

Ce sera l'éternel honneur de la science, d'avoir par son action sur l'esprit humain, vaincu l'insécurité de l'homme devant lui-même et devant la nature.
Albert EINSTEIN

PONAŠANJE GROMOBRANA SA UREĐAJEM ZA RANO STARTOVANJE, TIP PREVECTRON 2, U LABORATORIJSKIM I PRIRODNIM USLOVIMA

COMPORTEMENT DE LA GAMME PREVECTRON 2 EN LABORATOIRE HAUTE TENSION ET EN SITU

Prof.dr Svetislav Smiljanić,dipl.inž.el.
Tehnički fakultet Čačak

SADRŽAJ: Francuski standard NF C 17 102 propisao je metodu za utvrđivanje vremena prednjačenja ΔT gromobrana sa uređajem za rano startovanje u laboratorijskim uslovima. U prirodnim uslovima ova provera je dosta otežana i svedena je na posmatranja, merenja svih veličina groma i statistike udara, kako bi se utvrdilo ponašanje i efikasnost ovih gromobrana.

Autor ovog teksta imao je izvanrednu privilegiju da po pozivu C.N.R.S (Francuski nacionalni centar za naučna istraživanja) prisustvuje ispitivanjima familije ove vrste gromobrana tip PREVECTRON 2 u Laboratoriji visokog naponu Univerziteta u Louvain-La-Neuve kao i na poligonu u Saint-Privat d'Allier. Rezultati ispitivanja na otvorenom, "in situ", na japanskom ostrvu Nadachi dala su fascinantne rezultate.

Ključne reči: grom, silazni traser, usponski traser, jonizacija, efekat šiljka, gromobran sa uređajem za rano startovanje, vreme startovanja TB (Time of Breakdown), vreme prednjačenja

RESUME: La Norme française NF C 17 102 à prescri la méthode pour déterminer l'avance à l'amorçage ΔT du paratonnerre à dispositif d'amorçage dans les conditions laboratoires. Dans les conditions naturelles cette épreuve est beaucoup plus difficile et elle se fait pour observer, mesurer les valeurs de la foudre pour faire les statistiques, pour déterminer le comportement et l'efficacité de ce genre de paratonnerres.

L'auteur de se texte a eu le privilège exceptionnel d'être présent, comme invité du C.N.R.S, pendant les épreuves de la gamme de paratonnerres PREVECTRON 2 dans les Laboratoires haute tension de l'Université catholique de Louvain-La-Neuve et sur le site de Saint-Privat-d'Allier. Les résultats obtenus en situ, sur l'île japonaise de Nadachi sont fascinants.

Descripteurs: foudre, traseur descendant, traseur ascendant, ionisation, effet de pointe, paratonnerre à dispositif d'amorçage, temps d'amorçage TB (Time of Breakdown), avance à l'amorçage

1. UVOD

Uzlazni traser sa objekta na zemlji mora krenuti u susret silaznom traseru iz oblaka, sa mesta koje smo mi izabrali. Krene li sa mesta koje je sam odredio, katastrofe mogu biti nesagledive. To je od samog početka bilo jasno i Benjaminu Franklinu (*Benjamin Franklin*) 1753. godine, kad je patentirao svoj "Franklinov štap" ali je i jednu godinu dana ranije francuski fizičar Dalibar (*Thomas François Dalibard*) već vršio eksperimente sa uzemljenim štapom u svom rodnom Marliu (*Marly*). Ruski fizičar, profesor Rišman (*Georg Wilhelm Richman*)

je avgusta 1573. godine bio pogođen gromom vršeći eksperimente u svojoj laboratoriji u Sent Petersburgu. Ta sredina osamnestog veka je prosto pretrpana eksperimentima brojnih fizičara i radoznalaca (opat *Nollet*, *Jean Théophile Desaguiliers*, *Johann Heintich Winckler*, *John Freeke*, *Jacque de Romas*...) koji su shvatili da pred sobom imaju jedan prirodni klimatski fenomen, koji su želeli da savladaju a civilizaciju oslobode praznoverja da je grom predstavljao "Božju kaznu", kojom je kažnjavao razuzdanog čoveka na zemlji.

Istraživačima je, ipak, bila zajednička ista konstatacija, da za prihvat groma treba obezbediti uzemljeni šiljak, koji će, mnogo kasnije, nauka nazvati "efekat šiljka", sa spontanom umnogostručenom jonizacijom vazduha iznad njegovog vrha, preduslovom da tu, i najverovatnije, bude "tačka udara" groma. Od istog saznanja i iste činjenice, a da bi povećao jonizaciju vazduha oko šiljka, pošao je i profesor Budimpeštanskog univerziteta Silar (*L. Szillard*), kada je 1914. godine predlagao potpuno slab radioaktivni izvor uz sam šiljak Franklinovog štapa. Profesor Silar je osećao da rešenje problema treba tražiti u umnogostručenju efekta električnog polja iznad šiljka Franklinovog štapa ali je način na koji je to hteo da postigne bio deplasiran.

Dakle, da bi uzlazni traser sigurno prvi krenuo sa odabranog mesta na šticienom objektu u susret silazećem traseru, Franklinov štap mora predstavljati **ŠTAPNU HVATALJKU SA POJAČANIM DEJSTVOM**, onako kako ju je standard *JUS IEC 1024-1* u "nacionalnoj napomeni", u tački 2.1.1 i nazvao. Ali, isturi li se jedan uzemljeni Franklinov štap na vrh nekog objekta, on će odmah predstavljati štapnu hvataljku sa pojačanim dejstvom. Naša nacionalna napomena se nije bavila štapnom hvataljkom sa pojačanim dejstvom, već je taj problem prepustila nauci da ona da odgovor na njega, da je konstruiše, proveri i dokaže njene osobine, ali i da za tu hvataljku obezbedi da "postoji jugoslovenski standard". Tako je naša nauka bila prozvana i pozvana da praksi ponudi našu štapnu hvataljku sa pojačanim dejstvom!

Francuska nauka je prva, nemilosrdno, krenula u iznalaženje štapne hvataljke sa pojačanim dejstvom, čiji će vrh, kako je to rekla naša "nacionalna napomena", omogućiti takvu lavinu jona i elektrona, kako bi sa njenog vrha sigurno krenuo uzlazni traser u susret silaznom iz oblaka. Uložila je ogromna sredstva u istraživanja i ispitivanja.

Ovaj rad je posvećen ispitivanjima jedne takve vrste hvataljki "sa pojačanim dejstvom" ili "hvataljkama sa uređajem za rano startovanje", kako ju je nazvao naš *JUS N.B4.810*, odnosno, porodici hvataljki tipa *PREVECTRON 2* francuskog proizvođača gromobrana, firme *INDELEC*.

Bili su ispitivani sledeći tipovi hvataljki:

PREVECTRON 2 TS-2.25

PREVECTRON 2 TS-3.40

PREVECTRON 2 S3.40

PREVECTRON 2 S4.50

PREVECTRON 2 S6.60

Na slici 1 prikazana je hvataljka ***PREVECTRON 2 S6.60***.



Slika 1

2. PRINCIP RADA HVATALJKE TIP *PREVECTRON*

Ovaj tip hvataljke sačinjava uzemljeni Franklinov štap, na čijem se vrhu nalazi jedan pridodati uređaj, prikazan na slici 1. Zadatak ovog uređaja je dvojak.

Prvi, da proizvede dovoljno jaku jonizaciju vazduha u blizini šiljka izbijanjem varnica između šiljka Franklinovog štapa i jedne ili većeg broja prisutnih elektroda raspoređenih neposredno uz taj šiljak. Ova pojava je već poznata kod pražnjenja Marksovog generatora u laboratorijama visokog napona: stvaranjem jedne male varnice između pomoćne elektrode i jedne od sfera sfernog varničara, izazvaće se proboj između svera znatno nižim naponom od očekivanog napona proboja. Primenjujući ovu tehniku kod gromobrana, održava se na nivou šiljka prisustvo lavine elektrona, sa težnjom da se pokrene uzlazno pražnjenje zbog podizanja provodnosti lokalnog vazduha, što će izazvati povećanje brzine razvoja pražnjenja.

Drugi: u najkritičnijem trenutku, što će reći, neposredno pred samo pražnjenje, usponski traser bi morao krenuti sa ovog gromobrana. Ustvari, varnice koje su emitovane prerano, u slabom električnom polju, neće u svim slučajevima mnogo poboljšati stanje u odnosu na prirodni efekat korone oko Franklinovog šiljka, pa radi toga, lavinu elektrona treba povećati i tako pokrenuti jedno usponsko pražnjenje, koje će imati velike šanse da se susretne sa već pristiglim silaznim traserom, dakle pre pražnjenja proizišlih iz drugih iritiranih ispučenja na zemlji, proizvedenih jedino spontanom efektom korone na njima.

