

ZVONIMIR KRULC

GEOLOGIJA I GEOFIZIKA U SLUŽBI ZAŠTITE OD MUNJE

Prema predavanju održanom u Hrvatskom geološkom društvu 10. 5. 1972.

S 5 slika u tekstu

Naglašavajući da bi kod izgradnje dalekovoda i uzemljenja munjovoda i kod nas trebalo uvijek geološki i geoelektrički istražiti tlo autor prikazuje na nekoliko primjera iz Hrvatske (dalekovod kroz područje paleozojskih prodora u Lici, dalekovod u Gorskom Kotaru, kvartar kod Žitnjaka u Zagrebu, područje rasjeda kod Donjeg Lapca) zavisnost čestine udara munje o kontaktnom ili tektonskom diskontinuitetu litološke, pa prema tome i geoelektrične podloge, te velike promjene u električnoj vodljivosti površinskih naslaga na malim udaljenostima.

1. UVOD

Prastara su prikazivanja munje, »nebeske vatre«; nalaze se već u starobabilonsko vrijeme pred više od 4000 godina. Iz grčke kulture je poznata slika Zeusa kako baca munju, na zdjelici za piće iz vremena oko 480. godine prije n.e. Iz istog vremena je i brončana statua iz Dodone, koja prikazuje Zeusa s munjom. Umjetnost renesanse sjetila se opet antičkog boga koji baca munju i slikari počinju pomalo opet slikati krajobrazu s prikazima oluja. Za vrijeme baroka, a naročito rokoka, na freskama se često sreće motiv munje. Oko 1620. slika Rubens poznatu sliku »Pad anđela« (u muzeju »Alte Pinakotek« u Münchenu) sa strelicama munje i plamenovima, sličnim predodžbama iz antičkog vremena (W. Kallenbach, 1971).

Nakon proučavanja ostataka i pokušaja rekonstrukcije poznatog Salamonovog hrama iz antičkog doba u Palestini postavljena je teorija, da su metalni štapovi na hramu bili u stvari munjovodi; oni su ostali, dok je od vode uništila korozija (V. Fritsch, usmena informacija).

Tek sredinom 18. stoljeća upoznata je bit munje. Posebno se ističu istraživanja B. Franklina. On je prvi utvrdio identičnost munje s električitetom, postavio novu teoriju električneta dokazujući postojanje pozitivnog i negativnog električneta; pronašao je munjovod, što mu pronosi ime cijelim svijetom. Visoki gromobranski šiljci, često opremljeni sa pozlaćenim vrškom, nose njegovo ime i mogu se još dandanas vidjeti na starijim objektima sa starim gromobranskim instalacijama.

»Machina meteorologica« češkog svećenika i fizičara Prokopa Diviša bio je prvi sa svijesnim ciljem postavljen i solidno uzemljen munjovod u Evropi, a možda čak na cijelom svijetu. P. Diviš-a uspoređuju s B. Franklinom. Dokazano je, da su oba istraživača radila potpuno nezavisno. Prve publikacije B. Franklina izašle su 1751. u Engleskoj i 1752. u Francuskoj. U to vrijeme P. Diviš već je završio svoje pokuse sa šiljcima i potpuno razradio svoj nacrt zaštitne munjovodne instalacije (K. Černy, 1958).

2. ISTRAŽIVANJE UGROŽENOSTI OD UDARA MUNJE

Donedavna istraživala se i razmatrala ugroženost od atmosferskih električnih izbijanja samo sa stanovišta klimatskih (meteoroloških) faktora i podataka te njihove interpretacije.

Sa stanovišta geološke-geoelektričke građe (strukture) tla počeo je problem ugroženosti od udara munje detaljnije proučavati tek V. Fritsch (1952, 1957, 1958a, b, 1966). Rezultati odgovarajućih istraživanja pokazuju, da ugroženost od udara munje uvjetuju prije svega dva faktora: geološko-geoelektrička nehomogenost stijena i apsolutne vrijednosti specifičnog otpora stijena (V. Fritsch).

O uplivu geološke građe podzemlja na ugroženost od atmosferskih električnih izbijanja raspravljali su i drugi autori (npr. G. Lehmann, 1957, 1959; U. Höhne, 1962; K. Heynisch, 1964). Opažanja i istraživanja opetovano pokazuju, da munje prvenstveno udaraju u objekte, što se nalaze iznad ili blizu diskontinuiteta (nehomogenosti, anomalija) u građi stijena. Kao posebno od munje ugrožene diskontinuitete tla treba označiti:

