

THE DEVELOPMENT OF A NEW SOIL SAMPLING METHOD IN PRECISION HORTICULTURE /

DEZVOLTAREA UNEI NOI METODE DE EȘANTIONARE PENTRU SOLURILE AGRICOLE ÎN HORTICULTURA DE PRECIZIE

Eng. Pirnă C., Prof. Ph.D. Eng. Lache S.

Transilvania University of Brașov / Romania;
Tel: +40766262416; E-mail: ciprian-george.pirna@unitbv.ro

Abstract: In precision agriculture, the farmland soil sampling procedures are being used to determine the spatial distribution of the parameters that are inherent to agricultural soils. Typically, not only the farmers, but also the commercial entities that use such procedures are trying to get as much and as precise as possible field data and at the same time to spend as less resources for this process. The paper presents two new methods of getting soil samples, the advantages and the disadvantages that come with these methods compared to the point to point soil sampling procedure.

Keywords: spatial distribution, sampling method, nutrient, soil sample.

INTRODUCTION

The main objective of soil sampling procedures is that of determining the medium concentration for certain characteristic parameters (specific nutrients for certain soil types, chemical substances that are present within the natural development cycle of the plants, hummus, etc.) and to offer an accurate image of the above mentioned distribution. The farmers and the producers that use the principles of precision agriculture are mainly interested in monitoring the important aspects that are inherent to certain areas from large area fields [1].

By using the monitoring it is desired to establish trends (ascending or descending) regarding the above mentioned parameters and with regard to the observed trends, operational and decisional planning for crop management is achieved. The factors that can influence the level of nutrients include soil type, soil topography, the history of farmland activities that have been made on the field in question, enrichment of the soil with artificial fertilisers, compaction degree or the actual leveling of the soils. For determining the concentrations in mobile soil nutrients (those that can be moved by rain or wind because of their positioning to shallow soil depths) and immobile soil nutrients, a proper number of soil samples taken to correct depths is required. The samples have to be handled and stored accordingly so that the external contamination and degradation is minimal. When the differential application of nitrogen type (N) artificial fertilizers has been used for the first time in the USA, the distribution maps for soil fertilisers were obtained by studying soil samples that had been collected at medium sampling densities of one sample for each three or four acres (aprox. 12.000m² - 14.000m²). Experimental studies that took place in Nebraska, (SUA) [2], at much higher densities (up to 42 samples per acre), have had as a purpose the approximation of real spatial distribution of soil nutrients.

Experimental studies conducted in Nebraska (USA) [2], at much higher densities (up to 42 samples per acre), aimed at approximating the real spatial distribution of soil nutrients. Fewer collected samples have had as a result less precise maps.

Taking into consideration a smaller number of collected samples can cause omission of certain areas on the spatial distribution maps, these areas have different properties

Rezumat: În horticultura de precizie, procedurile de eșantionare a solurilor agricole sunt folosite pentru determinarea distribuției spațiale a parametrilor ce caracterizează aceste soluri. În general, atât fermierii cât și societățile comerciale care folosesc astfel de proceduri încearcă să obțină date cât mai precise și în același timp să cheltuiască cât mai puține resurse pentru acest proces. Lucrarea prezintă două metode originale pentru prelevarea de probe de sol, avantajele și dezavantajele aferente acestor metode, relativ la eșantionarea punct cu punct.

Cuvinte cheie: distribuție spațială, metodă de eșantionare, nutrient, probă de sol.

INTRODUCERE

Obiectivul procedurilor de eșantionare a solurilor este acela de a determina concentrația medie a anumitor parametri caracteristici (nutrienți specifici anumitor tipuri de soluri, substanțe chimice prezente în ciclul de dezvoltare naturală a plantelor, humus, etc.) și de a oferi o imagine a distribuției spațiale a acestora în cadrul unui teren agricol. Ca și în cazul general al agriculturii de precizie, în horticultura de precizie sistemul GPS oferă o dimensiune spațială de mare acuratețe a distribuției mai sus menționate. Fermierii și producătorii ce aplică principiile horticulurii de precizie sunt interesați de monitorizarea aspectelor importante ce caracterizează zone din interiorul unor terenuri cu suprafațe mari [1].

