

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ СПЕЦИФИЧНОТО ОБЕМНО СЪПРОТИВЛЕНИЕ НА ПОЧВЕНИТЕ СЛОЕВЕ В ДЪЛБОЧИНА ЧРЕЗ ИЗПОЛЗВАНЕ НА ЕТАЛОНЕН ЕЛЕКТРОД

Георги Велев ¹, Петър Петров ²

¹ Технически университет – Габрово, 5300 Габрово, g_velev@tugab.bg; g_velev@gmail.com

² Технически университет – Габрово, 5300 Габрово, petrov_p_tu@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Двуслойното моделиране на почвата е стандартна практика при проектирането на заземителни уредби в развитите страни. Съставянето на достоверни многослойни почвени модели води до увеличаване на точността и прецизността при оразмеряване на заземителните уредби, а също така и до намаляване на преразхода на метал при тяхното реализиране, тъй като се отчита слоестата структура и изменението на специфичното обемно съпротивление на почвата в дълбочина. В настоящата статия са представени резултати от експериментално определяне на двуслойния профил на почвата в дълбочина посредством използването на еталонен електрод, прилагайки метода на контролния заземител за конкретен терен. Точността на получения двуслоен почвен модел е верифицирана чрез сравнителен анализ с резултати получени от утвърдени методики и програмни продукти.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF SOIL LAYERS' RESISTIVITY IN DEPTH BY MEANS OF A STANDARD MASTER ELECTRODE

Georgi Tsonev Velevev ¹, Petar Kolev Petrov ²

¹ Technical University of Gabrovo, 5300 Gabrovo, g_velev@tugab.bg; g_velev@gmail.com

² Technical University of Gabrovo, 5300 Gabrovo, petrov_p_tu@abv.bg

ABSTRACT. Two-layer soil modeling is a standard practice during the grounding installations design in the developed countries. When a multi-layers soil model is engaged the accuracy and precision of grounding design are increased and the overall grounding installation metal demand is decreased because the layered soil structure and the variation of soil resistivity in depth are taken into account. The paper presented in here discusses results from experimental determination of the two-layer soil model obtained by means of a standard master electrode for a real terrain applying the "fall of potentials" method. The achieved accuracy is verified via a comparative analysis with results obtained by approved software products and sets of methods.

Въведение

Прилагането на двуслойни почвени модели на ниво проектиране увеличава прецизността и точността при оразмеряването на заземителните уредби. Като резултат, при тяхната реализация се намалява преразхода на метал и се поддържат оптимални стойности на съпротивлението на заземяване, тъй като се отчита слоестата структура и изменението на специфичното обемно съпротивление на почвата в дълбочина.

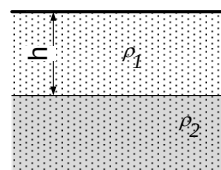
В общия случай двуслойният почвен модел се определя основно от три параметъра:

h - дебелина на първия повърхностен почвен слой, m;

ρ_1 - специфично обемно съпротивление на първия почвен слой, $\Omega \cdot m$;

ρ_2 - специфично обемно съпротивление на втория почвен слой с безкрайна дебелина, $\Omega \cdot m$.

Изследванията са направени използвайки разработената в (Велев и Петров, 2009) методиката за практическо определяне на двуслойния модел на почвата чрез специализиран еталонен електрод, прилагайки метода на контролния заземител. Резултатите от експерименталното двуслойното почвено моделиране за конкретен терен са верифицирани чрез два програмни продукта и посредством графо-аналитичния метод на SUNDE (IEEE Std. 80-2000).



Фиг. 1. Графично представяне условното разделяне на почвата в дълбочина на два слоя.

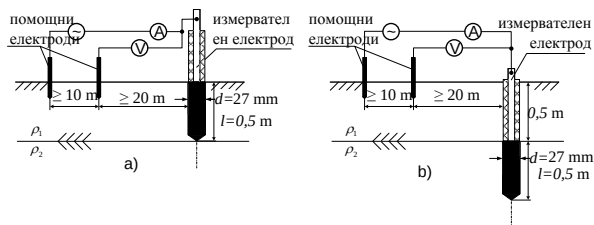
Създаване на достоверен двуслоен профил на почвата за реален терен

Експериментално определяне на двуслоен модел на почвата посредством еталонен електрод

Реализираният специален еталонен измервателен електрод е изработен съгласно фиг. 2. Размерите на активната метална част и общата дължина на електрода са съобразени с терена, където са извършени измерванията – двора на старата библиотека при ТУ - Габрово.