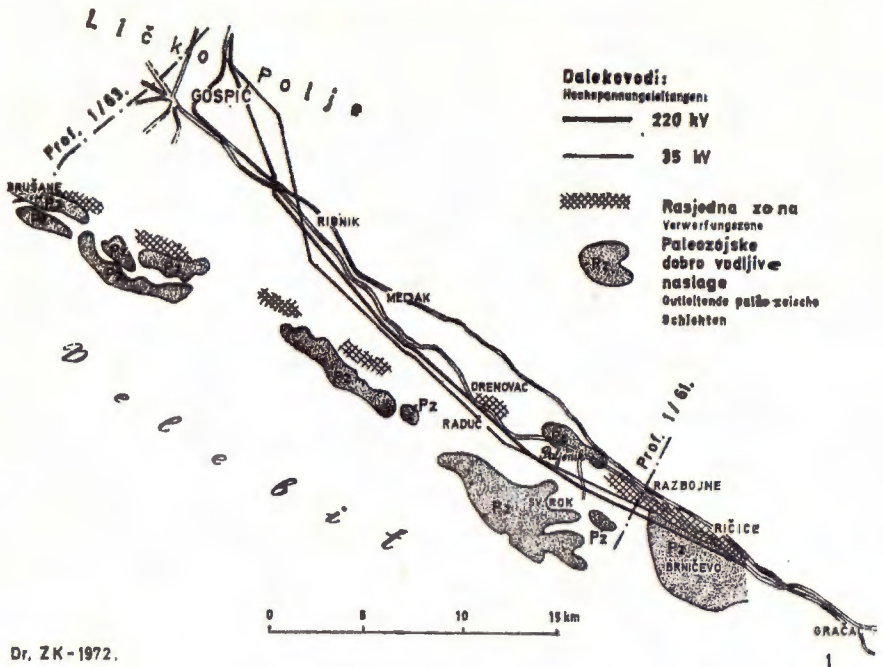
- 1) Dobro vodljive (nisko-otporne) uloške malog površinskog protezanja, što se nalaze u slabo vodljivom (visoko-otpornom) materijalu.
- 2) Granične ili kontaktne zone između dobro i loše vodljivih geoloških vodiča (stijena, slojeva).
- 3) Zone tektonskih poremećaja (rasjedne zone, prelomnice ili pukotine), koje su većinom ispunjene materijalom dobre električne vodljivosti – glina, crvenica i slično.
- 4) Izdanci rudnih tijela ili žila (ekstremno dobre vodljivosti) ili posebno nisko-otpornih slojeva.

Nagomilavanje i velika učestalost udara munje u stupove dalekovoda visoke napetosti na području hercegovačkog krša registrirani su baš na kontaktnim zonama između dobro i loše vodljivih geoloških vodiča na rubovima krških polja (A. Djurmukčić, 1968). Na mjestima sa lošim uvjetima uzemljivanja često se registriraju štetni udari, koji imaju i ne-

ugodne posljedice na sâmim vodovima ili priključnim objektima. Na tom području kod nas nema višegodišnjih geološko-geoelektričnih istraživanja, a eventualna sistematska statistička opažanja i interpretacije ne uzimaju u obzir geološke i geoelektrične uvjete; sve to nije poznato široj stručnoj javnosti. Rezultati preliminarnih i čisto informativnih istraživanja pokazuju, međutim, jasno da su putanje atmosferskih električnih izbijanja posebno u području Dinarskog krša u velikoj mjeri uvjetovane geološko-geoelektričnim svojstvima stijena odnosno podzemlja.

Kao primjer razmotrimo područje tzv. ličkog paleozojskog prodora. Tragom jedne informacije u dnevnoj štampi još g. 1970. (»Začarani dalekovod«, 29. 8. 1970., 'Vjesnik', Zagreb) dolazimo do zaključka, da treba uzroke povišenoj ugroženosti odnosno većoj učestalosti udara munje tražiti i u geološkoj građi te geoelektričnim svojstvima stijena (podzemlja) na dotičnim mjestima odnosno i većim područjima. U citiranoj informaciji navodi se, da je već godinama dalekovod 35 kV Lički Osik – Gračac naročito osjetljiv na vremenske prilike; na potezu Lički Osik–Raduč su abnormalno »velika« (svakako česta, primjedba Z. K.) atmosferska izbijanja. Misli se da se radi o »nesvakidašnjoj tehničkoj anomaliji« (istaknuo Z. K.). Kada pogledamo morfološko-geološku situaciju šireg područja, vidimo da se dalekovodi 35 kV i 220 kV na potezu Medak–Raduč približavaju rubu Ličkog polja i obroncima Velebita. Na ovom južnom rubu Ličkog polja nalazi se poznati »lički paleozojski prodor« (sl. 1). Duž velikog rasjeda došlo je do prodora dobro električki vodljivih paleozojskih škriljavaca (specifičnog otpora 150... 350 om. m) na površinu; visina skoka rasjeda odnosno uzdižanja starijih stijena iznosi preko 1000 m. Ove dobro vodljive stijene su ovdje u kontaktu sa visoko-otpornim vapnenim stijenama, pretežno vapnercima i dolomitima (spec. otpora preko 2000 om. m). U području Drenovca, NW od Raduča, trase dalekovoda sijeku pod vrlo malim kutem zonu rasjeda. Na području Ričica, dalje na jugoistok prema Gračacu, trase dalekovoda podudaraju se po položaju s položajem tog velikog rasjeda odnosno prelaze iznad njega. Dubinske odnose pokazuje na tom dijelu područja geoelektrički profil 1/61.: u sjevernom krilu rasjeda nisko-otporne paleozojske stijene uzdignute su u visinu preko 1000 m (sl. 2). Smatramo da treba uzroke čestih atmosferskih električnih izbijanja na čitavom tom području tražiti upravo u opisanom geološko-geoelektričkom diskontinuitetu odnosno rasjedno-kontaktnoj zoni. Iznad zaseoka Miletića Gaj, NNW od Sv. Roka, nalazi se malo uzvišenje nazvano »Paljenik«, što upućuje na česte udare munje kroz mnogo desetljeća. Dubinske odnose na području sela Brušani (približno kod sjevernog ruba sela) prikazuje geoelektrički profil 1/63. (sl. 2). Nešto južnije od mjesta križanja rasjeda sa cestom, gdje prolazi geoelektrički profil, nalazi se malo uzvišenje nazvano »Paljevina«, što također upućuje na česte udare munja.