Prin această monitorizare se urmărește stabilirea unor tendințe (ascendente sau descendente) în ceea ce privește diverșii parametri exemplificați mai sus, iar în funcție de tendințele observate, se dorește realizarea unor planificări operaționale și decizionale la nivel de management al culturilor. Factorii care pot influența nivelul de nutrienți includ tipul de sol, topografia solurilor, istoricul lucrărilor agricole efectuate pe terenul în cauză, îmbogățirea solurilor cu îngrășăminte, gradul de compactare a solurilor sau nivelul acestora. Pentru a determina concentrațiile de nutrienți mobili (ce pot fi deplasați de ploii sau de vânt datorită situației lor la adâncimi superficiale) și imobili din sol este nevoie de un număr adecvat de mostre de sol prelevate la adâncimi corespunzătoare. Mostrele trebuie să fie manevrate și depozitate corespunzător astfel încât contaminarea externă și degradarea acestora să fie minimă. Atunci când aplicarea diferențiată a îngrășămintelor cu azot (N) a fost folosită prima oară în Statele Unite ale Americii (SUA), hărțile de distribuție a îngrășămintelor au fost obținute prin studiul probelor de sol colectate la densități medii de eșantionare de o mostră la fiecare trei sau patru acri (aproximativ 12.000m² - 14.000m²).

Studiile experimentale realizate în Nebraska, (SUA) [2], la densități mult mai mari (până la 42 de mostre pe acru), au avut ca scop aproximarea distribuției spațiale reale a nutrienților din sol. Mai puține mostre colectate au avut ca rezultat hărți mai puțin precise.

Luarea în considerare a unui număr mic de mostre prelevate poate cauza omisiunea pe hărțile de distribuție spațială a unor zone cu proprietăți diferite (nitrați,

than the average (nitrate concentration, nutrient density, etc.).

Worth mentioning is the fact that omission of areas with different properties can have as a cause external factors like animal fencing being built on farmland or the use of the soil in other purposes than the agricultural ones. The soil specific parameters can be modified at a local level [3] by these external parameters but not always these variations/ modifications can be detected. The geometric surface in which these parametric variations take place is sometimes simply too small to be detectable. However, reasonably precise maps can be achieved at lower sampling densities. One of the main concerns for the farmers and the commercial entities which are involved in the precision horticulture processes is the choice for sampling density. The size of the grid by which the sampling is made depends on the field type and on the nutrient for which the concentration and distribution is evaluated – organic material, nitrate concentration, phosphorus, zinc, etc. Knowing the spatial distribution of parameters in a given field, helps determining the grid size and shape, which represents the actual reason for soil sampling [4].

This paper has as a given objective displaying four methods for point by point soil sampling: a) the ideal method by which the sampling procedure takes place b) the Nebraska method, c) and d) are methods proposed by the authors of this paper. These methods meant to give the scientific or commercial entities which use them the possibility of obtaining representative soil samples relative to the spatial distribution or to give them the opportunity to measure variables that do not have a continuous time variation.

MATERIAL AND METHOD

The experimental data that has been used and prepared in this paper has been obtained as a result of an experiment that took place in a prune orchard located in Marquardt, Bornim/Berlin, Germany. The experiment had as an objective the use of the basic principles for soil sampling, but instead of collecting soil samples it was used the measurement of certain parameters (relative soil resistivity) with the help of a set of specific equipment and materials. Generally, it was desired the on-the-spot measurement of important variables (sensitivity for example) with the help of a portable device, easy to use, easy to handle by a single operator and with a high data acquisition speed. The sampling density of soil samples or in this case the density of the points in which the discrete measurements were completed depends on the crop type and on the agricultural application. In this case, the field grid was thus chosen that the trees are to be found at the intersection of the lines that make up the grid.

The matrix in which the trees are placed within the experimental land lot is in the shape of 6 lines arranged by 30 columns and the distances between the trees are known. For this experiment no GPS coordinates have been used, but because of the fact that the distances between trees are constant and foreknown, it was possible that a local 2D coordinate system be extrapolated for the orchard. The total number of the trees and implicitly the number of the measurement points is 180. The trees are individually numbered so that the relational identification of different processes between the trees is facilitated. The experiment states the measurement of the electrical soil resistivity at the root of each tree that is to be found within the orchard and on the basis of the collected data, certain areas with similar values for the monitored values are identified. For this purposes, the measurements were made with the "4 point

densitate de nutrienți, etc.).

