

საქართველოს  
საინჟინრო  
სიახლენი

სსს

2'21

GEORGIAN  
ENGINEERING  
NEWS

GEN

---

ISSN 1512-0287

საქართველოს  
საინჟინერო  
სიანხლენი

GEORGIAN  
ENGINEERING  
NEWS

**N2, vol. 93, 2021**

# საქართველოს საინჟინრო სიახლენი GEORGIAN ENGINEERING NEWS, vol. 93, 2021

საერთაშორისო საინჟინრო აკადემია  
საქართველოს საინჟინრო აკადემია

მთავარი რედაქტორი: არჩილ ფრანგიშვილი

## სარედაქციო კოლეგია

- პ. ბიელიკი (სლოვაკეთი), ბ. გუსევი (რუსეთი), ნ. ედილბერტო (პერუ), ი. ემრი (სლოვაკეთი),  
ა. ვასილევი (უკრაინა), ლ. ივანოვი (რუსეთი), ა. კაბულოვი (უზბეკეთი),  
ბ. კატალინიჩი (ავსტრია), ვ. კეკელიძე (რუსეთი), პ. კერვალიშვილი (საქართველო),  
კ. კოჟოგულოვი (ყირგიზეთი), ს. მინასიანი (სომხეთი), ო. ნამიჩეიშვილი (საქართველო),  
პ. ნიკიტენკო (ბელარუსია), დ. ნოვიკოვი (რუსეთი), ა. პაშაევი (აზერბაიჯანი),  
რ. ჯინევიჩიუსი (ლიტვა), ბ. ჟუმაგულოვი (ყაზახეთი), ლ. საიდმუროდოვი (ტაჯიკეთი),  
რ. შრაფტი (გერმანია), დ. ჩომახიძე (საქართველო), გ. ჯავახაძე (საქართველო),  
ა. ჯანახმადოვი (აზერბაიჯანი)

## სარედაქციო საბჭო

დ. გორგიძე, ა. დოლიძე, ქ. მახაშვილი, მ. ფანჩვიძე

## International Engineering Academy Georgian Engineering Academy

Editor-in-Chief: Archil Prangishvili

## EDITORIAL BOARD

N. Edilberto (Peru), D. Chomakhidze (Georgia), G. Javakhadze (Georgia), A. Janahmadov (Azerbaijan),  
P. Bielik (Slovakia), B. Gusev (Russia), I. Emri (Slovenia), L. Ivanov (Russia), A. Kabulov (Uzbekistan),  
K. Kozhogulov (Kyrgyz Republic), B. Katalinich (Austria), P. Kervalishvili (Georgia),  
V. Kekelidze (Russia), S. Minasyan (Armenia), R. Ginevičius (Lithuania), O. Namicheishvili (Georgia),  
P. Nikitenko (Belarus), D. Novikov (Russia), A. Pashayev (Azerbaijan), L. Saidmurodov (Tajikistan),  
R. Shraft (Germany), A. Vasiliev (Ukraine), B. Zhumagulov (Kazakhstan).

## EDITORIAL STAFF:

D. Gorgidze, A. Dolidze, K. Makhashvili and M. Panchvidze

## Georgian Engineering News (GEN)LTD

Address: TECHINFORMI, St. Kostava 47, Tbilisi 0179

Tel.: 995 (32) 2335315, 2335122

Fax: 995 (32) 2335122

[e-mail:nellyvm@caucasus.net](mailto:nellyvm@caucasus.net)

Internet: [www.tech.caucasus.net](http://www.tech.caucasus.net)

Copyright © by GEN LTD

სარჩევი

<b>ON SUMMABILITY OF KOTELNIKOV SERIES BY REIMANN METHOD</b> <i>Skhirtladze I.A.</i>	7
<b>DIFFERENT APPROACHES TO SIMULATING DATA TRANSMISSION BY A SINGLE STATION IN ONLINE WI-FI NETWORK</b> <i>Rodonaia I.D., Rodonaia V.I. and Morchiladze A.S.</i>	9
<b>ANALYSIS OF THE DIFFRACTION PROPERTIES OF THE CORNER BEND OF A RECTANGULAR WAVEGUIDE IN THE PLANE OF THE MAGNETIC VECTOR BY METHOD OF SUPERPOSITION OF ALTERNATIVE FIELD REPRESENTATIONS</b> <i>Gdzelishvili S.C.</i>	16
ხუთ-პორტიანი ტალღამტარული უმსახურების/ბანმშტოებლის კომპიუტერული მოდელი და ზოგიერთი ელემენტროდინამიკური მახასიათებელი <i>შენგელია მ.ა.</i>	21
ახალი უმადგენლობის წვრილმარცვლოვანი ბეტონის სიმტკიცის კვლევა <i>როსნაძე გ.ვ., კანკავა ა.ვ., ბანძელაძე ბ.რ., შალამბერიძე მ.შ.</i>	25
უმროვის უშქებების და საძირკვლების დიაგნოსტიკა <i>ბახტაძე ნ.ვ., შენგელია მ.რ., ტყაბლაძე ვ.ს., არსენიშვილი დ.ზ.</i>	29
<b>DESIGN OF A SOLAR THERMAL POWER PLANT USING MATHEMATICAL MODEL</b> <i>Metreveli G.T.</i>	32
ელემენტროენერგეტიკის ექსპორტ-იმპორტი საქართველოში 2005 – 2020 წლების ანალიზი <i>ჭანტურიძე ბ.ფ.</i>	37
ფოტის საზღვარ ნავსადგურის გაფართოების საინჟინერიო პროექტი <i>მარგალიტაძე ი.ნ., გაბიძაშვილი ლ.გ.</i>	41
საზღვარ პორტები - ქვეყნის ეკონომიკის საუშუკველი <i>მარგალიტაძე ი.ნ., გაბიძაშვილი ლ.გ.</i>	43
ავტომობილის ძრავის ეკოლოგიურობაზე ბენზინის ბიოდანამატის გავლენის კვლევა <i>იოსებიძე ჯ.ს., აბრამიშვილი ვ.ს., ხეცურიანი ნ.თ., ჩხაიძე მ.ნ.</i>	45
საწვავი ეთანოლის და ეთანოლ/ბენზინის ნარევიების ფიზიკურ-ქიმიური კვლევა <i>ჩხაიძე მ.ნ.</i>	49
ავტოტამტვირთავი მანქანების საიმელოობის კვლევა <i>ცეცხლაძე გ.გ.</i>	53
<b>CATALYTIC ACTIVITY OF NICKEL OXIDE ON THE VARIOUS SYNTHETIC AND NATURAL CARRIERS IN THE REACTION TEMPERATURE RANGE 500÷850°C</b> <i>Kutelia E.R., Dossumov K.D., Gventsadze D.I., Yergaziyeva G.E., Dzigrashvili T.A., Mambetova M.M., Jalabadze N.V., Myltykbayeva L.K., Nadaraia L.V., Tsurtsumia O.O., Gventsadze L.D., Kukava T.G., Telbayeva M.M.</i>	56

ხელით ელექტრორკალური შეღუფების ახალი დანაფარის სიმტკიცისა და თხევადი წილის სიბლანტის კვლევა <i>საბაშვილი ზ.გ., სულამანიძე ა.კ., ნიკოლაგა თ.ი., ვატიტაძე გ.ზ.</i>	63
ტექსტის სტრუქტურის სემანტიკა მორფოლოგიური და ჰისტორიკის პროცესის კომბინირებული მეთოდის გამოყენებით <i>სეხნიაშვილი დ.ნ., სვანიძე რ.გ.</i>	68
ბეჭდური და ხელნაწერი ტექსტური დოკუმენტების კორექტირება ტექსტის სტრუქტურის, სიტყვების და ასოების სემანტიკის მეთოდით <i>სეხნიაშვილი დ.ნ., სვანიძე რ.გ.</i>	72
ფარმაცევტული პრეპარატების ბავრცელება სასამედიცინო ფაქტორებით <i>გურგენიძე დ.რ., ბაგრატიონ-დავითაშვილი ა.ნ., ცინაძე ზ.თ., სურამელიაშვილი ე.რ., ებანოძე გ.გ.</i>	76
პრობნოზირება და მისი მნიშვნელობა ბუნებათსარგებლობაში <i>მჭედელიშვილი გ.ს., მამულაშვილი მ.ა.</i>	81
რადონის ზემოქმედებით განპირობებული რისკების შეფასება თბილისის ზოგიერთ უბანში <i>ფაღაგა ს.გ., გორგაძე კ.მ., დეკანოსიძე შ.გ., მეცხვარიშვილი მ.რ., კალანდაძე ი.გ., ლომსაძე ხ.ა., ხიზანიშვილი შ.მ., რუსეცკი ვ.თ., გიორგაძე ი.ს.</i>	86
<b>ON DEFINITION OF MODULUS OF DEFORMATION OF GROUND BY LABORATORY METHOD</b> <i>Giorgishvili O.G. and Salukvadze I.K.</i>	89
ჰაბენ-პუაზილის დინება სადაწვეო მიწაში და ბარომეტრული პროცესები <i>ბიბილეიშვილი გ.გ., ყუფარაძე ლ.პ., კაკაბაძე ე.გ., ომსარაშვილი თ.ი.</i>	94
ზოგიერთი ფაქტორის გავლენის შესწავლა ფაზური ინვერსიის მეთოდით მიღებული მიკრო- და ულტრაფილტრაციული მემბრანების ფორმირების პროცესში <i>ბიბილეიშვილი გ.გ., ებანოძე ლ.ო., კეჭერაშვილი მ.გ., გოგესაშვილი ნ.ნ.</i>	97
პოლიმერული კომპოზიტის შედგენილობის გავლენა ალიფატური პოლიამიდური მემბრანების მახასიათებლებზე <i>ბიბილეიშვილი გ.გ., კეჭერაშვილი მ.გ., ებანოძე ლ.ო., ყუფარაძე ლ.პ.</i>	101
პოლიმერული კომპოზიტის სიბლანტის გავლენა პოლიეთერულფონური მემბრანების მორფოლოგიაზე <i>ბიბილეიშვილი გ.გ., კეჭერაშვილი მ.გ., გოგესაშვილი ნ.ნ., მამულაშვილი მ.ა.</i>	104
პოლიმერული დანამატების გავლენის შესწავლა ალიფატური ამიდებისგან მიღებული მემბრანების სტრუქტურაზე <i>ბიბილეიშვილი გ.გ., გოგესაშვილი ნ.ნ., მამულაშვილი მ.ა., ჯაგაშვილი ზ.დ.</i>	107
ორბანული დანამატების გავლენის კვლევა პოლისულფონური მემბრანების სტრუქტურაზე <i>ბიბილეიშვილი გ.გ., გოგესაშვილი ნ.ნ., ებანოძე ლ.ო., კეჭერაშვილი მ.გ.</i>	110
ულტრაფილტრაციული მემბრანებით დამუშავებული ბუნებრივი მტკნარი წყლების მიკრობიოლოგიური კვლევა <i>ბიბილეიშვილი გ.გ., მამულაშვილი მ.ა., ჯაგაშვილი ზ.დ., კაკაბაძე ე.გ.</i>	113

შავი ზღვის წყლის მიკრობიოლოგიური კვლევა და ულტრაფილტრაციის მეთოდის გამოყენება საქართველოს საკურორტო ზონის ეკოლოგიურად სუფთა წყლით უზრუნველყოფისათვის <i>ბიბილეიშვილი გ.გ., მამულაშვილი მ.ა., ჯაგაშვილი ზ.დ., ბუთხუზი თ.გ.</i>	115
კოლიეთერსულფონების მემბრანული აკვების მორფოლოგიური თვისებების კვლევა ორბანული დანამატების გავლენის გათვალისწინებით <i>ბიბილეიშვილი გ.გ., გოგესაშვილი ნ.ნ., კეჭერაშვილი მ.გ., მამულაშვილი მ.ა., ებანოიძე ლ.ო.</i>	118
კოლიმერულ კომპოზიციაში მიკრობეულური ნაწილაკების ზომის გავლენის შესწავლა მემბრანის მორფოლოგიასა და მახასიათებლებზე <i>ბიბილეიშვილი გ.გ., კეჭერაშვილი მ.გ., გოგესაშვილი ნ.ნ., მამულაშვილი მ.ა., ებანოიძე ლ.ო.</i>	121
პროტეინდანტები და ანტიპროტეინდანტები ბიოლოგიურ სისტემებში <i>გამყრელიძე ნ.მ.</i>	123
კახეთში გავრცელებული ლელვის ზოგიერთი ჯიშის ქიმიური მარკენებლების შესწავლა მათი სამრეწველო გამოყენების მიზნით <i>შილდელაშვილი ი.ი., ბუიშვილი გ.თ., ღაღოლიშვილი მ.შ.</i>	127
ჭვავის ნედლეულის გამოყენება საკონდიტრო ნაწარმში <i>ღოღოძე მ.გ., სუხიშვილი ნ.ზ., ოთარაშვილი ნ.ი.</i>	129
<i>ზაურ შადიურაშვილი – 85</i>	132
<i>ემღვნება აკადემიკოს გივი ცინცაძის ხსოვნას</i>	133



## ON SUMMABILITY OF KOTELNIKOV SERIES BY RIEMANN METHOD

Skhirtladze I.A.

V. Chavchanidze Institute of Cybernetics Georgian Technical University

**Abstract.** Necessary and sufficient conditions for the summability of the Kotelnikov series are considered.

**Keywords:** summability, Kotelnikov series, Riemann method.

As is well-known, one of the central theorem, which belongs to J.M. Whittaker, is known as the sampling theorem in mathematical literature. Exactly the mentioned theorem provides the basis for study of the behaviour of functional series of definite type:

$$\sum_{n=0}^{\infty} C_n \frac{\sin(x - n\pi)}{n\pi}$$

(convergence, uniform convergence, summability in a certain sense). Hereafter the series of mentioned type were named as Kotelnikov series. It is evident that the behaviour of the mentioned series depends on the properties of the coefficient  $C_n$   $n = 0, 1, \dots$ . In the theory of divergent series so-called summability methods are well-known. The goal of the mentioned involves the ascription of certain sum a new sense to each divergent series so that the method remains the convergent series as convergent series and doesn't change the sum. And in the case of divergency the series will acquire the sum by new sense. The mentioned methods are named as the regular methods of summability [1-5].

Our goal is to show that in certain conditions the Kotelnikov series are summable by so-called Riemann method.

**Definition 1.** Numerical series  $\sum_{n=0}^{\infty} U_n$  is named as summable by Riemann series to number

of the following ratio is  $\lim_{h \rightarrow 0} \left[ U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} U_n \left( \frac{\sin nh}{nh} \right)^2 \right] = S$

**Definition 2.** Functional series  $\sum_{n=0}^{\infty} U_n(x)$  is named as Est to (Sx) function summable by

Riemann method if for any point  $x \in E$  the following ratio is observed

$$\lim_{h \rightarrow 0} \left[ U_0(x) + \sum_{n=1}^{\infty} U_n(x) \left( \frac{\sin nh}{nh} \right)^2 \right] = S(x)$$

**Definition 3.** Let us assume that the functional series is presented. Let us assume that for mentioned series the sum of formally twofold differentiated series is continuous. Therefore this sum is named as Riemann function of initial functional series. Let us designate the Riemann function of Kotelnikov series as F(x).

**Definition 4.** Let us concede that  $\Phi(x)$  function is determined at some area of point  $x_0$ . If the finite limit is presented:  $\lim_{h \rightarrow 0} \frac{\Phi(x+h) + \Phi(x-h) - 2\Phi(x_0)}{h^2}$

it is named as Schwartz second order derivative and marked as  $D^2\Phi(x_0)$  symbol.  $l^2$  – designates Hilbert coordinate space.

**Basic theorem 1.** If the sequence of the coefficients of Kotelnikov series is the element of  $l^2$  Hilbert coordinate space and Riemann function F(x) is characterized by second order Shwartz



derivative in some X-point, than the series is summable by Riemann methods  $D^2 F(x)$  function or the ratio is observed

$$\lim_{h \rightarrow 0} \left[ C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \frac{\sin(x-n\pi)}{x-n\pi} \left( \frac{\sin nh}{nh} \right)^2 \right] = D^2 F(x)$$

**Theorem 2.** If the conditions of the theorem 2 are uniformly obeyed at some E-set than Kotelnikov series are uniformly summable by Riemann method to the function  $D^2 F(x)$ .

#### REFERENCES

1. N.K. Bari. Trigonometric series. –Moscow, 1961, pp.187-190.
2. E.T. Whittaker. On the functions which are represented by the expansions of the interpolator theory. /Proc. Roy. Soc. Ed. v. 35, 1915, pp. 181-194.
3. A.I. Shmukler, I.A. Shulman. О некоторых свойства рядов Котельникова. Izv.vysshikh uchebnukh zavedinii (Russian). No.3, 1974, pp. 83-103.
4. I. Skhirtladze, N. Skhirtladze. Some properties of Kotelnikov`s series. /Bull. Georgian Acad. Sci. 166, No.3, 2001, pp. 438-440.
5. Calderon A.P., Zygmund A. On the theorem Hausdorff-yong and its extensions. /Ann. Meth. studies, 85, 1950, pp.166-188.

#### РЕЗЮМЕ

#### СУММИРУЕМОСТЬ РЯДА КОТЕЛЬНИКОВА МЕТОДОМ РИМАНА

Схиртладзе И.А.

Институт Кибернетики Институт кибернетики им. В. Чавчанидзе Грузинского Технического Университета

Рассматривается необходимое и достаточное условие для суммируемости ряда Котельникова.

**Ключевые слова:** суммируемость, ряд Котельникова, метод Римана.

## DIFFERENT APPROACHES TO SIMULATING DATA TRANSMISSION BY A SINGLE STATION IN ONLINE WI-FI NETWORK

Rodonaia I.D., Rodonaia V.I. and Morchiladze A.S.

International Black Sea University  
Georgian Technical University

**Abstract:** The development trend of information technology requires the processing of an increasing amount of information. For this is increasingly used by distributed data processing systems using wireless network technologies. However, their use is currently limited due to network time delays and packet loss. To calculate the parameters of the functioning of such systems, it is necessary to develop mathematical models, allowing to take these factors into account when designing systems to optimize the delivery time of information. Some works are devoted to the construction of such models, but a comparative analysis of these models and correlation with experimental data are not available. This article provides a comparative analysis of different models for the transmission of one packet and a comparison obtained results with experimental data.

**Keywords:** Wi-Fi, CSMA/CA, data transfer simulation, delay, interference, bandwidth, transmission, medium access protocol, WLAN, MAC

### Research Topic

This article discusses five different mathematical models for the transmission of one packet by one station on a Wi-Fi network. The packet exchange process will be considered as a homogeneous Markov discrete states and continuous time. For each of the models, a labeled state graph is presented to assess the possible delivery time of the package in such a way that the states in which the package was delivered become final. The corresponding system of Kolmogorov equations is constructed, a comparative analysis of the model results is carried out with the results of a practical experiment.

These models were built according to the 802.11 standard using carrier sense multiple access and collision avoidance (CSMA / CA) [1].

The sequence of packet exchange (according to the 802.11a standard) between the transmitting and receiving stations in the case of successful and unsuccessful transmission of one packet (fragment) at the first attempt is shown in Figures 1 and 2, respectively.

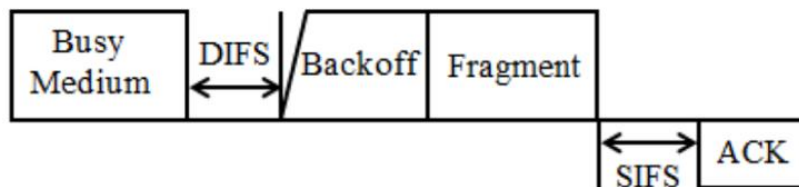


Figure 1: Successful transmission of one packet

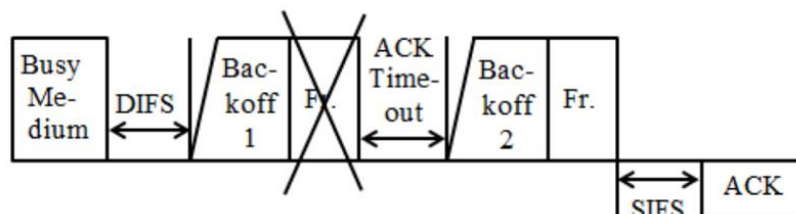


Figure 2: Unsuccessful transmission of one packet on the first attempt

Note that there can be a delay in the transmission of information only during the transmission of a fragment and an ACK packet. For the successful transmission of several packets in order to increase the efficiency of data transmission, the Bursting mode is used [2,3], in which there is an increase in throughput due to the removal of part of the temporary costs. In this case, the sequence of sending  $n$  packets by one network device has the form shown in Figure 3 [3].

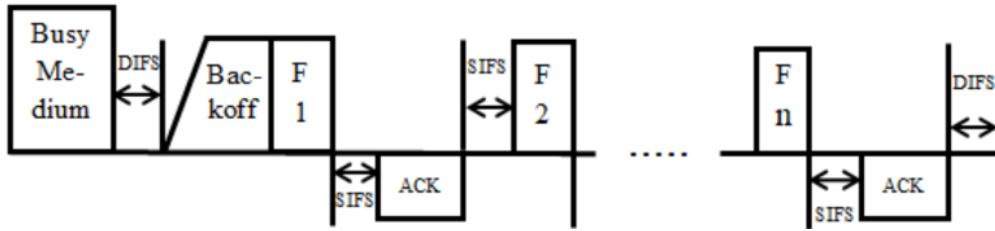


Figure 3: Sending n packets in Bursting mode

Let's discuss these five models:

**Model 1 - Failure to send one packet on the first attempt:**

This model corresponds to the packet exchange sequence shown in Figure 2, then the data transfer will correspond to the labeled state graph shown in Figure 4.

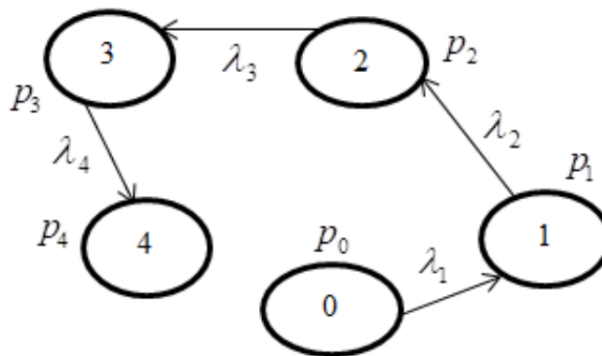


Figure 4: State graph for unsuccessful sending of one packet on the first attempt

Let's describe the 4 states shown in the figure:

$p_0$  - initial state (no packages);  $p_1$  - packet generation by the transmitting station;  $p_2$  - the transmitting station waits for DIFS + Backoff Time<sub>1</sub>, transmits one packet (fragment) with a possible delay, waits for the set ACK Timeout;  $p_3$  - the station waits for Backoff Time<sub>2</sub>, retransmits the packet with a possible delay;  $p_4$  - the station waits for the SIFS time, the receiving station sends an ACK packet with a possible delay.

Here,  $\lambda_1$  packets - the intensity of information transmission by the transmitting station,  $\lambda_i$  - transmi-

ssion rate, where  $\lambda_i = \frac{1}{t_i} (i = 2,3,4)$  and

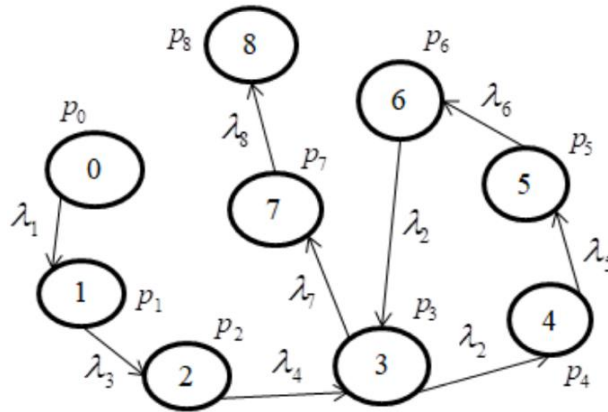
$$t_2 = t_{DIFS} + t_{BACKOFF_1} + t_{FRAGMENT} + t_{ACK\_Timeout} + t_{delays}$$

$$t_3 = t_{BACKOFF_2} + t_{FRAGMENT} + t_{delays}$$

$$t_4 = t_{SIFS} + t_{ACK} + t_{delays}$$

**Model 2 - possible unsuccessful sending of one packet on the first attempt (first option)**

Let's assume that an unsuccessful transmission of information on the first attempt is possible, but it is guaranteed to be successful on the second, and there may be a delay in the transmission of information. When building this model, the information transmission schemes were used which are presented in Figures 2 and 3.



**Figure 5: State graph for a possible unsuccessful transmission of one packet by one station (1<sup>st</sup> option)**

Let's describe the states shown in Figure 5:

$p_0$  - initial state (no packets to send);  $p_1$  - generation of packets by the transmitting station;  $p_2$  - pause 1 (the transmitting station waits for DIFS + Backoff Time<sub>1</sub>);  $p_3$  - sending a packet with a possible delay;  $p_4$  - unsuccessful transmission of part of the packets;  $p_5$  - pause 2 (the transmitting station waits for ACK\_Timeout);  $p_6$  - pause 3 (the transmitting station waits for Backoff Time<sub>2</sub>);  $p_7$  - successful packet transmission with a delay, the station waits for SIFS time;  $p_8$  - the receiving station transmits an ACK packet with a possible delay.

Hear  $\lambda_1$  packets - the intensity of information transmission by the transmitting station,  $\lambda_2 = k \times \lambda_1$ , where  $k$  - unsuccessful sending rate (part of sent packets),  $\lambda_i$  - the intensity of information transmission,  $\lambda_i = \frac{1}{t_i}$  ( $i = 3, 4, 5 \dots 8$ ) and

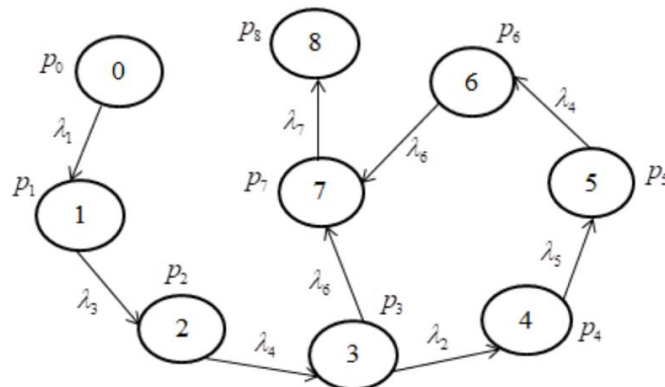
$$t_3 = t_{DIFS} + t_{BACKOFF_1}$$

$$t_4 = t_{FRAGMENT} + t_{delays}$$

$$t_5 = t_{ACK\_Timeout} \quad t_6 = t_{BACKOFF_2}, \quad t_7 = t_{SIFS}, \quad t_8 = t_{ACK} + t_{delays}$$

**Model 3 - possible unsuccessful transmission of one packet at the first attempt (second option)**

This is another modification of the previous model. In this case the state graph will have the form presented in Figure 6.



**Figure 6: State graph for a possible unsuccessful transmission of one fragment by one station with a delay (2<sup>nd</sup> option)**

Let's describe the states shown in Figure 6:

$p_0$  - initial state (no packets to send);  $p_1$  - generation of packets by the transmitting station;  $p_2$  - pause 1 (the transmitting station waits for DIFS + Backoff Time<sub>1</sub>);  $p_3$  - sending a packet with a possible delay;  $p_4$  - unsuccessful transmission of part of the packets at first time;  $p_5$  - pause 2 (the transmitting station waits for ACK\_Timeout + Backoff Time<sub>2</sub>);  $p_6$  - successful transmission of “unsuccessful” packets with a possible delay;  $p_7$  - the transmitting station waits for the SIFS time;  $p_8$  - the receiving station transmits an ACK packet with a possible delay.

Here  $\lambda_1$  packets - the intensity of information transmission by the transmitting station,  $\lambda_2 = k + \lambda_1$  where  $k$  - unsuccessful sending rate (part of sent packets),  $\lambda_i$  - the intensity of information transmission,  $\lambda_i = \frac{1}{t_i}$  ( $i = 3, 4, 5 \dots 8$ ) and

$$t_3 = t_{DIFFS} + t_{BACKOFF\_1}$$

$$t_4 = t_{FRAGMENT} + t_{delays}$$

$$t_5 = t_{ACK\_Timeou} + t_{BACKOFF\_2}, \quad t_6 = t_{SIFS}, \quad t_7 = t_{ACK} + t_{delays}$$

#### Model 4 - Cyclic Successful Transmission of One Packet

To build this model, the scheme was used, which is presented on Figure 3, but instead of sequential packet sending, a circular one is proposed. The corresponding labeled graph is shown in Figure 7.

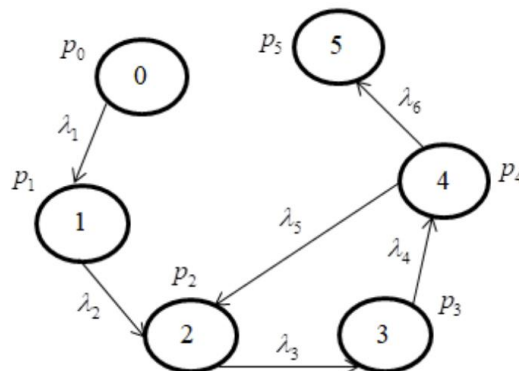


Figure 7: State graph for cyclic successful transmission of one fragment by one station with a delay

Let's describe the states shown in Figure 7:

$p_0$  - initial state (no packets to send);  $p_1$  - generation of packets by the transmitting station;  $p_2$  - pause 1 (the transmitting station waits for DIFS + Backoff Time);  $p_3$  - sending a packet with a possible delay;  $p_4$  - pause 2 (station waits for SIFS time);  $p_5$  - the receiving station transmits an ACK packet with a possible delay.

Here  $\lambda_1$  packets - the intensity of information transmission by the transmitting station,  $\lambda_i$  - transmission rate,  $\lambda_i = \frac{1}{t_i}$  ( $i = 2, 3, \dots 8$ ) and

$$t_2 = t_{DIFFS} + t_{BACKOFF}$$

$$t_3 = t_{FRAGMENT} + t_{delays}$$

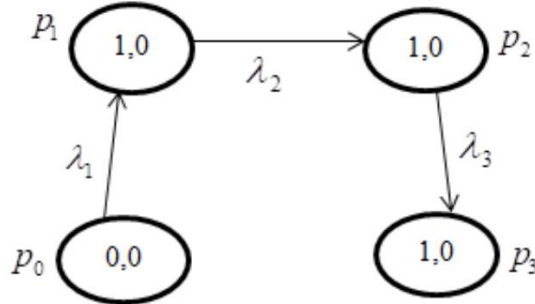
$$t_4 = t_{SIFS}$$

$$t_5 = t_{ACK} + t_{SIFS} + t_{delays},$$

$$t_6 = t_{ACK} + t_{delays}$$

**Model 5 - sequential successful transmission of n packets**

Bursting mode is used to successfully transmit n packets in series. In this case the sequence of sending n packets by one network device has the form presented in Figure 3. The corresponding labeled graph is illustrated in Figure 8.



**Figure 8: State graph for sequential transmission of n packets in Bursting mode**

From the diagram in Figure 3, it can be seen that for each packet (fragment) sent with a delay, there are 2 SIFS pauses and 1 ACK packet with a delay.

Let's describe the states shown in Figure 8:

$p_0$  - initial state (no packets to send);  $p_1$  - generation of packets by the transmitting station;  $p_2$  - pause 1 (the transmitting station waits for DIFS + Backoff Time);  $p_3$  - Sending n packets with a possible delay, the transmitting station waits for 2n SIFS time, the receiving station transmits n ACK packets with a possible delay.

Here  $\lambda_1$  packets - the intensity of information transmission by the transmitting station,  $\lambda_i$  - transmission rate,  $\lambda_i = \frac{1}{t_i}$  ( $i = 2,3$ ) and

$$t_2 = t_{DIFS} + t_{BACKOFF}$$

$$t_3 = n \times (2t_{SIFS} + t_{FRAGMENT} + t_{ACK} + 2t_{delays})$$

**Solution**

To find the limiting probabilities of the states of the system and the law of distribution of information transmission time, a system of Kolmogorov equations is constructed. For model 1 it has the following form [4]:

$$\begin{cases} \frac{dp_0}{dt} = -\lambda_1 p_0 \\ \frac{dp_1}{dt} = \lambda_1 p_0 - \lambda_2 p_1 \\ \frac{dp_2}{dt} = \lambda_2 p_1 - \lambda_3 p_2 \\ \frac{dp_3}{dt} = \lambda_3 p_2 - \lambda_4 p_{31} \\ \frac{dp_4}{dt} = \lambda_4 p_3 \end{cases}$$

Initial conditions:

$$\begin{cases} p_0(0) = 1, \\ p_i(0) = 0 (i = 1,2,...,0) \end{cases}$$

For this model the probability distribution density of the delivery time of one packet by the transmitting station will be determined by the function

$$F(t) = \lambda_4 p_3(t)$$

For the other models in the system Kolmogorov equations are constructed in the similar way.

**Testing Results**

When solving all systems of differential equations, the parameter values from the IEEE 802.11a standard were used:  $t_{SLOT\_TIMER} = 9mcs$ ,  $t_{SIFS} = 16mcs$ ,  $t_{DIFS} = t_{SIFS} + 2t_{SLOT\_TIMER} = 34mcs$ ,  $t_{ACK\_Timeout} = 100mcs$ , size of frame  $ACK - 14$  bytes, size of transmitted packets (frames) –  $FRAGMENT\_i - 700$  bytes. For the first and third model  $t_{BACKOFF\_i} = d_i \cdot t_{SLOT\_TIMER}$  ( $d_i$  - rollback timer random value), moreover  $d_i = 1 (i=1,2)$  in the case of minimal time expenditures and  $d_1 = 31, d_2 = 63$  – in the case of maximum. For the fourth and fifth model  $t_{BACKOFF} = d \cdot t_{SLOT\_TIMER}$ , where  $d = 1$  in the case of minimal time expenditures and  $d = 31$  – in the case of maximum. For the second and third model unsuccessful sending rate  $k = 0,1\%$ . Transmission speed  $K - 100mb / s$ . The solution of the system was found numerically on the segment  $[0; 0.04]$  with the number of segments of the partition  $N = 2000$ . The delay time  $t_{delay}$  take the values from 0 to 125mcs. Intensity of information transmission -  $\lambda_1 - 200, 400, 600, 800$  and 1000 packets per second (p/s). For the numerical solution the software mathematical package Maple 13 and the Runge-Kutta-Felhberg method of 4-5 orders were used. To check the simulation results, measurements of the real packet transmission rate were carried out. The computer was connected with an Ethernet network cable to dual-band Wi-Fi router Toto-Link N301RT (frequency 2.4 GHz), laptop - using Wi-Fi. Traffic was captured on a laptop using the EtherGen program. As only one client (computer) was connected to the Wi-Fi network, the delays can be considered minimal. Table 1 shows the expected time of receiving packets for the first 4 models and the real time at different load of the channel. The first value is the minimum, for  $d_{1,2} = 1$  (2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> model) and  $d = 1$  (4<sup>th</sup> model),  $t_{delay} = 0$ , the second value is the maximum, for  $d_1 = 31, d_2 = 63$  (1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> model) and  $d = 31$  (4<sup>th</sup> model),  $t_{delay} = 125$ . No doubt about that, for one client-server pair, none of models 1-4 is suitable, although with a large network load (1000 p/s), the experimental data approach the model, especially for 2-3 models.

**Table 1. Actual and expected time of package receipt for models 1-4**

	Information Transfer Rate				
	200p/s	400p/s	600p/s	800p/s	1000p/s
experiments	0,000465223 0,000484871	0,000465223 0,000473366	0,000459202 0,000489319	0,000782919 0,000784406	0,000820112 0,000849802
1 <sup>st</sup> model	0,00525994– 0,00645821	0,00277587– 0,00397887	0,00194255– 0,00314554	0,00152588– 0,00272887	0,00127588– 0,00247888
2 <sup>nd</sup> model	0,00509804– 0,00561630	0,00261345– 0,00313345	0,00178012– 0,00230012	0,00136346– 0,00188346	0,00111346– 0,00163346
3 <sup>rd</sup> model	0,00509805– 0,00561632	0,00261347– 0,00313347	0,00178014– 0,00230015	0,00136347– 0,00188348	0,00111347– 0,00163349
4 <sup>th</sup> model	0,00510239– 0,00578818	0,00261780– 0,00330598	0,00178448– 0,00247265	0,00136782– 0,00205599	0,00111782– 0,00180599

If we carry out a comparative analysis of these models with each other, then it can be seen that the results of the numerical experiment for the 2nd and 3rd models practically are similar, although for the 3rd one they are slightly higher. Largest values turned out for the 1<sup>st</sup> model, which is explained by the large time costs. The most unpredictable of these models is the 4<sup>th</sup> one, in which, despite the absence of re-sending the packet, the time costs, although less than it was in the 1<sup>st</sup> model (which is clear), but more than the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> models.

For the 5th model, rough estimates were obtained for determining the delivery time of a packet: the results of a numerical experiment for sequentially sending n packets were divided by n. The values obtained for different network loads are shown in Table 2.

Thus, for one client-server pair, packets are sent in Bursting mode, and (as expected) the number of packets decreases with increasing channel load.

Table 2. Actual and expected time of package receipt for model 5

Speed (packets per second)	Experiment	5 <sup>th</sup> Model		
		n – number of packets	<i>d</i>	Expected time
200	0,0004843563 0,0004848711	13	1	0,000472889
			31	0,000493571
400	0,000465223 0,000473366	7	1	0,000449759
			31	0,000488329
600	0,000459202 0,000489319	5	1	0,000428407
			31	0,000482406
800	0,00078292 0,000784407	2	1	0,000732974
			31	0,000867972
1000	0,000820112 0,000849802	2	1	0,000607974
			31	0,000742974
		1	1	0,001129474
			31	0,001379474

### Conclusion

From the analysis of the results, we can see that for one client-server pair packet transmission with a low channel load is carried out in Bursting mode, and with a large one, it approaches the results for models 2-3, which may indicate that when the channel load changes, a change occurs in data transmission modes. This aspect requires more detailed study. The results of this article may be of interest in the design and modernization of a Wi-Fi network.

### REFERENCES

1. S.Platunova. Architecture and technical means of the corporate network based on wireless WI-FI equipment of the company. ZyXEL: textbook 2014, p.61.
2. “Methods for increasing performance in wireless Wi-Fi networks, part one: Bursting, Compression, Fast Frames, Concatenation” – url: [https://www.ixbt.com/comm/tech-80211g-super\\_1.shtml](https://www.ixbt.com/comm/tech-80211g-super_1.shtml) (accessed on 14-08-2021).
3. “Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications” Part 11” url: <https://www.wardriving.ch/hpneu/info/doku/802.11-1999.pdf> pp.123-128.
4. E.Ventcel. The theory of random processes and its engineering applications, 2021, p.383.
5. V.Glushakov. Study of approaches to modeling data transmission in wireless networks. //Journal of International Scientific and Practical Conference Achievements and Problems of Modern Science, 2021, p.48-55.
6. V.Glushakov. Information technologies of modeling and management. // International Scientific and Technical Journal, 2020, pp.130-138.
7. V.Glushakov. Study of the model of unsuccessful transmission of information. /Materials of the International Scientific and Practical Conference, 2020, pp.46-53.
8. V.Glushakov. Numerical modeling of increasing the performance of data transmission in wireless networks. /Scientific Almanac, N4, 2020, pp.19-25.
9. V.Glushakov. Study of the model of possible unsuccessful transmission of one packet with a delay in the Wi-Fi network. // International research journal N5, 2021, pp.61-66.

### РЕЗЮМЕ

#### РАЗЛИЧНЫЕ СПОСОБЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕДАЧИ ПАКЕТОВ ДАННЫХ В СЕТИ WI-FI

Родоная И.Д., Родоная В.И., Морчиладзе А.С.

Международный Черноморский университет

Грузинский технический университет

Тенденция развития информационных технологий требует обработки всё большего количества информации. Для этого всё чаще используются распределенные системы данных с применением беспроводных сетевых технологий. Однако их использование в настоящее время ограничено из-за частых сбоев сетевых пакетов и временных задержек. Для расчета параметров работы таких систем необходимо разработать математические модели, которые позволят учесть эти факторы при проектировании систем оптимизации времени доставки информации. Существуют работы, посвященные построению таких моделей, но сравнительный анализ этих моделей и сопоставление с экспериментальными данными отсутствуют. В данной статье предлагается сравнительный анализ различных моделей передачи одиночных пакетов и проведено сравнение полученных результатов с экспериментальными данными.

**Ключевые слова:** Wi-Fi, CSMA/CA, WLAN, MAC, задержка, моделирование передачи данных, протокол доступа к среде.



**ANALYSIS OF THE DIFFRACTION PROPERTIES OF THE CORNER BEND OF A RECTANGULAR WAVEGUIDE IN THE PLANE OF THE MAGNETIC VECTOR BY METHOD OF SUPERPOSITION OF ALTERNATIVE FIELD REPRESENTATIONS**

Gdzelishvili S.C.

Georgian Technical University

**Abstract.** On the basis of the investigation of diffraction properties for comparatively simple electrodynamic structure, which is the H-plane 90-degree bend (major bend) for the rectangular waveguide, the method of rigorous electrodynamic analysis is illustrated. The method is based on the representation of the electromagnetic field in the area of the corner bend in the form of superposition of two alternative expansions in terms of the eigenfunctions in two orthogonal cross sections of the bending region corresponding to zero boundary conditions. The used analysis technique can be applied to more complex structures in the form of waveguide branchings and to other cases of wave propagation through apertures.

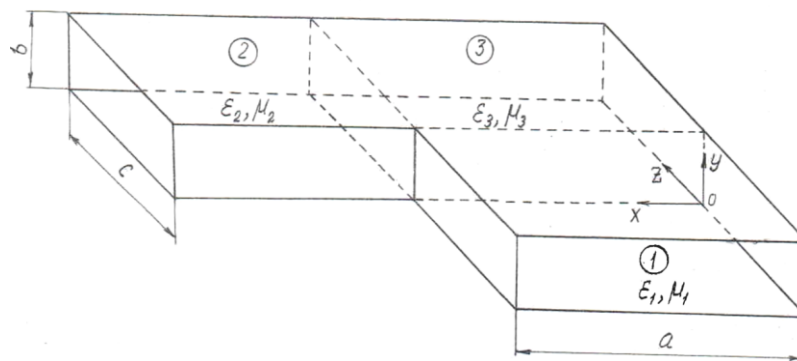
**Keywords:** rectangular waveguide, rectangular H-plane 90-degree bend, diffraction field, projective method, infinite system of linear algebraic equations (ISLAE).

**I. Introduction**

Waveguide bends and twists are inevitable components of any waveguide path. In this work, on the basis of the presented technique, the diffraction properties of an inhomogeneity is analyzed in the form of a connection of two rectangular waveguides at a right angle in the plane of the magnetic vector. The method is based on the representation of electromagnetic field in the area of the corner bend in the form of superposition of two alternative expansions in terms of the eigenfunctions of connected waveguides. The frequency dependence of the diffraction characteristics of the structure under consideration is investigated.

**II. Problem Formulation**

The structure being analyzed with designation of the geometric and electric parameters is shown in Fig. 1. Rectangular waveguides, joined at a right angle in the H-plane, have the same height  $b$  and for the sake of generality of analysis have different widths  $a$  and  $c$ . The structure is divided into three regions as is shown in Fig. 1. The regions 1 and 2 correspond to semi-infinite waveguides and the finite region 3 is resonant. The structure is assumed to be lossless. Relative permittivity and permeability of magnetodielectric filling in each region of structure for the sake of generality of analysis are different and are equal to  $\epsilon_i$  and  $\mu_i$  ( $i = 1,2,3$ ).



**Fig.1. Geometry of the analyzed corner bend of a rectangular waveguide**

Let us assume that the general  $H_{10}$ - mode is incident from region 1 and its nonzero electric field component is given by equation:

$$E_y(x, z) = E_0 \sin \alpha_1 x e^{-j\beta_1 z}, \quad 0 \leq x \leq a, \quad -\infty < z \leq 0, \quad (1)$$

where  $\alpha_1 = \pi / a$ ,  $h_1 = (k_1^2 - \alpha_1^2)^{1/2}$ ,  $k_1 = k_0 \sqrt{\epsilon_1 \mu_1}$ ,  $k_0 = 2\pi / \lambda_0$ . Here  $k_0$  and  $\lambda_0$  are the wavenumber and the wavelength in vacuum.

In each region of the structure the primary incident field exits the diffraction field of a magnetic modes  $H_{m0}$ , which is also independent of the transverse coordinate  $y$ . The total field in the waveguide region 1 is represented as the sum of the primary incident field and the reflected diffraction field:

$$E_{y1}(x, z) = E_y(x, z) + E_y^r(x, z), \quad 0 \leq x \leq a, \quad -\infty < z \leq 0. \quad (2)$$

Here the diffraction field  $E_y^r(x, z)$  is represented as the sum of reflected in antiphase  $H_{10}$ -type natural field with the  $E_0$  amplitude and an infinite set of the reflected  $H_{m0}$ -type modes of the waveguide 1:

$$E_y^r(x, z) = -E_0 \sin \alpha_1 x e^{-jh_1 z} + \sum_{m=1}^{\infty} E_{ym1} \sin \alpha_m x e^{\gamma_{1m} z}, \quad 0 \leq x \leq a, \quad -\infty < z \leq 0, \quad (3)$$

where  $\alpha_m = m\pi / a$ ,  $\gamma_{1m} = (\alpha_m^2 - k_1^2)^{1/2}$  while  $\alpha_m > k_1$  and  $\gamma_{1m} = j(k_1^2 - \alpha_m^2)^{1/2}$  while  $\alpha_m < k_1$ .

In the waveguide region 2 the field is represented as an infinite set of the  $H_{n0}$ -type modes, running in the positive direction of the  $x$ -axis:

$$E_{y2}(x, z) = \sum_{n=1}^{\infty} E_{y2n} \sin \zeta_n z e^{-\gamma_{2n}(x-a)}, \quad a \leq x < \infty, \quad 0 \leq z \leq c, \quad (4)$$

where  $\zeta_n = n\pi / c$ ,  $\gamma_{2n} = (\zeta_n^2 - k_2^2)^{1/2}$  while  $\zeta_n > k_2$  and  $\gamma_{2n} = j(k_2^2 - \zeta_n^2)^{1/2}$  while  $\zeta_n < k_2$ ,  $k_2 = k_0 \sqrt{\epsilon_2 \mu_2}$ .

The key step in solving the problem under consideration consists in representing of the field in the resonant region 3 as a sum of the two terms, where the first term is represented as an expansion in terms of the transverse eigenfunctions of magnetic  $H_{m0}$ -type modes of the waveguide region 1, and the second term is represented as expansion in terms of the eigenfunctions of magnetic  $H_{n0}$ -type modes of the waveguide region 2, that is

$$E_{y3}(x, z) = \sum_{m=1}^{\infty} E_{y3m}^{(1)} \sin \alpha_m x \frac{sh \xi_m (c-x)}{sh \xi_m c} + \sum_{n=1}^{\infty} E_{y3n}^{(2)} \frac{sh \eta_n x}{sh \eta_n a} \sin \zeta_n z, \quad 0 \leq x \leq a, \quad 0 \leq z \leq c, \quad (5)$$

where  $\xi_m = (\alpha_m^2 - k_3^2)^{1/2}$  while  $\alpha_m > k_3$  and  $\xi_m = j(k_3^2 - \alpha_m^2)^{1/2}$  while  $\alpha_m < k_3$ ,

$\eta_n = (\zeta_n^2 - k_3^2)^{1/2}$  while  $\zeta_n > k_3$  and  $\eta_n = j(k_3^2 - \zeta_n^2)^{1/2}$  while  $\zeta_n < k_3$ ,  $k_3 = k_0 \sqrt{\epsilon_3 \mu_3}$ .

The rest components of the electromagnetic field in the structure are defined by the formulas:

$$H_{xi} = \frac{1}{j\omega\mu_0\mu_i} \frac{\partial E_{yi}}{\partial z}, \quad H_{zi} = -\frac{1}{j\omega\mu_0\mu_i} \frac{\partial E_{yi}}{\partial x}, \quad H_{yi} = 0, \quad E_{xi} = E_{yi} = 0 \quad (i = 1, 2, 3), \quad (6)$$

where  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$  is permeability of vacuum,  $\omega$  is the cyclic frequency.

### III. Derivation of the Set of Functional Equations

To determine the sets of unknowns amplitude coefficients  $\{E_{y1m}\}$ ,  $\{E_{y2n}\}$ ,  $\{E_{y3m}^{(1)}\}$  and  $\{E_{y3n}^{(2)}\}$  in field expansions (3)–(5), we make use of the boundary conditions of matching for the tangential components of the electromagnetic field at the interfaces  $z = 0$  and  $x = a$  in the junction regions. On the basis of the expressions (2)–(5), using continuity conditions on the tangential electric fields, we obtain the following set of the functional equations:

$$\sum_{m=1}^{\infty} E_{y1m} \sin \alpha_m x = \sum_{m=1}^{\infty} E_{y3m}^{(1)} \sin \alpha_m x = -J_x^M(x), \quad 0 \leq x \leq a; \quad (7a)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} E_{y2n} \sin \zeta_n z = \sum_{n=1}^{\infty} E_{y3n}^{(2)} \sin \zeta_n z = -J_z^M(z), 0 \leq z \leq c, \quad (7b)$$

where  $J_x^M(x)$  and  $J_z^M(z)$  are the surface densities of the equivalent magnetic currents distributed at the interfaces  $z=0$  and  $x=a$ , respectively. Applying the Fourier transform to the last set of equalities with respect to the corresponding coordinates, we obtain

$$E_{y1m} = E_{y3m}^{(1)} = -J_{xm}^M, \quad E_{y2n} = E_{y3n}^{(2)} = -J_{zn}^M, \quad (8a)$$

where

$$J_{xm}^M = \frac{2}{a} \int_0^a J_x^M(x) \sin \alpha_m x dx, \quad J_{zn}^M = \frac{2}{c} \int_0^c J_z^M(z) \sin \zeta_n z dz. \quad (8b)$$

Then using continuity conditions on the tangential magnetic field at  $z=0$  and  $x=a$ , on the basis of the expressions (2)–(5) and formulas (6), taking into account (8a), we obtain the following set of functional equations:

$$\sum_{m=1}^{\infty} J_{xm}^M A_m \alpha_m \sin \alpha_m x + \sum_{n=1}^{\infty} J_{zn}^M B_n \zeta_n \operatorname{sh} \eta_n x = 2jh_1 J_0^M \sin \alpha_1 x, \quad 0 \leq x \leq a; \quad (9a)$$

$$\sum_{m=1}^{\infty} J_{xm}^M C_m \alpha_m \operatorname{sh} \xi_m (c-z) + \sum_{n=1}^{\infty} J_{zn}^M D_n \zeta_n \sin \zeta_n z = 0, \quad 0 \leq z \leq c, \quad (9b)$$

where

$$A_m = \left( \gamma_{1m} + \frac{\mu_1}{\mu_3} \xi_m \operatorname{cth} \xi_m c \right) \alpha_m^{-1}, \quad B_n = -\frac{\mu_1}{\mu_3} \frac{1}{\operatorname{sh} \eta_n a},$$

$$C_m = \frac{\mu_2}{\mu_3} \frac{(-1)^m}{\operatorname{sh} \xi_m c}, \quad D_n = \left( \gamma_{2n} + \frac{\mu_2}{\mu_3} \eta_n \operatorname{cth} \eta_n a \right) \zeta_n^{-1}, \quad J_0^M = -E_0. \quad (9c)$$

#### IV. Derivation of the ISLAE

The method of solving the boundary-value problems by means of reducing them to infinite system of linear algebraic equations (ISLAE) is efficient in the analysis of various enectrodynamic structures [1-3]. Let us consider the procedure of reducing the set of functional equations (9) to the ISLAE by means of the projection method based on the Fourier transform. Applying the Fourier transform to equations (9a) and (9b) on the intervals  $0 \leq x \leq a$  and  $0 \leq z \leq c$ , respectively, we obtain the relationship in terms of amplitude coefficients  $\{J_{xm}^M\}$  and  $\{J_{zn}^M\}$ :

$$J_{xm}^M + \frac{2(-1)^m}{aA_m} \frac{\mu_1}{\mu_3} \sum_{n=1}^{\infty} J_{zn}^M \frac{\zeta_n}{\zeta_n^2 + \xi_m^2} = \frac{2jh_1}{A_1} \alpha_1^{-1} J_0^M \delta_{m1}, \quad m = 1, 2, \dots; \quad (10a)$$

$$J_{zn}^M + \frac{2}{cD_n} \frac{\mu_2}{\mu_3} \sum_{m=1}^{\infty} J_{xm}^M \frac{(-1)^m}{\zeta_n^2 + \xi_m^2} \alpha_m = 0, \quad n = 1, 2, \dots, \quad (10b)$$

where  $\delta_{m1}$  is the Kronecher delta:  $\delta_{m1} = 1$  at  $m=1$  and  $\delta_{m1} = 0$  at  $m \neq 1$ .

Substituting the expression for  $J_{zn}^M$  from (10b) into (10a), with changing the dummy index  $m$  by  $s$ , we obtain the ISLAE of the second kind in terms of amplitude coefficients  $\{J_{xm}^M\}$  only:

$$J_{xm}^M + \sum_{s=1}^{\infty} J_{xs}^M W_{ms} = d \delta_{m1}, \quad m = 1, 2, \dots, \quad (11)$$

where

$$W_{ms} = -\frac{4}{ac} \frac{\mu_1 \mu_2}{\mu_3^2} \frac{(-1)^{m+s}}{A_m} \alpha_s \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\zeta_n}{D_n (\zeta_n^2 + \xi_m^2) (\zeta_n^2 + \xi_s^2)}, \quad d = \frac{2jh_1}{A_1} \alpha_1^{-1} J_0^M. \quad (12)$$

The ISLAE given above is the Fredholm type one and may be solved by the truncation method. The sequence of amplitude coefficients  $\{J_{zn}^M\}$  is evaluated by means of (10b) in terms of known values of  $\{J_{xm}^M\}$  found as result of solving the ISLAE (10a).

**V. Numerical Results**

The ISLAE given above was solved by the truncation method. The dependence of the modules of reflectivity and transmissivity of the main mode at the sections  $z = 0$  and  $x = a$  of the bend, respectively, on the relation  $\frac{2a}{\lambda_0}$  changing in the band of  $\frac{1}{\sqrt{\epsilon_1 \mu_1}} < \frac{2a}{\lambda_0} < \frac{2}{\sqrt{\epsilon_1 \mu_1}}$  with the values of parameters  $a = c$ ,  $b \leq a/2$ ,  $\epsilon_i = 1$ ,  $\mu_i = 1$  ( $i = 1, 2, 3$ ), is shown in Fig. 2.

The complex reflectivity was evaluated by formula

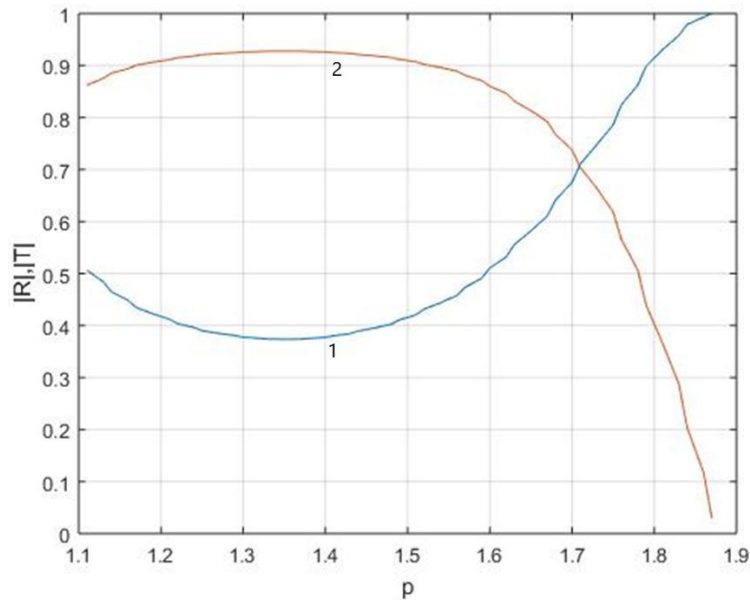
$$R = |R|e^{j\varphi_R} = \frac{J_{x1}^M}{J_0^M} - 1, \tag{13}$$

and complex transmissivity – by formula

$$T = |T|e^{j\varphi_T} = \frac{J_{z1}^M}{J_0^M}, \tag{14}$$

where  $|R|$ ,  $|T|$  are modulus and  $\varphi_R$ ,  $\varphi_T$  arguments of corresponding quantities.

When computing  $E_0 = -J_0^M = 1$ .



**Fig. 2. Modules of reflectivity and transmissivity of the main mode at the input and output of the bend versus the frequency parameter  $p = \frac{2a}{\lambda_0}$  ( $|R|$  – curve 1,  $|T|$  – curve 2)**

The tables given below illustrate the influence of the truncation order of the ISLAE on an accuracy of computation of the complex reflectivity and transmissivity of the main mode at the input and output of the bend for the above - mentioned values of the parameters of structure and values

1.38 and 1.64 of frequency parameter  $p = \frac{2a}{\lambda_0}$ .

**Table 1. Estimation of the Influence of the Order of Truncation N of ISLAE on the Accuracy of Calculations of Modulus of Coefficient R**

$2a/\lambda_0$	$ R $								
	$N$								
	2	4	6	8	10	15	20	30	50
1.38	0.38269	0.37619	0.37530	0.37504	0.37494	0.37486	0.37484	0.37483	0.37483
1.64	0.55884	0.56475	0.56728	0.56855	0.56929	0.57024	0.57067	0.57107	0.57136

**Table 2. Estimation of the Influence of the Order of Truncation N of ISLAE on the Accuracy of Calculations of Modulus of Coefficient T**

$2a/\lambda_0$	$ T $								
	$N$								
	2	4	6	8	10	15	20	30	50
1.38	0.92388	0.92654	0.92691	0.92701	0.92705	0.92708	0.92709	0.92709	0.92709
1.64	0.82927	0.82526	0.82352	0.82265	0.82213	0.82148	0.82118	0.82090	0.82070

On the basis of the tabulated values it should be noted out that the calculations with practical accuracy may be obtained by truncations of the ISLAE within values of N from 2 to 10.

#### REFERENSES

1. Р. Митра, С. Ли. Аналитические методы теории волноводов. Пер. с англ. под ред. Г.В. Воскресенского. -М., Мир, 1974, 324с.
2. Ф.Г. Богданов, Г.Ш. Кеванишвили. Дифракция волн на решетках и волноводных неоднородностях. – Тбилиси, Самшобло, 1994, 224с.
3. S.C. Gdzlishvili. Diffraction of the H-Polarised Obliquely Incident Plane Wave by the Periodic Dielectric Corrugated Structure with Rectangular Ridges Placed on a Metallic Plate. II. //Georgian Engineering News, 2011, No.2, pp. 36-44.

#### РЕЗЮМЕ

#### АНАЛИЗ ДИФРАКЦИОННЫХ СВОЙСТВ УГОЛКОВОГО ИЗГИБА ПРЯМОУГОЛЬНОГО ВОЛНОВОДА В ПЛОСКОСТИ МАГНИТНОГО ВЕКТОРА МЕТОДОМ СУПЕРПОЗИЦИИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ПОЛЯ

Гдзелишвили С.К.

Грузинский технический университет

На примере исследования дифракционных свойств сравнительно простой электродинамической структуры, представляющей собой уголкового изгиба прямоугольного волновода в плоскости магнитного вектора, иллюстрируется метод строгого электродинамического анализа, основанный на представлении электромагнитного поля в области уголкового изгиба в виде суперпозиции двух альтернативных разложений по системам собственных функций в двух ортогональных поперечных сечениях области изгиба, соответствующих нулевым граничным условиям. Используемая методика анализа может быть применима к более сложным электродинамическим структурам в виде волноводных разветвлений и к другим случаям прохождения волн через апертуры.

**Ключевые слова:** прямоугольный волновод, уголкового изгиба в плоскости магнитного вектора, дифракционное поле, проекционный метод, бесконечная система линейных алгебраических уравнений (БСЛАУ).

## ხუთ-პორტიანი ტალღამტარული შმსახსრების/ბანმშტოებლის კომპიუტერული მოდელი და ზოგიერთი ელემენტროდინამიკური მახასიათებელი

შენგელია მ.ა.

## საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

დღეისათვის, საფრენი აპარატებისადმი წაყენებული მოთხოვნები, ფრენის სიჩქარეების, მანევრირების და ფრენის ინტენსივობის ზრდის თვალსაზრისით, მნიშვნელოვნად აფართოებს ამ აპარატების რადიოელექტრული აპარატურის მიერ გადასატრედი ამოცანების წრეს. აქედან გამომდინარე, მათი პროექტირებისა და აგებისას წარმოიშობა დიდი რაოდენობის ანტენებისა და რადიოელექტრონული მოწყობილობების განთავსებასთან დაკავშირებული პრობლემები. ამასთანავე, მანევრირებისა და ფრენის დინამიკისათვის დაუშვებელია აპარატებზე დამატებითი წამონაზარდების განთავსება.

ამ პრობლემების გადაჭრის ერთ-ერთი ხერხი მდგომარეობს ისეთის რთული, მრავალფუნქციური, საანტენო-საფიდერო სისტემების შექმნაში, რომელიც თავის თავში გააერთიანებს ხერხელურ ანტენებს, ფილტრებს, გადამრთველებს, განმშტოებლებს, მართვის ბლოკებს და უზრუნველყოფს ელექტრომაგნიტური ენერჯის გამოსხივებას, მიღებას, დამუშავებას და განაწილებას სხვადასხვა ელექტრომოწყობილობებს შორის.

ასეთ რთულ საანტენო სისტემებში, ენერჯის მიწოდებისა და მოხსნისათვის, შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს ზემაღალსიხშირული (ზმს) მრავალპორტიანი ტალღამტარული განმშტოებლები, რომლებსაც შესწევთ ელექტრომაგნიტური ენერჯის განმშტოებლების, შემკრებების და გარადაქმნელების ფუნქციათა შესრულება [1-3].