Glavni problem gromobrana sa uređajem za rano startovanje je kako pokrenuti uzlazni traser u pravom trenutku: ni suviše rano sa opasnošću prestanka rada u slabom električnom polju ambijenta, ali nikako prekasno, kada je silazni traser već dodirnuo tle.

Stvaranje svih ovih varnica zahteva energiju, kojom hvataljka tipa *PREVECTRON* raspolaže crpeći je preko svog sakupljača energije, iz prisutnog električnog polja, koje je u vreme nailaska nevremena reda više desetina, odnosno više stotina kV/m i koji joj omogućava da autonomno funkcioniše bez pomoći sa strane.

Hvataljka *PREVECTRON* poseduje elektrode, nazvane "sakupljači energije" raspoređene u blizini šiljka Franklinovog gromobrana, koje su povezane sa njim, dakle uzemljene, preko kondenzatora. Ispitivanja su pokazala da se ovi kondenzatori mogu napuniti do jednog nivoa napona posredstvom ovih sakupljača energije ili preko fluksa jona ili preko efekta kapacitivnog delioca. Punjenje fluksom jona će biti očevidno i tim više primetno, što je koncentracija jona u vazduhu značajnija, a što se dešava u prisustvu jakog neveremena a pogotovu u trenutku približavanja silaznog trasera.

U momentu nailaska trasera iz oblaka, nastaje nagli porast lokalnog električnog polja, koji omogućava jedno dodatno punjenje kondenzatora. Ovaj nagli porast polja stvara vrlo brzu varijaciju napona (dU/dt), koja je detektovana odgovarajućim filtrom a zatim transformisana u komandu jednoj elektronskoj skupini, koja će akumuliranu energiju transformisati u varnice, lavinu elektrona i izbijanje uzlaznog trasera sa vrha Franklinovog gromobrana.

3. ISPITIVANJA U LABORATORIJI VISOKOG NAPONA

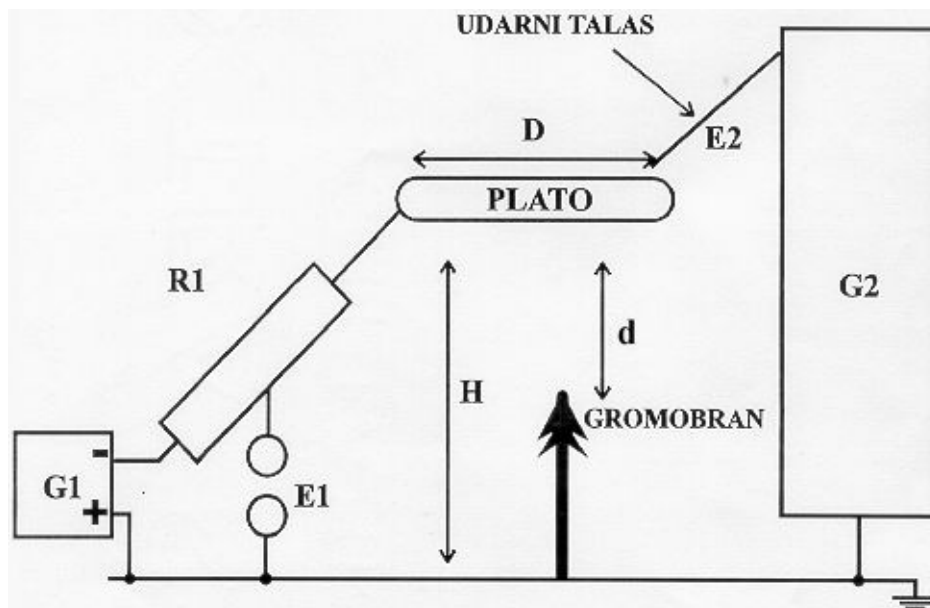
Danas je u svetu nekoliko vrlo značajnih visokonaponskih laboratorija koje su građene radi ispitivanja visokonaponske opreme elektroenergetskih postrojenja i dalekovoda u kojima se, međutim, vrše i sva naučna ispitivanja i istraživanja na planu atmosferskih pražnjenja. To su naročito laboratorije CESI (Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano) u Italiji, Hydro-Québec u Kanadi, General Electric Company u Sjedinjenim Američkim Državama, CRIPI (Central Research Institute of Power Industry) u Japanu, CEPEL u Brazilu, a posebno Laboratorija visokonapona EdF-a u Renardières-u, jedinstvena u svetu po svojim gabaritima i mogućnostima ispitivanja.

Laboratorijska ispitivanja obavljaju se uglavnom radi utvrđivanja vremena prednjačenja ΔT hvataljke sa ranim startovanjem u izbacivanju usponskog trasera u odnosu na istu tu pojavu sa vrha običnog Franklinovog štapa, pri svim istim ostalim relevantnim uslovima. Osnovne karakteristike celog postupka propisane su francuskim standardom *NF C 17 102*.

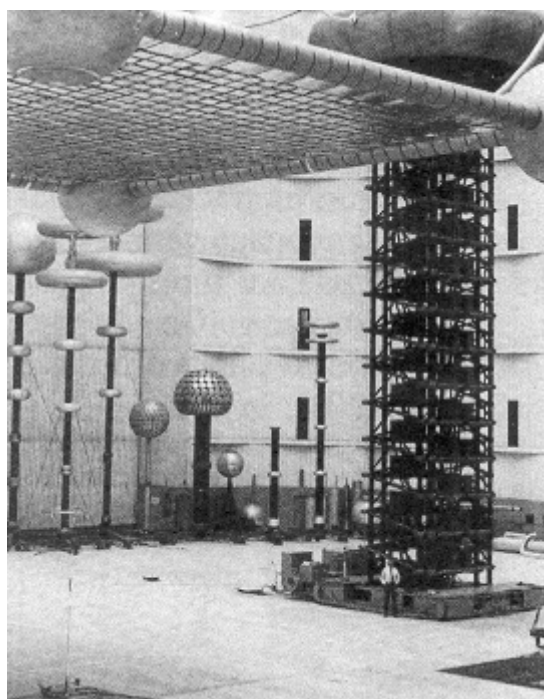
3.1 Oprema laboratorije

Opremanje laboratorije vrši se prema zahtevima standarda *NF C 17 102*.

Principijelna šema opreme laboratorije data je na slici 2 a opšti izgled laboratorije visokog napona pripremljene za ova ispitivanja na slici 3.



Slika 2



Slika 3

Jednosmerni generator G_1 proizvodi stalno električno polje ambijenta jačine 10 do 25 kV/m, negativnog polariteta (s obzirom da je u prirodi oko 95% pražnjenja negativnog polariteta), koje treba da simulira prisustvo ovog polja u prirodnim uslovima pred nailazak nevremena ali i da bi se formirao efekat korone na vrhu šiljka hvataljki tipa *PREVECTRON*. Prisustvo ovog polja je vrlo važno za ispitivani tip gromobranske hvataljke, koja koristi taj nivo polja da bi se izazvalo pražnjenje i treba ga održavati za sve vreme eksperimenta.

Marksov generator G_2 će omogućiti simulaciju promene električnog polja ambijenta, promenljivog u prirodnim uslovima sa približavanjem čela silaznog trasera. Oblik udarnog talasa ovog generatora imaće vreme čela t_{ξ} između 100 i 1200 μs . U zoni u kojoj će se inicirati uzlazni traser, strmina talasa će iznositi $2 \cdot 10^8$ do $2 \cdot 10^9$ V/m/s.

Oba ova generatora priključena su na plato, "oblak", koji je postavljen iznad ispitivanog gromobrana. Generator G_1 priključen je na plato preko otpora R_1 i varničara E_1 kako bi se obezbedila njegova zaštita od udarnog talasa. Rastojanje platoa od šiljka gromobrana mora biti dovoljno veliko da bi se ostvarilo pražnjenje u slobodnom prostoru ($d > 1$ m), odnosno dobile varnice duže od jednog metra, shodno zahtevima **NF C 17 102**.

Temperatura okoline, relativna vlažnost i atmosferski pritisak moraju ostati nepromenjeni za sve vreme ispitivanja, kako bi kasnije bilo moguće korektno upoređivanje dobijenih rezultata.

3.2 Karakteristične veličine eksperimenta

Visina platoa od tla je iznosila $H = 2,05\text{m}$ dok je dužina nosećeg štapa zajedno sa hvataljkom iznosila $h=1\text{m}$, čime su bili zadovoljeni zahtevi **NF C 17 102**, odnosno da je: $0,25 < h/H < 0,5$ i $D > H$ kao i $H > 2$, gde je $H = d + h$.

Električno polje jednosmernog generatora iznosilo je 25 kV/m, koje je bilo održavano na tom nivou za sve vreme trajanja eksperimenta.

