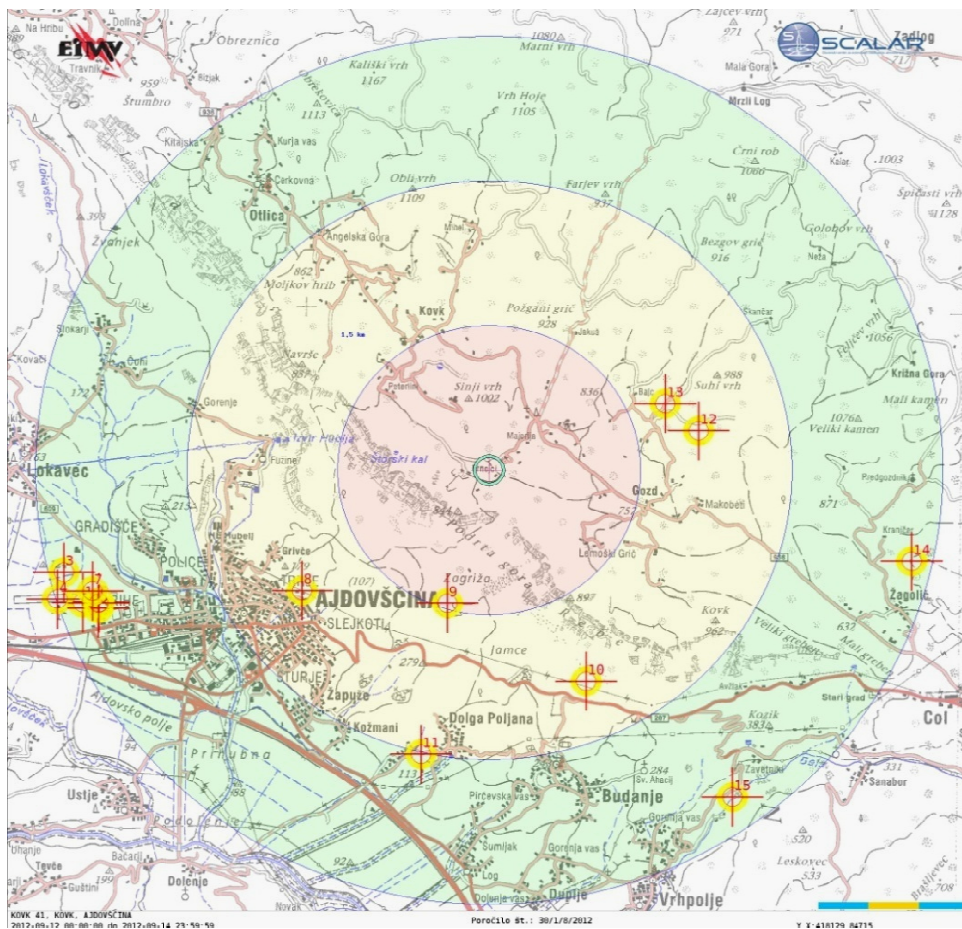
Slika 2: Udari strel dne 12. 9. 2012 registrirani z uporabo triosnega magnetometra

Zaradi udara strele nastale prenapetosti so lahko zelo nevarne in povzročijo škodo na elektroenergetskih napravah, instalacijah in porabnikih. Strela povzroča tudi požare zaradi visoke temperatura do 25.000 K v ioniziranem kanalu zraka. V energetskih in signalnih vodih pa lahko nastane visoka inducirana napetost zaradi elektromagnetnih valov, ki nastanejo pri atmosferskih praznjenjih.

### Nevihta na področju Gore

Na Geomagnetnem observatoriju Sinji vrh je bil v četrtek, 12. aprila 2012, postavljen še zadnji magnetometer, ki meri spremembo zemeljskega magnetnega polja. V sredo, 12. septembra, istega leta je bila nevihta s strelami na območju Gore. To je bila prva nevihta

potem, ko so bile na observatoriju vpeljene vse do takrat predlagane zaščite pred udarom strel (slika 2).