საზოგადოდ, ზმს მოწყობილობები, მათ შორის მრავალპორტიანი ტალღამტარული განმშტოებლები, მოკლებულნი არიან შემათანხმებელ მოწყობილობებს, ამიტომ მათ ექსპერიმენტულ კვლევას, წინ უნდა უსწრებდეს კომპიუტერული პროექტირება.

წარმოდგენილი ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს ხუთპორტიანი ტალღამტარული შესახსრების/განმშტოებლის კომპიუტერული პროექტირებისათვის აუცილებელი მოდელის შექმნა.

განსახილველი სტრუქტურა გამოსახულია ნახ. 1-ზე (ა,ბ,გ). განხილულია გვერდითი შტოების პასიური (შემთხვევა როდესაც გარედან კვება არ მიეწოდება) და აქტიური (შემთხვევა – როდესაც მიეწოდება) რეჟიმები.

მსგავსი ამოცანების ამოხსნისათვის საჭირო სტანდარტული პროცედურების ჩატარების (სხვადასხვა არეთა გამოყოფ ზედაპირებზე ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის უწყვეტობის პირობის რეალიზაციისა და გრინის თეორემის გამოყენების) შემდეგ მიიღება ტრიპლერული განტოლებათა სისტემა ცვლადთა სამი მიმდევრობის მიმართ, რომელთაგან თითოეული, თავისი არსით, წარმოადგენს 1, 2 და 3 შტოებში გაბნეული ველების მულტიპოლური სპექტრის კოეფიციენტებს:

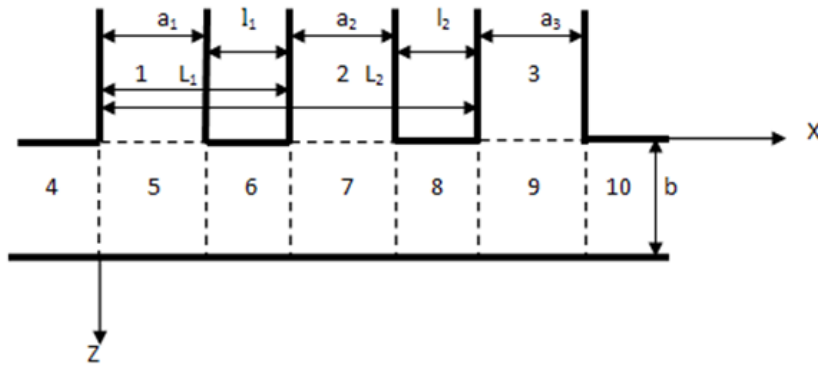
$$A_s^{(j)} + \sum_{p=1}^3 \sum_{m=1}^{\infty} Q_{sm}^{(jp)} A_m^{(p)} = a_s^{(j)} \quad (s=1, \dots, \infty, j=1,2,3) \quad (1)$$

(1) სისტემის მატრიცული ელემენტებისა და თავისუფალი წევრების ანალიზმა უჩვენა, რომ მატრიცული ელემენტები  $m$  ინდექსის მიმართ (მატრიცის სვეტი) იგი იქცევიან როგორც  $O(1/m)$ , ხოლო  $s$  ინდექსის მიმართ (მატრიცის სტრიქონი), როგორც მატრიცული ელემენტები, ასევე თავისუფალი წევრები, ამჟღავნებენ  $O(1/s)$  ხასიათს. აქედან გამომდინარეობს, რომ მიღებული სისტემა კვაზირეგულარულია და კომპიუტერზე მათი ამოხსნა შესაძლებელია რედუქციის (შეკვეცის) მეთოდით, ამასთან, მიახლოებითი ამონახსნი მიისწრაფის ზუსტისაკენ რედუქციის რიგის ზრდასთან ერთად [4,5].

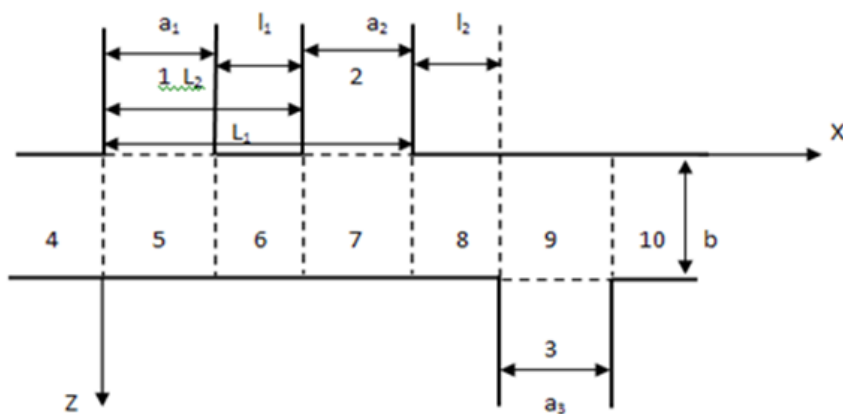
უნდა აღინიშნოს, რომ დასმული ამოცანის ველი მთელს ფიზიკურ არეში გამოსახება 1, 2, და 3 არეებში გაბნეული ველების მულტიპოლური სპექტრის კოე-

ფიციენტების მეშვეობით. ანუ, შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ განსახილველი სტრუქტურის კომპიუტერული მოდელირებისათვის აუცილებელი მოდელი შექმნილია.

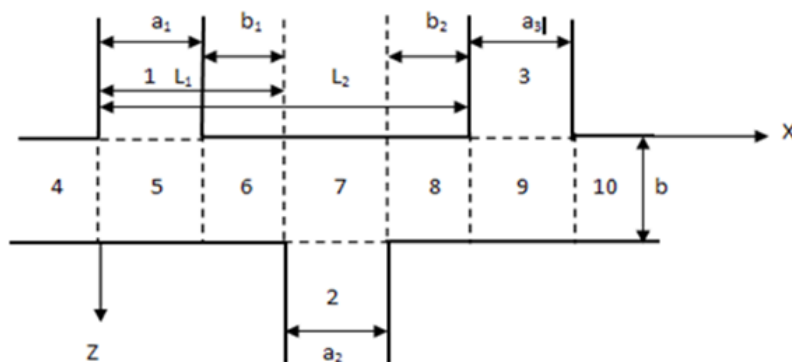
ნახ. 2, 3-ზე აგებულია გვერდით პორტებში გაბნეული კოეფიციენტების ფარდობით ტალღის სიგრძეზე დამოკიდებულების გრაფიკები და მთელს ფიზიკურ გარემოში ველის განაწილების ორგანოზომილებიანი და სამგანზომილებიანი სურათები სხვადასხვა პარამეტრებისათვის.



ნახ. 1,ა.

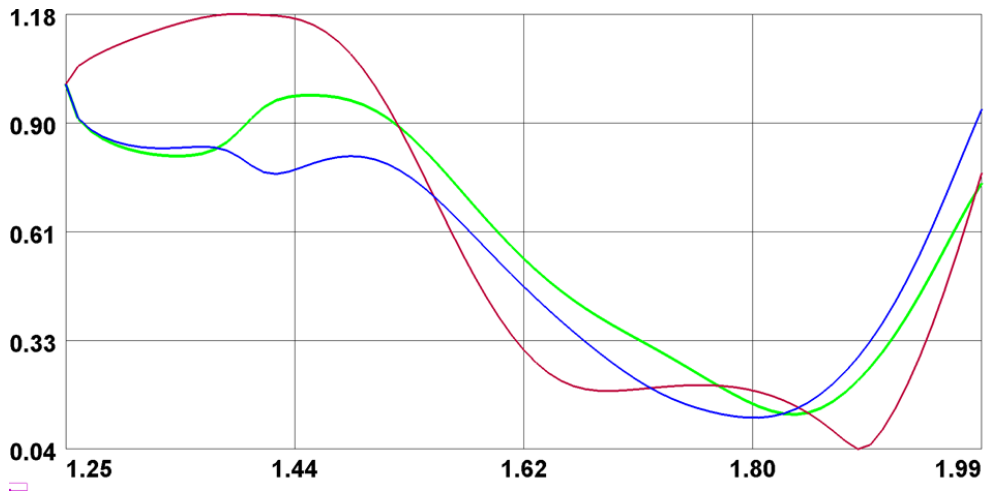


ნახ. 1,ბ.

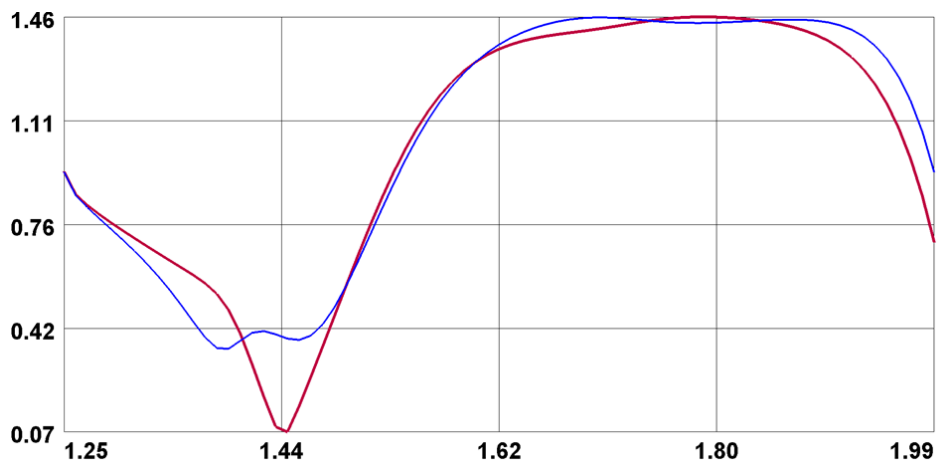


ნახ. 1,გ.

ნახ.1. განსახილველი სტრუქტურა გვერდითი შტოების სხვადასხვა კონფიგურაციისათვის.

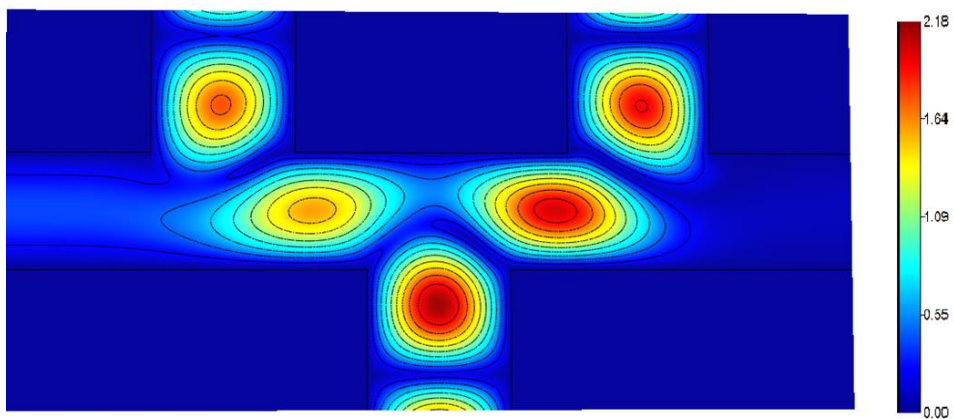


ნახ. 2,ა



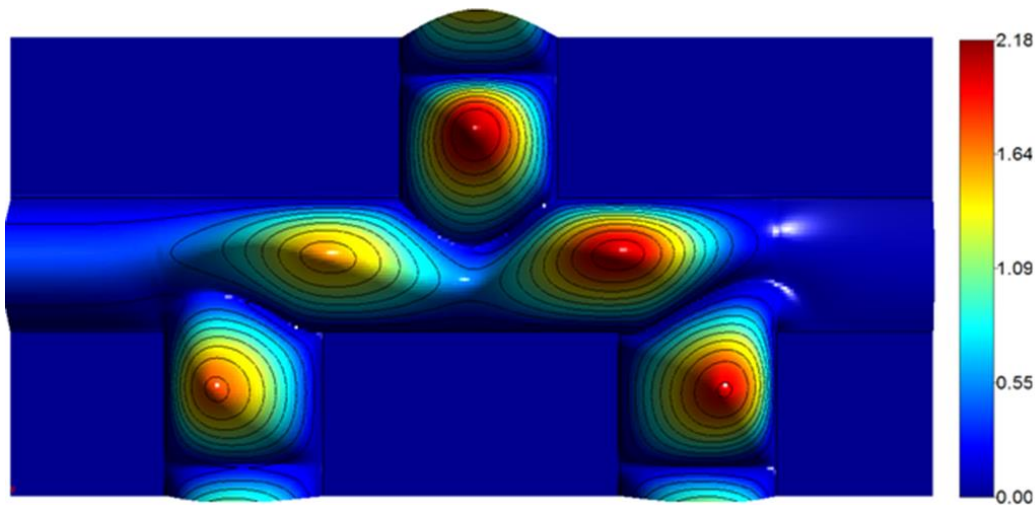
ნახ. 2,ბ.

ნახ. 2. 1,2,3 (ა) და 4, 5 შტოებში გაბნეული ველის კოეფიციენტების ფარდობით ტალღის სიგრძეზე დამოკიდებულების გრაფიკები აქტიური გვერდითი შტოების (ნახ. 1 ბ)-ზე გამოსახული კონფიგურაციისა  $b_1/a=0,8$ ,  $l_1/a= 0,5$  და  $l_2/a= 0,4$  პარამეტრებისათვის.



ნახ. 3,ა





ნახ.3,ბ

ნახ. 3. ველის განაწილების 2D (ა) და 3D (ბ) სურათები აქტიური გვერდითი შტოების (ნახ. 1 ბ)-ზე გამოსახული კონფიგურაციისა და  $b_1/a=0,8$ ,  $l_1/a=0,5$   $l_2/a=0,4$ ,  $2a/\lambda=1,44$  პარამეტრებისათვის

ამრიგად, შექმნილია ხუთ-პორტიანი ტალღამტარული შესახსრების/განშტოების კომპიუტერული მოდელი და დადგენილია მისი ზოგიერთი ელექტროდინამიკური მახასიათებელი, გამოთვლილია არეკვლისა და გავლის კოეფიციენტები, რაც საშუალებას გვაძლევს დავადგინოთ ელექტრული და მაგნიტური ველები ტალღამტარის შესახსრებებში.

#### ლიტერატურა

1. San-Blas, F. J. Pérez, J. Gil, F. Mira, V. E. Boria, and B. Gimeno. Full-wave analysis and design of broadband turnstile junctions. *Progress in Electromagnetics Research Letters*, 2011, 24, pp. 149-158.
2. Z. Xu, J. Xu, Y. Cui, and C. Qian. A novel rectangular waveguide T-junction for power combining application. // *IEEE Microwave and Wireless Component Letters*, 2015, 25, 8, pp. 529-531.
3. J. L. Cano, A. Mediavilla, S. Dragas, and A. Tazón. Novel broadband circular waveguide four-way power divider for dual polarization applications. // *IEEE Microwave and Wireless Component Letters*, 2016, 26, 2, pp. 98-100.
4. G.Sh. Kevanishvili, I.G. Kevanishvili, G.V. Kekelia, K.V. Kotetishvili. About one case matching of waveguide branches in E-plane T-junction. / *IEEE, DIPED, Proceeding of International S/W*, 2004, Lviv-Tbilisi, pp. 107-110.
5. Bogdanov F.G., Kevanishvili G.Sh., Kekelia G.V. Simulation and Analysis of Four- and Multi-Port Waveguide Junctions. / *Proceedings of XV DIPED-2010*, Lviv-Tbilisi, 2010, pp. 68-71.

#### SUMMARY

#### COMPUTER MODEL FOR A FIVE-PORT WAVEGUIDE JUNCTION/BRANCHING AND SOME OF ITS CHARACTERISTICS

Shengelia M.A.

Georgian Technical University

The problem the creating of a model for computer projecting of a five-port waveguide junction/branching for an arbitrary configuration of connecting the side branches and their power supply mode is considered. The graphs for the dependence of the scattered in different arm wave coefficients from wave length and the distribution of the fields in the entire physical region are built.

**Keywords:** computer model, five-port waveguide.

ახალი შემადგენლობის წვრილმარცვლოვანი ბეტონის სიმტკიცის კვლევა

როსნაძე გ.გ., კანკავა ა.გ., ბანძელაძე ბ.რ., შალამბერიძე მ.შ.

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი

თანამედროვე მშენებლობაში მაღალი სიმტკიცის წვრილმარცვლოვანი ბეტონზე მოთხოვნები ყოველწლიურად იზრდება. ეს განაპირობებს ახალი გაუმჯობესებული თვისებების და შედარებით დაბალი თვითღირებულების მქონე ბეტონების მიღების სათვის განუწყვეტელ სწრაფვას. ამ მიზანს ემსახურება ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მაღალი სიმტკიცის წვრილმარცვლოვანი ბეტონის მიღების ორიგინალური ტექნოლოგია, რომლის მიხედვითაც, შედარებით ძვირადღირებული მოდიფიკატორების ნაცვლად შემოთავაზებულია გამოყენებული იქნას ფეროშენადნობთა ქარხნის ღუმელეზიდან წანატაცი ნაცრები და ღუმელის ნარჩენი წილები. ასეთი მოდიფიცირებული ბეტონის გამოყენება გააუმჯობესებს შენობა-ნაგებობების ეკონომიკურ მაჩვენებლებს.

ფეროშენადნობთა ქარხნის წილების შემადგენლობაში შემავალი ზოგიერთი ქიმიური შენაერთი შედის ცემენტის შემადგენლობაში, ამიტომ მოსალოდნელი იყო, შემოთავაზებული მოდიფიკატორის გამოყენების შემთხვევაში, ბეტონის სიმტკიცის გაზრდა, რაც დადასტურდა ჩვენ მიერ შემუშავებული, ბეტონის წინასწარი შეფასების კრიტერიუმის მიხედვით. კერძოდ, ბეტონის ნარევი მოდიფიკატორის დამატება ამცირებს ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის სიდიდეს ბეტონის სიმტკიცის გაზრდის ხარჯზე [1,2].

ბეტონის სიმტკიცის პარამეტრებზე ახალი მოდიფიკატორის პროცენტული შემცველობის კვლევების შედეგები მოცემულია ცხრ. 1 და ცხრ. 2.

ცხრილი 1. ღუნვისას გამოცდის შედეგები

№	ნიმუშების სერია	მოდიფიკატორის პროცენტული შემცველობა	ნიმუშების ასაკი, დღე-ღამე	ერთეული მნიშვნელობა მპა	საშუალო მნიშვნელობა მპა	შენიშვნა
1	1კ	0%	28	6,4 6,89	6,65	ტრადიციული ბეტონი
2	2კ	10%	28	7,23 6,27	6,75	წვრილმარცვლოვანი ბეტონი
3	3კ	20%	28	7,57 9,42	8,5	წვრილმარცვლოვანი ბეტონი
4	5კ	20%	28	12,3 12,4	12,4	შემკვრელში ღორღის

ბეტონის სიმტკიცე ღერძულ გაჭიმვაზე და კუმშვაზე განსაზღვრული იქნა ნიმუშების ოთხი სერიისათვის: 1კ, 2კ, 3კ, 5კ. კუმშვაზე გამოცდილი იქნა 10×10×10 სმ და 15×15×15 სმ ზომის ბეტონის კუბები, ხოლო ღერძულ გაჭიმვაზე გამოცდილი იყო 10×10×40 ზომის ბეტონის პრიზმები. კუმშვაზე გამოცდისათვის დამზადებული იყო ბეტონის კუბები თითოეული სერიისათვის ხუთ-ხუთი ნიმუში. ღუნვაზე გამოცდისათვის თითოეული სერიისათვის დამზადებული იყო ორ-ორი ნიმუში. გამოცდამდე ნიმუშებს ვაყოვნებდით გამოსაშრობად 28 დღე-ღამის განმავლობაში.

ღუნვაზე გამოცდისას ნიმუშების სიმტკიცე იზრდებოდა ბეტონში მოდიფიკატორის პროცენტული ზრდის შესაბამისად. მოდიფიკატორის შემცველობის 20%-მდე გაზრდისას (3კ სერიის ნიმუშებისათვის) სიტკიცის მატება მნიშვნელოვანია და შეადგენს ≈22%-ს ტრადიციულ ბეტონთან შედარებით.

ცხრ. 2-ში არ შედის 4კ სერიის ბეტონის ღუნვაზე გამოცდის შედეგები, სადაც მოდიფიკატორის შემცველობა გაზრდილი იყო 30%-მდე. მიუხედავად ამისა, მისი სიმტკიცე უმნიშვნელოდ აღემატებოდა 3კ სერიის ნიმუშების ბეტონის სიმტკიცეს ღუნვაზე. ჩავთვალეთ, რომ წვრილმარცვლოვან ბეტონებში ახალი მოდიფიკატორის დამატება სიმტკიცეზე მოქმედებს მისი მხოლოდ 20%-მდე გაზრდისას, ამიტომ ბეტონის შემადგენლობაში მოდიფიკატორის უფრო გაზრდილი შემცველობის გავლენა ბეტონის სიმტკიცეზე არ ჩავთვალეთ საჭიროდ რომ გამოგვეკვლია [3,4].

ამავე ცხრილის მონაცემებიდან ჩანს აგრეთვე, რომ მოდიფიკატორის 20%-მდე გაზრდით, მსხვილმარცვლოვანი ბეტონის სიმტკიცე ღუნვაზე კიდევ უფრო მნიშვნელოვნად იზრდება (5კ სერია). სიმტკიცის ნამატი ღუნვაზე შეადგენს 46%-ს. ამ ბეტონებისათვის კვლევები საჭიროებს გაგრძელებას.

ახალი შემადგენლობის წვრილმარცვლოვანი ბეტონის სიმტკიცის კუმშვაზე, დერძულ გაჭიმვაზე და აგრეთვე, გაჭიმვაზე დრეკადობის საწყისი მოდულის კვლევის შედეგები მოცემულია ცხრ. 2-ში.

ცხრილი 2. სიმტკიცის გამოცდის შედეგები

სერიაში მოდიფ. შემცვ.	სიმტკიცე კუმშვაზე მზა 10×10×10 სმ		სიმტკიცე კუმშვაზე მზა 15×15×15 სმ		სიმტკიცე დერძულ გაჭიმვაზე, მზა 10×10×40 სმ		დრეკადობის საწყისი მოდული გაჭიმვისას E <sub>B</sub> -10-შზა	
	ცალკ. მნიშვნ.	საშ. მნიშვნ.	ცალკ. მნიშვნ.	საშ. მნიშვნ.	ცალკ. მნიშვნ.	საშ. მნიშვნ.	ცალკ. მნიშვნ.	საშ. მნიშვნ.
1 კ	10,3 83,7 84,3 84,4 86,4	85,8	86,1 82,2 87,3 87,3 82,2	85,8	2,21 2,74 2,35	2,44	60,4 87,2 98,1	81,9
2 კ	100,8 103,7 105,1 102,4 108,5	104,1	100,2 90,1 91,2 86,1 102,7	96,1	2,84 2,84 2,64	2,78	41,3 39,2 60,4	47,0
3 კ	106,2 106,7 102,7 107,6 107,8	106,2	94,6 99,3 101,7 96,5 94,8	98,6	3,19 2,94 2,45	2,86	43,4 39,2 41,3	41,3
5 კ	98,1 108,8 98,8 107,4 106,4	105,85	103,4 102,3 106,9 102,3 102,3	103,0	4,81 4,21 3,92	4,31	42,5 44,8 50,6	45,9

ახალი მოდიფიკატორის გამოყენებისას, როგორც ღუნვაზე გამოცდის, ასევე კუმშვაზე გამოცდის სიმტკიცე  $\approx 20\%$ -ით არის გაზრდილი ტრადიციული ბეტონის სიმტკიცესთან შედარებით.

კუმშვაზე ბეტონის სიმტკიცე გამოკვლეული იყო  $10 \times 10 \times 10$  სმ და  $15 \times 15 \times 15$  სმ ზომის კუბების ნიმუშებზე. სხვადასხვა სერიის ნიმუშების სიმტკიცე ორივე ნიმუშების მიხედვით არსებითად არ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან. შედარებით ერთნაირია გაბნევის ველი  $15 \times 15 \times 15$  სმ ზომის კუბებით გამოცდის შემთხვევაში, ამიტომ მიზანშეწონილია მომავალ კვლევებში ბეტონის სიმტკიცეზე კვლევისათვის აღნიშნული ნიმუშები იქნას გამოყენებული.

ღერძულ გაჭიმვაზე სიმტკიცე დაახლოებით  $14\%$ -ით იზრდება ბეტონში ახალი მოდიფიკატორის გამოყენებისას ტრადიციულ ბეტონთან შედარებით. ცხრ. 2-ში მოყვანილი კვლევის შედეგები აჩვენებს, რომ ახალი მოდიფიკატორით დამზადებული ბეტონის სიმტკიცე და დრეკადობის საწყისი მოდული დაახლოებით იმავე სიდიდისაა, რაც ცნობილი მოდიფიკატორებით მოდიფიცირებული ბეტონის სიმტკიცის მაჩვენებლები.

რკინა-ბეტონის კონსტრუქციის გაანგარიშებისას ერთ-ერთი მთავარი პარამეტრებია ბეტონის დრეკადობის საწყისი მოდული და პუასონის კოეფიციენტი. ამ კოეფიციენტებთან ერთად, ბეტონის პრიზმული სიმტკიცე კუმშვაზე, ახალი მოდიფიცირებული წვრილმარცვლოვანი ბეტონის 1კ, 2კ, 3კ, 5კ სერიებისათვის მოცემულია ცხრ. 3-ში.

ცხრილი 3. ღერძული და კუმშვის ფარდობითი სიმტკიცეების კვლევის შედეგი

საცდელი ნიმუშების სერია	პრიზმა $10 \times 10 \times 40$ სმ				კუმშვის სიმტკიცის ფარდობა ღერძულა გაჭიმვის სიმტკიცესთან	ღერძულა გაჭიმვის ფარდობითი დეფორმაციის ფარდობა გაჭიმვაზე კუმშვისას ფარდობით დეფორმაციასთან
	ღერძული გაჭიმვა		გაჭიმვა კუმშვაზე			
	ზღვრული ფარდობითი დეფორმაცია $\times 10^{-5}$		სიმტკიცე, მპა			
	ცალკ. მნიშვნ.	საშ. მნიშვნ.	ცალკ. მნიშვნ.	საშ. მნიშვნ.		
1 კ	6,3 9,3 7,3	7,6	4,27 6,82 3,97	4,02	1,65	0,373
2 კ	6,08 9,5 9,38	8,32	4,71 4,27 4,27	4,41	1,59	0,295
3 კ	8,4 9,06 5,75	7,74	5,3 4,85 3,97	4,71	1,65	0,279
5 კ	13,22 13,15 9,78	12,05	6,03 6,03 6,03	6,03	1,4	0,339

კვლევებში გამოყენებული იყო გაზრდილი ხნოვანების ბეტონი, წარმოდგენილი  $10 \times 10 \times 40$  სმ პრიზმის სახით. 4კ სერიის ნიმუშების ბეტონში მოდიფიკატორის შემცველობა შეადგენდა  $30\%$ -ს, რაც პრაქტიკულად არ ზრდის ბეტონის სიმტკიცეს კუმშვაზე ბეტონის ხნოვანების გაზრდის მიუხედავად.

ამრიგად, ახალი მოდიფიცირებული ბეტონის სიმტკიცის მახასიათებლები გაუმჯობესებულია ტრადიციული წვრილმარცვლოვანი ბეტონების ანალოგიურ მახასიათებლებთან შედარებით.

სიმტკიცის მახასიათებლების უკეთესი მაჩვენებლები მიღებულია ახალი მოდიფიცირებულ ბეტონში მოდიფიკატორის 20%-მდე შემცველობისას. მოდიფიკატორის 30%-მდე გაზრდა ბეტონის შემადგენლობაში პრაქტიკულად არ მოქმედებს მის სიმტკიცეზე.

#### ლიტერატურა

1. Берг О. Я., Щербаков Е. Н., Писенко Г. Н. Высокопрочный бетон. –М., Стройиздат, 1971 сс. 42-48.
2. Каприелов С. С., Батраков В. Г., Шейнфельд А. В. Модифицированные бетоны нового поколения: Реальность и перспективы. Бетон и железобетон №6, 1999, сс. 6-10.
3. Мельник Р. А., Фудорчук В. И., Лубенец И. И. Механические свойства высокопрочных бетонов марок 800 и 1000. //Бетон и железобетоны, №8. 1975, сс. 121-127.
4. Писанко Г. Н. Сопротивление высокопрочного бетона растяжению. //Бетон и железобетон, №3, 1970, сс. 27-36.

#### SUMMARY

#### INVESTIGATION OF THE HARDNESS OF FINE GRADED CONCRETE OF NEW COMPOSITION

Rosnadze G.V., Kankava A.V., Bandzeladze B.R. and Shalamberidze M.Sh.

Akaki Tsereteli State University, Kutaisi

The results of investigation of the hardness of fine grained concrete of new composition are presented. In particular, experimental data are given on hardness at compression, bend, concrete initial elasticity modulus and Poisson coefficient. The characteristics of concrete hardness by influence of new modifier in fine grained concrete are revealed. In comparison with the hardness characteristics of traditional concrete the corresponding values are significantly improved and practically repeat the characteristics of concretes modified by other well-known modifiers.

**Keywords:** fine grained concrete, hardness.

## შენობის ფუძეების და საძირკვლების დიზაინსტიკა

ბახტაძე ნ.ვ., შენგელია მ.რ., ტყაბლაძე ვ.ს., არსენიშვილი დ.ზ.

## საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

## 1. შესავალი

თანამედროვე პერიოდში ფართო და სწრაფ განვითარებას განიცდიან ისეთი დარგები, როგორცაა მშენებლობა. განვითარებების ასეთ პროცესში აუცილებელია ყურადღება მიექცეს კონსტრუქციების უსაფრთხო მუშაობას, რადგან მიუხედავად იმისა, რომ შექმნილი კონსტრუქციები ექვემდებარებიან თანამედროვე თეორიული და ექსპერიმენტული მეცნიერების გაანგარიშებებს.

## 2. ძირითადი ნაწილი

ფუძეების გამოკვლევისას, რომლებიც განლაგებულია საძირკველების ქვეშ და იღებს მათგან დატვირთვებს, აუცილებელია ყურადღება მივაქციოთ გრუნტის მახასიათებლებს. შესწავლილი უნდა იქნას პროექტული – საძიებო მასალები, საძირკველების წარმოებისას გახსნითი სამუშაოების აქტები, გამოვლენილი იქნას გრუნტის თვისებები, ამობურცულობის და ჯდენის ხარისხი, გაჟონვის სიღრმე, გრუნტის სინჯებს ლაბორატორიული კვლევებისათვის.

თანაბარი და მცირე ჯდენა არ იწვევს შენობის დეფორმაციებს. შენობისათვის საშიშს წარმოადგენს ამობურცული გრუნტები (თიხოვანი და მტკვროვანი გრუნტები), რომლებიც დატენიანებისა და გაყინვის შემთხვევაში მოცულობაში იზრდება 10%-ით. ყინულის კრისტალიზაციის ძალების ზემოქმედების ქვეშ, გრუნტებში მყოფი წყალი გადასცემს ძალებს ქვევიდან ზევით საძირკველის ძირზე, ხოლო მხები ძალები გაყინვისას საძირკველების ზედაპირიდან და სარდაფის კედლებზე [1]. საძირკველის ძირზე მოქმედი ამობურცვის ნორმალური ძალები  $N_H$  შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი მიახლოებითი ფორმულით:

$$N_H = nRA_n * h$$

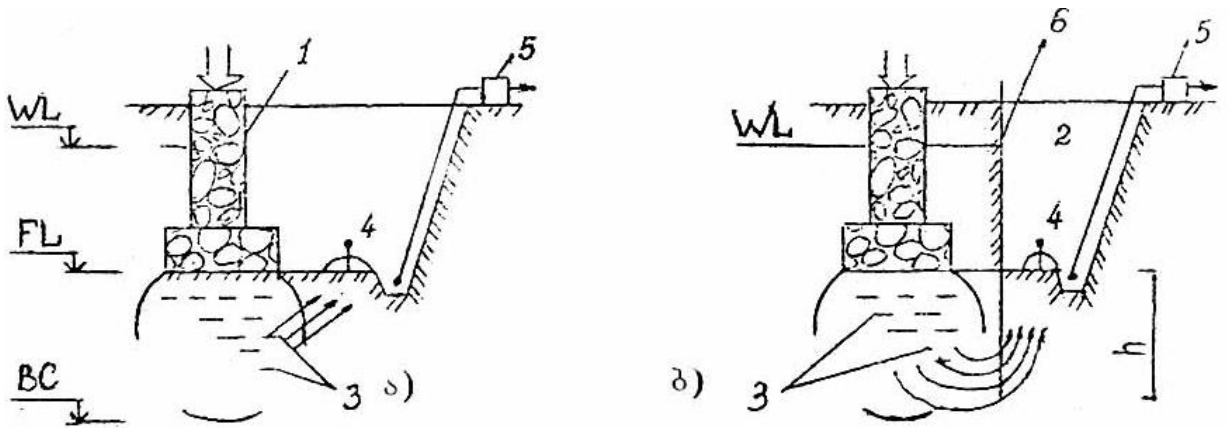
სადაც:  $n$  – გადატვირთვის კოეფიციენტი, 1,1 ტოლი;  $R$  – ემპირული კოეფიციენტი, მიღებულია  $0,06 \text{ კგ/სმ}^2$ ,  $A_n$  – საძირკველის ძირის ფართი;  $h$  – გრუნტის გაყინული ფენის სიმაღლე, სმ.

თუ გრუნტის არის დაცული ჭარბი დატენიანებისა და გაყინვისაგან (შემონაკირწყლი, თბოლამცავი, ბალიშები) და ზემოთ მდებარე კონსტრუქციების მასა აჭარბებს ამობურცვის ძალას, მაშინ შენობის საძირკველების და კედლების რღვევა არ ხდება. გრუნტის გაყინვა ასევე საშიშია გრუნტების შემდგომი გალხობისას და საძირკველების არათაბარი ჯდენისა (ნახ. 1 და 2.)

შენობების დეფორმაციების მიზეზი შეიძლება იყოს ინჟინრული კომუნიკაციის დაზიანება, საიდანაც აგრესიული წყლები ხვდება გრუნტში. ჰიდროიზოლაციის ცუდი ხარისხი ასევე იწვევს საძირკველების კედლების კოროზიას.

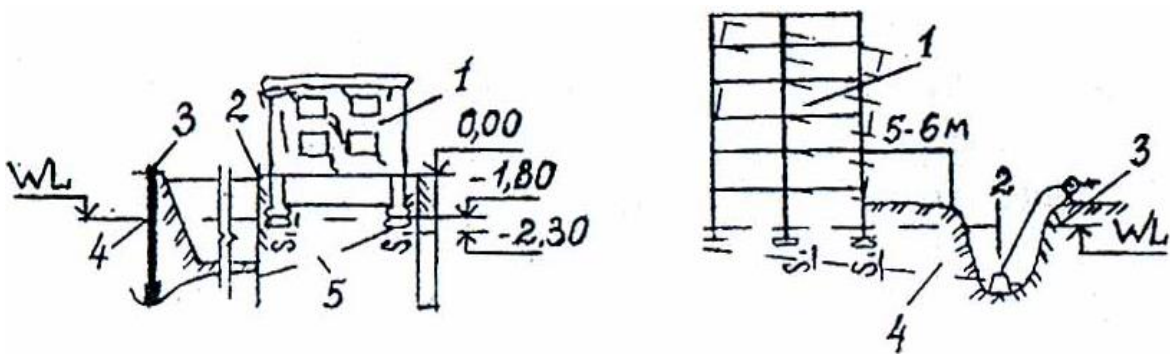
საძირკველები ირღვევა აგრესიული გრუნტის წყლების ზემოქმედებისა, გამდიდრებული ტუტე, სულფატური და სხვა ქიმიური ნივთიერებებით [2]. ამასთან ხდება ბეტონის დამცავი ფენის აშრელება და კოროზირდება არმატურა.

საძირკველების რღვევის მიზეზი შეიძლება იყოს: ტექნოლოგიური მოწყობილობის მუშაობის რეჟიმის დარღვევა, პროექტირების დატვირთვების შეერთების გაუთვალისწინებლობა და განსაკუთრებით კი დინამიკური დატვირთვების გავლენა.



ნახ. 1. არსებული საძირკველების ქვეშ გრუნტის სუფობიური რღვევა

- ა - შემოსახდრელი შპუნტის გარეშე;
- ბ - შპუნტისას, რომელიც არ არის ჩასობილი წყალნაკადამდე.
- 1 - არსებული საძირკველი; 2 - მშენებარე შენობის ქვაბული; 3 - სიცარიელების შესაძლო გაჩენის არეები; 4 - გრიფონი; 5 - ტუმბო; 6 - შპუნტი; h - შპუნტის ჩასმის სიღრმე ქვაბულის ფსკერი ნიშნულის დაბლა.



ნახ.2. შენობის დეფორმაცია ნემსაფილტრული მოწყობით მიწისქვეშა წყლების დონის შემცირების შედეგად:

- 1 - შენობა, 2 - შპუნტი; 3 - ნემსაფილტრი; 4 - წყალშემცირებამდე მიწისქვეშა წყლის დონის შემცირება; 5 - იგივე წყალშემცირების შემდეგ.

არსებობს საძირკველების დეფექტების რამდენიმე სახე:

1. ქვის წყობის შემოსაკრავი ნაკერების და სიმტკიცის უკმარისობით გამოწვეული საძირკველის წყობის აშრევა;
2. გრუნტებში აგრესიული არეებისა და აგრესიის მიმართ არამდგრადი მასალების გამოყენებით გამოწვეული საძირკველების რღვევა;
3. გაყინული გრუნტის ამობურცვით და არასწორი კონსტრუქციებით გამოწვეული საძირკველის გასკდომა სიმაღლეზე.
4. არასაკმარისი ზომების საძირკველზე დატვირთვების ზრდით გამოწვეული ბზარები საძირკველის ფილებში, აგრეთვე ფუძეების დატენიანება.

5. საძირკვლის ჯდენა სუსტ გრუნტებზე (ჯდენადი, მცურავი ქანები) ან გრუნტის არასაკმარისი გამკვრივება, საძირკვლის ჩაწყობის მცირე და გრუნტის წყლების დონის ცვლილება.

### 3. დასკვნა

ფუძეების საძირკვლების და გრუნტის სახასიათო დაზიანებები, მზიდუნარიანობის შემცირება გამოწვეულია დაპროექტირების და მშენებლობის პროცესში არასაკმარისი ყურადღებით. ფუძეების შეტბორვა გამოწვეულია გრუნტის, ატმოსფერული და ტექნოლოგიური წყლებით.

### ლიტერატურა

1. გ. ჭოხონელიძე და სხვ. გრუნტების მექანიკა და ფუძე-საძირკვლები. –თბილისი, 2005.
2. А. Н. Цитович. Механика грунтов. – Москва, Высшая школа, 1985, 288 с.

### SUMMARY

#### DIAGNOSTICS OF BUILDING GROUNDS AND FOUNDATIONS

**Bakhtadze N.V., Shengelia M.R., Tkabladze V.S. and Arsenishvili D.Z.**

**Georgian Technical University**

In the modern period, such fields as construction are experiencing wide and rapid development. In such a process of development it is necessary to pay attention to the safe operation of the constructions, because although the created buildings are subject to the calculations of modern theoretical and experimental science.

**Keywords:** building, proud, foundation, diagnostics, construction



## DESIGN OF A SOLAR THERMAL POWER PLANT USING MATHEMATICAL MODEL

Metreveli G.T

Georgian Technical University

**Abstract.** The purpose of this paper is to develop a mathematical model, which produces a design of a solar thermal power plant on a surface under consideration. Calculations showed, that the amount of hot water produced by the solar thermal power plant is significantly affected by a correctly selected solar collector and heat exchanger, type and heat loss coefficient of a tank. Calculations of the mathematical model have been made in MS Excel programme and results have been averaged to monthly values. Comparison showed, that initial requirements of a consumer are covered throughout a whole year, concluding that the principals of the mathematical model are relevant and can be used in further detailed engineering designs of solar thermal power plants.

**Keywords:** Solar thermal power plant, solar collector, heat exchanger, heat loss coefficient of a tank, average absorptivity and transitivity of a collector, ambient temperature.

### Introduction

One of the main reasons of climate change is considered ungreen technologies using widely worldwide [1]. Therefore, energy efficient and eco-friendly technologies have been developing nowadays, including solar thermal power plants, which convert photon energy of solar beams into thermal power with environmentally safe way [2].

Proper design of a solar thermal power plant firstly requires selection and specification a hot water consumer and hourly hot water load respectively, in order a designer to be ensured, that requirements of consumer are covered throughout a whole year.

House located in a village Kobadze, Kakheti, Georgia was selected as a hot water consumer. One of the effective ways to make design of a roof-mounted solar thermal plant is making a mathematical model, which is based on main mathematical principals and uses the following features: solar collector area, ambient temperature, average absorptivity and transitivity of a collector, etc.

Calculations of the mathematical model were made in MS Excel software. Results showed that solar thermal power plant is designed correctly, because initial hot water requirements of the house are fully covered on application, concluding that the calculations of the mathematical model are precise and they can be used for further purposes Environmental impact analysis was also made and old gas-burnt boiler was compared to new solar thermal power plant, highlighting that old thermal systems emits considerable amount of greenhouse gasses and they must be replaced with new eco-friendly systems in the near future.

### Specification of hourly thermal power load of the house

Before making calculations of the mathematical model, hot water consumer should be selected and hourly hot water load should be specified. House located in a village Kobadze was selected and exact coordination was found out using „Google Earth“ programme, which showed that roof of the house is pointed towards East-South (see figure-1).



Figure 1. House in village Kobadze, Kakheti, Georgia

24 hour hot water load of the house was specified for each day of 25 of all months of a year, see Table1.

**Table 1. Hourly hot water load of the place**

Hourly hot water load of the place (QL), (MJ)													
Solar time	Activities	25-Jan	25-Feb	25-Mar	25-Apr	25-May	25-Jun	25-Jul	25-Aug	25-Sep	25-Oct	25-Nov	25-Dec
1:00	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00	Mixed	0	0	0.77	0	0.64	0	0	0	1.35	0	0	0
7:00	Mixed	1.24	1.35	1.32	1.55	1.4	1.2	1.12	2.45	1.98	2.25	2.05	1.57
8:00	Mixed	3.23	4	3.97	4.09	3	4.4	4.43	3.88	4.02	5	3.4	3.76
9:00	Mixed	3.02	3.56	4.07	4.17	5.52	5.02	4.84	3.98	3.61	3.02	2.2	3.01
10:00	Mixed	2.42	2.78	2.82	2.8	2.9	2.86	2.66	2.78	2.2	2.12	2.56	2.3
11:00	Mixed	0	0	0	0	0	0	1.01	1.05	0.46	1	0	0
12:00	Mixed	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13:00	Mixed	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14:00	Mixed	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15:00	Mixed	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16:00	Mixed	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17:00	Mixed	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18:00	Mixed	0	0	2.04	1.03	0	0	0	0	0	0	0	0
19:00	Mixed	7.96	8.76	8.32	8.18	8	8.37	7.55	9.52	8.41	6.1	7.84	7.81
20:00	Mixed	6.04	6.88	5.89	6.04	6.62	7	6.8	9.23	7.44	7.64	6.36	6.98
21:00	Mixed	4.39	4	4.88	4.53	4.68	3.9	4.06	7.74	5.87	6.85	4.99	4.38
22:00	Mixed	1.86	1.51	1.11	1.24	1.33	2	2.02	2.1	1.99	2.06	2.5	1.1
23:00	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0.45	0	0	0	0
0:00	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>Mixed</b>	<b>30.16</b>	<b>32.84</b>	<b>35.19</b>	<b>33.63</b>	<b>34.09</b>	<b>34.75</b>	<b>34.49</b>	<b>43.18</b>	<b>37.33</b>	<b>36.04</b>	<b>31.9</b>	<b>30.91</b>

**Methodology of mathematical model**

After specifying 24 hour hot water load of a house, it is possible to start calculations of designing of a solar thermal power plant which is based on main mathematical principals [3].

The first step is to determine the hourly hot water load for each date of each month taking into consideration each component consuming thermal power inside the building. Herewith, hourly ambient temperature (T<sub>a</sub>) for each date of each month can be derived from the appropriate source (name of the software - Meteonorm 7.2.2 (13/09/2021)). After that a solar collector is chosen taking into consideration the following parameters: 1) Cost; 2) Conversion efficiency; 3) Durability/Longevity/Warranty; 4) Suitability for the weather conditions of the location. Besides, hot water requirement for the building varies from 30° to 90°, which means that the collector should be able to provide the site with the hot water in this range of temperature. Also, one of the main components, while choosing the collectors, is the results of the MS Excel programme, which indicates that the collector with the specific characteristics is required for the case under consideration. Thus, several kinds of evacuated solar collectors have to compare each other and the one with the best technical specifications is chosen. The following step is to choose the month with the highest hot water load in order to size the system properly. Therefore, the hot water load of August is selected, as there happens to be the highest consumption of hot water during this month.

Another important step is to determine the whole solar collector area (A<sub>c</sub>) by using the following equation:

$$A_c = Q_L : (H_T \times \eta) \tag{1}$$

Where Q<sub>L</sub> is the daily total hot water load, which is obtained by summing up the hot water load for each hour of the design day. H<sub>T</sub> is the daily total solar radiation of the same day, whereas η<sub>c</sub> is the collector daily average efficiency, calculated as the following:

$$\eta_c = ((\alpha \times \tau) - U \times (\Delta T : H_T)) \times F_R \tag{2}$$

Looking for the details,  $\alpha$  and  $\tau$  are properties of the collector of average absorptivity and average transitivity, respectively. Herewith,  $U$  is the overall heat loss coefficient and equals to  $2.15\text{W/m}^2/\text{C}$ .  $H_T$  is the average daily solar radiation for the design day, whereas:

$$\Delta T = T_i - T_a \quad (3)$$

Where  $T_a$  represents the average ambient temperature of the design day, whereas  $T_i$  is determined by the following way:

$$T_i = \frac{T_{i-\max} + T_{i-\min}}{2} \quad (4)$$

Based on the requirement of the consumer  $T_{i-\max} = 90^\circ$  and  $T_{i-\min} = 30^\circ$ .

The last value of  $F_R$  (See equation – 2) is the heat removal factor of the collector.

Thus, after determining the value of  $\eta$ , collector area ( $A_c$ ) is calculated (see equation-1).

The following step is to determine the required area of the tank ( $A_{\text{tank}}$ ) by using the following equation:

$$A_{\text{tank}} = \pi \times D \times H \quad (5)$$

Where  $\pi = 3.14$  and  $H$  (height of the tank) is assumed as 1m.  $D$  is the diameter of the tank, calculated by the following way:

It should be noted, that these calculations are made for vertical cylinder tank. Therefore, the first step is to define the  $M$  of the tank:

$$M = f \times A_c \quad (6)$$

Where  $f$  varies between 40 to  $70\text{L/m}^2$ , whereas  $A_c$  was calculated above. For the case under study, there is chosen  $70\text{L/m}^2$ . It means that the volume ( $V$ ) of the tank would be:

$$V = M \times 10^{-3} \quad (7)$$

Herewith, there is another way to calculate the  $V$  of the tank:

$$V = \pi \times r^2 \times H \quad (8)$$

From this equation, the radius of the tank would be:

$$r = \sqrt{\frac{V}{\pi \times H}} \quad (9)$$

Definition of the radius led to finding out the diameter of the tank as well, which is two times more itself:

$$D = 2r \quad (10)$$

This value is used in the equation-5 to calculate the required area of the tank.

Consequently, the proper type of tank and heat exchanger are chosen, having almost the same required specifications calculated by the MS Excel programme.

Subsequently, the useful energy gained from the collector array ( $Q_u$ ) can be calculated by the following way:

$$Q_u = A_c \times F_R (H_a - U(T_i - T_a)) \quad (11)$$

Finally, ( $T_{si+}$ ) and outlet ( $T_{si-}$ ) temperatures of the tank for the sunset can be calculated:

$$T_{si+} = T_{si-} + \frac{\Delta T}{MCp} (Q_u - Q_L - Q_{loss}) \quad (12)$$

Where  $\Delta T$  is the time interval and equals to one hour, whereas  $C_p$  is the specific heat capacity of the water and equals nearly of  $4.186\text{J/grams}^\circ\text{C}$ .  $Q_{\text{Loss}}$  can be calculated by the following equation:

$$Q_{\text{Loss}} = AU_s (T_{\text{si}} - T_a) \quad (13)$$

Where  $U$  is the heat loss coefficient of the tank and equals to  $1.45\text{ W/m}^2/\text{K}$ , whereas any piping losses were neglected.  $T_a$  is the room temperature where the tank is located considering the constant value throughout the year of  $15^\circ$ . So,

$$Q_{\text{Loss}} = AU_s (T_{\text{si}} - T_a) \quad (14)$$

Hence,  $T_{\text{si}+}$  would be calculated as the following:

$$T_{\text{si}+} = T_{\text{si}} + \frac{\Delta T}{MCp} (Q_u - Q_L - Q_{\text{loss}}) \quad (15)$$

### Results of mathematical model

Calculations of the performance of the Solar thermal power plant were repeated for each hour throughout the design day of 25 for each month of a year in the model implemented in the MS Excel software. Results are showed in figure 2.

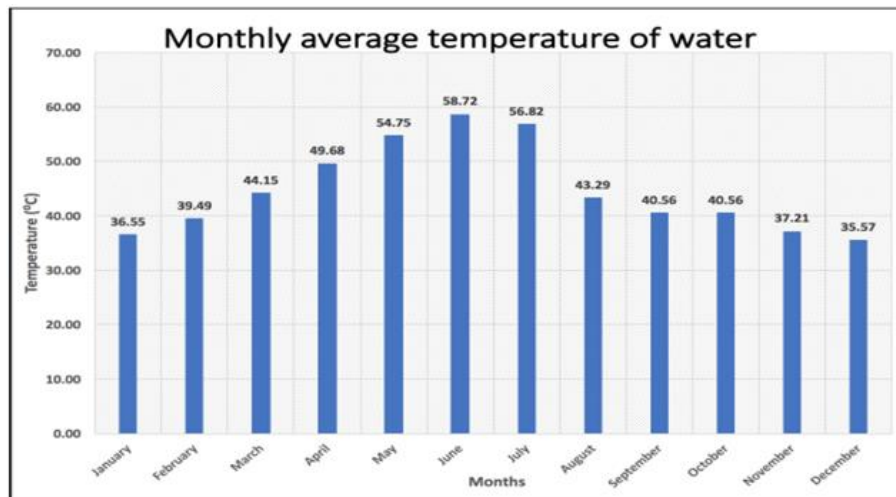


Figure 2. Monthly average water temperature of water of the tank

### Environmental impact analysis

The gas-burnt boiler used to provide the house with its hot water demand before implementing the solar thermal power plant into the building. Thus, the first step is to identify the carbone emissions factor for the boiler, which amounted of  $0.400\text{ kg/KWh}$  [4]. This value was multiplied by the amount of the gas consumed by the boiler (converted in  $\text{KWh}$ ) to find out the monthly amount of greenhouse gas emissions afterward. Results and comparisons are presented in the Table 2, showing that the boiler emitted  $57.6\text{ Kg CO}_2$  during the whole year, whereas solar thermal power plant released nothing to the atmosphere.

Table 2. Comparison of gas-burnt boiler and solar thermal power plant

Months	Solar thermal system		Old system (Boiler)		Deference in GHG emissions (Kg)
	Imported gas (KWh)	GHG emissions (Kg)	Imported gas (KWh)	GHG emissions (Kg)	
January	0.0	0.0	10.5	4.2	4.2
February	0.0	0.0	11.4	4.6	4.6
March	0.0	0.0	12.2	4.9	4.9
April	0.0	0.0	11.7	4.7	4.7
May	0.0	0.0	11.8	4.7	4.7
June	0.0	0.0	12.1	4.8	4.8
July	0.0	0.0	12.0	4.8	4.8
August	0.0	0.0	15.0	6.0	6.0
September	0.0	0.0	13.0	5.2	5.2
October	0.0	0.0	12.5	5.0	5.0
November	0.0	0.0	11.1	4.4	4.4
December	0.0	0.0	10.7	4.3	4.3
<b>Total:</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>144.0</b>	<b>57.6</b>	<b>57.6</b>

### Discussion and conclusion

Calculations of mathematical model of the solar thermal power plant were made in MS Excel programme. Results of hot water temperature inside the tank were averaged in monthly values and compared to initial hot water requirements of  $T_{i-max} = 90^\circ$  and  $T_{i-min} = 30^\circ$  (see figure-2). It is worth mentioning, that solar thermal power plant analysis is not perfectly accurate, because mathematical model in MS Excel programme considers only heat losses in solar collectors and hot water tank without taking into consideration the piping and heat exchanger losses. Besides, environmental impact analysis was also made in order to find out to what extent solar thermal power plants are eco-friendlier compared to old gas-burnt boilers. Comparison showed that the difference between old and new thermal power systems is 57.6 Kg CO<sup>2</sup>.

Main purpose of this paper was to introduce a mathematical model calculated in MS Excel programme in order to make proper design of a roof-mounted solar thermal power plant in one of the mountainous areas of Georgia. Results and comparisons showed that the methodology is precise and can be used for further detailed research.

### REFERENCES

1. Wong, S. M. Environmental Initiative and the Role of the USPTO'S Green Technology Pilot Program. Marquette Intellectual Property Law Review, 2012, p. 25.
2. PARITOSH SHARMA, B. M. DESIGN PARAMETERS OF 10KW. //International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology IARJSET, 5, 2015, p. 5.
3. Sanan T. Mohammad, H. H. DEVELOPED MATHEMATICAL MODEL OF SOLAR THERMAL. /Engineering and Applied Sciences, 2016, p. 6.
4. Sippula, O. Emissions from a fast-pyrolysis bio-oil fired boiler: Comparison of health-related characteristics of emissions from bio-oil, fossil oil and wood. University of eastern Finland, 2019, p. 32.

### РЕЗЮМЕ

#### ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Метревели Г.Т.

Грузинский технический университет

Целью данной статьи является разработка математической модели, которая позволяет проектировать солнечную тепловую электростанцию на рассматриваемой поверхности. Расчеты показали, что на количество горячей воды, производимой солнечной ТЭЦ, существенное влияние оказывают правильно выбранный солнечный коллектор и теплообменник, тип и коэффициент теплопотерь бака. Расчеты математической модели были выполнены в программе MS Excel, а результаты усреднены до месячных значений. Сравнение показало, что первоначальные потребности потребителя удовлетворяются в течение всего года и сделан вывод о том, что принципы математической модели актуальны и могут быть использованы в дальнейших технических проектах солнечных тепловых электростанций.

**Ключевые слова:** солнечная тепловая электростанция, солнечный коллектор, теплообменник, коэффициент теплопотери резервуара, средняя поглощающая способность и переходность коллектора, температура окружающей среды, площадь солнечного коллектора.

ელექტროენერჯის ექსპორტ-იმპორტი საქართველოში  
2005 – 2020 წლების ანალიზი

ჭანტურიძე ბ.ფ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ელექტრობალანსის ფორმირებაში დიდი როლი ეკუთვნის ელექტროენერჯის ექსპორტ-იმპორტს. დღევანდელ საქართველოს, როგორც საერთაშორისო სამართლის სუბიექტსა და სუვერენულ სახელმწიფოს, თავისი გეოპოლიტიკური მდებარეობის გამო, კვლავ ეძლევა შანსი აქტიურად ჩაერთოს თანამედროვე მსოფლიო ეკონომიკურ სივრცეში, ჩაერთოს დღევანდელი ურთიერთობებით, მასშტაბებითა და პოტენციური შესაძლებლობებით, ეროვნული თვითმყოფადობისა და თვითდამკვიდრების მაქსიმალური შენარჩუნებით, და ამით ჯერ ერთი, თავისი, თუნდაც მცირედი წვლილი შეიტანოს სახელმწიფოთა ეკონომიკური ურთიერთობების ამჟამად მიმდინარე რთული პროცესების განვითარებაში, და მეორეც, მიაღწიოს თავის ეკონომიკურ წინსვლასა და ხალხთა ცხოვრების დონის მნიშვნელოვან ამაღლებას.

ქვეყნის საიმედო ენერგოუზრუნველყოფის და ენერგეტიკული უსაფრთხოების საქმეში დიდი როლი ეკუთვნის მყარ საგარეო ენერგეტიკულ კავშირებს.

ელექტროენერჯის ექსპორტ-იმპორტი ელექტროსადგურებს საშუალებას აძლევს იმუშაონ საათობრივი დატვირთვით და ყოველწლიურად მოითხოვონ იმ ვარაუდით, რომ გამოიყენონ ელექტროენერჯის წყაროების ნაკლებად ძვირადღირებული კომბინაციები. ელექტროენერჯის ექსპორტ-იმპორტი შესაძლებლობას იძლევა ენერგოსისტემამ შეამციროს დანახარჯები ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე ნებისმიერი 12-თვიანი პერიოდის განმავლობაში. დანახარჯების ეკონომია, საბოლოოდ ვლინდება უფრო დაბალ ფასებში მყიდველისათვის ან დიდ კაპიტალურ დაბანდებათა შემცირებაში. ეს კი მყიდველს აყენებს მომგებიან სიტუაციაში.

ელექტროენერჯის წარმოებაში უფრო მცირე დანახარჯები მიმწოდებელს საშუალებას აძლევს ელექტროენერჯია მყიდველს მიაწოდოს ნაკლებ ფასებში. უფრო დაბალი ფასები ელექტროენერჯიაზე კი ხელს უწყობს რეგიონის ეკონომიკურ განვითარებას. ქვეყნები, რომლებსაც აქვთ უპირატესობანი ეკონომიკის სხვა სფეროებში. ასეთი საერთაშორისო ვაჭრობა ხელს უწყობს ეკონომიკურ განვითარებას. იმ შემთხვევაში თუ იმპორტული და ექსპორტული ფასები არ რეგულირდება სახელმწიფოს მიერ ხელოვნური გზით.

კონკურენტუნარიანი ელექტროენერჯის ბაზრის შექმნა უფრო ადვილია დიდ ქვეყნებში. რაც უფრო მეტია ელექტროენერჯის მწარმოებელი სადგურების რაოდენობა, მით მეტია სარგებლობა მომხმარებლისათვის. ეს განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია პატარა ქვეყნებისათვის, სადაც ენერგეტიკული რესურსები კონტროლდება მონოპოლიური ძალაუფლების მქონე ფირმის მიერ [1-5].

ექსპორტ-იმპორტის განვითარება, როგორც წესი, აჩქარებს ენერგეტიკული სექტორის რეფორმას; შედეგად ქვეყანა შეძლებს ელექტროენერჯის იმპორტ-ექსპორტს ევროკავშირის ტერიტორიაზე, ხოლო სისტემის ოპერატორები იმუშავებენ ევროპული გადაცემების სისტემის ოპერატორების წესებით და იქმნება შესაძლებლობა შემოდებული იქნება ურთიერთქმედების ხელსაყრელი პრინციპები. ეს ყოველივე იძლევა საშუალებას რომ ქვეყანა განვითარდეს და სწრაფი ნაბიჯებით წინ წავიდეს. სულ სხვა სურათი იყო 1990–2000 წლებში, როცა საქართველოში ელექტროენერჯის იმპორტი შემცირდა 4373,6 მლნ კვტ.სთ-დან 611,5 მლნ კვტ.სთ-მდე, ანუ 7,1-ჯერ. ელექტროენერჯია ძირითადად, რუსეთიდან შემოდოდა. მაგალითად, 2000 წელს ამ ქვეყნიდან მიღებულ იქნა 234 მლნ კვტსთ, ანუ იმპორტირებული ენერჯის საერთო რაოდენობის 38,3 % იყო.

რაც შეეხება ამიერკავკასიის მეზობელ ქვეყნებს, აღნიშნულ წლებში ელექტროენერჯის იმპორტი სომხეთთან და აზერბაიჯანთან ინტენსიურად ხორციელდებოდა. რომელიც 1993 წლიდან მკვეთრად შემცირდა. შედარებით დიდი იყო ენერჯის იმპორტი აზერბაიჯანიდან, ხოლო სომხეთიდან იგი გარკვეულწილად აღდგა

1997 წლიდან. ამაში დიდი როლი ითამაშა სომხეთის ატომური ელექტროსადგურის მუშაობის განახლებამ.

ბოლო წლებში მნიშვნელოვნად შეიცვალა სურათი, 2005 წლიდან საქართველოში ელექტროენერჯის იმპორტი ცვალებადი დინამიკით შეიძლება იქნეს დახასიათებული (ცხრ. 1). როგორც ცხრილის მონაცემები გვიჩვენებს, უკანასკნელი 16 წლის მანძილზე იმპორტის მოცულობა 7,3 %-ით გაიზარდა. იმპორტის მაქსიმალური დონე აღინიშნა 2019 წელს (1626,5 მლნ კვტ.სთ), მინიმალური 2010 წელს (222,1 მლნ კვტ.სთ). აღსანიშნავია რომ 2005 წლის შემდგომ იმპორტი კერძოდ, 2006 წლიდან იწყებს შემცირებას და 1398,6 მლნ კვტ.სთ-დან 777,5 მლნ კვტ.სთ-ს შეადგენს. ხოლო 2011 წლიდან ისევ იწყება იმპორტის ზრდის ტენდენცია და პიკს აღწევს 2019 წელს.

