

**თბილისის მიწისქვეშა მიმოქცევითი ლაბორატორიის 1989–1991 წლების  
ვერტიკალური ექსტენზომეტრის მონაცემების  
ერთი ეფექტური შეფასების შესახებ**

**ქირია თ., ნიკოლაიშვილი მ., ლომაძე ე.**

*ივანე ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის  
მიხეილ ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თბილისი, საქართველო*

**ანოტაცია:** სტატიაში შესწავლია თბილისის მიწისქვეშა მიმოქცევითი ლაბორატორიის 1989-1991 წლების ექსტენზომეტრული მონაცემები და მათი ქცევის ბუნება. წარმოდგენილია შერჩევითი ძალდებული სტატისტიკური მეთოდის გამოყენება წინასწარ დასახელებულ ჰიპოთეზათა შესრულების არეების განსასაზღვრავად. აღნიშნული წლების მონაცემებში მეტწილად დაფიქსირებულია მცირე ინტენსივობის მოძრაობები, თუ არ ჩავთვლით იშვიათ ეპიზოდურ ძლიერ გადახრებს, საბოლოოდ პროცესი სტატისტიკურად სტაციონარულია და მასში იკვეთება სტატისტიკური სტრუქტურები, რომელიც ძირითადად დამახასიათებელია გარკვეული პერიოდული (მონაცვლეობითი) ფაქტორების მოქმედების დროს. სხვა სიტყვებით ეს იმას ნიშნავს, რომ მაღალი ალბათობით მიმოქცევით მონაცემებში დაიკვირვება შემომსაზღვრელი ქანების მხრიდან ერთნაირი სიმძლავრის ზემოქმედებათა შედეგად მიღებული სტაციონარული სტოქსტური ქცევა. განვიხილეთ  $T$  სტატისტიკით სასარგებლო სიგნალის აღდგენა, რომელიც გენერირებულია სწორედ დეტერმინისტული ხასიათის ზეგავლენით. მოყვანილია სტატისტიკური შეფასებების მოდელი ნორმალური განაწილებასთან შედარების მეთოდით, როცა ცნობილია ამ განაწილების პარამეტრები (სინჯი განაწილების მეთოდი).

**საკვანძო სიტყვები:** დედამიწის მიმოქცევითი პროცესები; სტოქსტური ქცევა; ექსტენზომეტრი.

1989-1991 წლების თბილისის მიწისქვეშა მიმოქცევითი ლაბორატორიის ვერტიკალური მიმოქცევითი ფაქტორების დასადგენად აქტიურად გამოვიკვლიეთ მონაცემები, სადაც მოყვანილია ვერტიკალური ექსტენზომეტრული ყოველსაათობრივი ანათვალის. ცხრილი წარმოდგენილია 22766 მონაცემის სახით.

აღნიშნული მონაცემების დამუშავების მიმართულებით მნიშვნელოვანი შრომები დაგვიტოვა თბილისის მიწისქვეშა მიმოქცევითი ლაბორატორიის მთავარმა ფუძემდებელმა, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორმა კარლო ქართველიშვილმა, სადაც გამოთვლილია მიმოქცევითი ცხრა ძირითადი ტალღის ამპლიტუდის განსაზღვრა ჰარმონიული ანალიზის გამოყენებით. ასევე გამოთვლილია შემომსაზღვრელი ქანების პუასონის კოეფიციენტი და ლიავას რიცხვის მეოთხე მნიშვნელობები. ჩვენთვის საინტერესო იყო ამ მონაცემების დამუშავება უახლესი სტატისტიკური მეთოდებით. როგორც ვიცით, სტატისტიკაში არსებობს ობიექტიური, სუბიექტური და ძლიერად ობიექტური შეფასებების თეორია [1,2], რომლებიც უკანასკნელი სიტყვაა შემთხვევით პროცესთა სტატისტიკაში. მაგალითად, ამ თეორიით მტკიცდება, რომ საშუალო შერჩევითი შეფასება ძალდებულია, მაგრამ ის სუბიექტურია („ცუდი შეფასება“). არსებობს შერჩევის ელემენტებზე მოდებული  $T$  სტატისტიკად ნოდებული ფუნქცია, რომელიც აფასებს სტოქსტური პროცესების პარამეტრებს ალბათობით [1].