Slika 3: Udari strel v okolici observatorija dne 12. 9. 2012

Sistem SCALAR (Slovenski center za avtomatsko lokalizacijo atmosferskih razelektritev) deluje od leta 1998 in je namenjen določanju kraja udara strel med oblakom in zemljo ter posredovanju podatkov o njih končnim uporabnikom. Sistem meri elektromagnetne vale, ki jih povzročijo toki strel. Senzorji izmerjene podatke pošiljajo na Dunaj, kjer se v sklopu evropskega omrežja EUCLID izračuna lokacija posamezne strele in vsi drugi podatki o njej. V tem evropskem omrežju danes deluje več kot 147 senzorjev in pokrivajo območje od Sicilije do Nordkappa. Uporabniški strežnik v Ljubljani te podatke shranjuje:

- čas udara,
- zemljepisno širino in dolžino mesta udara,
- amplituda toka strele v kA in število povratnih udarov,
- polosi in naklon elipse napake,
- natančnost izračunanih parametrov izmerjene strele.

V tabeli (tabela 1) so zbrani statistični podatki o strelah v Sloveniji, shranjeni v sistemu SCALAR (SCALAR, 2012). Na podlagi podatkov iz tega sistema je bilo izdano tudi Poročilo o atmosferskih razelektritvah št. 30/1/8/2012 o udarih strel za obdobje od 12. 9.

2012 ob 00:00:00 do 14. 9.2012 ob 23:59:59 na območju Geomagnetnega observatorija Sinji vrh. V izbranem obdobju je v krogu 4,5 km od observatorija sistem zaznal 15 strel.

Dne 12. 9. 2012 je bil najmočnejši udar strele pozitivnih nosilcev električnega toka velikosti 178 kA ali 46,2 % najmočnejšega do zdaj registriranega udara strele na območju Primorske (tabela 1). Strela je udarila na razdalji 3,92 km od senzorjev magnetometrov (slika 3). Sekundarni vpliv te strele na triosne magnetometre fluxgate je presegel zgornjo mejo prenapetosti, za katero so bili instrumenti zgrajeni. Nastala prenapetost očitno ni posledica širjenja inducirane električnega naboja v obliki napetostnega vala, temveč zaradi magnetnih vplivov impulza toka strele na navitja v senzorjih instrumentov.

Izpostavljenost observatorija pred udarom strel je bila določena po karti največjih vrednosti gostote strel za Republiko Slovenijo (Karta maksimalnih vrednosti gostote strel, 2007). Iz nje je razvidno, da je največja vrednost gostote strel na območju Sinjega vrha 7,8 strele/km<sup>2</sup>/leto. Predvsem zahodni del Slovenije je glede udarov strel najbolj izpostavljeni del evropskega kontinenta.

### **Zaščita observatorija pred udari strel**

Prvi udari strel na območju, kjer danes stoji geomagnetni observatorij Sinji vrh, so bili registrirani v času testnih meritev sprememb zemeljskega magnetnega polja poleti 2009. Te registracije so vplivale na izbiro načina napajanja observatorija z električno energijo. Razmestitev objektov so sicer v prvi vrsti narekovali pogoji naravovarstvenikov in pa zavarovanje dotedanje kmetijske dejavnosti na tem območju (Čop & Deželjin, 2012). Pri končnem umeščanju teh objektov v prostor pa je bila prisotna tudi želja po zmanjšanju verjetnosti neposrednega udara strel kot tudi njihovih sekundarnih vplivov (Rupke, E., 2002; Protection against lightning effects, 2009).

Na observatoriju se je dobro izkazala zaščita pred strelami iz nizkonapetostnega elektroenergetskega omrežja z dvema ločilnima transformatorjema v kaskadi. Pri izločanju medsebojnih vplivov merilnih instrumentov in drugih naprav med seboj, ki potrebujejo čim večjo medsebojno oddaljenost, in pri zmanjševanju vpliva sekundarnega udara strel, ki zahteva čim krajše električne tokokroge, se je dosegla optimalna rešitev. Merilni podatki se dodatno prenašajo po optičnih vlaknih in ne po dolgih žičnih komunikacijskih vodih. Uporabljeni komunikacijski pretvorniki, dostopni na prostem trgu, so industrijske izvedbe in delujejo brez okvar. Po istih parametrih kot komunikacijski pretvorniki so bili že prej izbrani sestavni deli telemetrije, analogno-digitalni pretvorniki in polnilci akumulatorjev. Slednji napajajo stacionarne akumulatorske baterije, ki observatoriju zagotavljajo avtonomijo za najmanj en teden. V razdelilce vseh treh sistemov enosmernega napajanja 12 V so bili dodatno vgrajeni hitri elementi za prenapetostno zaščito skupaj s taljivimi varovalkami (Protection by TRANSIL, 2004). Enosmerno napajanje vseh magnetometrov je bilo pred vhomom v njihove elektronske dele dodatno galvansko ločeno s pretvorniki DC-DC. Prav tako so bili v komunikacijske povezave RS-232 na izhodih iz merilnih instrumentov dodatno vgrajeni optični vmesniki (IMPT, 2012).