ცხრილი 1. ელექტროენერჯის იმპორტი საქართველოში 2005 – 2020წწ. (მლნ. კვტ.სთ)

წლები	სულ	მათ შორის			
		თურქეთიდან	აზერბაიჯანიდან	სომხეთიდან	რუსეთიდან
2005	1398,6	9,3	20,7	656,2	712,4
2006	777,5	106,7	19,6	185,7	465,5
2007	433,2	149	107,4	-	176,8
2008	649,0	54,3	34,6	-	560,1
2009	254,8	0,0008	31,5		223,3
2010	222,1	0,00014	10,1		211,9
2011	471,0	0,00003	23,4		447,6
2012	614,6	0,000629	97,54	0,000408	517,05
2013	484,1	-	23,6	0,001014	460,5
2014	851,5	-	184,2	2,1	607,0
2015	699,2	-	101,7	86,5	511
2016	478,9	-	109,7	-	369,2
2017	1497,2	-	917,6	127,4	452,2
2018	1509,8	64,4	1230,1	7,8	206,5
2019	1626,5	-	1102,0	-	524,5
2020	1610	313,1	726,3	-	570,6

საქართველოსათვის ელექტროენერჯის მთავარ იმპორტიორად ბოლო წლებში რუსეთი და აზერბაიჯანი მოიაზრებიან. რუსეთის წილი იმპორტის საერთო მოცულობაში 2010 წლის 95,4 %-დან (211,9 მლნ კვტ.სთ) 2014 წლისათვის 71,3%-მდე შემცირდა (607,0 მლნ კვტ.სთ). თუმცა ეს ტენდენცია დროდადრო იცვლება, პერიოდულად იმატებს ან იკლებს. ყველაზე დაბალი იმპორტის მოცულობა რუსეთმა საქართველოში 2018 წელს განახორციელა (206,5 მლნ კვტ.სთ). საერთო მოცულობის 13,6%. საქართველო ელექტროენერჯიას დებულობს ყველა მისი მეზობელი ქვეყნიდან. ამ მხრივ, ბოლო წლებში მნიშვნელოვან როლს ასრულებს აზერბაიჯანი კერძოდ, 2017-2020 წლებში მის მიერ განხორციელებული იმპორტი რუსეთის მიერ მოწოდებულ ელექტროენერჯიასაც კი აღემატებოდა და საერთო რაოდენობის 67,8% (1102,0 მლნ კვტ.სთ) შეადგინა 2019 წელს, ხოლო 2018 წელს საერთო რაოდენობის (1230,1 მლნ კვტ.სთ)-ის 81,5%.

იმპორტის მოცულობა ყველა წელთან შედარებით მცირე იყო 2010 წელს.

1990–1994 წლებში საქართველოდან ექსპორტირებული ელექტროენერჯის მოცულობა თანდათან მცირდებოდა და მან 1994 წელს 1990 წლის დონეს მხოლოდ 2,7% შეადგინა. 1995 წელს საქართველოს ელექტროენერჯის ექსპორტი საერთოდ ვერ განხორციელდა. 1996 წლიდან კი იგი კვლავ აღდგა. ამ პერიოდში, როგორც ცნობილია ქვეყანა ელექტროენერჯის მწვავე დეფიციტს განიცდიდა და მისი ექსპორტი სიმბოლურ ხასიათს ატარებდა, რადგანაც მისი ძირითადი ნაწილი ელექტროენერჯის სახით (ნატურალურ მაჩვენებლებში) არსებული ვალების დაფარვას სჭირდებოდა. ექსპორტის ოდენობა შემცირდა 1990–1999 წლებში 3-ჯერ.

საქართველოდან ელექტროენერჯის ექსპორტის საქმეში დაახლოებით იგივე ტენდენცია გრძელდება. 2000 წლის შემდეგ, ხოლო 2010 წელს მან მაქსიმუმს მიაღწია (1524,2 მლნ კვტ.სთ).

ცხრილი 2. ელექტროენერჯის ექსპორტი საქართველოდან (2005-2020 წწ.) მლნ კვტ.სთ.

წლები	სულ	მათ შორის			
		თურქეთში	აზერბაიჯანში	სომხეთში	რუსეთში
2005	121,8	101,1	20,7	-	-
2006	96,1	40,5	55,6	-	-
2007	625,4	215,6	109,6	-	300,2
2008	679,5	216,0	29,6	-	433,9
2009	749,4	182,3	21,5	19,8	525,8
2010	1524,2	303,4	14,3	89,5	1117,1
2011	930,6	218,6	5,9	117,5	588,8
2012	528,2	79,0	11,79	67,9	369,43
2013	450,4	0,000005	6,6	73,2	370,6
2014	603,6	236,5	8,0	140,5	160,1
2015	659,9	419,49	0,015	70,85	169,6
2016	559	234,5	5,4	111,5	147,6
2017	685,7	281,6	137,5	1,7	261,9
2018	588,6	386,3	23,1	82,3	96,9
2019	243,4	112,8	12,1	59,3	59,2
2020	154	69,5	17,9	66,5	-

როგორც ცხრ. 2-ის მონაცემებიდან ჩანს, რუსეთი ამ სფეროშიც საქართველოსათვის ელექტროენერჯის არა მარტო მსხვილი მომწოდებელია, არამედ მას მნიშვნელოვანი რაოდენობით გააქვს ენერჯია საქართველოდანაც. ბოლო წლების განმავლობაში საკმაოდ გაიზარდა ელექტროენერჯის ექსპორტი თურქეთშიც. 2008 წელს ელექტროენერჯის ექსპორტი განხორციელდა: აზერბაიჯანში ესკოს მიერ, 2017 წელს ექსპორტის მოცულობა 685,7 მლნ კვტ.სთ-ს შეადგენდა. ეს ციფრი კი აღემატება 2003–2006 წლებში განხორციელებული ექსპორტის ჯამურ მოცულობას. არანაკლებ მნიშვნელოვანი ფაქტორი ექსპორტის ზრდისათვის არის ჰესებზე (ექსპორტის ძირითად წყაროზე) გამოიმუშავების გაზრდა, რაც ჰიდროელექტროსადგურებზე ჩატარებული სარეაბილიტაციო სამუშაოების შედეგია.

საქართველოში მდიდარი ჰიდროენერჯორესურსების არსებობა საშუალებას იძლევა, რომ ქვეყანა მნიშვნელოვნად გაზრდის ელექტროენერჯის ექსპორტს.

ელექტროენერჯის იმპორტი საქართველოში ხორციელდება შემოდგომა-ზამთრის პერიოდში, ხოლო ექსპორტი, მეტწილად ზაფხულის თვეებში.

ელექტროენერჯის გაცვლის თვალსაზრისით ჩვენთვის განსაკუთრებით საინტერესოა თურქეთის რესპუბლიკა. თურქეთის ელექტროსადგურების დადგმული სიმძლავრე 38000 მეგავატს შეადგენს. წარმოებულ ელექტროენერჯიაში (160 მილიად კვტ.სთ-ზე მეტი) თბოელექტროსადგურების წილი შეადგენს 75,5%, ჰიდროელექტროსადგურების – 24,4%, ხოლო ქარის ელექტროსადგურების 0,035%. აქვე აღსანიშნავია, რომ გენერაციის 43% უზრუნველყოფილი იყო იმპორტირებული ბუნებრივი გაზის გამოყენებით.

თურქეთის დამოკიდებულება იმპორტირებულ ენერჯოშემცველებზე 72%-ს შეადგენს, ექსპერტთა აზრით 2025 წლისათვის შეიძლება 85%-მდე გაიზარდოს.

აღსანიშნავია ის ფაქტიც, რომ თურქეთში მოხმარების პიკი ზაფხულის პერიოდს ემთხვევა, როდესაც საქართველოში არის ჰიდროენერჯის სიჭარბე და ხშირ შემთხვევაში ადგილი აქვს მის დაღვრას, ხოლო საქართველოსი მოხმარების პიკი ემთხვევა ზამთრის თვეებს. ამ დროს, როგორც მარეგულირებელ, ასევე სეზონურ სადგურებზე გამოიმუშავება მინიმალურია და აუცილებელია როგორც ელექტროენერჯის იმპორტი, ასევე თბოსადგურების ამოქმედება, რომლებიც ასევე იმპორტი-



რეზულტატად ენერგორესურსს (ბუნებრივ გაზს) იყენებენ და ელექტროენერჯის ტარიფს გაძვირების ერთ-ერთ ძირითად ძნელადსამართავ ფაქტორს წარმოადგენს. იგივე ჩვენთვის საინტერესოა აზერბაიჯანის, ირანის, სომხეთის და რუსეთის სამხრეთ რეგიონების ენერგობაზრები.

საქართველოს სტრატეგიულ ინტერესს წარმოადგენს ევროპისა და აზიის დამაკავშირებელი აღმოსავლეთ-დასავლეთისა და ჩრდილოეთ-სამხრეთის ენერგეტიკული და ენერგოსატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის განვითარების პერსპექტივა.

ქვეყნის-ენერგეტიკულ კომპლექსს, თავისი გეოგრაფიული მდებარეობიდან გამომდინარე, შეუძლია ეფექტურად ჩაერთოს კავკასიის რეგიონში ელექტროენერჯის წარმოების, კასპიის ზღვის აუზის ნავთობისა და გაზის ტრანსპორტირებისა და მოხმარების ერთიან პროცესებში. შეასრულოს და განსაზღვროს რეგიონის ეკონომიკური ინტეგრაციისა და პოლიტიკური სტაბილურობის კატალიზატორის როლი და ეფექტურად ჩაერთოს ენერგორესურსების, ელექტროენერჯის, ნავთობისა და გაზის ტრანსპორტირების რეგიონული და რეგიონათაშორისი დერეფნის ფუნქციონირებაში.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, ქვეყნის ენერგეტიკული კომპლექსი მნიშვნელოვან ადგილს დაიკავებს სახელმწიფო პოლიტიკაში და ქვეყნის მთლიანი შიგა პროდუქტის შექმნის ერთ-ერთი საგრძნობი წყარო გახდება.

საქართველოს ენერგეტიკული დერეფანი მნიშვნელოვნად შეუწყობს ხელს რეგიონულ და გლობალურ ეკონომიკურ ურთიერთობათა სისტემაში მის ინტეგრაციას, რაც ქვეყანაში პოლიტიკური სტაბილურობის მნიშვნელოვანი ეკონომიკურ პირობას წარმოადგენს.

#### ლიტერატურა

1. „სემეკის“ 2005 – 2020 წწ. წლიური ანგარიშები. [www.gnerc.org](http://www.gnerc.org).
2. „საქსტატის“ მასალები.
3. ელექტროენერგეტიკული სისტემის კომერციული ოპერატორის (ესკო) ოფიციალური ვებ გვერდი, [www.esco.ge](http://www.esco.ge)
4. ბ. ჭანტურიძე. საქართველოს ელექტრობალანსი: ტენდენციები და პერსპექტივები. დისერტაცია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად, 2015.
5. [www.yrhc.org](http://www.yrhc.org).

#### SUMMARY

#### ANALYSIS OF EXPORT-IMPORT OF ELECTRIC POWER IN GEORGIA OVER 2005-2020 YEARS

Chanturidze B.F.

Georgian Technical University

In this article, the importance of electricity export-import for nations power supply and for whole economic development is described. The level and dynamic of export-import of Georgia's electric balance has been analyzed for 16 years. It is said that in recent years import have been declining. But from 2015 things started to change and now in 2020 the frequency of import is 10 times bigger than export. In 2019 the volume of import was in peak. In the article the highlights of export-import is reviewed according to the neighbour countries.

**Keywords:** export, import, balance, electric power, operator, hydroenergetic resource, assigned power.

**ფოთის საზღვაო ნავსადგურის გაფართოების  
საინჟინრო პროექტი**

მარგალიტაძე ი.ნ., გაბიაშვილი ლ.გ.

**საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
მაისტრისის უნივერსიტეტი**

ფოთის საზღვაო ნავსადგური ყველაზე დიდი ნავსადგურია საქართველოში და მას მრავალმიზნობრივი დანიშნულება აქვს: საკონტეინერო, თხევადი, მშრალი, ნაყარი ტვირთების გადამუშავება, საბორნე მიმოსვლის მომსახურება და სხვა.

ნავსადგურში სულ 15 ნავმისადგომია, სადაც ხდება ყველანაირი სატვირთო მომსახურების, მათ შორის რო-რო სერვისის განხორციელება. ნავმისადგომების მთლიანი სიგრძე შეადგენს 2900 მეტრს, სადაც 20-ზე მეტი საპორტო ამწეა განლაგებული და გადის 17 კმ-იანი სარკინიგზო ხაზი.

ნავსადგური ვეროპის კარიბჭეა საქართველოს, სომხეთის და აზერბაიჯანის საერთაშორისო ტვირთებისთვის და აქვს იდეალური ადგილმდებარეობა ცენტრალური აზიის სავაჭრო ჰაბის ალტერნატივით. ფოთის პორტიდან საბორნე მიმოსვლა ხორციელდება შავი ზღვის აუზის ნავსადგურებთან, როგორებიცაა უკრაინის, რუსეთის და ბულგარეთის პორტები, დაკავშირებულია ქვეყნის სარკინიგზო ქსელთან, რომელიც ერთმანეთთან აკავშირებს საქართველოს დიდ ქალაქებს.

2013 წლის აპრილში, „ეიპიემ ტერმინალსმა“ შეისყიდა საქართველოში ყველაზე დიდი ნავსადგური – „ფოთის საზღვაო ნავსადგური“. „ეიპიემ ტერმინალსი“ „ეი.პი მოლერ-მაერსკის“ ჯგუფის წევრი გლობალური კომპანიაა, რომელიც მსოფლიოში წარმოდგენილია 74 მოქმედი პორტის და ტერმინალების ქსელით და 117 სახმელეთო მომსახურების ოპერაციებით, რომელსაც 58 ქვეყანაში ახორციელებს.

სათავეში მოსვლის დღიდან „ეიპიემ ტერმინალსმა“ უზრუნველყო 80 მილიონ აშშ დოლარზე მეტი ინვესტიციის განხორციელება მოძველებული საპორტო ინფრასტრუქტურის, საბაჟო ცენტრის, სარკინიგზო და საავტომობილო გზების და სერვისის განახლების მიზნით.

აღნიშნული პერიოდის მანძილზე, ფოთის ნავსადგურმა, რომელიც ფლობს საქართველოს ნავსადგურების გავლით კონტეინერების გადაზიდვის 85%-ს, შეძლო ნავსადგურში არსებული ინფრასტრუქტურისა და აღჭურვილობა/ტექნიკის განახლება, რათა ის ყოფილიყო ყველაზე პროდუქტიული და უსაფრთხო ნავსადგური და შეენარჩუნებინა მისი არსებული პოზიცია, როგორც მნიშვნელოვანი კარიბჭე ცენტრალურ აზიასა და კავკასიაში.

დღეს ფოთის პორტის მფლობელი კომპანია APM Terminals-ი ფოთში არსებული სახმელეთო საკონტეინერო ტერმინალის მიმდებარე ტერიტორიაზე ახალი ნავსადგურის აშენებას გეგმავს, რომლის მიზანიც შესაძლოა უახლოესი 100–150 წლის განმავლობაში საქართველოში ტვირთების მომსახურების მოთხოვნილების დაფარვა იყოს.

ფოთის საზღვაო ნავსადგურის გაფართოების გეგმა მოიცავს მშენებლობისა და განვითარების ორ ეტაპს. პირველი ეტაპი გულისხმობს 1700 მ სიგრძის მოლოსა და მრავალფუნქციური ნავმისადგომის მოწყობას ზომებით 400 მ – სიგრძე და 13,5 მ – სიღრმე. ახალი ნავმისადგომით შესაძლებელი იქნება 9,000 TEU-მდე სიმძლავრის გემების მიღება და ის შექმნის ნაყარი ტვირთების და დამატებით 150 000 TEU-ს დამუშავების შესაძლებლობას. ახალი ნავმისადგომი 27 ჰექტარ ფართობზე აშენდება.

მეორე ეტაპი ითვალისწინებს 300მ სიგრძის საკონტეინერო ნავმისადგომის მშენებლობას, რომელზეც 3 თანამედროვე STS (გემი-ნავმისადგომი) ამწე განთავსდება. აღნიშნული ინფრასტრუქტურის წყალობით გაორმაგდება ფოთის საზღვაო ნავსადგურის საკონტეინერო გამტარუნარიანობა და გადააჭარბებს ერთ მილიონი TEU-ს წელიწადში.

კომპანიის ინფორმაციით, პროექტის დასრულების შემდეგ, ფოთის მეგა-პორტის წლიური ტვირთბრუნვის სიმძლავრე იქნება 50 მლნ. ტონა და 2 მლნ TEU

კონტეინერი. ფოთის მეგა-პორტში, რომლის სიღრმე იქნება 16 მეტრამდე, შესაძლებელი გახდება შავ ზღვაში მოძრავი ყველაზე დიდი გემების შემოსვლა [1,2].

დაგეგმილი ახალი ნავმისადგომები საშუალებას მისცემს გაფართოებულ ღრმაწყლიან მეგა-პორტს სრულად გამოიყენოს არსებული ტერმინალი, სამანქანო გზა და სარკინიგზო ინფრასტრუქტურა.

დღეისათვის საქართველოში არსებობს ოთხი ნავსადგური, რომლებიც ამუშავენ ბენ დაახლოებით 20 მილიონ ტონას წელიწადში. თუმცა მათი საერთო სიმძლავრე ორჯერ უფრო მეტია. APM Terminals-მა უნდა უზრუნველყოს ფოთის ნავსადგურის განვითარება ბაზრის დინამიკის გაცნობიერებით და საკუთარი ანალიზის შესაბამისად.

აღნიშნული გეგმის თანახმად, 1640 მეტრიანი დამცავი მოლი ახალ ნავსადგურს დაიცავს არასახარბიელო მეტეოროლოგიური პირობების უარყოფითი ზეგავლენისა და მდინარე რიონის მიერ ჩამოტანილი ნაშალი მასალისგან. ამასთან, 700 მეტრიანი ნავმისადგომი მოემსახურება უფრო დიდი ზომის და ეფექტიან სატვირთო გემებს, ხოლო 25 ჰექტარი ფართობის საკონტეინერო ტერიტორია შექმნის ტვირთნაკადების გაზრდისა და საქართველოს სარკინიგზო სისტემის უკეთ მომარაგების შესაძლებლობებსაც.

როგორც აღვნიშნეთ, გაფართოების შემდეგ, ნავსადგურს ექნება შესაძლებლობა მოემსახუროს 300 მეტრამდე სიგრძის გემებს, 13,5–14,5 მეტრი სიღრმის მქონე ორ ნავმისადგომზე. 400 მეტრიანი ნავმისადგომი მოეწყობა ნაყარი, ხოლო 300 მეტრიანი ნავმისადგომი კი – კონტეინერიზებული ტვირთებისთვის.

ფოთის საზღვაო ნავსადგურის ახალი ინფრასტრუქტურა და ტექნიკური საშუალებები ეფექტიან მომსახურებას გაუწევს 60 000 ტონიან (პანამაქსის ტიპის) ნაყარი ტვირთის გემებს. კომპანიის ინფორმაციით, ჯამში, ნავსადგურის წლიური ტვირთების გამტარუნარიანობა დამატებით 10 მილიონი ტონით გაიზრდება. ახალი ნავსადგური მომხმარებლებისთვის უფრო დიდი ზომის გემების მიღების შესაძლებლობით, ტვირთების დასაწყობების გაუმჯობესებული ინფრასტრუქტურით და მსოფლიო დონის საპორტო ოპერატორით მნიშვნელოვნად გააუმჯობესებს და მოიზიდავს იმ ნაყარ ტვირთებს, რომლებიც ამჟამად არ მოძრაობენ საქართველოს სატრანსპორტო დერეფნის გავლით.

მშენებლობა მეტწილად დაგეგმილია ქართული რესურსებით და სამუშაო ძალის გამოყენებით, რაც დამატებით რამოდენიმე ასეულ სამუშაო ადგილს შექმნის.

ფოთის საზღვაო ნავსადგურის გაფართოება გაზრდის საქართველოში წარმოებული ბიზნესების კონკურენტულ უპირატესობას და ექნება პირდაპირი გავლენა მომხმარებელზე. გამოყენებული იქნება ფოთის საზღვაო ნავსადგურის არსებული ინფრასტრუქტურა და სატრანსპორტო და ლოჯისტიკური ბაზები ფოთში, ქალაქში, რომლის 41 ათასიანი მოსახლეობა ეკონომიკურად სრულადაა დამოკიდებული ნავსადგურზე.

ფოთის საზღვაო ნავსადგურის გაფართოების საინვესტიციო პროექტის ხარჯი საქართველოს მთავრობისთვის პრაქტიკულად ნულოვანია.

#### ლიტერატურა

1. დ. ჯალალონია. „ფოთის პორტის გაფართოების გეგმა“. თბილისი. 2020.
2. ფოთის საზღვაო პორტის ადმინისტრაციის მიერ მოწოდებული ინფორმაცია. 2020 ფოთის საზღვაო პორტის ოფიციალური საიტი <http://www.potiseaport.com/>.

#### SUMMARY

#### INVESTMENT PROJECT FOR EXPANSION OF POTI SEAPORT

Margalitadze I.N. and Gabidzashvili L.G.

Georgian Technical University

Maastricht University

Poti seaport APM Terminals Poti is planning to build new deep seaport. Project will be executed in two stages. Annual cargo flow capacity will increase by 10 million tones. New dock will be organized and canal will be deepened in order to ease navigation, it will enable entrance of Panamax type big ships in port.

**Keywords:** Poti seaport, investment project, dock, canal.

## საზღვაო პორტები – ქვეყნის ეკონომიკის საფუძველი

მარგალიტაძე ი.ნ., გაბიაშვილი ლ.გ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
მაისტრისის უნივერსიტეტი

დღეს ნაოსნობა ქვეყნის ეკონომიკის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი დარგია. მსოფლიოში მიმდინარე გლობალიზაციის ფონზე და საქართველოს მდებარეობიდან გამომდინარე ქვეყნის ეკონომიკის განვითარება პირდაპირ კავშირშია სატრანსპორტო სექტორების გამართულ და ეფექტიან მუშაობაზე.

ევროკავშირის სატრანსპორტო-საკომუნიკაციო ქსელში ჩართვა საქართველოს მოქალაქეებსა და ბიზნესს სრულიად ახალ შესაძლებლობებს გაუხსნის და ხელს შეუწყობს ქვეყნის ეკონომიკურ ზრდას.

ევროკავშირთან ასოცირების შესახებ შეთანხმების ხელშეკრულება პირველ რიგში ტრანსპორტის სფეროს მოდერნიზებას და ევროპული სტანდარტების დანერგვას ითვალისწინებს, რომელშიც ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი საზღვაო ინფრასტრუქტურის მოწესრიგებაა.

საზღვაო გადაზიდვები, ეს ტვირთის გადატანის ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული და ეფექტური საშუალებაა. საზღვაო ნაოსნობა უმნიშვნელოვანეს როლს ასრულებს მსოფლიო ეკონომიკაში, იკავებს რა ცენტრალურ ადგილს ერთიან გლობალურ სატრანსპორტო სისტემაში ტვირთების გადასატანად.

საქართველო ორი დიდი ბაზრის – ევროპისა და აზიის სატრანსპორტო დერეფნის დამაკავშირებელი ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ცენტრი ხდება, სადაც სტრატეგიული ტვირთების ტრანსპორტირება ხორციელდება. მას შეუძლია გახდეს კავკასიის სატრანსპორტო-ლოგისტიკური ცენტრი. ნაწილობრივ იგი აღნიშნულ ფუნქციას დღესაც ასრულებს, მაგრამ ძალიან დიდია კონკურენცია მეზობელი სახელმწიფოების, განსაკუთრებით რუსეთის ფედერაციის საზღვაო პორტების და მის ტერტორიაზე გამავალი სატრანზიტო გზების მხრივ, არა მარტო შუა აზიისთვის განკუთვნილ ტვირთებთან დამოკიდებულებაში, არამედ აზერბაიჯანის ტვირთებისადმიც. ასევე კონკურენციას გვიწევს უკრაინაც და თურქეთიც.

პორტების მნიშვნელობა განუხრედად იზრდება არა მარტო კავკასიის რეგიონებისთვის, არამედ შუა აზიის სახელმწიფოებისთვისაც, რომლებიც ნავთობის დიდი მარაგებით გამოირჩევიან, ასევე ამ ქვეყნებში მოჰყავთ ბამბა – საუკეთესო ნედლეული მსუბუქი მრეწველობისთვის, აწარმოებენ მატყლს, ხორცს და ა. შ. ეს სახელმწიფოები გამოირჩევიან შემოსავლების სტაბილური ზრდით, რასაც მოზღვევს მოსახლეობის მოთხოვნილების ამღვებმა მაღალტექნოლოგიურ საქონელზე, რომლის მიწოდებაც დასავლეთიდან ხორციელდება. ზემოაღნიშნული ტვირთბრუნვის ყველაზე ბუნებრივად მოკლე გზა კი საქართველოს ტერიტორიაზე გადის. ამიტომაც ხორციელდება ქვეყნის საკვანძო სატრანზიტო რეგიონად ჩამოყალიბების პროცესი [1-4].

საზღვაო გადაზიდვების განვითარებისთვის მნიშვნელოვანია შემდეგი გარემოებების გათვალისწინება:

- დუნაისპირა ქვეყნებთან ეკონომიკური ურთიერთობის გაღრმავება აქტუალურს ხდის საზღვაო და სამდინარო ტრანსპორტის ინტეგრაციის ამოცანას. ის გათვალისწინებული უნდა იყოს ფლოტის სტრუქტურის განსაზღვრისა და ნავსადგურების განვითარებაში;

- ბოსფორის სრუტის გამტარუნარიანობის (არსებული და სავარაუდო) შეზღუდვების გამო მნიშვნელობას იძენს საბორნე გადასასვლელების (როგორც სარკინიგზო, ასევე საავტომობილო) მოწყობა შავი ზღვის ყველა ქვეყანასთან;

- ნავთობის მოსალოდნელი ტრანზიტი მნიშვნელოვანს ხდის საზღვაო ტრანსპორტის შესაბამისი სიმძლავრეების განვითარებას (ტერმინალები, ტანკერები);

- მსოფლიოში მიმდინარე „საკონტეინერო რევოლუციასთან“ დაკავშირებით, უნდა აშენდეს საკონტეინერო ტერმინალები და აღიჭურვოს ისინი თანამედროვე კონტეინერმზიდებით.

განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ამ ამოცანების გათვალისწინებით საქართველოს ნავსადგურების სტრატეგიული განვითარების პროგრამათა დამუშავებას.

მნიშვნელოვანია „ყარსი-ახალქალაქის“ სარკინიგზო გზაც, რომელიც კრავს აზერბაიჯანის, საქართველოს და თურქეთის სარკინიგზო ხაზებს, შემდეგ ებმება სტამბულ-ანკარას სარკინიგზო მარშრუტს და მარმარის გვირგვინით გადის ევროპაში.

პროექტი თურქეთის სარკინიგზო მარშრუტით ევროპას, საქართველო-აზერბაიჯანი-ყაზახეთის გავლით, ჩინეთთან აკავშირებს. ამ დერეფნის განვითარების პოტენციური საკმაოდ მაღალია: შესაძლებელია ახალი ტვირთების მოზიდვა, რაც ასევე ქვეყნის ეკონომიკური პოტენციალის გაძლიერების საშუალებას იძლევა.

ასევე მნიშვნელოვანია ახალი აბრეშუქის გზისპირა ქვეყნებში: 1.საბაჟო პროცედურათა ჩარჩო-პირობების ფორმირება, რათა საოპერაციო თვალსაზრისით გამარტივდეს ტრანზიტული ტვირთების ტრანსპორტირება და 2. ე.წ. გამჭოლი ტარიფების შემოღება, რაც ასევე დაკავშირებულია სატრანზიტო კორიდორის წვერი სახელმწიფოების ურთიერთ კოორდინირების უზრუნველყოფასთან.

დღეს საქართველოს, როგორც საერთაშორისო სამართლის სუბიექტს, როგორც დამოუკიდებელ და სუვერენულ სახელმწიფოს, თავისი ისტორიული და გეოპოლიტიკური მდებარეობის გამო, ეძლევა ეფექტური შანსი აქტიურად ჩაერთოს თანამედროვე ეკონომიკურ სივრცეში, ჩაერთოს დღევანდელი ურთიერთობებით, მასსტაბებით და მრავალგვარი პოტენციური შესაძლებლობებით, და ამით, ჯერ ერთი, შეიტანოს თავისი წვლილი როგორც მსოფლიო სახელმწიფოთა ეკონომიკური ურთიერთობების რთული პროცესების რეგულირებაში, ასევე, მიაღწიოს ეკონომიკურ წინსვლას და მოსახლეობის ცხოვრების დონის ამაღლებას. ყოველივე ამის მიღწევა კი შესაძლებელია საქართველოს სატრანსპორტო ქსელის ფართო განვითარებით, რომლის ერთ-ერთი მთავარი შემადგენელი საზღვაო პორტების მოწყობა და განვითარებაა.

#### ლიტერატურა

1. ი. მარგალიტაძე. ე. გეგეშიძე. სატრანსპორტო პოლიტიკის კონცეფციები და საზღვაო საქმე-თბილისი, ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2017, 163 გვ.
2. ლ. ბოცვაძე. თ. გელაშვილი. მ. მეზურიშვილი. სატრანსპორტო ლოჯისტიკის საფუძვლები. -თბილისი, ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2007, 250 გვ.
3. ე. ხარიტონაშვილი. სატრანსპორტო ლოჯისტიკა. -თბილისი, უნივერსალი, 2010, 132 გვ.
4. Смирнов Г. Горюнов Б. и др. Порты и портовые сооружения. –Москва, Стройиздат, 1979, 607 с.

#### SUMMARY

#### SEAPORTS - THE BASIS OF COUNTRY ECONOMICS

Margalitadze I.N. and Gabidzashvili L.G.

Georgian Technical University

Maastricht University

Shipping is the most important part of country economics nowadays. Georgia is becoming one of the most important centers connecting two big markets, Europe and Asia trading route. Baring in mind the location of Georgia, the biggest driver of development of country economics and inclusion in European transport and communication network is development of sea transportation and establishing seaports. It will allow new opportunities for Georgian citizens and business and help develop economics.

**Keywords:** seaport, Georgian economics, shipping.

ავტომობილის ძრავის ეკოლოგიურობაზე გენზინის  
ბიოღანამატის გავლენის კვლევა

ოსებიძე ჯ.ს., აბრამიშვილი გ.ს., ხეცურიანი ნ.თ., ჩხაიძე მ.ნ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

როგორც ცნობილია, საავტომობილო ტრანსპორტის სწრაფმა განვითარებამ გამოიწვია გარემოს – ატმოსფეროს, წყლისა და ნიადაგის მნიშვნელოვანი დაბინძურება. ავტოტრანსპორტის გამონაბოლქვი აირები შეიცავს ოთხმოცამდე ტოქსიკურ ნივთიერებას – არასრული წვის პროდუქტებს (აზოტის და ნახშირბადის ოქსიდებს და სხვა).

თანამედროვე მსოფლიოში ენერგეტიკულ რესურსებს მნიშვნელოვანი როლი აკისრია ქვეყნის ეკონომიკურ განვითარებაში. ძირითად ენერგეტიკულ რესურსებს (ქვანახშირი, ნავთობი, ბუნებრივი აირი, ჰიდრო- და თბოენერჯია) შორის ნავთობი წარმოადგენს ერთადერთ წყაროს, რომელიც აკმაყოფილებს სხვადასხვა შიგაწვის ძრავების მქონე სატრანსპორტო საშუალებებს (საავტომობილო, საჰაერო, საზღვაო, სარკინიგზო და სხვ.) საწვავით, რომლის რაოდენობა შეადგენს წარმოებული ნავთობის 50%-ზე მეტს. დღეისათვის მსოფლიოში ნავთობური მოტორული საწვავების წლიური მოხმარება 1,8 მლრდ ტონას შეადგენს [1].

თანამედროვე მსოფლიო ავტოპარკი ერთ მილიარდზე მეტ ერთეულს ითვლის და ყოველდღიურად სწრაფად იზრდება. როგორც ცნობილია, დიდი ქალაქების დაბინძურების მნიშვნელოვან წყაროს საავტომობილო ტრანსპორტი წარმოადგენს, ამიტომ საავტომობილო ძრავებში ტრადიციული საავტომობილო საწვავის გამოყენებასთან დაკავშირებული ეკონომიკური და ეკოლოგიური პრობლემები აქტუალურია ყველა ინდუსტრიული ქვეყნისთვის. შესაბამისად უფრო აქტუალური ხდება ავტოსატრანსპორტო საშუალებებზე ალტერნატიული საწვავების გამოყენება, რაც ასევე განპირობებულია ავტომობილის ძრავებიდან გამოსაბოლქვი აირებისადმი ეკოლოგიური მოთხოვნების გამკაცრებით.

ავტოტრანსპორტის გარემოზე ანთროპოგენური ზემოქმედება ვლინდება ძირითადად „სათბურის ეფექტისა“ და გამონაბოლქვი მავნე ნივთიერებების სახით, რაც ადამიანის ჯანმრთელობაზე მნიშვნელოვან უარყოფით გავლენას ახდენს. როგორც გამოკვლევები ცხადყოფს, სწორედ ავტოტრანსპორტის წილად მოდის ქვეყნის მასშტაბით 74%, ხოლო თბილისში 79% ატმოსფეროში გაფრქვეული მავნე ემისიები. მხოლოდ ბოლო ათწლეულში რესპირატორული და ონკოლოგიური დაავადებების რაოდენობა 20%-ითაა გაზრდილი საქართველოში.

კლიმატის ცვლილება – დღეს ერთ-ერთი ყველაზე სერიოზული ეკოლოგიური პრობლემა – ასოცირდება „სათბურის ეფექტთან“, რაც გამოწვეულია ნახშირორჟანგის (CO<sub>2</sub>) კონცენტრაციის მკვეთრი მატებით. ეს ეწინააღმდეგება კიოტოს პროტოკოლის (1997) და კლიმატური კონვენციის (რიო-დეჟანეირო, 1992) გადაწყვეტილებებს, რომლებიც განსაზღვრავს 21-ე საუკუნეში სათბურის გაზების ემისიების მნიშვნელოვან შემცირებას [2,3].

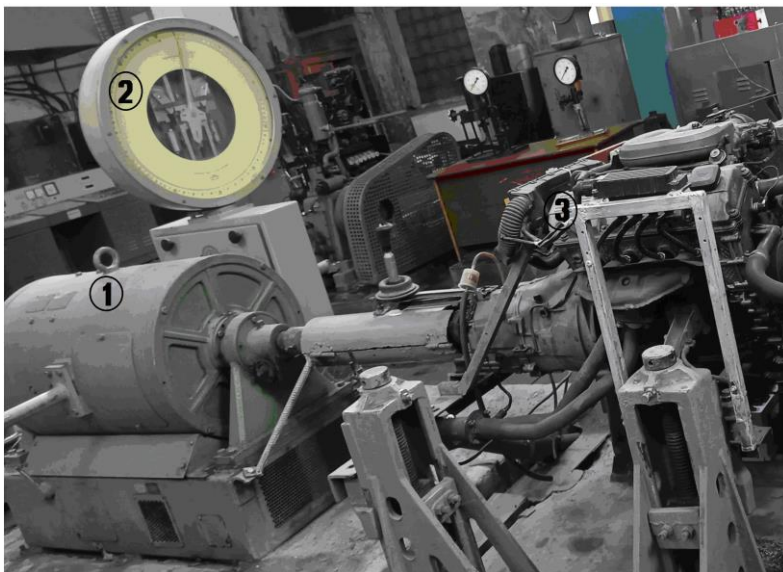
საკმარისია აღინიშნოს, რომ ერთი ავტომობილი წლიურად შთანთქავს ატმოსფეროდან საშუალოდ 4 ტონა ჟანგბადს, ამასთან გამონაბოლქვის სახით გააფრქვევს 800 კგ ნახშირბადის მონოოქსიდს (CO), 40 კგ აზოტის ჟანგეულებს და 200 კგ სხვადასხვა ნახშირწყალბადებს (ბენზოლი – 27 ათასი ტონა; ფორმალდეჰიდი – 17,5 ათასი ტონა; ბენზ(ა)პირენი 1,5ტ და სხვ.). მავნე ნივთიერებების საერთო რაოდენობა კი აჭარბებს 20 მლნ. ტონას [4].

თუ გავითვალისწინებთ, რომ საქართველო მთლიანად იმპორტირებულ ნავთობ-პროდუქტებზეა დამოკიდებული, რომლის ოდენობა ყოველწლიურად იზრდება (2019 წელს საწვავის იმპორტის ზრდამ წინა წელთან შედარებით 11% გადააჭარბა და 1,096 მილიონი ტონა შეადგინა [5], მსგავსია – 2018 წლის მონაცემებიც), ცხადი გახდება საკუთარი, ამასთან „ეკომეგობრული“ საწვავის წარმოების აუცილებლობა. ცხადია ავტომობილის ეკოლოგიურობას განაპირობებს – როგორც მისი კონსტრუქცია, მუშაობის რეჟიმები, ასევე საწვავის ეკოლოგიური თვისებები. საავტომობილო საწ-

ვაგების გარემოზე ეკოლოგიური ზემოქმედება განისაზღვრება ჰაერში, წყალში და ნიადაგში გამოფრქვეული ნამუშევარი აირების ტოქსიკურობით. შესაბამისად, საწვავის შემადგენლობა უნდა უზრუნველყოფდეს გამონაბოლქვ აირებში ტოქსიკური კომპონენტების მინიმუზირებას. საავტომობილო საწვავების ფიზიკურ-ქიმიური და საექსპლუატაციო მახვენებლების ნორმირება სახელმწიფო და საქარხნო ნორმატიული დოკუმენტაციით ხდება, რაც უზრუნველყოფს გარემოსთვის საწვავების ეკოლოგიური უსაფრთხოების დონეს.

ავტოტრანსპორტის სფეროში ეკოლოგიური მოთხოვნების ძირითად ამოცანას წარმოადგენს გამონაბოლქვში CO<sub>2</sub>-ის რადიკალურად შემცირება. ლიდერი სახელმწიფოები, როგორცაა აშშ, ჩინეთი და ევროკავშირი, ყოველწლიურად ამკაცრებენ გამონაბოლქვ ემისიებში CO<sub>2</sub>-ის ნორმებს სატრანსპორტო საშუალებების ყველა სახეობისთვის, რაც განაპირობებს მათი ეკონომიურობის მნიშვნელოვან ზრდას, ასევე ახალი, ეკოლოგიურად სუფთა საწვავების დამზადების აუცილებლობას. მაგალითად, მაღალი დეტონაციური მდგრადობის ბენზინის წარმოებისთვის გამოიყენება ოქსიგენატები (ქანგბადშემცველი კომპონენტები), რომელთაგან უმეტესად გავრცელებულია ბიოეთანოლი, რომელიც მიიღება განახლებადი ბიონარჩენებიდან, რომლის გამოყენებასაც თან ახლავს ატმოსფეროში CO<sub>2</sub>-ის შემცირება, ხოლო ძრავში მისი წვის დროს მცირდება მავნე ნაერთების (CO, CH) შემცველობა ნავთობბენზინთან შედარებით. ბიოეთანოლი მიეკუთვნება ბენზინების ეკოლოგიურად სუფთა მაღალექტანურ დანამატებს და იგი მსოფლიოში ფართოდ გამოიყენება ბენზინის დანამატის სახით, ძრავის მოდიფიკაციის გარეშე. ასეთ პერსპექტიულ მიმართულებას წარმოადგენს, მაგალითად, საშუალო ეთანოლური საწვავი E30, რომელიც გამოიყენება საავტომობილო ტექნიკის მოდიფიცირების გარეშე. აღნიშნულის შესაბამისად, ჩვენს მიერ დამუშავებული იქნა ბენზინის ბიოდანამატი, რომელიც დამზადებულია სიმინდის და სოფლის მეურნეობის სხვა ნარჩენებიდან შემდეგი პროცესების განხორციელების შედეგად: ნედლეულის გამოშრობა, დაქუცმაცება, ფერმენტაცია, ექსტრაქცია – გაუწყლოება მარტივი ტექნოლოგიური სქემით მოდერნიზის ადსორბენტით.

წინამდებარე ნაშრომში წარმოდგენილია ჩვენს მიერ დამუშავებული ბიოდანამატის ეკოლოგიური თვისებების კვლევა, რომელიც ჩატარდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის „საავტომობილო ტრანსპორტის დეპარტამენტის“ შიგაწვის ძრავების ლაბორატორიაში. კვლევის ობიექტებს წარმოადგენდა „რომპეტროლი“ ფირმის „რეგულარის“, „პრემიუმის“ და „სუპერის“ მარკის ბენზინები და ჩვენს მიერ დამზადებული ბიოეთანოლი საცდელი დანამატი, რომელიც ბენზინებს ემატებოდა 10%, 20 და 30% ოდენობით.



ნახ. 1. საგამოცდო სტენდი:

1 – ელექტრომუხრუჭი; 2 – მარუნი მომენტის გამზომი ხელსაწყო; 3 – ბმე-316 ძრავა

საცდელი დანამატის ეკოლოგიური თვისებების კვლევა განხორციელდა საავტომობილო ძრავების, SAK - 670 მარკის (გერმანია) საგამოცდო სტენდზე, რომელზეც დამონტაჟებული იყო ავტომობილ „ბმგ-316“-ის ძრავა ქუროთი და გადაცემათა კოლოფით. სტენდი ნახ. 1. მოიცავს სამუხრუჭო (1) და მახრუნი მომენტის (2) გამზომ ხელსაწყოებს, ასევე მუხლა ლილვის სისწირის და საწვავის ხარჯის მზომ ხელსაწყოებს.

გამონაბოლქვ აირებში CO-ს შემცველობა ისაზღვრებოდა „ბოშის“ წარმოების „BEA-460“ მარკის აირანალიზატორით ნახ. 2.



ნახ. 2. „ბოშის“ წარმოების „BEA – 460“ მარკის აირანალიზატორი

ექსპერიმენტების შედეგების თანახმად, საცდელი დანამატი შედარებით მეტ ეფექტიანობას ამჟღავნებს „რომპეტროლის“ ფირმის „რეგულარის“ მარკის ბენზინის მიმართ, „პრემიუმის“ და „სუპერის“ მარკის ბენზინებთან შედარებით, რამდენადაც 20% დანამატი მათი წვის პროდუქტებში CO-ს შემცველობას ამცირებს, შესაბამისად, 11, 9 და 8%-ით. ამიტომ შემდგომი ცდები ჩატარდა „რეგულარის“ მარკის ბენზინზე, რომელსაც ემატებოდა 10, 20 და 30% საცდელი დანამატი. მონაცემები წარმოდგენილია ცხრილში.

საცდელი დანამატის გავლენა „რომპეტროლის“ ფირმის „რეგულარის“ მარკის ბენზინის ეკოლოგიურ ეფექტიანობაზე

დასახელება	CO-ს შემცველობა გამონაბოლქვ აირებში	CO-ს შემცველობის შემცირება გამონაბოლქვ აირებში, %
ბენზინი „რეგულარი“	1,607	–
+ დანამატი:		
10%	1,436	10,7
20%	1,421	11,6
30%	1,352	15,3

როგორც ცხრილის მონაცემებიდან ჩანს, 10–30% დანამატის დამატებით ბენზინზე „რეგულარი“, უკმ სვლაზე გამონაბოლქვი CO-ს რაოდენობა მცირდება 10-16%-ით.

ამრიგად, სოფლის მეურნეობის ნარჩენებიდან მიღებული საცდელი დანამატის ბიოეთანოლის „რომპეტროლის“ ფირმის „რეგულარის“ მარკის ბენზინზე დამატების შედეგად, გამონაბოლქვ აირებში CO-ს შემცველობა მცირდება საშუალოდ 12%-მდე ნავთობბენზინებთან შედარებით, რაც მისი სიიაფის გათვალისწინებით მიუთითებს საწვავი ბიოეთანოლის გამოყენების გაფართოების პერსპექტიულობაზე.



**ლიტერატურა**

1. ჯ. იოსებიძე, გ. აბრამიშვილი, გ. მიქაძე, თ. აფაქიძე, ა. ჩხეიძე, ხ. მღებრიშვილი. საავტომობილო საწვავ-საზეთი მასალების გამოყენება და ეკოლოგია. -თბილისი, 2009, 129 გვ., ISBN 978-9941-14-268-0; [www.gtu.ge/publishinghouse/](http://www.gtu.ge/publishinghouse/).
2. United Nations Framework Convention on Climate Change COP 21 and CMP 11 2015: PARIS AGREEMENT, 62p. [https://www.ifdd.francophonie.org/wp-content/uploads/2019/12/649\\_Summary\\_-\\_IFDD\\_COP21\\_English-2.pdf](https://www.ifdd.francophonie.org/wp-content/uploads/2019/12/649_Summary_-_IFDD_COP21_English-2.pdf)
3. Lorenz Moosmann, Cristina Urrutia, Anne Siemons, Martin Cames, Lambert Schneider. Issues at stake in view of the COP25 UN Climate Change Conference in Madrid. PE 642.344 - November 2019. 76p. PE 642.344 IP/A/ENVI/2019-03 Print ISBN 978-92-846-5928-9 | doi:10.2861/046072 | QA-02-19-863-EN-C [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2019/642344/IPOL\\_STU\(2019\)642344\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2019/642344/IPOL_STU(2019)642344_EN.pdf)
4. Energy, Transport and Environment Statistics. Publications Office of the European Union, 2020, 188p. ISSN 9276207376, 9789276207375. [https://books.google.ge/books/about/Energy\\_Transport\\_and\\_Environment\\_-\\_Statist.html?id=IVdFzgEACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.ge/books/about/Energy_Transport_and_Environment_-_Statist.html?id=IVdFzgEACAAJ&redir_esc=y)
5. <https://itv.ge/news/2019-wels-importiorebma-saqartveloshi-1096-milioni-tona-sawvavi-shemoitanes/>

**SUMMARY**

**STUDY OF THE EFFECT OF BIOADDITIVE TO GASOLINE ON THE ECOLOGICAL COMPATIBILITY OF AN AUTOMOBILE ENGINE**

**Iosebidge J.S., Abramishvili G.S., Khetsuriani N.T. and Chkhaidze M.N.**

**Georgian Technical University**

**Tbilisi State University**

A study of the obtained by us bioadditive to gasoline on the ecological compatibility of an automobile engine was carried out on the automobile engine test rig SAK-670 (Germany) that was mounted with the engine and gearbox of the **BMW-316** car. The objects of the research were different brands of “**Rompetrol**” gasolines: **Regular, Premium** and **Super**. According to the obtained results of the study, the tested additive reveals a relatively more effectiveness in relation to gasoline of the Regular brand, to which 10, 20 and 30% of the additive was added. The content of CO in the exhaust gases of the idle running car was reduced by an average of 12% in comparison with the petroleum gasoline.

**Keywords:** bioadditive, gasoline, eco - compatibility.

საწვავი ეთანოლის და ეთანოლ/გენზინის ნარევის  
 ფიზიკურ-ქიმიური კვლევა

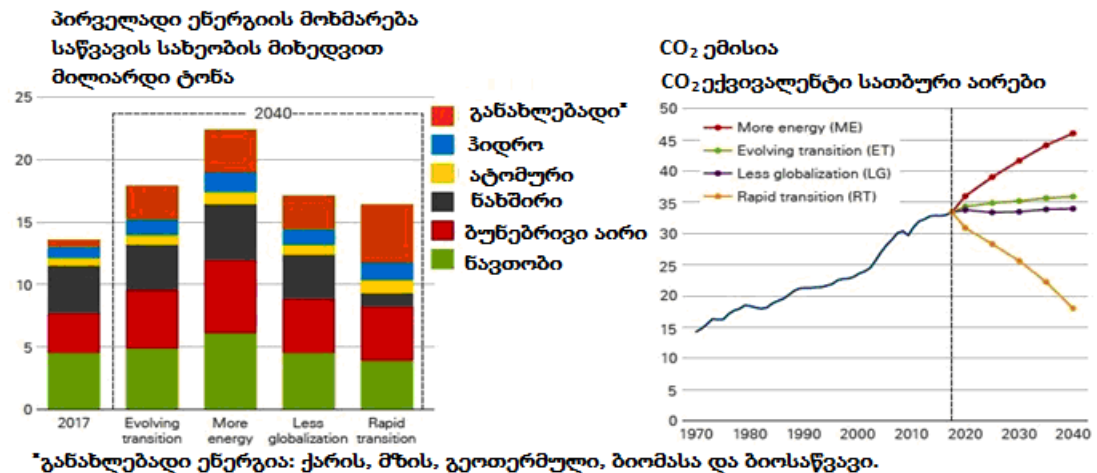
ჩხაიძე მ.ნ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ნავთობის მარაგების შემცირების გამო ნავთობური წარმოშობის ენერგომატარებლების დაზოგვითი ტექნოლოგიების განვითარება, გამონაბოლქვი ნაერთების ნორმების გამკაცრება, გარემოს დაბინძურება აიძულებს მსოფლიოს ათვისოს ენერჯის ახალი, განახლებადი წყაროები. ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესების ერთ-ერთი მექანიზმი სწორედ განახლებადი ენერჯის წყაროების გამოყენებაა. ეს ტენდენციები მკვეთრად აისახება აშშ, ევროკავშირის და სხვა მოწინავე ქვეყნების ენერჯეტიკის განვითარების პროგრამებში, სადაც 2040 წლისთვის განახლებადი ენერჯის წყაროების წილი გლობალური პირველადი ენერჯის მოხმარებაში გაიზრდება 14%-მდე. დღეისათვის საწვავის ბაზრის განვითარების ძირითად ტენდენციად ბიოენერჯეტიკა ითვლება, რომელიც უახლოესი 30–40 წლის განმავლობაში მსოფლიო სისტემის ენერჯით უზრუნველყოფის განვითარებაში უპირატესობას შეინარჩუნებს.

ბიოეთანოლის მიღების ბიოქიმიური მეთოდი დიდი ხანია ცნობილია, მაგრამ მისი საწვავად გამოყენების იდეა განსაკუთრებით აქტუალური გარდა მე-20 საუკუნის 90-იან წლებში, ნავთობის კრიზისის დროს, როდესაც მსოფლიოში ნავთობის ფასები მკვეთრად გაიზარდა და ბევრ ქვეყანაში საწვავის დეფიციტი შეიქმნა. პრაქტიკულად სწორედ მაშინ დაიწყო ბიოსაწვავის პირველი მსხვილი საწარმოების შექმნა, რამაც თანდათან სტრატეგიული მნიშვნელობა შეიძინა. ამას თან დაერთო გლობალური დათბობა და კლიმატის ცვლილება, რაც თანამედროვე მსოფლიოს პრობლემად იქცა, რომლის მთავარ მიზეზი ნახშირწყალბადების (გაზი, ნავთობი) სულ უფრო ინტენსიური მოხმარებაა. აქედან გამომდინარე კიდევ უფრო აქტუალური გახდა განახლებადი ენერჯის წყაროებიდან ბიოსაწვავის მიღება და გამოყენება.

ბიოენერჯეტიკის მიმართულების ერთერთი მნიშვნელოვანი სფეროა განახლებადი ენერჯის წყაროებიდან ალტერნატიული საწვავის მიღება, რაც ზრდის საწვავი ეთანოლის მიმართ ინტერესს. უკანასკნელი ხუთი წლის განმავლობაში საწვავი ეთანოლის (Fuels Ethanol) წარმოების მსოფლიო მოცულობა 3-ჯერ, ხოლო ბიოსაწვავის წარმოება დაახლოებით 14%-ით გაიზარდა. [1,2]



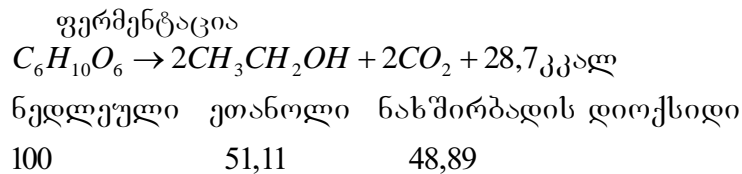
ნახ. 1. ენერჯეტიკის განვითარების პერსპექტივა

BP Energy Outlook 2018 წლის ანგარიშში - წარმოდგენილია პროგნოზი ენერჯორესურსებზე 2040 წლამდე, სადაც მსოფლიო ენერჯეტიკულ ბაზარზე ენერჯის განა-

ხლებადი წყაროების მკვეთრი გაზრდა და წარმოქმნილი თბური აირების 50%-ით შემცირებაა ნავარაუდები. ენერჯის განახლებადი წყაროების გამოყენება იწვევს ენერჯის დაბალ ნახშირბადშემცველ ნარეგებზე გადასვლას, რაც დადებით ეფექტს გვაძლევს როგორც ეკონომიკური ასევე ეკოლოგიური კუთხით (ნახ. 1) [3].

ბიოეთანოლის მიღება შესაძლებელია სოფლის მეურნეობის ნარჩენებისგან, როგორცაა კარტოფილის, შაქრის ჭარხლის, ქერის ნარჩენები, ხორბლის და ბრინჯის ნამჯა, შაქრის ლერწამი და სხვა, რომლებიც წარმოადგენენ განახლებადი ენერჯის წყაროებს.

ჩვენი სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს სოფლის მეურნეობის კერძოდ სიმინდის ნარჩენებიდან საწვავი ეთანოლის და ბიობენზინების წარმოება. სიმინდის ნარჩენებიდან ბიოეთანოლის მისაღებად ჩატარებულია შემდეგი პროცესები: ნედლეულის მომზადება, გაშრობა, დაქუცმაცება, ფერმენტაცია, ექსტრაქცია და გაფილტვრა. სქემატურად ბიოეთანოლის მიღება წარმოდგენილია ნახ. 2.



**ნახ. 2. ბიოეთანოლის მიღება**

დადგენილია ჩვენს მიერ მიღებული ბიოეთანოლის ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები **EN15376:2014** [4] სტანდარტის მოთხოვნების შესაბამისად; ასევე განისაზღვრა საწვავი ეთანოლის ჯგუფური შედგენილობა **PerkinElmer Spectrum Version 10.4.2** სპექტრომეტრზე. ცხრ. 1-ში წარმოდგენილია ბიოეთანოლის და „პრემიუმის“ მარკის ნავთობბენზინის ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები.

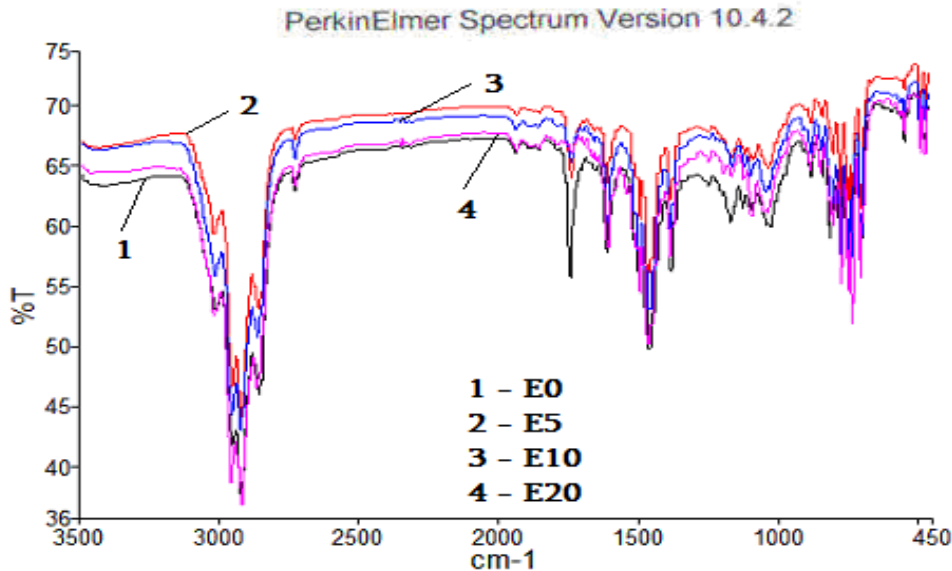
**ცხრილი 1. ბიოეთანოლის და ბენზინის ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები**

მახასიათებლები	საწვავი ეთანოლი	ბენზინი პრემიუმი
ქიმიური ფორმულა	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>
შემადგენლობა	(c) = 52% (H) = 13% (O) = 35%	(c) = 85% (H) = 15%
დუღილის ტემპერატურა, °C	78	30-225
თბოუნარიანობა მჯ/კგ საწვავზე	29	45
სიმკვრივე, კგ/მ <sup>3</sup>	785,0	745,0
ოქტანური რიცხვი კვლევეითი მეთოდით	111	95
ოქტანური რიცხვი მოტორული მეთოდით	94	85
აორთქლების ფარული სითბო, კკალ/კგ	204	70-100

ჩვენს მიერ მომზადდა E5, E10 და E20 ბიობენზინების საცდელი ნიმუშები ბენზინის მარკის „პრემიუმის“ ბაზაზე. შესწავლილ იქნა მათი ფიზიკური – ქიმიური მახასიათებლები არსებული EN228 [5] და EN 15376:2014 სტანდარტების მოთხოვნების შესაბამისად (ცხრ. 2). ასევე განისაზღვრა საავტომობილო ბენზინის (E0) და ბიობენზინების E5, E10 და E20 ჯგუფური შედგენილობა ინფრაწითელ სპექტრომეტრზე „PerkinElmer Spectrum Version 10.4.2“, მიღებული სპექტრები წარმოდგენილია ნახ. 3-ზე.

ცხრილი 2. საწვავების ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები EN 228

მაჩვენებლები	„პრემიუმის“ მარკის ბენზინი (E 0)	ბიობენზინები		
		E 5	E 10	E 20
სიმკვრივე 15°C, კგ/მ <sup>3</sup>	744,1	749,5	749,6	754,6
სიმკვრივე 20°C, კგ/მ <sup>3</sup>	740,0	745,3	745,4	750,5
ოქტანის რიცხვი კვლევიითი მეთოდით	95,0	95,5	95,8	97,0
ოქტანის რიცხვი ძრავის მეთოდით	85,0	85,3	85,8	88,5
მუაიანობა მგ KOH/გ საწვავზე	0,015	0,015	0,005	0,005
კინემატიკური სიბლანტე, მმ <sup>2</sup> /წმ	1,2	1,1	1,1	1,1
ფაქტიური ფისების შემცველობა მგ/100მლ ბენზინზე	2,0	1,8	1,5	1,0
კოროზიული აქტივობა (3სთ 50°C)	I კლასი	I კლასი	I კლასი	I კლასი
ტყეის შემცველობა, მგ/დმ <sup>3</sup>	–	–	–	–
ბენზოლის შემცველობა, %	0,9	0,88	0,88	0,88
ჯამური არომატიკა, %	31,5	30,5	30,0	28,5
გოგირდის შემცველობა, %	0,50	0,50	0,50	0,50
ფრაქციული შედგენილობა				
დუღ. საწყისი ტემპერატურა, °C	35	38	40	40
10%-ის გამოხდის ტემპერატურა, °C	55	50	51	52
50%-ის გამოხდის ტემპერატურა, °C	87	80	75	70
90%-ის გამოხდის ტემპერატურა, °C	160	155	150	150
დუღილის დასასრული, °C	168	168	169	168
ნარჩენი, %	2	2	2	2



ნახ. 3. ნავთობბენზინის E0, და ბიობენზინების E5, E10 და E20 ინფრა-წითელი სპექტრები

როგორც წარმოდგენილი სპექტრებიდან ჩანს ნავთობბენზინის E0 და ბიობენ-  
ზინების E 5, E10 და E20 ჯგუფური შედგენილობა თითქმის იდენტურია.

საცდელ ნიმუშებში E0, E 5, E10 და E20 ინდივიდუალური ნახშირწყალბადები  
განისაზღვრა გაზურ ქრომატოგრაფზე “Кристаллюкс-4000M”, პროგრამული უზრუნველ-  
ყოფა-NetChrom-v2, დეტექტორის მოდული: ალურ-იონიზაციური დეტექტორი (აირმატა-

რებელი სვეტში აზოტი, დეტექტორში წყალბადი), სვეტის ტემპერატურა 40–245 °C, 25°C ბიჯით. მყარი ფაზა: 100% dimethyl polysiloxane; Cat#70199; Serial #1650246; Made in USA) სვეტის სიგრძე 10 მ, დიამეტრი 0,53 მმ. ანალიზის ხანგრძლივობა 30 წთ ASTM D7096-05 სტანდარტის შესაბამისად [6]. შესწავლილი და იდენტიფიცირებულია საკვლევი ობიექტებში შემავალი ინდივიდუალური ნახშირწყალბადები. ჩატარებულია საწვავების შედარებითი დახასიათება.

ამრიგად, შესწავლილია საცდელი ნიმუშების ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები და ჩატარებულია სპექტრალური ანალიზი. შესწავლილია საცდელი ნიმუშების (E0, E5, E10 და E20) ჯგუფური შედგენილობა „PerkinElmer Spectrum Version 10.4.2“ ინფრაწითელ სპექტრომეტრზე. დადგენილია, რომ საცდელი ნიმუშების ჯგუფური შედგენილობა თითქმის ერთნაირია.

საქართველოში პირველად იქნა მიღებული ბიოსაწვავი, რომლის გამოყენება შესაძლებელია შიგაწვის ძრავის მქონე სატრანსპორტო საშუალებებში. ბიოეთანოლის წარმოებისთვის გამოყენებულია სიმინდის და სოფლის მეურნეობის სხვა ნარჩენები, რაც უზრუნველყოფს ნარჩენების რაციონალურ მართვას.

ბიოეთანოლის და ნავთობბენზინის შერევით დამზადებულია ეკომეგობრული (E5, E10, E20) ბიობენზინების საწვავები, რომელიც უზრუნველყოფს ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესებას და არაგანახლებადი ენერგორესურსების დაზოგვას. ბიოსაწვავების წვის დროს მცირდება გამონაბოლქვ აირებში CO-ს და NO<sub>x</sub>-ის კონცენტრაცია, რადგან ხდება საწვავის სრული წვა. CO-ს შემცირებას იწვევს აგრეთვე საწვავ ეთანოლში ნახშირბადის მცირე შემცველობა (52%) ნავთობბენზინებთან შედარებით (85%).

ბენზინ/ეთანოლის ნარევის წვის დროს გამოფრქვეულ აირებში ასევე მცირდება დაბალმდულარე ორგანული ნაერთების (ეთანი, ფორმალდეჰიდი, ეთილენი, ტოლუოლი და სხვა) შემცველობა.

## ლიტერატურა

1. Charles E. Wyman. Handbook on Bioethanol Production and Utilization, ISBN9781560325536 Published July 1, 1996 by CRC Press, 444 Pages.  
DOI <https://doi.org/10.1201/9780203752456>; eBook Published 25 October 2017  
eBook ISBN9780203752456  
<https://www.taylorfrancis.com/books/edit/10.1201/9780203752456/handbook-bioethanol-charles-wyman>
2. James G Speight. The Biofuels Handbook, 2011, 574p., ISSN 978-1-78262-628-2, <https://doi.org/10.1039/9781849731027>; <https://pubs.rsc.org/en/content/ebook/978-1-84973-026-6>
3. BP Energy Outlook, 2018 edition, 125p. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2018.pdf>
4. EN 15376:2014. Automobile fuels – Ethanol as a blending component for petrol – Requirements and test methods <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/6611fd35-d066-4b86-a711-fd2c83b3333c/en-15376-2014>
5. EN 228. Automotive fuels - Unleaded petrol - Requirements and test methods, 11p [http://www.envirochem.hu/www.envirochem.hu/documents/EN\\_228\\_benzin\\_JBg37.pdf](http://www.envirochem.hu/www.envirochem.hu/documents/EN_228_benzin_JBg37.pdf)
6. ASTM D7096-19. Standard Test Method for Determination of the Boiling Range Distribution of Gasoline by Wide –Bore Capillary Gas Chromatography [https://www.techstreet.com/standards/astm-d7096-19?product\\_id=2074040](https://www.techstreet.com/standards/astm-d7096-19?product_id=2074040)

## SUMMARY

### PHYSICAL AND CHEMICAL INVESTIGATION OF COMBUSTIBLE ETHANOL AND ETHANOL/ GASOLINE MIXTURES

Chkhaidze M.N.