სანამ უშუალოდ გადავალთ კონკრეტიკაზე, მოვიყვანოთ ზოგიერთი განმარტება ზოგადი სტოქსტური მოდელის შესახებ.

$$\xi_k = Q_k + \Delta_k, \quad k \in N \quad (1)$$

სადაც,  $\xi_k$  არის გარდაქმნილი სიგნალი, მიღებული  $Q_k$  სასარგებლო და  $\Delta_k$  თეთრი ხმაურით, მოდელი (1). ამ პროცესისთვის შევაფასოთ  $Q$  საშუალო და  $\sigma$  ს.შ. კვადრატული გადახრა.

ცხადია, ყოველ დაკვირვებას თან ახლავს ორიგინალური ემპირიკა, რომელიც მოითხოვს მრავალხრივ დამუშავებას. მათ შორისაა შერჩევიდან გამოიყოს რეგულარული ნაწილი, რითაც გვეძლევა საშუალება უფრო კარგად შევისწავლოთ პროცესის შედარებით რთული ნაწილი. პროცესთა თეორიაში ის ცნობილია როგორც დახლეჩა რეგულარულ და სინგულარულ ნაწილებად. ამის მისაღწევად მივმართავ შემდეგ მეთოდს.

პირველ რიგში ჩვენი დაკვირვების ნევრებისთვის ვპოულობთ შემდეგ შეფასებით ფუნქციას

$$T_n = \lim_{n \rightarrow \infty} n^{-1} \# \left( \{ \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n \} \cap (-\infty; 0] \right), \quad (2)$$

სადაც  $\#$  აღნიშნავს რაოდენობის მთვლელ ზომას. თუ (2)-ში ჩავსვამთ ჩვენს რეალურ მონაცემებს მივიღებთ (1) პროცესის  $Q$  -ს ობიექტურ შეფასებას. სხვა სიტყვებით, ეს არის ჩვეულებრივ შერჩევითი ჩეზაროს საშუალოს უკეთესი შეფასება. ზოგადად, შეიძლება ითქვას, რომ რთული პროცესების პარამეტრების შეფასებისას ასეთი შეფასებათა კლასი უფრო საინტერესო და სანდოა. ანალოგიურად შეგვიძლია შევაფასოთ (1) პროცესისთვის საშუალო კვადრატული გადახრა. მისი ოპტიმალური შეფასებისთვის გამოვიყენოთ ცნობილი განმეორებითი ლოგარითის კანონი:

$$T_n(\xi_k) = \frac{\sum_{k=1}^n \xi_k}{\sqrt{2n \log \log n}}. \quad (3)$$

შეფასება (3) არის საშუალო კვადრატული გადახრის უსასრულო შერჩევითი შეფასება განმეორებადი ლოგარითის კანონის გამოყენებით.

ამრიგად, (2) და (3) გვაძლევს ჩვენი მონაცემებისთვის პარამეტრების (საშუალო, საშუალო კვადრატული გადახრის) ძალდებულ შეფასებებს.

იმისათვის, რომ (1) მოდელიდან გამოვიყოთ რეგულარული ნაწილი, მივმართოდ შემდეგ მეთოდს. ავაგოთ ახალი პროცესი:

$$\eta_k = \phi_{(\sigma)}^{-1}(\text{rand}(0,1)) \quad k \in N, \quad (4)$$

სადაც  $\phi_{(\sigma)}^{-1}$  არის ნორმალური განაწილების ფუნქციის წინარე სახე. ხოლო  $\text{rand}(0,1)$  არის ფსევდო შემთხვევითი (0,1) ინტერვალზე განაწილებული რიცხვები.

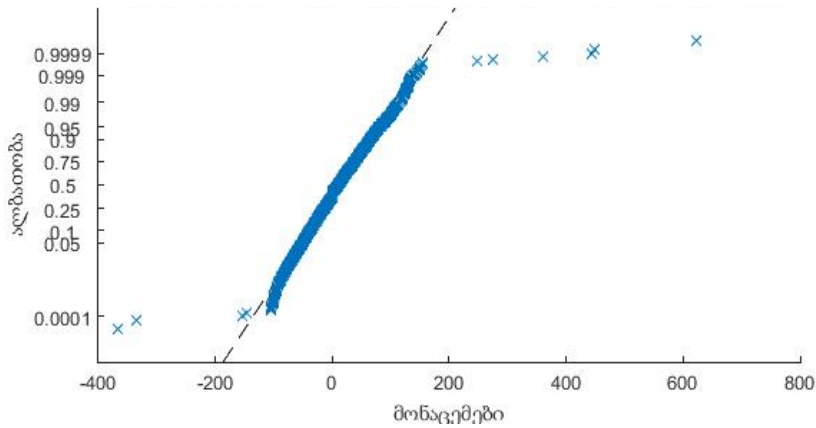
(4) ფორმულით შეგვიძლია არგუმენტის ხარჯზე მივიღოთ სხვადასხვა პროცესის გათამაშება. ჩვენი ამოცანაა ვიპოვოთ ისეთი  $\eta_k$ , რომ სამართლიანი იყოს შემდეგი:

$$\sum_{k=1}^n (\xi_k - \eta_k)^2 \rightarrow \min \quad (5)$$

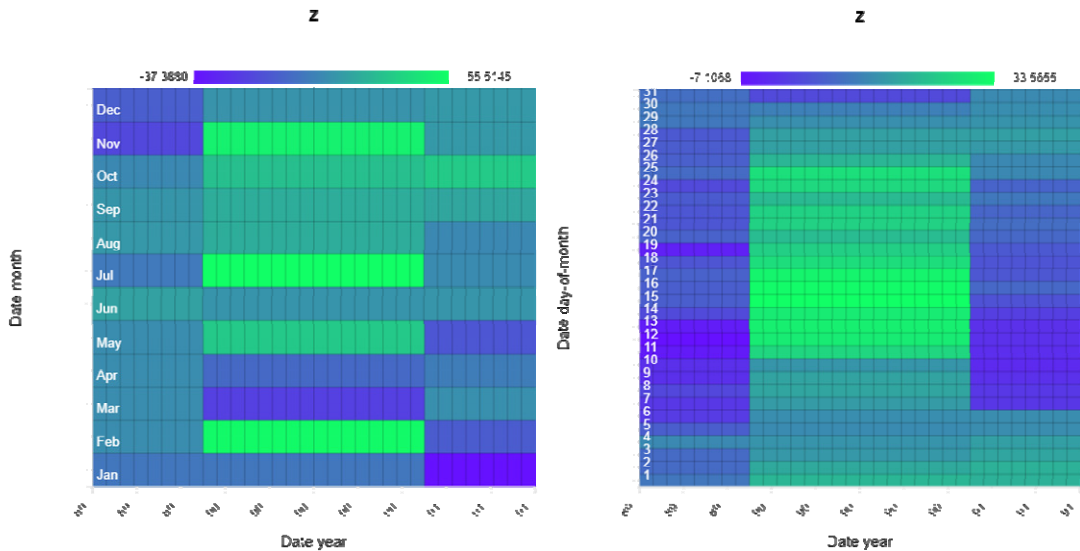
ასეთი  $\text{rand}(0,1)$ -ეული პოვნის შემდეგ, როცა (5)-ში მიღებული იქნება მინიმალური მნიშვნელობა, მაშინ შეგვიძლია დარწმუნებით ვთქვათ, რომ საკვლევ  $\xi_k$ -დან გამოვიყავით  $\eta_k$  არადეტერმინისტული ნაწილი (თეთრი ხმაური), საბოლოოდ, ამ მეთოდიკით მივიღეთ ჩვენი შერჩევის დახლეჩა რეგულარულ და სინგულარულ ნაწილებად  $Q_k$  და  $\Delta_k$  შერჩევის ყველა  $k$  ნერტილში. ასევე შეგვიძლია მთელი დაკვირვების სიგრძეზე ვიპოვოთ ნორმალურად განაწილებული მაქსიმალური (მსგავსი) შემადგენელი, რომლითაც რეგულარულ ნაწილთან ყოველ ნერტილში შეჯამებით მივიღებთ მთლიან სტოქასტურ პროცესს.

ზემოთმოყვანილი მათემატიკური ნაწილის კომპიუტერული რეალიზაციით ავაგეთ სინგულარული შემადგენლისთვის განაწილების კუმულატიური ფუნქცია. სურ.1 გვიჩვენებს, რომ მისი განაწილების ფუნქცია დიდწილად ემთხვევა ცნობილ ნორმალური განაწილების

კუმულატიურ ფუნქციას. რაც მიუთითებს, რომ ჩვენ შერჩევიდან მაქსიმალურად გამოვყავით, გათამაშების გზით, ნორმალური შემადგენელი.