Понеже се оказа, че почвеният слой на въпросното място е с малка дебелина от порядъка на (1 – 1,2 m), и след него в дълбочина преобладава глинесто-скален слой, за активна дължина на експерименталния електрод е прието $l = 0,5$ m при обща дължина на електрода 1,2 m и диаметър 27 mm. Според тази постановка е възможно да се измерва

специфичното обемно съпротивление на два хоризонтални почвени слоя, повърхностен с дебелина 0,5 m, и втори слой също с дебелина 0,5 m на дълбочина 0,5 m.



Фиг. 2. Опитна постановка за измерване на специфичното обемно съпротивление на почвата в дълбочина за съответния реален терен: а) за първи почвен слой с дебелина 0,5 m; б) за втория почвен слой с дебелина 0,5 m на дълбочина 0,5 m.

Измерванията са осъществени посредством три еднакви експериментални еталонни електрода, които след набиването им на различни места в почвата и извършване на съответните измервания са оставени забити в земята с цел допълнително изследване. Измерванията са осъществени посредством метода на контролния заземител, като на базата на измерените стойности за съпротивлението на заземяване R_z и геометричните параметри на експерименталния електрод използвайки (1) са получени стойностите за специфичното съпротивление на почвата ρ_{II} (Велев и Петров, 2009).

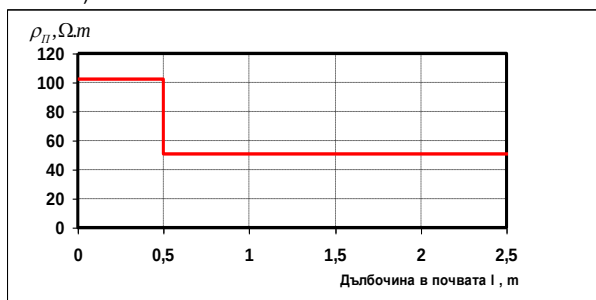
$$\rho_{II} = R_z \cdot \frac{2,73 \cdot l}{\lg \frac{4 \cdot l}{d}}, \Omega \cdot m \quad (1)$$

Резултатите от измерванията и изчисленията са представени в табл. 1.

Таблица 1

Електрод №	R_z, Ω за първи слой	R_z, Ω за втори слой	$\rho_p, \Omega \cdot m$ за първи слой	$\rho_p, \Omega \cdot m$ за втори слой
1	142,2	65,5	103,9	47,9
2	139,2	70,2	101,7	51,3
3	138,1	72,6	100,9	53,04
ср. аритм. стойност	139,83	69,43	102,3	50,7

Картината на изменение на специфичното съпротивление на почвата за съответния терен в дълбочина е представена на фиг. 3. (двуслоен модел на почвата):

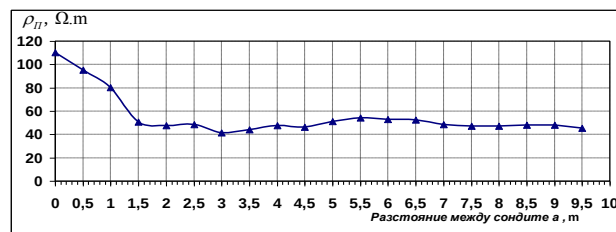


Фиг. 3. Двуслоен модел на почвата, съставен съгласно предлаганата методика

Двуслоен модел на почвата съгласно графо-аналитичния метод на SUNDE

За да се приложи графо-аналитичния метод на SUNDE са използвани входни данни от измервания на специфичното обемно съпротивление на почвата, извършени по метода на Венер за разглеждания терен. На

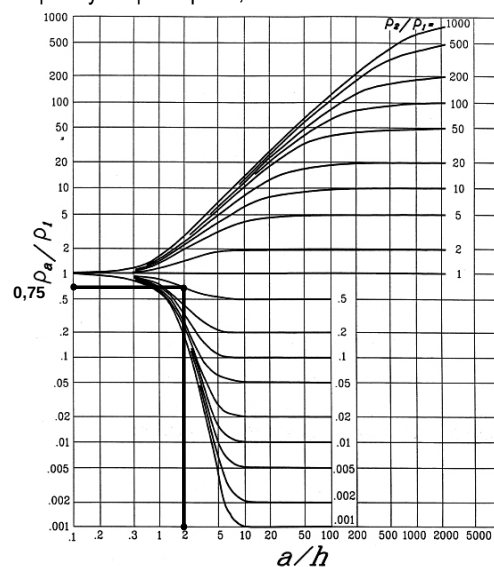
базата на тях е построена експерименталната характеристика $\rho_{II} = f(a)$ (Специфично съпротивление във функция от разстоянието между измервателните сонди) съгласно фиг. 4.