Georgian Technical University

Combustible ethanol was obtained from agricultural waste. Test samples E5, E10 and E20 were prepared and their physical, chemical and technical characteristics were studied. The obtained biofuel can be used in internal combustion engine vehicles. The ethanol/Gasoline mixtures are economically profitable as they give a chance to save the energy resources. Concentration of CO and NO<sub>x</sub> in emissions is reduced as a result of complete combustion of the fuel because the combustible ethanol contains oxygen and less carbon (52%) compared to gasoline (85%). The content of low-boiling organic compounds (ethane, formaldehyde, ethylene, toluene, etc.) in the exhausted emissions from the combustion of ethanol/gasoline mixture is also reduced.

**Keywords:** combustion, ethanol, gasoline, mixture.

ავტოღამტვირთავი მანქანების საიმედოობის კვლევა

ცეცხლაძე გ.გ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

**შესავალი**

დატვირთვა გადმოტვირთვის (დ/გ) სატრანსპორტო საშუალებების საიმედოობის უზრუნველყოფის და ეფექტურობის ამაღლების, დამუშავებული მეთოდების რეალიზაციის მიზნით საჭირო გახდა ექსპერიმენტული კვლევის შესრულება. იგი გამომდინარეობს კვლევის საერთო მეთოდიდან, რომელსაც საფუძვლად უდევს მანქანის საიმედოობის დონის შენარჩუნება და ეფექტურობის კრიტერიუმების პოზიციების შესაბამისად საექსპლუატაციო ხარჯების მინიმიზაცია.

კვლევის ობიექტად აღებული იქნა დიდი ტვირთამწეობის ავტოღამტვირთავი ტრ/პ „Бонкет“ 0,93 მ<sup>3</sup> --S650 მოდელის და ავტოკრანი («Аист» №СТ17--9866) აგრეგატები, მექანიზმები და სისტემები. საიმედოობის მახასიათებლების რიცხოვრივი მნიშვნელობების გამოვლენა შესაძლებელია სასტენდო ლაბორატორიული და საექსპლუატაციო გამოცდებით. შერჩეული იქნა საექსპლუატაციო გამოცდების მეთოდი. ისეთი დამახასიათებელი პირობებისათვის, როგორცაა აღნიშნული (დ/გ) მანქანების საზღვაო პორტის პირობებში მუშაობა. ექსპერიმენტული კვლევით გათვალისწინებული საექსპლუატაციო გამოცდები შესრულდა ქ. ბათუმისა და ფოთის საზღვაო პორტების დ/გ სატრანსპორტო საშუალებებზე. მხედველობაში იქნა მიღებული კლიმატური პირობები, ნამუშევრისა და ტვირთამწეობის გამოყენების კოეფიციენტები, მოძრაობის მანძილი, შენახვის თავისებურებები და სხვა ფაქტორები. განსაკუთრებით უნდა აღინიშნოს ავტოღამტვირთავის კვანძებისა და მექანიზმების მუშაობის რეჟიმები და მათი გავლენა საიმედოობის მაჩვენებლებზე [1].

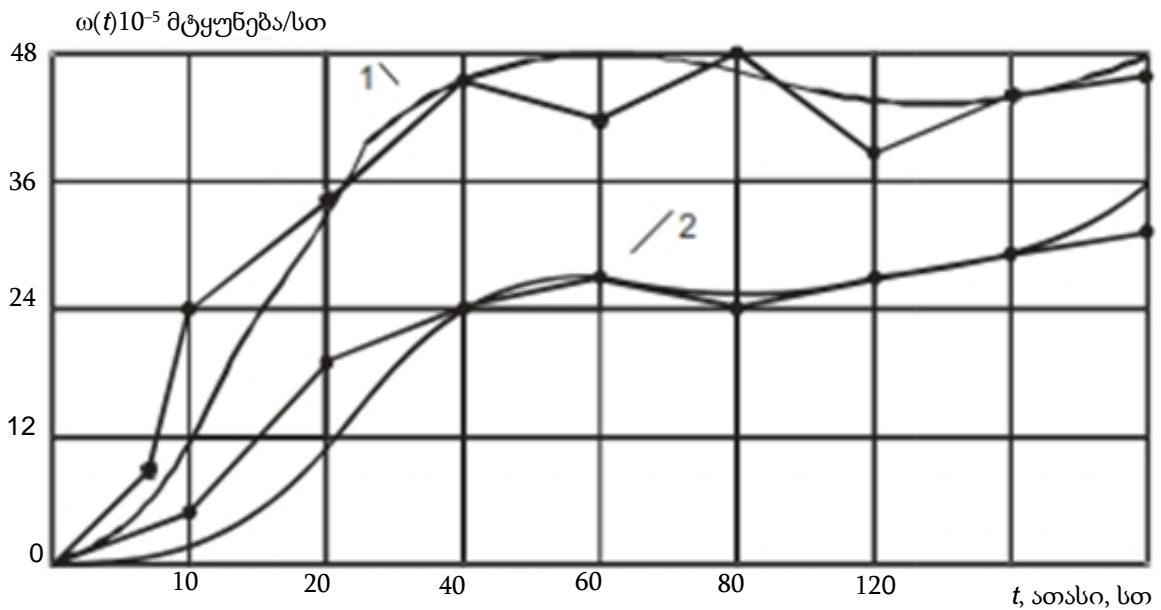
(დ/გ) მანქანების ტექნიკური მომსახურების პროფილაქტიკური ოპერაციები სრულდება „ექსპლუატაციის ინსტრუქციის“ შესაბამისად 5–10 ათასი სთ-ის პერიოდულობით, საექსპლუატაციო გამოცდების პერიოდში ყველა დასაკვირვებელ ავტოღამტვირთავზე (თითოეული მოდელის 30 ერთეული) ხდებოდა მტყუნებებისა და უწესიერობების, მათი აღმოფხვრის შრომატევადობის, გადაადგილების და მოცდენის აღრიცხვა, აგრეთვე სათადარიგო დეტალებისა და გამოყენებული მასალების ხარჯების განსაზღვრა. (დ/გ) მანქანების აგრეგატები და სისტემები მოიცავენ სხვადასხვა მექანიზმებსა და დეტალებს, რომლებსაც გარკვეული დანიშნულება და ფუნქციები აქვთ. დეტალების საერთო რაოდენობა კატალოგის მიხედვით რამოდენიმე ათასს შეადგენს [2,3]. მათში არ შედის ნორმალიზებული დეტალები, მაგრამ დეტალების რაოდენობა საიმედოობის დაბალი მაჩვენებლებით გაცილებით ნაკლებია დეტალების საერთო რაოდენობასთან შედარებით. ანალიზის გადავიღების მიზნით მტყუნებები დაჯგუფებული იქნა კვანძებისა და მექანიზმების მიხედვით, გამოვლენილი იქნა მათი შეცვლათა რაოდენობა, სათანადო შრომითი და მატერიალური ხარჯები. ცხრილში მოცემულია საკვლევი მანქანების მტყუნებათა განაწილების პროცენტული რაოდენობა მექანიზმებისა და სისტემების მიხედვით. თვითსაცდელი ავტოღამტვირთავის (ორივე მოდელის) ექსპლუატაციის დამახასიათებელი პირობებისათვის მტყუნებათა მნიშვნელოვანი წილი მოდის ტვირთის აწევის დაწევის მექანიზმზე.

**მტყუნებათა განაწილების პროცენტული რაოდენობა**

№	ავრეგატები და მექანიზმები	მტყუნებათა განაწილება%
1	ძრავა და მისი სისტემები	20,5
2	ტრანსმისია	12,2
3	სავალი ნაწილი	16,9
4	მართვის მექანიზმები	11,5
5	ელექტრომწეობილობა	17,2
6	ამწე მექანიზმი	15,7

სტატისტიკური მონაცემების შეგროვების დროს გამოვლენილი იქნა არა მარტო დეტალებისა და კვანძების მტყუნებები, არამედ მტყუნებები, რომლებიც გამოწვეული იყო აგრეგატებისა და სისტემების განრეგულირებით, (ფუნქციონალური სქემა), რაც იწვევდა მათ უწყესივრობებს. სარეგულირებელი პარამეტრების ცვლილება ამცირებს აგრეგატებისა და სისტემების მუშაობის ეფექტურობას. ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ასეთი სახის უწყესივრობები შეადგენს დაახლოებით 10–15%-ს თითოეული სისტემის კონსტრუქციული სპეციფიკიდან გამომდინარე.

მტყუნებების წარმოქმნის საშიშროების თავიდან აცილების მიზნით, საჭიროა სარეგულირებელი პარამეტრების დასაშვებ ზღვრებში შენარჩუნება, რაც სრულდება ტექნიკური მომსახურების დროს. უმტყუნებლობა ხასიათდება მისი ისეთი ძირითადი მაჩვენებლებით, როგორებიცაა: მტყუნების ნაკადის პარამეტრი –  $\omega(t)$ , მტყუნებათა შორისი ნამუშევარი  $t_{\Sigma}$  და უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა  $P(t)$ . მათი გამოვლენისათვის შესრულდა სტატისტიკური მონაცემების ანალიზი ავტოდამტვირთავის ძირითადი აგრეგატებისა და სისტემებისა. საკვლევი ობიექტების აგრეგატებისა და სისტემების უმტყუნებლობის მაჩვენებლების გამოვლენამ საშუალება მოგვცა დაგვედგინა მთლიანად ავტოდამტვირთავის მტყუნებათა ნაკადის პარამეტრიც (ნახაზი). დანარჩენი კვანძებისა და მექანიზმების მტყუნებათა გათვალისწინებით.



მტყუნებათა ნაკადის პარამეტრი

1-ავტოდამტვირთავი . ტრ/π "Бонкет" 0,93 მ<sup>3</sup> --S650; 2-ავტოკრანი «Аист» №СТ17--9866

ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე აგრეგატების, სისტემების, მექანიზმებისათვის და საიმედოობის მაღლიმიტირებელი დეტალებისათვის აგებული იქნა მათი უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის მრუდები. ეს საშუალებას იძლევა შედგეს საკვლევი ობიექტის საიმედოობის რუკა. იგი იძლევა თვალსაჩინო წარმოდგენას მათი მექანიზმებში განლაგების ადგილისა და მათი უმტყუნებლობის ცვლილების შესახებ. უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის მრუდები თითოეული დეტალისათვის გვაძლევს საშუალებას განისაზღვროს ალბათობის ინტერვალური მნიშვნელობა, ანუ მისი სიდიდე პროცენტის ნებისმიერი ინტერვალისათვის, რიცხობრივად შეფასდეს ამა თუ იმ მტყუნების შესაძლებლობა ექსპლუატაციის დაწყებიდან ნამუშევრის ნებისმიერი მომენტისათვის, გამოვლინდეს გამაპროცენტული რესურსი (საგარანტიო პერიოდის დადგენისათვის), განისაზღვროს მტყუნებათა შორისი ნამუშევარი, საშუალო რესურსი და ბოლოს, საიმედოობის რუკა გვაძლევს უმტყუნებლობის პროგნოზირების საშუალებას [4].

საკვლევი მტყუნებათა საერთო რაოდენობის განაწილებამ მათი აღმოფხვრის შრომატევადობის მიხედვით გვიჩვენა, რომ მათი მნიშვნელოვანი რაოდენობა 87% მოდის მცირე და საშუალო შრომატევადობის წილზე (2 კ/სთ-მდე და 4-5 კსთ-მდე) მაშინ როდესაც 13% მოდის მნიშვნელოვან შრომით და მატერიალურ ხარჯებზე (5კ სთ-ზე ზევით). მტყუნებათა ანალიზმა შესაძლებლობა მოგვცა დაგვედგინა, რომ მათი უმრავლესობა აღმოფხვრება საწარმოში (ბაზაში) განსაზღვრულ დროს.

დატვირთვა-გადმოტვირთის სამუშაო პროცესის შესრულების პირობიდან გამომდინარე, ტექნიკური მიზეზებით გამოწვეული მოცდენების და მანქანის მწარმოებელურობაზე მუშაობის პარამეტრების გავლენის გათვალისწინებით, დადგენილი იქნა, რომ იგი უშუალო კავშირშია მტყუნებებისა და უწყესივრობების აღმოფხვრის შრომით ხარჯებთან. ამ მონაცემების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ მოცდენის კომპენსაციის ხარჯები შრომითი ხარჯების 50–70% შეადგენს.

ამრიგად, მტყუნებათა ანალიზის მიხედვით შესაძლებელია მათი ჯგუფებად განაწილება ზემოთ ნახსენები დროის მიხედვით, რაც საშუალებას იძლევა შედგეს საკვლევი ობიექტის საიმედოობის რუკა. იგი იძლევა თვალსაჩინო წარმოდგენას მათი მექანიზმებში განლაგების ადგილისა და მათი უმტყუნებლობის ცვლილების შესახებ. რიცხობრივად შეფასდეს ამა თუ იმ მტყუნების შესაძლებლობა ექსპლუატაციის დაწყებიდან ნამუშევრის ნებისმიერი მომენტისათვის, გამოვლინდეს გამაპროცენტული რესურსი (საგარანტიო პერიოდის დადგენისათვის), განისაზღვროს მტყუნებათაშორისი ნამუშევარი, საშუალო რესურსი და ბოლოს, საიმედოობის რუკა გვაძლევს უმტყუნებლობის პროგნოზირების საშუალებას.

#### ლიტერატურა

1. ვ. ლეკიაშვილი. ავტომობილების საიმედოობის მართვის სრულყოფის მეთოდების დამუშავება. დისერტაცია ტექნიკის მეცნიერების დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად. თბილისი, 2003, გვ. 220.
2. ვ. ლეკიაშვილი. ავტომობილების ტექნიკური მომსახურების პრინციპების ფორმირება. /საქ. ტექ. უნივ. სამეცნიერო შრომები №4(415), თბილისი, 1997, გვ. 125-129.
3. Керимов Ф.Ю. Исследование некоторых методов управления надежностью автобусов в эксплуатации. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н., М., МАДИ, 1974, 215 с.
4. Керимов Ф.Ю. Исследование некоторых методов управления надежностью автобусов в эксплуатации. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н., М., МАДИ, 1974, 215 с.

#### SUMMARY

#### STUDY OF AUTO-LOADING MACHINES RELIABILITY

Tsetskhladze G.V.

Georgian Technical University

Improvement of transportation facilities taking part in loading and unloading (LU) processes and their operating process, reliability of LU transportation facilities operation is of great importance for study of auto-loading machines reliability. Based on failure analysis it becomes possible to distribute them in time, that makes it possible to compose the reliability map for object under study. It gives a clear indication on their location in mechanisms and on change in their failure-free. It is necessary to numerically assess the possibility of one or another failure from commencement of operation at any moment of operating, to reveal gamma-percentile life (resource) (for determination of warranty period), to identify operating time between failures, mean life and, finally, the reliability map gives an opportunity to forecast failure-free operation. The mentioned fact is based on assessment and analysis of LU process reliability index that is a mandatory condition for efficiency improvement.

**Keywords:** reliability, autoloading machine transportation, gamma-percentile life.



**CATALYTIC ACTIVITY OF NICKEL OXIDE ON THE VARIOUS SYNTHETIC AND NATURAL CARRIERS IN THE REACTION TEMPERATURE RANGE 500÷850°C**

**Kutelia E.R., Dossumov K.D., Gventsadze D.I., Yergaziyeva G.E., Dzigrashvili T.A., Mambetova M.M., Jalabadze N.V., Myltykbayeva L.K., Nadaraia L.V., Tsurtsunia O.O., Gventsadze L.D., Kukava T.G., Telbayeva M.M.**

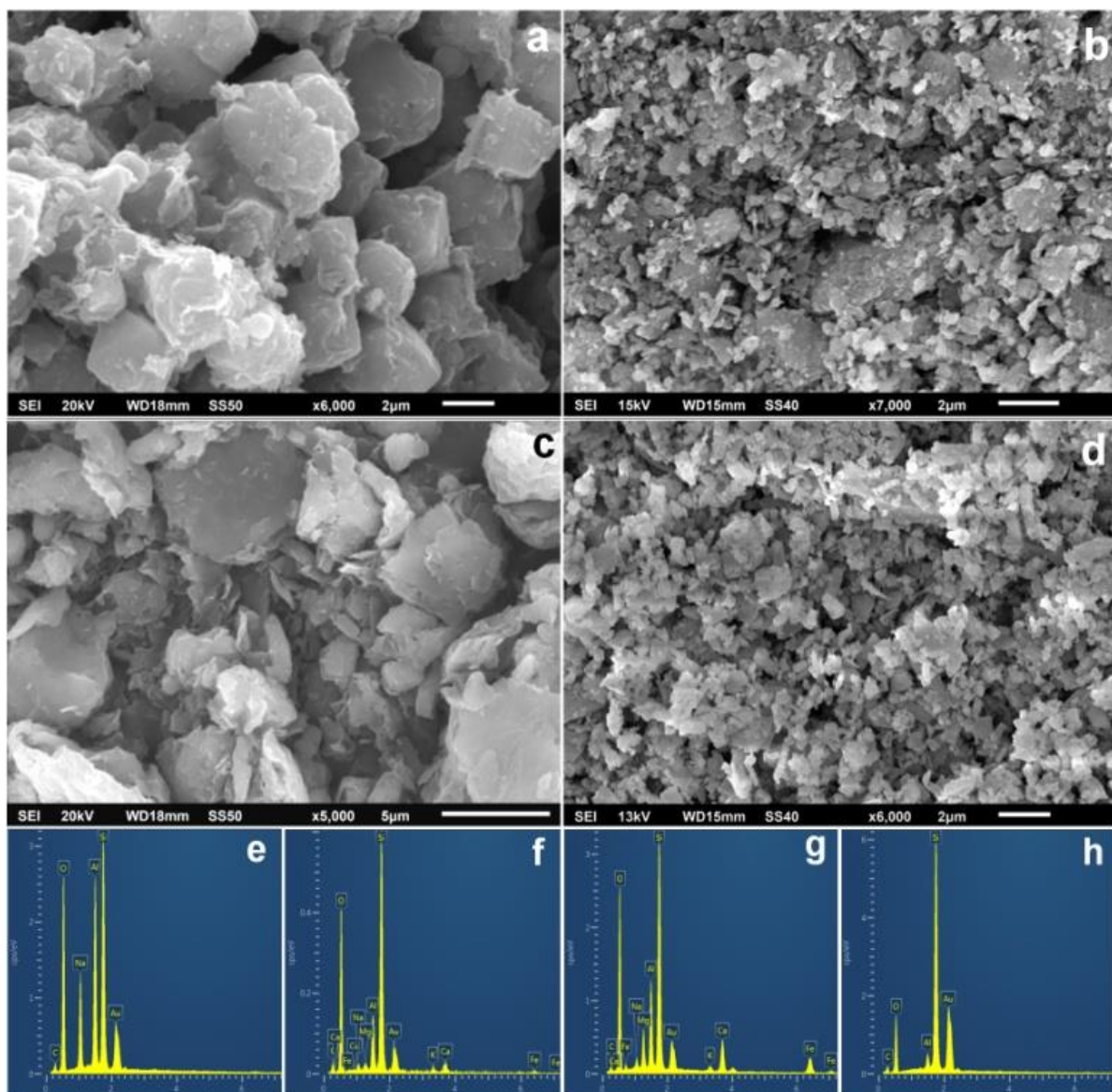
**Republic Center for Structure Researches, Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia  
Institute of Combustion Problems, Almaty, Kazakhstan**

**Abstract.** The present research deals with the comparative study of a catalytic activity of the monometallic nickel oxide catalyst synthesized via capillary impregnation in the granulated synthetic ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  and the commercial zeolite from Japan, as reference material) and three new trial natural (clinoptilolite, bentonite, and diatomite, all from Georgian deposits) carriers in the reaction temperature range (500÷850°C) of the carbon dioxide conversion of methane (CDCM). It is shown that at the equal optimal amount (3 wt%) of nickel oxide on the various carriers, the nature of the carriers significantly affects the catalytic activity in the CDCM reaction. Particularly, at the high reaction temperatures (>750°C), nickel oxide on a synthetic carrier of the alumina is more active than that on the natural carriers, while in the temperature range (500÷700°C) the investigated catalyst deposited on the natural carriers, is more active in comparison with the catalysts on the synthetic alumina and the reference zeolite carriers. At the reaction temperature 700°C, the highest methane conversion rate (68.4%) was detected for the catalyst 3wt%NiO synthesized on the granulated clinoptilolite.

**Keywords:** catalyst carrier, CDCM, NiO,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , clinoptilolite, bentonite, diatomite.

**Introduction.** The recent reviews of the last decade literature dealing with the catalyst development for the carbon dioxide reforming of methane and the heterogeneous catalyst for syngas production via dry reforming shows that the supported noble metals (Pt, Pd, Ru, Rh) as well as transition ones (Ni, Co, Fe, Cu) and their oxides as catalysts have been extensively studied [1-4]. A large number of studies have shown that noble metals have good catalytic performance and anti-carbon deposition at the dry reforming of methane (DRM). However, due to the lack of precious metals resources and high prices, more and more researchers have focused their attention on non-precious metals (Ni, Co, Fe) with the high catalytic performance and low cost [2-5]. From the viewpoint of catalytic activity, nickel is the only transition metal that is comparable to precious metals. Therefore, nowadays it is considered as one of the prospective basic materials for the production of catalytic systems (carrier + catalyst) for industrial applications in DRM reactions. Still, Ni (or NiO) based catalysts tend to deposit carbon, resulting in the loss of activity. Carbon („Coke“) deposition on the reforming Ni catalyst is expected due to the high operating temperatures which raise the molecular energy enough to cleave the C-H bond in methane. It is also important to take into account that performance of catalytic systems is not only a function of the active metal (metal oxide), but also of the nature of the support material, which may play a major role in keeping the capability of the catalyst and be resistant to carbon. The recent reviews [2-4] and the original papers [5-7] look ahead the major challenges and opportunities of Ni catalyst and Ni-based catalytic systems in DRM reaction research. It is obvious from the above literature that a positive interaction between active metal (Ni, or NiO) and support materials ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ , zeolites, and other ceramic oxides) play a crucial role in the enhancement of catalytic activity, reduction of coke (carbon) formation and active phase of crystallite sintering, especially, at high-temperature DRM. The materials, traditionally used as supports for Ni and NiO –based catalysts, are insulating oxides such as  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  and various types of zeolites also been tested. The excellent properties (well-defined structure, high surface areas, large thermal stability and high affinity for  $\text{CO}_2$ ) combined with a low potential for support-metal interaction and superior coking resistance make zeolites important catalyst supports in the  $\text{CO}_2$  reforming of  $\text{CH}_4$  [2, 5-7]. Despite the success, reported in tuning the catalytic system performance, there have always been cases of antagonistic relationship between activity, stability, and coking resistance [4]. In particular, in the case of Ni/NiO catalyst on the  $\text{Al}_2\text{O}_3$  carrier a poor catalytic activity was ascribed to the very strong NiO-alumina interaction (especially at high temperatures ( $\geq 750^\circ\text{C}$ ) of reaction) and they tend to the formation of damaging phase  $\text{NiAl}_2\text{O}_4$  spinel, leading, in addition to carbon deposition, to difficulties in reduction this catalyst [1]. On the other hand, it is well-known that the crystalline aluminosilicates, called zeolites, may potentially be used as carriers as well as catalysts [8]. Since the zeolites are very

different from each other by the ratio  $R=Si/Al$ , concrete zeolites with the concrete cations may be used for selective adsorption and reaction, and thus, control some aspects of heterogeneous catalysis. Consequently, from the point of view of the design of the effective Ni-based catalytic systems, zeolites are highly potent group of materials to consider, and it is evident that zeolites with a higher Si/Al ratio, which are more basic, give better conversion. Hereafter, substitution of zeolite in the catalytic system NiO/zeolite with the carrier having lower acidity may strongly reduce the obtained system's tendency to carbonization. From this point of view, using diatomite as a carrier for the Ni (NiO) catalyst, for which the ratio Si/Al is 4÷10 times greater than that for the other types of natural and synthetic zeolites, deserves attention [9]. Starting from the above, it is evident that the solution of the problem of proper selection of the support materials from the inexpensive natural materials for the construction of Ni/NiO-based new catalytic systems, desirable to operate at lower reaction temperatures, is of considerable scientific and practical interest. Thus, the aim of the proposed work is to study the influence of different synthetic (as reference) and natural (trial materials from Georgian deposits) support materials on the catalytic activity of nickel oxide in the reaction temperature range 500÷850°C.



**Fig.1. SEM image and the respective typical EDX spectra of the free-poured powders of the synthetic NaX commercial zeolite from Japan (a, e), clinoptilolite from Dzegvi deposit, Georgia (b, f), bentonite from Askana deposit, Georgia (c, g), and diatomite from Kusatibi deposit, Georgia (d, h) produced by milling in vibratory mill for 40min.**

**Materials and Experimental Procedure.** According to the aim of this research, for the preparation of various granulated carriers for NiO catalyst, different natural raw materials were selected, such as clinoptilolite, bentonite, and diatomite, all from Georgian deposits. Preparation of granulated catalyst support specimens from the above selected trial natural materials as catalyst carriers, were conducted in accordance with the following technology route: milling of the as-received crumbs (2÷4 cm) of the initial materials in vibratory or rotary mills→ characterization of the milled product powder using SEM-EDX analysis→granulation of the obtained powder using a mini-mold forming or extruder + annealing during granulation and sintering simultaneous processes. The experimentally determined sintering temperatures (520°C/1h in the case of clinoptilolite and bentonite, and 600°C/1h in the case of diatomite) provide sufficient mechanical strength of the obtained granules. In order to conduct a comparative study of catalytic systems prepared on the basis of natural and synthetic support materials for NiO catalyst, granules of the synthetic  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> were chosen which serves as a standard carrier for various catalysts, and the synthetic NaX-type zeolite's commercial granules as a model catalyst support material of the same type as the above natural trial support materials from Georgian deposits. The fractional composition, morphology, sizes and chemical constitution of the particles of the milled products and the reference powders were studied by SEM (JSM 6510 LV, JEOL, Japan) with the EDX analyzer.

Fig.1 shows the SEM images (a-d) and the respective EDX spectra (e-h) of the free-poured powders of the commercial as-received synthetic NaX zeolite from Japan (a, e) and the powders of clinoptilolite (Dzegvi deposit, Georgia) (b-f), bentonite from Askana deposit, Georgia (c, g), and diatomite from Kisatibi deposit, Georgia (d, h) produced by milling in vibratory mill for 40 min. The images confirm the monodispersity of the synthetic zeolite with the sizes of the particles ~2÷3  $\mu$ m while the particles of the milled powders of clinoptilolite and diatomite prepared in the same way have the equal dispersity spread in the range of 0.1÷2  $\mu$ m. The bentonite powder is polydisperse as well with the wider spread of sizes 0.2÷5  $\mu$ m, caused by agglomeration of submicron particles in the process of milling, peculiar to more plastic bentonite. For the investigated powders the R=Si/Al ratios were derived from the corresponding EDX peaks of the respective elements (Fig.1.e-h).

The carrier samples used in this work are listed in Table 1, showing marking, characteristics and values of Si/Al ratio, averaged out over large number of particles. Catalysts 3 wt % NiO / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-G, 3 wt% NiO / 20-1R-G, 3 wt% NiO / 20-2B + G, 3 wt% NiO / 20-1A + G, 3 wt% NiO / 21-1D + G were prepared by capillary impregnation of carriers (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-G, 20-1R-G, 20-2B + G, 20-1A + G, 21-1D + G) by moisture capacity with an aqueous solution of nickel nitrate Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O (Technical standard 4055-70). The synthesized catalysts were dried at 300 °C for 2 hours and then calcined at 500 °C for three hours.

#### Marking, characteristics and Si/Al ratio of the synthetic (reference) and natural (trial) carriers for the NiO catalyst

N	Marking of the sample *	Characteristics of the carriers	Ratio Si/Al R
1	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -G	Synthetic aluminum oxide gamma modification, commercial standard granules, spherical Ø3.5mm	-
2	20-1R-G	Synthetic NaX zeolite commercial granules (Japan), cylindrical, Ø4mm, length 5mm	1.25<R<1.35
3	20-2B+G	Granulated bentonite clay (Askana deposit, Georgia) annealed at 520°C/1h during granulation via extrusion, cylindrical, Ø2.5mm, length 3mm	2.3<R<3.5
4	20-1A+G	Granulated clinoptilolite (Dzegvi deposit, Georgia) annealed at 520°C/1h during granulation via mini-molding, cylindrical, Ø2.7mm, length 2.7mm	4.3<R<5
5	21-1D+G	Granulated diatomite (Kisatibi deposit, Georgia) annealed at 600°C/1h during granulation via mini-molding, cylindrical, Ø2.7mm, length 2.7mm	20<R<28

\* - Description of marking of the samples: 20, 21 – years of the preparation, 1, 2 – serial numbers of the batches of the initial milled powders, R – reference sample, A – clinoptilolite, B – bentonite, D – diatomite, + - annealing during granulation (at 520°C/1h in the case of clinoptilolite and bentonite; 600°C/1h in the case of diatomite), G – granulated.

The essence of the method of capillary impregnation of carriers in terms of moisture capacity lies in the fact that the carrier is impregnated according to its moisture capacity with solutions of metal salts and the active phase is concentrated on the surface in the form of a „crust“ [10].

The activity of the synthesized catalysts in the carbon dioxide conversion of methane was tested on the automated laboratory flow-through unit PKU-1 (FCI-1 LLC „Modern laboratory equipment“ Novosibirsk, Russia) (Fig. 2). The catalysts (volume 2 ml) were loaded into a vertical quartz glass reactor (length 25 cm, inner diameter 9-9.5 mm) and prior to reaction test, the catalyst was reduced with an H<sub>2</sub>/Ar mixture for 3 hours at a temperature of 500 °C (heating rate 10 °C/min).

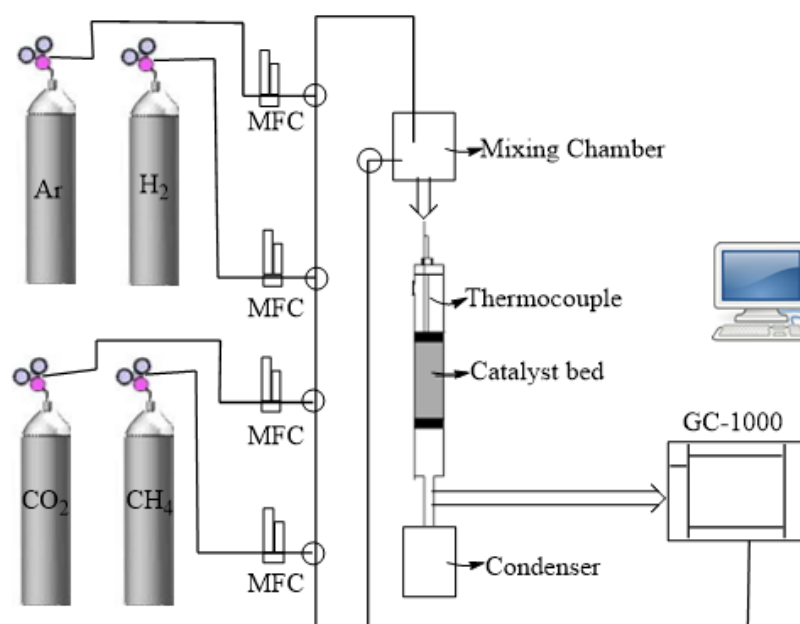


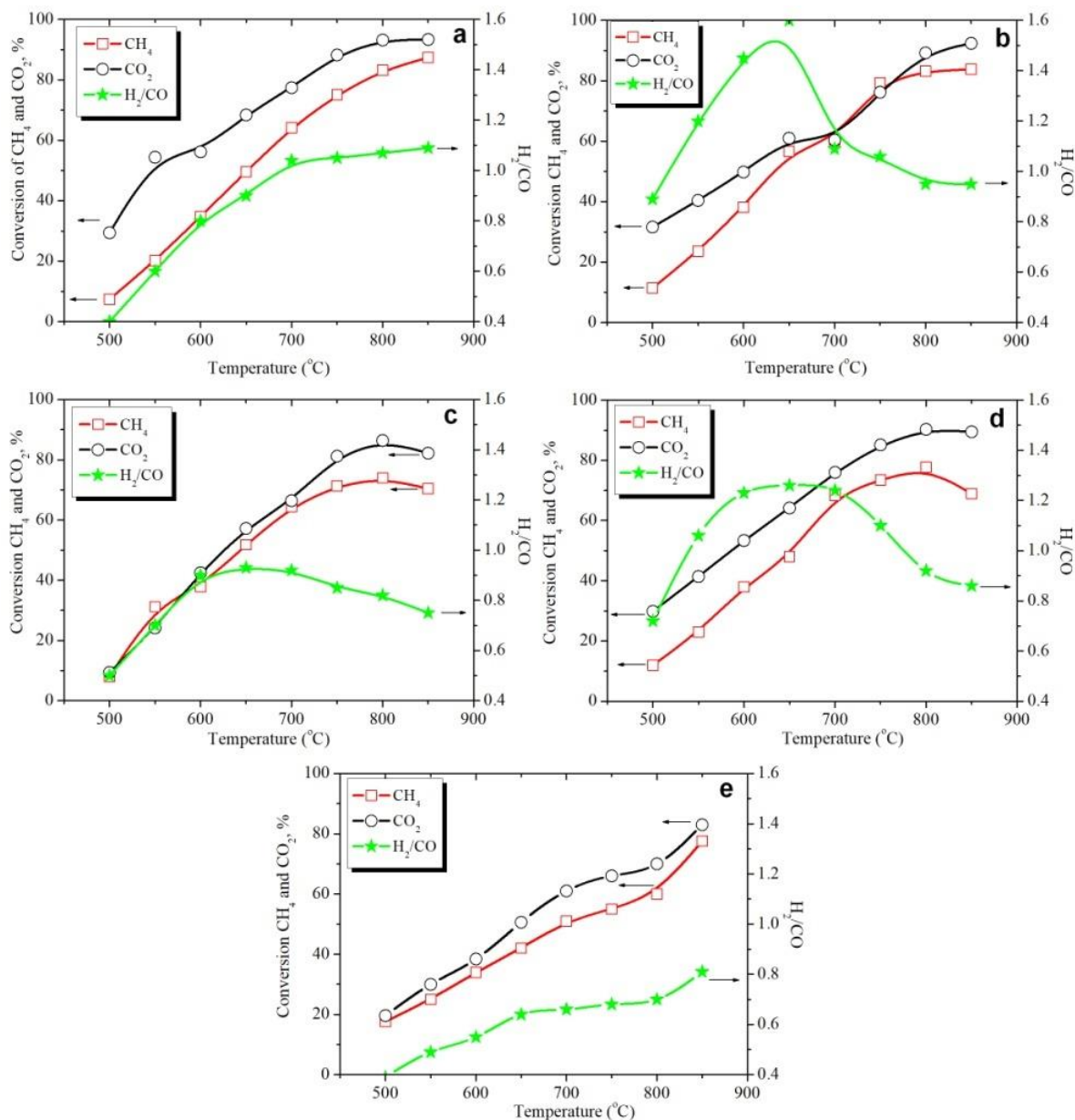
Fig. 2 - Scheme of the automated flow-through installation

The flow rate was 20 ml/min, the ratio H<sub>2</sub>: Ar = 1:5, the purity of hydrogen was 99.99% and Ar > 99.992%; after reduction, the samples were blown through in the argon flow. A gas mixture of reagents, consisting equal parts of CO<sub>2</sub> (purity 99.99%) and CH<sub>4</sub> (purity 99.95%), was fed into the reactor, the rate of the reaction mixture was 50 ml/min. The activity of the catalysts was studied in the temperature range 500-850°C, at atmospheric pressure. The CDCM performance was characterized using CO<sub>2</sub> conversion, CH<sub>4</sub> conversion, and H<sub>2</sub>/CO ratio defined as follows:

$$X_{CH_4} = \frac{[CH_4]_{in} - [CH_4]_{out}}{[CH_4]_{out}}, \quad X_{CO_2} = \frac{[CO_2]_{in} - [CO_2]_{out}}{[CO_2]_{out}}, \quad \frac{H_2}{CO} = \frac{[H_2]_{out}}{[CO]_{out}}$$

The analysis of the reaction products of the methane carbon dioxide conversion was carried out by gas chromatograph: Chromos GC-1000 (Russia). To analyze the reaction products, three packed columns (length 2 m, inner diameter 3 mm) were used: a column with a NaX sorbent for the determination of hydrogen and oxygen, a column with CaA for the determination of carbon oxides, and a column with Porapak T-methane and other alkanes and alkenes.

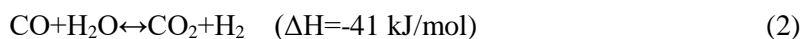
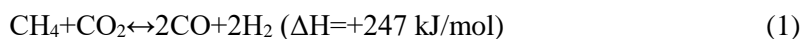
**Results and Discussion.** It is known that supported nickel catalysts are most active in the methane carbon dioxide conversion [11]. The textural and physical-chemical properties of carriers play an important role in maintaining the dispersion of nickel catalysts and their resistance to carbon [12, 13]. In this work, comparative studies of the activity of nickel catalysts supported on various carriers are carried out. As carriers we chose alumina, which is widely used as a carrier for nickel catalysts [14, 15], as well as natural carriers of the Georgian field, such as diatomite, bentonite, and clinoptilolite, which have not been used previously as a catalyst support for carbon dioxide conversion of methane.



**Fig. 3. The effect of reaction temperature on the activity of 3mas% nickel oxide catalyst supported on the granules of the synthetic (as reference) and natural (trial) carriers: a) Synthetic  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (sample # Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-G), b) Synthetic NaX zeolite (sample #20-1R-G, commercial, Japan), c) Bentonite (sample #20-2B+G, Askana deposit, Georgia), d) Clinoptilolite (sample #20-1A+G, Dzegvi deposit, Georgia), e) Diatomite (sample # 21-1D+G, Kusatibi deposit, Georgia).**

Important indicators of the effective operation of catalysts in the carbon dioxide conversion of methane are the CH<sub>4</sub> conversion and the H<sub>2</sub>/CO ratio [11]. The influence of the nature of the carriers and the reaction temperature on the efficiency of catalysts in the carbon dioxide conversion of methane are shown in Figure 3.

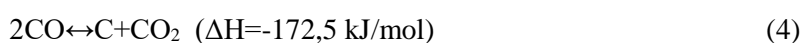
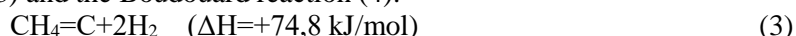
Considering the data obtained, it should be noted that for catalysts 3 wt% NiO/20-2B+G, 3 wt% NiO/21-1D+G in the temperature range 500-850°C, and for 3 wt.% NiO / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-G in the range 500-670°C a low H<sub>2</sub>/CO ratio is observed, which is associated with a higher conversion of CO<sub>2</sub> compared to CH<sub>4</sub> (Fig. 3, a, c, e). However, on the catalysts 3 wt.% NiO/20-1R-G, and 3 wt.% NiO/20-1A+G (Fig. 3, b, d), an increase in H<sub>2</sub>/CO above unity is observed, although the conversion of CO<sub>2</sub> is higher than the conversion of methane. Possibly, under these conditions, reaction (2) occurs simultaneously with the main reaction (1) - the interaction of carbon monoxide with water vapor [16].



The course of reaction (2) leads to a change in equilibrium (1), the  $\text{H}_2/\text{CO}$  ratio turns out to be greater than unity, and the  $\text{CO}_2$  conversion is greater than the  $\text{CH}_4$  conversion.

It is known [15] that the activation of methane is a rate-determining stage in the carbon dioxide conversion of methane; the conversion of  $\text{CH}_4$  can be equated to catalytic activity. Figures 3 b, c, e show that with an increase in temperature above  $800^\circ\text{C}$ , the activity of the catalysts is 3 wt%  $\text{NiO}/\mathbf{20-1R-G}$ , 3 wt%  $\text{NiO}/\mathbf{20-1A+G}$  and 3 wt%  $\text{NiO}/\mathbf{20-2B+G}$  decreases, conversions of methane and carbon dioxide decrease. The loss of activity of catalysts at high temperatures is possibly due to their coking [16] or reoxidation of Ni to  $\text{NiO}$ .

There are two possible ways of coke formation in the carbon dioxide conversion of methane: the methane cracking reaction (3) and the Boudouard reaction (4):



In our case, coke can be formed due to the occurrence of reaction (3), since the reaction temperature is high at  $850^\circ\text{C}$ . It is known [16] that reaction (3) is carried out mainly at high temperatures, reaction (4) at low temperatures. In the temperature range  $500-850^\circ\text{C}$ , the catalysts 3 wt%  $\text{NiO}/\mathbf{Al}_2\mathbf{O}_3\text{-G}$  and 3 wt%  $\text{NiO}/\mathbf{21-1D+G}$  do not lose their activity. It should be noted that at a reaction temperature of  $500^\circ\text{C}$ , nickel oxide, deposited on natural diatomite 3 wt%  $\text{NiO}/\mathbf{21-1D+G}$ , has a higher activity compared to other catalysts, the methane conversion is 17.6%. The 3 wt%  $\text{NiO}/\mathbf{21-1D+G}$  catalyst does not lose activity even at high temperatures.

Equilibrium conversion of methane and carbon dioxide is observed on 3 wt%  $\text{NiO}/\mathbf{20-1R-G}$  catalyst at temperatures of  $700, 750^\circ\text{C}$ . According to the literature [16], in the carbon dioxide conversion of methane at  $700-800^\circ\text{C}$  on many nickel catalysts, equilibrium conversion of methane and carbon dioxide into synthesis gas is achieved (1). However, on nickel oxide, deposited on natural carriers of diatomite and bentonite, equilibrium conversion is observed at relatively low temperatures of  $500-700^\circ\text{C}$  (Fig. 3, c, e). On a catalyst of 3 wt%  $\text{NiO}/\mathbf{20-2B+G}$  at  $550^\circ\text{C}$ , the methane conversion (31.2%) is higher compared to other catalysts.

Comparison of the activity of the catalysts at a temperature of  $700^\circ\text{C}$  showed that the catalysts can be arranged in the following sequence: 3wt%  $\text{NiO}/\mathbf{20-1A+G}$  ( $X_{\text{CH}_4}=68,4\%$ ) > 3wt%  $\text{NiO}/\mathbf{20-2B+G}$  ( $X_{\text{CH}_4}=64,4\%$ ) > 3wt%  $\text{NiO}/\mathbf{Al}_2\mathbf{O}_3\text{-G}$  ( $X_{\text{CH}_4}=64,2\%$ ) > 3wt%  $\text{NiO}/\mathbf{20-1R-G}$  ( $X_{\text{CH}_4}=60,4\%$ ) > 3 wt%  $\text{NiO}/\mathbf{21-1D+G}$  ( $X_{\text{CH}_4}=51,0\%$ ). It follows from the studies carried out, that natural carriers of diatomite, bentonite and clinoptilolite can be used as carriers for nickel catalysts for carbon dioxide conversion of methane, which will be active at lower temperatures. Further studies will be aimed at increasing the activity of catalysts at relatively low temperatures ( $550-700^\circ\text{C}$ ) by modifying the addition of oxides of cobalt, iron, etc.

**Conclusions.** The catalytic activity of the monometallic nickel oxide catalyst, synthesized via capillary impregnation in the granulated synthetic ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  and the commercial zeolite from Japan, as reference material) and three new trial natural (clinoptilolite, bentonite, and diatomite, all from Georgian deposits) carriers in the reaction temperature range  $500-850^\circ\text{C}$  of the carbon dioxide conversion of methane was studied. It is shown that at the equal optimal amount (3 wt%) of nickel oxide on the various carriers, the nature of the carriers significantly affects the catalytic activity in the CDCM reaction. Particularly, at the high reaction temperatures ( $>750^\circ\text{C}$ ), nickel oxide supported on a synthetic carrier of the alumina is more active than the catalyst on the natural carriers. Methane conversion rate, using the 3wt%  $\text{NiO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  catalyst at  $850^\circ\text{C}$ , is equal to 87.4%, and the carbon dioxide conversion rate amounts to 93.4%. On the other hand, in the temperature range  $500-700^\circ\text{C}$  the investigated catalysts on the natural carriers are more active in comparison with the catalysts on the synthetic alumina and the reference zeolite carriers. At the reaction temperature  $700^\circ\text{C}$ , the highest methane conversion rate (68.4%) was detected for the catalyst 3wt%  $\text{NiO}$  synthesized on the granulated clinoptilolite.

*Acknowledgements.* This work was undertaken with the financial assistance of the International Science and Technology Center, Project No. 2606.

## REFERENCES

1. Aramouni N. A. K., Touma J. G., Tarboush B. A., Zeaiter J. (2018) Catalyst design for dry reforming of methane: Analysis review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82:2570-2585. [www.elsevier.com/locate/rser](http://www.elsevier.com/locate/rser)
2. Zhang G., Liu J., Xu Y., Sun Y. (2018) A review of CH<sub>4</sub> – CO<sub>2</sub> reforming to synthesis gas over Ni-based catalysts in recent years (2010-2017). // *International Journal of Hydrogen Energy*, 43:15030-15054. [www.elsevier.com/locate/he](http://www.elsevier.com/locate/he)
3. Aziz M.A.A., Setiabudi H.D., Teh L.P., Annuar N.H.R., Jalil A.A. A review of heterogeneous catalysts for syngas production via dry reforming. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineering*, 2019, 101:139-158. [www.elsevier.com/locate/jtice](http://www.elsevier.com/locate/jtice)
4. Abdulrasheed A., Jalil A.A., Gambo Y., Ibrahim M. A review of catalyst development for dry reforming of methane to syngas: Recent advances. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, 108:175-193. [www.elsevier.com/locate/rser](http://www.elsevier.com/locate/rser)
5. Fakeeha A.H., Khan W.U., Al-Fatesh A.S., Abasaed A.E. Stabilities of zeolite-supported Ni catalysts for dry reforming of methane. // *Chinese Journal of Catalysis*, 2013, 32:764-768. [www.elsevier.com/locate/chnjc](http://www.elsevier.com/locate/chnjc)
6. Das S., Thakur Sh., Bag A., Gupta M.S., Mondal P. Support interaction of Ni nanoclusters based catalysts applied in CO<sub>2</sub> reforming. *Journal of Catalysis*, 2015, 330:46-60. [www.elsevier.com/locate/jcat](http://www.elsevier.com/locate/jcat)
7. Frontera P., Macario A., Aloise A., Antonucci P.L., Giordano G., Nagy G.B. Effect of support surface on methane dry-reforming catalyst. *Catalysis Today*, 2013, 218-219:18-29. [www.elsevier.com/locate/cattod](http://www.elsevier.com/locate/cattod)
8. Tempere J.-F. Tempere, D. Delafosse and J. P. Contour An X-ray photoelectron spectroscopy study on zeolites. *Chemical Physics letters*, 1975, 33:95-100.
9. Bakun V.G., Sobchinski A.I., Sevostyanov A.P. Diatomites as a components of hydrocarbon synthesis catalysts. *Izvestiya Vuzov. Severo-kavkazski Region*, 2008, 4:129-131. ISSN 0321-2653.
10. Dossumov K., Ergazieva G.E., Ermagambet B.T., Telbayeva M.M., Mambetova M.M., Myltykbayeva L.K., Kassenova Z.M. Role of ceria in several energy-related catalytic transformations. *Chemical Papers*, 2020, 74:373-388. <https://doi.org/10.1007/s11696-019-00921-8>
11. Horlyck J., Lawrey C., Lovell E. C., Amal R., Scott J. Elucidating the impact of Ni and Co loading on the selectivity of bimetallic NiCo catalysts for dry reforming of methane. // *Chem. Eng. J.*, 2018, 352:572-580. DOI: [10.1016/j.cej.2018.07.009](https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.07.009)
12. Dossumov K., Yergazyeva Y.G., Myltykbayeva L.K., Telbayeva M.M. Dry reforming of methane on carriers and oxide catalysts to synthesis-gas. // *Eurasian Chemico-Technological Journal*, 2018, 20:131-136. DOI: 10.18321/ectj691.
13. Yusun Turaplwei, Wang Tiantian Fu, Yongming Wu, Yidi Wang, Wei Wang. Co-Ni alloy supported on CeO<sub>2</sub> as a bimetallic catalyst for dry reforming of methane. // *International Journal of Hydrogen Energy*, 2020, 45:6538-6548. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.12.223>
14. Soloviev S.O., Kapran A. Yu., Orlyk S.N., Gubareni E.V. Carbon dioxide reforming of methane on monolithic Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-based catalysts. // *Journal of Natural Gas Chemistry*, 2011, 20:184-190. [https://doi.org/10.1016/S1003-9953\(10\)60149-1](https://doi.org/10.1016/S1003-9953(10)60149-1)
15. Won-Jun Jang, Jae-Oh Shim, Hak-Min Kim, Seong-Yeun Yoo, Hyun-Seog Roh. A review on dry reforming of methane in aspect of catalytic properties. *Catalysis Today*, 2019, 324:15-26. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2018.07.032>
16. Krylov O.V. (2000) Carbon-dioxide conversion of methane into synthesis gas. *Rossiiskij Khimicheskij Zhurnal*, 44: 19 – 3. ISSN 03730247.

## РЕЗЮМЕ

## КАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ОКСИДА НИКЕЛЯ НАНЕСЕННОГО НА РАЗЛИЧНЫЕ СИНТЕТИЧЕСКИЕ И ПРИРОДНЫЕ НОСИТЕЛИ В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР 500÷850°C

Кутелия Э.Р., Досумов К.Д., Гвенцадзе Д.И., Ергазиева Г.Е., Дзиграшвили Т.А., Мамбетова М.М., Джалабадзе Н.В., Мылтыкбаева Л.К., Надараиа Л.В., Цурцумиа О.О., Гвенцадзе Л.Д., Кукава Т.Г., Тельбаева М.М.

Грузинский Технический Университет  
Институт Проблем Горения, Алматы, Казахстан

Проведён сравнительный анализ каталитической активности монооксида никеля в реакции конверсии метана диоксидом углерода в интервале температур 500÷850°C. Методом капиллярной пропитки синтезированы каталитические системы нанесением NiO на следующих гранулированных носителях: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и цеолит (синтетические), клиноптилолит, бентонит и диатомит (природные из месторождения Грузии). Выявлено, что при нанесении равного оптимального количества (3 вес%) NiO на этих носителях, природа носителя значительно влияет на их каталитическую активность в процессе CDCM реакции. В частности, при высоких температурах реакции (>750°C), NiO нанесённый на синтетическом носителе Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, более активный, чем нанесённый на природном носителе. Тогда как в интервале температур 500÷700°C тот же катализатор более активен на природных носителях.

**Ключевые слова:** носитель катализатора, CDCM, NiO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, клиноптилолит, бентонит, диатомит.

ხელით ელექტრორკალური შედუღების ახალი დანაფარის სიმბოციისა და თხევადი წილის სიბლანტის კვლევა

საბაშვილი ზ.გ., სულამანიძე ა.კ., ნიკოლაგა ო.ი., ვატიტაძე გ.ზ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

**შესავალი**

მრეწველობის ისეთ დარგებში, როგორცაა: მანქანათმშენებლობა, საავიაციო, გემთმშენებლობა, ბინათმშენებლობა, ნავთობგაზსადენის მშენებლობა და სხვა, ფართო ადგილი უჭირავს ლითონების საშემდუღებლო წარმოებას. საქართველოში იმპორტირებული ხელით ელექტრორკალური შედუღების ელექტროდების მაღალმა ფასმა შექმნა საჭიროება, რომ ადგილობრივი ნედლეულის გამოყენებით შემუშავდეს ხელით ელექტრორკალური შედუღების ელექტროდები. ამ მიზნით, საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში მიმდინარეობდა კვლევითი სამუშაოები ელექტროდის დანაფარის შესაქმნელად, რომლის შედეგად შემუშავდა რუტილიანი ელექტროდის ახალი დანაფარი [1-4].

ხარისხიანი საელექტროდო დანაფარის მიღებისათვის, მნიშვნელოვანია გამოკვლეული იქნას ისეთი მნიშვნელოვანი მახასიათებლები, როგორცაა დანაფარის გამდნარი წილის სიბლანტე და დანაფარის მექანიკური სიმტკიცე.

**ძირითადი ნაწილი**

ელექტროდით სხვადასხვა სივრცით მდგომარეობაში შედუღების შესაძლებლობა დამოკიდებულია გამდნარი წილის სიბლანტეზე. ელექტროდები, რომელთა დანაფარები დნობისას იძლევა ე.წ. „გრძელ“ წილებს, გამოიყენება შედუღებისათვის ქვედა მდგომარეობაში. ვერტიკალურ და ჰერულ მდგომარეობაში გამოიყენება ელექტროდები, რომელთა დანაფარები იძლევა „მოკლე“ წილებს. მათთვის დამახასიათებელია ტემპერატურის მცირე შემცირებისას სიბლანტის მყისიერი ზრდა, რაც ხელს უშლის გამდნარი ლითონის ინტენსიურ ჩამოღვენთვის. რუტილის ელექტროდები ხასიათდება დნობისას „მოკლე“ წილის წარმოქმნით.

დანაფარის მინერალოგიური შემადგენლობა მნიშვნელოვნად ზემოქმედებს სიბლანტეზე. არსებულ ანალოგებთან შედარებით, ახალ საელექტროდო დანაფარში მანგანუმისა და რკინის ჟანგეულების მომატებული შემცველობა, აგრეთვე კალიუმისა და ნატრიუმის ჟანგეულების არსებობა დადებით ზემოქმედებას ახდენს გამდნარი წილის სიბლანტეზე [5-7] და განსაზღვრავს სიბლანტის ცვლილებას ტემპერატურათა მცირე ინტერვალში. კერძოდ, ტემპერატურის შემცირებისას სიბლანტე სწრაფად იზრდება. სიბლანტე, ტემპერატურათა შემცირების ინტერვალში 1600–1400 °C იზრდება საშუალოდ 0,17 პა·წმ-დან 1,2 პა·წმ-მდე.

ცხრ. 1-ში მოყვანილია შემუშავებული ახალი დანაფარის ქიმიური შემადგენლობა. უნდა აღვნიშნოთ, რომ ჩვენს მიერ შემუშავებული დანაფარი შეიცავს ტიტანის ოქსიდს 55 %-ის რაოდენობით, შემკვრელად კი გამოყენებული გვაქვს ნატრიუმიანი თხევადი მინა (Na<sub>2</sub>O·SiO<sub>2</sub>). ის, რომ წილის სიბლანტე აკმაყოფილებს მისდამი წაყენებულ მოთხოვნას, კარგად გამოვლინდა ვერტიკალური შედუღების შესრულებისას

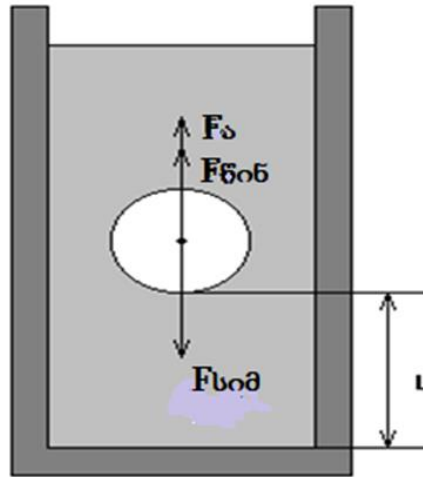
ცხრილი 1. ახალი დანაფარის ქიმიური შემადგენლობა %-ში

TiO <sub>2</sub>	VO <sub>2</sub>	MnO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO	CaO	NbO	Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO	K <sub>2</sub> O
55	0,585	6,5	8,0	0,11	8,0	0,009	0,015	0,005	7,4
CdO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NiO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SiO <sub>2</sub>	-	-	-	-
0,011	0,022	0,008	7,8	1,5	5,035	-	-	-	-

სიბლანტის ექსპერიმენტული გაზომვისათვის გამოვიყენეთ სტოქსის მეთოდი, რომელიც მდგომარეობს მცირე ზომის სხეულების სითხეში ვარდნის საშუალო სიჩქარის გაზომვაში. გრაფიტისაგან დამზადებულ ტიგელში, რომლის შიდა დიამეტ-



რირი იყო 20 მმ, ხოლო სიღრმე 70 მმ. ვათავსებდით გარკვეული რაოდენობის (50 გ) დანაფარის კაზმს და ვადნობდით ინდუქციურ ღუმელში (ნახ. 1). მიღებულ თხევად გარემოში ვაგდებდით ტიტანისაგან დამზადებულ გარკვეული მოცულობის სფეროს ფორმის სხეულებს. მათზე მექანიკური გადაბმით ვამაგრებდით ვოლფრამის უწონად მავთულს. მავთულის სიგრძის მიხედვით განისაზღვრებოდა ჩაძირვის სიღრმე. წამზომის საშუალებით ვზომავდით ვარდნის დროს და ვიცოდით რა სიღრმე, ვანგარიშობდით ვარდნის სიჩქარეს. გამდნარი წიდის სიბლანტის დნობის ტემპერატურამ შეადგინა დაახლოებით 1220–1226 °C. გაზომვები ვაწარმოეთ 1350–1600 °C-მდე ტემპერატურათა ინტერვალში.



ნახ. 1. გამდნარი წიდის კვლევის სტოქსის მეთოდი

გამოთვლის მეთოდი ეფუძნება სხეულზე მოქმედი ძალებისათვის ნიუტონის II კანონის გამოყენებას. სითხეში სხეულზე მოქმედებს სიმძიმის, არქიმედეს და სითხის წინააღმდეგობის ძალები. რომლებიც გამოიანგარიშება შემდეგი ფორმულების საშუალებით:

$$F_{წონ} = \rho_{სხ} g V_{სხ}$$

$$F_s = \rho_{სით} g V_{სხ}$$

$$F_{წინ} = 6\pi R \eta v$$

სადაც  $\eta$  - სიბლანტეა, ხოლო  $v$  - ვარდნის საშუალო სიჩქარეა. სიბლანტე იანგარიშება (1) ტოლობიდან:

$$6\pi R \eta v = \rho_{სხ} g V_{სხ} + \rho_{სით} g V_{სხ} \tag{1}$$

$$\eta = \frac{g V_{სხ} (\rho_{სხ} - \rho_{სით})}{6\pi R v} \tag{2}$$

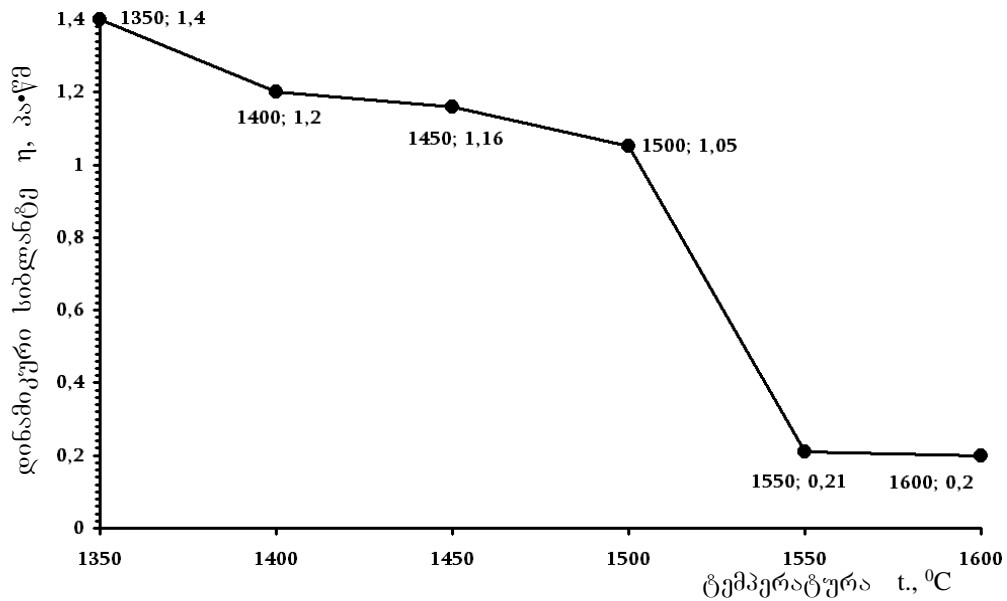
ექსპერიმენტისა და გათვლების შედეგები მოყვანილია ცხრ. 2-ში

ცხრილი 2. თხევადი წიდის სიბლანტე

$\rho_{სხ}$ კგ/მ <sup>3</sup>	$\rho_{სით}$ კგ/მ <sup>3</sup>	R, მ	$v$ , მ/წმ	t °C	$\eta$ , პა·წმ
4505	2520	$3 \cdot 10^{-3}$	0,29	1350	1,4
			0,35	1400	1,2
			0,36	1450	1,16
			0,4	1500	1,05
			1,97	1550	0,21
			2,0	1600	0,2

სიბლანტის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება გამოსახულია ნახ. 2-ზე. ჩვენს შემთხვევაშიც სიბლანტე, ანალოგიურად რუტილის დანაფარიანი ელექტროდებისა ნახტომისებურად იზრდება 1550-1450 °C ინტერვალში.

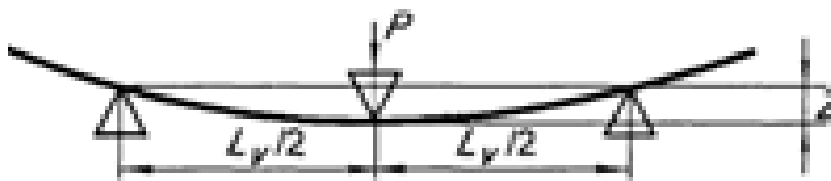
ახალი საელექტროდო დანაფარის შექმნისას მნიშვნელოვანია, რომ უზრუნველყოფილი იყოს მოთხოვნა მისი მექანიკური სიმტკიცის მიმართ. ელექტროდების წარმოების პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ ელექტროდების ნედლეულის დამაკმაყოფილებელი ქიმიური შემადგენლობა არ იძლევა ხარისხიანი ელექტროდების წარმოების გარანტიას.



