

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2014/20



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	L2-3652
Naslov projekta	Raziskava in razvoj integriranih prenapetostnih zaščitnih naprav na osnovi plinskega odvodnika (GDT) v smeri zanesljive miniaturizirane tehnične rešitve (akronim projekta je MINIGDT)
Vodja projekta	7034 Nikola Jelić
Tip projekta	L Aplikativni projekt
Obseg raziskovalnih ur	15116
Cenovni razred	C
Trajanje projekta	05.2010 - 04.2013
Nosilna raziskovalna organizacija	1689 ZAVOD TC SEMTO Tehnološki center za sklope, elemente, materiale, tehnologije in opremo za elektrotehniko
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	106 Institut "Jožef Stefan" 782 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo 6399 ISKRA ZAŠČITE podjetje za izvajanje zaščit, inženiring in kooperacijo d.o.o. 6464 VARSI, podjetje za proizvodnjo varistorja in sklopov, d.o.o.
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.09 Elektronske komponente in tehnologije 2.09.02 Elektronske komponente
Družbeno-ekonomski cilj	06. Industrijska proizvodnja in tehnologija
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.02 Elektrotehnika, elektronika in informacijski inženiring

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

2. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

Z znanstvenega stališča so raziskave vključevale številna področja, kot so elektrotehnika in elektronika, analize materialov in plinov, plazma, merilne tehnike, računalniško-numerične metode, konstrukcijske metode in diagnostične metode, ki so vse visokega pomena za razvoj znanosti in tehnologij. Z družbenoekonomskega

stališča sta se reševala predvsem dva pomembna problema, in sicer zanesljivost ter uporaba in reciklaža materialov. Prenapetosti, ki so posledica udara strele namreč lahko povzročijo poškodbe in uničenje naprav priklopljenih na omrežje. Po podatkih zavarovalnic znaša delež izplačil, ki so posledica prenapetosti kar med 20-30%. Zato so z vidika varovanja nacionalnega premoženja zelo pomembne raziskave in razvoj novih izdelkov na področju prenapetostne zaščite, ki se povrnejo v relativno kratkem času. Po drugi strani pa so materiali, ki se uporabljajo v zaščitnih sklopih, zelo dragi, tako v procesu proizvodnje kot v procesu reciklaže. Poleg tega se pojavlja problem prostorske stiske v primeru vgradnje v že obstoječe električne inštalacije. Zato je raziskava imela za cilj priti do optimalnih rešitev in izdelati prototipe zanesljivih miniaturiziranih sklopov za prenapetostno zaščito. Izvirnost ideje projekta ter pričakovanih rezultatov sta imela najmanj dve osnovi: (i) razumevanje fizike plinskega odvodnika na podlagi podobnih fizikalnih modelov (ii) uporaba tega novega znanja za izdelavo končnega prototipa celotne prenapetostne zaščite v kombinaciji plinskega odvodnika z varistorji, ki smo jih razvili za namen projekta. Uporabljene so bile matematične, teoretične, numerične in eksperimentalne metode. Matematično-fizikalni model za opis nastanka plazme med dvema elektrodama v plinskem odvodniku smo reševali tako v eni kot v dveh prostorskih dimenzijah ob upoštevanju cilindrične simetrije, kjer so bile upoštevane oblikovne značilnosti plinskega odvodnika. Uporabili smo obstoječe simulacijske kode, ki smo jih prilagodili za namen plinskega odvodnika. Kontrolo nekaterih parametrov pa smo spremljali z analitskimi tehnikami na napravah sodelujočih skupin. Za miniaturizacijo GDTja smo testirali različne plinske mešanice, oblike elektrod in nove visokotemperaturno obstojne materiale. Razvijali smo novo kombinacijo klasičnega varistorja in klasičnega GDT v enem kosu. S tem tehnološkim prebojem smo dobili bistveno manjši izdelek, kar pomeni miniaturizacijo prenapetostne zaščitne naprave ob prihranku materialov, znižanju onesnaževanja in odpadkov. Problem samougasnosti smo reševali z novo večcelično konstrukcijo s čimer smo več plinskih odvodnikov združili v eni sami celici. Tudi v tej aktivnosti smo morali izbrati optimalno plinsko mešanico in primerno geometrijo elektrod, ki najbolj ugodno vplivajo na samougasnost. Večcelični GDT smo pripravili za delovanje kot samostojni element ali pa v kombinaciji z nižjenapetostnim varistorjem. V obeh primerih smo dosegli prostorski prihranek, kot tudi ugodne pogoje delovanja prenapetostne zaščitne naprave.

ANG

From scientific point of view our investigations included numerous fields like electro-technics and electronics, solid state analysis, gas diagnostics, non-equilibrium plasma behavior, and numerous measurement, computational-numerical, design, construction and diagnostic methods and techniques, which are all of high importance for development of science and technology. From socioeconomic point of view at least two problems have been attacked and solved, namely the reliability and usage/recycling of materials. Overvoltage in electrical networks frequently causes damages and destruction of electric devices. Insurance statistics shows that the 20-30% of payment is a consequence of overvoltage caused by lightning. Therefore from viewpoint of national economy, our investigations and development of new overvoltage protection devices are expected to be repaid in relative short time-period. Furthermore, the materials used conventionally in surge protection devices are very expensive in production and in recycling process. Finally, there is a systematic problem regarding space for installation in old electrical networks. Originality of project idea and expected results has lead: (i) understanding of physics of gas discharge tube based on similar physical models (ii) employment of this new knowledge for production of final prototype of entire overvoltage protection in combination of GDT with varistors, which has been studied and tested for the purpose of the project. via mathematical, theoretical, numerical and experimental methods and techniques. Optimizations have been achieved in predicting proper geometrical parameters of gas discharge tube via existing simulation codes, adapted by us for their proper prediction of GDT dynamical behavior. Control of relevant parameters has been compared with those ones obtained by complementary and supplementary techniques and method which are conventionally used on devices of collaborating groups. GDT miniaturization required numerous tests of different gas mixtures, shapes of electrodes as well as a variety of highly temperature resistive materials. New compact combinations of classical varistor and classical GDT has been investigated resulting in essentially reduced in size surge protection device of which production is possible with considerable savings of material, with reduced pollution and waste in all stages of product fabrication, exploitation and waste-treatment. Problem of self-extinguish has been

attacked and solved also with new multi-cell construction where several GDTs coupled within a single cell, with additional activities performed towards finding optimal gas mixtures and proper geometries of electrodes, relevant for sufficient self-extinguish. Multi-cell GDT has been enabled for either autonomous or combined with a low voltage varistor employments. In both cases a considerable space and material reduction under favorable working conditions of surge protection device has been achieved.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu²

Teoretični in tehnološki vidiki raziskav so bili usmerjeni predvsem na plinski prenapetostni odvodnik, ki ob direktnem udaru strele reda velikosti 50 kA zaščiti omrežje, kjer je pričakovani tok reda velikosti 25 kA. Osnovna naloga znotraj projekta je z matematičnim modelom in eksperimentom poiskati parametre za optimalno vžigno napetost ter zanesljivo samougasnost takoj po koncu tokovnega udara. Raziskovalna hipoteza je miniaturizacija tako plinskega odvodnika kot celotnega zaščitnega sklopa z optimizacijo plinske mešanice, materialov in geometrije. Potek raziskovanja je bil razdeljen na eksperimentalni del in teoretično modeliranje.

Eksperimentalni del pa smo obravnavali na dveh nivojih in sicer v laboratorijskih (idealnih) pogojih in pogojih, ki so dosegljivi za serijsko proizvodnjo. Prvi problem je bil znatno višja vrednost prebojne napetosti v odvodnikih, izdelanih na industrijski način od tistih, izdelanih v laboratorijskih pogojih. Oba tipa sta merjena pri isti geometriji in isti sestavi polnilnega plina. Študija problema smo se lotili z načrtovanjem in izvedbo izjemno natančne masne spektroskopije, s katero smo lahko določili sestavo plinov v plinskem odvodniku. Postopek je zelo zahteven, saj je količina plina v odvodniku izjemno majhna (1 cm³ pri 0,2 bar), poleg tega pa je plin tesno zaprt v masivni celici iz katere je potrebno nadzorovano »iztisniti«² plin. Opis postopka kalibracije masnega spektrometra za izvedbo zahtevnih analiz, ki v literaturi še ni obravnavan smo objavili v reviji Vacuum (glej 6:Ref. [5]). Metoda je destruktivna, a vendarle je omogočila določitev sestave po daljšem času, ko smo enkrat zagotovili podatke iz opravljene predzgodovine testiranja serijskih odvodnikov. Naslednja faza pa je bila izdelava testnih laboratorijskih odvodnikov z možnostjo nadzorovanega vpusta enega ali več izbranih plinov (Ar, Ne in vodik) in z možnostjo hladne zavaritve. Tudi tem odvodnikom smo z naknadno analizo lahko določili dejansko sestavo plina z masnim spektrometrom ter opazovali razliko med odvodniki, nadzorovano polnjenimi na IJS in odvodniki iz serijske proizvodnje v Iskri Zaščite. Kljub zapletenemu sledenju smo razliko pojasnili in temu primerno prilagodili vpust plinov v serijski proizvodnji.

Drugi problem je bil spontano dviganje prebojne napetosti v času pripravljenosti (standby mode). Iskali smo fizikalni princip, ki naj bi pojasnil, kako deluje pomožna grafitna elektroda, ki je bila v literaturi opisana kot možen ukrep za stabilno delovanje odvodnika. Ker njen način vpliva na prebojno napetost ni bil nikoli pojasnjen, študija smo se lotili na sledeč način: sprva smo izvedli serijo večtedenskih meritev toka hladne emisije v VV na testnem odvodniku, v katerega lahko naknadno natočimo pline z znano sestavo. V nadaljevanju smo izmerili UI diagram in ga ekstrapolirali v območje napetosti, ko je tok v točki prebojne napetosti lahko odločilen za preboj. Izkazalo se je, da izjemno ostri robovi grafitne elektrode (dejansko jo sestavljajo grafeni oz grafitne ploščice debeline nekaj atomskih plasti) delujejo kot vir elektronov, ki pod vplivom pozitivne napetosti izstopajo proti kovinski anodi. S tem se je nakazala verjetno prva in doslej neobjavljena uporaba grafenov v konkretni elektronski napravi, kar smo objavili v Journal of Applied Physics (glej 6:Ref. [2]). Raziskave so pomagale pri načrtovanju grafitnih elektrod za serijsko proizvodnjo s čimer se je izboljšala stabilnost plinskih odvodnikov.