Фиг. 4. Експериментална характеристика $\rho_{II} = f(a)$, показваща изменението на специфичното съпротивление на почвата в дълбочина при различно разстояние между сондите.

Използвайки фиг. 4. и предписанията в международния стандарт (IEEE Std 80-2000) се определят визуално стойности за ρ_1 и ρ_2 . Следва се описаната методика:

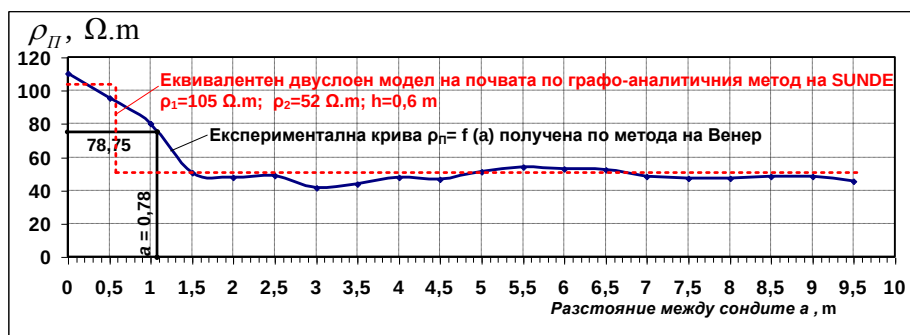
А) Стойността за специфичното съпротивление на първия почвен слой се отчита от началото на стръмната част на експерименталната характеристика $\rho_{II} = f(a)$ от фиг. 4., т.е. приемаме $\rho_1 = 105 \Omega \cdot m$. Специфичното съпротивление на втория почвен слой се приема $\rho_2 = 52 \Omega \cdot m$; Б) Определя се $\rho_2 / \rho_1 = 52 / 105 = 0,46 \approx 0,5$. Понеже на графиката на Sunde (фиг. 5) за стойност $\rho_2 / \rho_1 = 0,5$ има стандартно построена крива, не се извършва интерполация, а се използва съществуващата крива;



Фиг. 5. Използване на кривата на Sunde в конкретния случай

В) Избира се $\rho_a / \rho_1 = 0,75$ по оста y, така че да пресича избраната крива в средата на стръмната и част; Г) за $\rho_a / \rho_1 = 0,75$ от фиг.5 се отчита $a/h = 2$; Г) Изчислява се ρ_a . В случая $\rho_a = 0,75 \cdot (105) = 78,8 \Omega \cdot m$; Ж) От експерименталната крива $\rho_{II} = f(a)$ за $\rho_a = 78,8 \Omega \cdot m$ се определя разстояние между електродите $a = 1,1 m$ (фиг. 4.); З) Изчислява се дебелината на първия почвен слой $h = \frac{a}{a/h} = \frac{1,1}{2} = 0,55 \approx 0,6 m$.

Недостатък на приложения метод се явява предварителният избор на специфичните съпротивления ρ_1 и ρ_2 на двата почвени слоя, което в голяма степен е



Фиг. 6. Двуслоен модел на почвата чрез графо-аналитичния метод на SUNDE. Определяне на разстоянието между електродите a , нужно за пресмятане дебелината на първия почвен слой;

субективно и при неопитност на проектанта би довело до сериозни неточности. Резултатите от двуслойното моделиране на почвата чрез графо-аналитичния метод на SUNDE са представени графично на фиг. 6.

Съставяне на двуслоен модел на почвата чрез софтуерния продукт CYME CYMGrd.

Програмният продукт CYME CYMGrd е предназначен за анализ и проектиране на заземителни уредби съгласно изискванията на международния стандарт IEEE Std. 80-2000. Предимството на продукта в случая е, че въз основа на данни от измервания по метода на Венер, програмата идентифицира потенциално грешно отчетени стойности на специфичното съпротивление на почвата и не ги взима под внимание при дефиниране параметрите на двуслойния почвен модел и при построяване на експерименталната крива $\rho_{II} = f(a)$.

