

ДЪЛГОСРОЧНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА УСТОЙЧИВОСТТА НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ЗАЗЕМИТЕЛИ С ЕЛЕКТРОПРОВОДИМА БЕТОННА ОБМАЗКА

Петър Петров¹, Георги Велев¹, Красимир Иванов¹, Ангел Зъбчев², Ромео Александров²

¹ Технически университет – Габрово, 5300 Габрово, petrov_p_tu@abv.bg

² Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. Настоящата статия е естествено продължение на изследванията на съвместно разработени в ТУ – Габрово и МГУ "Св. Иван Рилски" електропроводящи бетони, използвани за намаляване на съпротивлението на заземяване и електрокорозионна защита на заземителите в проблемни райони. На базата на текущи измервания на съпротивлението на заземяване за реални физически модели на такива заземители и тяхното сравняване със стойности, измерени при монтажа на образците от преди почти 5 години, са направени заключения относно устойчивостта на техните параметри във времето.

LONG TERM RESEARCH ON THE STABILITY OF PARAMETERS OF CONDUCTIVE CONCRETE ENCASED GROUNDING ELECTRODES

Petar Petrov¹, Georgi Velev¹, Krasimir Ivanov¹, Angel Zabchev², Romeo Aleksandrov²

¹ Technical University of Gabrovo, 5300 Gabrovo, petrov_p_tu@abv.bg

² University of mining and geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia

ABSTRACT. The paper presented in here is a natural sequel of the studies being done in co-operation between TU – Gabrovo and UMG "St. Ivan Rilski" for the development of conductive concretes, used for decreasing the resistance to ground and electrical corrosion protection of grounding electrodes in problematic areas. Conclusions have been made regarding the stability of grounding electrodes' parameters with time, on the base of present grounding resistance measurements for real physical models of concrete encased electrodes buried before almost 5 years and comparing the present measurements results with those measured immediately after their installation.

Въведение

Изграждането на заземителни уредби с ниско нормирано съпротивление на заземяване в райони с недопустимо високи стойности на специфичното съпротивление на почвата е несъмнено голямо предизвикателство пред проектантите. Проблемът се утежнява значително и от факта, че за осигуряване на високо ниво на електро-безопасност и гарантиране на ефективната работа на системите за мълниезащита е необходимо целогодишно, независимо от метеорологичните условия, да се поддържа съпротивление на заземяване със стойност под нормираната от стандарта за съответния енергиен обект.

Специфичното съпротивление на почвените слоеве в планински райони с камениста и пясъчлива почва се променя в зависимост от влагосъдържанието и температурата в широк диапазон – от 500 до 19000 $\Omega \cdot m$ (Adegboyega and Odeyemi, 2011; Венков и Петров, 2002).

За намаляване на разхода на метал и поддържане на устойчиви стойности на съпротивлението на заземяване, в световната практика са намерили приложение материали с голяма специфична електропроводимост за подобряване на съпротивлението на заземяване (Grounding Enhancing

Materials - GEM), които се поставят около електрода в предварително изкопани канали при хоризонталните заземители или в предварително пробити отвори в почвата при вертикалните заземители (Петров и Велев, 2007).

На територията на Технически университет – Габрово преди близо 5 години са монтирани реални физически образци на вертикални и хоризонтални заземители, положени в слой електропроводящ материал, разработен специално за целта в следствие на сътрудничество между Технически университет - Габрово и МГУ „Св. Иван Рилски“ (Петров и Велев, 2007; Велев, 2009).

Настоящият доклад има за цел да установи устойчивостта на експлоатационните параметри на монтираните физически образци на заземители, положени в електропроводящ материал, на базата на извършени измервания на съпротивлението им на заземяване и сравняването им със стойности, измерени при тяхното монтиране. Резултатите от сравнителния анализ са меродавни и относно дългосрочните качества на разработения материал за подобряване на съпротивлението на заземяване.

Тенденции при използването на материали за подобряване на съпротивлението на заземяване

Приложението на материали за подобряване на съпротивлението на заземяване е най-голямо в развитите страни – САЩ, Япония, Канада и др. В Европа приложението на такива материали е все още ограничено.