Komplementarno s študijem vpliva sestave mešanice smo preučevali spremembe površine izolatorja, ki v času zniževanja prebojne trdnosti postaja prevodnejši (glej 6:Ref. [2]). Del preiskav smo tako posvetili študiju procesov na samih elektrodah, ki ob preboju in dani polarizaciji injicirajo primarne elektrone. V prvem trenutku so za pojav plazme odgovorni pojavi na sami katodi, ki v odvisnosti od sestave, mikrostrukture in nanostrukture odločilno prispevajo na ionizacijo plina. Nedvomno so površine ob tem tudi najbolj vroči del odvodnika, ki lahko sprosti uparjeno snov. Za

spremljanje teh pojavov smo uporabili metode XPS, AES, SEM in AFM, ki dajo skupaj lahko odgovor o ključnih parametrih med prebojem, relaksaciji in v mirovanju odvodnika, katere pa smo uporabili pri postopku miniaturizacije.

Zgornje raziskave so bile močno podprte s teoretičnim modeliranjem in razvojem posebnih modulov za spremljanje časovnega poteka prebojev v simulacijskih "Particle in Cell" (PIC) kodah Plasma Theory and Simulation Group (PTSG) Berkeley/Michigen skupine, opremljeno z zmogljivimi Montecarlo modeli trkov (MCC). Za namene raziskav stabilnosti plazemskega plašča, ter določanje funkcij porazdelitev delcev izvedenih hidrodinamskih količin pri preboju smo razvili lastni "treecode" programsko opremo ki smo jo od l. 2012 že začeli naprej, skupaj s PTSG, vstavljati v OOPD1 kodo (glej 6:Ref. [3]), in smo jo primerjali z rezultati že obstoječih, PIC kod, ki smo jih tudi izpopolnili (glej 8:Ref. [1]) pri simulacijah zgodnje faze preboja v odvodnikih (glej 8:Refs. [1,2,3]), ter smo izpopolnili XOOPIC 2D-kodo in jo v sodelovanju s PTSG uporabili za raziskave prostorskega razvoja kinetičnih in elektrodinamskih količin pri prebojih s konstantnim tokovnim generatorjem (glej 6:Ref. [4]). Rezultate smo uporabili pri variaciji geometrije ter izbiri materialov na površini katode za izdelavo eksperimentalnih vzorcev.

Na osnovi teoretičnih in eksperimentalnih raziskav prebojev, analiz na področju uporabe različnih plinov in materialov pri izdelavi plinskih odvodnikov smo uspešno prišli do izdelkov, ki so že prišli in še prehajajo v serijsko izdelavo: t.i. N-PE plinski odvodnik (glej 6:Ref. [1]) in ploščati plinski odvodnik. Oba odlikuje predvsem majhna velikost v primerjavi s konkurenco. Glavna prednost naše konstrukcije N-PE je te v večjih aktivnih površinah za prevajanje toka in primerna izbira materialov in polnilnih plinov. Zato so elektrode manj obremenjene in tako dosežemo manjšo velikost plinskega odvodnika. Lahko trdimo, da je volumen našega N-PE 100 kA plinskega odvodnika najmanjši na svetu v tem razredu saj ima kar približno 4x manjši volumen od primerljive konkurence. Za inovativno konstrukcijsko rešitev je bila podana tudi patentna zaščita (glej 7:Ref. [2]).

Za namenom izdelave hibridne kombinacije varistorja+plinskega odvodnika smo razvili zelo tanek plinski odvodnik z debelino med 2,6 in 3,4 mm ter premerom 30 mm. Tokovne zmogljivosti so do $I_{imp} = 25$ kA, kar pomeni da je ta odvodnik najtanjši na trgu ob tako visokih zmogljivostih. Zaradi edinstvene geometrije smo izvedbo tudi patentirali, vendar pa patent še ni javno objavljen in ostaja poslovna skrivnost. Razlog za razvoj tanke izvedbe plinskega odvodnika je bil v pomanjkanju prostora v zaščitni napravi zaradi velike površine varistorja. Za takšen primer je vgradnja ploščate izvedbe plinskega odvodnika bolj primerna kot valjasta izvedba s kovinskim telesom. V splošnem pa so naši ploščati odvodniki uporabni tudi v drugih aplikacijah, posebej pa v primeru ko se kaže pomanjkanje prostora v eni smeri. Razvili smo hibridno rešitev, ki vključuje tanki plinski in varistor odvodnik in deluje v dveh režimih. Ob prehodnih prenapetostih (stikalne prenapetosti, atmosferske razelektritve,...) se tok prevaja skozi varistor in plinski odvodnik. Ob dolgotrajno povišani napetosti nad nominalne obratovalno napetost pa termično odvisni del vezja TC(G) omeji tok skozi varistor in tako prepreči poškodbe na zaščitni napravi. Vpeljava TC(G) vezja je s tem postala zelo priljubljena tudi v serijski izdelavi prenapetostnih zaščit (njen tržni delež v podjetju Iskra Zaščite že presega običajne zaščite).

Naš ključni projekt za prihodnost je povezan s faznim plinskim odvodnikom, ki se bo uporabljal za L-N aplikacije. Osnovna ideja za razvoj faznega plinskega odvodnika je dokaj preprosta: če povežemo več plinskih odvodnikov v serijo se njihova obločna napetost skoraj linearno poveča z njihovim številom. Zaradi tega je tudi posledični tok primerno manjši in tudi ugašanje je bistveno bolj verjetno. Pri določenem številu plinskih odvodnikov v seriji naraste obločna napetost nad vrednost izmenične napetosti. Rezultat je, da plinski odvodnik prevaja samo tok, ki je posledica prenapetosti in oblok ugasne takoj po prenapetosti. Ena je bila povezana z znižanjem vžigne napetosti, ki se z naraščanjem števila plinskih odvodnikov drastično povečuje. Problem smo rešili s tako imenovano bližnjico ob začetku prenapetosti, ki v stanju tehnike še ni bila predstavljena, zato pripravljamo tudi patentno zaščito. Druga težava je prav tako povezana z velikim številom plinskih odvodnikov v seriji. Za izmenično napetost 260 V, potrebujemo približno 20 plinskih odvodnikov. Zato smo za ta namen uspešno izdelali posebni večcelični plinski odvodnik, kjer imamo v enem

ohišju več celic. Takšen plinski odvodnik je vgrajen v modul širine 2TE in je primeren za vezavo med fazni in nevtralni vodnik (L-N) pri napetosti 260 V in tokovne udare do $I_{imp} = 25$ kA. Pričakujemo da bo na trgu do konca leta 2014.

Fazni plinski odvodnik bo predstavljal povsem nov koncept zaščite, saj se v takšnih aplikacijah uporabljajo le zračna iskrišča ali pa varistorji (glej 8:Ref. [5]).

Pomanjkljivost iskrišč je v izpuhu vročega zraka, nujnosti posebnih dodatnih trigirnih naprav in omejenemu ugašanju sledilnega toka. Slabost varistorja pa je nujnost termičnega odklopa zaradi nevarnosti gorenja in puščanje toka (»leakage«) ob normalnem delovanju. Vse te slabosti pa odpravi fazni plinski odvodnik, ki je hermetično zaprt in nima izpuha, zaradi integrirane naprave za vžig dodatno trigiranje ni potrebno, obločna napetost je večja od izmenične napetosti zato so sledilni tokovi neomejeni, v primeru napake preide v kratek stik zato ne potrebuje odklopnika in zagotavlja galvansko ločitev. Glede na vse našete prednosti lahko pričakujemo svetlo prihodnost faznega plinskega odvodnika tudi zaradi popolne novosti, kjer je veliko prostora za patentno zaščito.

Glede mednarodnega sodelovanja smo fizikalne, meritvene in inženirske probleme, ki se pojavljajo v zvezi z geometrijo, plini plazmo in materiali v odvodnikih analizirali skupino iz Srbije, ki jo je pri obiskih v Ljubljano vodil Prof. Predrag Osmokrović, direktor Zavoda za fiziko tehničnih fakultet Univerze v Beogradu. Probleme, ki se pojavljajo tako v odvodnikih kot v konstrukcijsko podobnih sklopih »plazma focus« pa smo analizirali s skupino iz »Multidisciplinary Laboratory (MLAB) of the Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, ITCP« iz Italije, ki jo je pri obiskih vodil Prof. Claudio Tuniz (takrat vicedirektor ITCP). Kinetične modele plazemskega plašča, ki se pojavijo v velikih plazemskih napravah, smo obravnavali s skupino za fiziko plazme Univerze v Innsbrucku, ki jo je vodil Prof. Siegbert Kuhn, vodja veje P1: teoretska podpora fuzijskemu programu. Poleg transferja znanja in inženirskega know-how je bil rezultat tega sodelovanja podpis bilateralnih pogodb na nivoju fakultet/inštitutov z vsemi zgoraj navedeni partnerji. Posebej intenzivno sodelovanje pa je potekalo na razvoju in uporabi kinetičnih kod za simulacijo plazme s skupno Prof. Johna Verboncoeur-ja iz »Michigan State University College of Engineering, Electrical and Computing Engineering Department«.

V raziskovalno-pedagoškem smislu smo vključili mlade kolege, kot je Janez Krek, univ. dipl. inž., ki je za svoje magistrsko delo že izbral temo »Aplikacija numeričnih metod in računalniških simulacij za določanje pogojev pojava navidezne katode v plinskih diodah ter karakterizacijo pri velikih emisijskih tokovih«, medtem ko se je dr. Jernej Kovačič prijavil na javni razpis Ministrstva za izobraževanje, znanost in šport za »Spodbujanje raziskovalcev na začetku kariere«. Projekt z naslovom »Določitev računskih okvirjev za obravnavo plinskih razelektritev na primeru prenapetostnih plinskih odvodnikov« (šifra: 430168/2013/52) je bil sprejet in se je začel financirati 1.12.2013 za obdobje 19 mesecev.

4. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev³

Z namenom realizacije raziskovalne hipoteze kot miniaturizacije tako plinskega odvodnika kot celotnega zaščitnega sklopa z optimizacijo plinske mešanice, materialov in geometrije, smo skrbno planirali in izvedli eksperimentalne in teoretične raziskave, s katerimi smo bistveno izboljšali razumevanje vpliva posameznih parametrov na delovanje plinskih odvodnikov. V ta namen smo opravili veliko serijo eksperimentov tako v laboratorijskem kot tudi industrijskem okolju. Vse skupaj smo podprli s teoretičnimi modeli ter dokumentirali v številnih objavah, poročilih, katalogih in predstavitev na mednarodnih konferencah. Zelo pomemben rezultat projekta je razvoj popolnoma novih tipov miniaturiziranih plinskih odvodnikov, ki so bodisi v pripravi ali pa že v serijski proizvodnji. Na osnovi tega lahko realizacijo raziskovalne hipoteze ocenimo kot izjemno uspešno, saj je bil jasno zastavljen cilj projekta izpeljan celo nad pričakovanji. Zmanjševanje velikosti plinskega odvodnika in celotnih sklopov, ki vsebujejo plinski odvodnik, je bilo namreč zelo. Že v serijski proizvodnji podjetja Iskra je Zaščite NPE plinski odvodnik s kovinskim telesom in tokovnimi zmogljivostmi do $I_{imp} = 100$ kA, kjer je volumen zmanjšan za približno 3-krat glede na izdelke z največjim tržnim deležem. Poleg tega imajo sedaj v svoji ponudbi tudi ploščati plinski odvodnik z debelino približno 3 mm in tokovnimi zmogljivostmi do $I_{imp} = 25$ kA, ki je tanjši za približno 50 % od najpomembnejše

konkurence. Na osnovi prednosti ploščatega plinskega odvodnika je nastala tudi zaščitna naprava, ki s standardno dobavljivimi odvodniki, zaradi večje debeline ne bi bila izvedljiva. Omeniti moramo tudi popolnoma nov koncept zaščite med faznim in nevtralnim vodnikom na osnovi večceličnega plinskega odvodnika. Takšna zaščita bo pomenila nov mejnik, saj bo hkrati odpravila številne pomanjkljivosti trenutnih izvedb zračnih iskrišč in varistorske tehnologije. Glede na navedeno ocenjujemo da so bili zastavljeni raziskovalni cilji v celoti doseženi ali preseženi.

5.Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine⁴

Ni bilo sprememb programa raziskovalnega projekta, oziroma sprememb povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine.

6.Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

	Znanstveni dosežek		
1.	COBISS ID	24631847	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Delovanje GDT z metalnim telesom dizajniranim za visokotokovne valovne udare
		ANG	Operation of GDT with metal body designed for high current surges
	Opis	SLO	V delu je predstavljena je naša konstrukcija plinskega odvodnika, kjer je telo kovinsko namesto običajnega keramičnega. Predstavljene so tudi bistvene metode meritev in določitev lastnosti plinskih odvodnikov pri različnih mešanica polnilnih plinov. Iz predstavljenih rezultatov sledi, da je napoved rezultatov zaradi velikega števila vplivnih parametrov zelo težka. Za doseg primernih lastnosti plinskega odvodnika zato potrebujemo veliko število eksperimentov podprtih s teoretičnim znanjem.
		ANG	In the paper our type of GDT construction is shown where main body is metal instead ceramic which is conventionally used. The paper also presents the basic methods of measurements and determination of GDT properties with some measurement results at different filling gases. From the presented examples we will see that the prediction of results is very difficult and we need a lot of experiments and theoretical experience to reach the required properties of GDT.
	Objavljeno v	30th International Conference on Lightning Protection, September 13-17, 2010, Cagliari, Italy. ICLP 2010. [S. l.]: IEEE Advancing Technology for Humanity, 2010, Avtorji / Authors: ROZMAN, Robert, ŠTAGOJ Aleš	
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
2.	COBISS ID	25752615	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Izboljšava zanesljivosti prebojne napetosti v plinskih odvodnikih za prenapetosno zaščito s pomočjo elektricnega polja na ogljikovi površini
		ANG	Breakdown voltage reliability improvement in gas-discharge tube surge protectors employing graphite field emitters
	Opis	SLO	Plinski odvodnik je že dolgo poznana v svetu nizkonapetostnih omrežij kot zaščitni element za prehodne prenapetostne razelektritve kot je na primer udar strele. Nezanesljivost statičnega vžigne napetosti plinskega odvodnika se je v preteklosti reševala z dodatkom radioaktivnega elementa v celici plinskega odvodnika, ki je stabiliziral vžig. Radioaktivni izotopi delujejo kot stabilen vir elektronov, ki prožijo vžig. V današnjih časih radioaktivni dodatki seveda niso okoljsko sprejemljivi in potrebno je iskati nove rešitve. V našem primeru je hladna emisija izvor proženja razelektritve, brez aktivacijskih elementov na kovinskih elektrodah. Patenti obravnavajo različne prožilne pomožne elektrode v obliki grafitnega nanosa. Grafit je nanosen med elektrodama

			na izolatorju. Kljub pogostosti uporabe takšne rešitve pa v literaturi ni natančno pojasnjeno delovanje teh črtic. Predstavljeni so rezultati, ki kažejo, da stabilna hladna emisija v visokem vakuumu izvira iz nanostrukturiranih robov grafitnega nanosa. To kaže dobro korelacijo med vžigno napetostjo plinskega odvodnika napolnjenega z mešanico čistih plinov.
		ANG	Gasdischarge tube (GDT) surge protectors are known for many decades as passive units used in lowvoltage telecom networks for protection of electrical components from transient overvoltages (discharging) such as lightning. Unreliability of the mean turnon DC breakdown voltage and the runtorun variability has been overcome successfully in the past by adding, for example, a radioactive source inside the tube. Radioisotopes provide a constant low level of free electrons, which trigger the breakdown. In the last decades, any concept using environmentally harmful compounds is not acceptable anymore and new solutions were searched. In our application, a cold field electron emitter source is used as the trigger for the gas discharge but with no activating compound on the two main electrodes. The patent literature describes in details the implementation of the so called trigger wires (auxiliary electrodes) made of graphite, placed in between the two main electrodes, but no physical explanation has been given yet. We present experimental results, which show that stable cold field electron emission current in the high vacuum range originating from the nanostructured edge of the graphite layer is well correlated to the stable breakdown voltage of the GDT surge protector filled with a mixture of clean gases.
		Objavljeno v	American Institute of Physics.; Journal of applied physics; 2012; Vol. 111, no. 8; str. 083301-1-083301-6; Impact Factor: 2.210;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.629; A': 1; WoS: UB; Avtorji / Authors: Žumer Marko, Zajec Bojan, Rozman Robert, Nemanič Vincenc
		Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	12612379	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Uporaba treecode metode v simulacijah diode
		ANG	Grid-free treecode method in diode simulation
	Opis	SLO	To delo je bilo posvečeno raziskavam takoimenovanega "plasmawall" problema v laboratorijskih, tehnološko usmerjenih in fuzijskih plazmah. Posebno pozornost je bila podana simulacijam učinkov prostorskih nabojev, ki lahko igrajo pomembno vlogo v sekundarni emisiji elektronov, zaradi močnega električnega polja se pojavlja v razelektritvah v plinski celici/cevi. Razvili smo majhno, a učinkovit PIC simulacijski program, da bi dobili več podatkov, kot to zdaj že možno pri drugih tovrstnih programih, ki so na voljo danes. Naredili smo primerjavo rezultatov našega programa z rezultati, pridobljenimi z drugimi metodami in paketi. Naša TC programska oprema temeljna brez mrežni treecode (TC) metodi, čigave.prednosti in slabosti v aplikacijah na diodne plazme z zunanjo kontrolirano oddajo gostote toka elektronov smo raziskali in predstavili.
		ANG	In this work we present basic principle of treecode (TC) method, its advantages and drawbacks in its applications for laboratory and fusion plasmas. Particular task done in this work was to create a small but efficient PIC simulation program in order to obtain more data than currently possible with other such programs available today, and to compare results of our program with results obtained with other methods and packages. The program is intended to be used in plasma-wall investigations of laboratory, technology oriented and fusion plasmas.
			North-Holland; Nuclear Engineering and Design; 2013; Vol. 261; str. 238-243; Impact Factor: 0.805;Srednja vrednost revije / Medium Category

