

RAZVOJ PLINSKEGA ODVODNIKA

Andrej Pregelj, Andrej Pirih, Žiga Hribar, Aleš Štagoj, France Breclj, *Martin Bizjak
Iskra Zaščite, Stegne 35, 1000 Ljubljana; *Iskra Stikala, Savska Loka 4, 4000 Kranj

Development of a new gas arrester

ABSTRACT

Each overvoltage stroke in electric network can cause damage in the surrounding highly sensitive electronic devices. To protect these devices several overvoltage arresters are used (mounted in connecting electric lockers in buildings) and among them the gas filled arresters are the most important. These are hermetically closed cells in which argon or its mixture with another noble gas is captured between housing and isolated electrode. At defined conditions (tension stroke etc.) it becomes ionised - i. e. capable to conduct the electric current. The gas arrester for higher powers which is developed in our laboratory, is connected with other electro-elements in a special device which acts protectively in such a manner that it leads off the lightning surge into the ground. Construction of the cell is relatively simple; eight or nine components are joined together by advanced technological procedure. The manufacturing receipt has to assure the demanded properties such as vacuum tightness, sparkover voltage, insulation resistance energy fitness, repetiveness etc. Besides measurements of mentioned characteristics a short description of technology development until present state and some experiments are presented.

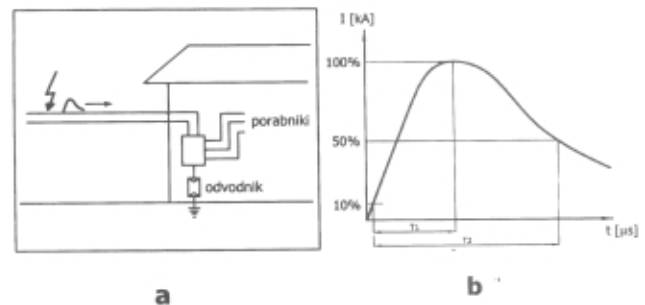
POVZETEK

Ob vsakem prenapetostnem udaru v omrežje lahko napetostni val povzroča poškodbe na bližnjih šibkotokovnih aparaturnah. Za zaščito se uporabljajo prenapetostni odvodniki, med katerimi zavzemajo posebno mesto plinski odvodniki. To so hermetično zaprte celice, v katerih se plin med izolirano elektrodo in ohišjem ob udaru ionizira. Plin ali plinska mešanica postane v tem trenutku prevodna in omogoči prevajanje električnega toka. Plinski odvodnik, kakršnega razvijamo, je s še drugimi električnimi elementi vezan v sklop, ki deluje zaščitno tako, da omogoči takojšen odvod energije - npr. udara strele - v zemljo. Sestavljen je iz osmih ali devetih delov, ki so med seboj spojeni z zahtevnimi tehnološkimi postopki. Pri izdelavi je treba doseči zahtevane karakteristike na naslednjih področjih: tesnost celice, vžigna napetost, energijska vzdržljivost, električna upornost izolacije, ponovljivost itd. Prispevek predstavi sedanje stanje razvoja, problematiko preskušanja v posameznih izdelavnih fazah in merjenje lastnosti odvodnika.