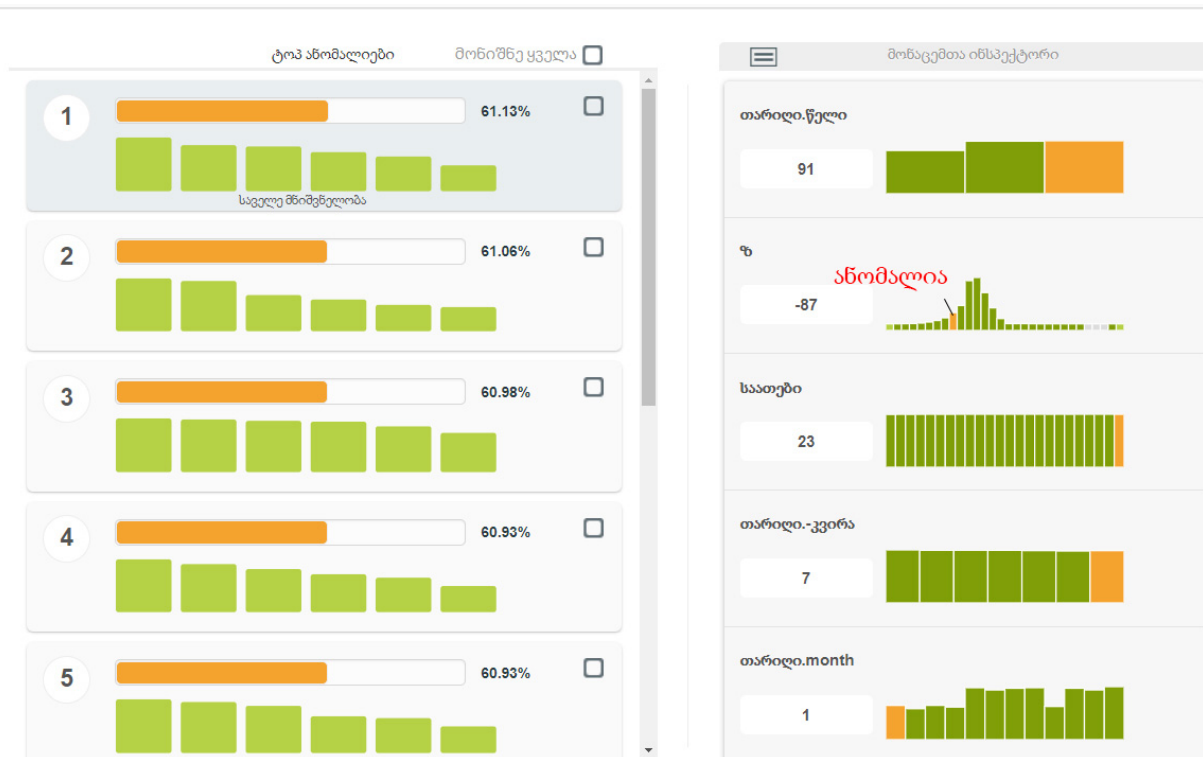
სურ. 1. ვერტიკალური ექსტენზომეტრის ანათვალეში სიდიდეების განაწილების კუმულატიური ფუნქცია.



სურ. 2. ვერტიკალური ექსტენზომეტრის ანათვალეში სიდიდეების კლასტერული კავშირები პრინციპით : 1. თვე-წლებთან ; 2. თვის დღეები – წლებთან.

ზემოაღნიშნულმა დახლეჩამ მოგვცა საშუალება გვეპოვა მნიშვნელოვანი კანონზომიერებები მინისქვეშა მიმოქცევების ჩანაწერებთან. სურ.2-ის მარცხენა გრაფიკაზე აშკარად ჩანს მონაცემთა ზემოაღნიშნული მონაცვლეობითი გადასვლები თვეების მიხედვით. განსაკუთრებით კონკრეტულად, თვალშისაცემია თებერვლის, ივლისის და ნოემბრის თვის ანათვალთა ძლიერი მსგავსება. მთლიან მონაცემთა ბაზაში ეს 3 კლასტერული ნაწილი, რომელთა შორის დროითი ინტერვალი თანაბარია, მეტყველებს დროის ამ ეპიზოდებში ისეთი პროცესების არსებობაზე, რომელიც გენერირებულია არალოკალური ფაქტორებით. ვინაიდან, პროცესი ამჟღავნებს მკაფიოდ Z ვერტიკალური მნიშვნელობის ერთი დადებითი მიმართულებით მოძრაობას სურ. 2, აშკარაა პერიოდული ფაზური გადასვლები დადებითი პოლუსიდან უარყოფითისკენ. სურ. 2-ის მარჯვენა გრაფიკი არის მარცხენა გრაფიკის ჩაშლა დღეების მიხედვით. აქაც, თვის შუა პერიოდში (12-20 რიცხვებში) ექსტენზომეტრის ანათვალეები 90% შემთხვევაში იმყოფება საშუალო მონაცემზე მაღლა. ასეთი ფაქტები მონაცემებში დაიკვირვება განსაკუთრებით 1990 წლის ანათვალეებში, სადაც დიდი წილი ზემოხსენებულ