Leta 2011 so bile na observatoriju že uvedene stalne meritve sprememb zemeljskega magnetnega polja, vendar so vplivi posrednih udarov strel presegli dovoljeno mejo šele v letu 2012. V program nadaljnega dela na observatoriju, ki je v prvi vrsti namenjen povečevanju zanesljivosti njegovega delovanja, je bilo zato vključeno tudi zmanjšanje vplivov sekundarnih udarov strel. Treba je dodatno zaščititi vhode v elektroniko teh instrumentov pred prenapetostjo iz strani senzorjev in vpeljati pravi časovni režim njihovega delovanja, da se instrumenti ne bi poškodovali zaradi strel.

## Literatura

- Čop, R. Deželjin, D. (2012). Preizkusno obratovanje geomagnetnega observatorija Sinji vrh. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2011. Zbornik predavanj. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo; Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko, Ljubljana, 57-62.
- Handbook of Geophysics and the Space Environment (1985). Scientific editor Adolph S. Jursa. United States Air Force; Air Force Systems Command; Air Force Geophysics Laboratory, Springfield (ZDA).
- IMPT - Izolirani večprotokolni serijski sprejemnik/oddajnik (2012). Ditel, Koper.  
<http://ditel.si/index.php/sl/impt.html> (10-12-2012).
- Karta maksimalnih vrednosti gostote strel (2007). Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije; Elektroiinstitut Milan Vidmar – EiMV, Ljubljana.
- Protection against lightning effects (2009). Power Guide 2009/Book 07. Limoges (France).
- Protection by TRANSIL - How to Ensure Absolute Safety (2004). AN317 Application Note. STMicroelectronics group of companies.
- Punekar, S. G. Kandasamy, C. (2011). Indirect Effects of Lightning Discharges. Serbian Journal of Electrical Engineering, 8/3, 245-262.
- Reddy, F. (2012). *Fermi Improves its Vision for Thunderstorm Gamma-Ray Flashes*. National Aeronautics and Space Administration; Goodard Space Flight Center, Greenbelt (ZDA).  
[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/GLAST/news/vision-improve.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/GLAST/news/vision-improve.html) (08-12-2012).
- Rupke, E. (2002). *Lightning Direct Effects Handbook*. Report Reference Number: AGATE-WP3.1-031027-043-Design Guideline. Lightning Technologies, Pittsfield (ZDA).
- Saunders, C. (2008). Charge Separation Mechanisms in Clouds. *Space Science Reviews*, 137/1-4, 335-353.
- SCALAR – Slovenski center za avtomatsko lokalizacijo atmosferskih razelektritev (2012). Elektroiinstitut Milan Vidmar – EiMV, Ljubljana.  
<http://observer.eimv.si/> (08-12-2012).
- Staszewski, Ł. (2009). Lightning Phenomenon – Introduction and Basic Information to Understand the Power of Nature. 8 *EEEIC International Conference on Environment and Electrical Engineering*. Karpacz (Poland): 10-13 May 2009, 208-211.
- Ziegler, L. C. et al. (1991). A model evaluation of noninductive graupel-ice charging in the early electrification of a mountain thunderstorm. *Journal of Geophysical Research*, 96/D7, 12,833-12,855.
- West, L. Allocating Indirect Lightning to Cables & Boxes at Program Inception. Note 617. University of New Mexico; SUMMA Foundation, Houston (ZDA).