Demn de menționat este faptul că omisiunea unor zone diferite din punct de vedere al proprietăților poate avea ca și cauze factori externi, precum țărucurile pentru animale construite pe terenul agricol sau folosirea solului în alte scopuri decât cele specific agricole. Parametrii specifici solului pot fi modificați la nivel local [3] de acești factori externi însă nu întotdeauna modificările sunt detectabile. Suprafața geometrică în care au loc respectivele modificări de parametri este uneori prea mică din punct de vedere fizic pentru a fi detectabilă. Totuși, hărți relativ precise pot fi realizate la densități de eșantionare scăzute. O preocupare principală a fermierilor și a societăților comerciale implicate în horticultura de precizie este alegerea densității de eșantionare. Dimensiunea caroiajului după care se face eșantionarea depinde de teren și depinde de nutrientul a cărui concentrație și distribuție este evaluată – materie organică, nitrați, fosfor, zinc, etc. Cunoașterea variabilității spațiale a terenului ajută la determinarea optimă a caroiajului, ceea ce reprezintă chiar motivul eșantionării solului [4].

Lucrarea de față își propune să prezinte patru metode de eșantionare punct cu punct a solurilor agricole: a) metoda ideală prin care se realizează procedura de eșantionare b) metoda Nebraska, iar c) și d) sunt metode originale, propuse de către autorii acestei lucrări. Metodele sunt menite să ofere posibilitatea de a obține probe de sol reprezentative din punct de vedere a distribuției spațiale sau de a efectua măsurători punctuale pentru parametri ce nu prezintă o variație continuă în timp.

MATERIAL ȘI METODĂ

Datele experimentale folosite și prelucrate în lucrarea de față au fost obținute în urma unui experiment desfășurat într-o livada de pruni ce se află în Marquardt, Bornim/Berlin, Germania. Experimentul a avut ca scop aplicarea principiilor de bază pentru eșantionarea solurilor, însă în loc de prelevare de probe de sol s-a folosit măsurarea anumitor parametri (rezistivitatea aparentă a solului) cu ajutorul unor echipamente specifice. S-a preferat varianta de măsurare pe loc a variabilelor relevante (rezistivitatea) cu ajutorul unui dispozitiv portabil, ușor manevrabil de un singur operator, în principal datorită vitezei mari de obținere a datelor. Densitatea prelevării probelor de sol sau, în cazul de față, densitatea punctelor în care s-au efectuat măsurătorile discrete în câmp depinde în mod decisiv de tipul de cultură și de aplicația agricolă. În această aplicație, caroiajul a fost ales în așa fel încât pomii se găsesc la intersecția liniilor perpendiculare ale caroiajului. Matricea după care pomii se prezintă în lotul experimental este de forma a 6 linii dispuse pe câte 30 de coloane, iar distanțele dintre pomi sunt cunoscute.

Matricea în care copacii sunt plasate în teren experimental este în formă de 6 linii aranjate cu 30 de coloane și distanțele dintre copacii sunt cunoscute. În cadrul experimentului nu s-au folosit coordonate GPS, însă datorită faptului că distanțele între pomi sunt constante și cunoscute, a fost posibil să se extrapoleze un sistem local de coordonate 2D pentru livadă. Numărul total al pomilor și implicit numărul punctelor de măsurare este 180. Pomii sunt numerotați individual astfel încât să se faciliteze identificarea relațională a diferitelor procese între pomi. Experimentul prevede măsurarea rezistivității electrice a solului la rădăcina fiecărui pom din cadrul livezii iar pe baza datelor colectate se identifică anumite zone cu valori asemănătoare ale variabilelor monitorizate. În acest scop, măsurătorile au fost efectuate cu aparatul "4

light 10w" device (manufacturer: Lippman Geophysical Instruments).

point light 10w", fabricat de Lippman Geophysical Instruments.