С помощта на използвания продукт са получени следните параметри характеризиращи двуслойната структура на почвата (Фиг. 7):

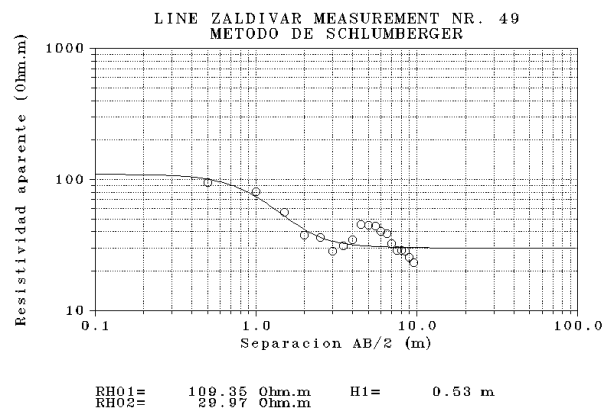
- дебелина на първия повърхностен почвен слой $h = 0,5 \text{ m}$;
- специфично обемно съпротивление на първия почвен слой $\rho_1 = 112,19 \Omega \cdot \text{m}$
- специфично обемно съпротивление на втория почвен слой с безкрайна дебелина $\rho_2 = 46,38 \Omega \cdot \text{m}$.

Съставяне на двуслоен модел на почвата чрез продукта RHO32

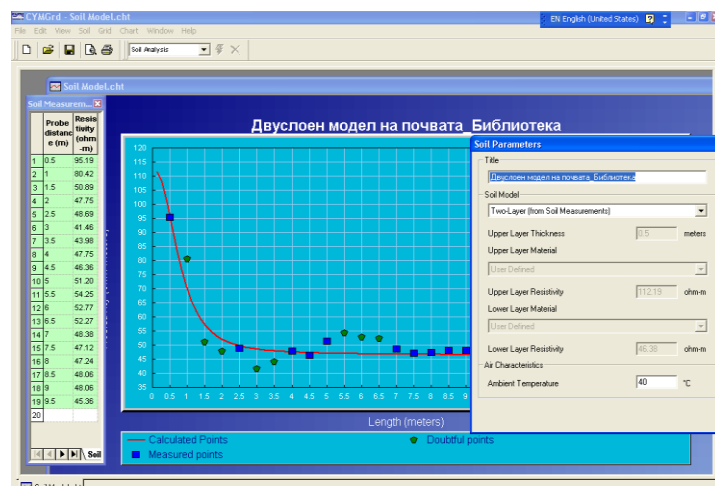
Алтернативният авторски програмен продукт работещ под команден ред RHO32 също е използван за определяне параметрите на двуслойния почвен модел. За целта

предварително, данните от полевите измервания се въвеждат чрез редактора Notepad (или подобен) в конфигурационен файл с разширение *.DAT. В команден прозорец се стартира програмата и се указва пътя до създадения конфигурационен файл. Програмата създава няколко еквивалентни почвени модел с различен брой на еквивалентните слоеве, а потребителя избира сам, кой от тях ще използва при проектирането. В конкретния случай, полученият двуслоен почвен модел е представен графично на фиг. 8. Неговите параметри са както следва:

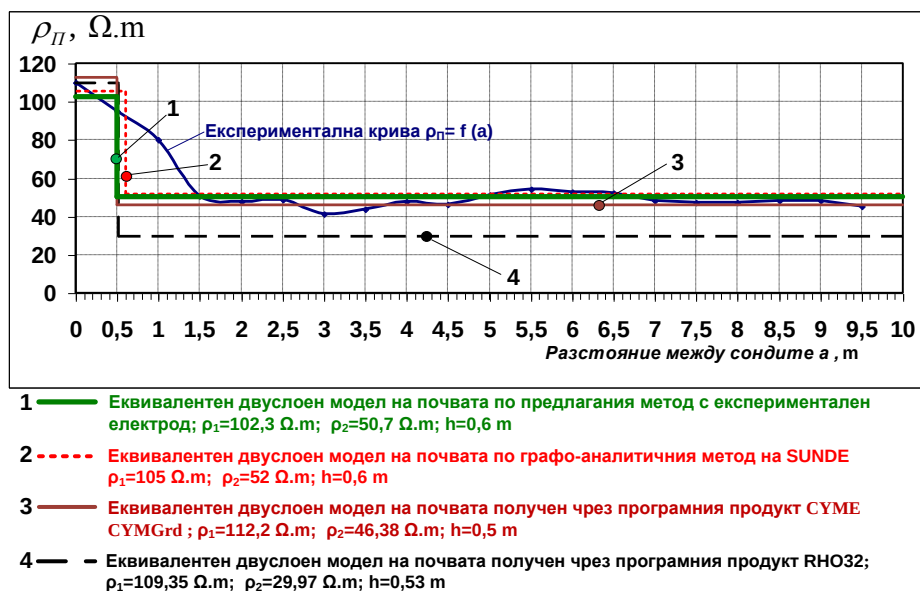
- дебелина на първия повърхностен почвен слой $h = 0,53 \text{ m}$;
- специфично обемно съпротивление на първия почвен слой $\rho_1 = 109.35 \Omega \cdot \text{m}$;
- - специфично обемно съпротивление на втория почвен слой с безкрайна дебелина, $\rho_2 = 29.97 \approx 30 \Omega \cdot \text{m}$.