Generator G_2 omogućavao je naglo podizanje potencijala platoa na vrednost od 900kV i formiranje udarnog talasa, čija je strmina fiksirana na $t_{\xi} = 325 \mu\text{s}$.

Temperatura ambijenta se kretala između 17° i 18° C, sa vlažnošću vazduha između 71 i 72% za sve vreme ispitivanja.

3.3 Ispitivanja radi određivanja vremena prednjačenja ΔT

Nakon stabilizacije sistema snimljen je oblik udarnog talasa generatora bez prisustva gromobrana, koji će predstavljati referentni talas koji je zatim memorisan u osciloskopu.

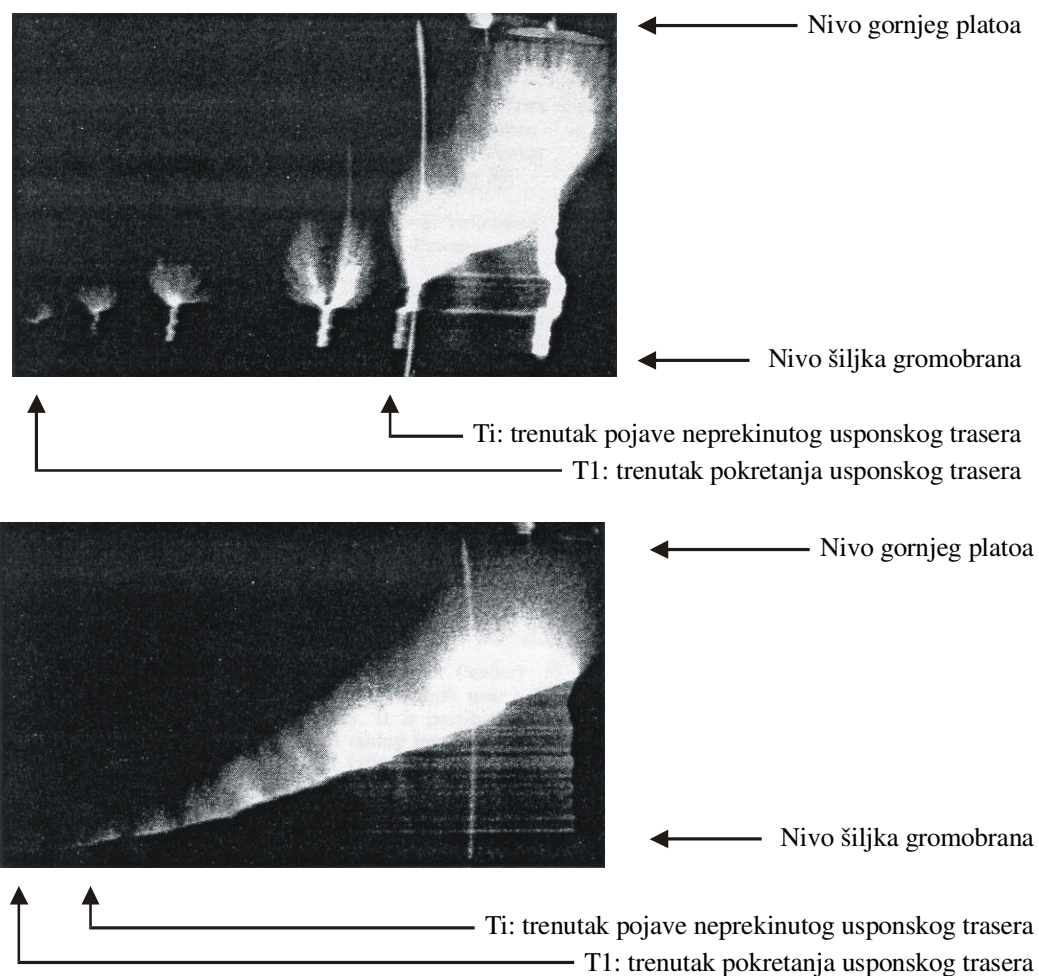
Prva serija pražnjenja realizovana je na običnom, referentnom gromobranu. Ostala su izvedena na svim ispitivanim tipovima gromobranskih hvataljki. Za svaki od ispitivanih tipova gromobranskih hvataljki bilo je izvedeno po 100 pražnjenja, sa međuvremenskim razmakom, od pražnjenja do pražnjenja, nešto dužim od jedne minute.

Svaka od ispitivanih gromobranskih hvataljki bila je postavljena na metalni jarbol kako bi se omogućilo formiranje spontane jonizacije iznad šiljka gromobrana, odnosno omogućilo hvataljci da proradi dobijajući energiju u prisutnom električnom polju jednosmernog generatora. Postupkom koji je prisutan kod komandovanih pražnjenja Marksovima generatorima, prouzrokujući varničenja između šiljka i jedne ili većeg broja pomoćnih elektroda raspoređenih neposredno oko šiljka, dobija se ogroman broj novonastalih elektrona, podiže se provodnost okolnog prostora iznad šiljka, što će znatno povećati brzinu propagacije pražnjenja.

Na ovako "pripremljenu" gromobransku hvataljku, usmerava se pražnjenje iz generatora G_2 . Ovu pojavu istovremeno prati i dodatno generisanje, u lavinama, elektrona iznad šiljka gromobrana naglim narastanjem električnog polja zbog približavanja čela "silaznog trasera". U prirodnim uslovima ova pojava je još izraženija zbog znatnog kašnjenja pražnjenja u odnosu na prostiranje elektromagnetnog polja.

Prva serija merenja je obavljena na običnom štapu a zatim na hvataljkama sa uređajem za rano startovanje. Nakon svakog pražnjenja merena je temena vrednost naponskog talasa i vreme startovanja odnosno vreme za koje će biti izvršeno spajanje platoa i vrha gromobrana. Za svaku seriju izvršeno je po sto ispravnih pražnjenja, kako bi se dobio dovoljan broj podataka za sastavljanje statistike. Svaki od udarnih talasa upoređivan je sa osnovnim, memorisanim na graduisanom osciloskopu i bilo kakvo odstupanje bio je dovoljan razlog da se to merenje ne smatra ispravnim.

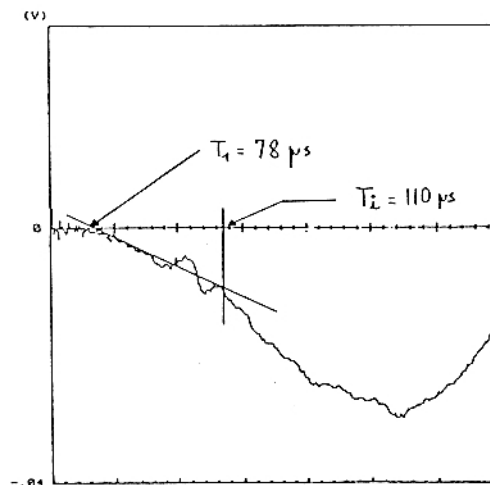
Ovde bi se, možda, trebalo upoznati sa tipičnim izgledom usponskog pražnjenja u laboratorijskim uslovima, odnosno uočiti značajne razlike između pražnjenja sa vrha običnog štapa prema platou i pražnjenja sa vrha gromobrana sa uređajem za rano starovanje prema platou. Izgled tih pražnjenja prikazan je na slici 4, uzet iz serije izvedenih pražnjenja, sa konvertora slike u laboratorijskim uslovima.



Slika 4

Analizirajući razvoj prostorno-vremenskog procesa startovanja sa vrha običnog Franklinovog štapa (gornja fotografija na slici 4), uz pomoć skupine registrujućih instrumenata i fotopisača, uočava se više karakterističnih faza: rađanje i iskakanje lidera u tački prvog nastanka korone (trenutak T_1), zatim veći broj iskakanja lidera kao odgovora na zakržljale razvoje usponskih trasera; kada električno polje ambijenta dostigne jednu kritičnu vrednost, odnosno vrednost polja dovoljnog za razvoj usponskog trasera, uočava se precizan trenutak (T_i), nastanka *neprekinutog usponskog trasera* u svojoj lepoti i veličini do samog gornjeg platoa. Ovaj dokument je dobijen registrovanjem emitovanog svetla sa vrha Franklinovog štapa. Na slici 5 prikazan je jedan iz niza korišćenih udarnih talsa, na kome se vrlo lepo uočavaju vremena T_1 i T_i .

Analizirajući razvoj prostorno-vremenskog procesa startovanja sa vrha gromobranske hvataljke *PREVECTRON 2 S6*, uz pomoć iste skupine registrujućih instrumenata i fotopisača, uočava se (donja fotografija sa slike 4) nepostojanje zakržljalih pokušaja razvoja usponskog trasera. Polje neprekinutog razvoja usponskog trasera (u trenutku T_i) istovetno je sa poljem koje je pokrenulo prvi skok lidera zakržljalog usponskog trasera sa vrha običnog Franklinovog štapa.