Fig.1 – Combined view of the 4 point light EC measurement device / *Vedere combinată a aparatului de măsură a electroconductivității de tip 4 point light*

As it is shown in figure 1, the instrument that has been used is relatively small (sized) and it is specially made for quick variable determination (handheld device). The device benefits from four (4) input ports in which measurement electrodes are connected, typically named A,B,M,N by the producer. Additionally, the device has another input port (GND-ground) for a fifth electrode. The purpose of this electrode is the improvement of the precision by which the relative resistivity of the soil is measured. Also the device has an RS232 port which is used to accomplish the data transfer onto external storage mediums just as networked computers are connected to a file server. The device is preprogrammed to use a computer soft that is present on almost every WINDOWS type platforms: HyperTerminal. The device exports the values of the measured variables in the form of text files (*.txt extension) that can be opened and edited with great ease, even with the help of the most basic text processors. The soil sampling methods can have great costs because of the cumulated fixed and variable costs. The size of the field is directly proportional to the size of the costs: an experimental field with a wide surface implies the necessity of collecting more soil samples and so the costs increase proportionally. For the purpose of diminishing these costs, the development of alternative methods for collecting soil samples and data processing, is imposed. In this paper, two new methods are proposed and compared to those that are present in specialty literature. All the soil sampling methods discussed here are relative to grid density to which the sampling/measurement is done in all intersection points of the grid. It is worth mentioning that this ideal case is less efficient from the point of view of the costs because of the high number of measuring points, but it is the one that offers the highest precision degree for spatial distribution.

The purpose is that of identifying the method that offers a good precision of spatial distribution but uses the smallest possible number of soil samples (and implicitly costs as low as possible). For visualisation of the coordinates where measurements were taken, the MatLab software was used. The results that were derived from the proposed methods are presented in the figures 2,3 and 4 with the following visualisation legend:

- the points in which the measurements were taken: represented by circles placed on the lines and the columns of the tree distribution matrix;
- the value for the measured variables at the measuring

După cum se observă în figura 1, instrumentul folosit este relativ mic în ceea ce privește dimensiunile și este special fabricat pentru determinări rapide de variabile (dispozitiv ținut în mână). Acesta beneficiază de patru (4) porturi de intrare la care sunt conectați electrozii de măsură, generic denumiți de către fabricant A, B, M, N. Suplimentar aparatul mai are un port de intrare (GND-impământare) pentru un al 5-lea electrod. Rolul acestui electrod este acela de a îmbunătăți precizia cu care rezistivitatea relativă a solului este măsurată. De asemenea, aparatul este dotat și cu un port RS232 care se folosește pentru a face transferul datelor măsurate pe medii externe de stocare a datelor exact așa cum computerele legate la o rețea sunt conectate la un server de fișiere (file server). Dispozitivul este preprogramat să folosească un soft prezent pe aproape toate platformele de tip WINDOWS: HyperTerminal. Aparatul exportă valorile variabilelor măsurate sub formă de fișiere de tip text (extensie *.txt) care pot fi deschise și editate cu mare ușurință chiar cu ajutorul celor mai simple editoare de tip text. Metodele de eșantionare a solurilor pot avea costuri foarte mari datorită cumulului de costuri fixe și variabile pe care îl implică operațiunea. Mărimea câmpului este direct proporțională cu mărimea costurilor: un teren experimental cu o suprafață mare implică necesitatea de a preleva mai multe mostre și deci, costurile cresc în mod proporțional. În scopul diminuării acestor costuri se impune dezvoltarea de metode alternative pentru prelevarea probelor și prelucrarea datelor. În această lucrare se propun două noi metode, în acest sens, analizate comparativ cu cele prezente în literatura de specialitate. Toate metodele de eșantionare a solurilor discutate se referă la densitatea carioajului după care se face eșantionarea/ măsurarea, la implicațiile pe care această densitate o are asupra costurilor și, în plus, se dorește compararea lor cu cazul ideal în care măsurătorile/ prelevările de probe se fac în toate punctele de intersecție ale carioajului. Se menționează că acest caz ideal este cel mai puțin eficient din punct de vedere al costurilor datorită numărului mare de puncte în care se fac măsurătorile, însă este și cel ce oferă gradul cel mai înalt de precizie a distribuției spațiale.