	Objavljeno v		Impact Factor: 0.844; WoS: RY; Avtorji / Authors: Krek Janez, Jelić Nikola, Duhovnik Jože	
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek	
4.	COBISS ID		10155604	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Ionizacijska fronta v plinski diodi ob razelektritvi	
		ANG	Ionization front in a gas-filled diode during electrical breakdown	
	Opis	SLO	Predstavljamo rezultate dosežene v fazi vžiga plina v plinski diodi pod visokim tlakom. Postopek delcev v celici (PIC) 2D-simulacijo izvedemo s posebno izbiro enostavnega zunanjskega tokokroga z idealnim tokovnim generatorjem. Izkazalo se je, da se reži diode razvijajo izjemno visoki lokalni prevodni in premikajoči tokovi in da je tako mogoče v primerjavi z njimi zunanji tok zanemariti. Prvi tokovi kažejo še videz (konvekcijske) strukture, ki so podobne torusu, kar pa bi zahtevalo dodatne teoretične raziskave in nadgradnje kode. Sekundarni elektroni izhajajo predvsem iz tega lokaliziranega dela katode, ki je najpogostejše pod udarom ionov iz najbližjega lokalnega snopa plazme. Tak "normalni" primer se pojavi samo preden se bližnja ionsko bogata plazma "pripoji" katodi in ko se "mesto" (spot) razširi po površini katode. Potem je mogoče dobiti močan plazni-pretok elektronov in ionov pri skupnem zunanjem tokokrogu za več velikostnih razredov nižje in neodvisno od časa. To pomeni, da morajo biti prevodni tokovi delcev znotraj cevi nadomeščeni z močnimi premikalnimi tokovi. Naša ocena premikalnih tokov je pokazala, da lahko pripadajoče lokalno generirano magnetno polje reda velikosti nekaj deset Tesla. Poleg tega je skupna energija, ki se lahko nabere med rastjo ionizacijske fronte, ocenjena na red velikosti 1J znotraj prostora nekaj kubičnih mm. Ta energija se lahko sprosti v tokovnem plazu v manj kot 1ns, kar je daje moč oddajane elektromagnetne energije reda TW. Vendar ta pojav niti ni tako presenetljiv za goste plazme, kot so v npr. Plazma Focus in GDT-jih, je pa potrebno za boljše rezultate uvesti podrobnejši fizikalni model z ustrezno simulacijsko kodo. Na žalost so na voljo le kinetične kode, ki so v resnici le elektrostatične, kar pomeni, da ne upoštevajo samo-ustvarjenega magnetnega vektorskega potenciala, tj. pripadajočega polja in zato ne morejo izračunati lokalne porazdelitve Lorentzovih notranjih sil do določenih delcev, kar lahko do neke mere slabi opisane pojave. Zato predlagamo popoln in neodvisen niz elektrodinamičnih enačb, ki se lahko vgradijo v kodo XOOPIC. Za to časovno odvisnost je potreben podroben izračun lokalnih momentov porazdelitve hitrosti (gostota, povprečne naključne in smerne komponente hitrosti) in s tem povezanih tokov, skupaj s skalarnimi in vektorskimi komponentami polja (z energijami delcev in komponentami toplotnih tokov kot posredni rezultat), za kar je predlagan povsem nov pristop v PIC simulacijah.	
			We present results obtained during a gas breakdown stage in a high pressure gas filled diode. The method is particle in cell (PIC) 2D-simulation performed with a particular choice of a simple external circuit presented by an ideal current generator. It is shown that within the diode gap extremely high local conductive and displacement currents develop, such that the external current may be neglected in comparison with them. Also, the first runs indicate appearance of torus like (convective) structures that require further theoretical research and code upgrades. Secondary electrons are mainly delivered from that localized part of cathode which is most frequently impacted by ions originated from the nearest local plasma-bunch. Such "normal" situation appears only before the ion-rich plasma "attaches" the cathode and after that the cathode "spot" spreads over the cathode surface. Then strong electron and ion flux-bursts can be obtained with the total external current circuit for several orders of magnitude low and independent on time. That means that the conductive currents of particles inside the tube should be compensated by strong displacement	

			currents. Our estimation of displacement currents has shown that the associated local self-generated magnetic field can be of the order of several tens of T. In addition the total energy that can be accumulated during the ionization front growth is estimated to be of the order of 1J within the volume of several cubic mm, and this can be released during the current burst in less than 1ns, yielding the power of emitted electromagnetic energy of the order of TW. However, although this phenomenon must not be so surprising for dense plasmas such as those in Plasma Focus and GDTs, more convenient results requires more precise physical model with corresponding simulation code. Unfortunately, available kinetic codes are in fact electrostatic one, i.e., they do not take into account self-generated magnetic electro-potential, i.e., corresponding field and therefore are not capable to calculate the local distribution Lorentz internal plasma self-force to particular particles, which could to certain extent dump described phenomena. Therefore we propose a full self-consistent set of Electrodynamics equations to be implemented into the XOOPIC code. For this the time-dependent a detailed calculation of local moments of velocity distributions (densities, average random and directional velocity components and related fluxes), together with scalar and vector fields components (with particle energy and heat fluxes components as a backside result) is proposed as a quite new approach in PIC simulations.
		Objavljeno v	MIDEM - Society for Microelectronics, Electronic Components and Materials; Proceedings; 2013; Str. 109-114; Avtorji / Authors: Jelić Nikola, Kos Leon, Krek Janez, Kovačič Jernej, Gyergyek Tomaž, Christlieb A. J., Verboncoeur John P.
		Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
5.	COBISS ID	1977191	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Določitev količine vodika v mešanici žlahtnih plinov
		ANG	Quantification of hydrogen in a gas mixture of noble gases
	Opis	SLO	Določitev količine vodika v mešanici žlahtnih plinov, ki so ujeti v plinskem odvodniku je zahtevna naloga, saj je njegov volumen izjemno majhen. Vodik pomembno vpliva na delovanje plinskega odvodnika, pomemben pa je tudi zaradi splošne prisotnosti in predstavlja tudi ozadje za kvadrupolni masni spektrometer. Delež vodika v plinskem odvodniku je bil določen po predrtju odvodnika v visokem vakuumu, od koder je bil potem plin doziran v vakuumsko komoro z kvadrupolnim masnim spektrometrom. Njegova kalibracija je bila izvedena z inovativnim postopkom, kjer smo dosegli veliko natančnost. V prvi fazi se je čisti plin (Ar, Ne, H ₂) v kalibriranem volumnu doziral preko finega ventila v ultra visoki vakuum. Sprememba tlaka na kapacitivnem manometru v času nam je podala tok plina, ki je v direktni korelaciji s tokom ionov specifičnega masnega vrha v razponu 3 dekad. Tako smo pridobili natančne kalibracijske krivulje za masni spektrometer. V drugi fazi smo uporabili novo znano mešanico plinov v kalibriranem volumnu, da smo preverili postopek določitve sestave plinov. Takšen postopek se je pokazal precej natančen pri visokih pretokih (nad 6x10 ⁵ mbar l/s), medtem ko so napake znatne pri nižjih pretokih. Možna razlaga za napačno določitev deleža vodika pri zelo nizkih pretokih z masnim spektrometrom je prisotnost argona.
			Quantification of hydrogen fraction in the gas mixture with inert gases kept in a small enclosure of the gas surge arrester (GSA) is a challenging task. Hydrogen greatly influences device properties, but as an omnipresent gas it represents also the background of any mass spectrometer. Hydrogen fraction in a particular GSA was quantified after its puncture in an evacuated batch inlet and subsequent introduction to a pumped chamber housing a quadrupole mass spectrometer (QMS). Its calibration was performed by an innovative in-situ calibration procedure which should yield high accuracy. In the first stage, a pure gas (Ar, Ne, H ₂) contained in a

	ANG	calibrated volume was set by a leak valve to flow into the UHV system. The pressure change reading of the capacitance manometer over time gives the flow rate which is directly correlated to the ion current of a specific mass peak in the span of 3 orders of magnitude. The extracted calibration curves of the QMS for each gas species are applied in the second stage of the calibration when known gas mixtures are prepared in the calibrated volume to verify the gas composition determination procedure based on the fractionation. Such procedure is revealed fairly accurate at high (above $w_6 _ 10_5$ mbar L/s) flow rates, however a significant error appeared at lower flow rates. Possible explanations for erroneous hydrogen determination at very low fluxes by the QMS in the mixture with argon are presented.
Objavljeno v		Pergamon Press; Vacuum; 2014; Vol. 101; str. 445-450; Impact Factor: 1.530; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.402; WoS: PM, UB; Avtorji / Authors: Zajec Bojan, Rozman Robert, Nemanič Vincenc
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁶

	Družbeno-ekonomski dosežek		
1.	COBISS ID	253193216	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Plinski odvodnik za zaščito pred prenapetostjo pri udarih strele
		ANG	Gas arrester for protection against voltage surges in lightning strikes.
	Opis	SLO	V monografiji so podrobno predstavljene lastnosti plinskih odvodnikov in fizikalno ozadje njihovega delovanja. V ta namen so bile izdelane številne raziskave električnih prebojev v plinskih odvodnikih z različnimi polnilnimi plini, različno geometrijo in različnimi materiali. Predstavljeni so tudi postopki izdelave plinskih odvodnikov, kjer je zelo pomembno poznavanje vakuumске tehnike in ostalih visokotehnoloških procesov. Poleg tega so prikazani so tudi primeri nastanka prenapetosti in primerne uporabe odvodnikov v praktičnih primerih.
		ANG	The monograph presents the detailed properties of gas arresters and physical background of their operation. To this end, many studies were made of electric breakdowns in gas arresters with different filling gases, different geometries and different materials. It also presents the manufacturing processes of gas arresters, where the knowledge of vacuum technology and other hightech processes is very important. In addition, the paper also includes examples of occurrence of voltage surges and proper use of surge in practice.
	Šifra	C.02	Uredništvo nacionalne monografije
	Objavljeno v		Zavod Tehnološki center SEMTO; 2010; XVI, 159 str.; Avtorji / Authors: Bizjak Martin, Breclj Franc, Jelić Nikola, Nemanič Vincenc, Pirih Andrej, Pregelj Andrej, Rozman Robert, Štagoj Aleš, Zajec Bojan, Bizjak Martin
	Tipologija		2.01 Znanstvena monografija
2.	COBISS ID	36599557	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Plinski odvodnik s kovinskim ohišjem za visokotokovne udare
		ANG	Discharge tube with a metal body for high-current surges
			Tehnični problem je konstrukcijska rešitev plinskega odvodnika, ki bo zasnovan na kovinskem ohišju s funkcijo zunanje elektrode v kombinaciji z zaščitnim elementom za grafitne nanose, ki morajo biti tako oblikovani, da omogočajo optimalno hitrost odziva plinskega odvodnika ob prekomernem

