

5.2

Guðleifur M. Kristmundsson og Þórður Arason

Mælingar og skráning á niðurslætti eldinga til jarðar

Guðleifur M. Kristmundsson lauk prófi í rafmagnsverkfræði frá Háskóla Íslands 1974. Framhaldsnám við Lunds Tekniska Högskola 1974–75. Lauk M.E. prófi í raforkuverkfræði frá University of Florida 1984 og Ph.D. prófi frá sama skóla 1989. Verkfræðingur hjá Landsvirkjun 1975–82 og 1989–93. Dósent við verkfræðideild Háskóla Íslands 1993–95. Verkfræðingur hjá Rafmagnsveitu Reykjavíkur frá 1996. Stundakennari við Háskóla Íslands 1978–82 og 1990–93 og við University of Florida 1983–88. Situr í stjórn samstarfsnefndar um rannsóknir á eldingum.



Þórður Arason lauk B.S. prófi í eðlisfræði frá Háskóla Íslands 1982 og prófi til kennsluréttinda frá sama skóla 1984. Lauk Ph.D. prófi í jarðeðlisfræði frá Oregon State University 1991. Kennari við Menntaskólann í Kópavogi 1981–84. Rannsóknarmaður við Oregon State University 1984–91. Jarðeðlisfræðingur hjá Orkustofnun 1984 og 1991–96. Jarðeðlisfræðingur hjá Veðurstofu Íslands síðan 1996. Situr í stjórn samstarfsnefndar um rannsóknir á eldingum.



Inngangur

Þekking okkar á eldingum, tíðni þeirra og hegðun hér á landi er mun minni en þekking okkar á ýmsum öðrum þáttum íslenskrar veðráttu. Þetta er í sjálfu sér eðlilegt því eldingaveður eru hér tiltölulega fátíð. Þrátt fyrir ýmiss konar skaða sem hlotist hefur af niðurslætti eldinga hefur rannsóknum á þessu veðurfyrirbæri lengst af verið lítið sinnt. Þær rannsóknir sem gerðar hafa verið fram til þessa byggjast einkum á athugunum Veðurstofu Íslands og hafa niðurstöður þeirra m.a. birst í formi þrumudagakorta [1], en þrumudagar eru taldir þeir dagar sem þrumur hafa heyrst eða eldingar sést á viðkomandi veðurstöð. Hins vegar er það tilviljun háð hvort eldingum slær niður í grennd við veðurathugunarstöðvar og því hending hvort athugunarmenn, sem einnig sinna öðrum störfum, hafa aðstöðu til að greina eldingar. Nokkrar athuganir fóru fram á eldingum, hleðsludreifingu og rafsviðstruflunum í gosmekki frá Surtseyjargosinu, m.a. með eldingateljurum, rafsviðsmælingum og ljósmyndun [2,3].

Upplýsingar um tíðni eldinga á tilteknum svæðum eru gagnlegar fyrir ýmsa aðila, ekki síst rafveitur, fjarskiptafyrirtæki og flugmálayfirvöld. Nákvæmar mælingar á tíðni, dreifingu og styrk eldinga hafa einnig vísindalegt gildi m.a. í veðurfræði. Í þessari grein er sagt frá uppsetningu á búnaði til mælinga og skráningar á niðurslætti eldinga til jarðar hér á landi í samvinnu nokkurra fyrirtækja og fjallað um fyrstu niðurstöður þessara mælinga. Á þeim stutta tíma sem þessar mælingar hafa staðið yfir hefur komið í ljós að tíðni eldinga á Íslandi hefur verið vanmetin. Nú þegar liggja fyrir upplýsingar sem sýna að á mörgum svæðum landsins er fjöldi þrumudaga mun meiri en áður var talið. Auk þess eru vísbendingar um að tíðni jákvæðra eldinga sé meiri og straumstyrkur hærri en algengt er annars staðar.