Фиг. 8. Приложение на продукта RHO32 за определяне еквивалентния двуслоен почвен модел за разглеждания терен



Фиг. 7. Приложение на продукта CYME CYMGrd за определяне еквивалентния двуслоен почвен модел за разглеждания терен



Фиг. 9. Графична интерпретация на резултатите от двуслойното моделиране на почвата за изследвания терен.

Сравнителен анализ на резултатите получени по различните методи и различните програмни продукти

Резултатите от измерванията и изчисленията съгласно разглежданите методи и тези получени чрез програмни продукти са представени за по-голяма яснота графично на фиг. 9.

Резултатите от приложения експериментален метод със специализиран измервателен електрод са с много добра сходимост със тези от графо-аналитичния метод на SUNDE и тези получени чрез професионалния програмен продукт CYME CYMGrd. Това е ясна индикация, че предложени в (Велев и Петров, 2009) и приложен на практика в настоящата статия експериментален метод за определяне на специфичното обемно съпротивление на почвата в дълбочина има нужната точност за използване в практиката.

Двуслойният почвен модел съставен чрез продукта RHO32 се различава значително от останалите три резултата. Впечатление прави и това, че получената стойност за специфичното съпротивление на втория еквивалентен почвен слой - $\rho_2 = 29,97 \Omega.m$ е значително по-ниска от тази получена по другите методи и от другите продукти. Освен това, тази стойност се намира значително под експерименталната характеристика получена на базата на полеви измервания по метода на Венер. В резултат на това, приложението на този почвен модел би довело до сериозно грешки при проектирането и завишени стойности на измереното съпротивление на заземяване след реализацията на заземителната уредба.

Заклучения

- Посоченият метод за изследване на специфичното обемно съпротивление в дълбочина дава реални резултати. Потвърждение на казаното е добрата сходимост на получените резултати с тези реализирани по класическите методи и от програмни продукти;
- Методиката дава възможност за съставяне на двуслойни модели на почвата, който да се използват при проектирането на заземителни уредби. Това е

изключително важен момент за проектанта относно избора на вид заземители и техния монтаж;

- При измервания в планински райони, където почвения слой е с малка дебелина се препоръчва използването на специален електрод с активна дължина 0,5 m. Това ще позволи по-голяма прецизност при измерванията и определяне наличието на втори почвен слой с по-добра или по-лоша проводимост;
- Посоченият метод може да се използва и за изследване промяната на специфичното обемно съпротивление вследствие влиянието на климатичните промени (валежи или замръзване на почвения слой) върху отделните почвени слоеве;
- Използването на двуслоен модел позволява точни изчисления на съпротивлението на заземителите без да се налага използването на сезонни корекционни коефициенти (до този момент такава е практиката, използвана от проектантите в развитите страни);
- Предлаганият метод дава възможност за бързото му реализиране в практиката. Необходимо е изработването само на специализиран измервателен електрод, измерванията се реализират по позната методика и с широко използваните в практиката измервателни уреди;
- Като недостатък може да се изтъкне, че използваните експериментални електроди са за еднократна употреба и остават в земята след опита.

Литература

- Велев, Г. Ц., П. К. Петров. 2009. *A new method for in depth resistivity determination of multilayer soils* - Известия на ТУ-Габрово, Том 37, Габрово, ISSN 1310-6686
- IEEE Std. 80-2000. January 2000. *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*, IEEE-SA Standards Board
- IEEE Std 81-1983. September 1984. *IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a ground system*, American National Standards Institute,
- Wener, F. A. 1916. *Method of Measuring Resistivity*, National Bureau of Standards, no S- 258, pp469
- Thapar, B., V. Gerez. Apr. 1995. *Equivalent resistivity of non-uniform soil for grounding design*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 10, no. 2, pp. 759-769