Scopul este de a identifica metoda ce oferă o bună precizie a distribuției spațiale însă ce folosește cel mai mic număr posibil de probe de sol (și implicit costuri cât mai scăzute). Pentru vizualizarea coordonatelor unde s-au efectuat măsurătorile s-a folosit softul MatLab. Rezultatele derivate din metodele propuse sunt prezentate în figurile 2,3 și 4 cu următoarea legendă de vizualizare:

- punctele în care s-au efectuat măsurătorile: sunt reprezentate prin cercuri amplasate pe liniile și coloanele matricei de distribuție a pomilor;
- valoarea variabilelor măsurate în punctele de măsurare

points is represented by the diameter of the above mentioned circles;

- the simple points are correspondent to the places where trees exist from a physical point of view, but the measurements were not completed, according to the optimisation algorithms, and that were inserted into the program to allow the spatial 2D simulation of the GPS coordinates.

RESULTS

The applied measurement methods have led to the identification of the following spatial distribution properties/soil samples:

1. Ideal case: Soil sampling to each intersection of the grid. The measurements for soil resistivity were taken for each tree individually. The operator can later extract certain repetitive models (geographical areas with similar properties) within a field. The consistency in electrical resistivity values means consistency in EC (ElectroConductivity) values which in return signals the areas within a field where additional irrigation is required. The ideal case needs 180 (all of the grid intersection points) samples or measurement points (depending on the agricultural application) and it is the most expensive to implement from the point of view of the costs.

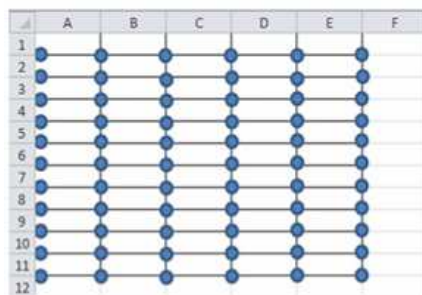


Fig. 2 - Ideal case – point by point sampling / Cazul ideal – eșantionarea de tip punct cu punct

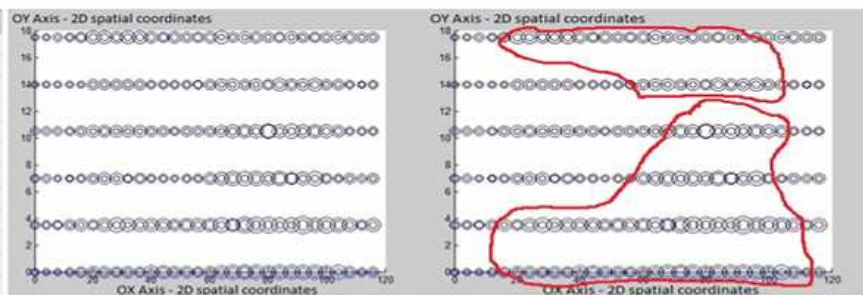


Fig. 3 - Identifying the resistivity patterns within the experimental field (ideal case) / Identificarea modelelor repetitive în interiorul lotului experimental

2. The Nebraska Method: Cartesian coordinates are derived from spatial distances between the trees inside the orchard. The repetitive sampling model is asymmetric, for a better coverage of the experimental lot, and the samples are taken every two trees. The reason for the asymmetric sampling is the purpose to achieve a very accurate graphical representations of the collected data. The method benefits from low implementation costs (compared to the optimum case) because of the 87 measurement points necessary from a total of 180 possible points. The soil sampling precision is 48.33%. After applying the method, the operator may identify geographical areas with similar properties (similar diameter for the circle represents soil resistivities with values within the same value range)

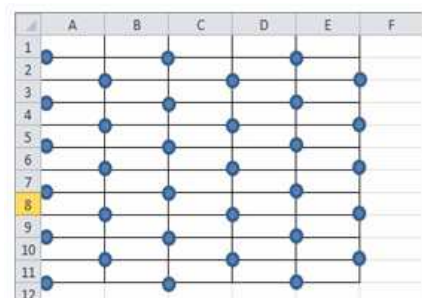


Fig. 4 - Nebraska Method – asymmetric sampling / Metoda Nebraska – eșantionarea asimetrică