Fyrri athuganir

Í alþjóðlegum fagritum um raforkumál hafa birst greinar sem fjalla um líkur á niðurslætti eldinga í raflínur og truflanir af þeim sökum, ásamt kortum sem sýna áætlaða tíðni eldinga á mismunandi svæðum jarðarinnar. Samkvæmt þessum gögnum er gert ráð fyrir einum þrumudegi á ári á Íslandi að jafnaði [4]. Þessar upplýsingar verður þó að túlka með varúð enda hafa beinar mælingar ekki verið gerðar á niðurslætti eldinga til jarðar nema á tiltölulega afmörkuðum svæðum. Á síðustu árum hefur þekking manna þó aukist til muna eftir að athuganir á eldingum hófust með hjálp gervihnatta.

Á árinu 1984 var fjallað um mælingar á eldingum á fundum hjá Nordel, samstarfsvettvangi Norðurlandanna í raforkumálum. Rætt var um að koma á fót norrænu samstarfsverkefni á þessu sviði. Norræna ráðherranefndin ákvað að veita styrk til verkefnisins og var öllum löndunum boðið til þátttöku í því. Gísli Júlíusson, þáverandi yfirverkfræðingur hjá Landsvirkjun, sendi fulltrúum Íslands í Nordel minnisblað um 63. fund áætlunarnefndar Nordel, sem haldinn var 3.–4. október 1984, þar sem þetta mál var tekið fyrir og mælti Gísli með því að Ísland tæki þátt í verkefninu. Því var hafnað og fór samstarfsverkefnið af stað án þátttöku Íslands, en til undirbúnings þess var varið sem svarar um 800.000 dönskum krónum.

Veðurstofa Íslands hefur safnað upplýsingum um eldingar um áratuga skeið. Árið 1990 var gert nýtt þrumudagakort af landinu sem nær yfir athuganir á 40 ára tímabili, þ.e. 1950–1989, á athugunarstöðvum Veðurstofunnar [1]. Sé tekið mið af þessu korti má gera ráð fyrir að þrumudagar hér á landi séu heldur fleiri að jafnaði en áður hafði verið talið. Jafnframt gefur kortið til kynna að stór svæði landsins séu svo til laus við eldingar.

Samstarfssamningur um eldingamælingar

Hinn 30. ágúst 1996 undirrituðu átta fyrirtæki, þ.e. Flugmálastjórn, Landsvirkjun, Póstur og sími, Rafmagnseftirlit ríkisins, Rafmagnsveita Reykjavíkur, Rafmagnsveitur ríkisins, Samband íslenskra tryggingariðlaga og Veðurstofa Íslands, samstarfssamning um mælingar á eldingum og rannsóknir í tengslum við þær. Tvö þessara fyrirtækja, Póstur og sími og Rafmagnseftirlit ríkisins, hafa horfið af sviðinu í sinni fyrri mynd en Landssími Íslands og Lögildingarstofa hafa tekið við skuldbindingum þeirra.

Megininntak samningsins, sem er til þriggja ára, er öflun búnaðar til mælinga á niðurslætti eldinga til jarðar, rekstur hans ásamt skráningu á mælingum og túlkun á niðurstöðum. Umsjón verkefnisins er í höndum þriggja manna stjórnar en hana skipa nú þeir

Eymundur Sigurðsson, Landsvirkjun, formaður, Guðleifur M. Kristmundsson, Rafmagnsveitu Reykjavíkur og Þórður Arason, Veðurstofu Íslands. Veðurstofan hýsir móðurstöð kerfisins, sér um daglegan rekstur þess og annast geymslu og úrvinnslu gagna. Að samningstíma liðnum munu niðurstöður mælinga á þessu þriggja ára tímabili verða metnar og afstaða tekin til þess hvort framhald verður á samstarfinu.

Ákveðið var að kaupa notuð mælitæki frá Noregi sem þar höfðu verið í notkun í nokkur ár og framleidd voru af bandaríska fyrirtækinu Lightning Location and Protection Inc. Þá höfðu um nokkurt skeið legið fyrir niðurstöður úr athugun Helgu Jóhannsdóttur rafmagnsverkfræðings, en hún gerði árið 1993 samanburð á nokkrum fánægum tegundum eldingamælitækja [5]. Þar sem tækin eru ekki af nýjustu gerð jafnast þau ekki á við það sem best gerist hvað varðar mælinákvæmni og skilvirkni. Seljendur tækjanna aðstoðuðu við uppsetningu þeirra og var því verki lokið í október 1996. Ítarlega lýsingu á uppsetningu mælikerfisins er að finna í skýrslu Veðurstofunnar sem gefin var út í október 1996 [6].