Trasa dalekovoda kod Delnica u Gorskom kotaru u šumi je dobro označena spaljenim stablima oko dalekovoda; ovdje se nalazi kontakt visoko-otpornih mezozojskih vapnenih stijena sa nisko-otpornim paleozojskim

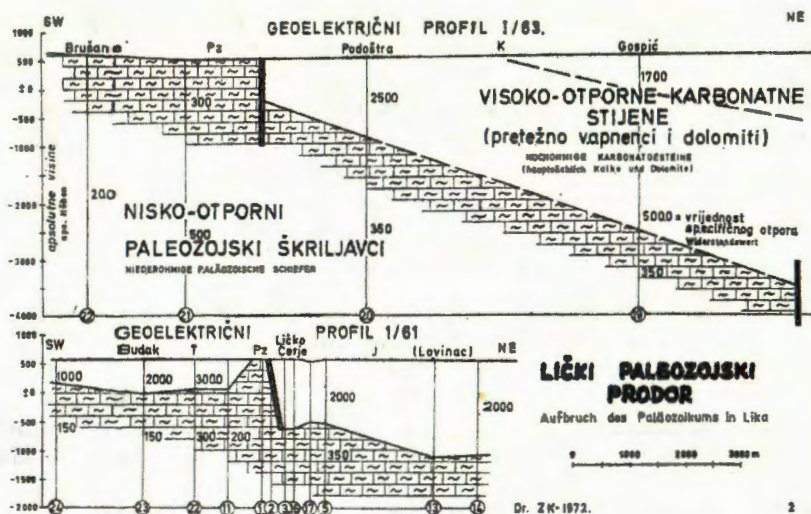


Sl. 1. Lički paleozojski prodor: situacija
 Abb. 1. Aufbruch des Paläozoikums in Lika: Lageplan

glineno-skriljavim stijenama (R. Stehr, usmena informacija). Ovo područje nije geološki i geoelektrički istraženo u cilju utvrđivanja zakonitosti između čestih udara munje i geološko-geoelektričke građe stijena.

Kako su izdanci veoma dobro vodljivih rudnih tijela (čokova) stvarno vrlo ugroženi od udara munja i slični tzv. »gnijezdima« ili žarištima munje, pokazuje jasno označeno često udaranje (»nagomilavanje«) munja u rudni izdanak magnetita u središnjem bosanskom rudogorju na Radovan planini. Ležište magnetita s dobro vodljivim rudnim izdankom leži u kvarcioritu (D. Milenković, 1966), dakle u vrlo loše vodljivoj (visoko-otpornoj) stijeni. Interesantno je primijetiti, da se magnetitni izdanak nalazi na slabo nagnutoj padini. Ne radi se dakle o eksponiranom položaju dobro-vodljivog tijela. Udari munje zapažaju se ovdje neobično često; bliža okolica rudnog izdanka je dobro označena spaljenim (izgorjelim) i oborenim deblima i panjevima (Z. Krulc, 1970).

Nešto sjevernije, u masivu Vlašić planine, nalazi se vrh s nazivom »Paljenik«, što upućuje na česte udare munja. Za Vlašić planinu je poznato,



Sl. 2. Lički paleozojski prodor: geoelektrički profili

Abb. 2. Aufbruch des Paläozoikums in Lika: geoelektrische Querschnitte

da obiluje čestim atmosferskim električnim izbijanjima. Paljenik je jedan od vrhova ove planine. Zavisnost učestalosti udara munje u taj vrh o geološko-geoelektričkim uvjetima nije istraživana.