Slika 5

Svaka od ispitivanih hvataljki sa uređajem za rano startovanje izvršila je pražnjenje udarnog talasa pri manjoj vrednosti električnog polja u odnosu na običan štap. Jasno je da je dobijena vrednost vremena strtovanja TB (*Time of Breakdown*), uglavnom zavisna od strmine čela naponskog talasa: za veće strmine ovo vreme će biti kraće i obrnuto, za manje strmine vreme startovanja će biti duže. Radi toga je francuski standard **NF C 17 102** dao referentnu krivu strmine čela $t_c = 650 \mu s$ sa kojom treba upoređivati rezultate dobijene sa korišćenim udaranim talsom, zadržavajući pri tome jedino iste vrednosti električnih polja koja su i inicirala pražnjenja. Tu metodu su u francuski standard uneli Rizk (*F.Rizk*) i Berže (*G.Berger*). Prosečna dobijena vremena TB odgovaraju određenim jačinama pripadajućih polja za startovanje, koja preneti na referentnu krivu, daju vremena utvrđenog prednjačenja hvataljke sa uređajem za rano starovanje u odnosu na običan Franklinov štap.

Na slikama 6 do 9 ucrtane su referentne krive $t_c = 650 \mu s$, shodno zahtevima **NF C 17 102**, kao i eksperimentalne krive $t_c = 325 \mu s$ a na svakom od ovih dijagrama i vrednosti električnog polja i vremena u kome je ta hvataljka startovala zajedno sa veličinom polja i vremenom koje je bilo potrebno običnom Franklinovom štapu za svoje startovanje.

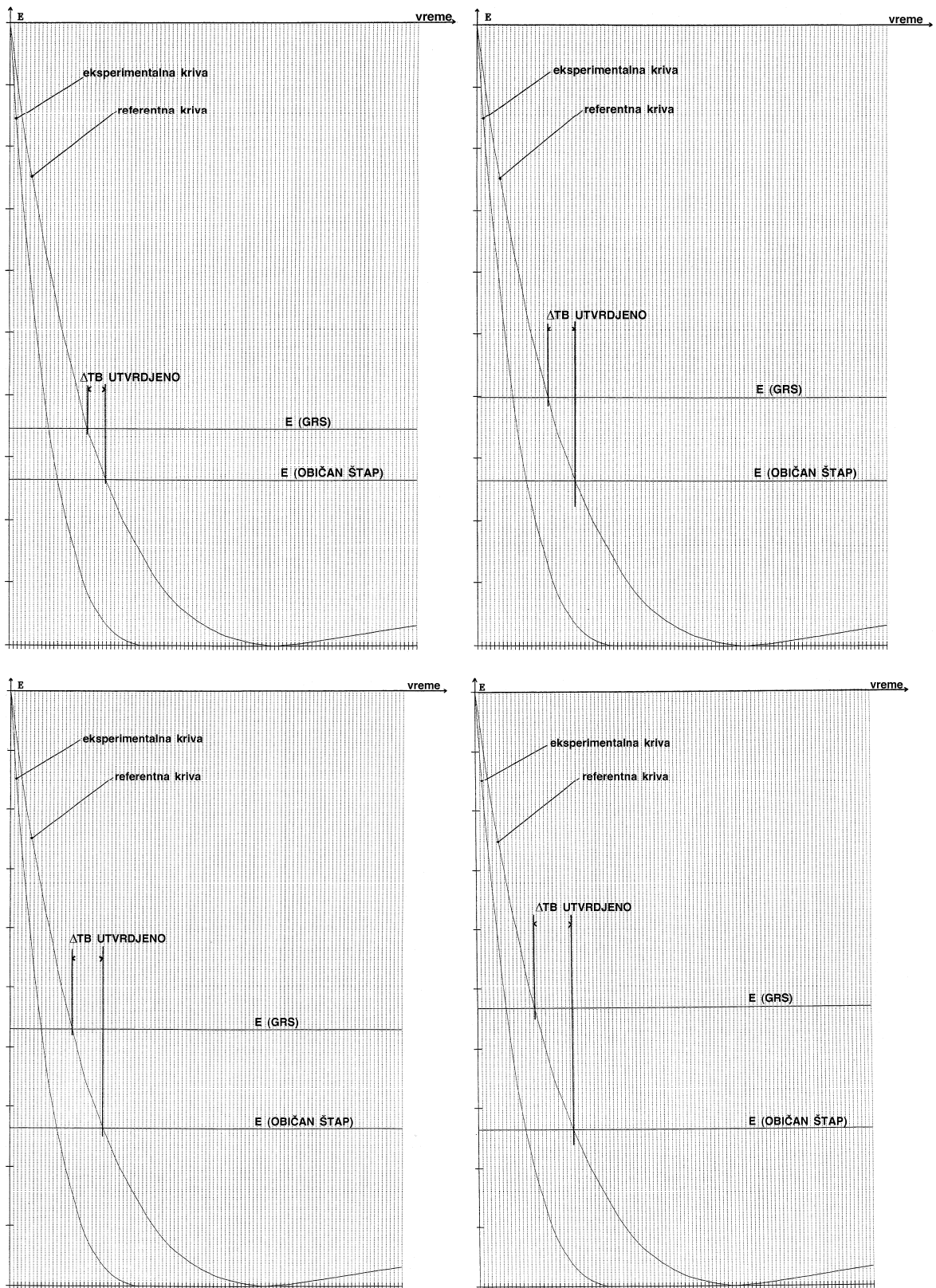
U tabeli 1 data je za svaki ispitivani gromobran prosečna vrednost vremena startovanja TB neprekinutog usponskog trasera i razlike u vremenima startovanja hvataljki sa uređajem za rano startovanje u odnosu na običan štap, zajedno sa standardnom deviacijom reagovanja običnog štapa i svakog pojedinačnog tipa hvataljke sa uređajem za rano starovanje a u aneksu ovog rada i dobijeni zbirni rezultati vremena pojave neprekinutog usponskog trasera.

Tabela 1

	TB (T_i) prosečno (μs)	ΔTB u odnosu na običan štap (μs)	standardna deviacija τ (μs)
Običan štap	119,4		25,42
PREVECTRON 2 TS-2	96,3	23,1	21,52
PREVECTRON 2 TS-3	85,6	33,8	15,27
PREVECTRON 2 S3	84,6	34,8	14,15
PREVECTRON 2 S4	79,5	39,9	8,71
PREVECTRON 2 S6	70,6	48,8	6,19

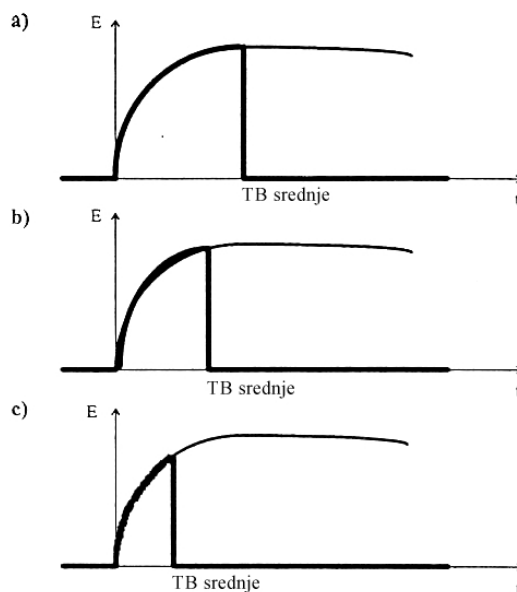
Rezultati prikazani u Tabeli 1 pokazuju nekoliko vrlo značajnih i indikativnih činjenica:

- vremena startovanja gromobrana sa uređajem za rano startovanje su za nekoliko desetina mikrosekundi kraća od vremena startovanja običnog Franklinovog štapa. Kako su brzine razvoja trasera u svim slučajevima iste, to je gromobran sa uređajem za rano starovanje napravio kratku vezu između svog vrha i platoa znatno pre običnog Franklinovog štapa;



Slike 6-9

- prekidanje krive udarnog talasa gromobranom sa ranim startovanjem je znatno ranije od prekidanja krive udarnog talasa običnim Franklinovim štapom. Na slici 10 ti rezultati su šematizovani za: a) običan Franklinov štap, b) PREVECTRON 2 S2 25 i c) PREVECTRON 2 S.6.60;



Slika 10

- standardna devijacija svakog od primeraka ispitivanih gromobrana, koja se računa po izrazu

$$\sigma(x_1, x_2, \dots, x_N) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

$$\bar{x}(x_1, x_2, \dots, x_N) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

gde je: x_1, x_2, \dots, x_N skup N izmerenih vrednosti vremena startovanja, jasno je pokazala vrlo specifične karakteristike svakog od njih pojedinačno: što je jača jonizacija na nivou šiljka, odnosno što je veći broj elektroda za generisanje jona i elektrona, to je standardna devijacija manja, odstupanja od deklarisanе vrednosti ispitivane hvataljke su manja. Onome ko koristi i shvata zančaj institucije standardne devijacije, mnogo će značiti podatak da je standardna devijacija hvataljke **PREVECTRON 2 S6** samo 6,19%, u odnosu na Franklinov štap kod koga je standardna devijacija preko 25%! Ovde se odmah može postaviti i pitanje, da li nije Franklinovom štapu, sa tako velikim stepenom standardne devijacije, dato preveliko poverenje u efikasnost gromobranske zaštite samo njegovim prisustvom!