Mælikerfið

Meginhlutar mælikerfisins eru móðurstöð og fjórar mælistöðvar og er lega stöðvanna sýnd á mynd 1. Mikilvægt er að mælistöðvarnar séu settar niður á svæðum sem eru tiltölulega opin og laus við truflanir, t.d. af völdum raforkukerfa. Því var reynt að forðast aðveitustöðvar og spennistöðvar rafveitnanna en valið heldur að setja mælistöðvarnar niður í nánd við stöðvar Pósts og síma eða athugunarstöðvar Veðurstofunnar. Mikilvægt var einnig við staðarvalið að fjarskiptaleiðir væru fyrir hendi.

Móðurstöðin, sem er af gerðinni APA-281, er í húsi Veðurstofunnar við Bústaðaveg í Reykjavík. Mælistöðvarnar eru af gerðinni DF 80-02 og eru við Ásgarð í Dölum (ÁS) á stað 65,235°N, 21,767°V, á Syðri-Neslöndum við Mývatn (SN) á stað 65,619°N, 16,981°V og á Hnausum í Meðallandi (HN) á stað 63,616°N, 18,073°V. Fjórða stöðin var í fyrstu sett upp við Lækjarbakka í Gaulverjabæjarhreppi en síðar var ákveðið að flytja hana til Reykjavíkur þar sem talið var heppilegt að hafa eina mælistöð aðgengilega á meðan unnið væri að gangsetningu kerfisins. Þessi stöð er nú í húsi Veðurstofu Íslands í Reykjavík (RE) á stað 64,133°N, 21,900°V.

Vegna vandamála með rekstur móðurstöðvarinnar hefur gögnum einnig verið safnað á PC-tölvur á mælistöðvum ásamt dagsetningu og tíma PC-tölvunnar upp á millisekúndu. Klukka tölvunnar nær þó að flýta sér eða seinka og eftir nokkurn tíma eru klukkurnar á



Mynd 1 Lega eldingamælistöðva.

stöðvunum allar orðnar mismunandi, sem nemur oft 10–100 sekúndum. Til að ráða bót á þessu er hringitölva á Veðurstofu sem athugar klukku á stöðvunum á sjálfvirkan hátt í hvert sinn sem náð er í gögn. Náð er í gögn á þriggja klst. fresti og bendir allt til þess að klukkuskrið á svo stuttum tíma sé með jöfnum hraða. Því er hægt að leiðrétta klukku gagnanna um leið og gögnin koma á Veðurstofu.

Mælingar byggjast á því að nema aðgreind merki frá segulsviði (B) og rafsviði (E) vegna niðursláttar eldingar og eru tvenns konar lofnet

Stefnuleiðréttingar

Það er þekkt vandamál að truflanir í kringum mælistöð geta skekkt mældar stefnur. Þar getur verið um mannvirki að ræða eða kapla, landslagsáhrif eða mismunandi eðlisviðnám jarðar. Úr safni 216 eldinga, sem staðsettar voru frá júní 1997 til apríl 1998 og taldar eru nokkuð áreiðanlega mældar, voru því sérstaklega skoðaðar þær eldingar sem þrjár eða fjórar mælistöðvar tóku þátt í að mæla. Alls voru 19 eldingar mældar af öllum fjórum stöðvunum en 71 var mæld af þremur stöðvum. Samtals eru þetta 90 eldingar og voru þessar mælingar notaðar til að áætla stefnuleiðréttingar fyrir mælistöðvarnar. Því miður er dreifing þessara eldinga ekki eins og best verður á kosið þar sem flestar þeirra lenda suður af landinu og þess vegna utan þess svæðis sem lega mælistöðvanna markar. Þessir útreikningar verða því að skoðast sem fyrsta nálgun að stefnuleiðréttingum, sem væntanlega munu breytast með frekari gagnasöfnun.