Takvih mjesta i većih područja ima u našoj zemlji sigurno mnogo. Izokeraunički podaci pokazuju veću učestalost grmljavinskih dana na području Dinarskog krša (npr. područje srednje Istre i zapadnog dijela Gorskog kotara, oko Sinja i Grude). Unutar takvih većih područja, gdje je učestalost grmljavina u prvom redu uzrokovana klimatskim uvjetima sigurno se mogu naći uža područja i lokaliteti, gdje je učestalost udara munja uzrokovana geološkom građom i geoelektričkim svojstvima stijena. Smatramo da bi bilo ne samo interesantno već i korisno u tom pravcu izvršiti odgovarajuća istraživanja (Z. Krulc, 1972).

Ovim problemima kod nas dosad nije bila posvećena gotovo nikakva pažnja. Geološka i geoelektrična istraživanja ugroženosti od udara munje trebalo bi uvrstiti u studije i istraživanja kod projektiranja trasa novih dalekovoda.

3. ISTRAŽIVANJE GEOELEKTRIČNIH SVOJSTAVA TLA ZA UZEMLJENJA

Danas solidno projektiranje i izvođenje uzemljenja za pogonske, zaštitne i gromobranske instalacije nije više moguće bez dobrog poznavanja geoelektričnih svojstava tla i geološke građe podloga. To vrijedi posebno za područje Dinarskog krša. Kod projektiranja uzemljenja je od osnovne važ-

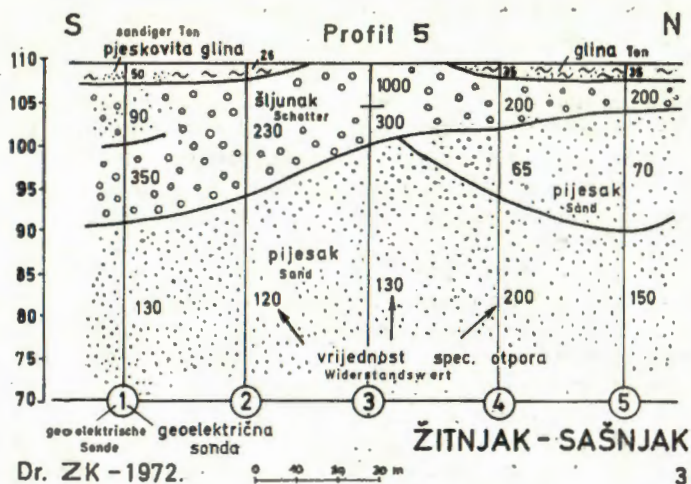
nosti poznavanje specifičnog otpora tla, u kome će biti smješten uzemljivač. Točno poznavanje vrijednosti specifičnog otpora uvjetuje racionalno i optimalno izvođenje odgovarajućih instalacija. Točno određivanje vrijednosti specifičnog otpora tla vezano je bitno za poznavanje geološkog sastava odnosno tla ili plitkog podzemlja.

Određivanje specifičnog otpora pojedinih geoloških vodiča u tlu (podzemlju) vrši se na suvremeni način pomoću *geoelektričkog sondiranja*, već dobro opisanog u literaturi (vidi: V. Fritsch, 1960, 1963; U. Höhne, 1962; Z. Krulc, 1966, 1968). Zbog toga je na ovom mjestu interesantno ukazati samo na neke posebnosti geoelektričko-geološke građe tla.

Tlo je i u prirodnim uvjetima rijetko potpuno homogenog sastava. Većinom se sastoji od više slojeva različitog litološkog sastava i različite, promjenljive debljine. Mnogi geološki vodiči, s kojima se susrećemo u praksi, predstavljaju smjese kojima specifični otpor ovisi o vrsti i količini sastojaka. Tipični primjeri su glina + pijesak i šljunak + pijesak, uz mnogo varijacija obzirom na udjel pojedinih sastojaka. Dakako da se specifični otpor smjesa kreće u veoma širokim granicama. Stanovite varijacije specifičnog otpora moguće su, međutim, i kod na prvi pogled jednostavnih geoloških vodiča, kao što su npr. gline. Kod stanovite vrste glina moguće su granične vrijednosti spec. otpora 10 i 30 om. m, što znači odnos 1 : 3, dakle vrlo veliku razliku. Kod toga igra stanovitu ulogu, dakako, vlažnost tog na površini tla veoma često susretanog geološkog vodiča. Kod pjeskovitih glina može biti odnos graničnih vrijednosti specifičnog otpora još veći.