- poboljšanje kvaliteta i efikasnosti hvataljki sa uređajem za rano startovanje direktno je proporcionalno snazi, odnosno broju elektroda za stvaranje jonizacije prekidanjem pražnjenja između šiljka hvataljke i okolnih elektroda a time i smanjenja vremena startovanja.

Sa dijagrama slika 6 do 9 dobijena su vremena prednjačenja za referentni talas $t_s = 650\mu s$ a vrednosti tih vremena prikazane su u tabeli 2. U istu ovu tabelu upisana su i znatno kraća vrtemena prednjačenja ΔT ovih tipova hvataljki, koje je predložio proizvođač želeći da obezbedi što pouzdaniju zaštitu svojim hvataljkama, koje će projektant koristiti pri izračunavanju veličine zaštićene zone ovim hvataljkama.

Tabela 2

	ΔTB u odnosu na običan štap (μs)	ΔTB dobijena na osnovu referentnog talasa (μs)	vreme prednjačenja $\Delta T(\mu s)$
PREVECTRON 2 TS-2	23,1	45	25
PREVECTRON 2 TS-3	33,8	65	40
PREVECTRON 2 S3	34,8	65	40
PREVECTRON 2 S4	39,9	80	50
6PREVECTRON 2 S6	48,8	95	60

4. ISPITIVANJA U PRIRODNIM USLOVIMA

Zahvaljujući lukovima koji mogu dostići dužine i do 15 metara, ispitivanja u laboratorijama visokog napona omogućavaju danas, da se pored određivanja vremena prednjačenja hvataljki, odrede i brojni drugi parametri fizike pražnjenja i veličine koje ih prate. Grandiozni gabariti ispitnih laboratorija, preko 60 metara visine laboratorije EdF-a u Rnardieru naprimer, omogućavaju danas ispitivanja u uslovima koji mogu biti vrlo slični onima na otvorenom prostoru, pa je i oštrina *teoreme elektrodinamičke sličnosti* dosta oslabila u osporavanju rezultata ovih ispitivanja.

Međutim, buduće internacionalne norme sve će više zahtevati potvrdu efikasnosti jednog gromobrana u prirodnim uslovima. Radi toga, ali i da bi dobili neoborive dokaze o verodostojnosti i efikasnosti ovih hvataljki, mnoge su laboratorije u Sjedinjenim Američkim Državama, Francuskoj, Nemačkoj, Švajcarskoj, Japanu i najnovija u Kini, krenule u izučavanja groma i zaštite od njega u prirodnim uslovima. Sredstva se ne štede, u ispitivanja su se uključile i armije najbogatijih zemalja sveta a za neka ispitivanja angažuju se i usluge satelita.

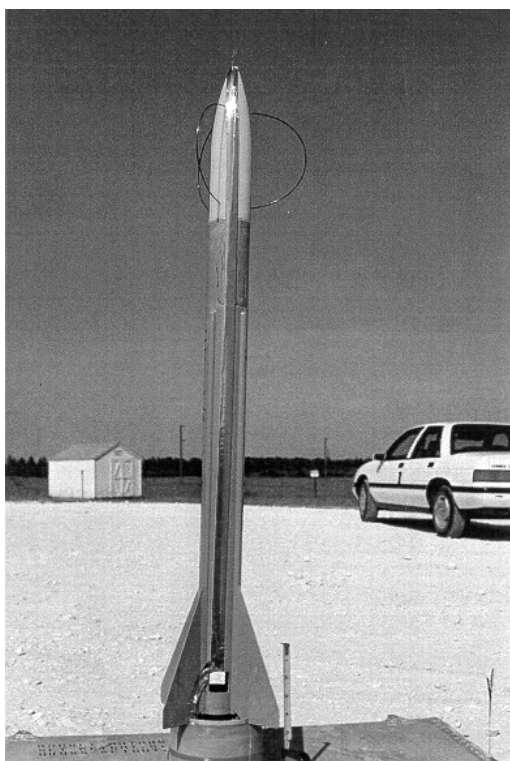
Svrha ispitivanja u prirodnim uslovima je da se:

- potvrde performanse gromobrana dobijene u laboratorijskim uslovima,
- potvrdi funkcionalnost gromobrana i
- potvrdi postojanost gromobrana u brutalnim, prirodnim, uslovima stvarnih udara groma.

Danas se ispitivanja na otvorenom, u prirodnim uslovima, *in situ*, obavljaju na dva načina:

- *izazvanim pražnjenjem* u testirane gromobrane prirodnom munjom, što će reći ispitivanja veštačkim pražnjenjem groma i
- *prirodnim pražnjenjem* u testirane gromobrane, odnosno ispitivanja ponašanja prirodne munje.

U oba slučaja postavljaju se paralelno običan Franklinov štap i gromobrani sa uređajem za rano startovanje. Dobijeni rezultati mogu biti upoređivani sa onim snimljenim u laboratorijskim uslovima, što je u većini slučajeva i suštinski predmet ispitivanja na otvorenom, kako bi se povukla paralela između veličina pražnjenja u laboratoriskim i pražnjenja u prirodnim uslovima.



Slika 11



Slika 12

Izazvano pražnjenje je veštačko pokretanje munje izbacivanjem rakete sa zemlje, slične onoj za protivgradnu zaštitu, koja za sobom povlači tanak bakarni provodnik, uzemljen na svom početku, koji se odmotava sa doboša u donjem delu rakete. Njena fotografija data je na slici 11. Ovaj projektil sa odmotanom bakarnom žicom, ponaša se kao jedan izduženi Franklinov štap a ogled je pokazao da će se njime ipak grom

morati pokrenuti. To je takozvani LRS sistem (Lightning Rockety System), sa svoje dve varijante LRS-A (Lightning Rockety System Altitude) i LRS-AG (Lightning Rockety System Altitude Grunded). Prvi put je jedan ovakav ogled izveo profesor Njumen (*M.M.Newman*), na moru 1963. godine, da bi deset godina kasnije ova tehnika bila primenjena na poligonu u *Saint-Privat d'Allier* -u, a zatim 1993. godine na vojnom poligonu u *Blanding*-u na Floridi.

Na slici 12 fotografisano je jedno izazvano pražnjenje, na kome se jasno vidi na kojoj je visini ispaljenu raketu susreo ili presreo silazni traser iz oblaka.

Sistem za lansiranje sa jednom bakarnom žicom neprekinutom od tla do rakete, ima jedan nedostatak: nemogućnost da reprodukuje silazni traser u skokovima, bitnu etapu za studiju mehanizma sudara silaznog i uzlaznog trasera. Radi toga ovaj sistem je nešto modifikovan tako što je bakarna provodna žica izdijeljena na segmente, pa jedan segment čini bakarna žica presvučena "kevlarom", jednom vrstom vrlo otpornog i električki izolacionog najlona; drugi segment je izrađen od samog kevlara i tako naizmenično. Može se, naprimjer, polazeći od zemlje, odviti 20 metara kevlara sa bakarnim provodnikom, zatim 300 metara samog kevlara, pa ponovo kevlar sa bakrom i tako naizmenično. Eksperiment je pokazao da se tada traseri razvijaju simultano prema dole i prema gore, polazeći sa oba kraja izolovane bakarne žice u prostoru i da niži traser ima karakteristike skokovitog trasera.

Sa vrhova šiljaka gromobrana meriče se struje predpražnjenja i struje povratnih pražnjenja, brzine napredovanja trasera i povratnih pražnjenja; meriče se zračenja elektromagnetnih polja, meriče se akustična zračenja i efekti groma, indukovani naponi u trasama električnih i komunikacionih vodova u blizini mesta ispaljivanja rakete, itd.