ნახ. 2. დინამიკური სიბლანტის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე

ხარისხიანი ელექტროდები უნდა აკმაყოფილებდნენ მთელ რიგ ტექნოლოგიურ მახასიათებლებს. მაგალითად, დამზადებული ელექტროდები უნდა იყოს მკვრივი, მტკიცე, გამონაბერების, ფორების, კოჟრების და ბზარების გარეშე [8-11].

დანაფარის მექანიკური სიმტკიცის შესწავლისათვის გამოვიყენეთ სტანდარტული სამწერტილოვანი ღუნვის მეთოდი (ნახ. 3), რისთვისაც დანაფარის კაზმისაგან დამზადდა 4 მმ დიამეტრის და 0,4 მ სიგრძის ცილინდრული ფორმის ნიმუშები. ნიმუშები მიიღებოდა ტიგელში გამდნარი მასის კაპილარული ექსტრუზიით ლაბორატორიული ვაკუუმური ტუმბოს საშუალებით. ვინაიდან დანაფარის მექანიკურ სიმტკიცეზე გავლენას ახდენს მისი გამოწვის ტემპერატურა, ცდები ჩავატარეთ 200 °C-დან 400 °C-მდე დიაპაზონში გამომწვარი დანაფარებისათვის.



ნახ. 3. სამწერტილოვანი ღუნვის მეთოდის სქემა

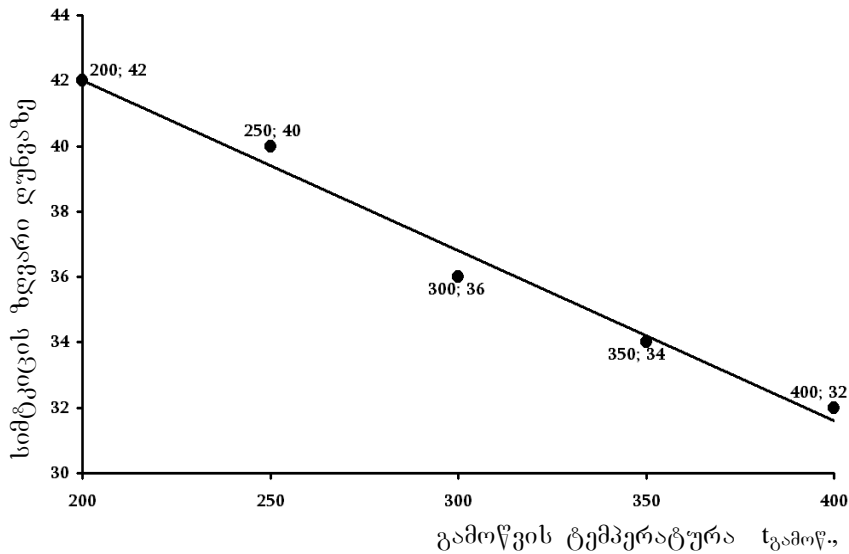
ნიმუში მაგრდებოდა სპეციალურად დამზადებულ საყრდენებზე, ხოლო მის ცენტრზე კი ვმოქმედებით გარკვეული მასის საწონებით და ვზომავდით ღუნვის სიდიდეს, რომლის მიხედვითაც განისაზღვრება მექანიკური სიმტკიცე (სიმტკიცე ღუნვაზე -  $\sigma_{ღუნ}$ ) [12].

ცხრ. 3-ში მოყვანილია კვლევის შედეგები. შედარებისათვის შესწავლილ იქნა სერიულად გამოშვებული „GK“- ტიპის ელექტროდების სიმტკიცე ღუნვაზე.

**ცხრილი 3. საელექტროდო დანაფარის ღუნვაზე სიმტკიცის დამოკიდებულება გამოწვის ტემპერატურაზე**

ახალი დანაფარი		„GK“	
ტემპერატურა $t_{გამოწ}$ °C	$\sigma_{ღუნ}$ , მგპა	ტემპერატურა $t_{გამოწ}$ °C	$\sigma_{ღუნ}$ , მგპა
200	42	–	39
250	40	–	
300	36	–	
350	34	–	
400	32	–	

შედეგების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ გამოწვის ტემპერატურის მატება იწვევს სიმტკიცის შემცირებას (ნახ.4) დაახლოებით 24%-ით. გამოწვის ოპტიმალური ტემპერატურაა 200–250 °C. ამ ტემპერატურაზე გამომწვარი დანაფარის მექანიკური სიმტკიცე „GK“- ტიპის ელექტროდების სიმტკიცეს აღემატება დაახლოებით 2,5–7%-ით.



**ნახ. 4. დანაფარის ღუნვაზე სიმტკიცის ზღვრის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე**

**დასკვნა**

შემუშავებული ახალ დანაფარიანი ელექტროდის გამდნარი წიდის სიბლანტის კვლევა აჩვენა, რომ ის პრაქტიკულად არ განსხვავდება არსებული რუტილის დანაფარიანი ელექტროდების გამდნარი წიდის სიბლანტისაგან, ტემპერატურათა შემცირების მცირე ინტერვალში მყისიერად იზრდება და ამიტომ, მისი გამოყენება შეიძლება ნებისმიერ სივრცით მდგომარეობაში შედუღებისათვის.

ახალი დანაფარის მექანიკური სიმტკიცის შესწავლის შედეგად დადგინდა, რომ გამოწვის ტემპერატურის მატება იწვევს სიმტკიცის შემცირებას დაახლოებით

24%-ით. გამოწვის ოპტიმალურ ტემპერატურას შეადგენს 200–250 °C და ამ ტემპერატურაზე გამოძვარი დანაფარის მექანიკური სიმტკიცე „GK“-ტიპის ელექტროდების სიმტკიცეს აღემატება დაახლოებით 2,5–7%-ით.

### ლიტერატურა

1. ხუციშვილი მ.გ., სულამანიძე ა.კ., დადიანიძე გ.ა., ნიკოლავა ო.ი. ხელით რკალური შედუღების ახალი საელექტროდო დანაფარიანი ელექტროდის ზოგიერთი ტექნოლოგიური მახასიათებელი. //საქართველოს საინჟინრო სიახლეები, 2014, №4. გვ. 39-43.
2. სულამანიძე ა.კ., ხუციშვილი მ.გ., კოტიაშვილი ლ. თ., დადიანიძე გ.ა., ნიკოლავა ო.ი. ახალ დანაფარიანი ელექტროდით მიღებულ ნაკერთა მიკროსტრუქტურისა და მექანიკურ თვისებათა ანალიზი. //საქართველოს საინჟინრო სიახლეები, 2015, № 1, გვ. 99-103.
3. სულამანიძე ა.კ., დადიანიძე გ. ა., ნიკოლავა ო. ი. შედუღების ელექტროდთა დანაფარი მასალის გამოკვლევა და დამუშავება. //საქართველოს საინჟინრო სიახლეები, 2012, №1, ტ. 62, გვ. 82-83
4. სულამანიძე ა., დადიანიძე გ., ნიკოლავა ო., ბერიძე ა. ელექტროდების დანაფარი. საქართველო. პატენტი 5989, 01.06.2014 წ. განაცხადი 12991/01. 04. 07. 2013 წ.
5. Михайлицин С.В., Шекшеев М.А., Платов С.И., Емельюшин А.Н., Наумов С.В. Исследование вязкости жидких сварочных шлаков и расплавов электродных покрытий. //Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2018, Том 61, № 4, сс.280-287.
6. Зернин Е.А., Соколов П.Д., Сабиров И.Р. Анализ влияния скорости сдвига на динамическую вязкость защитных покрытий, применяемых при дуговой сварке и наплавке. //Ремонт, восстановление и модернизация. 2007, № 7, сс. 38–41.
7. Калинин В.Т., Николаев А.И., Рыбин В.В. и др. Изучение взаимодействия компонентов сварочных материалов с жидким с теком. //Вопросы материаловедения, 2008, № 3(55), сс.31-40.
8. Патон Б.Е. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. -Москва, Машиностроение, 2012, 769 с. (юбилейный выпуск).
9. Макаров С.В. Термическая обработка сварочных электродов. //Технические науки – от теории к практике: материалы XII Международной заочной научно-практической конференции: Новосибирск: Изд-во «Сибирская ассоциация консультантов», 2012, сс. 44-50.
10. Makarov S.V., Sopochnikov S.B. Use of Complex Nanopowder (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Si, Ni, Ti, W) in Production of Electrodes for manual arc welding. // World Applied Science Journal 2013, 22, pp 87-90.
11. Ершов А.В., Ершов А.А. Сварочно-технологические свойства сварочных электродов, используемых для сварки строительных металлических конструкций //Сварка и диагностика, 2013, № 3, сс. 56-60.
12. Марченко А. Е., Гнатенко М. Ф., Чалыков А. И. и др. Сравнительная оценка технологических свойств обмазочных масс Руен, Витоша и УОНИ-13, полученная с помощью капиллярного и конического пластометров. / Информ. материалы СЭВ. - Киев: Наук. думка, 1983, Вып. 1/23, сс. 69-74.

### SUMMARY

#### INVESTIGATION OF MECHANICAL STRENGTH AND VISCOSITY OF FLUID SLAG OF THE NEW COATING MANUAL ARC WELDING ELECTRODE

Sabashvili Z.V., Sulamanidze A.K., Nikolava O.I. and Vatitadze G.Z.

Georgian Technical University

Among the industries such as: Mechanical Engineering, Aviation, Shipbuilding, Homebuilding, Natural Gas Pipeline Manufacturing, etc. Metal Welding holds a prominent position of necessity. In Georgia, the expensiveness of imported electrodes for manual Electric Arc Welding created a need for mentioned electrodes to be made using local raw materials. Work done in Georgian Technical University produced an invention of new rutile coating. Research showed that local raw materials are a sufficient resource for creating electrodes that satisfy all given requirements. The metal of the seam weld produced is characterized with fine-grained structure, remarkable strength and high plasticity. Important characteristics such as the slag viscosity and the mechanical strength of the coating have been thoroughly studied. The strength was studied using the standard 3-Point bend testing method and viscosity of fluid slag - using the Stokes method. According to research, electrodes with the new coating can be used for welding under any spatial conditions and their mechanical strength at 200-250°C annealing temperature is approximately 2.5-7% greater than the mechanical strength of the coating of the imported “GK”-type electrodes.

**Keywords:** fluid slag, mechanical strength, viscosity, manual electric arc welding.

ტექსტის სტრიქონების სეგმენტაცია მორფოლოგიური და ჰისტოგრამების პროექციის კომბინირებული მეთოდის გამოყენებით

სეხნიაშვილი დ.ნ., სვანიძე რ.გ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ტექსტური სტრიქონების სეგმენტაციის ალგორითმი

სეგმენტაციისათვის, გამოსახულების ბინარიზაციის მიზნით, ვიყენებთ მორფოლოგიურ ოპერაციებს. მიდგომა პირველად შემოთავაზებული იქნა ვუს მიერ [1], რომელიც შემდგომ განვითარდა და მოერგო ხელნაწერი ტექსტების სეგმენტაციის ამოცანებს [2,3].

ხელნაწერი დოკუმენტები, ხშირ შემთხვევაში შეიცავს ბევრ არასასურველ ელემენტებს, სხვადასხვა ციფრული ხმაურის თუ დოკუმენტის დაზიანებების (ნაკეციები, ლაქები, სიძველის დეფექტები, დეფორმაციები) სახით, ამასთანავე აღსანიშნავია, რომ ძირითადად ხელნაწერებს ფონთან მიმართებაში გააჩნიათ მაღალი კონტრასტი. ამ ფაქტორებიდან გამომდინარე, შემოთავაზებული იყო გამოსახულების წინასწარი დამუშავება მორფოლოგიური ოპერატორებით, რის შედეგადაც მივიღებთ ჩვენთვის სასურველ ბინარიზებულ გამოსახულებას [1].

ჩვენს მიერ შემუშავებულია ალგორითმი, რომელიც მოიცავს დამუშავების ორ ძირითად ეტაპს, ეს არის გამოსახულების წინასწარი დამუშავება – ბინარიზაცია და ჰისტოგრამის პროექტირება.

წინასწარი დამუშავების ეტაპზე გამოსახულებას ვამუშავებთ გაუსის ფილტრით, მათემატიკური მორფოლოგიის გახსნა – დახურვის, მორფოლოგიური გრადიენტის გამოტანის და ადაპტური ზღვრული ოპერატორის საშუალებით, რის შედეგადაც ვღებულობთ ჩვენთვის სასურველ ბინარულ გამოსახულებას [4].

ბინარიზებული გამოსახულებაზე ტექსტის სტრიქონების შემდგომ გამოსაყოფად ვიყენებთ ჰისტოგრამის პროექტირების ოპერაციას, რომელიც წარმოადგენს მარტივ და სწრაფ მეთოდს ხელნაწერი ტექსტების სეგმენტაციისათვის. რადგანაც ტექსტების მიმართულება ძირითადად ძვეს  $0-90^{\circ}$  შუალედში (გარდა აზიური იეროგრაფიული დამწერლობებისა), შესაბამისად, ტექსტური სტრიქონების ჰისტოგრამების პროექტირება უნდა ავიღოთ ღერძის მიმართულებით, რომელზეც პროექტირებული პიკები შეესაბამება ხელნაწერი სტრიქონის მიმართულებას, ხოლო, იმ ადგილებში სადაც ჰისტოგრამის სიგრძე მნიშვნელოვნად კლებულობს, გვექნება ხელნაწერ სტრიქონებს შორის სივრცეები. ამდაგვარი ჰისტოგრამების პიკების და მინიმუმების მიხედვით შესაძლებელია ტექსტის სტრიქონების სეგმენტირება.

სურ. 1-ზე ნაჩვენებია როგორც ბეჭდური ტექსტის ღერძზე ჰისტოგრამული პროექტირების მაგალითი, ასევე, ხელნაწერი ტექსტის პროექტირების ვარიანტიც.

ხელნაწერი ტექსტების ჰისტოგრამის პროექტირებაში, საწყისი ტექსტის სიროულიდან გამომდინარე შესაძლებელია გვექონდეს სხვადასხვა ხმაურის და დამახინჯების წყაროები, რისი შემდგომი გაფილტვრის საშუალებითაც ვღებულობთ დისკრეტულად განმსოლოებულ ჰისტოგრამულ პროექციას (ნახ. 2).

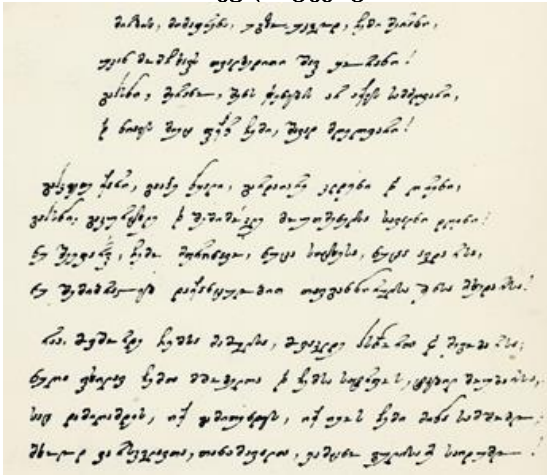
ხელნაწერი ტექსტის სტრიქონების სეგმენტაციის შემდეგ ეტაპზე საჭიროა ადვადგინოთ წინა ეტაპზე ფილტრაციის ოპერაციების დროს დაკარგული ტექსტის სეგმენტების ნაწილი, რაც მიიღება ტექსტის სტრიქონებს შორის მედიანის წერტილთან გათანაბრებით. ნახ. 3-ზე ნაჩვენებია სეგმენტაციის სტანდარტული ვარიანტი.

მსოფლიოში კორონავირუსით  
ინფიცირებულების საერთო  
რაოდენობამ 90 მილიონს  
გადააჭარბა

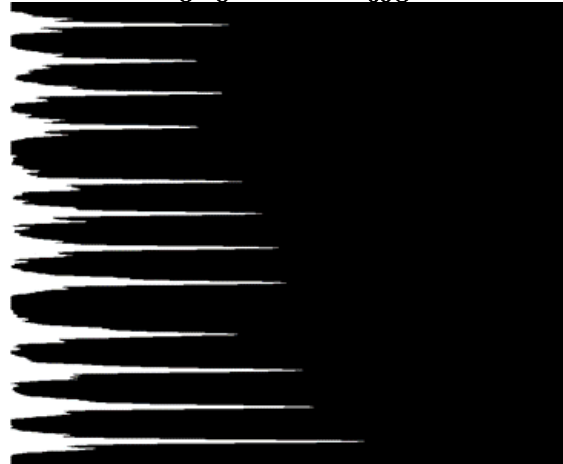
მსოფლიოში კორონავირუსით  
დაინფიცირებულების საერთო  
რაოდენობამ 90 მილიონს გადააჭარბა, -  
შესაბამის მონაცემებს



ნაბეჭდი ტექსტი



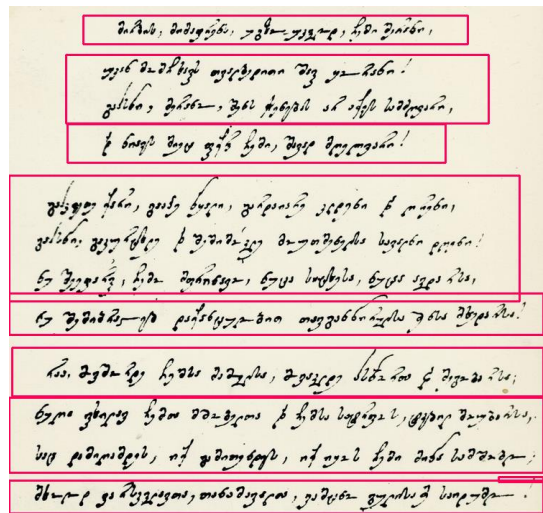
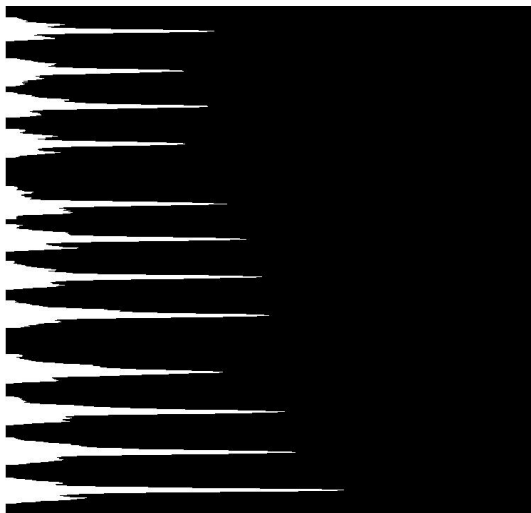
ჰისტოგრამის პროექცია



ხელნაწერი ტექსტი

ჰისტოგრამის პროექცია

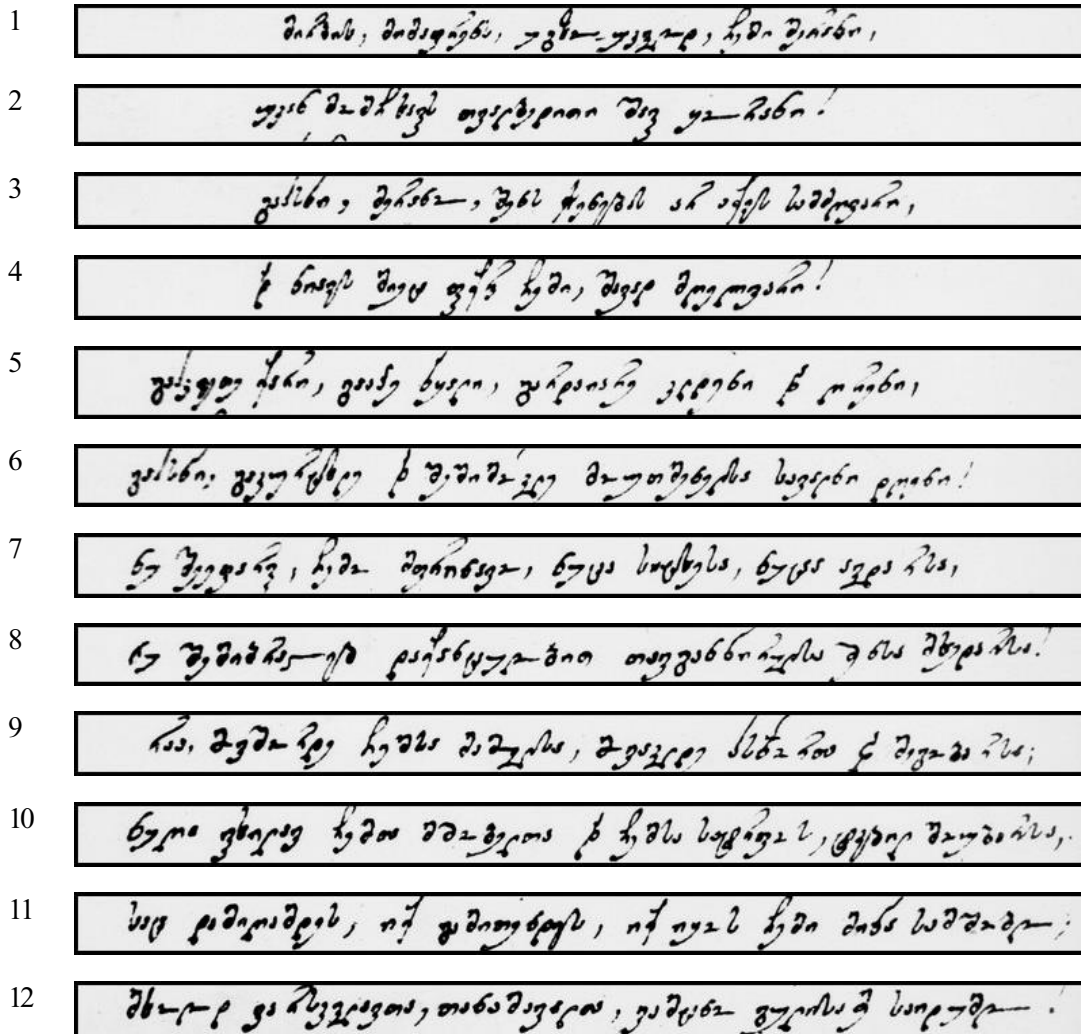
ნახ. 1. ბეჭდური ტექსტის დერეჟე ნაბეჭდი და ხელნაწერი ტექსტების ჰისტოგრამული პროექტირების მაგალითი



ნახ.2 ხმაურისგან გაფილტრული  
ჰისტოგრამის პროექცია

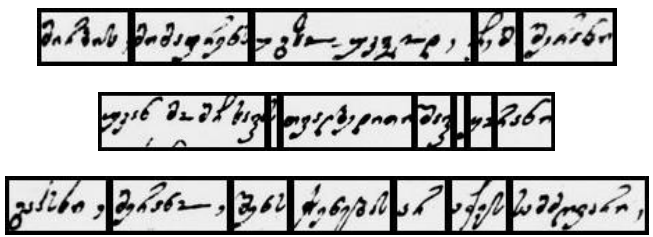
ნახ.3. სტანდარტული სეგმენტაციით  
მიღებული სეგმენტები. წითელი  
კონტურით შემოსაზღვრულია თითოეული  
სეგმენტი.

ნახ. 4-ზე წარმოდგენილია ჩვენს მიერ დამუშავებული ღერძზე ჰისტოგრამების პროექციით მიღებული ხელნაწერი ტექსტის სტრიქონების სეგმენტაციის მაგალითი.



ნახ. 4. ღერძზე ჰისტოგრამის პროექციით მიღებული სეგმენტაცია

მას, შემდეგ რაც მოვახდენთ ტექსტის სტრიქონების სეგმენტაციას, და ერთმანეთისგან გამოყოფას, თითოეული სეგმენტისათვის შესაძლებელია შევასრულოთ ჰისტოგრამული პროექციის სეგმენტაცია ამჯერად X ღერძთან მიმართებაში რისი შედეგადაც მივიღებთ სიტყვებად სეგმენტაციას. სურ. 5-ზე ნაჩვენებია სტრიქონების სიტყვებად სეგმენტირების მაგალითი.



ნახ. 5. სტრიქონის სიტყვებად სეგმენტირება

ამრიგად, ჩვენს მიერ შემოთავაზებული ალგორითმის განხორციელების შედეგად გამოსასვლელზე ვღებულობთ ტექსტურ გამოსახულებაში შემაჯავლი სიტყვების და სტრიქონების სეგმენტებს, რომელთა შემდგომი დამუშავება ნეირონული ქსელებით გაცილებით მარტივი და ნაკლები გამოთვლითი რესურსებით იქნება შესაძლებელი.

აღსანიშნავია, რომ ტექსტური გამოსახულებების სეგმენტაცია მნიშვნელოვანია არქივების, ისტორიული დოკუმენტების, ხელნაწერების გაციფრულების და ანალიზის დროს. სეგმენტაციის შედეგად მიღებული მასალის ინფორმაციულობა გაცილებით მაღალია, ხოლო მოცულობა მნიშვნელოვნად მცირეა, ვიდრე საწყისი დოკუმენტის მოცულობა.

#### ლიტერატურა

1. J.C. Wu, J.W. Hsieh, Y.S. Chen. Morphology-based text line extraction. //Machine Vision and Applications, 2008, pp.195-207.
2. L. Likforman-Sulem, A. Zahour, B. Taconet. Text line segmentation of historical documents: a survey. //International Journal on Document Analysis and Recognition, 2007, pp. 123-138.
3. S. Marinai, P. Nesi. "Projection Based Segmentation of Musical Sheets", Document Analysis and Recognition, ICDAR 1999, pp. 515-518.
4. R.P. dos Santos, G.S. Clemente, T.I. Ren and G. D. C. Cavalcanti. Text Line Segmentation Based on Morphology and Histogram Projection. /10th International Conference on Document Analysis and Recognition, 2009, pp. 651-655.

#### SUMMARY

#### SEGMENTATION OF THE TEXT LINES BY THE USE OF COMBINED METHOD OF MORPHOLOGICAL AND HISTOGRAM METHOD

Sekhniashvili D.N. and Svanidze R.G.

Georgian Technical University

Segmentation of handwritten lines and words for further identify them is one of the difficult subject due to the heterogeneity of the texts. The paper discusses the algorithm for segmentation of printed and handwritten texts obtained by operations of mathematical morphology and a combination of image histograms. The proposed algorithm uses a horizontal projection of the histogram when segmenting the rows, and after a vertical projection of the histograms is performed for each row, allowing the words in the text line to be segmented.

**Keywords:** segmentation, mathematical morphology, histogram, text lines.



ბეჭდური და ხელნაწერი ტექსტური დოკუმენტების კორექტირება ტექსტის სტრუქტურების, სიტყვების და ასოების სემანტიკის მეთოდით

სეხნიაშვილი დ.ნ, სვანიძე რ.გ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სიტყვის ასოების დახრილობის კორექტირება

ხელნაწერი ტექსტების ანალიზისას ერთ-ერთ პრობლემას წარმოადგენს სიტყვებში ასოების დახრილობა, რის გამოც ასოების ამოცნობის ამოცანა რთულდება ამასთანავე რთულდება ხელნაწერის ავტორის იდენტიფიცირებაც. ასოს დახრილობა არის კუთხე რომელიც იქმნება სიტყვის საწყის დონესა (Baseline) და ჰორიზონტალურ მიმართულებას შორის. ამ დახრილობის მოშორება შესაძლებელია მთელი ტექსტის მობრუნებით ჰორიზონტის მიმართულებით, ხოლო კონკრეტულად ასოების დახრილობისას, ასოს შეერთებული პიქსელების სიტყვის ან წინადადების საწყის დონესთან მიმართებით კორექტირებით [1].

ასოების დახრილობის გასწორების შედეგად, ასოებს შორის გამყოფი სივრცე გაცილებით ნათლად გამოიკვეთება ვიდრე დახრილი ასოების დროს, რაც საშუალებას გვაძლევს ადვილად მოვახდინოთ ცალკეული ასოს სემანტიკა, მათი კლასიფიკაცია და ამოცნობა. ამდენად, გარდა დახრილობის გასწორებისა, ადვილდება ცალკეული ასოების სემანტიკის ამოცანაც.

ასოების დახრილობის კორექცია წარმოადგენს პროექციის გარდასახვის ამოცანას. რადგანაც გამოსახულება ოთხი მხრიდან შემოსაზღვრულია 2 წერტილით, გვაქვს რვა კოორდინატი და მათი შესაბამისი რვა კუთხე რის მიმართაც შესაძლებელია პროექციის გარდასახვა [2-4].

შეგვიძლია ვაჩვენოთ რომ მატრიცის პროექციის ტრანსფორმაცია ჰომოგენურ საკოორდინატო სისტემაში ხდება სივრცული გარდასახვის მატრიცით.  $S$  – მატრიცა (გამოსახულება),  $T$  – მატრიცა სივრცული გარდასახვის მატრიცა და  $S'$  მატრიცა კორექტირებული მატრიცა [4].

$$T = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \quad S = \begin{bmatrix} x_1 & \dots & x_N \\ y_1 & \dots & y_N \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$S' = TS = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & \dots & x_N \\ y_1 & \dots & y_N \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

ნაბეჭდი დასკანერებული ტექსტის დახრილობის კორექცია ნაჩვენებია ნახ. 1-ზე [5]. გამოსახულების კორექციისათვის ვიყენებთ CV2 და Skimage ბიბლიოთეკებს. პირველ ეტაპზე ვაგენერირებთ სხვადასხვა კუთხით დახრილ გამოსახულებებს, დაგენერირებულ გამოსახულებებზე რომლებზეც ტექსტი დახრილია სხვადასხვა კუთხით ვასრულებთ საწყისი დონის კორექციას, რის შედეგადაც ვიღებთ ჰორიზონტზე გასწორებულ გამოსახულებას (ნახ.1 გ.დ).

მსოფლიოში კორონავირუსით ინფიცირებულების საერთო რაოდენობამ 90 მილიონს გადააჭარბა

მსოფლიოში კორონავირუსით დაინფიცირებულების საერთო რაოდენობამ 90 მილიონს გადააჭარბა, - შესაბამის მონაცემებს

მსოფლიოში კორონავირუსით ინფიცირებულების საერთო რაოდენობამ 90 მილიონს გადააჭარბა

მსოფლიოში კორონავირუსით დაინფიცირებულების საერთო რაოდენობამ 90 მილიონს გადააჭარბა, - შესაბამის მონაცემებს

ა) გამოსახულება დახრილი -15 გრადუსით

ბ) გამოსახულება დახრილი +30 გრადუსით

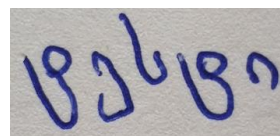
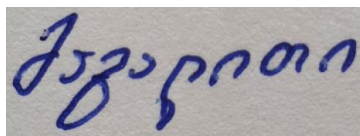


გ) კორექტირებული გამოსახულება

დ) კორექტირებული გამოსახულება

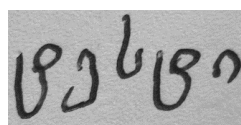
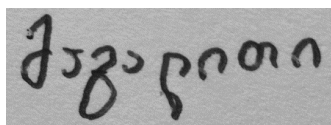
ნახ. 1. დახრილი ტექსტური დოკუმენტის კორექტირება

ხელნაწერი ასოების დახრილობის კორექტირების მაგალითი ნაჩვენებია ნახ. 2-ზე. როგორც აღვნიშნეთ დახრილობის კორექტირება ხდება საწყისი დონის მიმართ. ნახ. 2, ა-ზე გვაქვს ხელნაწერი ტექსტი რომელიც გადახრილია მარჯვნივ, ამ სურათის კორექტირებული ვარიანტი მოცემულია ნახ. 2, გ-ზე სადაც ასოების დახრილობის კუთხე საწყისი დონის მიმართ უახლოვდება 90 გრადუსს. ანალოგიურად, ნახ. 2, ბ-ზე ნაჩვენებია მარცხნივ გადახრილი ხელნაწერი ტექსტი, მისი კორექტირებული ვარიანტი ნახ. 2, დ, მსგავსად მარჯვნივ გადახრილი ხელნაწერის მსგავსად, მაქსიმალურად უახლოვდება საწყისი წერტილისადმი პერპენდიკულარულ მნიშვნელობას. ასოების კორექციის ეს მეთოდი ამარტივებს ცალკეული ასოების მეზობლებიდან გამოყოფის და იდენტიფიცირების საშუალებას.



ა) მარჯვნივ გადახრილი ასოები

ბ) მარცხნივ გადახრილი ასოები



გ) კორექტირებული მარცხნივ

დ) კორექტირებული მარჯვნივ

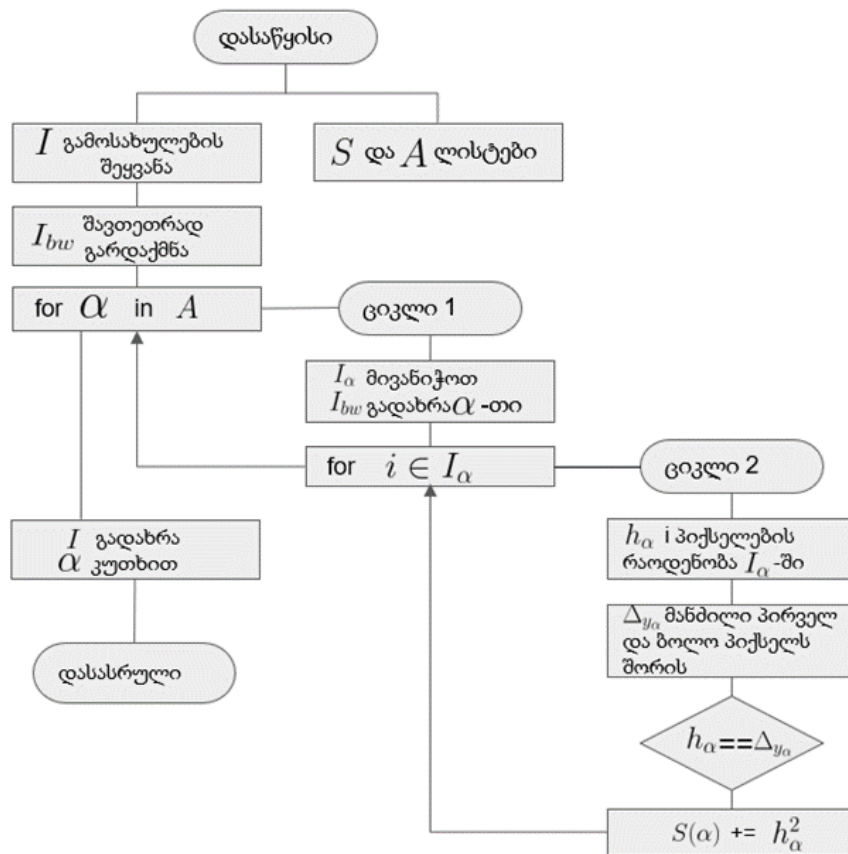
ნახ.2 ხელნაწერი ასოების დახრილობის (slant) კორექტირება.

ინფორმაციის მოცულობის (ბტ) დამოკიდებულება ტექსტის სტრიქონებს შორის დაშორებაზე, ტექსტის დახრილობაზე (გრადუსი) და გამოსახულების ზომაზე (პიქსელი), სტრიქონებს შორის დაშორება (დ)

შესრულების დრო (წმ)	სტრიქონებს შორის დაშორება (დ)	ტექსტის დახრილობა	გამოსახულების ზომა პიქსელები	ფაილის ზომა (მოცულობა) ბაიტები
0,012	1,0	-15	363 x 563	46861
0,016	1,5	35	571 x 619	52569
0,012	2,0	-52	563 x 514	31458
0,024	1,0	17	783 x 700	128068
0,027	1,5	22	906 x 784	106690
0,027	2,0	-19	910 x 763	84454

ბეჭდური და ხელნაწერი ტექსტების და ტექსტებში შემავალი დახრილი სტრიქონების (სიტყვის, ასოების) ნორმალურ საწყის მდგომარეობაში გადაყვანის მიზნით შემუშავებული იქნა ალგორითმი, რომელიც საშუალებას იძლევა მოვახდინოთ დახრის სხვადასხვა ორიენტაციის, დოკუმენტის სტრიქონებს შორის სხვადასხვა დაშორების მქონე ტექსტების კორექტირება.

დახრილი ტექსტის კორექციის ალგორითმი მოცემულია ნახ 3.



ნახ 3. დახრილი ტექსტის კორექციის ალგორითმი

ამრიგად, წარმოდგენილი ალგორითმი საშუალებას იძლევა დახრილი ტექსტის კორექტირება განხორციელდეს წამის მეათედებში. უმნიშვნელო სხვაობა ფიქსირდება სხვადასხვა დახრის მქონე გამოსახულების შემთხვევაში.

მოყვანილი ალგორითმი შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს საარქივო დოკუმენტების ავტომატური და ნახევრადავტომატური სკანირების და გაციფროვნების სამუშაოების შესრულების დროს, როდესაც ელექტრონული მოწყობილობიდან მიღებული გადახრილი გამოსახულებები ავტომატურად დაკორექტირდება და შეინახება ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში გასწორებული სახით, რაც ასეთი გამოსახულების შემდგომი დამუშავების პროცესს მნიშვნელოვნად გაამარტივებს.

#### ლიტერატურა

1. M. Bulacu and L. Schomaker. Text-Independent Writer Identification and Verification Using Textural and Allographic Features. / IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2007, Vol. 29, No. 4, pp. 701-717.
2. H.E.S. Said, T.N. Tan and K.D. Baker. Writer Identification Based on Handwriting. /Proceedings of IEE Third European workshop on Handwriting Analysis and Recognition, 2000, Vol. 33, No.1, pp. 133 - 148.
3. E. Kavallieratou, N. Fakotakis and G. Kokkinakis. New algorithms for skewing correction and slant removal on word-level [OCR]. /Proceedings of the Sixth IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems, 1999, Vol. 2, pp. 1159 - 11622.
4. P. Mathivanan, B. Ganesamoorthy and P. Maran - Watershed algorithm based segmentation for handwritten text identification. //ICTAT journal on image processing, 02/14, vol:04, Issue:03. pp. 767-772.
5. <https://www.pyimagesearch.com/2017/02/20/text-skew-correction-opencv-python/>

#### SUMMARY

#### **CORRECTION OF PRINTED AND HANDWRITTEN TEXTUAL DOCUMENTS BY SEGMENTATION METHOD OF TEXT LINES, WORDS AND LETTERS**

**Sekhniashvili D.N. and Svanidze R.G.**

**Georgian Technical University**

The inclination and slant of characters inside the printed and handwritten texts complicates the task of such document processing and analysis. The paper discusses the issues of restoring these irregularities to the normal (horizontal) initial level in printed and handwritten texts. Examples of correction of an inclined text documents, as well as correction of slanted characters, of different angles, spacing between lines, and document resolution, are presented.

**Keywords:** segmentation, correction, textual documents.

ფარმაცევტული პრეპარატების გავრცელება სასმელ წყალში

გურგენიძე დ.რ., ბაგრატიონ-დავითაშვილი ა.ნ., ცინაძე ზ.ო.,  
სურამელაშვილი ე.რ., ებანოიძე გ.გ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

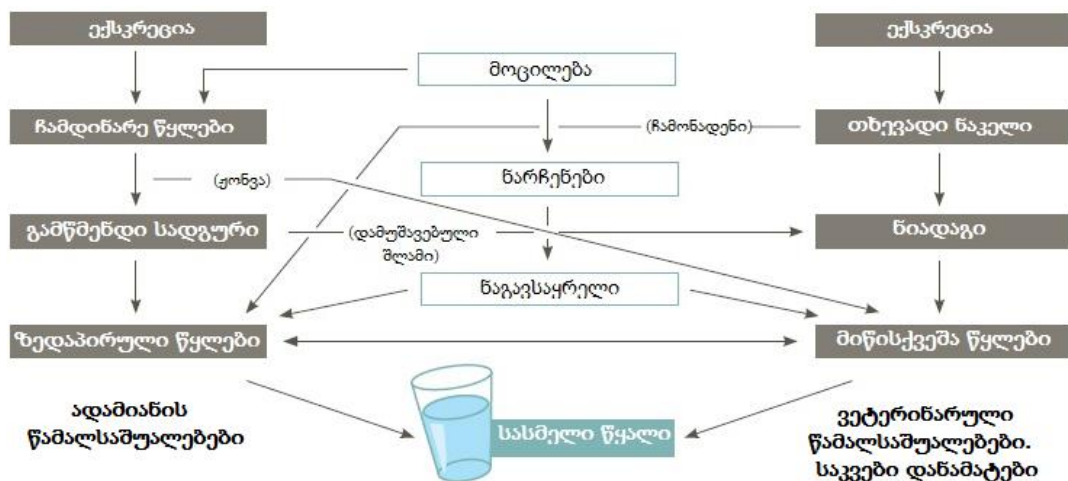
ბოლო ათწლეულის განმავლობაში, თანამედროვე ანალიზური მეთოდებით ჩატარებულმა კვლევებმა გამოავლინა წყლის ციკლში ფარმაცევტული პრეპარატების კვალი (მიკროგრამი/ლიტრზე) – ზედაპირულ და მიწისქვეშა წყლებში, ჩამდინარე წყლებში, და ნაკლებად, სასმელ წყალში.

ფარმაცევტული პრეპარატების გავრცელება წყალში, ძალზე დაბალ კონცენტრაციებშიც კი, შეშფოთებას იწვევს დაინტერესებულ მხარეებში, როგორცაა სასმელი წყლის მარეგულირებელი ორგანოები, მთავრობა, წყლის მომწოდებლები და საზოგადოება, რადგანაც, ეს ზრდის მათი ზემოქმედების პოტენციურ რისკს ადამიანის ჯანმრთელობაზე.

ფარმაცევტული საშუალებები წარმოადგენს სინთეზურ ან ბუნებრივ ქიმიურ ნაერთებს, რომელთა გამოყენება ხდება გაცემული რეცეპტის შესაბამისად. რეცეპტი გაიცემა როგორც სამკურნალო საშუალებებზე, ასევე ვეტერინარულ საშუალებებზე და ისინი შეიცავს აქტიურ ინგრედიენტებს, რომლებიც იწვევს ფარმაკოლოგიურ ეფექტს.

ადამიანისა და ვეტერინარული საშუალებების საყოველთაო გამოყენებამ სამედიცინო, აკვაკულტურისა და სოფლის მეურნეობის პრაქტიკაში, განაპირობა ფართო სპექტრის ფარმაცევტული ქიმიკატების გავრცელება გარემოში.

ფარმაცევტული საშუალებები ვრცელდება გარემოში მრავალი გზით (ნახ. 1), მათ შორის ადამიანის ან ცხოველების ექსკრემენტების, ჩამდინარე წყლების, კანალიზაციის გაწმენდილ შლამის, სამრეწველო ნარჩენების, სამედიცინო ნარჩენების სამედიცინო და ვეტერინარული ობიექტებიდან და ნაგავსაყრედიდან გამონაჟონის და ბიოლოგიურ მყარ ნარჩენების საშუალებით.



ნახ.1. ფარმაცევტული პროდუქტების ბრუნვა გარემოში

ფარმაცევტული პროდუქტების გავრცელება ზედაპირულ წყლებში

ჯერ კიდევ გასული საუკუნის 70-იან წლებში მეცნიერების მიერ გამოქვეყნებული იყო მონაცემები ჩამდინარე წყლებში კარდიოლოგიური მედიკამენტების, ტკივილგამაყუჩებლების და ჩასახვის საწინააღმდეგო მედიკამენტების არსებობის შესახებ [1-3].

გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ზედაპირული წყლებში ფარმაცევტული პრეპარატების ძირითადი წყაროა ექსკრეცია და ჩარეცხვა, გაწმენდილი ან დაუმუშავებელი მუნიციპალური ჩამდინარე წყლების გადინებით ზედაპირული წყლის ობიექტებში

[4-9]. ასევე, მომხმარებლებისა და სამედიცინო და ვეტერინარული დაწესებულებების ფარმაცევტული ნარჩენების და ჭარბი მედიკამენტების არასათანადოდ ჩაღვრა კანალიზაციაში. ჩამდინარე წყლებში გამოვლენილია ფარმაცევტული პრეპარატების რამდენიმე კლასი (ცხ.1).

ცხრილი 1. ჩამდინარე წყლებში გამოვლენილი ფარმაცევტული პრეპარატების კლასები

ნივთიერება	ფარმაცევტული ჯგუფი	გამოყოფილი ნივთიერება (%)
ამოქსიცილინი	ანტიბიოტიკი	60
ატენოლოლი	ბეტა ბლოკატორი	90
ბაზაფობრატი	ლიპიდების მარეგულირებელი	50
კარბამაზეპინი	ანტიეპილეპტური	3
ცეტერიზინი	ანტიჰისტამინური	50
ქლობობრული მჟავა	აქტიური მეტაბოლიტი	6
დიქლოფენაკი	ანთების საწინააღმდეგო	15
ერთორომიცინი	ანტიბიოტიკი	25
ფელბამატი	ანტიეპილეპტური	40-50
იბუპროფენი	ტივილგამაფუნებელი	10

ცხრილი 2. შერჩეული ფარმაცევტული ჯგუფების კონცენტრაციების მონაცემები ჩამდინარე წყლებში

ნივთიერება	საშუალო (მაქსიმალური)	კონცენტრაცია (ნგ/ლ)
	ჩამონადენი გამწმენდი სადგურიდან	მდინარის წყლები
ბლემიცილინი	11 (19)	აა (17)
კლოტრიმაზოლი	14 (27)	21 (34) 7 (22)
დიქლოფენაკი	424 (2349)	< რშზ (568)
	289 (598)	< რშზ
	—	< რშზ (195)
დექსტროპოქსიპენი	195 (585)	58 (682)
	37 (64)	12 (98)
ერთორომიცინი	—	< რშზ (80)
	< რშზ (1842)	< რშზ (1022)
ფლუოქსეტინი	202 (290)	5 (70)
	7,6-52,9	2-43,7
იბუპროფენი	3086 (27 256)	826 (5044)
	2972 (4239)	297 (2370)
	—	48 (930)
მეფენამის მჟავა	133 (1440)	62 (366)
	340 (396)	< რშზ
	—	< რშზ (196)
ნორფლუოქსეტინი	5,2-30,7	4,5-83,0
პარაცეტამოლი	< 20	—
	—	555
პროპანოლოლი	76 (284)	29 (215)
	304 (373)	61 (107)
	—	< რშზ (56)
სულფამეტოქსაზოლი	< რშზ (132)	< რშზ
ტამოქსიფენი	< რშზ (42)	< რშზ
ტეტრაციკლინი	—	~1000
ტეოფილინი	—	~1000
ტრიმეტოპრიმი	70 (1288)	< რშზ (42)
	271 (322)	9 (19)
	—	7 (569)

„რშზ“ - რაოდენობრივი შეფასების ზღვარი; „აა“, არ არის აღმოჩენილი

ბრიტანელი მკვლევარების მიერ ნაჩვენები იყო, რომ სხვადასხვა ფარმაცევტული ჯგუფის თერაპევტული პრეპარატები აღმოჩენილია როგორც ჩამდინარე წყლებს გაწმენდ სადგურებიდან ჩადენილ წყლებში, ასევე წყალმიმღებებში. დაფიქსირებული მნიშვნელობები იმავე დიაპაზონში იყო, როგორც კონტინენტურ ევროპასა და აშშ-ში, სადაც უფრო ფართო მონიტორინგი ჩატარდა. ცხრ. 2 და 3-ში ნაჩვენებია ფარმაცევტული ჯგუფების მონაცემები ევროპულ ქვეყნებში.

**ცხრილი 3. შერჩეული ფარმაცევტული ჯგუფების კონცენტრაცია, რომელიც აღმოჩენილია ევროპის ზედაპირულ წყლებში**

ნივთიერება	საშუალო (მაქსიმალური) კონცენტრაცია (ნგ/ლ)				
	ავსტრია	ფინეთი	საფრანგეთი	გერმანია	შვეიცარია
ბაზაფიბრატი	20 (160)	5 (25)	102 (430)	350 (3100)	—
კარბამაზეპინი	75 (294)	70 (370)	78 (800)	25 (110)	30–150
დიქლოფენაკი	20 (64)	15 (40)	18 (41)	150 (1200)	20–150
იბუპროფენი	აა	10 (65)	23 (120)	70 (530)	აა (150)
იოპრომიდი	91 (211)	—	7 (17)	100 (910)	—
როქსიტრომიცინი	აა	—	9 (37)	<რშზ (560)	—
სულფამეტოქსაზოლი	აა	—	25 (133)	30 (480)	—

საქართველოში ჩატარებული გამოკვლევები მდინარე მტკვარში კარბამაზეპინის შემცველობაზე [10] მოცემულია ცხრ. 4-ში.

**ცხრილი 4. მდინარე მტკვარში აღმოჩენილი კარბამაზეპინის რაოდენობა**

№	დისლოკაციის ადგილი	აღმოჩნდა	დაახლ. რაოდ. ნგ/ლ
1.	ორთაჭალის ჰესის მიმდებარე მდინარე მტკვარში (N1)	+	100
2.	ეროვნული ბანკის მიმდებარე მდინარე მტკვარში (N2)	+	180
3.	საჯარო რეესტრის მიმდებარე მდინარე მტკვარში (N3)	+	100
4.	მირცხულავას ქუჩასთან წყალმიმღების მტკვართან შეერთების ადგილზე (N4)	+	100
5.	დილოშში, საავადმყოფოების მიმდებარე მდინარე მტკვარში (N5)	+	220
6.	თევზის რესტორნის მიმდებარე მდინარე მტკვარში (N6)	+	200
7.	ხოშარაულის ქუჩის მიმდებარე მდინარე მტკვარში (N7)	+	100
8.	გოთუას ქუჩის მიმდებარე მდინარე მტკვარში (N8)	–	–
9.	მდინარე ვერესა და მტკვრის შესართავთან (N9)	–	–
10.	მდ. გლდანულასა და მტკვრის შესართავთან (N10)	–	–

ცხრილის მონაცემებიდან ჩანს, რომ კარბამაზეპინით მტკვრის ყველაზე დაბინძურებული მონაკვეთებია: დილოშში, საავადმყოფოების მიმდებარე ტერიტორია და თევზის რესტორნის მიმდებარე ტერიტორია.

შედარებით ნაკლებად არის დაბინძურებული: ეროვნული ბანკის მიმდებარე ტერიტორია, ორთაჭალის ჰესის მიმდებარე ტერიტორია, საჯარო რეესტრის მიმდებარე ტერიტორია, მირცხულავას ქუჩასთან წყალმიმღების მტკვართან შეერთების ადგილზე და ხოშარაულის ქუჩის მიმდებარე ტერიტორია.

კარბამაზეპინი არ იყო აღმოჩენილი გოთუას ქუჩის მიმდებარე ტერიტორიაზე, ასევე ვერესა და მტკვრის შესართავთან, მდ. გლდანულასა და მტკვრის შესართავთან.

### ფარმაცევტული ჯგუფების პრეპარატების გავრცელება სასმელ წყალში

უმეტეს ქვეყნებს არ აქვთ სასმელ წყალში ფარმაცევტული ჯგუფების მონიტორინგის პროგრამები პრაქტიკული სირთულეების გამო, როგორცაა მაღალი ხარჯები, ანალიზური ტექნოლოგიებისა და ლაბორატორიული ინფრასტრუქტურის არარსებობა სხვადასხვა ფარმაცევტული ჯგუფებისა და მათი მეტაბოლიტების დასადგენად. შედეგად, სასმელი წყლისა და ზედაპირული წყლების ფარმაცევტული ჯგუფების შესახებ შემთხვევათა უმეტესობა მოდის მიზნობრივ კვლევით პროექტებზე და მიზანმიმართულ გამოკვლევებზე.

რეგულაციების გასამკაცრებლად, მთავრობისა და კერძო ორგანიზაციების მიერ რამდენიმე ქვეყანაში შეიქმნა პროგრამები, რომელთა მიზანია შეამცირონ ფარმაცევტული პრეპარატების რაოდენობა გარემოში [12-14]. ეს პროგრამები შეიძლება სხვადასხვა მასშტაბის იყოს, დაწყებული მცირე ერთდღიანი ღონისძიებებით, რეგულარული და სისტემატური რეგიონალური გამოკვლევებით.

ევროპაში ფართოდ გავრცელებულია სტანდარტიზირებული პროგრამები. ეროვნულ სისტემების ფუნქციონირებას და აფინანსებს ფარმაცევტული მრეწველობა, საცალო ავთიაქები და საჯარო სექტორი.

მომხმარებლები მიჩვეულები არიან არასასურველი და ვადაგასული მედიკამენტების მოშორებას საყოფაცხოვრებო ნარჩენების და კანალიზაციის საშუალებით. მედიკამენტების მოშორების ასეთი არასწორი პრაქტიკა აბინძურებს ჩამდინარე და ზედაპირულ წყლებს. ამიტომ საჭიროა საზოგადოების ცნობიერების ამაღლება და მომხმარებლების წახალისება არასასურველი ფარმაცევტული საშუალებების განკარგვის სათანადო პრაქტიკის გამოყენებაში.

ამრიგად, ჩვენს მიერ ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ ფარმაცევტული საშუალებების კონცენტრაცია ზედაპირულ და მიწისქვეშა წყლებში, ჩამდინარე წყლების ზემოქმედებით შეადგენს 100 ნგ/ლ, ხოლო გაწმენდილ სასმელ წყალში კონცენტრაციები ჩვეულებრივ დაბალია – 50 ნგ/ლ.

საჭიროა დაიხვეწოს ფარმაცევტული ჯგუფების შერჩევისა და ანალიზური განსაზღვრის სტანდარტიზებული ოქმი, მონაცემთა შედარებისა და გარემოში ფარმაცევტული ნივთიერების ტრანსპორტირების და გავრცელების შესახებ. ასევე, უნდა განვითარდეს და ფართოდ გავრცელდეს საგანმანათლებლო პროგრამები და მითითებები, მედიკამენტების არასასურველი და ჭარბი გამოყენების პრევენციის მიზნით.

მკაცრად უნდა აიკრძალოს და გაკონტროლდეს საწარმოო ობიექტებიდან არასრულად დამუშავებული ჩამდინარე წყლების წყალსატევებში ჩაშვება, რადგანაც ფარმაცევტული პროდუქტების უმრავლესობა წყლის ციკლში შედის ამ ობიექტებიდან.

### ლიტერატურა

1. Tabak H.H, Bunch R.L. Steroid hormones as water pollutants. I. Metabolism of natural and synthetic ovulation-inhibiting hormones by microorganisms of activated sludge and primary settled sewage. *Developments in Industrial Microbiology*, 11, 1970, pp. 367-376.
2. Garrison A.W, Pope J.D, Allen F.R. GC/MS analysis of organic compounds in domestic wastewaters. In: Keith L.H, ed. Identification and analysis of organic pollutants in water. Ann Arbor, MI, Ann Arbor Science Publishers Inc. 1976, pp. 517-556.
3. Hignite C, Azarnoff D.L. Drugs and drug metabolites as environmental contaminants: chlorophenoxyisobutyrate and salicylic acid in sewage water effluent. *Life Sciences*, 20(2), 1977, pp. 337-341.
4. Buser H.R, Muller M.D, Theobald N. Occurrence of the pharmaceutical drug clofibric acid and the herbicide mecoprop in various Swiss lakes and in the North Sea. *Environmental Science & Technology*, 32(1), 1998, pp. 88-192.
5. Ternes T. Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers. *Water Research*, 32, 1998, pp. 3245-3260.
6. Buser H.R, Poiger T, Muller M.D. Occurrence and environmental behavior of the chiral pharmaceutical drug ibuprofen in surface waters and in wastewater. *Environmental Science & Technology*, 33(15), 1999, pp. 2529-2535.



7. Daughton C.G. Pharmaceuticals and personal care products in the environment: overarching issues and overview. ACS Symposium Series, 2001, pp. 791:2–38.
8. Heberer T, Reddersen K, Mechlinski A. From municipal sewage to drinking water: fate and removal of pharmaceutical residues in the aquatic environment in urban areas. Water Science & Technology, 46, 2002, pp. 81-88.
9. Kolpin D.W et al. Pharmaceuticals, hormones, and other organic wastewater contaminants in U.S. streams, 1999–2000: a national reconnaissance. Environmental Science & Technology, 36, 2002, pp. 1202–1211.
10. ცინაძე ზ. წყალმომარაგების ბუნებრივი წყაროების ხარისხის შეფასება მდინარე მტკვრის მაგალითზე. დისერტაცია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2019, 203 გვ.
11. Bull R.J et al. Therapeutic dose as the point of departure in assessing potential health hazards from drugs in drinking water and recycled municipal wastewater. //Regulatory Toxicology and Pharmacology, 60, 2011, pp. 1-19.
12. Daughton C.G. PPCPs in the environment: future research—beginning with the end always in mind. In: Kümmerer K, ed. Pharmaceuticals in the environment, 2nd ed. Springer, 2004, pp. 463–495.
13. Glassmeyer ST et al. Disposal practices for unwanted residential medications in the United States. Environment International. 35. 2009. pp. 566–572.
14. Teleosis Institute. Medicine take back locations. Berkeley, CA, Teleosis Institute. 2009. (<http://www.teleosis.org/gpp-locations.php>).

## SUMMARY

### DISTRIBUTION OF PHARMACEUTICAL PREPARATIONS IN DRINKING WATER

**Gurgenidze D.R., Bagration-Davitashvili A.N., Tsinadze Z.O., Suramelashvili E.R. and Ebanoidze G.G.**  
**Georgian Technical University**

The wide use of human and veterinary pharmaceutical preparations in medical, agricultural and aquaculture practices has led to the spread of a wide range of pharmaceutical preparations in drinking water, which has a negative impact on human health. Their origin from various sources are discussed, including human or animal excrement, wastewater, sewage sludge, industrial waste, pharmaceutical wastes from medical and veterinary facilities, landfill dumping, and biological solid waste. The sources of the origin of the carbamazepine group of drugs in the Mtkvari river area of Tbilisi and their concentrations are given. It is concluded that there is a need to develop appropriate regulations to manage usage of pharmaceutical preparations, widespread programs, guidelines and advanced education of consumers to help prevent unwanted and excessive use of medicines.

**Keywords:** pharmaceutical preparations, drinking water, industrial and pharmaceutical waste.

## პროგნოზირება და მისი მნიშვნელობა ბუნებათსარბელობაში

მკვლევარი გ.ს., მამულაშვილი მ.ა.

## საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ქვეყნების სოციალურ-ეკონომიკური განვითარებას თან ახლავს ეკონომიკის და სოციალური სფეროს გარემოზე განუწყვეტლივი ზემოქმედება. ეკონომიკა და სოციალური სფერო წარმოადგენენ ბუნებრივი რესურსების მომხმარებელს. ბუნებრივ რესურსებზე გაზრდილი სოციალურ-ეკონომიკური მოთხოვნილობების შედეგად თანამედროვეობაში გამწვავდა ბუნებათსარბელობის ორი პრობლემა ბუნებრივი რესურსების მრავალი სახეობის გამოლევა და ბუნებრივი გარემოს ხარისხის გამუდმებული გაუარესება.

ამდენად, აუცილებელია გარემოს რაციონალიზაციის და დაცვის ღონისძიებები. ეს ღონისძიებები უნდა ეყრდნობოდნენ ბუნებრივი რესურსების ისეთი პროგნოზირების შემუშავებას, რომლებიც უზრუნველყოფენ სოციალურ-ეკონომიკური სფეროს განვითარების მოთხოვნებს.

როგორც ცნობილია პროგნოზირება ეს არის გულმოდგინედ შესწავლილი და დამუშავებული მონაცემების საფუძველზე რაიმეს (მაგალითად მეცნიერების, წარმოების სფეროს, პროცესის დამოკიდებულების და ა.შ.) პროგნოზის შედგენა, განვითარება, ჩამოყალიბება, გავრცელება.

პროგნოზი ეს არის მეცნიერების შემადგენელი ნაწილი, ამიტომაც იგი უნდა იყოს დაფუძნებული განსახილველი მოვლენის კანონზომიერებათა ცოდნაზე და უნდა აიგოს არა სუბიექტურ გადაწყვეტილებაზე, არამედ ობიექტურ, მეცნიერულად დასაბუთებულ დებულებების საფუძველზე [1].

ცნობილია პროგნოზთა ორი ტიპი:

1. საძიებო – მოვლენის შესაძლებელ მდგომარეობათა განსაზღვრა მომავალში, რომელიც პასუხობს შეკითხვაზე: რა უფრო შესაძლებელია (მოსალოდნელია), რომ მოხდეს არსებულ ტენდენციათა შენარჩუნების პირობებში?

2. ნორმატიული – სასურველ მდგომარეობათა მიღწევის პროგნოზირება, წინასწარ მოცემული ნორმების, მიზნების საფუძველზე, როცა აუცილებელია პასუხი გაეცეს შეკითხვას: როგორი გზებით მიიღწევა სასურველი?

ეკოლოგიური პროგნოზირების საფუძველში დევს საძიებო პროგნოზირება მომავალში, მოვლენის მდგომარეობაზე რაც შეიძლება უფრო ზუსტი წინასწარ განსაზღვრის ორიენტაციით. ისევე, როგორც სხვა შემთხვევაში, ეკოლოგიურ პროგნოზირებასაც საფუძველად უდევს მომავლის შესახებ ინფორმაციის სამი წყარო:

1. საპროგნოზო მოვლენის, სისტემის მომავალი მდგომარეობის შეფასება ცნობილ მოვლენებთან და პროცესებთან გამოცდის ანალოგიის საფუძველზე;

2. იმ ტენდენციათა, კანონზომიერებათა პირობითი გაგრძელება მომავალში, რომლებიც გამოვლენილი არიან წარსულში და კარგად არიან ცნობილი ამჟამადაც;

3. მოვლენის ან სისტემის მომავალი მდგომარეობის მოდელი, რომელიც აგებულია აშკარა კანონზომიერებათა და არსებული მონაცემების საფუძველზე [2].

ინფორმაციის ეს სამი წყარო განსაზღვრავს კიდევ პროგნოზირების სამ ხერხს: ა)საექსპერტო შეფასება; ბ) ექსტრაპოლაცია და ინტერპოლაცია; გ) მოდელირება.