1 UVOD

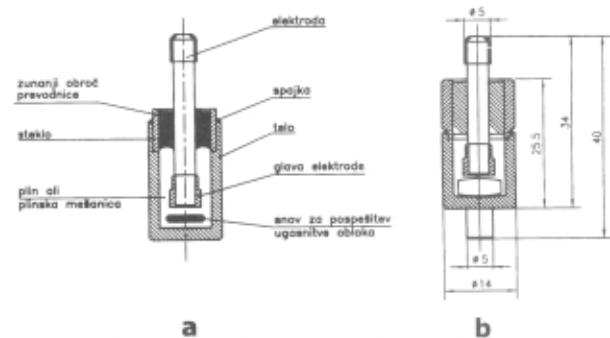
Naravni pojav strele deluje na človeške dobrine na dva načina: direktno z udari v zgradbe in s tem povzroča mehanska razdejanja ali požare, pa tudi indirektno, tj. z udari (slika 1a) v električno omrežje (nadzemno ali podzemno). Pri tem električni sunek (slika 1b) potuje do porabnikov in tam deluje škodljivo v aparaturnah (TV, PC, radio, telefoni,...). Za zmanjšanje oz. preprečitev škode indirektnega udara obstajajo zaščitni elementi - odvodniki, ki so v normalnem stanju neprevodni, ob udaru pa v trenutku odprejo pot toku in ga odvedejo v zemljo. Med različnimi tipi deluje plinski odvodnik tako, da se plin, zaprt v primerni celici, zaradi prenapetostnega sunka ionizira in s tem postane prostor med elektrodama prevoden. Pri proizvodnji zaščitnih naprav proti streli želimo tuji plinski odvodnik nadomestiti z domačim. Od tod izvira odločitev o vrsti in velikosti celice, ki jo razvijamo (sliki 2a in 2b). Prikazani plinski odvodnik je med mnogimi različnimi, ki se uporabljajo v sodobni elektrotehniki, eden večjih; namenjen je za prevajanje velikih tokovnih sunkov, pri katerih kratkotrajna (100-400 μ s) tokovna konica doseže 30-50 kA, in ga zato imenujemo energijski.

Po splošnem seznanjanju s problematiko in planiranjem razvoja smo izdelali konstrukcijo, prešli na izdelavo vzorcev, na razvoj pomožnega modela ter na postavljanje merilnih metod.



Slika 1: Indirektni udar strele je udar v električno omrežje:

- a) napetostni sunek, ki potuje do stavbe, varovane s plinskim odvodnikom, povzroči ionizacijo plina v njem in po prevodni plazmi omogoči tokovnemu valu odtok v zemljo
b) udar strele je podan z največjim tokom v špici in potekom toka v odvisnosti od časa. Obliko vala opišemo z razmerjem značilnih časov $T1/T2$. Časi čela in hrba vala so zelo kratki (mikrosekunde), vendar ne vedno enaki. Zato je npr. pri isti »višini špice« sunek oblike 10/350 veliko močnejši od sunka oblike 8/20



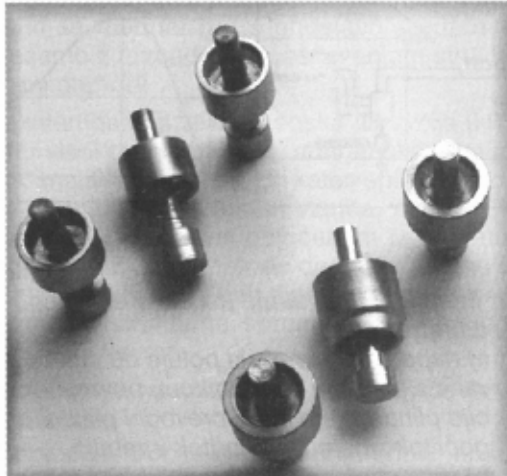
Slika 2: Shema plinskega odvodnika (a) in ena od konstrukcijskih izvedb (b)

2 ZAČETNI KORAKI RAZVOJA

Konstrukcija v dveh izvedbah je predstavljena na sliki 2. Na sliki 2a je bolj poudarjeno delovanje elementa, na sliki 2b pa bolj dimenzije. Izvedbi se med seboj razlikujeta v kovini, iz katere je izdelan zunanji obroč prevodnice (spoj s steklom), sicer pa sta zelo podobni in delujeta po istem principu ionizacije. Navajamo osnovne podatke celice, ki jo razvijamo.

Sestavni deli plinskega odvodnika po tehnološko že obdelani konstrukcijski risbi so:

- elektroda iz molibdena (premer 4 mm) s priključno kapico iz bakra
- steklo (kovarsko, npr. SCHOTT 8250, ali podobno steklo), po možnosti z malo višjim tališčem
- zunanji obroč prevodnice iz zlitine kovar (Fe, Ni, Co), ali iz jekla pri izvedbi s kompresijskim spojem
- glava elektrode iz železa in nato ponikljana
- telo odvodnika iz železa in nato ponikljano ali pobakreno (zunanji premer 14 mm)
- snov za upravljanje obloka: barijev klorid (BaCl_2)
- plin (npr. Ar) ali plinska mešanica
- spajka srebrna (s tališčem 710°C oz. 780°C).