В нашата страна, нормативната уредба имаща отношение към защитното заземяване, изобщо не засяга въпроса за използване на материали за намаляване на съпротивлението на заземяване. Съществен пропуск в българската нормативна база е и липсата на какъвто и да било цялостен стандарт за оразмеряване на заземителни уредби. Някои насоки и технически предписания са посочени единствено в НАРЕДБА № 3 за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии и НАРЕДБА № 4 за мълниезащитата на сгради, външни съоръжения и открити пространства.

Някои от най-големите разработчици и производители на материали за подобряване на съпротивлението на заземяване са:

- Американско-японската компания Sankosha, която разработва и предлага на пазара подобрител за заземяване с търговската марка San-Earth M5C под формата на високо електропроводима пръст, втвърдяваща се от влагата в самата почва;
- Международната компания ERICO, предлагаща от 1992 г. прахообразен подобрител за заземяване със специфично обемно съпротивление около $10 \Omega \cdot m$ и търговска марка ERITECH GEM25A;
- Harger – Ultrafill earth;

Въпреки, че в нашата страна използването на подобрители за заземяване не е обхванато от нормативната уредба, има няколко разработки на такива материали, един от които е сертифициран и се предлага на пазара:

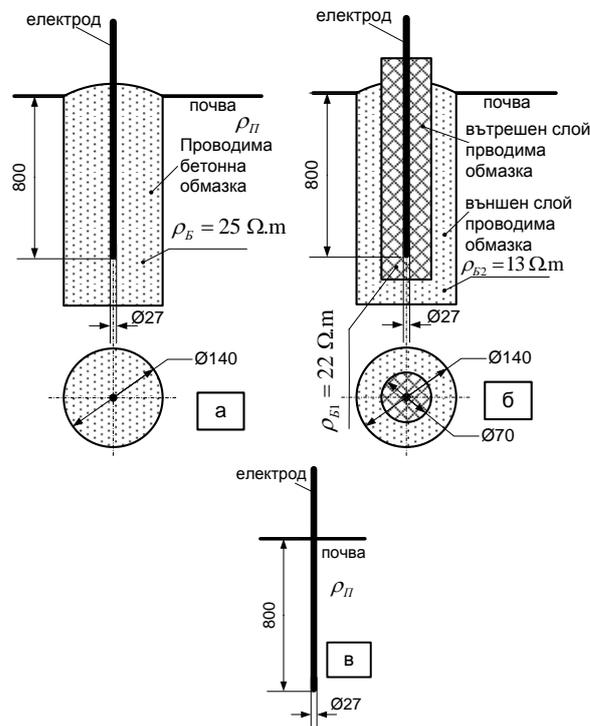
- През 2007 г. екип от ТУ – Габрово и МГУ „Св. Иван Рилски“ разработиха материал за подобряване на съпротивлението на заземяване на базата на цимент, графит и пясък, който не е сертифициран и патентован (Петров и Велев, 2007);
- Българската фирма Парадайс Електрик консулт ЕООД предлага на пазара сертифициран прахообразен подобрител за заземяване с търговската марка “Зевс”.

От направеното проучване проличава, че несъмнено използването на материали за подобряване на съпротивлението на заземяване в българската инженерна практика е целесъобразно и предстои да навлиза все повече при проектирането и изграждането на заземителни уредби на енергийни обекти в страната.

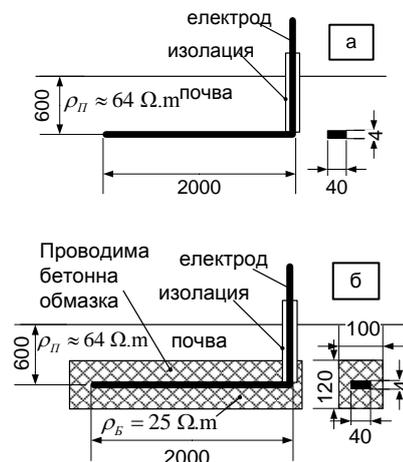
Дългосрочно изследване на параметрите на заземители положени в електропроводящ материал

Във Велев (2009) са публикувани статистически резултати от ежемесечни измервания на съпротивлението на заземяване на хоризонтални и вертикални заземители положени в един или два слоя електропроводящ бетон.