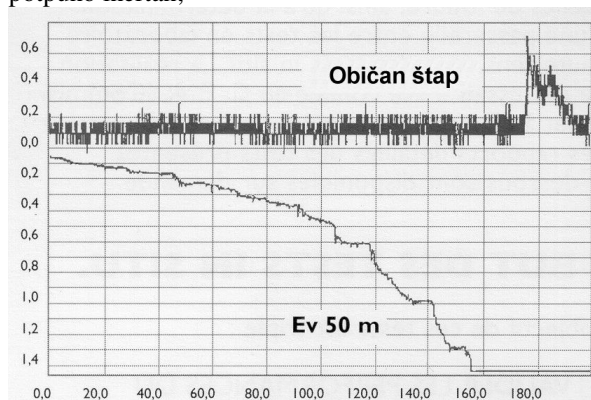
Prva ovakva merenja izvedena su 1993. godine na Floridi sa konfiguracijom LRS-AG a zatim bila nastavljena i izvođena u više navrata na poligonu u *Saint-Privat d'Allier*-u, sa konfiguracijom LRS-A.

Evo nekih rezultata merenja:

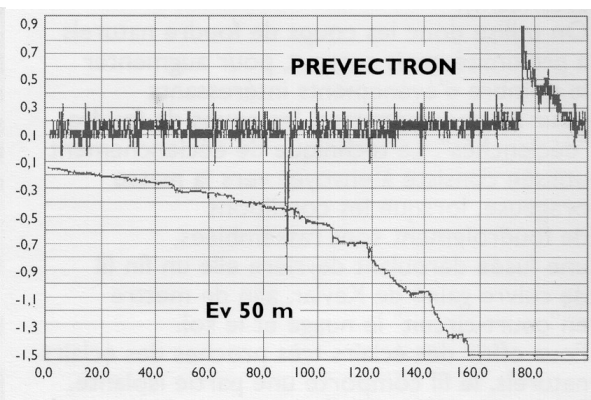
- merači električnog polja postavljani su na visine 50 i 110 metara od tla, pa je tako, u jednom primeru, izmerena vertikalna komponenta električnog polja na visini od 50 metara od tla reda 80 kV/m, dok je na visini od 110 metara od tla dobijena vrednost od 37,6 kV/m;

- za dvadesetak izazvanih pražnjenja, struje predpražnjenja su iznosile od +/-0,1A do +/-1A, dok su povratne struje bile reda 38,6 kA maksimum, odnosno prosečne vrednosti reda 14,7 kA, sa vremenskim razmakom reda 50μs;

- na dijagramima slike 13 i 14 mogu se uporediti aktivnosti običnog Franklinovog štapa i hvataljke gromobrana tip **PREVECTRON**, postavljene u istom električnom polju. Odmah će se uočiti jedna struja na vrhu **PREVECTRON**-a nešto veća od 1 ampera, karakteristična za usponske trasere, koja se pojavila na nekoliko desetina mikrosekundi pred prvo povratno pražnjenje. U istom ovom primeru Franklinov štاپ je ostao potpuno inertan;



Slika 13



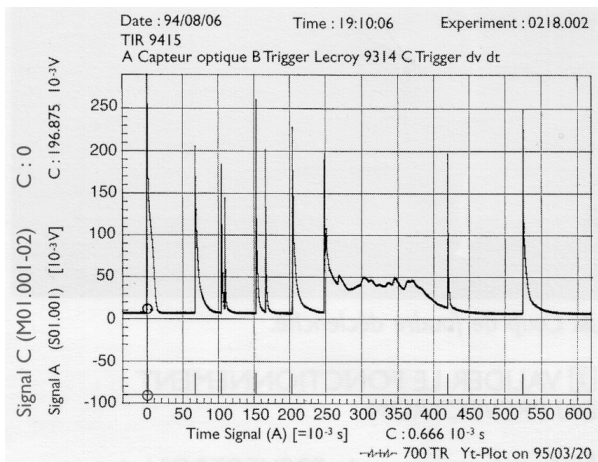
Slika 14

- na dijagramima slike 15 može se konstatovati da je starter **PREVECTRON**-a (donja kriva) reagovao na svako povećanje električnog polja, prikazanog na gornjem dijagramu ove slike.

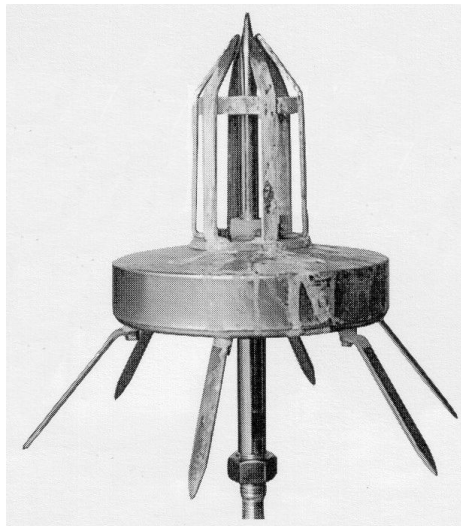
- fotografija na slici 16 pokazuje snimak jedne serijske hvataljke tipa **PREVECTRON**, u koju je izvedeno 8 direktnih pražnjenja gromom u prirodnim uslovima, intenziteta većeg od 10kA svaki. Ni jedno od ovih pražnjenja nije dovelo u pitanje njenu mehaničku otpornost, otpornost na elektrodinamičke efekte, otpornost uređaja za startovanje na nastale prenapone.

Interesantan je slučaj, koji je dokumentovan i na filmskoj traci, istreljivanja rakete na poligonu u *Saint-Privat d'Allier*-u iz neposredne blizine (oko 50 metara) hvataljke tipa **PREVECTRON** i običnog Franklinovog štapa, postavljenih na jarbolima visine 10 metara. Ispaljuna raketa je provocirala silazni traser iz oblaka, nakon

čega je prvo povratno pražnjenje protutnjalo kroz bakarni provodnik koji je raketa dovukla do čela silaznog traserera. Hvataljka **PREVECTRON** je istovremeno startovala svojim uzlaznim traserom prema kanalu prvog povratnog pražnjenja, da bi, zatim, sva sledeća povratna pražnjenja bila usmerena na hvataljku **PREVECTRON**, njen spusni vod i uzemljivač! Za to vreme Franklinov štap je bio potpuno pasivan na događanja u svojoj neposrednoj blizini.



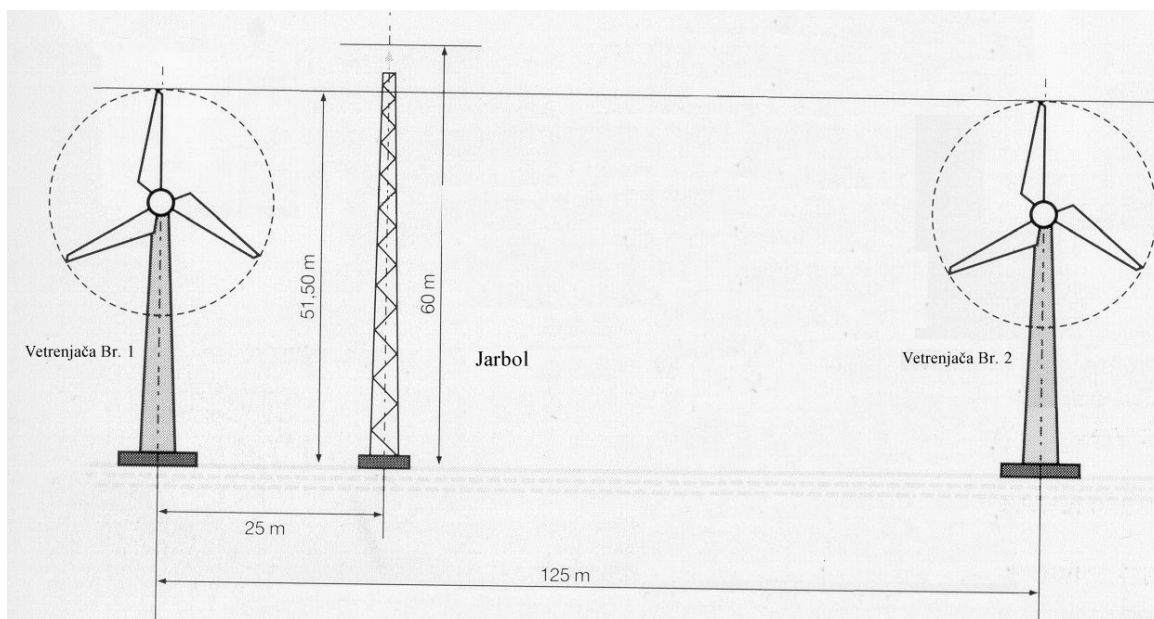
Slika 15



Slika 16

Prirodna pražnjenja zahtevaju dugoročna praćenja i isčekivanja da se pražnjenje odigra na mestima gde su postavljeni instrumenti za snimanja, osmatranja razvoja pražnjenja i prikupljanja svih važnih podataka o spontanom atmosferskom pražnjenju. Brojni su poligoni na otvorenom, koji su stalno u pogonu ili postavljeni samo za praćenje pražnjenja u vreme najintenzivnijih grmljavinskih dana, na mestima gde su ona po statistikama najučestalija ali i najbrojnija. Neki su već pominjani u ovom radu.