	Opis	zvišanju napetosti. Oblika zaščitnega elementa mora biti taka, da ob nastanku obloka v notranjosti plinskega odvodnika ščiti površino izolirnega elementa od par materiala, prednostno bakra iz katerega je narejeno ohišje, oz zunanja elektroda. Pri segrevanju, ki nastane zaradi gorenja obloka se namreč baker prične relativno hitro taliti in izparevati, kar lahko povzroči hude termične poškodbe na zunanji elektrodi v notranjosti plinskega odvodnika. Pri tem pa izparjeni material lahko povzroči nastanek tanke prevodne plasti na izolirnih elementih, kar vpliva na znižanje omske upornosti med elektrodama. Vse to lahko vpliva na spremembo vžignih napetosti in s tem na samo uporabnost plinskega odvodnika. Z namenom izboljšanja visokotemperaturne obstojnosti notranjosti zunanje elektrode je potrebno narediti ščit iz materialov, ki imajo dobro odpornost proti visokim temperaturam, poleg tega pa so tudi dobri prevodniki električnega toka. Značilna materiala sta molibden ali volfram-baker, kjer je delež volframa vsaj 10 %. Ščit mora pokriti vsaj najbolj obremenjene dele zunanje elektrode, to je predvsem del okoli konice notranjega dela sredinske elektrode, ki je prednostno prav tako iz visokotemperaturno odpornih materialov (molibden ali volfram-baker). Elektrodi ločuje izolativni element, ki je prednostno iz keramike ali po kemijskih lastnostih podobnega materiala. Nanos grafitnih sledi naj bo na enem ali obeh izolirnih elementih, pri čemer naj oblika grafitnih sledi omogoča ustrezno hitrost odziva plinskega odvodnika na naraščajočo prenapetost. To je pomembno predvsem pri hitrem naraščanju napetosti, ki je običajno velikostnega reda 109 V/s ali več. S hitrostjo odziva plinskega odvodnika je opredeljena dinamična vžigna napetost, ki je vedno višja od vžigne napetosti pri počasnem naraščanju napetosti (npr.: 100 V/s). Z nanosom grafitnih sledi na izolirni element se lahko zniža dinamična vžigna napetost. S tem se poveča zaščitni nivo prenapetostne zaščite saj je najvišja možna napetost na plinskem odvodniku s hitrim odzivom nižja kot v primeru plinskega odvodnika s počasnim odzivom. Te dinamične vžigne napetosti pri plinskih odvodnikih za visokotokovne udare morajo običajno biti nižje od 1500 V. The technical problem is a constructional solution to a gas discharge tube configured on a metal body and having a function of an external electrode in combination with a protecting element for graphite coatings, which must be shaped in a way to allow optimum reaction of a gas discharge tube in case of an excess voltage increase. The shape of a protecting element must be such to provide protection of an insulating element in case of arc formation in the interior of the gas discharge tube against material vapours, preferably copper, of which the body and the external electrode are made of. Heating induced by arc burn causes a relatively rapid melting and evaporation of copper, which may cause severe thermal damages on the external electrode in the interior of the gas discharge tube. The evaporated material may cause formation of a thin conductive layer on insulating elements, which results in reduced ohmic resistance between the two electrodes. All that can have influence on the change of ignition voltages and consequently on the applicability of a gas discharge tube. In order to improve high-temperature resistance of the interior of the external electrode, a shield of materials must be produced, which have good resistance to high temperatures and are good electric current conductors. Typical materials are molybdenum and tungsten-copper, where the share of tungsten is at least 10 %. The shield must cover at least the most heavily burdened parts of the external electrode, i. e. especially the area around the peak of the internal part of the central electrode, which preferably also consists of high-temperature resistant materials (molybdenum or tungsten-copper). The electrodes are separated by an insulating element preferably of ceramics or a material having similar chemical properties. Graphite paths should be applied on one or both insulating elements, wherein the shape of graphite paths should be such to allow an adequately rapid reaction of the gas discharge tube to increasing overvoltage. This is important especially in
--	------	--

		case of a rapid increase in voltage, which is normally of an order of magnitude of 109 V/s or more. The speed of reaction of a gas discharge tube defines a dynamic ignition voltage, which is always higher than the ignition voltage in case of a slow increase in voltage (e. g. 100 V/s). Application of graphite paths onto an insulating element can reduce the dynamic ignition voltage thus increasing the protection level of overvoltage protection, as the highest possible voltage on a gas discharge tube with a rapid reaction is lower than in case of a gas discharge tube with a slow reaction. These dynamic ignition voltages in gas discharge tubes for high-current surges must normally lie below 1500 V.
	Šifra	F.33 Patent v Sloveniji
	Objavljeno v	Urad Republike Slovenije za intelektualno lastnino; 2012; 15 f.; Avtorji / Authors: Rozman Robert
	Tipologija	2.24 Patent
3.	COBISS ID	12738587 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Rezultati teoretičnih, numeričnih in eksperimentalnih raziskav prebojev v niskotlačnih laboratorijskih, tehnološko-industrijsko usmerjenih in fuzijsko relevantnih razelektrivah
		ANG Results of theoretical, numerical and experimental investigations of low-pressure laboratory, technologi oriented and fusion relevant discharges
	Opis	SLO Poročilo je nastalo v sklopu povezovanja inter- in multi-disciplinarnega strokovnega znanja in izkušenj na področju prenapetostnih zaščit, pridobljenih v zadnjih nekaj letih. Združeno je v enem samem dokument in je namenjeno za prihodnjo uporabo za študente in strokovnjake, ki se zanimajo in ukvarjajo s temi vprašanji. Vidiki v zvezi z električnimi vezji, plazma-material interakcije, matematična teorija, numerično modeliranje in simulacije, itd, do nekaterih pomembnih temeljnih načel, ki zadevajo tako stacionarne in pulzne razelektritve, ki so vključeni v vsestransko »virtualno eksperimentalno razelektritveno napravo« ('virtual-experimental discharge-device VEDD). Takšna virtualna naprava bo zgrajena v obliki niza kinetičnih in plinskih numeričnih kod, podobno tisti, ki se trenutno razvija z našimi sodelavci iz Univerze Michigan (PTSG skupina), ampak opremljena z več fizike in diagnostike, tako da je bilo primerno za manjše dimenzije z visoko gostoto impulza plazme. Ta dokument je prvi osnutek monografije, v katero se ta dokument je vključuje (kot je bilo že dogovorjeno z npr prof Osmokrovic in njegovo skupino iz Beograda), ki bo še nadgrajen v smislu besedila in oblikovanja. Objavljeni bo pred koncem tega projekta. Neobjavljeno gradivo predstavljeno v tem poročilu je trenutno sestavljena iz nekaterih vprašanj, ki so bile preiskane med tem projektom.
		ANG This manuscript is intended to integrate the inter- and multi-disciplinary knowledge and expertise, gained during last several years, in one single document to be of future use for both students and experts interested and/or involved in these issues. Aspects regarding, e.g., electrical circuits, plasma-material-field-gas interactions, mathematical theory, numerical modelling and simulations, e.t.c., up to the level of some relevant basic principles, relevant to both stationary and pulsed discharges, will be embedded in a versatile "virtual-experimental discharge-device" (VEDD). Such a virtual device will be built in the form of a suite of kinetic and fluid numerical codes, similar to those which we are currently developing with our collaborators from Michigan University (PTSG-group) but "equipped" with more physics and diagnostics, that has been found appropriate for small-scale high density pulsed plasmas. Present document is a first draft of a monography into which this document has to arise (as already has been agreed with e.g., Prof Osmokrovic and his group from Belgrade) to be still further articulated, written and formatted and published before the end of present project. Unpublished material presented here currently consists

		of a relatively small initial number of particular issues, that has been investigated during the present project.
Šifra	F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj
Objavljeno v	Fakulteta za strojništvo; 2013; 77 f.; Avtorji / Authors: Bizjak Martin, Benda Janez, Breclj Franc, Jelić Nikola, Kos Leon, Nemanič Vincenc, Perme Jožef, Pirih Andrej, Pregelj Andrej, Rozman Robert, Štagoj Aleš, Tavčar Alojz, Zajec Bojan, Žumer Marko	
Tipologija	2.13	Elaborat, predštudija, študija

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁷

- [1] KREK, Janez, JELIĆ, Nikola, KOS, Leon, DUHOVNIK, Jože. PEG-PIC and PEG-TC simulation codes : a suite of plasma engineering R&D software. Ljubljana: Faculty of Mechanical Engineering, LECAD Laboratory, 2012. <http://lecad.si/~krek/PEG-SW/PEG-SW-report-2012.pdf>. [COBISS.SI-ID 12612635]
- [2] KOS, Leon, JELIĆ, Nikola. Computational aspects of simulations of early stages of a Townsend discharge. V: 30th International Conference on Phenomena in Ionized Gases (ICPIG), Conference. Belfast: Queen's University, cop. 2011, str. [C10297-1-C10297-4], ilustr. http://mpserver.pst.qub.ac.uk/sites/icpig2011/297_C10_Kos.pdf. [COBISS.SI-ID 11983899]
- [3] JELIĆ, Nikola, KOS, Leon, KOVAČIČ, Jernej, GYERGYEK, Tomaž. Towards optimisation of gas discharge tubes. V: 47th International Conference MIDE M September 28 - September 30, 2011, Proceedings. Ljubljana: MIDE M, 2011, str. 119-124, COBISS.SI-ID 8654420
- [4] KOVAČIČ, Jernej, GYERGYEK, Tomaž, JELIĆ, Nikola, KOS, Leon. Particle-in-cell simulation approach to gas discharge tube study. V: 47th MIDE M, September 28 - September 30, 2011, Proceedings. Ljubljana: MIDE M, 2011, str. 125-130, ilustr. [COBISS.SI-ID 8654676]
- [5] NEMANIČ, Vincenc, ŽUMER, Marko, ZAJEC, Bojan, ROZMAN, Robert. Determination of gas composition in gas surge arrestors. V: Workshop on Measurement Characteristics and Use of Quadrupole Mass Spectrometers for Vacuum Applications, Bled, Slovenia, April 10-13, 2012. ŠETINA, Janez (ur.), JOUSTEN, Karl (ur.). Book of abstracts. [S. l.: s. n.], 2012, str. 30. [COBISS.SI-ID 25909031]
- [6] PIRIH, Andrej, CERGOJ, Mirjam, BERNIK, Slavko, SODEC, Jože, TAVČAR, Alojz, HARIŠ, Mitja. A high-current surge generator 8/20 [mu]s for testing ZnO varistors and SPDs to 100 kA. V: 48th MIDE M, September 19 - September 21, 2012, Otočec, Slovenia. BELAVIČ, Darko (ur.), ŠORLI, Iztok (ur.). Proceedings. Ljubljana: MIDE M - Society for Microelectronics, Electronic Components and Materials, 2012, str. 303-308. [COBISS.SI-ID 26137383]