Четири години по-късно измерванията са повторени с цел да се установи устойчивостта на параметрите на заземителите, а също така и на използвания подобрител за заземяване във времето. Геометрията и параметрите на използваните физически образци съгласно Велев (2009) е представена на фиг. 1 за вертикалните заземители и на фиг. 2 за хоризонталните.



Фиг. 1. Скици на физически образци на вертикалните електроди; а) вертикален заземител с еднослойна проводима обmazка; б) вертикален заземител с двуслойна проводима обmazка; в) конвенционален вертикален заземител без обmazка



Фиг. 2. Скици на физически образци на хоризонтални заземители; а) конвенционален хоризонтален лентов заземител без обmazка; б) хоризонтален заземител с еднослойна обmazка.

Резултатите от полеви измервания на съпротивлението на заземяване за електродите от фиг. 1 и фиг. 2, обхващащи един и същ период от годината след монтажа на заземителите и съответно четири години по-късно, са представени в табл. 1.

Таблица 1

Резултати от измерванията за вертикалните заземители по дати

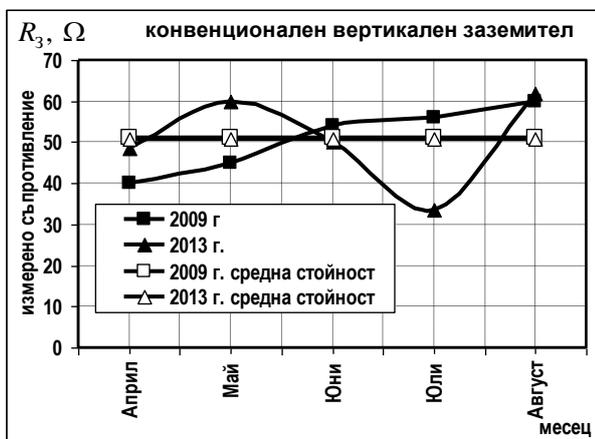
Дата	сезон	Съпротивление на заземяване			Дата	сезон	Съпротивление на заземяване		
		R_B	R_{B1}	R_{B2}			R_B	R_{B1}	R_{B2}
		Ω	Ω	Ω			Ω	Ω	Ω
28.04.09	В	40	29,5	23,5	30.04.13	В	48,5	32	23,5
29.05.09	С	45	36	29	17.05.13	С	60	49	32,5
17.06.09	С	54	38,5	35,2	06.06.13	С	50	38,5	31
21.07.09	С	56	40	36,1	10.07.13	В	33,5	31	19
19.08.09	С	59	41,5	37,8	08.08.13	С	62	60	38
средно		51	37,1	32,3	средно		50,8	42,1	28,8

Таблица 2

Резултати от измерванията за хоризонталните заземители по дати

Дата	сезон	Съпротивление на заземяване		Дата	сезон	Съпротивление на заземяване	
		R_X	R_{X1}			R_X	R_{X1}
		Ω	Ω			Ω	Ω
28.04.09	В	21	14,8	30.04.13	В	23,25	14,7
29.05.09	С	30,5	17,5	17.05.13	С	36	21
17.06.09	С	37,5	20,5	06.06.13	С	29,5	19,5
21.07.09	С	34	21,5	10.07.13	В	16,5	12
19.08.09	С	35,6	23	08.08.13	С	36	30,5
средно		31,7	19,46	средно		28,3	19,5

Информацията от табл. 1 и табл. 2 е представена за по-голяма прегледност в графичен вид и са направени съответните разсъждения:



Фиг. 3. Съпротивление на заземяване на конвенционален вертикален заземител измервано през 2009 и 2013 г.