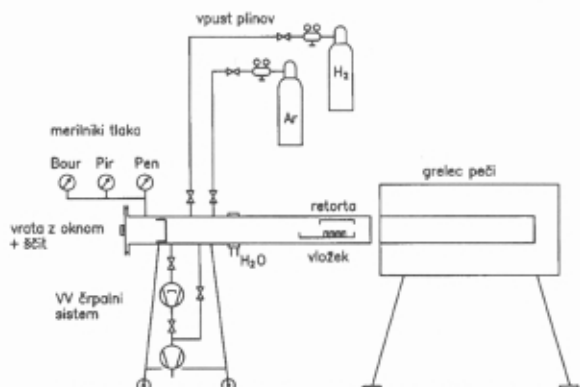


Slika 3: Glavni sestavni deli odvodnika so vtalki oz. prevodnice z molibdensko elektrodo; vzorci na levi so izvedeni z usklajenim spojem, na desni pa z neusklajenim kompresijskim spojem

Tehnologija izdelave je zastavljena v dveh glavnih korakih. To sta: izdelava vtalka (slika 3) in nato končno zapiranje celice ali inkapsulacija plina. S slike 3 je razvidno, da prvi korak in s tem ves razvoj peljemo po dveh vzporednih poteh:

- a) z vtalkom, ki temelji na usklajenem spoju steklo-kovina in
- b) z vtalkom, ki temelji na kompresijskem spoju.

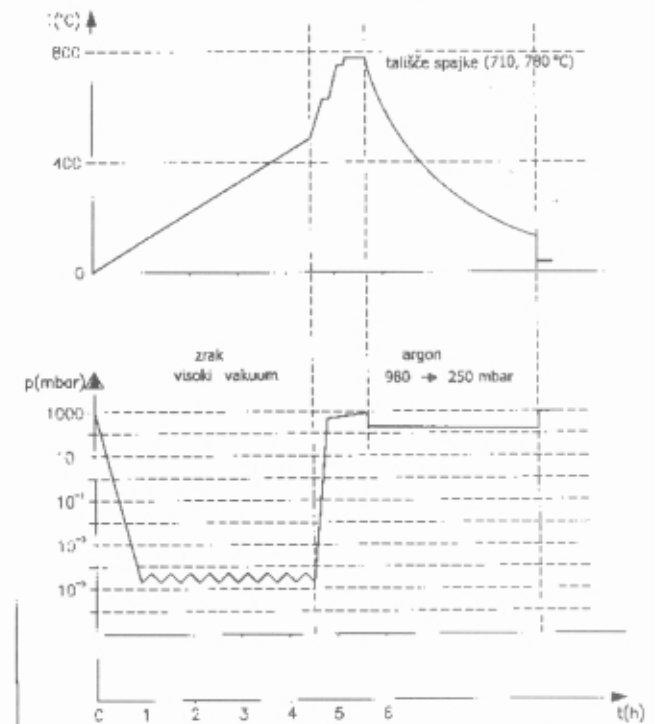
Vtalke izdelujemo v peči z inertno atmosfero s segrevanjem na 1050°C . Pri tej temperaturi se steklo stali ter omoči površine obeh kovin (nameščenih v grafitnem orodju) tako, da sta po strditvi oba spoja hermetično tesna.