თვეებზე მოდის. ეს ფაქტი იწვევს დამატებითი მრავალფაქტორული ანალიზის ჩატარების ინტერესს, რომელიც იქნება ჩვენი კვლევის შემდეგი ეტაპი.



სურ. 3 ვერტიკალური ექსტენზომეტრის ანათვლებში არაკორელირებადი და ტოპ 5 ანომალური ნაწილები

მონაცემთა ამ ანალიზში ნაპოვნია ურთიერთ არაკორელირებადი ნაწილები. ასევე, მონაცემთა ინსპექტირების ნაწილში ვიპოვეთ ძლიერი ანომალიები (იხ. სურ. 3-ის მარჯვენა სვეტში). საბოლოოდ მოხერხდა დეტერმინისტული (სურ.3-ზე მწვანე შეფერილობით დაახლოებით 40%) და არადეტერმინისტული (ნორმალურად განაწილებული მონაცემთა 60%) პროცესების დახლეჩვა. ცხადია, ცალკე კვლევის საკითხია ამ ანომალიების კავშირი სხვა გეოფიზიკურ-გეოლოგიურ პროცესებთან.

დასკვნის სახით შეიძლება ითქვას, რომ 1989-1991 წლების მინისქვეშა მიმოქცევით დაკვირვების მონაცემებში ნაპოვნია მთელი რიგი ფარული კანონზომიერებები და ისინი ყურადღებას იმსახურებენ. მიმოქცევით პროცესის ფაქტორთა შორის უპირატესის გამოსავლენად მიზანშეწონილია დავაკვირდეთ ფაზათა ცვალებადობას, გავარკვიოთ რა ხარისხის კავშირი შეიძლება ჰქონდეს მთვარე-დედამინის და მზე-დედამინის საკითხებთან.

### ლიტერატურა:

1. Ibramkhallilov I.Sh., Skorokhod A.V. On well-off estimates of parameters of stochastic processes. // Naukova Dumka, Kiev, 1980, (in Russian).
2. Pantsulaia G., Kintsurashvili M. An objective infinite sample well-founded estimates of a useful signal in the linear one-dimensional stochastic model. // Rep. Enlarged Sess. Semin. I. Vekua Appl. Math. 28, 2014.
3. ქართველიშვილი კ. დისლოკაციის თეორიის გამოყენება დედამინაში მიმდინარე ნახტომისებური დეფორმაციული პროცესების კვლევებში. // თბილისი, თსუ-ს გამომცემლობა, ტ. LXVII, 2017, გვ. 105-115.
4. Hassani H. Singular Spectrum Analysis: Methodology and Comparison, Cardiff University and Central Bank of the Islamic Republic of Iran. // Journal of Data Science 5, 2007, pp. 239-257.
5. Olyandina N., Nekrutkin V., Zhigljavsky A. Analysis of Time Series Structure. // CHAPMAN & HALL/CRC Boca Raton London New York Washington, D.C., 2001.

## ON ONE EFFECTIVE EVALUATION OF 1989-1991 DATA BY VERTICAL EXTENSOMETER OF THE UNDERGROUND CIRCULATORY LABORATORY IN TBILISI

Kiria T., Nikolaishvili M., Lomadze E.

### Summary

**Summary:** *The article studies the 1989-1991 extensometric data and the nature of their behavior at the Tbilisi underground circulation laboratory. The use of selective robust statistical methods to determine the predicted hypothesis performance areas is presented. The data for these years are mostly low intensity movements, except for rare episodic strong deviations, eventually the process is statistically stationary and reveals statistical structures that are mainly characteristic of certain periodic (alternating) factors. In other words, this means that most probably the stationary stochastic behavior resulting from the same power impacts on the boundary rocks are observed in the circulation data. We have discussed the recovery of a useful signal from T statistics that is generated by the very deterministic effect. The statistical estimation model is compared with the normal distribution method when the parameters of this distribution are known (sampling method).*

**Keywords:** *Earth circulatory processes; Stochastic behavior; Extensometer.*