პროგნოზირების მიზანს წარმოადგენს მეცნიერულად დასაბუთებული წინაპირობის შექმნა, ეკონომიკის განვითარების ტენდენციის მეცნიერული ანალიზის შემცველობით; სხვადასხვა ვარიანტების გათვლა საზოგადოების კვლავწარმოების განვითარების, ჩამოყალიბებული ტენდენციების და დასახული მიზნების გათვალისწინებით; ასევე, მიღებული გადაწყვეტილების შესაძლო შედეგების შეფასება.

პროგნოზირების მასშტაბების მიხედვით გამოყოფენ მაკროეკონომიკურ (სახალხო მეურნეობრივი), რეგიონალთშორისი და დარგთაშორისი პროგნოზი, საერთო მეურნეობრიობის პირველადი რგოლები (წარმოება და ორგანიზაცია), ასევე ცალკეული წარმოებების და პროდუქციის.

პროგნოზის გათვლის დროის ინტერვალის მიხედვით გამოყოფენ ოპერატიულ (პროგნოზირებას, გათვლის დრო – ერთ თვემდე), მოკლევადიანს – (ერთი თვიდან წლამდე), საშუალო ვადიანს – (წლიდან 5 წლამდე), გრძელვადიანს (5-დან 15–20 წლამდე) და შორეულ ვადიანს (20 წელზე მეტი). პროგნოზირების გათვლის დროის პერიოდად ითვლება დროის მონაკვეთი იმ მომენტიდან, რომლიდანაც არსებობს შესასწავლი ობიექტის ბოლო სტატისტიკური მონაცემები იმ მომენტამდე სადამდეც ვრცელდება პროგნოზი.

გამოსაკვლევი ობიექტების ხასიათის მიხედვით გამოყოფენ პროგნოზის შემდეგ სახეებს: ეკონომიკური, ბუნებრივი რესურსების და ბუნებათსარგებლობის, ეკოლოგიური, სამეცნიერო-ტექნიკური, დემოგრაფიული, სოციალური განვითარების და სხვა.

ბუნებრივი რესურსების პროგნოზი ხასიათდება მათი ჩართულობით სამეურნეო ბრუნვაში და მოიცავს ყველა სახეობას საზოგადოებრივი კვლავწარმოების და ბუნებრივ გარემოს: სათბობი და მინერალური რესურსები, მსოფლიო ოკეანის რესურსები, ენერჯის ზოგიერთი სახეები, მცენარეული და ცხოველთა სამყარო [3].

პროგნოზი ბუნებათსარგებლობაში ეს არის წინასწარგანჭვრეტა ბუნებრივ-რესურსული პოტენციალის და ბუნებრივ რესურსებზე მოთხოვნილების ცვლილების დინამიკა ლოკალურ, რეგიონალურ და გლობალურ მასშტაბებში. გამოყოფენ ბუნებათსარგებლობის პროგნოზების შემდეგ სახეებს:

- გარემომცველ ბუნებრივ გარემოზე ზემოქმედების პროგნოზი – სამეურნეო საქმიანობის ბუნებრივ გარემოზე ზემოქმედების შედეგად გარემოში ცვლილებების წინასწარგანჭვრეტა;

- გარემომცველი ბუნებრივი გარემოს ცვლილებების პროგნოზი – წინასწარგანსაზღვრა გარემოს საგრძნობი ცვლილებების, რომელიც ხდება რთული ჯაჭვური რეაქციით და დაკავშირებულია ადამიანის გარემოზე, როგორც პირდაპირი ისე ირიბი ზემოქმედებით;

- ბუნებრივი რესურსების გამოყენების პროგნოზი – წინასწარი განსაზღვრა ბუნებრივი რესურსების მოცულობის, რომლებიც შეიძლება ჩაებნენ სამეურნეო ბრუნვაში ეკონომიკური, სოციალური, ტექნიკური შესაძლებლობების და შეზღუდულობის გათვალისწინებით;

- ეკოლოგიური პროგნოზი – ბუნებრივი სისტემების შესაძლო მოქმედებების წინასწარგანსაზღვრა, გამოწვეული ბუნებრივი პროცესების და ადამიანის ზემოქმედებით.

ბუნებათსარგებლობის პროგნოზირების მიზანია საპროგნოზო ინფორმაციის გამოყენების საფუძველზე ანთროპოგენური ზემოქმედების შედეგების შეფასება და მისი ეკოლოგიურ-ეკონომიკური ეფექტიანობის ამაღლება.

ბუნებათსარგებლობის პროგნოზირების ამოცანებია:

- გარემოს დაბინძურების მოსალოდნელი შედეგების შეფასება;

- გარემოს ბუნებრივ მდგომარეობასა და პირობებში ჩარევის შედეგების შეფასება;

- ბუნებრივად მიმდინარე პროცესების განვითარების პროგნოზირება;

- ბუნებრივ-რესურსულ პოტენციალის პროგნოზული შეფასება;

- ადამიანსა და ბუნებას შორის კოევილუციის გზების მოძებნა.

ბუნებათსარგებლობის პროგნოზირება გაგებული უნდა იქნას, როგორც დასაბუთებული მეცნიერული მსჯელობა ბუნებრივი ობიექტების ან მოვლენების შესაძლო მდგომარეობაზე მომავალში და ძიება ზემოქმედების საშუალებების მათთვის აუცილებელი თვისებების ან განვითარების მიმართულებების მინიჭების მიზნით.

ბუნებათსარგებლობის პროგნოზირების აუცილებლობა განიხილება ორი მიმართულებით: გარემოს დაცვა და ეკონომიკა. ორივე მიმართულება ერთმანეთს არათუ გამორიცხავს არამედ ავსებს.

- ეკოლოგიის და გარემოს დაცვის თვალსაზრისიდან ბუნებათსარგებლობის პროგნოზირების აუცილებლობა მდგომარეობს გარემოს ანთროპოგენური ცვლილებების შედეგების შეფასებაში როგორც ადამიანთან ისე ბიოსფეროსთან დამოკიდებულებაში მთლიანად, ასევე ადამიანსა და ბუნებას შორის ურთიერთობის სტრატეგიული მიმართულების დასაბუთებაში [4].

- ეკონომიკის თვალსაზრისიდან ბუნებათსარგებლობის პროგნოზირების აუცილებლობა განპირობებულია ფინანსური, მატერიალური და შრომითი რესურსების გამოყენების ეკონომიკური ეფექტიანობის ამაღლებით, როგორც წარმოებით ისე ბუნების დაცვით სფეროში.

ბუნებათსარგებლობის პროგნოზისადმი არსებობს გარკვეული მოთხოვნები, კერძოდ,

- ბუნებრივი ობიექტის, ეკოსისტემის ან მთლიანად ბიოსფეროს მდგომარეობის ცვლილება.

- პროგნოზირებადი მოვლენების დადგომის დრო და ალბათობა.

- პროგნოზირებადი მოვლენების განვითარების შემთხვევაში წარმოქმნილი შედეგები ეკოსისტემის, ბიოსფეროს, ადამიანის და ეკონომიკისთვის.

- პროგნოზირებადი მოვლენების აღკვეთის ან პირიქით, ხელის შეწყობის გზები.

- პროგნოზირებადი მოვლენების აღკვეთის ან ხელის შეწყობისთვის აუცილებელი დანახარჯების ფორმა და სიდიდე.

- გარემოს გარდაქმნის დასაშვები მასშტაბების ეკოლოგიური საზღვრები.

- პრობლემის გადაწყვეტის ალტერნატიული გზები.

პროგნოზირება ბუნებათსარგებლობაში ეყრდნობა შემდეგ პრინციპებს: სისტემურიობის, მეცნიერულად დასაბუთების, ადეკვატურობის, ალტერნატიულობის და მიზანმიმართულობის.

პროგნოზირების სისტემურიობის პრინციპი გვთავაზობს სოციალურ-ეკონომიკურ სისტემაში რაოდენობრივ და ხარისხობრივ კანონზომიერების კვლევას, რომელიც აგებულია ისეთი კვლევის ჯაჭვის ლოგიკით, რომლის თანახმად შემუშავების პროცესი და ნებისმიერი გადაწყვეტილების დასაბუთება გამომდინარეობს სისტემის საერთო მიზნის განსაზღვრებით და შეიცავს ყველა ქვესისტემის საქმიანობას. ამასთან, მოცემული სისტემა განიხილება, როგორც ნაწილი უფრო მსხვილი სისტემის, რომელიც ასევე შედგება განსაზღვრული რაოდენობის ქვესისტემებისგან.

მეცნიერულად დასაბუთებულობის პრინციპი ნიშნავს ყველა დონის პროგნოზში ყველა ობიექტური ეკონომიკური კანონების მოთხოვნების ყოველმხრივი აღრიცხვა უნდა ეყრდნობოდეს მეცნიერულ ინსტრუმენტის გამოყენებას, პროგნოზების ფორმირებისას სამამულო და საზღვარგარეთის გამოცდილების და მიღწევების დრო შესწავლას.

პროგნოზის ადეკვატურობის პრინციპი (თანაბარი, იგივე, მთლიანად შესაბამისი) - ობიექტური კანონზომიერებით ახასიათებს არა მხოლოდ გამოვლენის პროცესს, არამედ შეფასებას მდგრადი ტენდენციების და მეურნეობრიობის განვითარების ურთიერთკავშირების და ობიექტური პროცესების თეორიული ანალოგების შექმნის ამგვარად გამოვლენილი ტენდენციების რეალიზაციის ალბათობის შეფასებას.

პროგნოზირების ალტერნატიულობის პრინციპი (ამორჩევის აუცილებლობა ორი ან მეტი შესაძლებლობიდან), პროგნოზირება დაკავშირებულია მეურნეობის კომპლექსის და მისი ცალკეული რგოლების განვითარების სხვადასხვა შესაძლებლობების განსაზღვრა და ამორჩევა ორი ან მეტი შესაძლებლობებიდან, რომლებიც ხშირად შეიძლება ურთიერთსაწინააღმდეგო და ურთიერთგამომრიცხავნიც იყვნენ.

მიზანმიმართულობის პრინციპი განსაზღვრავს პროგნოზირების აქტიურ ხასიათს, რადგანაც პროგნოზის შინაარსი არ შემოიფარგლება მხოლოდ წინასწარმეტყველებით, არამედ შეიცავს მიზანსაც, რომელიც მიიღწევა მმართველი ორგანოების აქტიური მოქმედებით.

პროგნოზის მეთოდოლოგიის პრინციპს წარმოადგენს ობიექტის ყოველმხრივი გამოკვლევა, მისი განვითარების კანონზომიერების არსებითი კავშირების გამოვლენა. მაგალითად, პროგნოზის მაღალი ალბათობის, უეჭველობის პრეტენდენტობის შემთხვევაში აუცილებელია მხედველობაში მიღებული იქნას ისეთი კანონზომიერებები, როგორებიცაა ბ. კომონერის ეკოლოგიის „კანონები“: [5]

- ყველაფერი დაკავშირებულია ყველაფერთან;

- ყველაფერი სადღაც მიემართება (ყველაფერი სადღაც უნდა წავიდეს);

- ბუნებამ უკეთ იცის;

- არაფერი არ მოდის ტყუილუბრალოდ, (უსასყიდლოდ).

აღნიშნულ კანონებს აქვს სხვადასხვა განმარტებები, განვიხილოთ ზოგიერთი მათგანი:

1. ყველაფერს უკავშირდება ყველაფერი (კანონი ბუნებაში საგნების და ფენომენების უნივერსალური კავშირის შესახებ). გარემომცველ სამყაროში ყველა კომპონენტი დაკავშირებულია ერთმანეთთან, თუკი კაცობრიობა აზიანებს ბიოსფეროს ერთ ადგილს იგი აუცილებლად აისახება მეორეზე;

2. ყველაფერი უნდა წავიდეს სადმე.

კანონი მიუთითებს ნივთიერებათა ჩაკეტილი წრებრუნვის და ბიოსფეროს სტაბილურ არსებობის აუცილებლობას. ნებისმიერი საკითხი, ენერგია, ან ნივთიერება არ ქრება, არამედ გადადის არსებობის ერთი ფორმადან მეორეზე და გავლენას ახდენს გარემოზე.

3. ბუნებამ „უკეთ იცის“ (კანონი ევოლუციური შერჩევის მთავარი კრიტერიუმის შესახებ).

ბუნებამ „უკეთ იცის“, რადგან მისი პრაქტიკული გამოცდილება შეუდარებლად აღემატება ადამიანის პრაქტიკულ გამოცდილებას. ეს ნიშნავს, რომ კაცობრიობამ გულდასმით უნდა შეისწავლოს ბუნებრივი ეკოსისტემები და შეგნებულად შეეხოს ტრანსფორმაციულ საქმიანობას. უნდა შეიქმნას ისეთი პირობები, რომ ბუნებრივი ობიექტები არსებობდნენ მათი ბუნებრივი რეგულირებით;

4. არაფერია მოცემული უფასოდ (საჩუქრად არაფერია).

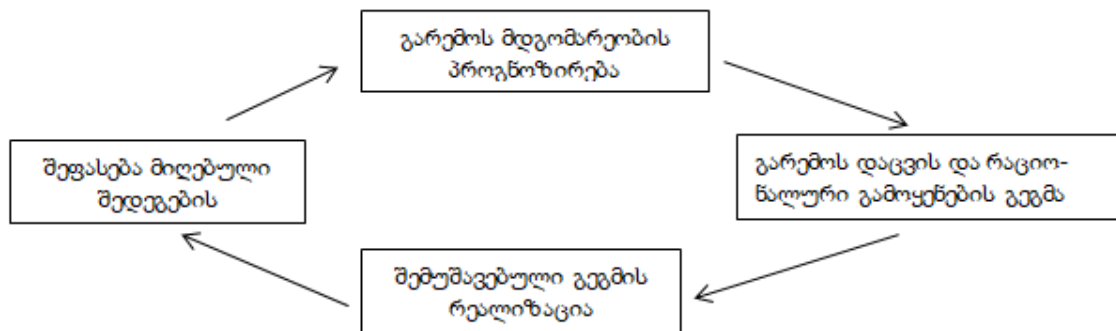
გლობალური ეკოსისტემა არის ერთიანი მთლიანობა, რომლის ფარგლებშიც ვერაფერი მოიპოვება ან დაიკარგება. ამრიგად, ყველაფერი, რაც კაცობრიობას ეკოსისტემებიდან იღებს, მისი საჭიროებების დასაკმაყოფილებლად, უნდა დაბრუნდეს ან შეიცვალოს.

ასე რომ, ბ. კომონერის „კანონებში“ ყურადღება ექცევა ბუნებრივ პროცესებსა და მოვლენებს შორის უნივერსალურ კავშირს [1,5].

პროგნოზირება – ბუნებათსარგებლობის საქმიანობის რეგულირების პირველი ეტაპია, ის წინ უსწრებს გეგმის შემუშავებას. ამასთან პროგნოზი, რომელიც იძლევა ობიექტის განვითარების შეფასებას მომავალში, გამოდის როგორც მათრიენტებელი ფაქტორი არსებული პრაქტიკის დაგეგმვის გარკვეული მიზნის მისაღწევად.

რეგულირების მეორე სტადიას წარმოადგენს უშუალოდ დაგეგმარება, რომელიც ვერ იქნება ეფექტური წინასწარი პროგნოზირების გარეშე. ამ შემთხვევაში მუდგანდება, სწორედ პროგნოზირების და დაგეგმარების ერთიანობა. შემდგომში ხდება შემუშავებული გეგმის რეალიზაცია და მათი შედეგების შეფასება, რაც სქემატურად ასე გამოისახება

ბუნებათსარგებლობის საქმიანობის რეგულირების ციკლი



ბუნებათსარგებლობის რეგულირებაში და სამეურნეო საქმიანობაში მთლიანად, პროგნოზირება ასრულებს შემდეგ ფუნქციებს: განსაზღვრავს დაგეგმარების საზღვრებს; აფასებს მოსალოდნელი ცვლილებების ალბათობას; დამგეგმარებელ ორგანიზაციებს უზრუნველყოფს გეგმის შედეგებისათვის აუცილებელი საწყისი მონა-

ცემებით; დამგეგმარებელ ორგანიზაციებს საშუალებას აძლევს მიზნის მისაღწევი გზების არჩევის შესაძლებლობებს.

#### ლიტერატურა

1. გ. მჭედლიშვილი, ნ. ჩხუბიანიშვილი, შ. ანდლუღაძე. ბუნებათსარგებლობის ეკონომიკა და პროგნოზირება. -თბილისი, ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2017, 90 გვ.
2. ნ. ჩხუბიანიშვილი, გ. მჭედლიშვილი, მ. დემეტრაძე. ეკოლოგია და გარემოს დაცვა. – თბილისი, ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2008, 85 გვ.
3. გ. მჭედლიშვილი, შ. ანდლუღაძე, ნ. ჩხუბიანიშვილი. ბუნებრივი რესურსების ეკოლოგიურ-ეკონომიკური შეფასების თეორიული ასპექტები. //აკადემიკოს გივი ცინცაძის დაბადებიდან 85 წლისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო-სამეცნიერო-მეთოდური კონფერენცია „ქიმია - მიღწევები და პერსპექტივები“. -თბილისი, 2018, გვ. 222.
4. А.Е. Воробьев, В.В. Дьяченко, О.В. Вильчинская, А.В. Корчагина. Основы природопользования. -Ростов-на-дону, Феникс, 2007, 544 с.
5. Экономика природопользова. Под редакцией К.В. Папенова. -М., Издательство Московского университета, 2008, 928 с.

#### SUMMARY

#### PREDICTION AND ITS IMPORTANCE IN NATURE USE

Mchedlishvili G.S. and Mamulashvili M.A.

Georgian Technical University

Current problems in the process of nature use are discussed; the protection of environment and nature use the need for rationalization measures and the importance the scientific forecasting in the development of socio-economic sphere. A characteristic of forecasting as an integral part of science is given, types of forecasts and sources of information are described, classification of forecasting according to different indicators are presented. Separately highlighted in nature use forecast, its definition, types, purpose and tasks. The focus is on predicting nature use, in particular, from an environmental and economic perspective. The basic requirements that must be taken into account when forecasting are also given. It is characterized by the necessary principles on which the forecasting of nature use must be based. On the basis on the principle of forecasting methodology, a certain connection is established between B. Commoner's "laws" of ecology and between forecasting. Finally, a scheme of the nature use regulation cycle is presented, in which forecasting is considered as the first stage of this activity, with an explanation of its main functions.

**Keywords:** forecasting, nature use, environmental protection, economy, evaluation.

**რადონის ზემოქმედებით განპირობებული რისკების შეფასება  
თბილისის ზობიერში უბანში**

ფაღაფა ს.გ., გორგაძე კ.მ., დეკანოსიძე შ.გ., მეცხვარიშვილი მ.რ.,  
კალანდაძე ი.გ. ლომსაძე ხ.ა., ხიზანიშვილი შ.მ., რუსეცკი ვ.თ., გიორგაძე ი.ს.

**საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინსტიტუტი „ტალღა“**

რადონი ( $^{219, 220, 222}\text{Rn}_{86}$ ) – რადიაქტიური, ერთატომიანი, უფერო და უსუნო აირია, მისი სიმკვრივე 8-ჯერ აღემატება ჰაერის სიმკვრივეს და განთავსებულია რადიაქტიური  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ელემენტების ქიმიურ რიგში. ბუნებაში მისი ბირთვები მუდმივად წარმოიქმნებიან დედამიწის ქერქში არსებული ელემენტების ბირთვების რადიაქტიული დაშლის შედეგად. წარმოქმნილი რადონი ადვილად ტოვებს საწყის ნივთიერებას ინერტულობის გამო და ხვდება მიწისქვეშა წყალებში, ჰაერსა და ბუნებრივ აირებში.

რადონის იზოტოპებიდან ყველაზე დიდი სიცოცხლის ხანგრძლივობა აქვს  $^{222}\text{Rn}$ . დედამიწის ქერქში მისი მასური შემცველობაა  $7 \cdot 10^{-16} \%$ . ის ადვილად ერევა მიწისქვეშა წყლებს. წყალთან ერთად ადვილად ამოდის დედამიწის ზედაპირზე და ხვდება ჰაერში. გარდა ამისა, ორგანულ საწვავზე (ნავთობი, ქვანახშირი, მახუთი) მომუშავე საწარმოებიდან რადონი ხვდება ატმოსფეროში.

საცხოვრებელ ბინებში რადონის მოხვედრის ერთ-ერთი ძირითადი წყაროა შენობის საძირკვლის ქვეშ გრუნტში არსებული ბზარები. თუმცა, შენობაში ის, აგრეთვე, საშენი მასალის ფორებიდან, იატაკში არსებული ხვრელებიდან ხვდება. აღსანიშნავია ისიც, რომ გათბობის მიზნით შენობის ჰერმეტიზაცია ხელს უწყობს რადონის კონცენტრაციების გაზრდას.

მიმდინარე კვლევები ეფუძნება რიგი საერთაშორისო ორგანიზაციების და კერძოდ, გაერო-ს „ატომური რადიაციის ზემოქმედების შემსწავლელი სამეცნიერო კომიტეტის“ (UNSCEAR), გაერო-ს „ეკონომიკური კომისიის ევროპის განყოფილების“ (UNECE), „ატომური ენერჯის საერთაშორისო სააგენტოს და შრომის დაცვის საერთაშორისო ბიუროს“ (IAEA/ILO), „ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის კიბოს კვლევის საერთაშორისო სააგენტოს“ (WHO/IARC), „რადიოლოგიური დაცვის საერთაშორისო კომისიის“ (ICRP), აშშ-ს „გარემოს დაცვის სააგენტოს“ (USEPA), დადგენილებებსა და სახელმძღვანელო მითითებებზე, რომელთა გაცნობიერება და დანერგვა რეკომენდებულია მსოფლიოს ყველა განვითარებულ თუ განვითარებად სახელმწიფოებში. ადამიანის ორგანიზმზე რადონის იზოტოპების ( $^{219, 220, 222}\text{Rn}_{86}$ ) და მათი დაშლის პროდუქტების ( $^{210, 211, 212, 214}\text{Pb}_{82}$ ), ( $^{210, 211, 212, 214}\text{Bi}_{83}$ ) და ( $^{210, 212, 214, 215, 216, 218}\text{Po}_{84}$ ) ზემოქმედების შემცირება, წარმოადგენს რადიაციული უსაფრთხოების ერთ-ერთ პრიორიტეტულ ამოცანას [1-8].

საყურადღებოა ის ფაქტი, რომ შესაძლებელია შენობებში რადონით განპირობებული მცირე დასხივებები ხანგრძლივი პერიოდების განმავლობაში უფრო მეტ რისკებთან იყოს დაკავშირებული, ვიდრე დიდი დოზით დასხივებები მოკლე პერიოდების განმავლობაში.

ყოველ წუთში ადამიანის ფილტვში ხვდება მილიონობით რადონის რადიაქტიური ატომი. რადონის და მისი დაშლის პროდუქტები მოხვდება რა ადამიანის ზოგიერთ ორგანოსა და ქსოვილში, ლიმფისა და სისხლის მეშვეობით ვრცელდება მთელს ორგანიზმში და იწვევს მის მასიურ, შინაგან დასხივებას. შედეგად, შეიძლება მივიღოთ შემდეგი ფუნქციური დარღვევები: თავბრუსხვევა, შაკიკი, ასთმური შეტევა, დეპრესია და ა.შ. მაგრამ, ყველაზე დიდ საფრთხეს წარმოადგენს ადამიანის ფილტვის ქსოვილის შინაგანი დასხივება, რაც მის კიბოს იწვევს.

აღსანიშნავია, რომ ძირითადი საფრთხე განპირობებულია არა უშუალოდ რადონის იზოტოპიდან, არამედ რადიაქტიური დაშლის შედეგად მისგან მიღებული ნივთიერებების მცირე სიცოცხლის ხანგრძლივობის მქონე იზოტოპის რადიაქტიური დაშლის დროს წარმოქმნილი მაიონიზებული გამოსხივებით. განსაკუთრებით აღსანიშნავია – გამოსხივება, რომლის დამაზიანებელი ბიოლოგიური ზემოქმედების ეფექტურობა  $\beta$ - და  $\gamma$ -გამოსხივებაზე დაახლოებით 20-ჯერ მაღალია. ჰაერში არსებული რადონის იზოტოპების დაშლის აღსორბირებული პროდუქტები შესაძლოა სუნთქვის ორგანოებით მოხვ-

დნენ ადამიანის ორგანიზმში. რადონის დაშლის შედეგად წარმოქმნილი რადიაქტიული პროდუქტის მნიშვნელოვანი ნაწილი ჰაერიდან სწრაფად გამოიღვებება და ილექება კედლების, იატაკის და სხვადასხვა საგნების ზედაპირზე. ამ დასხივების დიდ ნაწილს ადამიანი იღებს „ცული“ ვენტილაციის მქონე შენობებში ყოფნისას და არა მის გარეთ არსებული ატმოსფერული ჰაერიდან. შენობის და ატმოსფეროს ჰაერში არსებული რადონის კონცენტრაციები რამდენჯერმე განსხვავდება ერთმანეთისგან.

საქართველოში აქტუალური გახდა რადონის ტესტირების საკითხი საცხოვრებელ სახლებში, სკოლებსა და სხვა საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობებში, რადგან გაერო-ს ეკონომიკური კომისიის ევროპის განყოფილების (UNECE) მიერ ჩატარებული საქართველოს გარემოს დახასიათების 2003 წლის ანგარიშის [9] XIV-ე თავში „ადამიანის ჯანმრთელობა და გარემო“ ხაზგასმულია, რომ „საქართველო წარმოადგენს ქვეყანას რადონის გამოსხივების პოტენციურად მაღალი დონეებით, რადგან მისი გეოლოგიური ფორმაციები ხასიათდებიან ურანის მაღალი შემცველობით, ხოლო მრავალი შენობა აგებულია ადგილობრივი წარმოების მასალებით“. „საქართველოს პირობებში შენობებში რადონით დასხივება პოტენციურად სერიოზული პრობლემაა და ამიტომ ურბანულ გარემოში რადონის მონიტორინგს პრიორიტეტი უნდა მიენიჭოს მოსახლეობის რადიაციისაგან დაცვის მიზნით“.

მიმდინარე პროექტის ფარგლებში, თბილისის „ვაკე-საბურთალოს“ ადმინისტრაციული რაიონის უბნებსა და „ნაძალადევი“ შერჩეულ ტესტ-ობიექტებზე დამზერილი რადონის კონცენტრაციები, ერთეული შემთხვევების გარდა, არ აღემატება ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის (WHO) მიერ დადგენილ სახელმძღვანელო ე.წ. „სამოქმედო დონეს“ – 148 ბკ/მ<sup>3</sup>.

მსოფლიოს ბევრ ქვეყანაში დღესდღეობით აწარმოებენ რადონის ეკოლოგიურ მონიტორინგს მრავალ შენობაში, რადგან გეოლოგიური ბზარების რაიონებში (რასაც სამწუხაროდ საქართველოშიც ხშირად ვხვდებით) მისი კონცენტრაცია შეიძლება იყოს ტოტალურად დიდი და მნიშვნელოვნად აღემატებოდეს საშუალო მაჩვენებელს დანარჩენ რეგიონებთან შედარებით.

ცხრილში და ნახაზზე წარმოდგენილია თბილისის სხვადასხვა უბანში ჩვენს მიერ გაზომილი რადონის კონცენტრაციის ცვლილების საზღვრები.

**ჰაერში რადონის კონცენტრაციის ცვლილების ფარგლები**

ცალკეული ტესტ-ობიექტები	კერძო ბინები, ბკ/მ <sup>3</sup>	საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობები, ბკ/მ <sup>3</sup>
ვაკის დასახლება	23 – 135	20 – 75
საბურთალოს დასახლება	28 – 75	5 – 117
დელისის დასახლება	47 – 315	41 – 375
ვეძისის დასახლება	20 – 36	92 – 94
ნაძალადევის დასახლება	35 – 70	20 – 55

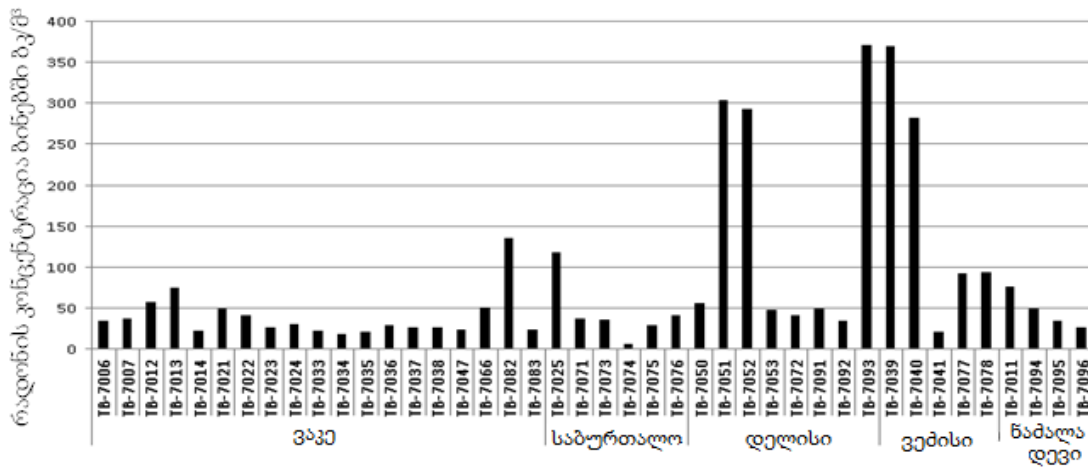
ამგვარად, თბილისის „ვაკე-საბურთალოს“ ადმინისტრაციული რაიონის უბნებსა და „ნაძალადევი“ შერჩეულ შენობა-ნაგებობების ცალკეულ ტესტ-ობიექტებზე დაიშორება რადონის კონცენტრაციის ცვლილება (20 – 375) ბკ/მ<sup>3</sup>-ის ფარგლებში.

აღსანიშნავია, რომ „ძველი თბილისის“ უბნებში (ვერა, მთაწმინდა, კალა, კრწანისი) ტესტ-ობიექტებზე ჩატარებული კვლევების შედეგად, ზემოაღნიშნულთან შედარებით, დამზერილი იქნა რადიკალურად განსხვავებული რეაღიები. კერძოდ, ტესტ-ობიექტების ჰაერში დამზერილი იქნა რადონის კონცენტრაციის მკვეთრი, ნახტომისებური ზრდა (30 – 710) ბკ/მ<sup>3</sup> ფარგლებში [10].

საყურადღებოა, რომ ზემოაღნიშნული განპირობებულია „ძველი თბილისის“ შემადგენელი უბნების მკვეთრად განსხვავებული გეოლოგიური სტრუქტურიდან გამომდინარე. „ძველი თბილისის“ უბნები გაშენებულია თრიალეთის ქედის მსხალ-დიდისა და მთაწმინდის ფერდობებზე, რომლებიც აგებულია ეოცენური ტერიგენული და ტუფოგენური ქანებით, რომლებიც ხასიათდებიან ხშირი რღვევებით და აღნიშნულის გამო, მაღალია ნიადაგიდან ატმოსფეროს ქვედა ფენებში რადონის ემანაცია. ასევე აღსანიშნავია, რომ „კრწანისის“ უბანში ფართოდ გამოიყენება ე.წ. „დიდი თბილისის“ თერმული წყლები ჰიგიენური და ბალნეოლოგიური მიზნებისათვის, რაც



ბუნებრივია, თავის მხრივ ასევე ზრდის რადონის კონცენტრაციას ატმოსფეროს ქვედა ფენებში.



**ვაკე-საბურთალოს და ნაძალადევის ადმინისტრაციული რაიონების ტესტირების დაზღვევის რადონის კონცენტრაციები**

ამგვარად, „ნაძალადევი“, „ძველი თბილისი“ და „ვაკე-საბურთალოში“ მდებარე კერძო და საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობა-ნაგებობების ცალკეულ ტესტირებებზე დაფიქსირებული რადონის კონცენტრაციებიდან გამომდინარე აუცილებელია, როგორც ამ სახის კვლევითი სამუშაოების გავრცობა-გაგრძელება, ასევე საქართველოში „რადონის ტესტირების ეროვნული პროგრამის“ შექმნა-განხორციელება, რაც ჯერ კიდევ 2003 და 2010 წლებში რეკომენდაციისა და მითითების სახით ჩამოყალიბებული იქნა გაეროს ეკონომიკური კომისიის ევროპის განყოფილების (UNECE) მიერ ჩატარებული საქართველოს გარემოს დახასიათების 2003 და 2010 წლების ანგარიშებში [8,9].

**ლიტერატურა**

1. WHO / IARC. Man Made Mineral Fibers and Radon., 1988 .
2. EPA. Protocols for Radon and Radon Decay Product Measurements in Homes, 1993
3. BEIRB-VI. Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR) VI Report: “The Health Effects of Exposure to Indoor“, EPA/NAS, February 19, 1998. (<http://www.epa.gov/iaq/radon/beirvil.html>).
4. UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UN, 2000.
5. IAEA. Radiation Protection Against Radon in Workplaces other than Mines., 2003.
6. EPA. Assessment of Risks from Radon in Homes, 2003.
7. 1st, 2nd, 3rd Newsletter, World Health Organization’s International Radon Project, 2005,6,7;
8. UNECE . Environmental Performance Review of Georgia -2003.
9. UNECE . Environmental Performance Review of Georgia -2010.
10. გორგაძე კ.მ., დეკანოსიძე შ.ვ., ფაღავას.ვ., რუსეცკი ვ.თ., ჯაფარიძე გ.შ., კალანდაძე ი.გ., ლომსაძე ხ.ა., ხიზანიშვილი შ.მ., მეცხვარიშვილი მ.რ. თბილისის ურბანულ პირობებში ადამიანის ჯანმრთელობისა და საარსებო გარემოს უსაფრთხოების დაცვა რადონისა და მისი დაშლის პროდუქტების ზემოქმედებისაგან. //საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, № 4, (Vol.88), 2018. გვ.50-53.

**SUMMARY**

**ASSESS THE RISKS POSED BY RADON EXPOSURE IN SOME DISTRICTS OF TBILISI**

**Paghava S.V., Gorgadze K.M., Dekanosidze Sh.V., Metskhvarishvili M.R., Kalandadze I.G., Lomsadze Kh.A., Khizanishvili Sh.M. and Rusetski V.T. and Giorgadze I.S.**

**Institute „Talga“ of Georgian Technical University**

In the article the limits of changes of the concentrations of radioactive gas of radon taken from test facilities in some districts of Tbilisi are presented. The danger of radon-induced radiation to the human body is emphasized. It should be noted that the main danger is not directly from the radon isotope, but from the ionizing radiation generated during the radioactive decay of the isotope with the short-lived isotope of substances obtained from radon by radioactive decay.

**Keywords:** radon, radioactive gas, short-lived isotope radioactive decay.

## ON DEFINITION OF DEFORMATION MODULUS OF GROUND BY LABORATORY METHOD

Giorgishvili O.G. and Salukvadze I.K.

Georgian Technical University

**Abstract.** The work mainly relates for definition of modulus of deformation by laboratory method. As we all know each ground has the ability to provide some resistance to the impact of external forces and by the latter's action to take some kind of deformation. By laboratory procedure (in compression devices) determination of  $E_0$  gives the low value of its magnitude in comparison with determined by field procedure value. The aim of our work is to determine the cause of this difference. For this we carry out the special tests and have developed a new method for the laboratory testing of ground, which better illustrates the real conditions of foundation behavior. The obtained results will give the possibility to raise the issue of change the ground  $E_0$  determination laboratory method. Our goal is by carried out test by these three methods finally interpret the obtained results.

**Keywords:** geology, soil, clay soil, deformation modulus, uneven sitting.

The main essence of the work lies in the fact that we wish to say new word in the construction practice on the determination of the ground deformation modulus. As is known, there are two main methods of determining the ground deformation modulus: definition of ground compressibility without the lateral widening (compression) the definition of and field method. The determined by second method deformation modulus is the closest to natural deformation modulus, but is not used in construction practice, because the conducting of this test is related with large financial expenses. For this, we have developed a new method that is closer to the field method [1,2].

Initially was selected site (Georgia. Tbilisi, Didi Digomi territory), from which we make test samples. The test samples were delivered to the Educational, Scientific and Expertise and Laboratories of Georgian Technical University.

On the first stage we determine the existing ground (clay) physical-mechanical properties. After this we carried out test by laboratory procedure, to determine the ground compressibility (compression) without the lateral widening. The testing sample has thickness - 20 mm, and diameter - 71.4 mm. On the other hand, at sample preparation never was maintained the ground natural structure. In addition, the negative side of the test method represents in the shortage of time that usually will not exceed few hours, while the duration of clayey soil deformation is large in real-time conditions (Fig.1).

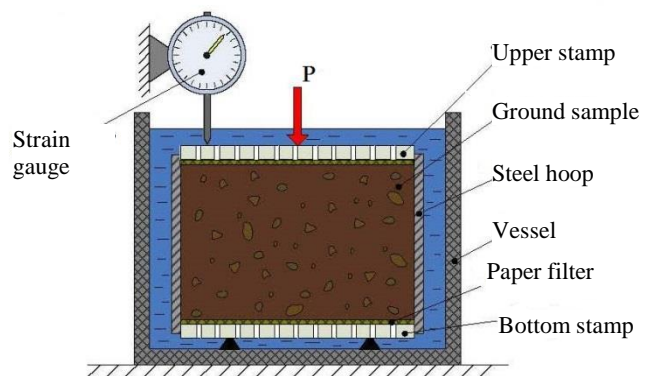


Fig. 1. The compression device and its scheme

The ground general deformation modulus is calculated by the following formula

$$E = \beta \frac{1 + e_{in}}{\alpha} kg/cm^2 \quad (1)$$

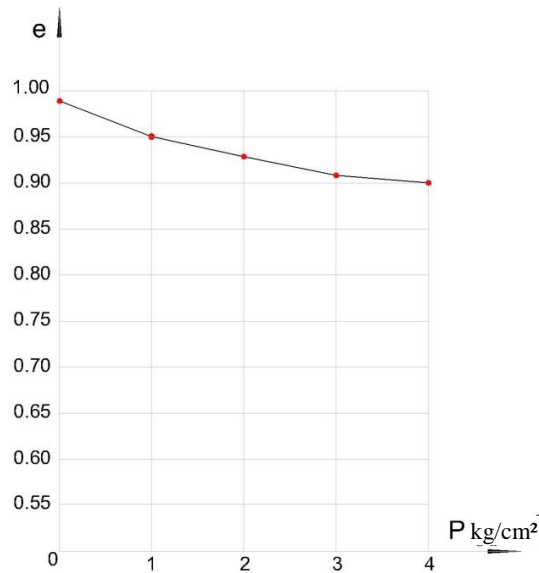
where  $\beta = 0,8$  – is the correcting coefficient,  $\alpha$  – is the ground coefficient of compressibility,  $e$  – is the porosity factor.

$$a = \frac{e_1 - e_3}{\sigma_3 - \sigma_1} \text{ cm}^2 / \text{kg} \quad (2)$$

The samples were tested at increasing loads and due with the increase of consolidation the deformations gradually decreases; in order of their measurement accuracy the load was increased as follows: 1,0; 2,0; 3,0; 4.0 kg/cm<sup>2</sup>. The obtained results are presented in the form of Tables №1 and diagram (Fig. 2).

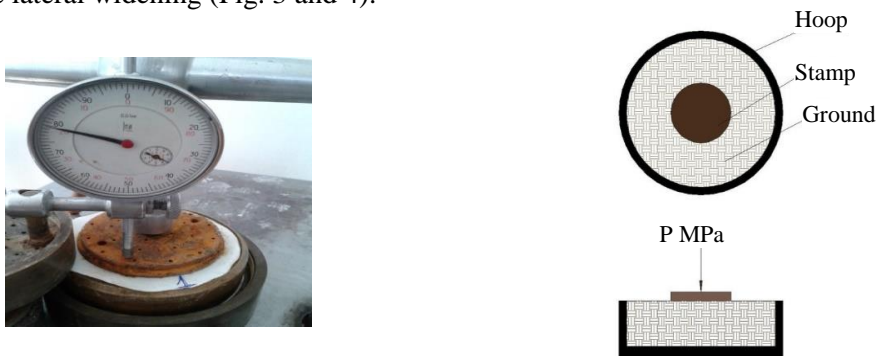
**Table 1. Definition of Deformation Modulus**

Vertical load	P	kg/cm <sup>2</sup>	0	1.0	2.0	3.0	4.0
Porosity factor	e	-	0.98	0.95	0.93	0.91	0.90
Coefficient of compressibility	$\alpha$	cm/kg <sup>2</sup>	0	0,03	0,02	0,02	0,01
Deformation modulus	New meth..	E	kg/cm <sup>2</sup>	0	52	76	150



**Fig. 2. Diagram. Determination of the deformation modulus by a new method**

On the second stage we determine the deformation modulus of same ground sample (clayey) by new proposed method, the test process was similar as at compression, with only one difference, we have the lateral widening (Fig. 3 and 4).



**Fig. 3. The new proposed method with lateral widening**

Table 2. Definition of Deformation Modulus

Vertical load	P	kg/cm <sup>2</sup>	0	1.0	2.0	3.0	4.0
Porosity factor	e	-	0.74	0.71	0.69	0.67	0.66
Coefficient of compressibility	$\alpha$	cm/kg <sup>2</sup>	0	0,03	0,02	0,02	0,01
Deformation modulus	Comp. E	kg/cm <sup>2</sup>	0	46	67	68	133

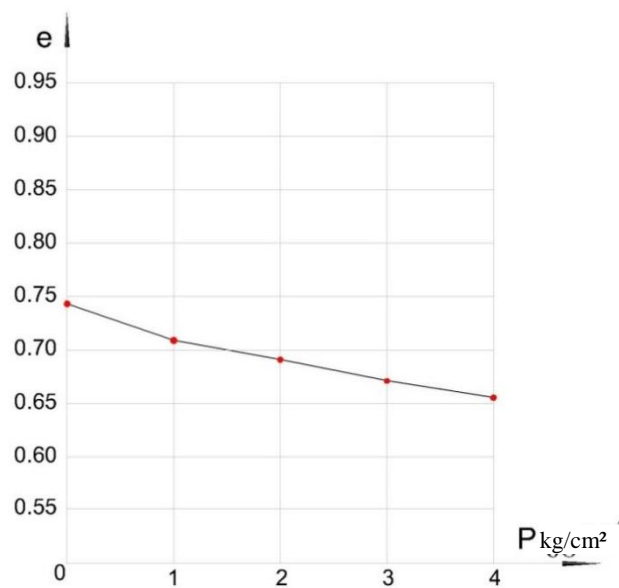


Fig. 4. Diagram. Determination of the deformation modulus by compression method

On the third stage we conducted the tests in field conditions. On the site from which we made samples used in the previous two tests. In the laboratory tests, as well as in field tests, the loads were applied gradually by metal standard sizes circular stamp. The load was applied by hydraulic jacks. The test was continued until up to surface cracks initiation (Fig. 5 and 6).

$$E = (1 - \mu^2) \frac{P}{Sd}, \quad (3)$$

where  $\mu$  – is the Poisson's ratio; P – is the loading on stamp, kg; S – is the final settling; d – is the diameter of stamp.



Fig. 5. Hydraulic jack

Table 3. Definition of Deformation Modulus

Vertical load	P	kg/cm <sup>2</sup>	0.5	1000	2000	3000	4000
Final settling	S	cm	0	0,1	0,17	0,26	0,43
Deformation modulus	Field	E	kg/cm <sup>2</sup>	0	71,25	62,87	41,42

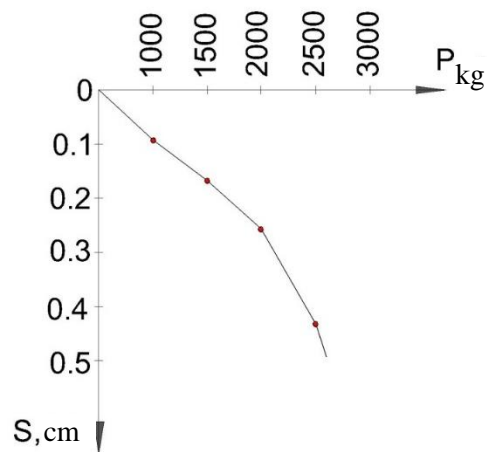


Fig. 6. Diagram. Determination of the deformation modulus by field method

Final comparison of the results obtained with three experiments (Fig. 7).

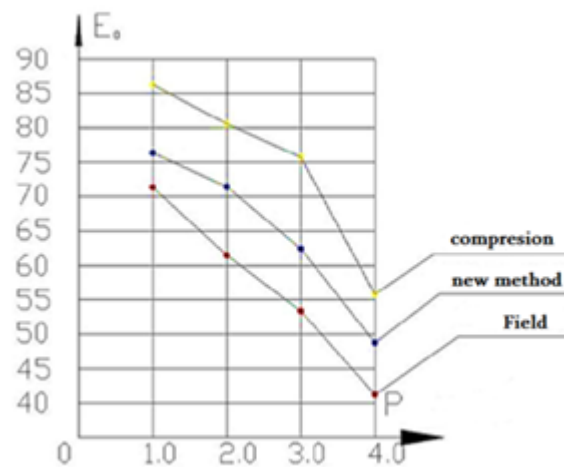


Fig. 7. Final results of the experiment

### CONCLUSION

As is shown, the results of field test and a new method proposed by us (with lateral widening) are closer to each other than to the obtained by compression (without lateral widening) results. Our goal is to say new word on determination of deformation modulus in construction codes and we introduce the issue to make change or make addition in acting in Georgia standards accordingly of the offered new method.

### REFERENCES

1. G. Chokhonelidze, D. Kvachadze, I. Mshvidobadze. Engineering buildings. -Tbilisi, 2011, 204 p.
2. Arnold Verruijt. SOIL MECHANICS. Delft University of Technology. Netherlands 2006, 315 p.

### РЕЗЮМЕ

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТА ЛАБОРАТОРНЫМ МЕТОДОМ

გიორგიშვილი ო.გ., სალუკვაძე ი.კ.

გურიის ტექნიკური უნივერსიტეტი

Работа в основном посвящена определению модуля деформации путем лабораторного исследования. Как мы знаем, каждый грунт способен противостоять определенному влиянию внешним силам и получить определенные виды деформации под их действием. Определение  $E_0$  в лабораторных условиях (в компрессионных приборах) дает малое значение его величины по сравнению с величиной, определенной в полевых условиях. Цель нашей работы и есть определить причину этой разницы. Для этого мы проводим специальные испытания и разработали новый метод лабораторных испытаний грунта, который лучше отражает реальные условия работы основания. Полученные результаты дадут возможность поставить вопрос об изменении лабораторного метода определения грунта  $E_0$ . Нашей целью является окончательно интерпретировать результаты полученные в процессе экспериментов проведенных этими тремя методами.

**Ключевые слова:** геология, грунт, глинистый грунт, модуль деформации, неравномерное сидение.

ჰააგენ-პუაზეილის დინება სადაწნეო მილში და ბარომემბრანული პროცესები

ბიბილეიშვილი გ.გ., ყუფარაძე ლ.პ., კაკაბაძე ე.გ., ომსარაშვილი თ.ი.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტი

ნაშრომში ნავიე-სტოქსის უკუმში, ბლანტი სითხის დაუმყარებელი მოძრაობის განტოლებების ბაზაზე, ცილინდრულ კოორდინატებში გამოყვანილია ჰააგენ-პუაზეილის მოძრაობის განტოლება და დადგენილია მოძრაობის სიჩქარის ანალიზური სახე. რეინოლდსის რიცხვის საშუალებით სადაწნეო საკანში სითხის მოძრაობის დამახასიათებელი მნიშვნელობებით შესწავლილია ბარომემბრანულ პროცესებში სხვადასხვა რეჟიმების განხორციელებისათვის სიჩქარეების დიაპაზონი.

უკუმში ბლანტი სითხის დაუმყარებელი მოძრაობის ნავიე-სტოქსის განტოლებებს ცილინდრულ კოორდინატებში აქვს შემდეგი სახე [1,2]:

$$\frac{\partial v_r}{\partial r} \frac{dr}{dt} + \frac{\partial v_r}{\partial \varphi} \frac{d\varphi}{dt} + \frac{\partial v_r}{\partial z} \frac{dz}{dt} + \frac{\partial v_r}{\partial t} - \frac{v^2 \varphi}{2r} = -\frac{v^2 \varphi}{2r} - \frac{1}{\rho} + \frac{\partial P}{\partial r} + v \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r v_r) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_r}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} - \frac{v_r}{r^3} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} \right] \quad (1)$$

$$\frac{\partial v_\varphi}{\partial r} \frac{dr}{dt} + \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} \frac{d\varphi}{dt} + \frac{\partial v_\varphi}{\partial z} \frac{dz}{dt} + \frac{\partial v_\varphi}{\partial t} + \frac{v_r v_\varphi}{r} = -\frac{v_r v_\varphi}{r} - \frac{1}{\rho} + \frac{\partial P}{\partial \varphi} + v \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r v_\varphi) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_\varphi}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 v_\varphi}{\partial z^2} - \frac{v_\varphi}{r^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial v_z}{\partial r} \frac{dr}{dt} + \frac{\partial v_z}{\partial \varphi} \frac{d\varphi}{dt} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \frac{dz}{dt} + \frac{\partial v_z}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + v \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_z}{\partial \varphi^2} \right) \quad (3)$$

და შესაბამისი უწყვეტობის განტოლება იქნება:

$$\frac{\partial (r v_r)}{\partial r} + \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

უკუმში ბლანტი სითხის ერთგანზომილებიანი დამყარებული მოძრაობის განტოლების მისაღებად განიხილება სითხის მოძრაობა მუდმივი სიბლანტისა და მუდმივი წნევის სხვაობით. სითხის ნაწილაკები გადაადგილება ჰააგენ-პუაზეილის მოძრაობის მიხედვით, მილსადენის ღერძის პარალელურად. დამყარებული მოძრაობის პირობის -  $\frac{\partial v_r}{\partial t} = \frac{\partial v_\varphi}{\partial t} = \frac{\partial v_z}{\partial t} = 0$ , სიჩქარის კომპონენტების -  $v_r = v_\varphi = 0, v_z \neq 0$  და

სასაზღვრო პირობის - მილსადენის კედელზე ნაწილაკის სიჩქარის განულების ( $r = R, v_z = 0$ ) გათვალისწინებამ განტოლება (1) და (2) იგივეურად ნული გახადა. განტოლება (3)-დან მიიღება:

$$\frac{\partial v_z}{\partial z} v_z = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + v \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) \quad (5)$$

ხოლო, განტოლება (4) -დან კი

$$\frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad (6)$$

ტოლობა (6)-ის მიხედვით  $v_z$  არ აღმოჩნდა z-ის ფუნქცია, ამიტომ განტოლება (5)-ის ნაცვლად ადგილი აქვს ტოლობას

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} = \nu \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) \quad (7)$$

(7)-დან განსაზღვროთ  $\frac{\partial P}{\partial z}$  :

$$\frac{\partial P}{\partial z} = \mu \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) \quad (8)$$

ამგვარად, მიღებულ იქნა ერთგანზომილებიანი ჰააგენ-პუაზეილის მოძრაობის განტოლება. რადგან ამ განტოლების მარცხენა მხარე დამოკიდებულია მხოლოდ z-ზე, ხოლო მარჯვენა მხოლოდ r-ზე, მისი დაკმაყოფილების ერთადერთი გზაა ორივე მხარის მუდმივებად ჩათვლა:

$$\frac{\partial P}{\partial z} = \frac{dP}{dz} = \text{const} = C.$$

და

$$\mu \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial z} \left( r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) = \mu \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left( r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) = C$$

ბოლოს

$$\mu \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left( r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) = \frac{dP}{dz} \quad (9)$$

განტოლება (9) წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

$$\frac{d}{dr} \left( r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) = \frac{r}{\mu} \frac{dP}{dz} \quad (10)$$

ტოლობა (10)-ის ორივე მხრიდან ინტეგრალის ამოღებისა და გარდაქმნის შედეგად მიიღება შემდეგი ტოლობა [3]:

$$\frac{dv_z}{dr} = \frac{r}{2\mu} \frac{dP}{dz} \quad (11)$$

ტოლობა (11)-ის ორივე მხრიდან ინტეგრალის ამოღებით მიიღება:

$$v_z = \frac{r^2}{4\mu} \frac{dP}{dz} + C_2 \quad (12)$$

სასაზღვრო პირობის გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$r = R, \quad \frac{R^2}{4\mu} \frac{dP}{dz} + C_2 = 0$$

აქედან განსაზღვრულ იქნა

$$C_2 = - \frac{R^2}{4\mu} \frac{dP}{dz} \quad (13)$$

(13)-ის შეტანით (12)-ში მიღებული იქნა ჰააგენ-პუაზეილის მოძრაობის სიჩქარის გამოსახულება:

$$v_z = - \frac{R^2 - r^2}{4\mu} \frac{dP}{dz} \quad (14)$$

რომელიც პარაბოლურია და მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს მილის დერძზე ( $r=0$ ) და იცვლება მილის სიგრძეზე წნევათა სხვაობით:

$$v_{z \max} = - \frac{R^2}{4\mu} \frac{dP}{dz} \quad (15)$$

უმრავლეს შემთხვევაში სითხის მოძრაობის აბსოლუტური უმრავლესობა არის ტურბულენტური და არა ლამინური. ლამინარულისგან განსხვავებით ტურბულენტური



მოძრაობის სირთულე განაპირობებს დამატებითი მეთოდების გამოყენებას მათ შესასწავლად. ცალკეული სითხის ნაწილაკების მოძრაობის ქაოსური ხასიათი ტურბულენტურ ნაკადში მოითხოვს სტატისტიკური მექანიკის მეთოდების გამოყენებას. ჩვენს მიერ სადაწნეო საკანში სითხის მოძრაობის დასახასიათებლად გამოყენებულია რეინოლდსის რიცხვი [4].

$$Re = \frac{v_{საშ} d}{\nu} \tag{16}$$

იგი წარმოადგენს ნაკადზე მოქმედი ინერციული ძალების თანაფარდობას სიბლანტის ძალებთან (მრიცხველი – ნაწილაკების ინერციის მახასიათებელი აჩქარების გამომხატველია, ხოლო მნიშვნელოვანი სიბლანტის სიდიდეა და ახასიათებს სითხის მიდრეკილებას შექვინადმდეგოს ამგვარ აჩქარებას).

რეინოლდსის რიცხვი, ფორმულა (16)-დან გამომდინარე, განისაზღვრება სადაწნეო საკანის ჰიდრაული დიამეტრით, საშუალო სიჩქარით და სითხის კინემატიკური სიბლანტით. ჩვენს მიერ განხილული იყო სადაწნეო საკანი გეომეტრით  $l=30$  მმ,  $B=9$  მმ,  $h=0,6$  მმ; (განივკვეთის ფართი  $F=B \times h=9 \times 0,6=5,4$  მმ<sup>2</sup>;  $\chi=2B+2h=19,2$  მმ;

$R = \frac{F}{\chi} = \frac{5,4}{19,2} \approx 0,28$  მმ)  $d=2R=0,56$  მმ. საწყისი საშუალო სიჩქარეები  $v_{საშ}$ : 0,5 მ/წმ; 0,8 მ/წმ; 1 მ/წმ; 1,5 მ/წმ; 2,0 მ/წმ; 3,0 მ/წმ; 3,6 მ/წმ; 4 მ/წმ. ცნობილია 20 °C -იანი წყლის კინემატიკური სიბლანტე  $\nu=1,004$  მმ<sup>2</sup>/წმ-ს. ცხრილში მოყვანილია რეინოლდსის რიცხვის გაანგარიშება საშუალო სიჩქარეების მიხედვით.

**რეინოლდსის რიცხვის გაანგარიშება საშუალო სიჩქარეების მიხედვით**

$v_{საშ}$	0,5 მ/წმ	0,8 მ/წმ	1 მ/წმ	1,5 მ/წმ	2 მ/წმ	3 მ/წმ	3,6 მ/წმ	4 მ/წმ
$v_{საშ} d$	280	448	560	840	1120	1680	2016	2240
$Re$	279	446	558	837	1116	1673	2007	2231

ცნობილია, რომ რეინოლდსის რიცხვის 2000-ზე ნაკლები მნიშვნელობებისათვის მემბრანული სადაწნეო საკანის კედელზე სითხის სიჩქარე ნულის ტოლია, რაც სითხის ლამინარულ დინებაზე მიუთითებს. სითხის ნაკადის ლამინარული დინების სიჩქარის მაჩვენებლები სადაწნეო საკანისათვის შეესაბამებოდა 0,5 მ/წმ, 1,0 მ/წმ, 1,5 მ/წმ, 2,0 მ/წმ და 3,0 მ/წმ მნიშვნელობას. ხოლო სიჩქარის 3,6 მ/წმ და მეტი მნიშვნელობებისათვის რეინოლდსის რიცხვი 2000-ს აღემატება. აქედან გამომდინარე მემბრანული აპარატის სადაწნეო საკანში ეფექტური მასაგადატანის პროცესის განხორციელება მიზანშეწონილია სიჩქარის 3 მ/წმ-ზე მაღალი მაჩვენებლების პირობებში.

**ლიტერატურა**

1. Лойцянский А.Г. Механика жидкости и газа. - М., Физматгиз., 1959, 596 с.
2. Слезкин Н. А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости. - М., ГИТТЛ, 1955, 520 с.
3. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисление. т. 1,2. М., 1979.
4. ЛАМИНАРНОЕ ТЕЧЕНИЕ • Большая российская ...<https://bigenc.ru › physics › text>

**SUMMARY**

**HAAGEN-POISEULLE FLOW IN A PRESSURE CYLINDRICAL TUBE AND BAROMEMBRANE PROCESSES**

**Bibileishvili G.V., Kuparadze L.P., Kakabadze E.G. and Omsarashvili T.I.**

**Engineering Institute of Membrane technology of Georgian Technical University**

in the article based on the Navier-Stokes equations of unsteady motion for the motion of a viscous incompressible fluid in cylindrical tube, the Haagen-Poiseulle equation of motion in cylindrical coordinates was derived and the analytical form of velocity was established. Using Reynolds number with characteristic values of fluid motion in the pressure chamber, the range of velocities for the realization of various modes in baromembrane processes was investigated.

**Keywords:** Navier-Stokes equations, unsteady motion, viscous fluid, reynolds number.

**ზოგიერთი ფაქტორის ბავლენის შესწავლა ფაზური ინვერსიის მეთოდით მიღებული მიკრო- და ულტრაფილტრაციული მემბრანების ფორმირების პროცესზე**

ბიბილეიშვილი გ.გ., ებანოიძე ლ.ო., კეყერაშვილი მ.გ., გოგესაშვილი ნ.ნ.

**საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტი**

მემბრანების მორფოლოგიისა და სტრუქტურის ფორმირებისათვის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ფაქტორია პოლიმერის კონფორმაციული მდგომარეობა. კომპოზიციებში პოლიმერის კონფორმაციული მდგომარეობა ძირითადად დამოკიდებულია კომპონენტების შრობის რეჟიმულ პარამეტრებზე, პოლიმერის და დანამატების კონცენტრაციაზე, პოლიმერის ხსნარში არსებულ ნაწილაკის ზომებზე და განაწილების კონფიგურაციაზე. აღნიშნული ფაქტორები განაპირობებს ფაზური ინვერსიის პროცესის მსვლელობის პირობებს და მიღებული მემბრანის სტრუქტურას [1,2].

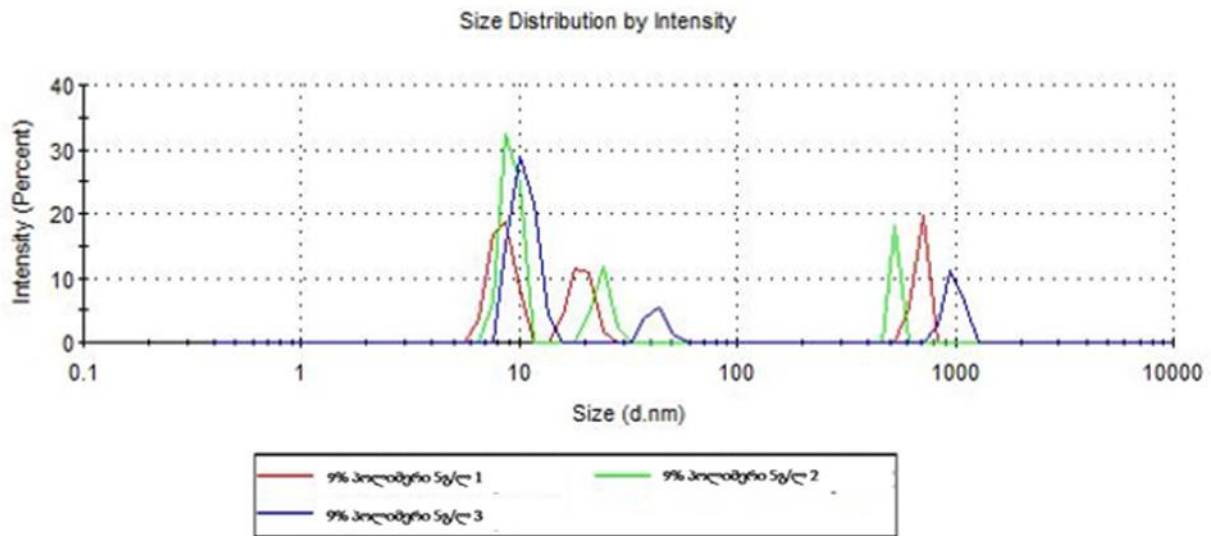
კომპოზიციის კომპონენტების შრობის რეჟიმულ პარამეტრების დასადგენად ჩატარებულია პოლიმერული კომპოზიციის კომპონენტების შრობა განსხვავებულ ტემპერატურაზე ვაკუუმ თერმოსტატში (POL-EKO მოდელი ST). ცხრ. 1-ში მოცემულია პოლიმერის და არაორგანული მარილის წონები შრობის ტემპერატურის მიხედვით.