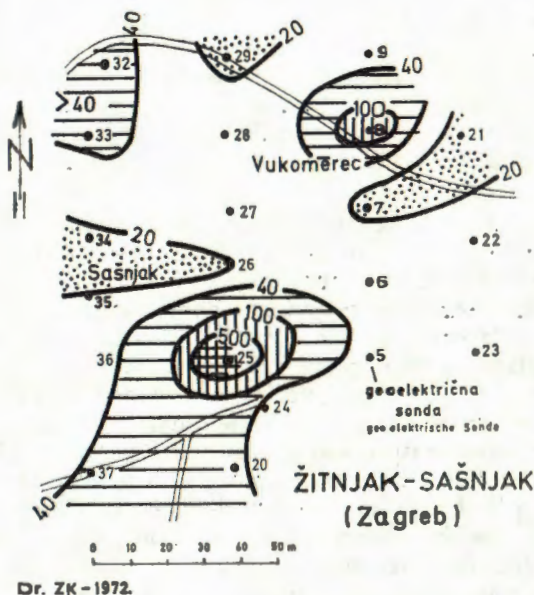
Prema podacima geoelektričkog sondiranja može se dobiti brzo i na velikim područjima veoma dobra slika o raspodjeli specifičnog otpora – kako po vertikali tako i po horizontali. Podaci obrade i interpretacije dijagrama (ili krivulja) geoelektričnog sondiranja prikazuju se bilo u obliku geoelektričkog presjeka (profila) bilo u obliku karata izooma. Sl. 3 prikazuje kao praktičan primjer dio geoelektričkog presjeka tla sa šireg područja Zagreba. Geološkim rekonosciranjem područja istraživanja te prema podacima geološki determiniranih istražnih (plitkih) bušotina moglo se podacima geoelektričkog mjerenja dati litološko tumačenje. Iz geoelektričkog mjerenja dobiven je tako zapravo geološko-geoelektrički presjek podzemlja. On jasno pokazuje horizontalno i vertikalno prostiranje različitih slojeva odnosno geoloških vodiča različite električne vodljivosti (specifičnog otpora). Iz presjeka se lijepo vidi, kako se specifični otpor može na malim udaljenostima – kako po horizontali tako i po vertikali – razmjerno brzo i jako mijenjati. Jasno su uočljive i varijacije spec. otpora smjesa (šljunak i pijesak) kao i jednostavnih vodiča (glina).

Kada je na stanovitom području na raspolaganju više geoelektričkih profila odnosno sonda više ili manje jednolično raspoređenih po istraživanom terenu, preporuča se plošno (površinsko) prikazivanje utvrđenog specifičnog otpora za stanovitu naslagu ili interesantnu dubinu. Sl. 4 prikazuje raspodjelu specifičnog otpora površinske naslage na istom području kao presjek na sl. 3, tj. na dijelu aluvijalnog područja rijeke Save kod Zagreba.



Sl. 3. Geoelektrično-geološki presjek, Žitnjak-Sašnjak (Zagreb)

Abb. 3. Geoelektrisch-geologischer Querschnitt, Žitnjak-Sašnjak (Zagreb)



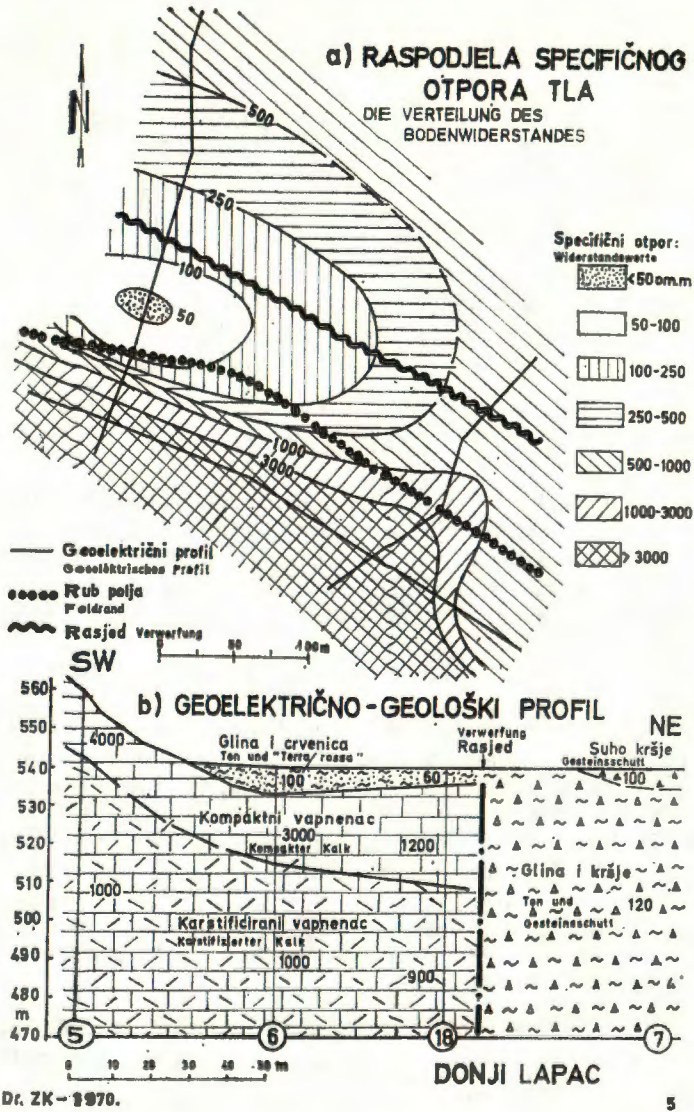
Sl. 4. Raspodjela specifičnog otpora površinske naslage, Žitnjak-Sašnjak (Zagreb)