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Posebnost projekta MINIGDT je integracija znanja ter znanstvenih metod na področju fizike plinov, atomov, trdne snovi, plazme, diagnostično-merilnih metod, teorije vezij, numeričnega modeliranja, programiranja in računalniške simulacije, ki se razvijajo in uporabljajo na različnih področjih, vendar niso dovolj povezane med seboj ter niti z na videz preprostim elementom, kot sta dve elektrodi zaprti v nekem ohišju (kar je v bistvu naš plinski odvodnik). Vendar se je izkazalo, da sta ti dve elektrodi zelo zanimivi za naše tehnološke namene in za znanost, ki se ukvarja z proizvodnjo radioizotopov, nevtronov, elektromagnetnega sevanja in termonuklearne fuzije. Poleg domačih strokovnjakov smo potrebovali in tudi pritegnili pozornost kolegov s teh področjih, tako iz Slovenije kot iz tujine (ITCP Trst, Univerza v Beogradu, Innsbrucku in Michiganu) ter dosegli rezultate, ki jih bodo uporabili na svojih področjih. Rezultati so hkrati na voljo v navidezno čisto neodvisnih področjih. Kot primere empirično podprtih rezultatov znanstvenega pomena navajamo razvoj izjemno natančne kalibracije masnega spektrometra ter testnih postopkov, empirične osnove za uvajanje uporabe grafenov v razelektritvenih napravah, ugotovljene povezave med mikrostrukturno in nanostrukturno materialov s fizikalnimi procesi med prebojem, v relaksaciji in v mirovanju, pridobitev znanja o nelinearnih električnih vezjih

sestavljenih iz raznorodnih elementov kot so hibridne kombinacije varistorjev in plazemskih naprav, ter uvajanje konceptov večceličnih in faznih razelektritev. Teoretično modeliranje in simulacije ter razvoj posebnih modulov za spremljanje časovnega poteka prebojev v simulacijah s treecode metodo, ki je predlagano s strani Plasma Theory and Simulation Group PTSG, je čisto nova veja v simulacijskem pristopu, ki ima široko perspektivo na različnih področjih kot so raziskave plazme kristalizacij, generatorjev EM valov. Teoretično modeliranje in simulacije z ionizacijskega fronta pa so čisto nov pristop uporabe kinetičnih simulacij na področju plazem visokih gostot, kjer se praviloma uporabljajo manj zahtevni fluidni modeli, v katerih je velik del fizike vstavljen fenomenološko. Ker je to tudi razlog, da je obnašanje marsikaterega fundamentalnega pojava opaženega v eksperimentih (filamentacija, kolaps, karakteristični časi, selforganizacija) nemogoče reproducirati v simulacijah, novih pa ne napovedati, smo začeli izpopolnjevanje kinetičnih modelov in numeričnih algoritmov za numerične simulacije prostorsko-časovnega poteka razvoja kinetičnih in elektrodinamskih količin v plazemskih napravah visoke gostote. S tem smo naredili velik vpliv na skupino v Michiganu, ki so podprli 3mesečno bivanje enega od naših raziskovalcev (Janez Krek 2013) s ciljem nadaljevanja dela tako na treecode kot na programski opremi XOOPIC ter priprave rezultatov za nadaljnje publiciranje. V tem kontekstu je treba omeniti da so se nekateri sodelavci izven projektne skupine, ki jih je pritegnil ta projekt že odločili za nadaljnje izpopolnjevanje na tem področju. Janez Krek, univ.dipl.inž. bo delal podiplomsko tezo, »Aplikacija numeričnih metod in računalniških simulacij za določanje pogojev pojava navidezne katode v plinskih diodah ter karakterizacijo pri velikih emisijskih tokovih«, medtem ko dr. Jernej Kovačič, že izvaja projekt z naslovom »Določitev računskih okvirjev za obravnavo plinskih razelektritev na primeru prenapetostnih plinskih odvodnikov« financiran s strani Ministrstva za izobraževanje, znanost in šport za »Spodbujanje raziskovalcev na začetku kariere« od 1.12.2013. Treba je tudi omeniti, da so bilateralne pogodbe z Zavodom za fiziko tehničnih fakultet Univerze v Beogradu, z »Multidisciplinary Laboratory (MLAB) of the Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, ITCP« iz Italije, in s skupino za teoretično fiziko plazme Univerze v Innsbrucku tudi rezultat tega projekta, ki bo lahko velikega pomena za nadaljnji razvoj znanosti.

ANG

Specialty of the MINIGDT project is the integration of knowledge and scientific methods in the physics of gases, atoms, solids, plasma, diagnostic-measurement methods, circuit theory, numerical modelling, programming and computer simulations that are developed and used in various fields, but not sufficiently related even for the seemingly simple elements, such as two electrodes sealed in a housing (which is in fact our GDT). However, it turned out that two electrodes are very interesting for our purposes and for the technological science that deals with the production of radioisotopes, neutron, electromagnetic radiation and thermonuclear fusion. In addition to local experts we needed and also attract the attention of colleagues in these areas, both in Slovenia and abroad (ITCP Trieste, University of Belgrade, Innsbruck and Michigan), and achieve results that will be used in their respective fields. The results are also available in seemingly quite independent areas such as development of highly accurate calibration of the mass spectrometer and testing procedures, empirical data for graphene usages in spark devices, found links between material micro- and nano-structure with processes during the gas breakdown in relaxation and rest, the development of nonlinear electrical circuits such as varistors and plasma devices, and concepts of multicellular and phase discharges. Theoretical modeling and simulation, via our specific modules for monitoring the breakdown in simulations with treecode method, which is proposed by the Plasma Theory and Simulation Group (PTSG) is a brand new way in the simulation approach, with perspective in diverse fields such as plasma crystallization, EM wave generators. Modeling and simulations of ionization fronts represent a new approach in usage of kinetic simulations in high density plasma-research, unlike fluid models where a large part of physics is by rule phenomenologically implemented. Since this is also the reason that the behaviour of many fundamental phenomena observed in the experiments (filamentation, collapse, characteristic times, self-organization) is impossible to reproduce in simulations, we started developing kinetic models and numerical algorithms for numerical simulations of space-time dependent kinetic and electro-dynamic quantities of high-density plasma devices. With this, we have made an important impact to the group in Michigan who supported 3 month stay for one of our researchers (Janez Krek 2013) with the aim of further work on both the treecode such as XOOPIC code and preparation of results for future publishing. In this context, it should be noted that some colleagues outside the project team, which this project has attracted, has decided to further work in this area. Ing. Janez Krek will be doing a master's thesis, "The application of

numerical methods and computer simulations to determine the conditions for the effect of virtual cathode in gas diodes and characterization at high emission currents", while Dr. Jernej Kovačič has started to work on a project entitled "Establishment of computational frameworks for dealing with gas discharges for surge arresters" funded by the Ministry of Education, Science and Sport under the "Promotion of early-career research" programme. It should also be noted that we collaborate under the bilateral contract with the Institute of Physics of technical faculties of the University of Belgrade, and with a "multidisciplinary Laboratory (MLAB) of the Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, ITCP " from Italy, and with a group of theoretical plasma physics at the University of Innsbruck as a result of this project, which will be of great importance for the further development of science.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Projekt je pozitivno vplival na sodelovanje industrijskega okolja z znanstvenim, ki je v Sloveniji pogosto zanemarjen. Pričakujemo, da bo sodelovanje prešlo v dolgoročno, saj so določene akademske raziskave pomagale k industrijskemu napredku pri izdelavi plinskih odvodnikov. To pa je še kako pomembno pri razvoju izdelkov z visoko dodano vrednostjo. Pri plinskih odvodnikih je prav visoka dodana vrednost pomembna prednost, saj na svetu obstaja le nekaj proizvajalcev kvalitetnih energetskih plinskih odvodnikov, ki so sposobni zagotoviti najvišjo kvaliteto. Poleg visoke dodane vrednosti pa moramo omeniti tudi močno razširjeno paleto izdelkov v času trajanja projekta, ki ima velik tržni domet. Razlogi so vsaj trije: cenovna konkurenčnost, ki je posledica miniaturizacije, miniaturizacija je sama po sebi tudi tržna prednost in pa kvaliteta ki pogosto presega vodilne konkurenčne proizvajalce. Nikakor pa ne smemo mimo novosti v svetu prenapetostnih zaščit in sicer faznega plinskega odvodnika, ki bo zanesljivo premešal karte na področju, kjer zaščite temeljijo na osnovi zračnih iskrišč in varistorske tehnologije. Poleg opisanega napredka na področju plinskih odvodnikov, pa je pomemben podatek tudi, da je matično podjetje Iskra Zaščite že izvedlo zamenjavo tujih energetskih plinskih odvodnikov z domačimi. Temu je sledilo tudi eno nemško podjetje, ki ima proizvodnjo zaščit v Sloveniji. Kaže pa se tudi resen interes drugih tujih proizvajalcev zaščit, ki vidijo veliko prednost pred konkurenco tudi v tem, da smo edini evropski proizvajalec energetskih plinskih odvodnikov.

Vsa zgoraj naštetá dejstva in obeti pa so temelj za »spin off« Plinskih odvodnikov, ki se bo ustanovil v roku enega leta. Povečevanje prodajnega deleža bo seveda pozitivno vplivalo na nova delovna mesta v proizvodnem in razvojnem delu z visoko dodano vrednostjo. Prav razvojni del pa bo motor za napredek novega podjetja, ki ima že v tem trenutku visok nivo znanja. Visok nivo znanja in povezave z akademskimi institucijami bodo v podporo pri vzgajanju novih visokokvalificiranih oseb. To bo bodoči temelj podjetja, ki bo zadolžen za razvoj novih produktov s področja plinskih odvodnikov. Kljub potencialu, ki se odpira na področju plinskih odvodnikov, se dobro zavedamo, da na prihodnost vpliva veliko število dejavnikov, zato bo vlaganje v nove razvojne kadre tudi investicija v nastajanje novih visokotehnoloških področij, ki niso direktno povezana s plinskimi odvodniki.

Zaradi visokega znanstvenega nivoja, kot tudi povezovanja med različnimi institucijami bo delo pri razvoju plinskih odvodnikov ponujalo odlično priložnost za začetek raziskovalne kariere novim kadrom, kot tudi odskočno desko za naprej.

ANG

The project has a positive impact on industrial co-operation with the scientific one, which is often neglected in Slovenia. We hope that it will grow into a long-term co-operation, because certain academic researches helped the industrial progress for manufacture of the gas discharge tubes. This co-operation has a large impact on the development of products with high added value. World wide there are only a few producers of high-quality energetics gas discharge tubes, so that is way the high added value is an important advantage in the manufacturing of the GDTs. In addition to high added value, we should also mention the widespread range of products in the duration of the project, which has high market opportunities. The main reasons are at least three: price competitiveness as a result of miniaturization, the miniaturization itself is a market advantage as well as the quality which often exceeds the leading competitive producers. Anyhow, we must not overlook innovations in the world of surge protection through the phase GDT, which will mix the cards on the field where protection is based on the air spark gap and varistor technology. In addition to the described progress in the field of gas discharge

tubes, it is also an important indication that the company Iskra Zaščite has already implemented the new products where the foreign energetic gas discharge tubes are replaced with their ones. This was followed by a German company, which is manufacturing protections in Slovenia. A serious interest of other foreign manufacturers of protections shows a great advantage in the only European manufacturer of energetic gas discharge tubes which puts Iskra Zaščite ahead of the competition.