За вертикален конвенционален заземител (съгласно фиг. 3):

- Съпротивлението на заземяване се изменя в един и същи диапазон, като през 2013 г., поради силно променливите метеорологични условия, измерените стойности през различните месеци се различават значително;

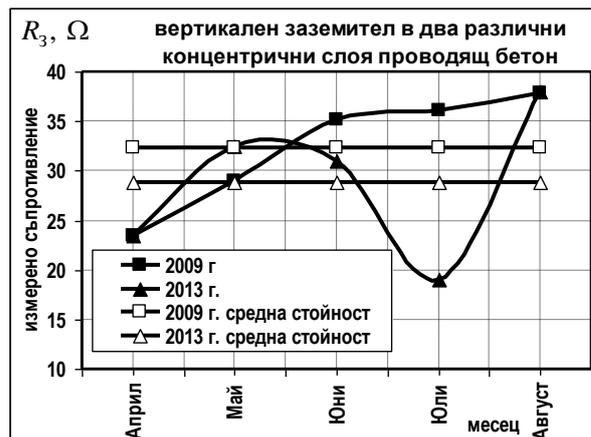
- Средната стойност на съпротивлението на заземяване през 2009 и 2013 г. приблизително съпада, което е индикация, че състоянието на заземителя не се променя с времето;



Фиг. 4. Съпротивление на заземяване на вертикален заземител, положен в един слой проводящ бетон, измервано през 2009 и 2013 г.

За вертикален заземител, положен в един слой проводящ бетон (съгласно фиг. 4):

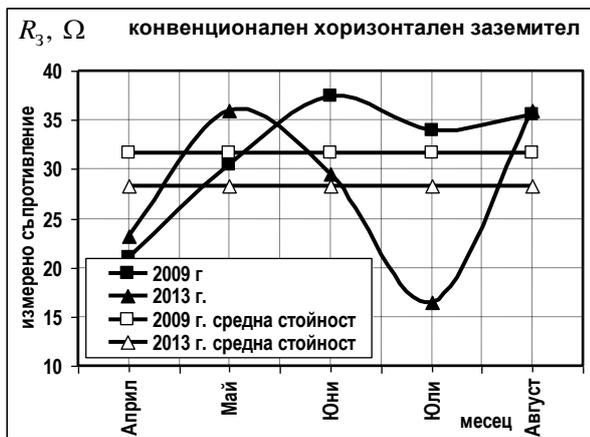
- Измерените стойности за съпротивлението на заземяване през 2013 г. са видимо по-големи от тези през 2009 г.;
- По средна стойност също се забелязва, че след 4 годишен период, съпротивлението се е увеличило средно с 5 Ω (+13,5%).



Фиг. 5. Съпротивление на заземяване на вертикален заземител, положен в два различни концентрични слоя проводящ бетон, измервано през 2009 и 2013 г.

За вертикален заземител, положен в два различни концентрични слоя проводим бетон съгласно фиг. 5:

- Поради по-голямата електропроводимост на вътрешния слой проводим бетон, контактуващ с електрода се забелязва, че съпротивлението на заземяване през 2013 г. е значително по-ниско от това измервано през 2009 г.;
- След период от четири години съпротивлението на заземителя е намаляло средно с 3,5 Ω (-10,8 %);



Фиг. 6. Съпротивление на заземяване на конвенционален хоризонтален заземител измервано през 2009 и 2013 г.

За конвенционален хоризонтален заземител (съгласно фиг. 6):

- Има тенденция към намаляване на съпротивлението на заземяване, която се дължи най-вероятно на интензивните валежи през месец юни и юли 2013 г. Освен това, цялата заземителната шина е положена на дълбочина 60 см под нивото на почвата, където изсъхването на почвения слой е по-ограничено. За сравнение, горната част на всички изследвани вертикални заземители е на нивото на земната повърхност.

За хоризонтален заземител положен в един слой проводящ бетон (съгласно фиг. 7):

- Средната стойност на съпротивлението на заземяване през 2009 и 2013 г. е приблизително една и съща. Състоянието на заземителя следователно не се променя с течение на времето.