Abb. 4. Verteilung des Bodenwiderstandes, Žitnjak-Sašnjak (Zagreb)

Ovaj način još zornije potvrđuje već naglašenu okolnost, da se naimе specifički otpor na posve malim udaljenostima može jako mijenjati. Na potezu geoelektričkih sonda 36-25-5 u dužini od oko 75 m (sl. 4) specifički otpor površinske naslage mijenja se iz raspona ispod 40 om. m u raspon 100 do 500 i preko 500 te ponovno u raspon ispod 40 om. m. To je utvrđeno ovdje na području aluvijalnog nanosa, gdje se općenito očekuju niski specifični otpori, povoljni za uzemljivanje. I na drugim dijelovima područja aluvijalnih nanosa kako na širem području Zagreba tako i u drugim krajevima Hrvatske naišli smo u toku dugogodišnjih mjerenja specifičkog otpora tla na »anomalije« u raspodjeli električne vodljivosti. Ceste su vrijednosti spec. otpora površinske naslage više stotina om. m, pa i preko 1000 om. m. To su najčešće vrlo isušeni pijesci, pjeskovite gline i izdanci šljunkovito-pjeskovitih smjesa (naslaga). O toj okolnosti treba voditi računa kod projektiranja i izvođenja uzemljivačkih sistema, jer se za aluvijalna područja općenito smatra da su karakterizirana dobro vodljivim naslagama. Izgled površinskog dijela tla ili terena često puta ne daje dovoljan uvid u električnu vodljivost nešto dubljeg podzemlja, napose ako se ne izvrši solidna geološka prospekcija terena.

U područjima s jačim klimatskim promjenama treba računati još i s utjecajem temperature na specifični otpor geoloških vodiča. Kod toga je posebno važno smrzavanje tla, jer spec. otpor naslaga koje sadrže vodu naglo raste u području temperatura ispod 0°C. Smrzavanje je brže i jače kod većeg sadržaja vode. O tom faktoru se još i danas ne vodi dovoljno računa kod projektiranja i izvođenja uzemljivačkih instalacija. Dubina smrzavanja tla prilično je velika u kontinentalnom dijelu naše zemlje (može se računati sa dubinom do 1,0 . . . 1,5 m). Na ovaj prirodni fenomen i njegovu važnost upozoravaju i česte anomalije u klimatskim uvjetima – grmljavine pred kraj zime odnosno u rano proljeće, dok je tlo u većoj dubini još smrznuto.

U kršu se električki dobro vodljive naslage nalaze izvan krških polja kao rastrošeni dio pretežno vapnenih stijena i to najčešće u debljini samo nekoliko decimetara ili čak samo centimetara. Za krška polja, na kojima se nalaze veoma debele naslage dobro vodljivih stijena (pretežno gline, crvenica, lapori i dr.), je karakteristično da se ovi nisko-otporni geološki vodiči nalaze na rubu polja u kontaktu s visoko-otpornim karbonatnim stijenama. Taj je kontakt većinom rasjednog karaktera; velikim dijelom to su dobro izražene tektonske linije dinarskog pružanja. Sl. 5 prikazuje u gornjem dijelu raspodjelu specifičnog otpora, utvrđenu s nekoliko uzdužnih i poprečnih geoelektričkih profila na jednom području našeg krša. U donjem dijelu sl. 5 prikazan je s istog područja jedan poprečni geoelektričko-geološki presjek, tipičan za rubove krških polja. Iz slike se jasno vidi, kako se specifički otpor na maloj udaljenosti brzo odnosno veoma mijenja. U NE-dijelu polja utvrđena je geoelektrički sredina vrlo visokog spec. otpora (1000 om. m.), što odgovara suhom kršju. Kako su na tom području bila izvršena i geološka istraživanja, moglo se dati podacima geoelektričkih