Reiknuð stefna frá hverri stöð að eldingunni var borin saman við melda stefnu. Mismunurinn er kallaður stefnuskekkja (reiknað-mælt). Með ítrun var búið til stefnuleiðréttingarfall, gögn leiðrétt, og eldingar staðsettar aftur. Þetta var endurtekið um tíu sinnum uns leiðréttingarföllin voru fundin. Þessi leiðréttingarföll voru síðan notuð við að staðsetja allar eldingarnar. Fyrir stöðvar SN og HN var leiðréttingin nálguð með fastri hliðrun. Fyrir stöðvar ÁS og RE var notuð föst hliðrun ásamt tveggja lotna sínusfalli. Leiðréttingarfallinu er lýst með jöfnunni

$$\alpha_{\text{leiðr}} = \alpha_{\text{mælt}} + \beta \quad (1)$$

þar sem α er stefnan frá mælistöð til eldingar og β er stefnuleiðréttingin. Leiðréttingarföllin fyrir mælistöðvarnar fjórar eru

$$\beta_{\text{SN}} = 0,22^\circ \quad (2)$$

$$\beta_{\text{HN}} = 0,70^\circ \quad (3)$$

$$\beta_{\text{ÁS}} = -3,41^\circ - 1,33^\circ \sin 2\alpha + 0,79^\circ \cos 2\alpha \quad (4)$$

$$\beta_{\text{RE}} = 2,05^\circ + 1,59^\circ \sin 2\alpha - 1,80^\circ \cos 2\alpha \quad (5)$$

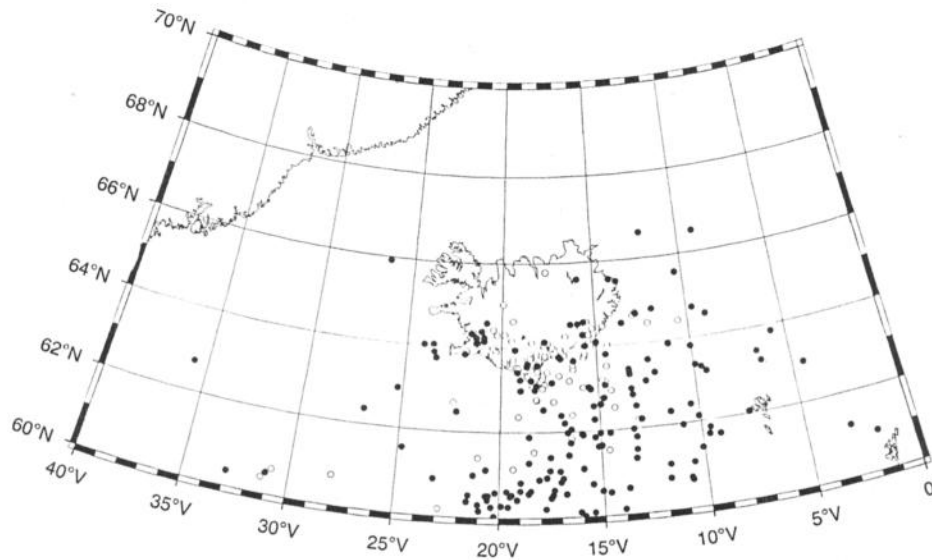
Mismunurinn milli áætlaðrar skekkju og skekkjufallanna er í flestum tilvikum lítill. Í reynd er staðalfrávikunni um 1° eftir leiðréttingu og leiðréttingarföllin minnka breytileika (variance) í mældum frávikum um 70%. Þrátt fyrir þetta er ljóst að betri nálgun má fá fyrir leiðréttingarföllin með frekari gagnasöfnun.

Staðsetning

Til þess að hægt sé að staðsetja eldingu þarf fyrst að ákvarða hvort gögn á a.m.k. tveimur stöðvum hafi mælst samtímis. Þegar reynt er að velja saman samtímaatburði er fyrst leyft 1 s misræmi í tímasetningu, en í ljós hefur komið að misræmið er langoftast minna en 30 ms og oft minna en 5 ms.