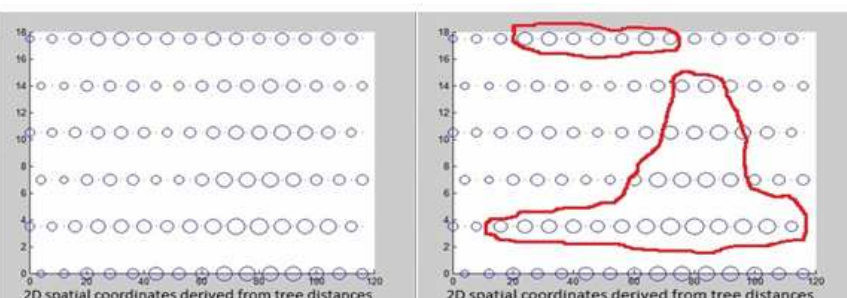


Fig. 5 Identifying the resistivity patterns within the experimental field (Nebraska case) / Identificarea modelelor repetitive în interiorul lotului experimental (cazul Nebraska)

este reprezentată prin diametrul cercurilor menționate mai sus;

- punctele simple semnifică locurile unde pomii există din punct de vedere fizic însă, măsurătorile nu s-au efectuat, conform algoritmilor de optimizare, dar care s-au introdus în program pentru a permite simularea spațială 2D a coordonatelor GPS.

REZULTATE

Metodele de măsurare aplicate au condus la identificarea următoarelor cazuri de distribuție a proprietăților/ probelor de sol:

1. Cazul ideal: Prelevare probe de sol la fiecare intersecție a liniilor caroiajului. Măsurătorile pentru rezistivitatea solurilor au fost luate pentru fiecare pom în mod individual. Operatorul poate deduce ulterior anumite modele repetitive (zone cu proprietăți asemănătoare) în interiorul unui câmp. Consistența în valorile rezistivității electrice semnifică consistență în valorile EC, ceea ce la rândul ei semnifică zonele din interiorul unui câmp unde sunt necesare irigații suplimentare. Cazul ideal necesită 180 (toate intersecțiile caroiajului) de mostre sau puncte de măsură (depinde de aplicația agricolă) și este cel mai scump de implementat din punct de vedere al costurilor.

2. Metoda Nebraska: Coordonatele carteziene sunt derivate din distanțele spațiale dintre pomii din livadă. Modelul repetitiv de eșantionare este asimetric, pentru o mai bună acoperire a lotului experimental, iar eșantioanele sunt prelevate la fiecare 2 pomi. Motivul pentru eșantionarea asimetrică îl constituie dorința de a obține o reprezentare geografică cât mai bună a datelor obținute. Metoda beneficiază de costuri reduse de implementare comparativ cu cazul optim, datorită celor 87 de puncte de măsură necesare dintr-un total de 180 de puncte posibile. Precizia de eșantionare a solului este de 48,33%. După aplicarea metodei, operatorul poate identifica zonele geografice cu proprietăți similare (diametrul similar al cercurilor ce semnifică rezistivități sol cu valori în aceeași plajă de valori).

3. SIGAA I method: Cartesian coordinates are obtained from spatial distances between the trees inside the orchard. The repetitive sampling model is asymmetric, for a better coverage of the experimental lot, and the samples are taken two consecutive times every two trees. The reason for the asymmetric sampling is the purpose to achieve a very accurate graphical representation of the collected data. The method benefits from low implementation costs (compared to the optimum case) because of the 90 measurement points necessary from a total of 180 possible points. The soil sampling precision is 50%. After applying the method, the operator may identify geographical areas with similar properties (similar diameter for the circle represents soil resistivities with values within the same value range)

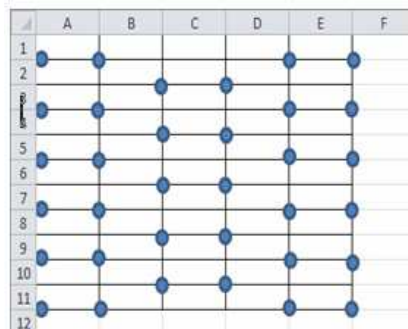


Fig. 6 - SIGAA I Method – asymmetric sampling / SIGAA I – eșantionarea asimetrică (SIGAA I)