Sl. 5. Raspodjela specifičnog otpora tla i geoelektrično-geološki profil, Donji Lapac
Abb. 5. Verteilung des Bodenwiderstandes und geoelektrisch-geologischer Querschnitt, Donji Lapac

mjerenja geološko odnosno litološko tumačenje. Ovo je opet jedno upozorenje, da se ne smije specifički otpor tla ocjenjivati »od oka«, samo pregledom terena dotične površine tla. Na sâmoj površini tla na ovom području vidi se gotovo na čitavoj površini samo tanki površinski humusni sloj (debljine desetak cm), koji za uzemljenje ne dolazi u obzir, a može imati razmjerno niski specifički otpor. U geoelektričko-geološkom presjeku na sl. 5 dolje jasno je ispoljen diskontinuitet u geoelektričnim svojstvima podzemlja (u raspodjeli spec. otpora), koji je na temelju rezultata geoloških istraživanja tumačen rasjedom. Blizu tog rasjednog kontakta utvrđeni specifični otpori kompaktnog okršenog vapnenca su nešto niži od »normalnih« vrijednosti zbog bočnog utjecaja dobro vodljive sredine (glina i kršje). Na prikazanom području dobivena je primjenom geoelektrike brza i veoma informativna slika o geoelektričkoj strukturi i sastavu tla odnosno podzemlja.

4. ZAKLJUČAK

Geološkim i geoelektričkim istraživanjima građe tla odnosno plićeg podzemlja u cilju proučavanja ugroženosti od udara munje kao i za potrebe uzemljivanja kod nas dosad nije bila posvećena gotovo nikakva pažnja. Osnovna poteškoća leži možda u činjenici, da je kod proučavanja tih i inače kompleksnih problema potrebna suradnja različitih disciplina znanosti i tehnike (meteorologije, geologije, geofizike, statistike, elektrotehnike). Ova suradnja nije uvijek laka, pošto se problemi razmatraju i obrađuju sa vrlo različitih stanovišta i na različite načine.

Dosadašnja preliminarna i posve informativna istraživanja pokazuju, međutim, jasno da su putanje atmosferskih električnih izbijanja posebno u području Dinarskog krša u velikoj mjeri uvjetovane geološkom građom i geoelektričnim svojstvima tla (podzemlja).

Iskustva iz dugogodišnjeg mjerenja specifičnog otpora tla suvremenom metodom geoelektričkog sondiranja pokazuju na velike koristi sistematskog istraživanja uvjeta uzemljivanja kako na području aluvijalnih naslaga tako i na području krša. U današnjim strogim tehničkim uvjetima uzemljivanja nužno je poznavanje točnih vrijednosti specifičnog otpora površinskih i plićih dijelova podzemlja.

»Geofizika«
Naučno-istraživački sektor

LITERATURA

- Černý, K. (1958): Prokop Diviš - Der tschechische Erfinder des Blitzableiters. 5. Internationale Blitzschutzkonferenz, Wien (umnoženi rukopis, XX/1-XX/4.)
- Djurmukčić, A. (1968): Štete od atmosferskog pražnjenja i preventivna zaštita u industriji. Zaštita od atmosferskog pražnjenja i geoelektricitet. Izdanje Zajednice zavoda za zaštitu na radu (zbornik) 3-8, Niš.