Notuð var aðferð minnstu kvaðrata á stefnur frá hverri stöð til að finna eina staðsetningu eldingar þó stefnur frá stöðvum væru ekki alveg samrýmanlegar. Þá voru notuð kúlupríhyrningafræði til að lýsa sambandi milli staðsetningar eldingar og reiknaðrar stefnu og lausn minnstu kvaðrata fundin með ólínulegri upprunagreiðingu [7,8].

Á mynd 3 sést staðsetning og pólun allra eldinga norðan við 60°N . Þessum niðurstöðum ber saman við fyrri athuganir Veðurstofu Íslands [1], sem hafa sýnt að hæsta tíðni eldinga við Ísland er að jafnaði við suðausturströnd landsins.



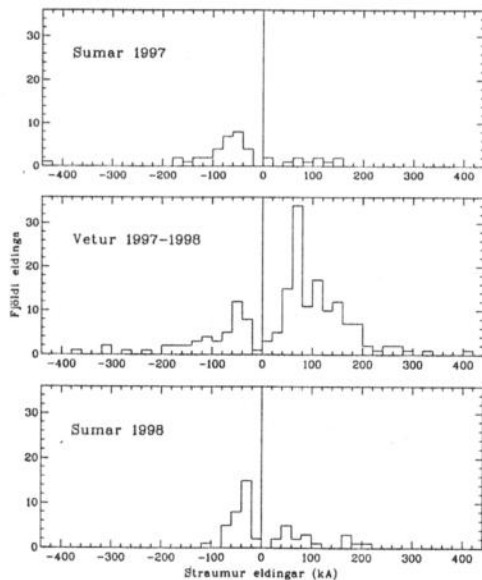
Mynd 3 Staðsettar eldingar á tímabilinu júní 1997 til ágúst 1998. Fylltir/opnir hringir sýna jákvæðar/neikvæðar eldingar.

Straumstyrkur

Af þeim 269 eldingum sem taldar eru nokkuð áreiðanlega mældar hafa 109 neikvæða pólun (41%) og 160 hafa jákvæða pólun (59%). Þetta hlutfall kann að breytast þegar frekari mælingar liggja fyrir og er reyndar líklegt að svo verði þar sem þetta háa hlutfall jákvæðra eldinga er fremur óvenjulegt miðað við það sem þekkt er annars staðar frá. Þannig gaf einstakt þrumuveður í mars 1998 alls 60 mældar eldingar sem allar voru jákvæðar.

Reyndar voru allar þessar eldingar staðsett- ar í hafi suðaustur af landinu.

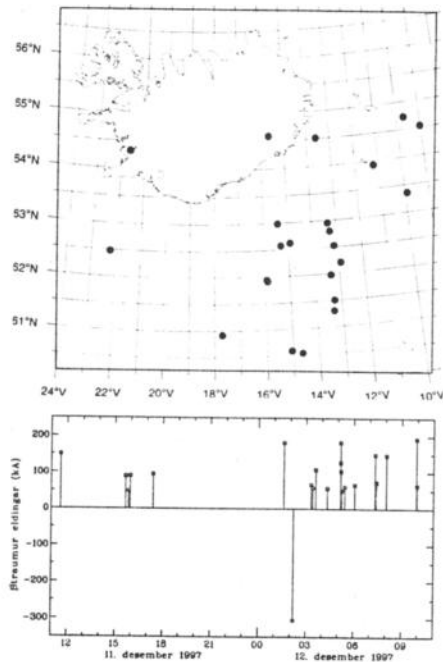
Á mynd 4 eru sýnd tíðnirit fyrir straumstyrk í fyrrnefndum 269 eldingum. Gögnunum er skipt í þrjú tímabil, sumarið 1997, veturinn 1997–98 og sumarið 1998. Athyglisvert er að hlutfallslega meira er af jákvæðum eldingum yfir veturinn og þær hafa hærri straumstyrk. Meðalstraumstyrkurinn er nálægt 100 kA, sem er mun hærri en mælst hefur í öðrum löndum og verður að taka þessum niðurstöðum með nokkurri varúð þar til fleiri mælingar liggja fyrir.