**ცხრილი 1. პოლიმერის და არაორგანული მარილის წონა შრობის ტემპერატურის მიხედვით**

ნივთიერების დასახელება	შრობის ტემპერატურა, t °C	ნიმუშის წონა, გ		
		შრობამდე	შრობის შემდეგ	წონის დანაკარგი
პოლიმერი	60	0,550	0,517	0,035
	75	0,542	0,511	0,031
	90	0,511	0,508	0,003
	105	0,508	0,505	0,003
	120	0,505	0,505	0
	135	0,505	0,505	0
არაორგანული მარილი	60	0,157	0,145	0,012
	75	0,141	0,128	0,013
	90	0,128	0,124	0,004
	105	0,124	0,121	0,003
	120	0,121	0,121	0
	135	0,121	0,121	0

დადგენილია პოლიმერული კომპოზიციის კომპონენტების შრობის ოპტიმალური ტემპერატურები, მათი გათვალისწინებით დამზადებულია სხვადასხვა შედგენილობის პოლიმერული ხსნარები და შესაწავლილია პოლიმერულ კომპოზიციებში მაკრომოლეკულის კონფორმაციული მდგომარეობა და ზომები ნანონაწილაკების მზომ ანალიზატორზე Zetasizer Nano ZS90 [3,4].

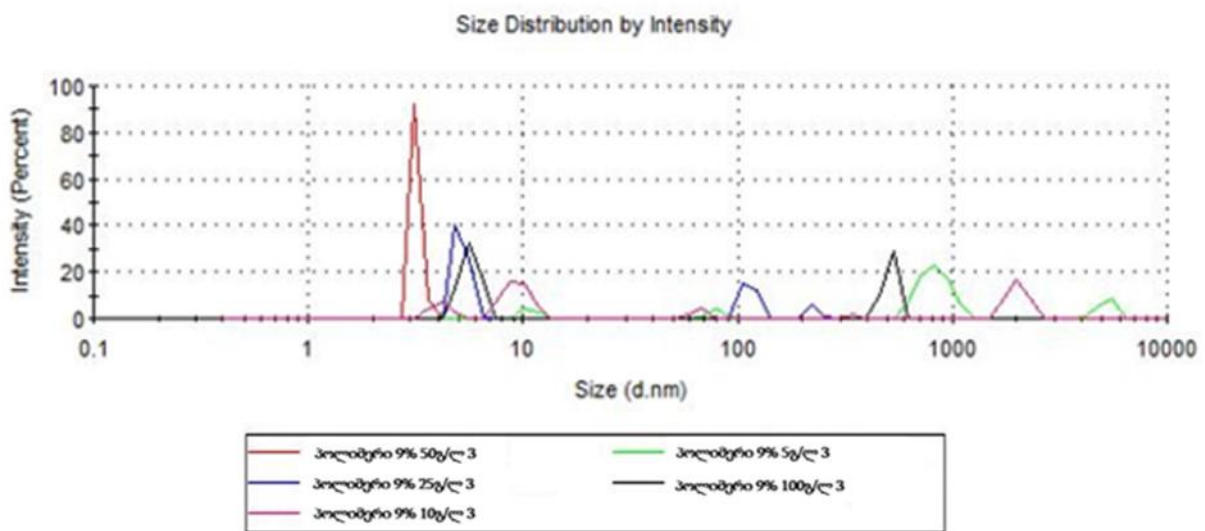
კვლევაში აჩვენა, რომ პოლიმერული კომპოზიციის კომპონენტების ინტენსიური შრობით და კონცენტრაციის ცვლილებით მიღწეულია პოლიმერულ მასაში ნაწილაკების კონკრეტულ ზომამდე დანაწილება და მათი ზღვრული მაჩვენებლების გამოვლენა, რაც განაპირობებს მიკრო- და ულტრაფილტრაციული მემბრანების მორფოლოგიას. ნახ. 1-ზე მოცემულია 105 °C, 120 °C და 135 °C ტემპერატურებზე გამშრალი კომპონენტების შემცველი ხსნარების ნანონაწილაკების ინტენსივობის მრუდები.



ნახ. 1. 105 °C, 120 °C და 135 °C ტემპერატურებზე გამზრალი კომპონენტების შემცველი ხსნარების ნანონაწილაკების ინტენსივობის მრუდები

ნახ. 2-ზე მოცემულია პოლიმერის 5გ/ლ, 10გ/ლ, 25გ/ლ, 50გ/ლ, 100გ/ლ კონცენტრაციის ხსნარების ნანონაწილაკების ინტენსივობის მრუდები.

დადგინდა, რომ 5გ/ლ, 10გ/ლ, 25გ/ლ, 50გ/ლ, 100გ/ლ კონცენტრაციის ხსნარებიდან 5გ/ლ ხსნარში მაღალი პროცენტული შემცველობით დომინირებს 10–13 ნმ ზომის მქონე ნანონაწილაკები [5,6].



ნახ. 2. სხვადასხვა კონცენტრაციის პოლიმერული ხსნარების ნანონაწილაკების ინტენსივობის მრუდები

შესწავლილია კომპოზიციაში პოლიმერის და დანამატების კონცენტრაციების გავლენა მიკრო- და ულტრაფილტრაციული მემბრანების მორფოლოგიაზე და ხვედრით წარმადობაზე. ცხრ. 2-ში მოცემულია კომპოზიციის შედგენილობები, მემბრანების ფორის ზომები და ხვედრითი წარმადობები.

ცხრილი 2. კომპოზიციის შედგენილობები, მიღებული მემბრანების ფორის ზომები და ხვედრითი წარმადობები

№	კომპოზიციის შედგენილობა, %	ბუშტ. წერტი. წნევა, P (ბარი)	მემბრანის ფორის ზომა, D, მკმ	ხვედრითი წარმადობა, J, ლ/მ <sup>2</sup> სთ	№	კომპოზიციის შედგენილობა, %	ბუშტ. წერტი. წნევა, P (ბარი)	მემბრანის ფორის ზომა, D, მკმ	ხვედრითი წარმადობა, J, ლ/მ <sup>2</sup> სთ
1	8 პა	1,36	0,59	915	1	9 პა	2,40	0,33	1200
2	8 პა 25 D	1,80	0,45	342,2	2	9 პა 25 D	1,65	0,33	1200
3	8 პა 25 B	1,41	0,57	400	3	9 პა 30 A		0,10	750
4	8 პა 25 C	1,26	0,64	250	4	9 პა 25 B	0,71	1,10	810
5	8 პა 25 A	1,66	0,49	800	5	9 პა 25 A	3,20	0,25	650
6	8 პა 50 B	1,75	0,46	450	6	9 პა 25 D 25 A	0,25	3,25	1100
7	8 პა 50 C	0,71	1,1	300	7	9 პა 25 D 25 A	2,00	0,40	677
8	8 პა 50 A	2,80	0,28	1066,6	8	9 პა 30 A 20 D		0,20	460
9	8 პა 50 D	1,90	0,42	210	9	9 პა 25 D 30 D	1,42	0,57	560
10	8 პა 50 D	1,90	0,42	168,8	10	25 D 25 A	0,75	1,08	1150

\* A, B, C, D წარმოადგენს დაბალ- და მაღალმოლეკულურ ნივთიერებებს; პა - პოლიამიდს

ცხრ. 2-ის მონაცემებიდან ჩანს, რომ ყველაზე მაღალი წარმადობის – 1200 ლ/მ<sup>2</sup>სთ და 0,33 მკმ ფორის ზომის ულტრაფილტრაციული მემბრანა მიღებულია პოლიმერული კომპოზიციიდან, რომელიც შეიცავს 9% პა, 25% D დანამატს, ხოლო ყველაზე მაღალი წარმადობის – 1100 ლ/მ<sup>2</sup>სთ და 3,25 მკმ ფორის ზომის მიკროფილტრაციული მემბრანა მიღებულია კომპოზიციიდან 9% პა, 25% A, 25% D დანამატი [7,8].

ამრიგად, მიკრო- და ულტრაფილტრაციული მემბრანების სტრუქტურას, მორფოლოგიას და ხვედრით წარმადობას განაპირობებს მემბრანის მისაღები კომპოზიციური ხსნარის შემადგენელი კომპონენტების კონფორმაციული მდგომარეობა, შრობის და ფაზური ინვერსიის პროცესების რეჟიმული პარამეტრების ერთობლიობა.

**ლიტერატურა**

1. Vankelecom, I. F. J.; De Smet, K.; Gevers, L. E. M.; Jacobs, P. A. In Nanofiltration: Principles and Applications; A. I. Schafer, A. G. Fane, T. D. Waite, Eds.; Elsevier: Oxford, UK, 2005; Chapter 3, pp. 33-65.
2. Mulder, M. Basic Principles of Membrane Technology, 2nd ed.; Kluwer Academic: Dordrecht, 2003; Chapter 3, pp. 71-56.
3. Costa, A.R.; de Pinho, M.N. Effect of membrane pore size and solution chemistry on the ultrafiltration of humic substances solutions. //J. Membr. Sci. 2005, 255, pp.49-56.

4. Aroon, M. A., Ismail, A. F., Montazer-Rahmati, M. M., Matsuura, T., Morphology and permeation properties of polysulfone membranes for gas separation: Effects of non-solvent additives and co-solvent. Separation and Purification Technology, 2010, 72, pp.194-202.
5. Abdelrasoul, A.; Doan, H.; Lohi, A.; Cheng, C.H. Morphology control of polysulfone membrane sinfiltration processes: A critical review. Chembioeng Rev. 2015, 2, pp. 22-43.
6. Lalia, B.S.; Kochkodan, V.; Hashaikeh, R.; Hilal, N. A review on membrane fabrication: Structure, properties and performance relationship. Desalination 2013, 326, pp.77-95.
7. Smolders, C.A.; Reuvers, A.J.; Boom, R.M.; Wienk, I.M. Microstructures in phase-inversion membranes. Part 1. Formationofmacrovoids. //J. Membr. Sci. 1992,73, 259-275.
8. Barzin, J., Madaeni, S. S., Mirzadeh, H., Effect of preparation conditions on morphology and performance of hemodialysis membranes prepared from polyethersulphone and polyvinylpyrrolidone. // Iranian Polymer Journal, 2005, 14, pp. 353-360.

## SUMMARY

### INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF SOME FACTORS ON THE MORPHOLOGY OF MICRO- AND ULTRAFILTRATION MEMBRANES OBTAINED BY THE PHASE INVERSION METHOD

**Bibileishvili G.V., Ebanoidze L.O., Kezherashvili M.G. and Gogesashvili N.N.**

**Engineering Institute of Membrane Technology, Georgian Technical University**

The paper discusses some of the factors affecting the morphology of micro- and ultrafiltration membranes obtained by the phase inversion method: drying parameters of the components of the composition, percentage of polymeric materials and additives in the constitution, composition and temperature of the coagulation bath solution, Spatial factors of precipitation, phase inversion mode parameters, dependence of the viscosity of the polymer composition and the conformational state of the polymer. One of the important factors that determines the dependence of the conformational state of the polymer with the productivity and morphology of the obtained membrane is established.

**Keywords:** conformation, temperature, morphology, structure, membrane composition.

პოლიმერული კომპოზიციის შებენილობის ბავშენა ალიფატური პოლიამიდიური მემბრანების მახასიათებლებზე

ბიბილეიშვილი გ.ვ., კეჟერაშვილი მ.გ., ებანოიძე ლ.ო., ყუფარაძე ლ.პ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტი

თეორიული კვლევების შედეგად პოლიმერული მასალების და კომპოზიციების შექმნის მეთოდების თვალსაზრისით მუდმივად მიმდინარეობს გაუმჯობესებული ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების მქონე პოლიმერული მასალების ძიება მემბრანების წარმადობის, პირობიფიურობის, თერმოლაბილურობის, ქიმიური მდგრადობის, საექსპლლატაციო ვადების, ტემპერატურული ინტერვალის გახანგრძლივების და მათი გამოყენების არეალის გაფართოების უზრუნველსაყოფად [1-4]. ფაზური ინვერსიის პროცესზე მოქმედი ფაქტორებიდან აღსანიშნავია მემბრანის მისაღები კომპოზიციის ქიმიური და რაოდენობრივი შედგენილობა [5,6]. კვლევის მიზანს წარმოადგენს პოლიმერული კომპოზიციის შედგენილობის გავლენის შესწავლა მემბრანების მორფოლოგიაზე, ხვედრით წარმადობაზე ფორების ზომებზე და განაწილების სიხშირეზე. მემბრანების მისაღებ ძირითად პოლიმერად შერჩეული იქნა ქიმიური და თერმული თვისებების მრავალფეროვანი სპექტრის მქონე ალიფატური პოლიამიდი (პა-66). პოლიმერის გახსნის პროცესის კონტროლი ხორციელდებოდა პოლარიზაციულ-ინტერფერენციული ოპტიკური მიკროსკოპით. მემბრანის მორფოლოგია და სტრუქტურა შესწავლილი იქნა მასკანირებელი ზონდური მიკროსკოპით. მემბრანების ფორების ზომა და ხვედრითი წარმადობა განისაზღვრა ინსტიტუტში დამზადებულ ლაბორატორიულ დანადგარებზე MTSI-BP-4 და MTSI-JM-5. პოლიამიდის გამხსნელად შერჩეული იქნა ჭიანჭველმუავა, ქიმიურ დანამატად წყალი, ფორმამიდი და აცეტონი. არა-გამხსნელად გამოყენებული იქნა გამოსდილი და ონკანის წყალი. შერჩეული გამხსნელი და ქიმიური დანამატები საშუალებას იძლევა დამზადდეს სხვადასხვა შედგენილობის და კონცენტრაციის სტაბილური ხსნარები, რათა გამოვლინდეს ოპტიმალური შედგენილობის პოლიმერული კომპოზიცია მიკროფილტრაციული მემბრანების დასამზადებლად. ფილერზე დამაგრებულ მინის პოლირებულ ფირფიტაზე 0,1–0,2 მმ სისქის ფენის სახით დატანილი კომპოზიციის სწორხაზოვანი ზედაპირის უზრუნველყოფა ხორციელდება ხელსაწყო სპეციალური სამარჯვით. ფაზური ინვერსიის პროცესი განხორციელდა წყალხსნარის მოდელურ ნიმუშებზე საკოაგულაციო აბაზანაში. კოაგულაციის შედეგად მიღებული მემბრანების მყარი ნიმუშები მუშავდება 60 °C-იანი წყალხსნარით, რის შემდგომ მიმდინარეობს მათი შრობა თერმოსტატში 45 °C–70 °C ტემპერატურის დიაპაზონში. მიღებული მემბრანების შედგენილობა მოცემულია ცხრ. 1-ში.

ცხრილი 1. პოლიმერული კომპოზიციის ქიმიური შედგენილობა

მემბრანა	პა მას.%	ჭიანჭველმუავა მას.%	პვპ მას.%	წყალი მას%	ფორმამიდი მას.%	აცეტონი მას.%
M1	15	80	3	2	–	–
M2	15	78	3	4	–	–
M3	15	76	3	6	–	–
M4	15	80	3	–	2	–
M5	15	78	3	–	4	–
M6	15	76	3	–	6	–
M7	15	80	3	–	–	2
M8	15	76	3	–	–	4
M9	15	78	3	–	–	6

მემბრანის ნიმუშები მზადდებოდა პოლიმერული კომპოზიციიდან, რომლის შედგენილობაში შედის 15მას.% ალიფატური პოლიამიდი (პა-66), 3 მას.% პოლივინილპიროლიდონი (პვპ), ხოლო ქიმიური დანამატების რაოდენობა იცვლებოდა 2-6 მასური

პროცენტის ფარგლებში. დანამატების წყლის და ფორმამიდის 2მას.%-იანი შემცველობის პირობებში პოლიმერული კომპოზიციიდან მიღებულ მემბრანებს (M1, M4) ახასიათებს მაღალი ხვედრითი წარმადობა, რაც მოცემულია ცხრ. 2-ში.

ცხრილი 2. მიღებული მემბრანების ხვედრითი წარმადობა, ფორების ზომა და ფორიანობა

მემბრანა	ხვედ. წარმადობა ლ/მ <sup>2</sup> სთ	ფორების ზომა, მკმ	ფორიანობა
M1	2500	0,45	34,1
M4	2300	0,53	29,3
M7	2000	0,74	20,6

მემბრანების ხვედრითი წარმადობის გაზრდა გამოწვეულია ფორების სიმკვრივის გაზრდით, მათი ზომების მნიშვნელოვანი ცვლილების გარეშე. კომპოზიციაში დანამატის-წყლის და არაგამსხნელის-წყლის ხსნადობის პარამეტრს შორის მინიმალური სხვაობა განაპირობებს ფაზური ინვერსიის პროცესის ეფექტურ მიმდინარეობას, რაც იწვევს მემბრანის ხვედრითი წარმადობის ზრდას. ცხრ. 3-ში მოცემულია ქიმიური დანამატების ხსნადობის პარამეტრები.

ცხრილი 3. ქიმიური დანამატების ხსნადობის პარამეტრები

ქიმიური დანამატი	წყალი	ფორმამიდი	აცეტონი
ხსნადობის პარამეტრი [კალ/სმ <sup>3</sup> ] <sup>1/2</sup>	23,4	19,2	9,9

დანამატის-ფორმამიდის და არაგამსხნელის-წყალს შორის ხსნადობის პარამეტრების მაჩვენებლების სხვაობის სიმცირის გამო, საკოაგულაციო აბაზანაში მიმდინარეობს სწრაფი ურთიერთმიმოცვლა გამსხნელს/დანამატს/ არაგამსხნელს შორის, რაც იწვევს ფაზური ინვერსიის პროცესში პოლიმერი/გამსხნელი/არაგამსხნელი სისტემის შემადგენელი კომპონენტების სწრაფ შერევას, რასაც ახლავს პოლიმერის მყისიერი კოაგულაცია და წარმოიქმნება ფორიანი მემბრანები, ამიტომ 2 მას.% წყლის და ფორმამიდის შემცველი კომპოზიციიდან მიღებული მემბრანები (M1, M4) ხასიათდება მაღალი ფორიანობით და ხვედრითი წარმადობით, რაც მოცემულია ცხრ. 2-ში.

პოლიმერული კომპოზიციაში დანამატად აცეტონის, ხოლო არაგამსხნელად წყლის გამოყენება იწვევს გამოლექვის პროცესის შეყოვნებას და მტკიცე, არაფორიანი მემბრანების წარმოქმნას მცირე ზომის ფორებით, დაბალი ფორიანობით და ხვედრითი წარმადობით, ვინაიდან აცეტონისა და წყლის ხსნადობის პარამეტრები მნიშვნელოვნად განსხვავდება [7]. დანამატების რაოდენობის გაზრდა 6 მას. %-მდე იწვევს მემბრანის ხვედრითი წარმადობის შემცირებას, ვინაიდან ადგილი აქვს პოლიამიდის, წყლის, ფორმამიდის და აცეტონის მოლეკულებს შორის წყალბადური ბმის წარმოქმნას. წყალბადური ბმის წარმოქმნა დანამატებსა და პოლიმერს შორის იწვევს კოაგულაციის პროცესის შეფერხებას, რაც იწვევს ფორიანობის და ხვედრითი წარმადობის შემცირებას მიღებულ მემბრანაში.

ამრიგად, კომპოზიციაში დანამატად აცეტონის, ხოლო არაგამსხნელად წყლის გამოყენება იწვევს გამოლექვის პროცესის შეყოვნებას და მიიღება მტკიცე, ნაკლებად ფორიანი მემბრანები მცირე ზომის ფორებით, დაბალი ფორიანობით და ხვედრითი წარმადობით, აცეტონისა და წყლის ხსნადობის პარამეტრების მნიშვნელოვანი სხვაობის გამო. ხოლო კომპოზიციაში დანამატის-წყლის და არაგამსხნელის-წყლის ხსნადობის პარამეტრს შორის მინიმალური სხვაობა განაპირობებს ფაზური ინვერსიის პროცესის ეფექტურ მიმდინარეობას, რის შედეგადაც მიიღება მაღალი ფორიანობის და ხვედრითი წარმადობის მქონე მემბრანები.

**ლიტერატურა**

1. Thomas JL, Olzog M, Drake C, Shih CH and Gryte C. Polyamide membrane precipitation studied by confocal backscattering microscopy. Polymer 2002; 43:4153-4157.
2. Shih CH, Gryte C and Cheng LP. Morphology of membranes formed by the isothermal precipitation of polyamide solutions from water/ formic acid systems. Journal of Applied Polymer Science 2005; 96:944-960.
3. Zeni M, Riveros R, Souza JF, Mello K, Meireles C and Rodrigues GF. Morphologic analysis of porous polyamide membranes prepared by phase inversion. Desalination 2008; 221:294-297.

4. Guan R, Dai H, Li C, Liu J and Xu J. Effect of casting solvent on the morphology and performance of sulfonated polyethersulfone membranes. *Journal of Membrane Science* 2006; 277:148-156.
5. Chuang W-Y, Young T-H, Chiu W-Y and Lin C-Y. The effect of polymeric additives on the structure and permeability of poly (vinyl alcohol) asymmetric membranes. *Polymer* 2000; 41:5633-5641.
6. Mulder M. Basic principles of membrane technology 2th ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 1996.
7. R. Kesting, Synthetic Polymeric Membranes, A Structural Perspective, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 1985.

#### **SUMMARY**

#### **INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE COMPOSITION ON THE CHARACTERISTICS OF ALIPHATIC POLYAMIDE MEMBRANES**

**Bibileishvil G.V., Kezherashvili M.G., Ebanoidze L.O. and Kuparadze L.P.**

**Engineering Institute of Membrane Technologies of Georgian Technical University**

Aliphatic Polyamide membranes were prepared with immersion precipitation via phase inversion from mixtures of polyvinylpyrrolidone (PVP) and as constant additives water, formamide and acetone as variable additives. Addition of additives in the casting solution at system of PA/PVP/formic acid, affects membrane morphology and performance. The effect depends on solubility parameters and hydrogen bonding with polymer. Water as additive in the casting solution induced instantaneous demixing, which leads to flux increment. In general, the addition of water and formamide improves the flux. In the case of acetone, the flow is less, compared to the addition of water or formamide.

**Keyword:** polymeric membrane, morphology, pore size, non-solvent, phase inversion.



პოლიმერული კომპოზიციის სიბლანტის ბავშვანა პოლიეთერსულფონური მემბრანების მორფოლოგიაზე

ბიბილეიშვილი გ.ვ., კეჟერაშვილი მ.გ., გოგესაშვილი ნ.ნ., მამულაშვილი მ.ა.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტი

უკანასკნელ წლებში განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს ისეთი ინოვაციური მასალების, მეთოდების და მემბრანული ნანოსისტემების შექმნა, რომელიც უზრუნველყოფს სხვადასხვა ხარისხით დაბინძურებული ბუნებრივი და ჩამდინარე წყლების გაწმენდას [1-4]. ნაშრომში განხილულია სამეცნიერო კვლევის შედეგები, რომელიც ეხება სინთეზური პოლიეთერსულფონიდან (პეს) მიკრო- და ულტრაფილტრაციული მემბრანების შექმნას ფაზური ინვერსიის მეთოდით. კვლევის მიზანს წარმოადგენს მემბრანის მისაღები ხსნარის შედგენილობის, პოლიმერის კონცენტრაციის და ხსნარის სიბლანტის გავლენის შესწავლა მემბრანების მორფოლოგიურ მახასიათებლებსა და სტრანსპორტო თვისებებზე.

მემბრანის მორფოლოგია და სტრუქტურა შესწავლილი იქნა მასკანირებელი ზონდური მიკროსკოპით. ნივთიერებების გახსნის პროცესზე დაკვირვება მიმდინარეობდა პოლარიზაციულ-ინტერფერენციული ოპტიკური მიკროსკოპის საშუალებით. პოლიმერული ხსნარების სიბლანტის კონტროლი სხვადასხვა ტემპერატურაზე ხორციელდებოდა როტაციული ვისკოზიმეტრით. მემბრანების ფორმის ზომა და ხვედრითი წარმადობა განისაზღვრა ინსტიტუტში დამზადებულ ლაბორატორიულ ხელსაწყოებზე MTSI-BP-4 და MTSI-JM-5. ბრტყელი მემბრანული აფკები მიღებული იქნა პოლიმერული კომპოზიციიდან, რომლის შედგენილობაში შედიოდა პოლიეთერსულფონი, დიმეთილფორმამიდი (დმფ), პოლივინილპიროლიდონი (პვპ) სხვადასხვა პროცენტული რაოდენობით, ხოლო არაგამხსნელოდ გამოყენებული იქნა გამოსხივადი წყალი. პოლივინილპიროლიდონის დამატებით ვახდენდით ისეთი თვისებების ცვლილებას, როგორც არის სიბლანტე, ჰიდროფილურობა, ფორმის ზომა და რაოდენობა.

მინის პოლიმერულ ფირფიტაზე პოლიმერული კომპოზიციის ფენის სისქის კონტროლი ხორციელდებოდა ხელსაწყოს სპეციალური სამარჯვით. საკოაგულაციო აბაზანაში ფაზური ინვერსიის პროცესში კოაგულაციის შედეგად მიღებული მემბრანების მყარი ნიმუშები მუშავდებოდა 60 °C-იანი წყალხსნარით, რის შემდეგ მიმდინარეობდა მათი შრობა თერმოსტატში. პოლიმერული კომპოზიციის ქიმიური შედგენილობა და სიბლანტე მოცემულია ცხრ. 1-ში, ხოლო მიღებული მემბრანების ფორმის ზომები, ფორიანობა და ხვედრითი წარმადობა ცხრ. 2-ში.

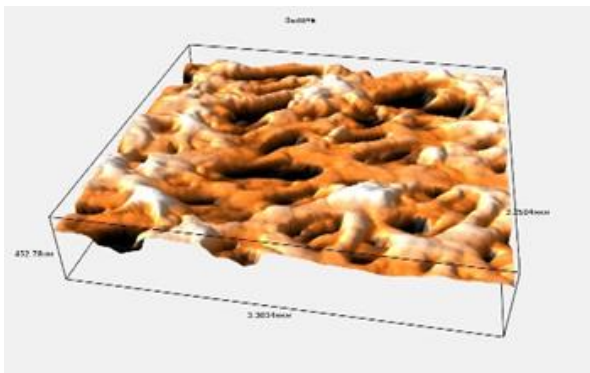
ცხრილი 1. პოლიმერული კომპოზიციის ქიმიური შედგენილობა და სიბლანტე

მემბრანები	პეს მას.%	დმფ მას.%	პვპ მას.%	სიბლანტე სანტი პუაზი
M1	13	75	12	420
M2	15	75	10	443
M3	17	75	8	521
M4	19	75	6	582
M5	21	75	4	672

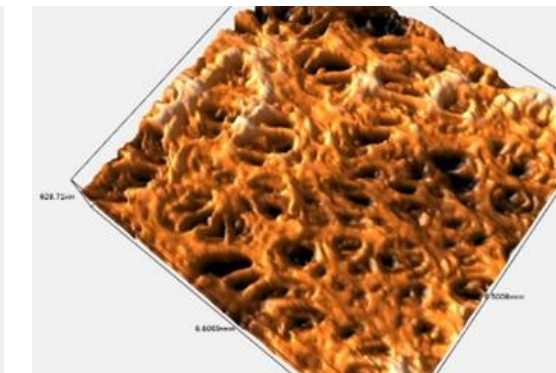
ცხრილი 2. მიღებული მემბრანების ფორმის ზომები, ფორიანობა და ხვედრითი წარმადობა

მემბრანა	ხვედ. წარმადობა ლ/მ <sup>2</sup> სთ	ფორმის ზომა, მკმ	ფორიანობა, %
M1	2500	0,74	27,3
M2	2300	0,68	27,1
M3	2000	0,67	26,1
M4	1700	0,58	24,8
M5	1400	0,46	21,3

როგორც ცხრ. 1-ის მონაცემებიდან ჩანს, პოლიეთერსულფონის დაბალი კონცენტრაციის (13 მას%, 15 მას.% ) დროს კომპოზიციის სიბლანტე შეადგენს 420–443 სანტი პუაზი, ხოლო 21 მას. % პეს-ის შემთხვევაში ის შეადგენს 672 სანტი პუაზს. ცხრ. 2-ის მონაცემებიდან ჩანს, რომ შედარებით დაბალი სიბლანტეების მქონე კომპოზიციებიდან მიღებულ მემბრანების წარმადობა არის 2500 ლ/მ<sup>2</sup>სთ, ფორიანობა 27,3% და აღემატება მაღალი სიბლანტის მქონე ხსნარიდან მიღებული მემბრანების წარმადობას და ფორიანობას, შესაბამისად 1400 ლ/მ<sup>2</sup>სთ და 21,3%. მასკანირებელი ზონდური მიკროსკოპით მემბრანის ზედაპირების შესწავლამ აჩვენა, რომ მაღალი სიბლანტის მქონე კომპოზიციიდან მიღებულ მემბრანის ზედაპირს გააჩნია მკვრივი, არაერთგვაროვანი, არარეგულარული, ნაკლებად ფოროვანი სტრუქტურა (სურ. 1, M5), ხოლო დაბალი სიბლანტიდან მიღებული მემბრანის ზედაპირი ერთგვაროვანია, ხასიათდება ფოროვანი სტრუქტურით (სურ. 2, M1).



სურ. 1. მემბრანა M5-ის ზედაპირის მიკროფოტოგრაფიული გამოსახულება



სურ. 2. მემბრანა M1-ის ზედაპირის მიკროფოტოგრაფიული გამოსახულება

მოცემულ სურათებზე მემბრანების ზედაპირების სტრუქტურებს შორის განსხვავება დაკავშირებულია ხსნარების სიბლანტეების გავლენასთან ფაზური დაყოფის პროცესის სიჩქარეზე. პოლიმერული კომპოზიციის სიბლანტე განაპირობებს გამხსნელსა და არაგამხსნელს შორის დიფუზიურ მიმოცვლას სიჩქარის ცვალებადობის და ფაზური ინვერსიის მექანიზმის ოპტიმიზაციის თვალაზრისით, რაც გამჭოლი, არაგამჭოლი ფორების მქონე და შერეული მორფოლოგიის მემბრანების მიღების შესაძლებლობას იძლევა [5,6]. არაგამხსნელის/წყლის დაბალი სიბლანტის პოლიმერულ კომპოზიციაში სწრაფი შეღწევა, ფაზური ინვერსიის პროცესის და კოაგულაციის მაღალი სიჩქარე მყისიერად წარმართავს ფაზურ განშრევებას მაღალი ფორიანობის მქონე მემბრანების მიღებით. მაღალი სიბლანტის მქონე პოლიმერული კომპოზიციიდან მემბრანების მიღების დროს კოაგულაციის პროცესი შედარებით ნელი ტემპით წარიმართება, რაც მემბრანის მკვრივი სტრუქტურის წარმოქმნას უწყობს ხელს და მიიღება ნაკლებად ფოროვანი, დაბალი წარმადობის მქონე მემბრანები [7].

ამგვარად, კვლევის შედეგად დადგენილია, რომ დაბალი სიბლანტის მქონე პოლიმერული კომპოზიციის ხსნარებიდან მიღებულ მემბრანებს გააჩნია მაღალი ხვედრითი წარმადობა, ვიდრე მაღალი სიბლანტის მქონე ხსნარებიდან მიღებულ მემბრანებს. ხვედრითი წარმადობის მაღალი მაჩვენებელი – 2500 ლმ<sup>2</sup> სთ აჩვენა 1 მემბრანამ, რომელიც მიღებულია 13% პეს-ის და პეს/დმფ შემცველი კომპოზიციიდან. მემბრანის მისაღები კომპოზიციის სიბლანტის ცვლილების საშუალებით შესაძლებელია მიკრო- და ულტრაფილტრაციული მემბრანის სტრუქტურის, მორფოლოგიური მახასიათებლების, ფორის ზომების, ფორიანობის და ხვედრითი წარმადობის რეგულირება.

**ლიტერატურა**

1. Lavanya Madhura, Suvardhan Kanchi, Myalowenkosi I. Sabela, Shalini Singh, Krishna Bisetty, Membrane technology for water purification. /Environmental Chemistry Letters, volume 16, 2018, pages 343-365.
2. S. Judd, B. Jefferson, Membranes for Industrial Wastewater Recovery and Re-Use, Elsevier, Oxford, United Kingdom, 2003
3. Y. Xu, Z. Li, K. Su, T. Fan, L. Cao, Mussel-inspired modification of PPS membrane to separate and remove the dyes from the wastewater. //Chem. Eng. J. 341, 2018, 371-382.
4. C.A. Smolders, A.J. Reuvers, R.M. Boom, I.M. Wink. Microstructures in phase-inversion membranes. // Part 1, Formation of macro voids, J. Membr. Sci. 1992,73, 259-275.
5. A. K Holda, F. J. Vankelecom. Understanding and guiding the phase inversion process for synthesis of solvent resistant nano filtration membranes. // J. APPL. POLYM. Sci. 2015, 442,1-17.
6. A. Abdelrasoul, H. Doan, A. Lohi, C.H. Cheng, Morphology control of polysulfone membrane sinfiltration processes: A critical review, ChemBioeng Rev. 2015, 2, 22—43.
7. G. Bibileishvili, L. Ebanoidze. Study of the Effect of Lithium Chloride on Polymer Solubility By Optical Microscopy and Photon-Correlative Spectroscopy. //ISSN: 2509-0119 International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT). Vol. 23 No. 2 November 2020, pp. 402-412.

**SUMMARY**

**STUDY OF THE INFLUENCE OF VISCOSITY ON THE MORPHOLOGY OF POLYETHERSULFONE (PES) MEMBRANES**

**Bibileishvili G.V., Kezherashvili M.G., Gogesashvili N.N. and Mamulashvili M.A.**

**Engineering Institute of Membrane Technologies of Georgian Technical University**

The present work discusses the morphology of PES membrane fabricated from different polymeric system with constant preparation condition. In this study the mikro- and ultrafiltration membrane was prepared via simple phase inversion technique. The morphology of the membrane as a function of the viscosity of the spinning solution were evaluated, where the addition of PVP decreased the viscosity of the solution, favoring the high speed of precipitation. The maximum water flux of 2500 ml/m<sup>2</sup>h was observed using 13% of PES concentration in NMP/DMF cosolvent system.

**Keyword:** nanomaterial, polyethersulfone, polymeric composition, membrane, productivity.

პოლიმერული დანამატების ბავშვის შესწავლა ალიფატური ამიდებისგან მიღებული მემბრანების სტრუქტურაზე

ბიბილეიშვილი გ.ვ., გოგესაშვილი ნ.ნ., მამულაშვილი მ.ა., ჯავაშვილი ზ.დ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტი

პოლიამიდები 6 და 6,6 მიეკუთვნებიან ალიფატური პოლიამიდების მნიშვნელოვან წარმომადგენლებს. მათი კომპლექსური თვისებები თერმოსტაბილურობა, ელასტიურობა, სიმაგრე, ორგანული გამხსნელების მიმართ მდგრადობა გამოწვეულია მოლეკულათაშორისი წყალბადური ბმებით და განაპირობებს ამ კლასის პოლიმერების ლიდერულ პოზიციას მიკროფილტრაციული მემბრანების წარმოებაში. მაღალი წარმადობის და სათანადო მექანიკური მახასიათებლების გამო ამ პოლიმერული მასალებისგან დამზადებული მემბრანები პოულობენ ფართო გამოყენებას წყლის ფილტრაციის სფეროში. ალიფატური პოლიამიდების თვისებები მათი ქიმიური აღნაგობიდან გამომდინარე ფართო დიაპაზონში იცვლება. მყარ მდგომარეობაში მათ მაკრომოლეკულებს გააჩნიათ ბრტყელი ზიგზაგისებური კონფორმაცია. განსაკუთრებით მაღალი კრისტალურობით გამოირჩევა პოლიამიდი 6 და 6,6. ამ მასალებისგან მიღებულ კომპოზიციებში ფორწარმომქმნელების დამატება აუმჯობესებს მათი ზედაპირის სტრუქტურას, არეგულირებს ფორიანობას, ფორის ზომებს და ჰიდროფილურობას [1-3].

აღნიშნულ კვლევაში შესწავლილია პოლიამიდი 6-ის (პა 6) 12%-იან ხსნარში ჭიანჭველმჟავაში პოლიმერის მასის 30%, 40% და 50% პოლიეთილენგლიკოლი 1000 დამატებით მიღებული კომპოზიციებიდან გამოლექილი მემბრანების თვისებები. გამშრალი პოლიამიდის და პეგ-ს განსხვავებული რაოდენობები ზავდებოდა ჭიანჭველმჟავაში, 55 °C-ზე მაგნიტური სარეველას გამოყენებით. პოლიმერის გახსნის პროცესის მონიტორინგი ხორციელდებოდა პოლარიზაციულ-ინტერფერენციული ოპტიკური მიკროსკოპით (Biolar.), გადიდების დიაპაზონით 350–400. მიღებული ერთგვაროვანი, ჰომოგენური, მემბრანების დასასხმელი კომპოზიციები გაფილტვრის და ვაკუუმში დეაერაციის შემდეგ დაიტანებოდა ლაბორატორიულ ფილერზე მოთავსებულ მინის პოლირებულ ფირფიტაზე (76 მმ × 26 მმ × 1 მმ) უჟანგავი ფოლადის დანის დახმარებით. გამოლექვის პროცედურები ჩატარებულია გამოხდილი წყლის საკოაგულაციო აბაზანაში 60 °C-ზე.

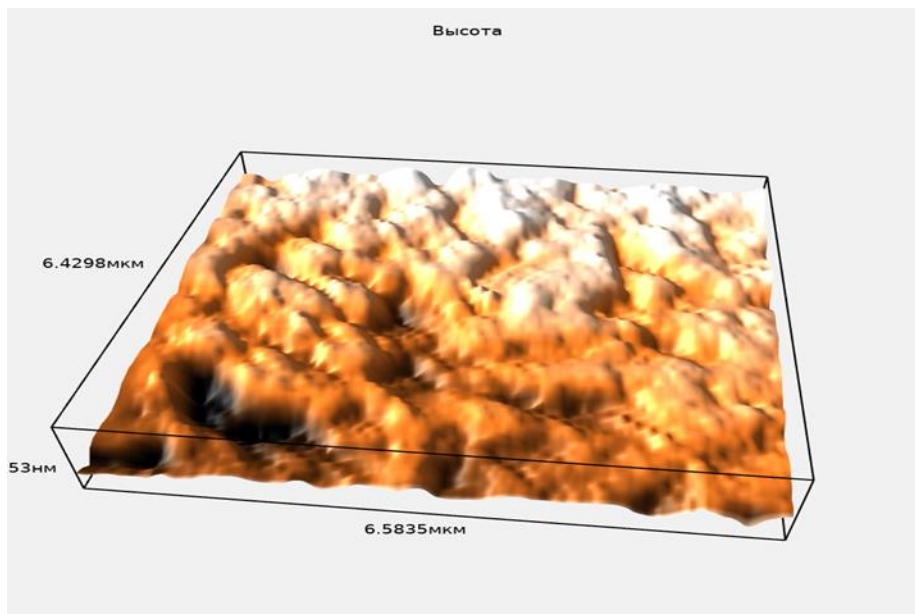
პოლიმერული კომპოზიციების შედგენლობა, მორფოლოგიური მახასიათებლები და ხვედრითი წარმადობა

მემბრანები	პოლიმერული კომპოზიციის შემადგენლობა	ხვ.წარმადობა ლ/მ <sup>2</sup> სთ	ფორის ზომა, მკმ	მემბრანის სისქე, მმ	ფორიანობა, %
N1	12% პა 6/HCOOH/ პოლიმერის მასის 30% პეგ	399,57	0,95	0,059	21±3
N2	12% პა 6/HCOOH/ პოლიმერის მასის 40% პეგ	490,81	0,56	0,051	45±1
N3	12% პა 6/HCOOH/ პოლიმერის მასის 50% პეგ	560,63	0,32	0,042	62±2

მემბრანების ფორის ზომა და ხვედრითი წარმადობა განსაზღვრულ იქნა ინსტიტუტში დამზადებულ ლაბორატორიულ დანადგარებზე MTSI-BP-3 და MTSI-JM-5 . ფორის ზომა გამოთვლილია ფორმულით  $d_{max} = 0,81/ P$  , სადაც  $d_{max}$  – ფორის ზომა (მკმ), P – წნევა (ბარი, რომელზეც ბუშტულაკების წერტილი წარმოიქმნა). ხვედრითი წარმადობები გამოთვლილია ფორმულით:  $J = V/ St$  სადაც, V – ფილტრატის მოცუ-

ლობაა (ლ), t-ფილტრაციის დრო (სთ), S-მემბრანის ფართობი. მემბრანის ეფექტური ფართობი 270 მმ<sup>2</sup>. ფილტრატის გამჭვირვალობა მოწმდებოდა სიმღვრივის მზომზე (Turb 555 IR,) [4,5,6]. ცხრილში მოცემულია პოლიმერული კომპოზიციების შედგენლობის და მისი მორფოლოგიური მახასიათებლების დამოკიდებულება ხვ. წარმადობასთან.

ცხრილის მონაცემებიდან ჩანს, რომ კომპოზიციურ ხსნარებში პოლიეთილენგლიკოლის რაოდენობის გაზრდასთან ერთად იცვლება მემბრანების ფორის ზომები, წარმადობა, ფორიანობა და მემბრანების სისქე. პეგის რაოდენობის გაზრდა იწვევს მემბრანების სისქის თანდათანობით შემცირებას. ყველაზე გამჭვირვალე არის N3 მემბრანა. ფორწარმომქმნელის რაოდენობის გაზრდასთან ერთად მცირდება მემბრანების ბუშტულაკის წერტილით განსაზღვრული ფორის ზომები და ადგილი აქვს ნიმუშების ზედაპირული სტრუქტურის დახვეწას. სურათზე 1 მოცემულია N3 მემბრანის ზედაპირის ტოპოგრაფიული კვლევის ნიმუში, რომელიც მიღებულია მასკანირებელი ზონდური მიკროსკოპით (SPM, Certus standart V, Nano Can technologies Ltd), იმერსიული მეთოდით, 12%-იანი პოლიამიდი 6-ის და პეგ-1000-ის (პოლიმერის მასის 50%) გახსნით ჭიანჭველამუჯავაში.



12% პა 6/HCOOH/, 50% პეგ 1000 კომპოზიციიდან მიღებული მემბრანა (N3)

ამგვარად დადგენილია, რომ პოლიეთილენგლიკოლი 1000-ის კონცენტრაციის გაზრდა დასასხმელ კომპოზიციამში იწვევს წყლის საფილტრაციო ნაკადის მატებას 1, 2 და 3 მემბრანებში. პა 6 / პეგ 1000 50/50 თანაფარობით მომზადებული კომპოზიციიდან მიღებული მემბრანა N3-ის ხვ. წარმადობა შეადგენს 560,63, ფორის ზომა 0,32 მკმ, მემბრანის სისქე 0,042 მმ და ფორიანობა 62%. ფორის ზომის შემცირების მიუხედავად N3 მემბრანის ხვედრითი წარმადობა უფრო მეტია, ვიდრე N1 და N2 მემბრანების. მემბრანა N3-ის მახასიათებლების და გაფილტრული წყლის ანალიზის შედეგებიდან გამომდინარე შეიძლება დავასკვნათ, რომ მისი გამოყენება შესაძლებელია წყლის მიკროფილტრაციულ დანადგარებში.

**ლიტერატურა**

1. К.В. Окулов, Ю.Т.Панов, А.И. Вдовина, А.В. Тарасов. Влияние различных марок полиамида 6 на порометрические характеристики микрофилтратционных мембран. // Изв. Вузов. Химия и химическая технология, 2013, Т. 56, № 2, 91 с.
2. К.В. Окулов, А.В. Тарасов, Ю.А. Федотов. Влияние температуры приготовления раствора на порометрические характеристики микрофилтратционных полиамидных мембран. / Сб. трудов XI Всероссийская научная конференция «Мембраны - 2010», - М., 2010, с. 54.

3. Gobi Nallathambiah, M Abinaya, S. Ragavee, R Sivaranjani, S Arunkarthick, S Nisha & B Devi , Preparation and characterisation of Nylon/PEG/PAN composite membrane for liquid filtration. //Indian Journal of Fibre & Textile Research Vol. 42, December 2017, pp. 480-487
4. Bulte A M W, Folkers B, Mulder M H V & Smolders C A, Diffusion induced phase separation with crystallizable nylons. I. Mass transfer processes for nylon 4,6, J Appl Polym Sci, 50 (1993) 13.
5. Kesting R E, Synthetic polymeric membranes-A structural perspective, by Synthetic Polymeric Membranes (Wiley, New York) 1985. // J Appl Polym Sci, 50 1993, p.13.
6. Liwei Huang, Seetha S Manickam, Jeffrey R. McCutcheon n Increasing strength of electrospun nanofiber membranes for water filtration using solvent vapor Liwei Huang, Seetha S Manickam, Jeffrey R. McCutcheon n.

#### **SUMMARY**

#### **STUDY OF THE EFFECT OF POLYMER ADDITIVE ON THE STRUCTURE OF MEMBRANES OBTAINED FROM ALIPHATIC AMIDES**

**Bibileishvili G.V., Gogesashvili N.N., Mamulashvili M.A. and Javashvili Z.D.**

**Engineering Institute of Membrane technology of Georgian Technical University**

The paper discusses the acceptance and research of membranes obtained by addition of different amounts of polyethylene glycol (1000) in a 12% solution of aliphatic polyamide – PA6. It has been established that a membrane obtained in a mass ratio of 50/50 from a polymer / PEG composition has a better surface structure and higher productivity despite a reduction in pore size.

**Keywords:** membrane, polyethylene glycol, polyamide, microfiltration.

**ორბანული დანამატების გავლენის კვლევა პოლისულფონური მემბრანების  
სტრუქტურაზე**

ბიბილეიშვილი გ.გ., გოგესაშვილი ნ.ნ., ებანოიძე ლ.ო., კეჟერაშვილი მ.გ.

**საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მემბრანული ტექნოლოგიების  
საინჟინრო ინსტიტუტი**

პოლისულფონები (პს) ფართოდ გამოიყენება საბაზისო მასალებად ულტრა-და მიკროფილტრაციული მემბრანების მისაღებად. პოლისულფონის მაკრომოლეკულებს გააჩნიათ მაღალი თერმოდინამიური სიხისტე პარა-არომატული ბირთვების და ელექტრონების ეფექტური დელოკალიზაციის გამო. მაკრომოლეკულების კონფიგურაცია განაპირობებს ასევე ამ ნაერთების მდგრადობას წყლისა და წყლის ორთქლის მიმართ. პოლისულფონები წარმოადგენენ ქიმიურად სტაბილურ პოლიმერებს და ამ მასალებისგან მიღებული მემბრანები გამოიყენებიან pH (1–13)-ის დიაპაზონში როგორც ტუტე, ისე მჟავა არეებში [1-5]. აღნიშნული პოლიმერისგან მემბრანების ფორმირება შეიძლება განხორციელდეს სხვადასხვა პირობებში, განსხვავებულ რეჟიმებში და განსხვავებული ფორმირების დამატებით, რაც ასევე იძლევა ფორის ზომის ვარიაციის საშუალებას ფართო დიაპაზონში. წინა კვლევებში [6] ჩვენს მიერ პოლისულფონურ კომპოზიციებში ორგანულ დანამატად გამოყენებული იყო პეგ-400. აღნიშნულ კვლევაში კი გამოყენებულია ერთდროულად პეგ-400 და ასევე პოლოქსამერი. მემბრანების ფორმირება ჩატარებულია ფაზური ინვერსიის სველი მეთოდით [7-9].

პოლისულფონი (პს) თავსდება 100 მლ-იან კოლბაში LiCl-ის 5%-იან ხსნარში დიმეთილფორმამიდში (დმფ) და 55 °C-ზე გაცხელებით მაგნიტური სარეველათი მუდმივი მორევის პირობებში ტარდებოდა გახსნის პროცესი. გახსნილ კომპოზიციას ემატებოდა პოლიეთილენგლიკოლი (PEG-400) და პოლოქსამერი (Pluronic F-127) და მორევა გრძელდებოდა კიდევ 1 საათს. პოლიმერის გახსნის პროცესის მონიტორინგი ხორციელდებოდა პოლარიზაციულ-ინტერფერენციული ოპტიკური მიკროსკოპით (Biolar, პოლონეთი), გადიდების დიაპაზონით 350–400 და მასზე დამონტაჟებული 10,7 მკ მკაფიოობის ციფრული კამერით, რომელიც გამოსახულებას ადიდებს 1,5-ჯერ. პოლისულფონის გახსნის მონიტორინგი და დასასხმელ ხსნარებში ნაწილაკების ზომები გამოკვლეულ იქნა Malvern ZetasizerNano-ZS90. მიღებული ერთგვაროვანი, ჰომოგენური, მემბრანების დასასხმელი კომპოზიციები გაფილტვრის და ვაკუუმში დეაერაციის შემდეგ დაიტანებოდა ლაბორატორიულ ფილერზე მოთავსებულ მინის პოლირებულ ფირფიტაზე (76მმx26მმx1მმ) უჟანგავი ფოლადის დანის დახმარებით. გამოლექვის პროცედურები ჩატარებულია გამოსდილი წყლის საკოაგულაციო აბაზანაში 60 °C-ზე. მიღებული ნიმუშები ირეცხებოდა 60 °C-იანი წყლით ნსთ-ის განმავლობაში ყოველდობოდა გამრეცხ აბაზანაში წყალში ხსნადი ნივთიერებების მოსაცილებლად.

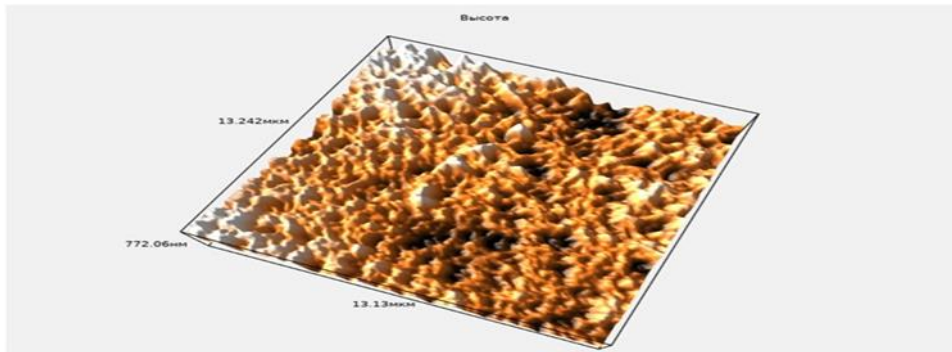
ცხრილში მოცემულია კომპოზიციის შედგენილობები და მიღებული მემბრანების ხვედრითი წარმადობები, ფორის ზომები და ფორიანობა.

მემბრანების ფორის ზომა და ხვედრითი წარმადობა განსაზღვრულ იქნა ინსტიტუტში დამზადებულ ლაბორატორიულ დანადგარებზე MTSI-BP-3 და MTSI-JM-5. ფორის ზომა გამოთვლილია ფორმულით  $d_{max} = 0,81/P$ , სადაც  $d_{max}$  – ფორის ზომა (მკმ),  $P$  – წნევა (ბარი), რომელზეც ბუშტულაკების წერტილი წარმოიქმნა. ხვედრითი წარმადობები გამოთვლილია ფორმულით:  $J = V/St$  სადაც,  $V$  – ფილტრატის მოცულობა (ლ),  $t$  – ფილტრაციის დრო (სთ),  $S$ -მემბრანის ფართობი. მემბრანის ეფექტური ფართობი 270 მმ<sup>2</sup>. ფილტრატის სისუფთავე მოწმდებოდა სიმღვრივის მზომზე (Turb 555 IR, გერმანია).

პოლიმერული კომპოზიციების შემადგენლობები და მიღებული საცდელი ნიმუშების მახასიათებლები

	პოლიმერული კომპოზიციის შემადგენლობა	ხვ.წარმადობა ლ/მ <sup>2</sup> სთ	ფორის ზომა, მკმ	ფორიანობა, %
P1	18%-იანი პს / დმფ /LiCl (უდანამატო)	2900	0,55	30±2
P2	18% -იანი პს / დმფ /LiCl30%პეგ+20%პოლოქსამერი	5333	1,08	41±1
P3	18%-იანი პს / დმფ /LiCl +15%პეგ+20%პოლოქსამერი	4740	0,81	50±3
P4	18%-იანი პს/LiCl/დმფ +15%პეგ+10%პოლოქსამერი	4700	0,67	62±2

ცხრილის მონაცემებიდან ჩანს, რომ პოლისულფონის უდანამატო კომპოზიციიდან მიღებული 1 ნიმუშის წარმადობა, ფორის ზომა და ფორიანობა არის უფრო მცირე, ვიდრე დანამატიანი ნიმუშების. მასკანირებელი ზონდური მიკროსკოპით (SPM, Certus standart V, Nano Can technologies Ltd. რუსეთი) მემბრანების ზედაპირის ტოპოგრაფიულმა კვლევამ აჩვენა, რომ ერთდროულად პეგ-ის და პოლოქსამერის დამატებამ P2, P3 და P4 ნიმუშებში გააუმჯობესა მემბრანების სტრუქტურა, გაზარდა რელიეფის ერთგვაროვნება, ფორიანობა და წარმადობა. მემბრანების ზედაპირები გახდა უფრო გლუვი და მკვრივი. სურათზე მოცემულია 4 ნიმუშის მიკრო სურათი რომელზეც მუქი და ღია ფერის მონაკვეთები ერთგვაროვნად არის განაწილებული. ამ მემბრანის წარმადობა ფორის ზომის შემცირების მიუხედავად უფრო მეტია, ვიდრე უდანამატო ნიმუშის და გაუმჯობესებულია მისი რელიეფი, ფორიანობა და სტრუქტურა.



P4 საცდელი მემბრანულ ნიმუშის მიკროსურათი

ჩატარებული კვლევებით დადგინდა, რომ პეგის და პოლოქსამერის მოცემული რაოდენობები 18%-იანი პოლისულფონის პოლიმერული კომპოზიციის ხსნარებში გაფლენას ახდენს მიღებული მიკროფილტრაციული მემბრანების სტრუქტურაზე, მახასიათებლებზე და იძლევა მემბრანების ფორის ზომის ვარირების საშუალებას 0,67 მკმ – 1,08 მკმ ფარგლებში.

**ლიტერატურა**

1. Khalefa A. Faneer<sup>1,2</sup>, Rosiah Rohani<sup>1\*</sup>, Abdul Wahab Mohammad<sup>1</sup> POLYETHERSULFONE/PLURONIC F127 BLENDED NANOFILTRATION MEMBRANES FOR XYLITOL PURIFICATION. //Malaysian Journal of Analytical Sciences, 2017, Vol 21, No 1, pp. 221-230.
2. Mohammad A.W., Teow Y.H., Ang W.L., Chung Y.T., Oatley-Radcliffe D.L., Hilal N./Nanofiltration membranes review: Recent advances and future prospects. Desalination, 2015, 356:226–254.



3. Yingnan Fend, Gang Han, Tai Shung Chung, Martin Weber, Natalia Widjojo, Christian Maletzko, Effects of polyethylene glycol on membrane formation and properties of hydrophilic sulfonated polyphenylenesulfone (sPPSU) membranes. //Journal of Membrane Science, 1 June 2017, pp. 27-35.
4. Smolders, C.A.; Reuvers, A.J.; Boom, 4.R.M.; Wienk, I.M. Microstructures in phase-inversion membranes. Part 1. Formation of macrovoids. //J. Membr. Sci. 1992,73, pp. 259–275.
5. Barzin, J., Madaeni, S. S., Mirzadeh, H., Effect of preparation conditions on morphology and performance of hemodialysis membranes prepared from polyethersulphone and polyvinylpyrrolidone. //Iranian Polymer Journal, 2005, 14, pp. 353-360.
6. ბიბილეიშვილი გ.ვ., გოგეშაშვილი ნ.ნ., ებანიძე ლ.ო. პოლიმერის კონცენტრაციის და ორგანული დანამატების გავლენის კვლევა მიღებული მემბრანების ფორიანობასა და წარმადობაზე. //საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, №2, 2020, გვ. 156-157.
7. Abdelrasoul, A.; Doan, H.; Lohi, A.; Cheng, C.H. Morphology control of polysulfone membrane sinfiltration processes: A critical review. Chembioeng Rev. 2015, 2, pp.22–43.
8. M.E. Dmitrenko a, A.V. Penkova\*, R.R. Attaa, A.A. Zolotareva, T.V. Plisko b, A.S. Mazur a,N.D. Solovyev a, S.S. Ermakov, The development and study of novel membrane materials based on polyphenylene isophthalamide - Pluronic F127 composite, Materials and Design, 2015, 9, 156.
9. T. V. Plisko, A. V. Bilyukevich, Y. A. Isaichykava, V. V. Volkov. The Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus, PREPARATION OF POLYPHENYLSULFONE/POLYSULFONE BLEND MEMBRANES, 2017, Vol 61, No 1.

#### **SUMMARY**

#### **RESEARCH OF THE INFLUENCE OF ORGANIC ADDITIVES ON THE STRUCTURE OF POLYSULFONE MEMBRANES**

**Bibileishvil G.V., Gogesashvili N.N., Ebanoidze L.O. and Kezherashvili M.G .**

**Engineering Institute of Membrane technology of Georgian Technical University**

In the present study microfiltration polymeric membranes were obtained from 18% polysulfone composition, in which different percentages of polyethylene glycol (PEG-400) and poloxamer (Pluronic F-127) were used simultaneously as additives. A correlation is established between the the composites to be poured and the structure and characteristics of the membranes obtained.

**Keywords:** polysulfone, pluronic, polyethylene glycol, productivity.

ულტრაფილტრაციული მემბრანებით დამუშავებული ბუნებრივი მტკნარი წყლების მიკრობიოლოგიური კვლევა

ბიბილეიშვილი გ.გ., მამულაშვილი მ.ა., ჯავაშვილი ზ.დ., კაკაბაძე ე.გ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტი

გარემოს დაცვისა და ბუნებრივი პირობების მდგრადობის უზრუნველყოფის მიზნით, ჩატარებული ბარომემბრანული პროცესების კვლევის და ბიორეაქტორზე დამუშავებული ნიმუშების მიკრობიოლოგიური ანალიზების ჩატარების შედეგად შემუშავდა ადამიანის ჯანმრთელობისათვის უვნებელი წყლის მიღების ტექნოლოგია, მიკრობიოლოგიური უსაფრთხოების სტანდარტის დაცვით.

წყლის მიკრობიოლოგიური ანალიზი მოიცავს სხვადასხვა ანალიზს მიკროორგანიზმების ინდიკატორის დასადგენად. ზოგიერთი მიკროორგანიზმი ბუნებრივად არის წარმოდგენილი წყალში, ზოგი ნიადაგიდან გადადის, ზოგიერთი მიკროორგანიზმი კი ადამიანისა და ცხოველების მიერ მოხმარებულ წყალში და ნარჩენებში გვხვდება. [1,2]

მდინარე მტკვარი ბინძურდება სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო ჩამდინარე წყლებით. მტკვრის წყლის დაბინძურების მრავალი წყაროს არსებობის მიუხედავად წყელზე მდინარეში მათი განზავება საგრძნობლად ამცირებს მიკროორგანიზმების რაოდენობრივ მაჩვენებლებს.

მემბრანული პროცესებისა და მიკრობიოლოგიურ ლაბორატორიაში წყლის მიკრობიოლოგიური კვლევა ტარდებოდა ულტრაფილტრაციული 0,01 მკმ – 0,1 მკმ ფორის ზომის მემბრანებით დამუშავებულ მდინარე მტკვრის წყლის ფილტრატზე და საწყის სინჯებზე.

ულტრაფილტრაციულ დანადგარზე დამუშავებული მდინარე მტკვრის წყლის მიკრობიოლოგიური მაჩვენებლები

ინდიკატორი	საზომი ერთეული	ნორმატივი	ანალიზის შედეგი
მეზოფილურ აერობული და ფაკულტატურ ანაერობული მიკროორგანიზმების რაოდენობა, 1 მლ-ში 22 °C 37 °C	100 20	არა უმეტეს არა უმეტეს	არ აღმოჩნდა არ აღმოჩნდა
საერთო კოლიფორმული ბაქტერიები	ბაქტერიების რაოდენობა 300 მლ	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა
ეშერიხია კოლი	ბაქტერიების რაოდენობა 300 მლ	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა
პათოგენური მოკროორგანიზმები მათ შორის <i>Salmonella</i>	100 მლ	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	250 მლ	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა
<i>Streptococcus faecalis</i>	250 მლ	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა

საანალიზოდ აღებული საწყისი სინჯები ინკუბაციისთვის გაიფილტრა მიკრობიოლოგიურ დანადგარზე – ბიორეაქტორზე, რომელიც დამუშავდა მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტში. ბიორეაქტორი დამზადებულია უჟანგავი ფლადისაგან და მისთვის გამოიყენება 0,2 – 0,45 მკმ ფორის ზომის სტერილური მემბ-

რანული ფირები, რომლებიც ასევე დამზადებულია მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტში. ბიორეაქტორში მოთავსებული 300 მლ საკვლევი წყლის ნიმუში დამუშავდა  $3 \times 10^{-1}$  პა ვაკუუმის პირობებში, ვაკუუმ ტუმბოთი (მარკა – 2 Stages Vacuum Pump Model VE 260) მიკროორგანიზმების ინკუბაცია განხორციელდა 24 – 48 სთ განმავლობაში 37 °C ტემპერატურაზე თერმოსტატში (მარკა – H SPT-200 VACUUM DRIER). [3-6]. დადგინდა წყლის მიკრობიოლოგიური ანალიზის მთავარი კომპონენტები – მეზოფილურ აერობული და ფაკულტატურ ანაერობული მიკროორგანიზმები, საერთო კოლიფორული ბაქტერიები, ეშერიხია კოლი, პათოგენური მოკროორგანიზმები მათ შორის *Salmonella*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Streptococcus faecalis*, რაც შეესაბამებოდა სტანდარტით განსაზღვრულ ნორმებს, ხოლო ულტრაფილტრაციის შემდეგ განსაზღვრული მიკრობთა რაოდენობა მოცემულია ცხრილში. [7-9]

ამგვარად, ჩატარებული მიკრობიოლოგიური კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ ულტრაფილტრაციული პროცესის გამოყენებით გაწმენდილ და გაუსუნებოვნებულ მტკვრის წყალში მიკროორგანიზმების მახვენებელები გაცილებით მცირეა, ვიდრე მტკვრის წყლის საწყის ნიმუშებში და იგი უვნებელია ადამიანის ჯანმრთელობისთვის. მტკვრის წყლის ზოგიერთ სინჯში 0,01 მკმ ფორის ზომის მემბრანებით დამუშავების შემდეგ მიკროორგანიზმები საერთოდ არ აღმოჩნდა.