Među njima najkarakterističniji poligon, ali i najkvalitetniji, opremljen mernom opremom najvećih kvaliteta i mogućnosti, formiran 1998. godine od strane Central Lightning Protection Inc. Shibuyaku Yoyogi-Tokyo, na ostrvu *Nadachi*, na severozapadnoj strani Japana, dao je fascinantne rezultate.



Slika 17.

Ostrvo *Nadachi* je izloženo jakim vetrovima skoro cele godine, pa su na njemu decembra meseca 1996. godine instalirane dve trokake vetrenjače sa horizontalnom osom, za proizvodnju električne energije,

maksimalne visine 51,5 metara, na međusobnom rastojanju od 125 metara (slika 17). Decembar i januar, kao i juli i avgust, su meseci na ostrvu Nadači sa najintenzivnijim nevremenom praćenim jakim atmosferskim pražnjenjima, izokerauničkog nivoa iznad 35. Najbrutalniji je bio period januara 1997. godine, kada su direktna atmosferska pražnjenja desetkovala oba ova postrojenja: štete su pretrpeli generatori, energetske električne instalacije, došlo je do prekida elektroenergetskog sistema, telekomunikacija i informatike, čak su i elise jedne od vetrenjača bile polomljene ovim nevremenom.

Bolji poligon za proveru funkcionalnosti gromobranskih hvataljki tip *RPEVECTRON* u prirodnim uslovima, nije se mogao ni zamisliti!

Između ove dve vetrenjače, prema slici 17, postavljena je jedna hvataljka tipa *PREVECTRON 2 S6.60*, na jarbolu visine 60 metara, tako da je ona za 8,5 metara bila viša od maksimalne visinske amplitude vetrenjača. Na nekoliko kilometara od vetrenjača postavljeni su bili svi instrumenti za snimanje a signal GPS satelita bio je korišćen za upisivanje vremena događanja pojava koje su praćene. Sva registrujuća oprema bila je neprekidno u pogonu.



Slika 18.

Najkarakterističniji rezultati dobijeni su u prvom tromesečju i decembru 1998. godine. U ovom periodu ostvarena su ukupno 32 direktna pražnjenja u područje ovog poligona: 29 u *PREVECTRON 2 S6.60*, tri u elise udaljenije vetrenjače! Na slici 18 prikazano je jedno od ovih pražnjenja. Svako od 32 pražnjenja koja su se odigrala, snimljena su sa svim svojim električnim veličinama, ali snimljena su i najbržim mogućim kamerama. Ožiljke tri pražnjenja koja su se odigrala u elise vetrenjače, čije su veličine registrovali svi instrumenti i kamere, vrlo je bilo teško pronaći na elisama, jer su to bila pražnjenja struja vrlo malih intenziteta, dakle vrlo malih fiktivnih sfera, pa su se ove tako, neregistrovane, "provukle" pored *PREVECTRON 2 S6.60*, koji je bio u zaklonu elisa koje su primile pražnjenje bez ikakvog oštećenja bilo koje instalacije. U ovom primeru, izvanredno se potvrdila saglasnost između standarda koje danas koristimo i prirodne pojave sa jedne strane i zahteva za zaštitom ovih postrojenja i hvataljke sa uređajem za rano startovanje, sa druge strane! Sličan slučaj odigrao se i u Hidroelektričnoj centrali "Sveta Petka" na Nišavi: kroz mašinski prozor od livenog gvožđa, prozorčića dimenzije 25x20 santimetara, prošao je grom i udario u 10 kV-ne sabirnice, prolazeći predhodno i kroz behar ogromne jabuke, ne obazirući se pritom ni na dva Franklinova štapa na krovu centrale i kompletnog Faradejevog kaveza kojim je bila centrala ukavežena. I u ovom primeru se radilo o malim strujama pražnjenja, odnosno premalim fiktivnim sferama, koje su se mogle "provući" i kroz tako gust Faradejev kavez.

Na poligonu u Nadačiju hvataljka **PREVECTRON 2 S6.60** je pokazala svoje izvanredne kvalitete, reagujući podjednako na negativna kao i na pozitivna pražnjenja, iako je funkcionalno pripremljena za reagovanje na negativna pražnjenja! Njen rad i reagovanja praćena su brojnom mernom opremom i ni jedno povećanje električnog polja iznad poligona joj nije ostalo nezapaženo. Dvadeset devet direktnih pražnjenja koje je prihvatila nije dovelo u pitanje njenu mehaničku otpornost, otpornost na elektrodinamičke efekte, otpornost uređaja za startovanje na nastale prenapone, dakle, ponašala se istodobno, kao kad je bila napadana izazvanim pražnjenjima u prirodnim uslovima.

5. PRVA I PERIODIČNA PROVERA ISPRAVNOSTI HVATALJKI

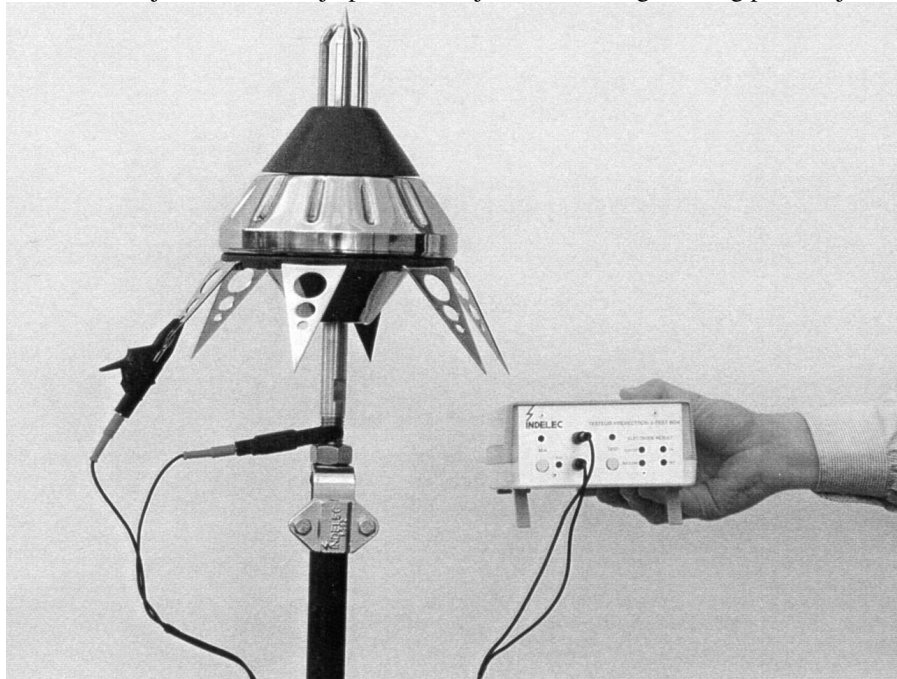
Standardom **JUS N.B4.802**, predviđena su prva i periodična ispitivanja gromobrantskih instalacija, "naročito kontinuiteta za one delove gromobrantske instalacije koji nisu vidljivi za kontrolu i to na početku montaže i koji kasnije neće biti vidljivi".

Prva ispitivanja hvataljki nakon izlaska iz laboratorije proizvođača, odnosno ispitivanja odmah nakon ugradnje hvataljke, treba vršiti kako bi se proverilo da li hvataljka, od ispitnog stola u laboratoriji proizvođača, do svog konačnog postavljanja, nije izgubila svoje deklarirane karakteristike, oštećivanjem u transportu, prilikom montaže ili na neki drugi način.

Tabela 3

Nivo zaštite	Interval između kontrola (godine)
I	2
II	4
III, IV	6

Istim ovim ispitivanjima hvataljka mora biti podvrgnuta u rokovima datim u tabeli 3 (**JUS N.B4.802**), koji su vezani za nivo zaštite koji ova hvataljka obezbeđuje šticećenim objektima, odnosno nakon direktnog pražnjenja groma u instalaciju, kao i u slučaju promene, tojest eventualnog fizičkog proširenja šticećenih objekata.



Slika 19.

Na slici 19 prikazan je uređaj za proveru ispravnosti hvataljke koji je sanbdeven jednim mikroprocesorom da bi kod hvataljke tipa **PREVECTRON** bilo omogućeno izvesti sledeće dve provere:

- test kratkog spoja preko donjih elektroda, odnosno proveru dobre električne pripremljenosti hvataljke za reagovanje na porast električnog polja ambijenta i dobre funkcionalnosti uređaja za startovanje hvataljke i
- test dobrog rada transformatora preko gornjih elektroda.