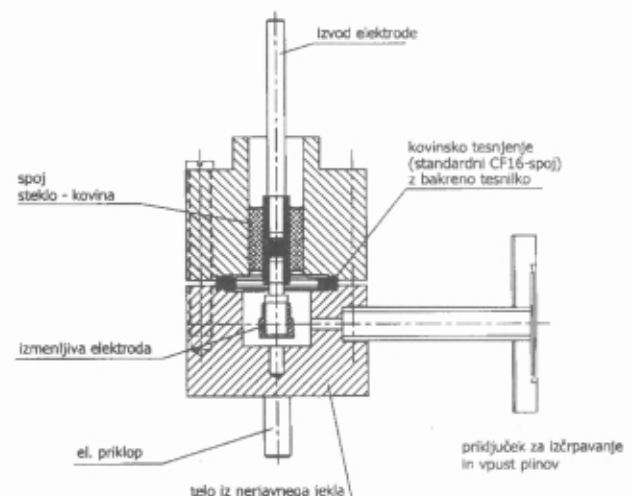
Slika 4: Vakuumska in hkrati plinska peč, v kateri inkapsuliramo plin v celico odvodnika

Inkapsulacijo plina izvedemo pri končnem zapiranju celice v vakuumski peči. Izdelan vtalek z drugimi deli sestavimo v celoto in na pladnju porinemo v retorto vakuumske peči (sl. 4). V njej segrevamo vložek do $T=500^\circ\text{C}$ tako, da med naraščanjem temperature tlak ne naraste nad $8 \cdot 10^{-5}$ mbar, šele potem pa vpustimo plinsko mešanico. Zadnji dvig temperature je nekaj nad tališče spajke. Režim poteka tlaka in temperature je prikazan na sliki 5.

Lastne raziskave predvsem za določitev vrste in tlaka plina smo izvajali na posebni razstavljivi celici (slika 6). Pokazalo se je namreč, da pri individualno izdelovanih preskusnih kosih ni možno spreminjati posameznih parametrov in spremljati njihovih vplivov na zahtevane



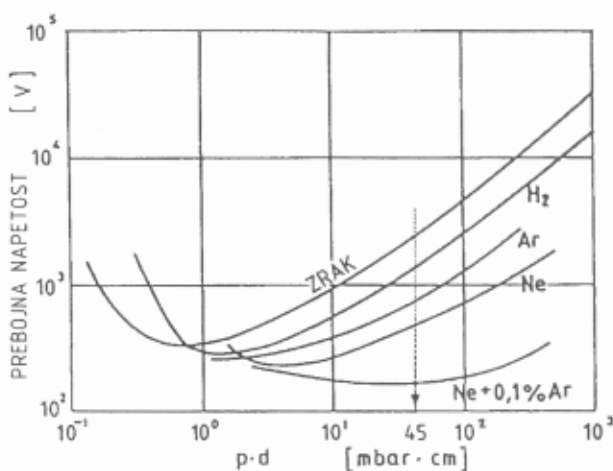
Slika 5: Potek tlaka in temperature pri postopku zataljevanja celice



Slika 6: Razstavljivi odvodnik omogoča preskus električnih lastnosti odvodnika pri različnih plinskih polnitvah ter pri različnih oblikah in materialih notranje elektrode

lastnosti odvodnika. Zato smo si izdelali omenjeni preskusni model (tj. razstavljivi odvodnik), ki omogoča ponovno uporabo pri enakih ali spremenjenih razmerah, poleg tega pa še pregled notranjih površin po vžiganju obloka, zamenjavo centralne elektrode, polnjenje z različnimi plini, pregrevanje do 400 °C itd.

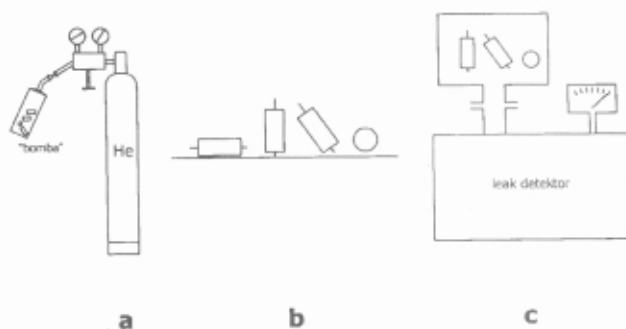
Tozadevna teoretična znanja v preprosti obliki združuje t. i. Paschenov zakon, ki je predstavljen s diagramom na sliki 7. Paschenove krivulje so navadno podane za dve vzporedni ploščati elektrodi enake oblike; le-ti seveda ne ustvarjata enakih razmer za vžig kot okrogla centralna elektroda proti okoliški steni celice odvodnika. Vendar so nam Paschenova dognanja osnova za razmišljanja in za načrtovanje nadaljnjih poskusov pri razvoju. Cilj vseh omenjenih raziskav je postaviti natančen recept za tehnologijo izdelave komercialnega odvodnika, ki bo, narejen v serijski proizvodnji, imel določene, vnaprej izbrane lastnosti.