Фиг. 7. Съпротивление на заземяване на хоризонтален заземител положен в един слой проводящ бетон, измервано през 2009 и 2013 г.

- През месец август 2013 г., съпротивлението на заземяване достига най-голямата си измерена стойност 30,5 Ω, което е с 5,5 Ω (-15,3%) по малко от стойността за конвенционалния хоризонтален заземител със същите размери.

Изводи

- При вертикалния заземител с един слой електропроводима обmazка се наблюдава влошаване на параметрите на проводимия бетон за изследвания период от 4 години. Най-вероятната причина за този ефект е контактът на проводимия бетон със заобикалящата околна среда и относително високото съдържание на цимент и пясък в този подобрител (фиг. 8). В горещите летни дни влагата се изпарява интензивно от горната повърхност на бетона. Поради силно хигроскопичната си същност долната част на бетоновата обmazка абсорбира от заобикалящата почва наличната влага, която се изпарява интензивно в горната част на заземителя. По този начин, в най-сухите периоди на годината, параметрите на заземителят се изравняват с тези на конвенционалния;



Фиг. 8. Монтаж на вертикалния заземител в един слой проводим бетон на нивото на земната повърхност.

- При вертикалния заземител положен в два различни концентрични слоя проводящ бетон параметрите на подобрителят остават непроменени. Това се обяснява с по-голямата електропроводимост на вътрешния слой бетон, контактуващ с електрода, където процентното съдържание на графит и цимент е 50/50 %;
- При хоризонталния заземител положен в един слой проводящ бетон се наблюдава подобрение на параметрите поради липсата на контакт на бетона с околната среда (заземителната шина и заобикалящата я проводима бетонна обmazка са на 60 см под нивото на повърхността, което ограничава в голяма степен външното негативно влияние на околната среда през сухите летни месеци);
- Препоръчва се при използване на електропроводими бетони с графит, като електропроводящ агент, да не се използва пясък, или неговото съдържание да бъде ограничено до минимум;
- Извършените експерименти доказват, че при използване на подобрители за заземяване на циментова основа е абсолютно недопустимо проводимата бетонова обmazка да бъде изложена пряко на атмосферните условия, т.е. да бъде изнесена на повърхността на почвата;
- При монтажа е препоръчително целият обем на използвания подобрител за заземяване да бъде под повърхността на земята на дълбочина минимум 50 – 60 см. Това ще гарантира устойчиви стойности на съпротивлението на заземяване целогодишно, независимо от атмосферните условия и сезона.

Литература

- Adegboyega G. A., O. Odeyemi K., 2011. Assessment of Soil Resistivity on Grounding of Electrical Systems, *Journal of Academic and Applied Studies Vol. 1(3)*, 28-38.
- Венков Г. И., П. К. Петров, 2002. Техническа безопасност, *Габрово Принт*.
- Петров, П. К., Г. Ц. Велев. 2007. Подобряване съпротивлението на заземители чрез използване на проводима обмазка - *Списание „Безопасност на труда и трудова медицина“*, ЕСКАРГО – София, брой 4
- Петров П. К., Г. Ц. Велев. 2007. Изследване на вертикален заземител с проводима обмазка - *Известия на ТУ-Габрово*, Том 34, Габрово, ISSN 1310-6686;
- Петров П. К., Г. Ц. Велев. 2007. Изследване на проводими обмазки, допринасящи за намаляване съпротивлението на заземители – *Международна научна конференция UNITECH'07*, Габрово, ISSN 1313-230X
- Велев, Г. Ц., 2009. Физическо моделиране и статистически анализ на експлоатационните параметри на заземители с проводима бетонна обмазка за приложение в минната индустрия, *Годишник на Минно-геоложкия Университет „Св. Иван Рилски“ – София, Свитък III: Механизация, електрификация и автоматизация на мините*, ISSN 1312-1820.
- Sankosha Corporation, *San-earth technical review – Practical measures for lowering resistance to ground.*
http://www.paradise-electric.eu/images/stories/products/zeus_application.pdf