Mynd 4 Tíðnirit fyrir straumstyrk í mældum eldingum.

Einstök veður

Á þeim tíma sem mælikerfið hefur verið í gangi hefur það skilað upplýsingum um allmörg eldingaveður. Hér á eftir eru tilfærð tvö dæmi, annars vegar um vetrareldingar og hins vegar um sumareldingar.



Mynd 5 Eldingaveðrið 11.–12. desember 1997.

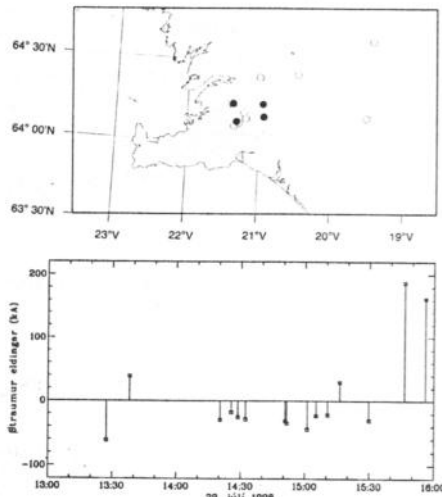
sterkar ályktanir af þessu um nákvæmni kerfisins, til þess þarf mun fleiri staðfestar mælingar. Slíkar mælingar munu væntanlega gera nauðsynlegar stefnuleiðréttingar á merkjum frá loftnetum útstöðvanna mögulegar í framtíðinni. Á sama hátt verður að taka með nokkurri varúð straumstyrknum 110 kA, sem mældist í þessari eldingu. Fleiri mælingar þarf til að meta nákvæmni straummælinganna sem byggja m.a. á reiknaðri fjarlægð milli viðkomandi mælistöðvar og þess staðar þar sem eldingunni slær niður.

Eldingaveður 29. júlí 1998: Nokkuð var um eldingar í júlí 1998 eins og í sama mánuði árið áður en júlí virðist vera virkasti sumarmánuðurinn hvað fjölda mældra eldinga varðar eins og mynd 2 ber með sér. Eldingar mældust 13. júlí og bárust fregnir af því að elding hefði kveikt í gróðri við bæinn Hjarðarland í Biskupstungum. Daginn eftir, þann 14. júlí, mældust 17 eldingar á tímabilinu frá 13:15 til 18:10 og dreifðust þær víða um láglandið sunnanlands þar sem mikið hitauppstreymi var.

Hitauppstreymi orsakaði einnig eldingaveður þ. 29. júlí en á mun takmarkaðra svæði. Þá mældust 15 eldingar á þremur tímum milli kl. 13:00 og 16:00 í Þingvallasveit og Ölfusi. Þessar eldingar voru mældar af öllum fjórum mælistöðvunum og eru þær sýndar á mynd 6. Fjórar þessara eldinga voru jákvæðar en 11 neikvæðar, en í veðrinu þann 14. júlí voru nei-

Eldingaveður 11.–12. desember 1997: Eldingaveður voru nokkuð tíð í desembermánuði 1997 og allmargir samtímaatburðir skráðir. Flestar þessara eldinga voru mældar af öllum fjórum stöðvum. Þann 11. desember voru fimm eldingar skráðar kl. 11:34–17:22 og þ. 12. voru 19 eldingar skráðar kl. 01:36–09:58. Flestar voru þessar eldingar í hafi SA af landinu og fylgdu hitaskilum sem komu úr suðri. Niðurstöður mælinga eru sýndar á mynd 5.