- Fritsch, V. (1952): Geoelektrische Untersuchungen zur Ermittlung der Blitzgefährdung. *Geofis. pura ed appl.*, 22, 3/4, 3-16, Milano.
- Fritsch, V. (1957): Geoelektrische Untersuchungen in der Blitzforschung. *Deutsche Elektrotechnik*, 11, 4, 167-173, Berlin.
- Fritsch, V. (1958a): Der Einfluss der geoelektrischen Bodeninhomogenität auf die Blitzgefährdung. *Geofis. pura ed appl.*, 41, 3, 3-10, Milano.
- Fritsch, V. (1958b): Zum Problem der geoelektrischen Blitzgefährdung. *Gerlands Beiträge z. Geophysik*, 67, 4, 304-323, Leipzig.
- Fritsch, V. (1960): Elektrische Messungen an räumlich ausgedehnten Leitern, besonders in der angewandten Geoelektrik. 372 str. Verlag G. Braun, Karlsruhe.
- Fritsch, V. (1963): Projektierung von Erdungsanlagen. *Elektrie*, 7, 231-234, Berlin.
- Fritsch, V. (1966): Die Ermittlung der geoelektrischen Blitzgefährdung. *Zeitschr. Meteorologie*, 18, 8/10, 369-383, Berlin.
- Heynisch, K. (1964): Einsatz der Geoelektrik zur Klärung von Leitungsschäden durch atmosphärische Überspannungen. Kolloquium 'Geoelektrik'. *Mitteilungsblatt des VEB Energieversorgung Potsdam, Sonderh., Nr. 7*, 43-47, Potsdam (Berlin).
- Höhne, U. (1962): Geoelektrische Untersuchungen als Hilfsmittel für die Aufklärung atmosphärischer Störungen an Starkstromfreileitungen und als Grundlage für die Projektierung von Erdungslangen. *Wiss. Zeitschr. Hochschule Elektrotechnik Ilmenau*, 8, 3, 231-189, Ilmenau.
- Kallenbach, W. (1971): Das himmlische Feuer. *Versicherungswirtschaft*, 16, 3-11, München.
- Krulc, Z. (1959): Primjena geoelektrične metode geofizičkog ispitivanja u građevinarstvu. *Geol. vjesnik*, 12, 149-189, Zagreb.
- Krulc, Z. (1966): Geoelektrična mjerenja tla. *Elektrotehnika*, 3, 159-171, Zagreb.
- Krulc, Z. (1968): Šta je geoelektrika; zašto i kako se mjeri otpor tla; iskustva iz prakse. »Zaštita od atmosferskog pražnjenja i geoelekticitet«, Izdanje Zajednice zavoda za zaštitu na radu (zbornik), 36-52, Niš.
- Krulc, Z. (1970): Merkmale der geoelektrischen Bodenstruktur im Karstgebiet und ihr Einfluss auf die Blitzgefährdung. *Boll. di Geofisica pura ed appl.*, 13, 47, 256-262, Trieste.
- Krulc, Z. (1972): Prilog proučavanju ugroženosti od munje. »Elektroprivreda«, 24, 9/10, 384-387, Beograd.
- Lehmann, G. (1957): Erfahrungen mit Blitzschutzmassnahmen in Hochspannungsnetzen. *Wiss. Zeitschr. Hochschule Elektrotechnik Ilmenau*, 3, 2, 129-132, Ilmenau.
- Lehmann, G. (1959): Beitrag zur Frage der örtlichen Blitzgefährdung in Freileitungsnetzen in Hinblick auf die Beschaffenheit des Untergrundes. *Elektrie*, 13, 10, 1-7, Berlin.
- Milenković, D. (1966): Detaljna geofizička ispitivanja na Radovan planini u području centralne Bosne. *Geološki glasnik*, 11, 439-448, Sarajevo.

Z. KRULC

ROLLE DER GEOLOGIE UND DER GEOPHYSIK IM BLITZSCHUTZ

Verhältnismässig spät hat man das Wesen des Blitzes, einer natürlichen Elektrizitätsercheinung, erkannt. Bis unlängst wurde die Blitzgefährdung nur vom Standpunkt meteorologischer Faktoren und Beobachtungsdaten untersucht. Zahlreiche Untersuchungen verschiedener Autoren deuten klar auf den Zusammenhang zwischen der Blitzgefährdung und der geologisch-geoelektrischen Bodeninhomogenität (Diskontinuität) hin. Die Entdeckung und Untersuchung solcher Strukturelemente des Bodenaufbaus sind Aufgaben der Geologie und Geophysik.

Die Untersuchung von elektrischen Eigenschaften des Untergrundes, besonders die Ermittlung des spezifischen elektrischen Widerstandes, ist wohl die Grundaufgabe der praktischen Geoelektrik. Mit Hilfe geoelektrischer Bodenuntersuchungen kann man nicht nur die geologisch-geoelektrischen Ursachen der Blitzgefährdung – besonders die Häufung von Gewitterstörungen an gewissen Stellen erforschen und aufklären, sondern auch die Zonen guter Leitfähigkeit ermitteln, – um damit die Projektierung von verschiedenen Erdungsanlagen nach modernen technisch-wissenschaftlichen Gesichtspunkten zu ermöglichen.

In Abb. 1 und 2 wird das Problem der Blitzgefährdung, insbesondere die Häufung von Gewitterstörungen an gewissen Leitungsabschnitten, von Hochspannungsfreileitungen in einem Teil des Dinarischen Karstgebiets vom Standpunkt des geologischen Aufbaus und der geoelektrischen Bodenbeschaffenheit erörtert. Abb. 3 und 4 zeigen die Ergebnisse geoelektrischer Widerstandsmessungen in einem Teil des Flachlandes von Kroatien, wo die Quartärablagerungen auftreten und wo man allgemein niedrige Bodenwiderstände erwartet. Diese Ergebnisse zeigen deutlich, wie gross die Widerstandsunterschiede in sehr kleinen Abständen sein können. Abb. 5 zeigt die Ergebnisse geoelektrischer Sondierungen in einem Teil des Karstgebiets, wo die geoelektrischen Verhältnisse für die Projektierung und Ausführung von Erdungsanlagen besonders schwierig sind.

Primljeno (angenommen am): 30. 01. 1972.

*Geofizika
Naučno istraživački sektor
Geofizika
Wissenschaftliche Abteilung
Zagreb, Savska 64*