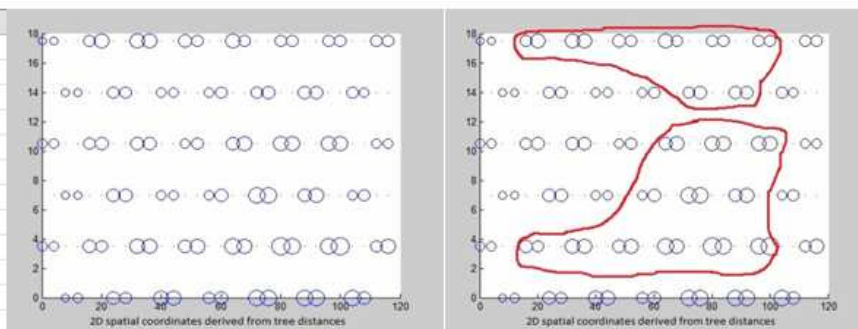


Fig. 7 Identifying the resistivity patterns within the experimental field (SIGAA I) / Identificarea modelelor repetitive în interiorul lotului experimental (SIGAA I)

4. SIGAA II method: Cartesian coordinates are derived from spatial distances between the trees inside the orchard. The repetitive sampling model is asymmetric, for a better coverage of the experimental lot, and the samples are taken every two trees. The reason for the asymmetric sampling is the purpose to achieve a very accurate graphical representations of the collected data. The method benefits from low implementation costs (compared to the optimum case) because of the 120 measurement points necessary from a total of 180 possible points. The soil sampling precision is 66.66%. After applying the method, the operator may identify geographical areas with similar properties (similar diameter for the circle represents soil resistivities with values within the same value range)

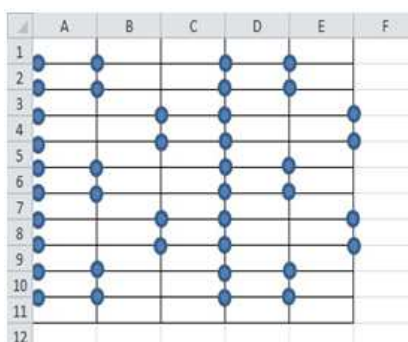


Fig. 8 – SIGAA II Method – skewed sampling / SIGAA II – eșantionarea asimetrică diagonală

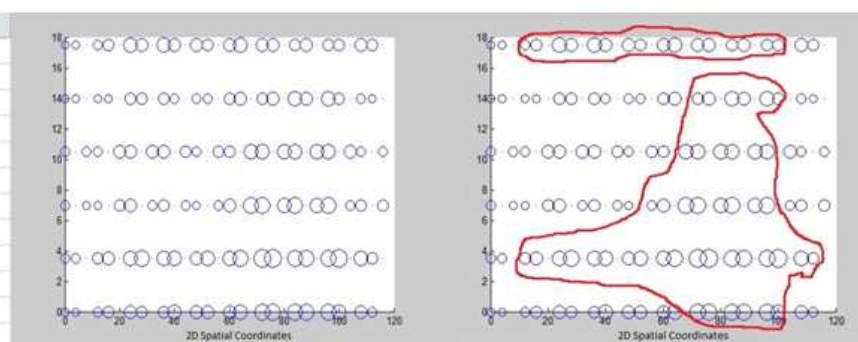


Fig. 9 – Identifying the resistivity patterns within the experimental field (SIGAA II) / Identificarea modelelor repetitive în interiorul lotului experimental (SIGAA II)

CONCLUSIONS

The proposed soil sampling methods are meant to offer real viable solutions for financial viable sampling of agricultural soils. Thus important savings can be obtained in regard to the financial resources (earnings, transport, costs of the reactive substances etc.) and to the

3. Metoda SIGAA I: Coordonatele carteziene sunt obtinute din distanțele spațiale existente între pomii din livadă. Modelul repetitiv de eșantionare este asimetric pentru o mai bună acoperire a lotului experimental, și eșantioanele sunt prelevate de câte 2 ori la fiecare 2 pomi. Motivul pentru eșantionarea asimetrică este obținerea unei reprezentări geografice cât mai bună a datelor obținute în cadrul lotului experimental. Metoda beneficiază de costuri reduse de implementare față de cazul optim datorită celor 90 de puncte de măsură necesare raportate la un total de 180 de puncte posibile. Precizia de eșantionare a solului este de 50%. După aplicarea metodei, operatorul poate identifica zonele geografice cu proprietăți similare (diametrul similar al cercurilor ce semnifică rezistivități sol cu valori în aceeași plajă de valori).