Athyglisverðasti atburðurinn varð 11. desember kl. 17:22. Þá mældist elding frá Reykjavík, Hnausum og Ásgarði og var reiknuð staðsetning 64,20°N og 21,48°V. Áætlaður straumstyrkur er 110 kA og er þessi elding jákvæð. Á sama tíma sló út raflínunni Korpa 2, sem liggur um Mosfellsdal, og reyndust þrjár staurar skemmdir. Miðstaurinn (nr. 71 í línunni) var nokkru síðar staðsettur með GPS-mælingu og reyndist vera á 64,16878°N og 21,39427°V. Þetta er í fyrsta sinn sem mældur samtímaatburður er staðfestur af ummerkjum á vettvangi og nákvæmri staðsetningu með GPS-tækjum. Ekki má þó draga of



Mynd 6 Eldingaveðrið 29.júl 1998.

Eldingamælingar munu væntanlega einnig verða vaxandi þáttur í reglulegum athugunum Veðurstofu Íslands og hjálpa til við að gefa heildstæða mynd af íslensku veðurfari og skýra hið flókna samspil einstakra veðurþátta. Þá er líklegt að flugmálayfirvöld og tryggingafélög muni vilja nýta niðurstöður þessara athugana í vaxandi mæli í framtíðinni.

Samstarfsnefndin gaf út áfangaskýrslu um verkefnið í apríl 1998 [9] og er hún nú aðgengileg öllum á Netinu. Veffangið er <http://www.vedur.is/ta/elding>. Þá voru fyrstu niðurstöður úr verkefninu kynntar á alþjóðlegri ráðstefnu um eldingamælingar í Birmingham á Englandi í september 1998 [10].

Heimildir

- [1] Flosi H. Sigurðsson og Eyjólfur Þorbjörnsson: „Fjöldi þrumudaga á Íslandi 1950–1989“. Skýrsla. Veðurstofa Íslands, 1990. (4 s)
- [2] Þorbjörn Sigurgeirsson: „Jarðeðlisfræðirannsóknir í sambandi við Surtseyjargosið“. Náttúrufræðingurinn, 35, s.188–210, 1966.
- [3] Anderson, R. o.fl.: „Atmospheric Electric Disturbances Produced by the Volcano at Surtsey, Iceland“. Science, 148, s.1179–1189, 1965.
- [4] Uman, M. A.: „The Lightning discharge“. Academic Press, 1987.
- [5] Helga Jóhannsdóttir: „Comparison of Lightning Location Systems“. Skýrsla unnin fyrir Landsvirkjun. Electric Power Engineering Department, Technical University of Denmark, 1993. (208 s)
- [6] Þórður Arason: „Uppsetning eldinganema á Íslandi“. Skýrsla VÍ-G960229-TA02. Veðurstofa Íslands, 1996. (3 s)
- [7] Menke, W.: „Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory“. Academic Press, 1984. (260 s)
- [8] Passi, R. M. og López, R. E.: „A Parametric Estimation of Systematic Errors in Networks of magnetic Direction Finders“. J. Geophys. Res., 94, s. 13 319–13 328, 1989.
- [9] Samstarfsnefnd um rannsóknir á eldingum: „Uppsetning á búnaði til mælinga og skráningar á niðurslætti eldinga til jarðar á Íslandi“. Apríl 1998. (55 s)
- [10] Þórður Arason: „Initial Results of the Icelandic Lightning Location System“. Proceedings of 24th International Conference on Lightning Protection, Birmingham, 14.–18. sept. 1998, s.241–244.

kvæðar eldingar einnig í miklum meirihluta. Þetta er í samræmi við það sem áður var sagt að hlutfallslega er meira um neikvæðar eldingar að sumarlagi en að vetrarlagi, sbr. mynd 4. Tvær jákvæðu eldinganna mælast þó langsterkastar eða nálægt 170kA og 200kA og koma þær síðast í þessari eldingahryðju.

Lokaorð

Aðdragandinn að eldingarannsóknum á Íslandi var alllangur. Mörg fyrirtæki á sviði raforkumála og fjarskipta tóku þátt í þeirri vinnu. Þrátt fyrir ýmsa byrjunarörðugleika við gangsetningu kerfisins hafa reglulegar mælingar á niðurslætti eldinga nú farið vel af stað og er þess að vænta að þær muni koma að gagni í framtíðinni m.a. við hönnun og rekstur raforkukerfisins.