6. ZAKLJUČAK

Pošto je svoje hvataljke izložio mnogostrukim ispitivanjima u laboratorijskim uslovima, vršeci pražnjenja u svaki od tipova i preko nekoliko desetina hiljada puta i izlažući ih najrazličitijim napreznjima rada i reagovanja u prirodnim uslovima a istovremeno sakupljajući statistike koje su govorele o besprekornom ponašanju ovih hvataljki u prirodnim uslovima, proizvođač se ohrabrio, da za svoje hvataljke, budućim korisnicima ponudi garanciju o 25-to godišnjoj funkcionalnosti ovih hvataljki, bez obzira na polaritet i broj pražnjenja u hvataljke intenziteta do 200kA u vreme važenja garancije.

Još su sveži i neobrađeni ovogodišnji rezultati ispitivanja na poligonu u *Cachoeira Paulista* (država Sao Paulo u Brazilu), koja su dogovorena za narednih pet godina između univerziteta iz Toulouse-a (Francuska), Campinas i San José Dos Campos (Brazil) i Hydro-Québec (Kanada). Ovaj ih rad nije tretirao ali su prva praćenja ponašanja hvataljki **PREVECTRON** pokazala znatne prednosti ovih hvataljki u odnosu na običan Franklinov štap.

Postupajući po zahtevima **JUS N.B4.802**, provera ispravnosti rada svih hvataljki tip **PREVECTRON** instaliranih na teritoriji Jugoslavije u zadnjih deset godina, pokazala je nepromenjenost karakteristika ovih gromobranskih hvataljki, bez obzira da li je u njih bilo pražnjenja u proteklom periodu ili ne.

7. LITERATURA

[1] Claude Gary, LA FOUDRE, Masson, Paris, 1994.

[2] Northern Electronics and Microelectronics Institute. A division of C.N.R.S (French National Scientific Research Center), LIGHTNING CONDUCTOR DESIGNATION, Louvain-La-Neuve, 1996.

[3] G.N.Aleksandrov, St.Petersburg State Technical University, Russia
G.Berger, CNRS-SUPELEC, France
C.Gary, Electricité de France
NEW INVESTIGATIONS THE LIGHTNING PROTECTION OF SUBSTATIONS,
CIGRE, Paris, 1994.

[4] J.P.Berlandis, A.Eybert-Berard, B.Bador, L.Barret, IN SITU LIGHTNING RODS TESTS AND ANALYSIS, Triggered Lightning Campaign, Florida, 1993.

[5] Central Lightning Protection Inc., WIND TURBINE PLANT OF NADACHI, Tokyo, 1999.

[6] NF C 17-102, Protection des structures et des zones ouvertes contre la foudre par paratonnerres à dispositif d'amorçage, 1995.

[7] JUS N.B4.810, Gromobranske instalacije. Štapne hvataljke sa uređajem za rano startovanje, 1996.

[8] JUS N.B4.802, Gromobranske instalacije. Postupci pri projektovanju, izvođenju, održavanju, pregledima i verifikacijama, 1997.

[9] JUS IEC 1024-1, Gromobranske instalacije. Opšti uslovi . 1996.

[10] André Eybert-Bérard, Bernard Thirion, Carl Potvin, Robert Lanole, Hubert Mercure, EXPÉRIMENTATIONS FOUDRE AU BRESIL, Études in situ de paratonnerres à tige et à dispositif d'amorçage, 2001.

ANEKS-IZMERENA VREMENA TB (T_i)

Redni broj pražnjenja	Običan štap	Prevectron 2 TS2	Prevectron 2 TS3	Prevectron 2 S3	Prevectron 2 S4	Prevectron 2 S6
1	137	94,4	121	95,2	70,4	72,8
2	150	98,4	90,4	79,2	64	76
3	135	76	89,6	90,4	80	77,6
4	115	114	79,2	80	84,8	93,6
5	112	87,2	95,2	92,8	75,2	66,4
6	97,6	76,8	103	113	87,2	69,6
7	96	84	84,8	83,2	76	74,4
8	160	90,4	92	87,2	76	84
9	139	96	74,4	150	90,4	72,8
10	102	84,8	78,4	89,6	69,6	65,6
11	135	100	89,6	81,6	79,2	72,8
12	93,6	84	75,2	91,2	76,8	68,8
13	109	76	69,6	76,8	86,4	69,6
14	84,4	82,4	102	74,4	77,6	60,8
15	105	105	69,6	74,4	72,8	74,4
16	87,2	80,8	105	82,4	69,6	68
17	94,4	81,6	81,6	150	79,2	70,4
18	132	89,6	89,6	94,4	73,6	71,2
19	107	104	77,6	80	73,6	71,2
20	105	75,2	74,4	76	68	78,4
21	92	81,6	86,4	85,6	99,2	75,2
22	154	98,4	121	100	76,8	70,4
23	104	71,2	92,8	80	99,6	72
24	82,4	70,4	95,2	86,4	84	73,6
25	88	96	81,6	78,4	86,4	69,6
26	151	83,2	91,2	102	68,8	71,2
27	83,2	108	76,8	80,8	73,6	65,6
28	108	77,6	103	76	83,2	81,6
29	150	74,4	74,4	80	72	71,2
30	98,4	86,4	65,6	95,2	80,8	76
31	156	88	74,4	92,8	83,2	72
32	151	92,8	65,6	77,6	82,4	65,6
33	149	95,2	153	97,6	103	74,4
34	114	88,8	68,8	71,2	73,6	65,6
35	157	99,2	71,2	78,4	97,2	68
36	135	84,8	102	83,2	103	68,8
37	120	93,6	80,8	76,8	84,8	71,2
38	102	80,8	76	82,4	92	72,8
39	160	94,4	80	84	74,4	69,6
40	99,2	104	95,2	80,8	78,4	76,8
41	92	83,2	92	84,8	97,6	64,8
42	141	101	74	93,6	77,6	72,8
43	114	79,2	78,4	98,4	82,4	71,2
44	112	84,8	79,2	79,2	75,2	70,4
45	101	83,2	69,6	69,6	76	86,4
46	92	80,8	76,8	76,8	82,4	64,8
47	108	84,8	77,6	77,6	84,8	64,8
48	85,6	87,2	89,6	89,6	77,6	71,2
49	102	150	77,6	77,6	83,2	72,8
50	149	104	81,6	76,8	83,2	75,2

51	153	90,4	150	73,6	98,4	71,2
52	114	80	95,2	78,4	69,6	72
53	108	96	91,2	74,4	76,8	67,2
54	146	81,6	86,4	80,8	79,2	89,6
55	126	150	85,6	96	62,4	68,8
56	122	95,2	79,2	68,8	74,4	61,6
57	93,6	91,2	69,6	82,4	75,2	66,4
58	148	86,4	76,8	73,6	71,2	68,8
59	147	85,6	77,6	85,6	71,2	71,2
60	152	94,4	89,6	77,6	88,8	64
61	152	81,6	77,6	71,2	67,2	68,8
62	153	87,2	76,8	87,2	75,2	63,2
63	89,6	150	97,6	78,4	69,6	65,6
64	120	84,8	92,8	69,6	73,6	88,8
65	139	148	77,6	87,2	80	66,4
66	84	151	117	80	80,8	63,2
67	109	75,2	83,2	76	66,4	74,4
68	106	98,4	80,8	96	68,8	79,2
69	150	120	67,2	80	84	68,8
70	103	151	84	85,6	80,8	68,8
71	104	86,4	92,8	70,4	80	65,6
72	148	139	80,8	88,8	78,4	73,6
73	154	112	101	85,6	77,6	72,8
74	80,8	148	80	80	70,4	68,8
75	148	84	78,4	78,4	84	70,4
76	152	76	76	76	76	74,4
77	101	148	76,8	76,8	87,2	68
78	82,4	102	71,2	71,2	77,6	68
79	114	88,8	97,6	97,6	70,4	66,4
80	115	135	92,8	92,8	89,6	73,6
81	96,8	142	77,6	77,6	81,6	62,4
82	165	92	117	117	72	58,4
83	149	75,2	89,6	83,2	69,6	64
84	109	141	81,6	80,8	72	74,4
85	155	94,4	72	67,2	93,6	61,6
86	92,8	81,6	69,6	83,2	80,8	75,2
87	139	100	80,8	82,4	76,8	68,8
88	94,4	76,8	71,2	77,6	80,8	65,6
89	142	102	80	67,2	71,2	63,2
90	78,4	84,8	85,6	93,6	80	73,6
91	150	145	76	72	85,6	61,6
92	95,2	87,2	96	87,2	94,4	70,4
93	149	93,6	80	70,4	84	64
94	151	92,8	85,6	76,8	74,4	59,2
95	97,6	90,4	70,4	68	95,2	74,4
96	95,2	80	72	113	79,2	69,6
97	122	89,6	97,6	122	78,4	67,2
98	89,6	85,6	78,4	73,6	65,6	68
99	88,8	94,4	76	97,6	76,8	66,4
100	120	76	102	78,4	86,4	78,4