Slika 7: Napetost preboja v celici je odvisna od tlaka plinov in od razdalje med elektrodama. Iz Paschenovih krivulj lahko ugotovimo ujemanje s situacijo v naši celici: nastopata namreč plina Ar in Ne (tlak cca. 300 mbar), razdalja med elektrodama je 0,15 cm in prebojne napetosti se sučejo med 350 in 700 V.

3 RAZVOJ TEHNOLOGIJE

Doslej smo izdelali že nad 200 odvodnikov; z izkušnjami, pridobljenimi pri prvih, smo izboljševali vse naslednje; tako smo z namenom izboljšati spajkljivost vpeljali nikljanje in bakrenje ter naknadno še razplinjanje osnovnih materialov. Vtalke smo v začetku izdelovali z VF-segrevanjem, sedaj pa to izvajamo v peči z inertno atmosfero, podobno kot tudi inkapsulacijo plina. S slike 5 je razvidno, da je sedanji postopek inkapsulacije zelo dolgotrajen (cca. 6 h), zato smo za proizvodnjo pripravili študijo izdelave peči z grafitnim grelcem, ki bo omogočala čas ene šarže skrajšati za več kot 10-krat. Pri sedanjem razvoju je vpeljana 100-odstotna kontrola tesnosti vtalkov s helijevim masnim spektrometrom in kontrola tesnosti izdelane celice z »bombing« helijevim preskusom (sl. 8). Smo na stopnji razvoja, ko nam uspe izdelovati tesne celice in že merimo nekatere električne lastnosti. Naš sedanji cilj je izboljševati tehnologijo tako, da bodo odvodniki imeli zelene lastnosti čim bolj ponovljive; seveda pa bomo morali prej osvojiti meritve vseh električnih karakteristik.



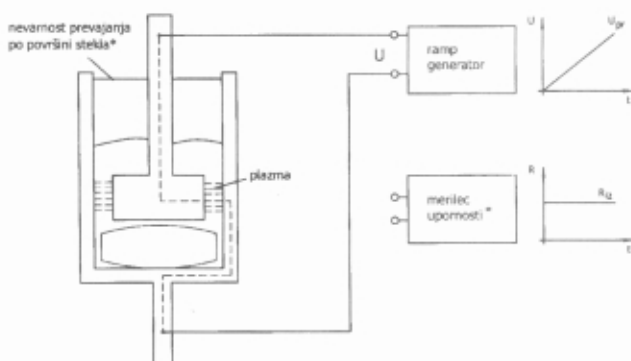
Slika 8: Preskušanje tesnosti izdelanih odvodnikov s t.i. »bombing testom«:
 a) prva faza – vzorci so v bombi pod tlakom helija (npr. 6 bar, 2 h)
 b) druga faza – preskusni vzorci prosto na zraku (1 h), da se He odstrani z zunanjih površin
 c) tretja faza – preskus s helijevim iskralnikom netesnosti; če tu ugotovimo izhajanje helija, to pomeni, da eden od preskušancev pušča

4 ELEKTRIČNI PRESKUSI

Glavne karakteristike, pomembne za delovanje oz. za opis sposobnosti odvodnika, so naslednje:

- A upornost med elektrodama 2 GΩ
- B vžigna napetost (preboj pri 350 in 600 V)
- C tokovna vzdržljivost (preskus z udari do 30 kA oblike 10/350 μs)
- Č tokovna vzdržljivost (test z udari do 90 kA oblike 8/20 μs)
- D vzdržljivost pri »trajnem« sinusnem toku (npr. 5-krat po 1 s pri 100 A)
- E določitev »follow-on« toka.