4. Metoda SIGAA II: Modelul repetitiv de eșantionare este asimetric pentru o mai bună acoperire a lotului experimental și eșantioanele sunt prelevate la fiecare 2 pomi. Motivul pentru eșantionarea asimetrică este o reprezentare geografică cât mai bună a datelor obținute. Metoda beneficiază de costuri reduse de implementare comparativ cu cazul optim, datorită celor 120 de puncte de măsură necesare dintr-un total de 180 de puncte posibile. Precizia de eșantionare a solului este de 66,66%. După aplicarea metodei operatorul poate identifica zonele geografice cu proprietăți similare (diametrul similar al cercurilor ce semnifică rezistivități sol cu valori în aceeași plajă de valori).

CONCLUZII

Metodele de eșantionare a solului propuse sunt menite să ofere soluții concrete pentru eșantionarea eficientă din punct de vedere financiar a solurilor agricole. Astfel, se pot obține economii importante atât în ceea ce privește resursele financiare (salarii, transport, costul reactivilor,

resources of other nature (invested time, manpower, etc.) that are involved in the process. The choice of the appropriate sampling method depends on the agricultural culture and of the field on which the sampling principles are applied. The costs of the sampling are directly proportional to the size of the agricultural field. The spatial distribution of the sampling points is different for each method.

Acknowledgement

This paper is supported by the Sectoral Operational Programme Human Resources Development (SOP HRD), ID59321 financed from the European Social Fund and by the Romanian Government and uses experimental results obtained during a PhD mobility program of the first author at the Leibniz ATB Bornim Agricultural Institute (Berlin, Germany), under the supervision of Prof. dr. eng. Detlef Ehlert. The acknowledgements go there.

REFERENCES

- [1] Ferguson R.B., Hergert G.W. - *Soil Sampling for Precision Agriculture*, University of Nebraska Cooperative Extension EC 00 -154 (Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska);
- [2] U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service (1997) - *Agricultural Resource and Environmental Indicators, 1996–1997*, Handbook 716. Washington, D.C.: USDA, 1997;
- [3] Yakushev V.P., Bure V.M., Yakushev V.V. (2008) - *Methodology and tools for analyzing on-site data in precision agriculture*, Doklady Rossiiskoi Akademii Sel'skokhozyaistvennykh Nauk, 6 (2008) 56–59;
- [4] Corwin D.L., Lesch S.M. (2005) - *Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture*, Computers and Electronics in Agriculture 46 (2005) 11-43.

etc.), cât și resursele de altă natură (timp investit, forța de muncă, etc.), implicate în acest proces. Alegerea metodei potrivite de eșantionare depinde de cultura agricolă precum și de terenul pe care se aplică principiile eșantionării. Costurile eșantionării sunt direct proporționale cu mărimea câmpului agricol. Distribuția spațială a punctelor de eșantionare este diferită pentru fiecare metodă.

Mulțumiri

Această lucrare a fost elaborată cu sprijinul Programului Sectorial Operațional pentru Resurse Umane (POS DRU) ID59321, finanțat de către Fondul European Social și de către Guvernul României, și utilizează rezultate experimentale obținute în cadrul unei burse de mobilitate pentru studii doctorale ale primului autor la Institutul Leibniz ATB Bornim pentru Cercetări Agricole (Berlin, Germania), sub coordonarea domnului Prof. dr. ing. Detlef Ehlert.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Ferguson R.B., Hergert G.W. - *Soil Sampling for Precision Agriculture*, University of Nebraska Cooperative Extension EC 00 -154 (Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska);
- [2] U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service (1997) - *Agricultural Resource and Environmental Indicators, 1996–1997*, Handbook 716. Washington, D.C.: USDA;
- [3] Yakushev V.P., Bure V.M., Yakushev V.V. (2008) - *Methodology and tools for analyzing on-site data in precision agriculture*, Doklady Rossiiskoi Akademii Sel'skokhozyaistvennykh Nauk, 6 (2008) 56–59;
- [4] Corwin D.L., Lesch S.M. (2005) - *Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture*, Computers and Electronics in Agriculture 46 (2005) 11-43.