All of the facts above and perspectives are the basis for the "spin-off" gas discharge tubes, which will be set up within a year. Increasing the share of sales will naturally have a positive impact on jobs in the manufacturing and development department with a high added value. Development department will be the engine of the new company in progress, which already has a high level of knowledge. High level of knowledge and links with academic institutions will support the nurturing of new highly qualified personnel.

This will be a foundation for the future of the company, which will be responsible for the development of new products in the field of gas discharge tubes. Despite new potential, opened in the field of gas discharge tubes, we are well aware that a large number of factors have an impact on the future, therefore investment in new development personnel will also be an investment resulting in the creation of new high-tech areas that are not directly associated with GDTs. Due to the high scientific level, as well as the integration between the various institutions working in the field of the development of GDTs will offer the perfect opportunity to start a career in research as well as it being a springboard for the future.

10. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!
Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

Cilj		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti

F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen

	Uporaba rezultatov	V celoti
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE

	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanju naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

Komentar

--

11.Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!
Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	☐	☐	☒	☐	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	☐	☐	☐	☒	
G.01.03.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	☐	☐	☐	☒	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	☐	☐	☐	☒	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	☐	☐	☐	☒	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	☐	☐	☐	☒	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	☐	☐	☐	☒	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	☐	☐	☐	☒	
G.02.07.	Večji delež izvoza	☐	☐	☐	☒	
G.02.08.	Povečanje dobička	☐	☐	☐	☒	
G.02.09.	Nova delovna mesta	☐	☐	☒	☐	

G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih					
G.02.11.	Nov investicijski zagon					
G.02.12.	Drugo:					
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti					
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti					
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij					
G.03.04.	Drugo:					
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja					
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja					
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave					
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti					
G.04.05.	Razvoj civilne družbe					
G.04.06.	Drugo:					
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete					
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj					
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura					
G.07.02.	Prometna infrastruktura					
G.07.03.	Energetska infrastruktura					
G.07.04.	Drugo:					
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva					
G.09.	Drugo:					

Komentar

--

12.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹¹

	Sofinancer		
1.	Naziv	Iskra Zaščite d.o.o.	
	Naslov	Stegne 35, 1521 Ljubljana	
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	978.941,03	EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	100	%

Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja			Šifra
	1.	Izdelava N-PE plinskega odvodnika	F.06
	2.	Izdelava ploščatega plinskega odvodnika (debeline 3 mm)	F.06
	3.	Izdelava prototipa večceličnega faznega plinskega odvodnika	F.08
	4.	Raziskava vpliva grafitnih črtic na vžig in »dark efekta« plinskega odvodnika pri dolgem času neaktivnosti plinskega odvodnika	F.02
	5.	Raziskava: Vžigna napetost plinskega prenapetostnega odvodnika pri napetostnem sunku	F.02
Komentar		Na osnovi teoretičnih in eksperimentalnih raziskav prebojev, analiz na področju uporabe različnih plinov in materialov pri izdelavi plinskih odvodnikov smo uspešno prišli do izdelka primerne za serijsko izdelavo. Tako sta v letu 2012 prešla v serijsko proizvodnjo v podjetju Iskra Zaščite dva nova produkta in sicer t.i. N-PE plinski odvodnik in ploščati plinski odvodnik. Oba odlikuje predvsem majhna velikost; prvi (N-PE) ima najmanjši volumen v primerjavi s konkurenco, medtem ko je druga izvedba (ploščati plinski odvodnik) glede na zmogljivosti najtanjša v primerjavi s konkurenco. V obeh primerih smo poskrbeli tudi za patentno zaščito. Razvili smo tudi delujoč prototip popolnoma novega koncepta zaščite med faznim in nevtralnimi vodnikom na osnovi večceličnega plinskega odvodnika. Takšna zaščita bo pomenila nov mejnik saj bo hkrati odpravila številne pomanjkljivosti trenutnih izvedb zračnih iskrišč in varistorske tehnologije. Glavni prednosti v primerjavi z iskrišči sta v tem da je plinski odvodnik hermetično zaprt in ne povzroča neželenega izpuha vročega zraka, poleg tega pa povzroča bistveno manjše motnje v omrežni napetosti saj pride do ugašanja takoj po prenapetosti zato ni sledilnih omrežnih tokov skozi zaščito. Pred varistorsko tehnologijo pa je pomembna prednost predvsem v tem da za požarno varnost ne potrebujemo termičnega odklopa. Prvi problem je bil višja prebojna napetost v odvodnikih, izdelanih na industrijski način od tistih, izdelanih v laboratorijskih pogojih, pri isti geometriji in isti sestavi polnilnega plina. Študija je odpravila vzrok za razliko v sestavi plinov, ki se je nanašala vedno na presežek vodika v maloserijskih odvodnikih. Drugi problem je spontano dviganje prebojne napetosti v času pripravljenosti (dark efekt). Izkazalo se je, da izjemno ostri robovi grafitne elektrode (grafeni debeline nekaj atomskih plasti) delujejo kot vir elektronov, ki pod vplivom pozitivne napetosti izstopajo proti kovinski anodi. Pri obratni polariteti elektronov ne zaznamo.	
Ocena		Seznajeni smo potekom del in menimo, da je delo skozi celotni projekt potekalo po planu. Na osnovi teoretičnih in eksperimentalnih raziskav prebojev, analiz na področju uporabe različnih plinov in materialov pri izdelavi plinskih odvodnikov smo uspešno prišli do izdelka primerne za serijsko izdelavo. Tako sta v letu 2012 prešla v serijsko proizvodnjo v podjetju Iskra Zaščite dva nova produkta in sicer t.i. N-PE plinski odvodnik in ploščati plinski odvodnik. Oba odlikuje predvsem majhna velikost; prvi (N-PE) ima najmanjši volumen v primerjavi s konkurenco, medtem ko je druga izvedba (ploščati plinski odvodnik) glede na zmogljivosti najtanjša v primerjavi s konkurenco. Pripravljeni pa so tudi temelji za serijsko proizvodnjo prvega faznega plinskega odvodnika, ki bo pomenil nov koncept zaščite.	
2.	Naziv	VARSI d.o.o.	

Naslov	VARSI d.o.o., Stegne 35, 1521 Ljubljana		
Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	39.100,10	EUR	
Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	5	%	
Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra	
	1.	študija na varistorjih v smeri ugotavljanja njihove dinamične upornosti, za napoved preostale napetosti s pomočjo modela	F.07
	2.	določitev elektro mehanskih lastnosti generatorja na osnovi dinamične impedance bremena	F.21
	3.	Študija vzdržljivosti varistorjev v skladu novih zahtev po standardu IEC 61643-11 in EN 50039-11:2013	F.01
	4.		
	5.		
Komentar	Dinamično impedanco lahko dokaj dobro simuliramo s preprosto potenčno funkcijo. Če torej poznamo impedanco tokovne poti, po kateri bo tekel udarni tok ter k temu dodamo še dinamično impedanco varistorja, lahko na tej osnovi dokaj točno napovemo preostalo napetost, ki jo bo čutila naprava, inštalirana takoj za zaščitnim elementom. Kot stranski produkt je poznavanje dinamične impedance izjemno pomembno in nepogrešljivo tudi takrat, ko konstruiramo udarne generatorje kot simulatorje udarov strele. Iz poznavanja dinamične impedance bremena na splošno je možno določiti notranjo impedanco generatorja, ta pa nato naprej narekuje ostale zahteve, kot je celotna konstrukcija takšnega generatorja v elektro mehanskem smislu in izbira visoko napetostnih kondenzatorjev, katerih polnilna napetost mora biti sposobna injiciranja dovolj velikega toka skozi breme. Poleg tega je bila dodatna aktivnost posvečena povsem novim zahtevam standarda IEC 61643-11 v smislu povečanja vzdržljivosti varistorjev pri izmeničnih pogojih in standarda EN 50539-11:2013 v smislu povečanja vzdržljivosti pri enosmernih pogojih (specifično za področje fotovoltaike)		
Ocena	Z dosedanjim potekom del smo seznanjeni in menimo, da je delo v letu 2012 potekalo po planu. Izdelan je bil model, ki dobro napoveduje preostalo napetost varistorja in s tem pomaga izboljšati eno ključnih lastnosti varistorja. Poleg tega smo na osnovi dinamične impedance dobili ustrezne parametre v elektro mehanskem smislu pri konstruiranju novega generatorja za preizkuse varistorjev, kot tudi kombinacije varistorja z plinskim odvodnikom. V smislu povečanja vzdržljivosti varistorskih materialov so se pokazali prvi rezultati ter s tem tudi nadaljnje smernice za optimalno izbiro ZnO materialov, ustreznih dopantov ter temu prilagojenih tehnoloških procesov.		

13. Izjemni dosežek v letu 2013¹²

13.1. Izjemni znanstveni dosežek

V reviji Journal of Applied Physics je bil objavljen članek, ki prikazuje enega redkih primerov uporabe hladne emisije elektronov v konkretni elektronski napravi. Študija smo se lotili na sledeč način: sprva smo izvedli serijo večtedenskih meritev toka hladne emisije v visokem vakuumu na testnem odvodniku, v katerega lahko naknadno natočimo pline z znano sestavo. V

nadaljevanju smo izmerili U-I diagram in ga ekstrapolirali v območje napetosti, ko je tok v točki prebojne napetosti lahko odločilen za preboj. Pod vplivom pozitivne napetosti elektroni izstopajo proti kovinski anodi. Pri obratni polariteti odvodnika elektronov ne zaznamo. Izkazalo se je, da izjemno ostri robovi grafitne elektrode, ki jo dejansko sestavljajo grafitne ploščice debeline nekaj atomskih plasti, delujejo kot vir elektronov. Pokazali smo tudi, da je stabilna hladna emisija elektronov v visokem vakuumu v korelaciji s stabilno vžigno napetostjo plinskega odvodnika.