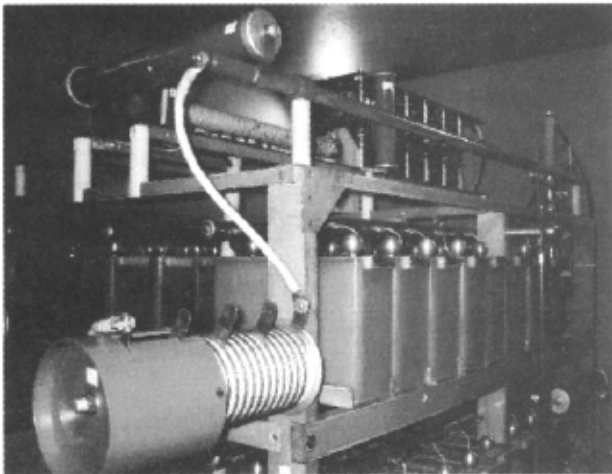
Proizvajalci včasih podajajo še nekatere druge lastnosti, ali pa tudi ne navedejo vseh. Verjetno je to odvisno tudi od njihove merilne opreme. Pri nas se doslej v tujini kupljenih odvodnikov ni posebej preskušalo in šele začenjamo s tozadevnimi poskusi predvsem na naših vzorcih. Prav zato del razvojne aktivnosti usmerjamo v postavitev merilnih metod, v usklajevanje le-teh z obstoječimi standardi ter v iskanje potrebnih naprav oz. instrumentov (doma, v Sloveniji in v tujini).



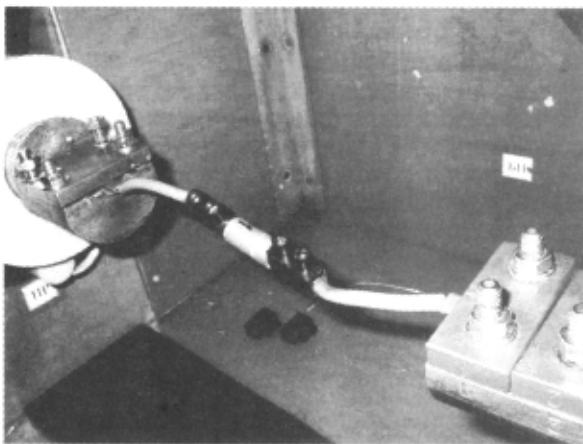
Slika 9: Meritev prebojne napetosti in izolacijske upornosti; standardne vrednosti pri tovrstnih odvodnikih so:
 $U_{preboj} = 350 \text{ in } 600 \text{ V}$, $R_{izolacije} \geq 2 \text{ G}\Omega$

Nekako obvladujemo preskušanje prvih dveh karakteristik (sl. 9). Upornost med elektrodama v nevzbujenem stanju merimo z gigaohmmetrom, vžigno napetost pa ugotavljamo z domačima »ramp«-generatorjema, ki zagotavljata linearno naraščanje napetosti (100 ali 500 V/s) in pokažeta na prikazalniku točko preboja.

Pričeli smo meritve močnostne vzdržljivosti, in sicer z dvema napravama, ki sta sposobni ustvariti močne tokovne sunke. To sta: Hilotest, ki zmore oddati tokovni udarni val do 50 kA oblike 8/20 in tokovni udarni generator (TUG-200, sl. 10), eden najzmogljivejših v Evropi, ki zmore oddati tokovne sunke do 200 kA oblik 8/20, 8/80 in 10/350 μ s.



Slika 10: Udarni generator TUG-200 v VN-laboratoriju Iskre Zaščite

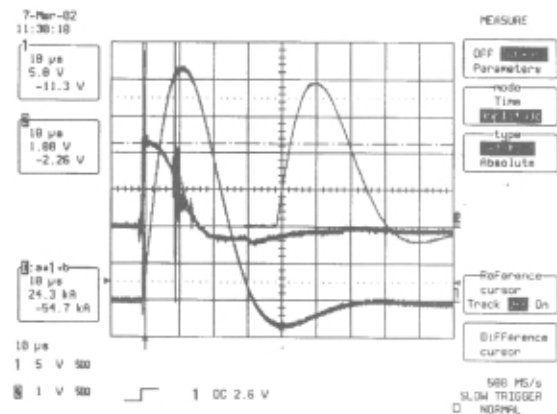


Slika 11: Vzorčni odvodnik, vpet v priključne sponke generatorja TUG-200

Študiramo možnosti za izvedbo preskusov D in E, tj. problem izvedbe obremenitve na trajnejši tok in pa ugotavljanje »follow-on« toka. Oba omenjena preskusa sta vezana na naprave z velikimi tokovnimi zmogljivostmi in na težave zaradi morebitnih nihanj v energetskem omrežju. Potrebne aparature morajo zagotoviti nastavljanje velikosti toka (zahteva za D) in tudi sproženje napetostnega sunka ob poljubnem časovnem trenutku v polperiodi omrežnega izmeničnega toka (zahteva za E). Zato navezujemo stike s tujimi laboratoriji, poleg tega pa iščemo možnosti sodelovanja v domačem okolju, in sicer z naslednjimi inšti-

tucijami: napetostni laboratorij FE v Ljubljani, VN-laboratorij Iskra Zaščite in združenje ICEM (kjer sodelujejo še Dravske elektrarne in mariborska fakulteta FERl).

Naše preskušanje plinskih odvodnikov je zaenkrat sestavljeno predvsem iz preverjanja upornosti in preskusa preboja. Vžigne napetosti, ki jih izmerimo na »ramp«-generatorju (ki zagotavlja linearno naraščanje napetosti od 0 do 1500 V), imajo v primerjavi s tujimi vzorci še precej velik raztros (400-600 V). Občasno že izvajamo tudi preskuse s tokovnimi impulzi, ki posnemajo potek udara strele. Večina izdelanih vzorcev že dobro prenaša udare do 60 kA pri impulzih oblike 8/20 in do 25 kA pri impulzih 10/350. Slika 11 prikazuje vpetje odvodnika na tokovnem udarnem generatorju pri izvajanju poskusa.



Slika 12: Oscilogram, dobljen pri preskusu vzorca št. 173 na TUG-200, daje informacijo o toku in preostali napetosti

5 SKLEP

Prikazane so glavne aktivnosti dosedanjega razvoja energijskega plinskega odvodnika. Kljub na prvi pogled enostavnemu izdelku postanejo - sicer zanimive - posebne tehnologije dokaj trd oreh, kadar jih je treba osvojiti za nivo kvalitetne industrijske proizvodnje. Seveda je nujno, da znamo in smo sposobni izmeriti lastnosti novega izdelka. To je potrebno vedeti zaradi primerjave z drugimi proizvajalci, in to zahtevajo kupci. Pri razvoju opisanega odvodnika sta že postavljeni osnovna konstrukcija in tehnologija, sedaj pa se vlagajo naporji za postavitve preskusnih metod, za pridobitev merilne opreme ter za zagotovitev doseganja ponovljivosti pri izdelovanju.

6 LITERATURA

- E. Hering: Trennfunkstrecken für den Blitzschutz-Potentialausgleich, Elektropraktiker, Berlin 55(2001), 5
- A. Benson, P.M. Chalmers: Effects of argon content on the characteristics of neon-argon glow-discharge reference tubes, The Institution of Electrical Engineers, Monograph No 321 R, dec 1958
- D. Bernat: Prenapetostna zaščita z uporabo odvodnikov prenapetosti razreda B, Delo+varnost 46 (2001), 4
- J. Meppelink, C. Drilling, M. Droidner, E.G. Jordan, J. Trinkwald: Lightning arresters with spark gaps. Requirements and future trends of development and application, Proceedings of ICPL 2000, Rhodes, Grčija
- J. Birkl, P. Hasse, P. Zahlmann: Test procedures for surge protection systems to be installed in low voltage power systems, Proceedings of ICPL 2000, Rhodes, Grčija
- M.P. Reece: Properties of the vacuum arc (part 1 of »The vacuum arc«), Proceedings IEE, 110 (1963), 4