Priloga: Izjemni znanstveni dosežek.pdf

13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

V letu 2012 sta prešla v serijsko proizvodnjo v podjetju Iskra Zaščite dva nova produkta in sicer t.i. N-PE plinski odvodnik in ploščati plinski odvodnik. Oba odlikuje predvsem majhna velikost v primerjavi s konkurenco. N-PE plinski odvodnik ima kovinsko telo, ki je pri konkurenci običajno keramično. Pri tokovni zmogljivosti $I_{imp} = 100$ kA je volumen zmanjšan za približno 3-krat glede na konkurenčne izdelke z največjim tržnim deležem. Ploščati plinski odvodnik z debelino približno 3 mm ima tokovne zmogljivosti do $I_{imp} = 25$ kA in je tanjši za približno 50 % od najpomembnejše konkurence. Pri obeh izdelkih smo že vložili skupaj tri patentne prijave. Razvili smo tudi delujoč prototip popolnoma novega koncepta zaščite med faznim in nevtralnim vodnikom na osnovi večceličnega plinskega odvodnika. Takšna zaščita bo pomenila nov mejnik saj bo hkrati odpravila številne pomanjkljivosti trenutnih izvedb zračnih iskrišč in varistorske tehnologije. (priloga: Izjemni družbeno-ekonomski dosežek.pdf)

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

ZAVOD TC SEMTO Tehnološki center
za sklope, elemente, materiale,
tehnologije in opremo za
elektrotehniko

Nikola Jelić

ŽIG

Kraj in datum: Ljubljana 15.4.2014

Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2014/20

¹ Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)

² Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

⁴ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v

predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁵ Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'. [Nazaj](#)

⁶ Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'.

Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.

Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

⁷ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ni voden v sistemu COBISS). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja [Nazaj](#)

⁹ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

¹⁰ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

¹¹ Rubrike izpolnite / prepisite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)

¹² Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2013 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priponko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2014 v1.03

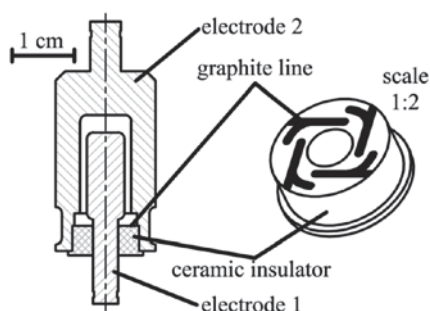
E9-94-B7-BD-2E-08-39-BC-B5-64-74-0A-98-6D-AE-F2-D0-34-70-69

Priloga 1

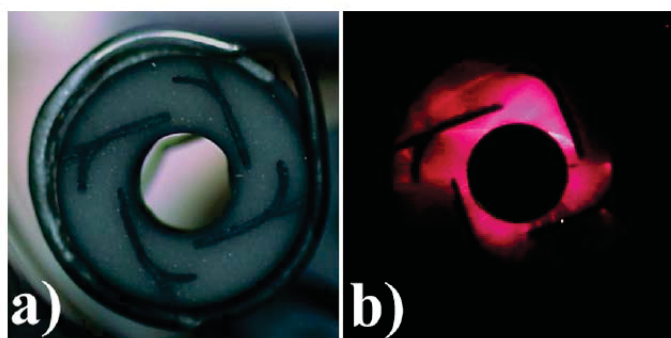
Izboljšava zanesljivosti prebojne napetosti v plinskih odvodnikih za prenapetostno zaščito s pomočjo električnega polja na ogljikovi površini

Obravnavan je bil plinski odvodnik, ki se uporablja v nizkonapetostnih omrežjih za zaščito pred prenapetostnimi razelektritvami, kot je na primer udar strele. Eden pomembnejših parametrov plinskega odvodnika je vžigna napetost pri kateri pride do preboja. Iz patentov je razvidno, da je stabilno vžigno napetost mogoče doseči s pomožnimi elektrodami v obliki grafitnega nanosa na površni izolatorja. Takšen način se uporablja že desetletja vendar pa fizikalno ozadje ni bilo nikoli pojasnjeno.

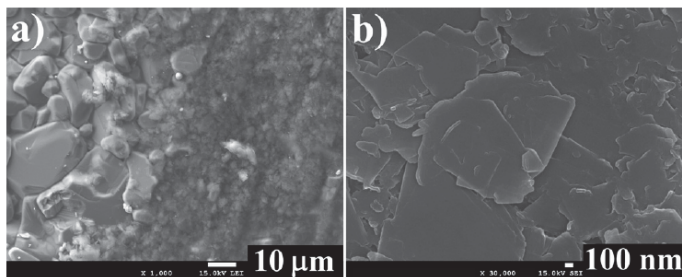
V reviji Journal of Applied Physics je bil objavljen članek, ki prikazuje enega redkih primerov uporabe hladne emisije elektronov v konkretni elektronski napravi. Študija smo se lotili na sledeč način: sprva smo izvedli serijo večtedenskih meritev toka hladne emisije v visokem vakuumu na testnem odvodniku, v katerega lahko naknadno natočimo pline z znano sestavo. V nadaljevanju smo izmerili $U-I$ diagram in ga ekstrapolirali v območje napetosti, ko je tok v točki prebojne napetosti lahko odločilen za preboj. Pod vplivom pozitivne napetosti elektroni izstopajo proti kovinski anodi. Pri obratni polariteti odvodnika elektronov ne zaznamo. Izkazalo se je, da izjemno ostri robovi grafitne elektrode, ki jo dejansko sestavljajo grafitne ploščice debeline nekaj atomskih plasti, delujejo kot vir elektronov. Pokazali smo tudi, da je stabilna hladna emisija elektronov v visokem vakuumu v korelaciji s stabilno vžigno napetostjo plinskega odvodnika, ki je napolnjen z mešanico čistih plinov.



Shema plinskega odvodnika uporabljenega v študiji.



Grafitni nanos kot pomožne elektrode na površni keramičnega diska (a) in hladna emisija elektronov pri napetosti 925 V v visokem vakuumu (b).



Rob med grafitno plastjo na levi strani in golo keramiko na desni strani (a) in grafitni nanos, ki ga sestavljajo grafitne ploščice (b).

Žumer, M., Zajec, B., Rozman, R., Nemanič, V. (2012) Breakdown voltage reliability improvement in gas-discharge tube surge protectors employing graphite field emitters. *J. Appl. Phys.*, **111**, 083301

Priloga 2

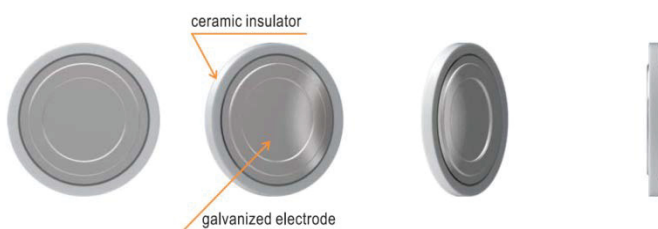
Nova serija plinskih odvodnikov

Na osnovi teoretičnih in eksperimentalnih raziskav prebojev, analiz na področju uporabe različnih plinov in materialov pri izdelavi plinskih odvodnikov smo uspešno prišli do izdelkov, ki so prišli v serijsko izdelavo. Tako sta v letu 2012 prešla v serijsko proizvodnjo v podjetju Iskra Zaščite dva nova produkta in sicer t.i. N-PE plinski odvodnik in ploščati plinski odvodnik. Oba odlikuje predvsem majhna velikost v primerjavi s konkurenco. N-PE plinski odvodnik ima kovinsko telo, ki je pri konkurenci običajno keramično. Pri tokovni zmogljivosti $I_{imp} = 100 \text{ kA}$ je volumen zmanjšan za približno 3-krat glede na konkurenčne izdelke z največjim tržnim deležem. Ploščati plinski odvodnik z debelino približno 3 mm ima tokovne zmogljivosti do $I_{imp} = 25 \text{ kA}$ in je tanjši za približno 50 % od najpomembnejše konkurence. Pri obeh izdelkih smo že vložili skupaj tri patentne prijave, ki pa še niso v celoti javno dostopne.

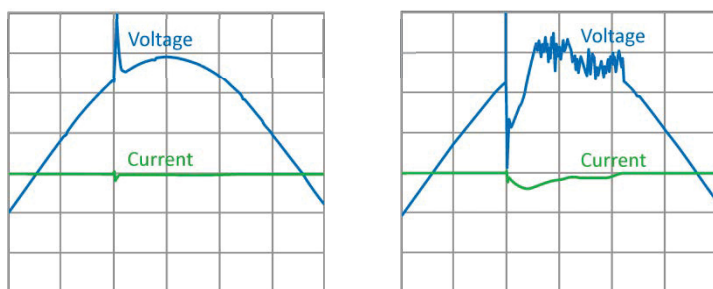
Razvili smo tudi delujoč prototip popolnoma novega koncepta zaščite med faznim in nevtralnimi vodnikom na osnovi večceličnega plinskega odvodnika. Takšna zaščita bo pomenila nov mejnik saj bo hkrati odpravila številne pomanjkljivosti trenutnih izvedb zračnih iskrišč in varistorske tehnologije. Glavni prednosti v primerjavi z iskrišči sta v tem da je plinski odvodnik hermetično zaprt in ne povzroča neželenega izpuha vročega zraka, poleg tega pa povzroča bistveno manjše motnje v omrežni napetosti saj pride do ugašanja takoj po prenapetosti zato ni sledilnih omrežnih tokov skozi zaščito. Pred varistorsko tehnologijo pa je pomembna prednost predvsem v tem da za požarno varnost ne potrebujemo termičnega odklopa.



Miniaturizacija N-PE plinskih odvodnikov.



Ploščati plinski odvodnik.



Primerjava delovanja večceličnega plinskega odvodnika (a) in zračnega iskrišča (b) ob prenapetosti.

ROZMAN, Robert. *Plinski odvodnik s kovinskim ohišjem za visokotokovne udare : patent : SI23691 (A)*, 2012-09-28. Ljubljana: Urad Republike Slovenije za intelektualno lastnino, 2012. 15 f., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID [36599557](#)]