#### ლიტერატურა

1. American Public Health Association (APHA). Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th edition. Washington DC, 1998.
2. Bello, H.S., Isa, M.A., Shettima, A., and Allamin, I.A. Physico-Chemical Changes and Bacteriological Contamination of Drinking Water from Wash Boreasin Jere, Borno State, Nigeria. //Journal of Microbiology and Biotechnology Research. 2013, 3 (3), pp.126-131.
3. ი. გველეხიანი. ლაბორატორიული პრაქტიკული მიკრობიოლოგიაში. –თბილისი, ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2009, 42 გვ.
4. მარინე კალანდარიშვილი. მიკრობიოლოგია. –თბილისი, გრ. რობაქიძის სახელობის უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 2011, 172 გვ
5. Radha Krishnan, R.; Dharmaraj, K.; Ranjitha Kumari, B. D. A Comparative Study on the Physicochemical and Bacterial Analysis of Drinking, Borewell and Sewage Water in the Three Different Places of Sivakasi. //Journal of Environmental biology, 2007, v. 28, No. 1, pp. 105-108.
6. Методические рекомендации № 24 ФЦ/6289. Методы определения колиформных бактерий, бактерий вида *E. Coli* с применением пластин «Petrifilm» производства компании 3М (США). -М.: Минздрав РФ, 2006.
7. Rajurkar N.S, Nongbri B, Patwardhan A.M. Physico-Chemical and Microbial Analysis of Umian (Brapani) Lake Water. //Indian Journal of Environmental Proceedings, 2003, v. 23, No. 6, pp. 633- 63.
8. МР 24 ФЦ/513. Определение колиформных бактерий и *E. Coli* с использованием хромогенных и флюорогенных индикаторных сред производства компании «Merck» (Германия). – М.: Минздрав России, 2003.
9. МУК 4.2.1018–01. Санитарно-микробиологический анализ питьевой воды. - М.: Минздрав России, 2001.

#### SUMMARY

#### MICROBIOLOGICAL STUDY OF FRESH NATURAL WATER TREATED WITH ULTRAFILTRATION MEMBRANES

**Bibileishvili G.V., Mamulashvili M.A., Javashvili Z.D. and Kakabadze E.G.**

**Engineering Institute of Membrane Technologies of Georgian Technical University**

The article deals with the microbiological research of natural fresh water treated with ultrafiltration process. The number of microorganisms in the treated and disinfected water was found to be much lower than in the original Mtkvari water samples and corresponded to the norm set by the state standard. It was found that no microorganisms were detected in Mtkvari water treated with 0.01  $\mu\text{m}$  pore size membranes.

**Keyword:** Fresh water, microbiological, ultrafiltration, membrane, incubation, bioreactor.

შავი ზღვის წყლის მიკრობიოლოგიური კვლევა და ულტრაფილტრაციის მეთოდის გამოყენება საქართველოს საპროტოქტო ზონის ეკოლოგიურად სუფთა წყლით უზრუნველყოფისათვის

ბიბილეიშვილი გ.გ., მამულაშვილი მ.ა., ჯავახიშვილი ზ.დ., ბუთხუზი თ.გ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტი

შავი ზღვა მსოფლიო ოკეანისგან მეტად იზოლირებული დიდი ზომის მერო-მიქტული წყალსაცავია, სადაც წყალი მუდმივად სტრატეფიცირებულია. წყლის ზედა ფენა ჟანგბადს ატმოსფეროდან იღებს, ხოლო 130–150 მეტრის ქვემოთ წყალი მდიდარია გოგირდწყალბადით. წყლის 87–90 % ანოქსიურია. შავ ზღვაში ბოსფორის სრუტიდან შემოსული ხმელთაშუა ზღვის მარილიანი წყალი უფრო მძიმეა, ვიდრე მდინარეების დუნაის, დნესტრის, სამხრეთის ბუგის, დნეპრის, რიონის, ჭოროხის ჩადინების შედეგად შავი ზღვიდან გადინებული მტკნარი წყალი, რაც განაპირობებს წყლის სიმკვრივის მკვეთრ ცვალებადობას. გოგირდწყალბადი აკუმულირებულია ჰალოკლინის ფენის ქვეშ, ხოლო ჟანგბადი შეინიშნება წყლის შეღწეულ ფენებში. 150 – 200 მეტრის ქვევით გოგირდწყალბადის კონცენტრაცია იზრდება (9,5 მგ/ლ) 1000 მეტრის სიღრმემდე. გოგირდწყალბადის წარმოქმნილი ბაქტერიები დაახლოებით 10000 ტონა გოგირდს წარმოქმნიან დღის განმავლობაში. ანაერობულ პროცესში სულფიდმარეღუცირებული ბაქტერიების მიერ ადგილი აქვს სულფატის აღდგენას გოგირდწყალბადამდე, შედეგად ამ შრეში სულფატების შემცველობა შემცირებულია, ხოლო ჰიდროკარბონატებისა – გაზრდილი.

გოგირდწყალბადის გარდა შავ ზღვაში ვხვდებით ანაერობული ბაქტერიული წარმოშობის კიდევ ერთ აირს – მეთანს. მეთანი წარმოიქმნება არქეობაქტერიების (*Archaea*) ცხოველმქმედების შედეგად. მაღალი წნევის და დაბალი ტემპერატურის ზემოქმედების პირობებში მეთანი წარმოქმნის მარილებს – აიროჰიდრატებს. შავი ზღვის ევტროფიკაციას აძლიერებს ორი პროცესის თანხვედრა: ანთროგენური და ბუნებრივი პროცესების ერთობლივი მოქმედება. ადამიანის საქმიანობის შედეგად მდინარეების და ზღვის დაბინძურება ასტიმულირებს გოგირდწყალბადის და მეთანის წარმოქმნილი ბაქტერიების გამრავლებას. შედეგად მატულობს შავ ზღვაში ჟანგბადით ღარიბი, გოგირდწყალბადით მდიდარი უსიცოცხლო, მკვდარი ზონები. ჟანგბადის ნაკლებობის შედეგად იღუპებიან ცოცხალი ორგანიზმები, იქმნება კიდევ მეტი ორგანული დაბინძურება, რაც გოგირდწყალბადის წარმოქმნას უწყობს ხელს. [1-3]

შავი ზღვის წყლების მყარი მასა შეიცავს მარილებს:  $NaCl$ ,  $KCl$ ,  $MgSO_4$ ,  $CaCO_3$ , რომლებიც წყალში იმყოფებიან დისოცირებულ მდგომარეობაში შემდეგი იონების სახით:  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ , და  $K^+$ . ჩამოთვლილი იონების პროცენტული თანაფარდობა შავი ზღვის წყლებში განსხვავებულია ოკეანის წყლებთან შედარებით. ორგანული ნაერთები შავ ზღვაში იმყოფებიან გახსნილ, კოლოიდურ და შეწონილ მდგომარეობაში. იმ ფენებში, სადაც წყლის სიმკვრივე მკვეთრად იზრდება, ორგანულ ნაერთთა რაოდენობაც მატულობს. [4,5]

საქართველოს ტერიტორიული წყლები დაბინძურებულია ვერცხლისწყლით Hg, რკინით Fe, სპილენძით Cu, დარიშხანით As. თევზების ქსოვილებში ინდენფიცირებულია ელემენტები: კობალტი Co, ტყვია pb, ნიკელი Ni, სპილენძი Cu, თუთია Zn, ბისმუტი Bi. კადმიუმი Cd, ქრომი Cr. შავ ზღვაში 145 სახის დამაბინძურებელი ნივთიერებიდან 30 მიეკუთვნება პესტიციდების სახეობას. ხელოვნური დაბინძურება შავი ზღვის უმთავრესი ეკოლოგიური პრობლემაა, რომელსაც ქმნის საყოფაცხოვრებო, სამრეწველო, ატმოსფერული და მდინარეების მიერ ჩატანილი მანგნე ნარჩენები [6].

ჩამდინარე და სასმელი წყლების გაწმენდის საუკეთესო საშუალებაა მემბრანული ფილტრაცია. მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტის მიერ შავი ზღვის სანაპირო ზოლში აღებულ სინჯებზე ჩატარებული იყო მიკრობიოლოგიური კვლევა, რამაც აჩვენა ზღვის ფეკალური წყლებით დაბინძურება, მდინარეთა

ჩადინების ადგილებში. კოლიფორმული ბაქტერიების მინიმალური რიცხვი 100 მლ ზღვის წყალში აღემატება 110000-ს/1000 მლ-ზე რაც 110-ჯერ აღემატება ზღკ-ს, ხოლო მათი მინიმალური რაოდენობა სანაპირო ზოლში დაფიქსირდა – 360/1000 მლ. „ლურჯი დროშის“ საცურაო წყლის სტანდარტია: საერთო კოლიფორმების რაოდენობა <500 უჯრ/100მლ-ზე, ფეკალური კოლიფორმების რაოდენობა <100 უჯრ/100მლ-ზე, ფეკალური ენტეროკოკის რაოდენობა <100 უჯრ/100მლ-ზე. აღნიშნული წყლების გაუსვებოვნებისათვის გამოყენებული იქნა ულტრაფილტრაციული მემბრანები ფორის ზომით 0,01მკმ – 0,1მკმ. მიღებულმა შედეგმა დააკმაყოფილა „ლურჯი დროშის“ საცურაო წყლით გათვალისწინებული მოთხოვნები [6].

ცხრილში მოცემულია მტკნარი წყლის და შავი ზღვის საცურაო აუზის მიკრობიოლოგიური ინდიკატორები შესაბამისი სტანდარტული საზომი ერთეულებით და მემბრანული ულტრაფილტრაციის შედეგად მიღებული მაჩვენებლებით.

**შავ ზღვაში ჩამდინარე და საცურაო წყლის მიკრობიოლოგიური კვლევა ულტრაფილტრაციის შემდეგ**

ინდიკატორი	საზომი ერთეული მტკნარ წყლის	ნორმატივი ჩამდინარე წყალი	საზომი ერთეული საცურაო წყლის	ნორმატივი საცურაო წყალი	ანალიზის შედეგი ულტრაფილტრაციის შემდეგ
საერთო კოლიფორმული ბაქტერიები	ბაქტერიების რაოდენობა 300 მლ	არ დაიშვება	<500 უჯრ/100მლ	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა
ფეკალური კოლიფორმების რაოდენობა	ბაქტერიების რაოდენობა 250 მლ	არ დაიშვება	<100 უჯრ/100მლ	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა
ფეკალური ენტეროკოკის	ბაქტერიების რაოდენობა 300 მლ	არ დაიშვება	<100 უჯრ/100მლ		არ დაიშვება

ამგვარად, მემბრანული ტექნოლოგიების ინსტიტუტში შემუშავებული მეთოდები უზრუნველყოფენ შავი ზღვის წყლის მოიკროორგანიზმებისაგან გაწმენდა-გაუსვებოვნებას.

კვლევის შედეგის საფუძველზე დამუშავდა შავი ზღვის ზოლში საკურორტო ინფრასტრუქტურისათვის საცურაო აუზებისა და სასმელი წყლების სტერილიზაციის ულტრაფილტრაციული ტექნოლოგია, რაც ხელს შეუწყობს ტურისტული ინდუსტრიის გაფართოებასა და განვითარებას.

**ლიტერატურა**

1. Begum Y.A., Talukder K.A., Nair G.B., Svennerholm A.M., Sack R.B., Qadri F. Enterotoxigenic Escherichia coli isolated from surface water in urban and rural Bangladesh. //J. Clin. Microbiol, 2000, v.38, pp. 27-31.
2. Qadri F., Svennerholm A.M., Faruque A.S.G., Bradley R. Enterotoxigenic Escherichia coli in Developing Countries: Epidemiology, Microbiology, Clinical Features, Treatment and Prevention. // J. Clinical Microbiology Reviews, 2005,v. 18, No3, pp. 465-483.
3. EU / UNDP project „Improving Enviromental Monitoring in the Black Sea – Selected Measures

4. გ. ბიბილეიშვილი, მ. კეზერაშვილი, ნ. გოგესაშვილი,.... შავი ზღვის წყლის გამტკნარების მემბრანული ტექნოლოგიის დამუშავება. //ქიმიური ჟურნალი ტ.18 №(1), 2018, გვ. 162-165.
5. Boetius, A. et al. A marine microbial consortium apparently mediating anaerobic oxidation of methane. //Nature 407, 2000, pp. 623-626.
6. საქართველოს პარლამენტი. შავი ზღვის დაბინძურებისაგან დაცვის კონვენციის ოქმი შავი ზღვის ბიოლოგიური მრავალფეროვნების და ლანდშაფტის შენარჩუნების შესახებ (24.09.2009).

#### **SUMMARY**

#### **MICROBIOLOGICAL STUDY OF BLACK SEA WATER AND USE OF ULTRAFILTRATION METHOD TO PROVIDE ECOLOGICALLY CLEAN WATER TO THE RESORT AREA OF GEORGIA**

**Bibileishvili G.V., Mamulashvili M.A., Javashvili Z.D. and Butchuzi T.G.**

**Engineering Institute of Membrane Technologies of Georgian Technical University**

The paper discusses the impact of the chemical and microbiological characteristics of the Black Sea on the Black Sea ecosystem. Microbiological study of wastewater of the Black Sea resort area of Georgia has been conducted and ultrafiltration method of water treatment was studied. The method of microbiological purification-decontamination of water with 0.01  $\mu\text{m}$  porous membranes as a result of ultrafiltration of Black Sea water has been established.

**Keyword:** Black Sea, ecology, pollution, water, microbiology, ultrafiltration.

პოლიეთერსულფონების მემბრანული აპკების მორფოლოგიური თვისებების კვლევა ორბანული დანამატების ბავლენის ბათვალისწინებით

ბიბილეიშვილი გ.გ., გოგესაშვილი ნ.ნ., კეჟერაშვილი მ.გ.,  
მამულაშვილი მ.ა., ებანოიძე ლ.ო.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტი

პოლიმერული მემბრანების სტრუქტურის ფორმირებისა და წარმოქმნის მექანიზმის გარკვევა, მთავარი ფაქტორია სასურველი თვისებების მქონე მემბრანების შექმნისთვის. დანამატების შეტანა პოლიმერი-გამსხნელის სისტემაში მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მემბრანის სტრუქტურის ფორმირებაზე და განსაზღვრავს მის მახასიათებლებს. ისეთი დანამატები, როგორცაა პოლივინილპიროლიდონი (პვპ), პოლიგლიკოლები და სხვები, სველი ფორმირებისა და სპონტანური გელწარმოქმნის დროს ეფექტურად არეგულირებენ მაკროსიციარელებს მემბრანის სუბსტრუქტურაში, ასევე ფორიანობას, ფორის ზომას, ჰიდროფილურობასა და სხვა თვისებებს [1-3].

სამუშაოს მიზანს წარმოადგენდა პოლიეთერსულფონების (პეს) პოლიმერული კომპოზიციებიდან მიღებული მემბრანული აპკების მახასიათებლებზე სხვადასხვა მარკის K12, K17, K25 და რაოდენობის (5%, 10%, 15%) პოლივინილპიროლიდონის(პვპ) გავლენის შესწავლა [4].

აღნიშნული სამუშაოებისთვის გამოყენებული იყო პოლიეთერსულფონების 15%-იანი ხსნარი დიმეთილაცეტამიდში (დმმა) და ორგანულ დანამატად პოლივინილპიროლიდონი. კომპოზიციები მომზადებულია ლაბორატორიულ პირობებში 5 სთ-ის განმავლობაში მუდმივი მორევით (50–55 °C). გამოლექვა წარმოებდა ლაბორატორიულ ფილერზე 30 °C ტემპერატურაზე წყალში.

პოლიმერული კომპოზიციების შემადგენლობები და მიღებული მემბრანული აპკების წარმადობები მოცემულია ცხრილში.

პოლიმერული კომპოზიციების ხსნარების შემადგენლობები, ნაწილაკების ზომა და რიცხვი ხსნარებში და მიღებული მემბრანების მახასიათებლები

პოლიეთერსულფონის კონც. მას.%	პვპ-ის კონც., მას.%	პვპ-ის მარკა	r, ნმ	$N \times 10^{11}$	აპკების ფორის ზომა, მკმ	მემბრანული აპკების სფ. წარმადობები ,ღ/მ <sup>2</sup> .სთ
15	5	K25	220	0,32	0,9	752
15	10	K25	280	0,25	0,85	625
15	15	K25	310	0,21	0,73	520
15	5	K17	125	0,57	0,51	689
15	10	K17	160	0,31	0,65	536
15	15	K17	195	0,27	0,78	428
15	5	K12	140	0,53	1,0	250
15	10	K12	135	0,45	1,1	184
15	15	K12	161	0,31	0,95	135

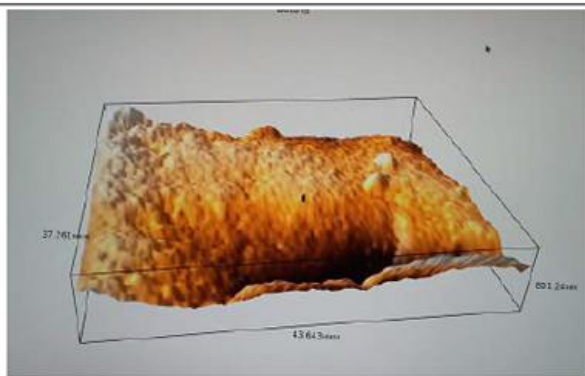
სხვადასხვა მოლეკულური მასის და კონცენტრაციის მქონე პოლივინილპიროლიდონის შემცველი პოლიმერული კომპოზიციების სიბლანტე შესწავლილია ვისკოზიმეტრული მეთოდით, ხოლო ნაწილაკების ზომა და რიცხვი ხსნარებში განსაზღვრულია სიმღვრივის სპექტრის მეთოდით

$$R = \frac{\alpha}{2\pi\mu_0} \lambda_{საშ} \quad N = 12,6 \frac{\tau_{საშ} \mu_0^2}{K(\alpha, m) \lambda_{საშ}^2 \alpha^2} \times 10^{17}$$

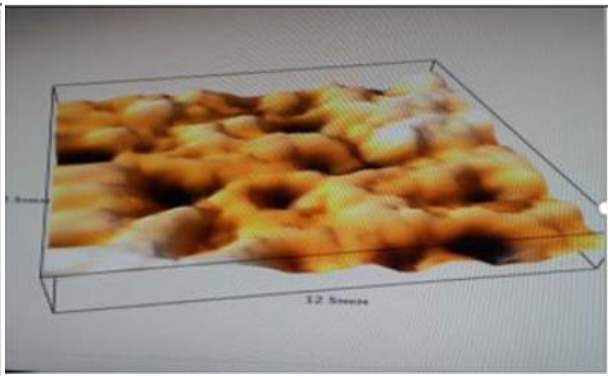
სადაც:  $\alpha$  – ფაქტორი, განისაზღვრება ნაწილაკის წრფივი ზომის შეფარდებით სინათლის ტალღის სიგრძესთან;  $\lambda_{საშ}$  – გამოთვლილი ტალღის სიგრძის დიაპაზონის საშუალო;  $\mu_0$  – დისპერსული ფაზის გარდატეხის მაჩვენებელი;  $\tau_{საშ}$  – სისტემის სიმღვრივე  $\lambda_{საშ}$ -ზე;  $K$  – განბნევის დიაპაზონი.

მიღებული მემბრანული აპკების ზედაპირული ტოპოგრაფია შესწავლილია მასკანირებელი ზონდურ მიკროსკოპზე (SPM, Certus standart V, Nano Can technologies Ltd).

სურ. 1-ზე მოცემულია პეს/პვპ/დმმა (5% K 25 პვპ) პოლიმერული კომპოზიციიდან მიღებული აპკის მიკროსურათი, ხოლო სურ. 2-ზე მოცემულია პეს/პვპ/დმმა (15% K 25 პვპ) პოლიმერული კომპოზიციიდან მიღებული აპკის მიკროსურათი. სურათებიდან ჩანს, რომ მემბრანების ზედაპირების ტოპოგრაფიული გამოსახულებები განსხვავებულია. 15%-იანი K 25 პვპ-ს შემცველი ხსნარებიდან მიღებული ნიმუშის ზედაპირის რელიეფი 5%-იანი K 25 პვპ-ს შემცველი ხსნარებიდან მიღებული ნიმუშის ზედაპირთან შედარებით არის ერთგვაროვანი ფოროვანი სტრუქტურის, მასში არ შეიმჩნევა დეფექტები და მიკროღრუბები.



სურათი 1. პეს/პვპ/დმმა (5% K 25 პვპ) პოლიმერული კომპოზიციიდან მიღებული აპკის მიკროსურათი



სურათი 2. პეს/პვპ/დმმა (15% K 25 პვპ) პოლიმერული კომპოზიციიდან მიღებული აპკის მიკროსურათი

ცხრილის მონაცემებიდან და აპკების მიკროსურათების შესწავლის შედეგად შეიძლება დავასკვნათ, რომ პოლიეთერსულფონის 15%-იანი პოლიმერული კომპოზიციიდან გამოლექილი მემბრანული აპკებიდან საუკეთესო ზედაპირული სტრუქტურით და მაღალი წარმადობით გამოირჩევა K 25 მარკის პოლივინილპიროლიდონის 15%-ის დამატებით მიღებული მემბრანა. უფრო დაბალმოლეკულური მასის მქონე მარკების პოლივინილპიროლიდონის შემცველი ხსნარებიდან მიღებულ მემბრანულ აპკებს გააჩნიათ დეფექტები და დაბალი ხვედრითი წარმადობები, რის გამოც ამ შემადგენლობების კომპოზიციებისგან მემბრანების მიღება არ არის მიზანშეწონილი.



**ლიტერატურა**

1. Abdelrasoul A, Doan H, Lohi A, Cheng C.H. Morphology control of polysulfone membrane sinfiltration processes: A critical review. /Chembioeng Rev. 2015, 2, pp.22-43.
2. Barzin J., Madaeni S.S., Mirzadeh H. Effect of preparation conditions on morphology and performance of hemodialysis membranes prepared from polyethersulphone and polyvinylpyrrolidone. //Iranian Polymer Journal, 2005, 14, pp. 353-360.
3. Smolders C.A, Reuvers A.J, Boom 4.R.M, Wienk, I.M. Microstructures in phase-inversion membranes. Part 1. Formation of macrovoids. //J. Membr. Sci. 1992, 73, pp. 259-275.
4. ბიბილეიშვილი გ.ვ., გოგეშაშვილი ნ.ნ., კაკაბაძე ე.გ. პოლიმერის კონცენტრაციის და ორგანული დანამატების გავლენის კვლევა მიღებული მემბრანების ფორიანობასა და წარმადობაზე. //საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, №2, v.91, 2020, 156-157.

**SUMMARY**

**INVESTIGATION OF MORPOLOGICAL PROPERTIES OF MEMBRANE FILM FOR POLYETHERSULFONE UNDER THE INFLUENCE OF ORGANIC ADDITIVES**

**Bibileishvil G.V., Gogesashvili N.N., Kezherashvili M.G., Mamulashvili M.A. and Ebanoidze L.O.**

**Engineering Institute of Membrane technology of Georgian Technical University**

The paper discusses the effect of the concentration of the organic additive polyvinylpyrrolidone on the characteristics of polyethersulfone membrane film. The polyvinylpyrrolidone brand and the optimum quantity (15% K 25 PVP) for the best characteristics of the membrane film have been established under the conditions of constant polyethersulfone concentration.

**Keywords:** polysulfone, polyvinylpyrrolidone, productivity, pore size.

პოლიმერულ კომპოზიციაში მიკრობელური ნაწილაკების ზომის გავლენის შესწავლა მემბრანის მორფოლოგიასა და მახასიათებლებზე

ბიბილეიშვილი გ.გ., კეჟერაშვილი მ.გ., გოგესაშვილი ნ.ნ.,  
მამულაშვილი მ.ა., ებანოიძე ლ.ო.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტი

სტატიაში განხილულია თხევად პოლიმერულ კომპოზიციაში არსებული მიკრობელური ნაწილაკების ზომის გავლენა მემბრანების ხვედრით წარმადობაზე. პოლიმერული კომპოზიცია მზადდებოდა პოლიეთერსულფონის (პეს), გამხსნელის და სხვადასხვა მოლეკულური მასის მქონე დანამატის (ე-700, ე-1200) ბაზაზე, ხოლო მემბრანა მიიღებოდა ფაზური ინვერსიის სველი მეთოდის გზით. პოლიმერულ კომპოზიციაში მიკრობელური ნაწილაკების ზომები (ჰიდროდინამიური რადიუსი) და მათი განაწილება შესწავლილი იქნა ნანონაწილაკების ზომის, მასისა და Z-პოტენციალის განმსაზღვრელი ანალიზატორით (Zetasizer Nano Zen 3690), მემბრანის ფორის ზომები და ხვედრითი წარმადობა განისაზღვრა ექსპერიმენტის გზით ლაბორატორიულ დანადგარებზე (MTSI-BP-3, MTSI-JM-5), მზა მემბრანების მორფოლოგია და სტრუქტურა შესწავლილი იქნა მასკანირებელი ზონდური მიკროსკოპით (Certus standart V). პოლიმერული კომპოზიციის შემადგენელი კომპონენტების გახსნის პროცესის პოლარიზაციულ-ინტერფერენციული ოპტიკური მიკროსკოპით და მიღებული ხსნარების სინათლის გაბნევის დინამიური მეთოდით შესწავლის შედეგად დადგინდა, რომ პოლიმერული კომპოზიცია წარმოადგენს პოლიდისპერსიულ სისტემას, რომელშიც მიკრობელური ნანონაწილაკების ზომა დამოკიდებულია ხსნარის შედგენილობაზე, კონცენტრაციაზე, ორგანული დანამატების მოლეკულურ მასაზე და რაოდენობაზე [1-3]. მემბრანის მისაღებ პოლიმერულ კომპოზიციაში არსებული ნანონაწილაკების ზომები და ამ ხსნარიდან დამზადებული მემბრანების ხვედრითი წარმადობები წარმოდგენილია ცხრილში.

პოლიმერული კომპოზიციის შედგენილობა, დანამატის მოლეკულური მასა, რაოდენობა და მიღებული მემბრანების ხვედრითი წარმადობა

პოლიმერული კომპოზიცია	ნაწილაკების ზომა Z-ave. ნმ	ხვედრითი წარმადობა ლ/მ <sup>2</sup> სთ
პეს	13,4 ნმ	2424
პეს; ე-700 (5%)	18,8	3555
პეს; ე-700 (10%)	115,3	3132
პეს; ე-700 (15%)	125,37	2969
პეს; ე-1200 (5%)	18,7	3225
პეს; ე-1200 (10%)	116,32	2929
პეს; ე-1200 (15%)	122,53	2808

ცხრილში წარმოდგენილი მონაცემებიდან ჩანს, რომ პოლიმერული კომპოზიციის ხსნარებში ნაწილაკების ზომები და ამ ხსნარებიდან დამზადებული მემბრანების ხვედრითი წარმადობის მნიშვნელობები დამოკიდებულია ორგანული დანამატების მოლეკულურ მასაზე და რაოდენობაზე. ერთი და იგივე მოლეკულური მასის მქონე დანამატის (ე-700) შემთხვევაში მიკრობელური ნაწილაკის ზომა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული კომპოზიციაში არსებული დანამატის რაოდენობაზე: დანამატის 5% შემცველობის დროს მიკრობელური ნაწილაკის ზომა შეადგენს 18,8 ნმ, მემბრანის წარმადობა 3555 ლ/მ<sup>2</sup>სთ., 10%-ის შემთხვევაში 115,34 ნმ, წარმადობა 3132 ლ/მ<sup>2</sup>სთ., ხოლო 15%-ის დროს ნაწილაკის ზომ არის 125,37 ნმ, წარმადობა 2969 ლ/მ<sup>2</sup>სთ., მაღალი

მოლეკულური მასის მქონე დანამატის ე-1200 შემთხვევაში მიკროგელური ნაწილაკის ჰიდროდინამიური რადიუსი იზრდება 18,7 ნმ-დან 122,53 ნმ-მდე დანამატის რაოდენობის ზრდასთან ერთად, ხოლო მემბრანის წარმადობა აღწევს მაქსიმუმს 5%-იანი დანამატის შემთხვევაში და არის 3225 ლ/მ<sup>2</sup>სთ. დანამატის მოლეკულური მასის 700-დან 1200-მდე გაზრდა არსებით გავლენას ვერ ახდენს მემბრანის ხვედრით წარმადობაზე.

ამრიგად, პოლიმერული კომპოზიციის შედგენილობის და კონცენტრაციის ორგანული დანამატების საშუალებით ცვლილებით ხსნარში ნაწილაკების ზომების ისეთი განაწილების მიღწევაა შესაძლებელი, რამაც უზრუნველყოფს ფორების წარმოქმნის დიდი არეალი, ფორიანობა და განაპირობა მიღებული მემბრანის მაღალი ხვედრითი წარმადობა. კვლევის შედეგად დადგენილია, რომ მიღებული მემბრანების ხვედრითი წარმადობა დამოკიდებულია პოლიმერულ კომპოზიციაში არსებული ნაწილაკების ზომებზე (ჰიდროდინამიურ რადიუსზე) [4,5]. რაც უფრო მცირეა ნაწილაკების ზომა, მით მეტია მიღებული მემბრანების ხვედრითი წარმადობა. მემბრანები მაღალი ხვედრითი წარმადობით 3225–3555 ლ/მ<sup>2</sup>სთ მიღებულია პოლიმერული კომპოზიციიდან, რომელშიც მიკროგელური ნაწილაკების ზომები არის მცირე და შეადგენს 18,7–18,8 ნმ-ს.

## REFERENCE

1. A. Abdelrasoul, H. Doan, A. Lohi, C.H. Cheng, Morphology control of polysulfone membrane sinfiltration processes: A critical review, ChemBioeng Rev. 2015, 2, pp.22-43.
2. B.S. Laila, V. Kochkodan, R. Hashaikeh, N. Hilal, A review on membrane fabrication: Structure, properties and performance relationship, Desalination, 2013, 326, pp.77-95.
3. Zularisam, A.W.; Ismail, A.F.; Salim, R. Behaviours of natural organic matter in membrane filtration for surface water treatment—A review. Desalination 2006, 194, pp.211-231.
4. Ballauff M, Lu Y., “Smart” nanoparticles: preparation, characterization and applications. Polymer, 2007, 48, pp.1815-1823.
5. Abd El-Rehim HA., Swelling of radiation crosslinked acrylamide-based microgels and their potential applications. Radiat Phys Chem, 2005, 74, pp.111-117.

## SUMMARY

### STUDY OF THE EFFECT OF MICROGEL PARTICLE SIZE IN A POLYMER COMPOSITION ON THE MORPHOLOGY AND CHARACTERISTICS OF MEMBRANES

**Bibileishvili G.V., Kezherashvili M.G., Gogesashvili N.N., Mamulashvili M.A. and Ebanoidze L.O.**

**Engineering Institute of Membrane technology of Georgian Technical University**

The article investigates the effect of the size of microgel particles present in a liquid polymer composition on the permeability of membranes. During the study, it was found that the permeability of the obtained membranes depends on the size (hydrodynamic radius) of the nanoparticles present in the polymer composition. The smaller the size of the nanoparticles, the greater the relative performance of the resulting membranes. Membranes with high permeability are obtained from a polymer composition in which the dimensions of microgel particles are small and amount to 18.8 nm.

**Keywords:** polysulfone, polymer composition, membrane, nanoparticles, morphology.

პროოქსიდანტები და ანტიოქსიდანტები ბიოლოგიურ სისტემაში

გამყრელიძე ნ.მ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ადამიანის ჯანმრთელობაზე ფენოლური ნაერთების მოქმედების შესახებ მრავალი ჰიპოთეზა არსებობს. ფენოლური ნაერთები დადებითად მოქმედებს გულ-სისხლძარღვთა სისტემაზე, ახასიათებს ანთების საწინააღმდეგო, ანტიმიკრობული, ანტიკანცეროგენული, დაბერების საწინააღმდეგო მოქმედება და ა.შ. ყოველივე ეს განპირობებულია ფენოლური ნაერთების ანტიოქსიდანტური აქტივობით [1]. ანტიოქსიდანტებს აქვთ უნარი შებოჭონ ცოცხალ ორგანიზმში მუდმივად მიმდინარე ჟანგვითი პროცესების დროს წარმოქმნილი რადიკალები.

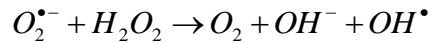
ბიოლოგიურ სისტემებში ჟანგვითი პროცესები საფუძვლად უდევს მრავალ მეტაბოლურ პროცესს. ნორმალური მეტაბოლური პროცესების მიმდინარეობისას მუდმივად წარმოიქმნება სხვადასხვა ელემენტის (ჟანგბადის, აზოტის, გოგირდის და სხვა) აქტიური ფორმები. ჟანგბადის, ქლორის, გოგირდის ან აზოტის ატომები მონაწილეობენ ცოცხალი ორგანიზმის ფუნქციონირების უმნიშვნელოვანეს პროცესებში. მცირე კონცენტრაციებისას რადიკალები და ელემენტთა აქტიური ფორმები მონაწილეობენ უჯრედულ სიგნალიზაციაში, უზრუნველყოფენ ელექტრონების ტრანსპორტირებას სუნთქვითი ჯაჭვის ფერმენტებს შორის, ლიპიდების მეტაბოლიზმს, პროსტგლანდინების, კატექოლამინების სინთეზს, არეგულირებენ უჯრედთა პოლიფერაციასა და ლიფერენციაციას, სეკრეციას, აპოპტოზისა და უჯრედთა კვლამს. ცალკეულ შემთხვევებში კი წარმოადგენენ „შხამებს“, რომლებიც სხვადასხვა პათოლოგიური პროცესების გამომწვევებია და მრავალი დაავადების ინიცირების საფუძველს წარმოადგენს [2].

ცოცხალი ორგანიზმის უჯრედებში ე.წ. „ჟანგვითი სტრესი“-ს გამომწვევებს – პროოქსიდანტებს წარმოადგენენ რადიკალები და სხვა აქტიური დამჟანგველები, რომლებიც არ მიეკუთვნებიან რადიკალებს. პროოქსიდანტები სხვადასხვა აქტივობით ხასიათდებიან და შეიძლება შეიცავდეს ჟანგბადის, აზოტის, ქლორის, გოგირდის აქტიურ ფორმებს (ცხრ. 1).

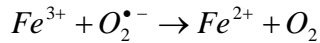
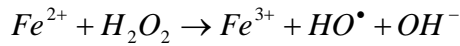
ცხრილი 1. ჟანგბადისა და ჟანგბადის შემცველი აქტიური ფორმები და მათი აქტივობები

დასახელება		ფორმულა	ფარდობითი აქტივობა
რადიკალები	დიოქსიდ რადიკალი	$O_2^{\bullet-}$	0
	პეროქსიდ რადიკალი	$HO_2^{\bullet}$	1
	ჰიდროქსიდ რადიკალი	$HO^{\bullet}$	$10^7$
	ალკილ რადიკალი	$RO^{\bullet}$	$10^4$
არარადიკალები	წყალბადის პეროქსიდი	$H_2O_2$	0
	ჰიპოქლორიტ ანიონი	$ClO^-$	$10^3$
	პეროქსინიტრიტ მუავა	$ONOOH$	$10^2$

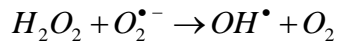
სამეცნიერო კვლევებში უჯრედული „ჟანგვითი სტრესი“-ს გამომწვევ მიზეზად სახელდება ჭარბად წარმოქმნილი რადიკალები და ელემენტთა აქტიური ფორმები. მაგალითად, უჯრედის მიტოქონდრიებსა და ციტოპლაზმაში დიოქსიდ რადიკალების დისმუტაციის  $O_2^{\bullet-}$  შედეგად წარმოქმნილი წყალბადის პეროქსიდი შეიძლება გახდეს კიდევ უფრო აქტიური პროოქსიდანტის – ჰიდროქსიდ რადიკალის წარმოქმნის წყარო:



ლითონთა იონების თანაობისას ეს პროცესი მნიშვნელოვნად ჩქარდება. ლითონთა იონების მონაწილეობით რადიკალების წარმოქმნის ერთ-ერთი შედარებით კარგად ცნობილი მაგალითია „ფენტონის რეაქცია“ [3]:



ჯამური რეაქცია:



წყალბადის პეროქსიდის გახლეჩვის შედეგად წარმოქმნილი ჰიდროქსიდ რადიკალი ( $OH^{\bullet}$ ) მონაწილეობს მრავალი ორგანული ნივთიერების ჟანგვის პროცესში, მათ შორის ცილების, ნუკლეინის მუკების, ლიპიდების. ამ რეაქციების შედეგად წარმოიქმნება ახალი აქტიური რადიკალები და წყალბადის პეროქსიდი, რაც შეიძლება გახდეს მიზეზი ჯაჭვური მექანიზმით მიმდინარე ჟანგვითი პროცესების ტალღისებური გავრცელებისა.

ცხრ. 1-ში მოყვანილი მონაცემების შეფასებისას მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული ამ ნაერთთა სიცოცხლის ხანგრძლივობა და კონცენტრაცია ციტოპლაზმაში. გარდა ამისა, პროქსიდანტების აქტივობა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული პოლარობაზე. მაგალითად, დიოქსიდ რადიკალის აქტივობა წყლის არეში უფრო ნაკლებია და მეტად იზრდება არაპოლარულ არეში, როგორცაა ლიპიდური შრის ჰიდროფობული უბანი. დიოქსიდ რადიკალს აქვს უნარი შეუტოს ეთერულ ბმას და დაშალოს ცხიმოვანი მუკები. ლიპიდების ჰიდროფობულ შრეში კი მეტად აქტიურია პეროქსიდ რადიკალი. ლიპიდების ინტენსიური ჟანგვის შედეგად ციტოპლაზმაში გროვდება ისეთი აქტიური მუკნაგებები, როგორცაა ჰიპოქლორიტ ანიონი, პეროქსინიტრიტ ანიონი. ისინი მაღალი ციტოტოქსიურობით ხასიათდებიან და ჭარბი რაოდენობით არსებობისას იწვევენ ავტოიმუნურ დაავადებებს [4]. უჯერი ლიპიდების ნახშირწყალბადური ჯაჭვის ჟანგვის დროს ფოსფოლიპაზა A<sub>2</sub>-ის ეთერულ ბმაზე შეტევის გამო შეიძლება ასევე გამოთავისუფლდეს ცხიმოვანი მუკები, შედეგად ადგილი აქვს მემბრანის ბარიერული სტრუქტურის დაზიანებას, რაც შეიძლება გახდეს უჯრედის კვლამის მიზეზი.

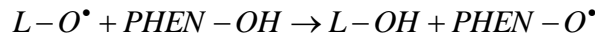
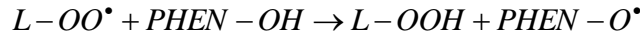
ბიოლოგიურ სისტემებში ჟანგვითი პროცესების უმრავლესობა ჯაჭვური მექანიზმით მიმდინარეობს და მოიცავს ინიცირების, გავრცელებისა და ტერმინაციის (შეწყვეტის) სტადიებს. უჯრედული სტრუქტურის დაზიანება ან ფუნქციონირების ცვლილება ხდება მხოლოდ მაშინ, როცა რადიკალებისა და ელემენტთა აქტიური ფორმების კონცენტრაცია მაღალია, როცა ხანგრძლივდება გავრცელების სტადია და მალე არ დგება ტერმინაცია.

ტერმინაცია – ჟანგვითი პროცესების ჯაჭვური რეაქციის შეწყვეტა, მოხდება თუ არ წარმოიქმნა ახალი რადიკალი. ტერმინაციის სტადიაზე შეიძლება წარმოიქმნას სტაბილური ხიდაკი ROOR ორ ნახშირწყალბადურ ჯაჭვს შორის ან ფენოლური ნაერთების მოქმედებით პეროქსიდის მოლეკულა გადავიდეს ROH-ის არააქტიურ ჰიდროქსილირებულ ფორმაში.

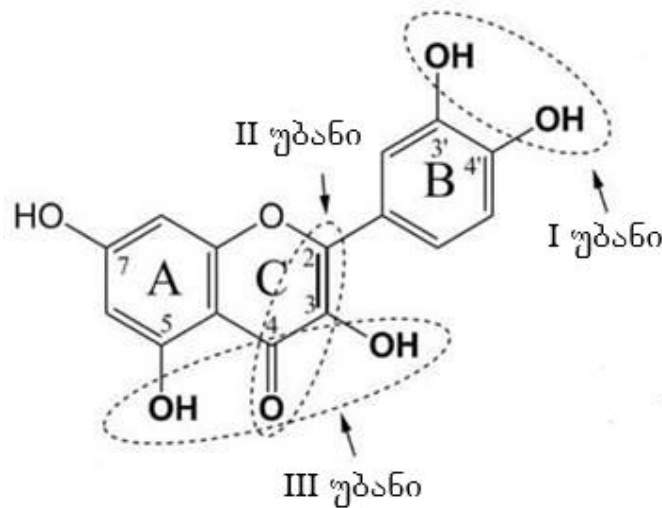
ფენოლური ნაერთები, სხვა ანტიოქსიდანტებთან (ვიტამინი C და E) ერთად, ცოცხალი ორგანიზმის უჯრედული ანტიოქსიდანტური სისტემის მნიშვნელოვანი კომპონენტებია [5]. ეს ნაერთები აინჰიბირებენ ლიპიდების უჯერი ცხიმების დაჟანგვის პროცესს, აქვთ უნარი რადიკალები გადაიყვანონ არააქტიურ ფორმაში, მოახდინონ პეროქსიდაზულ ჟანგვით პროცესში მონაწილე მძიმე მეტალების ხელატირება.

ელექტრონის (ან წყალბადის ატომის) გაცემის უნარის გამო პოლიფენოლური ნაერთები, უფრო ზუსტად, ფლავანოიდები (phen) უკავშირდება ლიპიდების ჰიდროქ-

სილურ ( $L-O^{\bullet}$ ) და პეროქსილურ ( $L-OO^{\bullet}$ ) რადიკალებს, შედეგად წარმოიქმნება ფენოლის რადიკალი – ფენოქსილი, რომელიც არ მონაწილეობს ჟანგვით პროცესებში და ხდება ჟანგვითი პროცესების ინჰიბირება:



ფლავანოიდების ეს თვისება დაკავშირებულია ამ ნაერთთა მოლეკულის უნიკალურ სტრუქტურასთან [6]. ფლავანოიდების მოლეკულაში რადიკალის შებოჭვის უნარით გამოირჩევა სამი უბანი (ნახაზი). პირველ უბანს წარმოადგენს B-ბირთვის ორი მეზობელი ჰიდროქსილჯგუფი – კატექილური უბანი, მეორე უბანია C-ბირთვის 2,3-ნახშირბადატომების დამაკავშირებელი ორმაგი ბმა, რომელიც კონიუგირებულია ამავე ბირთვის მე-4 ნახშირბადატომის ოქსიჯგუფთან. მეორე უბანს აქვს უნარი მოახდინოს B-ბირთვის ელექტრონების დელოკალიზაცია. მესამე უბანს კი წარმოადგენს მე-3 და მე-5 პოზიციაში არსებული ჰიდროქსილ ჯგუფები.



**ფლავანოიდების ანტიოქსიდანტურად აქტიური უბნები კვერცვტინის მაგალითზე**

ფლავანოიდების მოლეკულური სტრუქტურა განსაზღვრავს კონკრეტული ნაერთის ანტიოქსიდანტურ აქტივობას (ცხრ. 2) [7]. ცხადია, რადიკალების შებოჭვის უნარის მქონე უბნების რაოდენობა განაპირობებს ფლავანოიდების აქტივობას. ამ თვალსაზრისით მაღალი ანტიოქსიდანტური აქტივობით გამოირჩევა ფლავანონები. ისინი შეიცავენ რადიკალების შებოჭვისათვის საჭირო ყველა უბანს.

**ცხრილი 2. ფლავანოიდების სტრუქტურა და ანტიოქსიდანტური აქტივობა DPPH რადიკალთან მიმართებაში**

ფლავანოიდები	C-3	C-5	C-7	B-3'	B-4'	B-5'	აქტივობა
აპიგენინი		OH	OH		OH		0
ლუთეოლინი		OH	OH	OH	OH		3,9 ± 0,4
კემფეროლი	OH	OH	OH		OH		1,9 ± 0,1
მირიცეტინი	OH	OH	OH	OH	OH	OH	7,1
(-)-EGCG	O-გალატი	OH	OH	OH	OH	OH	9,3 ± 1,4

ფლავანოიდების ანტიოქსიდანტურ აქტივობას ასევე განაპირობებს ამ ნაერთთა ჰიდროფობულობა. მაგალითად, ლიპიდური შრის დაცვის თვალსაზრისით ეპიგალ-კატექინ-გალატი (EGCG) უფრო აქტიურია, ვიდრე ვიტამინი E.

ფლავანოიდების რადიკალების შებოჭვის უნარი დამოკიდებულია თავად რადიკალზე. მაგალითად, კატექინ-გალატები მეტად აქტიურია  $O_2^{\bullet -}$  რადიკალის მიმართ, მაშინ როდესაც ლუთეოლინი და კემფეროლი ამჟღავნებენ მეტ აქტიურობას  $OH^{\bullet}$ ,  $N_3^{\bullet}$  რადიკალებთან მიმართებაში.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ფენოლური ნაერთების – ფლავანოიდების ანტიოქსიდანტური აქტივობის შეფასებისას გათვალისწინებული უნდა იქნეს თავად ფლავანოიდების თვისებები და ჟანგვითი პროცესების თავისებურებანი. თუმცა, ბუნებაში ფლავანოიდების მრავალფეროვნება ამ ნაერთებს აძლევს შესაძლებლობას განახორციელოს ორგანიზმის მრავალმხრივი დაცვა გარემოს მავნე ზემოქმედების წინააღმდეგ.

ცოცხალ ორგანიზმებში უჯრედთა ნორმალური ფუნქციონირებისათვის უნდა არსებობდეს ბალანსი ჟანგვით და აღდგენით პროცესებს შორის. ეს კი, თავის მხრივ, გულისხმობს შენარჩუნდეს თანაფარდობა ელემენტთა აქტიურ ფორმებსა და ანტიოქსიდანტების კონცენტრაციას შორის. ამასთან, აღსანიშნავია, რომ აღმდგენელი აგენტების სიჭარბე ასევე არ არის სასურველი და გახდეს მიზეზი, შედარებით ნაკლებად შესწავლილი, აღდგენითი პროცესების გაძლიერებისა, რომლებმაც შეიძლება განაპირობოს სხვადასხვა დაავადების აღმოცენება და განვითარება [8].

#### ლიტერატურა

1. Hooper L., Kroon P.A., Rimm E.B., Cohn J.S., Harvey I., Le Cornu K.A., Ryder J.J., Hall W.L., Cassidy A. Flavonoids, flavonoid-rich foods, and cardiovascular risk: a meta-analysis of randomized controlled trials. //Am.J.Clin.Nutr., 2008, vol.88, pp.38-50.
2. Halliwell B. Free radicals and antioxidants: updating a personal view. // Nutr.Rev., 2012, vol.70, pp.257- 265.
3. Kehrer J.P. The Haber-Weiss reaction and mechanisms of toxicity. //Toxicology, 2000, vol.149, pp.43-50.
4. Wessels I., Jansen J., Rink I., Uciechowski P. Immunosenscence of polymorphonuclear neutrophils. // Scientific World Journal., 2010, vol.10, pp.145-160.
5. Terao J. Dietary flavonoids as antioxidants. /Forum Nutr., 2009, 61, pp.87-94.
6. Michalak A. Phenolic compounds and their antioxidant activity in plants growing under heavy metal stress. //Polish.j.Enviro.n.stud. 2006, vol.15, pp.523-530.
7. Terao J. Dietary flavonoids as antioxidants. / Forum Nutr., 2009, vol.61, pp.87-94.
8. Benjamin I., Brewer A., Banerjee M.S., Murray T.V., Namakkal S.R. Reductive stress linked to small HSPs, G6PD and NRF2 pathways in heart diseas. // Antioxid.Redox.Signal., 2012, vol.18, pp.1114-1127.

#### SUMMARY

#### PROOXIDANTS AND ANTIOXIDANTS IN BIOLOGICAL SYSTEMS

Gamkrelidze N.M.

Georgian Technical University

Constant metabolic transformations in living organisms are accompanied by oxidation and reduction processes. Radicals and active form of elements involved in oxidative processes play an important role in the normal functioning of cells, although in excessive concentrations can lead to cell damage and “oxidative stress” if the defense mechanisms are not effective. There are many reasons for the accumulation of excessive amounts of active forms of elements of oxidative stress in living organisms. These include high temperatures, chemical compounds, radiation and etc. Polyphenolic compounds with antioxidant activity prevent the accumulation of radicals and elements with active forms.

**Keywords:** prooxidants, antioxidants, phenolic compounds.

კახეთში გავრცელებული ლელვის ზოგიერთი ჯიშის ქიმიური მაჩვენებლების შესწავლა მათი სამრეწველო გამოყენების მიზნით

შილდელაშვილი ი.ი., ბუიშვილი გ.თ., დადოლიშვილი მ.შ.

იაკობ გოგებაშვილის სახელობის თელავის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

საქართველოში ლელვი საკმაოდ გავრცელებული კულტურაა, მისი ნაყოფები გამოირჩევა უდიდესი კვებითი ღირებულებით და სასიამოვნო გემოთი, შეიცავს შაქრებს ძირითადად გლუკოზას და ფრუქტოზას, ვიტამინებს, მინერალურ ნივთიერებებს (რკინა, კალციუმი, მანგანუმი, ფოსფორი, ბრომი, გოგირდი), საკვებ დიეტურ ბოჭკოებს, უჯრედის, პექტინის ნივთიერებას და სხვა. ლელვის ნაყოფს იყენებენ საკონსერვო წარმოებაში, მისგან ამზადებენ მურაბას, ხილფაფას, ჩირს, საკონდიტრო წარმოებაში ხმარობენ, როგორც მასალას პასტილის, კანფეტების დასამზადებლად და სხვა [1].

ლელვი მიეკუთვნება სამხრეთის ქვეყნების კულტურას, ამიტომ ნორმალური განვითარებისათვის დიდ მოთხოვნებს უყენებს, როგორც სითბოს და სინათლეს, აგრეთვე ნიადაგის ტენსაც, კარგად ხარობს გრძელი ვეგეტაციის და ძლიერი განათების პირობებში, სხვა სუბტროპიკულ კულტურებთან შედარებით ადრე შედის მსხმოიარობაში, განსაკუთრებით საშიშია ლელვისათვის შემოდგომის ადრეული წაყინვები, როდესაც ჯერ კიდევ არ მომწიფებულა მიმდინარე წლის ნაზარდები და მცენარე არ გადასულა ღრმა მოსვენების პერიოდში [2,3].

სამომხმარებლო თვისებების მიხედვით ლელვი პირობითად დაყოფილია საკონსერვო, სასუფრე და საჩირე ჯიშებად, იგი ძირითადად გაშენებულია ინდივიდუალურ საკარმიდამო სავარგულებზე.

ნაშრომის მიზანს შეადგენს კახეთში გავრცელებული ლელვის ზოგიერთი ჯიშის (შავი ლელვი, თეთრი ლელვი, ჩუმლაყის მწვანე) ნაყოფის ქიმიური მაჩვენებლების შესწავლა მათი სამრეწველო გამოყენების მიზნით. საცდელ ჯიშები გამოკვლეული იქნა ტექნიკური და ქიმიური მაჩვენებლების მიხედვით, კერძოდ განვსაზღვრეთ ნაყოფის საშუალო მასა, საშუალო დიამეტრი, კანის, რბილობის და თესლის შემცველობა პროცენტებში.

ლელვის საცდელი ჯიშების საშუალო ტექნიკური მაჩვენებლები შემდეგია: ნაყოფის საშუალო მასა (გ) 18–82; ნაყოფის საშუალო დიამეტრიც (სმ) 3,1–7,5; ნაყოფის საშუალო მოცულობა (სმ<sup>3</sup>) 22–68; კანი % – 2–7; რბილობი % – 48–68; თესლი % – 1,2–3,3.

ჯიშებიდან საშუალო მასის, დიამეტრის და მოცულობის მიხედვით გამოირჩევა ჯიში თეთრი ლელვი, რომლის საშუალო მასა აღწევს 82–83 გრამს, ხოლო საშუალო მოცულობა 68 სმ<sup>3</sup>-ს.

საცდელი ჯიშების შედარებითი დახასიათებისათვის განვსაზღვრეთ ქიმიური ნივთიერებების შემცველობა.

საცდელი ჯიშების ძირითადი ქიმიური მაჩვენებლები

ჯიში	საერთ. მშრ. ნივთ., %	საერთო შაქრები, %	ინვერსიული შაქარი	აზოტოვანი ნივთიერება, %	უჯრედისი, %	ტიტრული მჟავიანობა, %
შავი ლელვი	17,0	16,2	16,1	11,3	1,22	1,62
თეთრი ლელვი	18,9	15,4	15,1	12,1	1,19	1,38
ჩუმლაყის მწვანე	16,0	15,0	14,0	12,5	1,40	1,26



ცხრილის მონაცემებიდან ჩანს, რომ საერთო მშრალი ნივთიერების შემცველობით ლიდერობს თეთრი ლეღვი, ხოლო საერთო შაქრების შემცველობით შავი ლეღვი.

ლეღვის შერჩეული ფორმებიდან ოჯახურ პირობებში დავამზადეთ მურაბა, რომელიც არის მაღალკონცენტრირებული კვების პროდუქტი, მისი დამზადება მოვახდინეთ შემდეგი სქემის მიხედვით: ნედლეული დავახარისხეთ, მოვაჭერით ყუნწები, გავრეცხეთ, დაეხველიტეთ, გავუკეთეთ ბლანშირება 5 წუთით ცხელ წყალში, იგი ხელს უწყობს ნაყოფის გაუღენტვას სწრაფად და უჯრედშორისებიდან ჰაერის გამოდევნას, 1კგ. ნაყოფზე დავაყარეთ 1კგ შაქარი და მოვხარშეთ მრავალჯერადი 15 წუთიანი ხარშვით (სამჯერადად), მრავალჯერადი ხარშვის დროს უჯრედის წვენი ტემპერატურა მხოლოდ ხანმოკლე დროით აღწევს დუღილის წერტილამდე, ნაყოფის გაცივების დროს დუღილებს შორის შუალედებში მიმდინარეობს ორთქლის კონდენსაცია და სიროფის თანაბარზომიერი შეწოვა, რაც განაპირობებს მურაბის მაღალ ხარისხს, ხარშვის პროცესში პროდუქტის ზედაპირზე ჩნდება ქაფი, ქაფს ვაშორებთ, რადგან იგი აუარესებს მურაბის გარეგნულ სახეს, ქაფთან ერთად სცილდება ნაყოფის თესლები, შემდეგ იგი დავაფასოვეთ წინასწარ მომზადებულ 400 გრამიან მინის ქილებში.

ჩვენს მიერ მომზადებულმა პროდუქციამ თავისი ორგანოლექტიკური და სასაქონლო ხარისხის მიხედვით დააკმაყოფილა მოქმედი სტანდარტის მოთხოვნები.

#### ლიტერატურა

1. ა. ნიუარაძე და სხვ. საქართველოში გავრცელებული ლეღვის ზოგიერთი სამრეწველო ჯიშების დახასიათება. /საქართველოს კვების მრეწველობის სამეცნიერო კვლევითი ინსტიტუტის შრომები ტ.3, თბილისი, განათლება, 2004.
2. ნ. ხომიზურაშვილი. ლეღვი. –თბილისი, სახელგამი, 1965, გვ. 56.
3. თ. მაღლაკელიძე, ნ. ჩიხრაძე. ხილის და ბოსტნეულის დაკონსერვების ტექნოლოგია. -თბილისი, ინდ. მეწარმე „მერაბ აბელაშვილი“, 2005, 495 გვ.

#### SUMMARY

#### STUDY OF CHEMICAL INDICATORS OF SOME VARIETIES OF FIGS COMMON IN KAKHETI FOR THEIR INDUSTRIAL USE

Shildelashvili I.I., Buishvili G.T. and Ghagholishvili M.Sh.

Iakob Gogebashvili Telavi State University

We've studied the chemical indicators of some varieties of figs common in Kakheti for their industrial use, from the studied varieties we made a jam in family conditions, with multiple boiled (three times), which has led to the uniform absorption of the syrup and consequently the high quality of the jam; it is a highly concentrated food product. According to its organoleptic and commodity quality, the mentioned product fully meets the requirements of the current standard.

**Keywords:** lozenge, technical, highly concentrated, blanching, condensation.

## ჰვავის ნედლეულის გამოყენება საკონდიტრო ნაწარმში

დოლიძე მ.გ., სუხიშვილი ნ.ზ., თთარაშვილი ნ.ი.

## საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

საკონდიტრო წარმოების ერთ-ერთი ძირითადი ამოცანაა ადგილობრივი ნედლეულით დამზადებული ასორტიმენტის გაფართოება და მომხმარებლის დაკმაყოფილება მაღალხარისხიანი ჯანსაღი კვების პროდუქტებით.

ჩვენს მიერ შესწავლილია საქართველოში „ჭვავის ალაოს“ გამოყენება პურ-პროდუქტებისა და საკონდიტრო წარმოებაში, ჭვავის ალაოს გამოყენების ტრადიციები ჩვენში მწირია თუმცა ქართლსა და კახეთში მოყავდათ ჭვავი და მას ძირითადად პურის ცხობაში იყენებდნენ, ასეთი ფქვილით გამოცხვარს „ჭადპურს“ ეძახდნენ. თუმცა უნდა ვიცოდეთ ჭვავის ცეხვილი ფქვილი შეიცავს 4,5-ჯერ მეტ შაქრებს ვიდრე უმაღლესი ხარისხის ხორბლის ფქვილი. ამან მისცა საშუალება მეცნიერებს, მაგალითად, ბისკვიტის რეცეპტურაში ასევე რძიან რეცეპტურაშიც შეცვლილიყო პირველ შემთხვევაში ხორბლის უმაღლესი ხარისხის ფქვილი ალაოთი. მეორე შემთხვევაში ხორბლის ფქვილი ცეხვილი ჭვავის ფქვილით, ამით შაქრის ხარჯი შემცირდა 25 %-ით და მიიღეს პროდუქტი ნორმალური შაქრიანობით.

ჭვავის ალაოს ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პროდუქტია, რაც შეეხება საკონდიტრო პროდუქციას ალაო აძლევს პროდუქტს სასიამოვნო გემოს, მსუბუქ არომატს და ამიტომ მისი მოხმარება კექსების წარმოებაში აუმჯობესებს პროდუქტის ორგანო-ლეპტიკურ თვისებებს და მომხმარებლისათვის მოსაწონი ხდება. ამასთანავე აღარ არის საჭირო მოვიხმაროთ ისეთი ძვირადღირებული ნედლეული როგორც არის კაკაო და არომატიზატორები, რომელსაც ფართოდ იყენებენ კონდიტერები დანამატების სახით.

ჩვენს მიერ შექმნილია ტექნოლოგია, რომელიც სასარგებლოა დიაბეტით დაავადებულ ადამიანებისათვის რაც ხაზს უსვამს ამ პროდუქტის მომხიბვლელობას და საჭიროებას. გამოკვლებით დადგინდა რომ აღნიშნული ტექნოლოგიით დამზადებულ ორცხობილა „კექსში“ მნიშვნელოვნად მცირდება ნახშირწყლები. იზრდება მისი შენახვის ხანგრძლივობა, გემოვნური მახევენებლები. ცდები ჩავატარებთ შპს „კონდიტერში“. კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ მიღებული პროდუქტია, რომელშიც გამოყენებულ იქნა ჭვავის ფქვილი, შეიცავს 25 %-ით ნაკლებ ნახშირწყლებს, რაც ძალიან მნიშვნელოვანია განსაკუთრებით დიაბეტით დაავადებულთათვის. ამავე დროს გაიზარდა მისი სარეალიზაციო ვადა (სირბილე) რაც მნიშვნელოვანი კომპონენტია.

უფრო მეტი ფართო შესაძლებლობა საკონდიტრო მრეწველობაში აქვს პროდუქტებს ჭვავის ფქვილის ფერმენტული ჰიდროლიზით (ჰიდროლიზატი, სიროპი, და პასტა) 80–83 % ნახშირწყლების შემცველობით გლუკოზის (46–58 %), მალტოზის, ფრუქტოზის და სხვა შაქრების სახით.

ხელოვნური ჰიდროლიზი ძვირად ღირებულია და მოითხოვს ხარჯებს, ამავე დროს ჭვავის მარცვალში ყოველთვის ალაოში არის ალფა და ბეტა ამილაზა და სხვა ფერმენტები, რომლებიც თუნდაც მცირე დანესტიანების შემთხვევაში მარცვალში იწყებენ ფუნქციონირებას. ამაზეა დაფუძნებული ჭვავის სოლოდის წარმოება, რომლის პროცესში სახამებელი იჯირჯეება უბრალო შაქრებად (გლუკოზად, მალტოზად, ფრუქტოზად, სახაროზად) ცილები კი ამინომჟავებად. რაოდენობა რედუცირებული შაქრებისა ჭვავის მარცვალში იზრდება რიგ შემთხვევებში: გაზრდის დროს 2–2,6-ჯერ, ფერმენტაციის დროს აღივებულ ალაოსთან შედარებით კიდევ 1,8–2,5-ჯერ. როგორც უკვე აღვნიშნეთ შაქრების ძირითადი რაოდენობა წარმოდგენილია გლუკოზით და ფრუქტოზით, რომლებიც გამოირჩევა განსაკუთრებული სიტკბოებით. შაქრებისა და ამინომჟავების ურთიერთობა ფერმენტაციის დროს და განსაკუთრებით ალაოს გაშრობისას მივყავართ მელანოიდების წარმოქმნასთან, რომელიც ჭვავის ფერმენტული აძლევს მუქ წითელ ფერს, მოჭარბებული პურის გემოს და განუძეო-რებელ არომატს. განსაკუთრებით ეს პროცესი მაღალ ტემპერატურაზე ვლინდება.

აღსანიშნავია მთავარი ტენდენცია: ფერმენტული ჭვავის ალაოს მოხმარება ხელს უწყობს კექსების სირბილისა შენარჩუნებას და ამცირებს მათ გამოშრობა-შენახვის დროს დღე-ღამის განმავლობაში 0,38–0,5 %, 0,99–2,92 %-ით 7 დღის განმავლობაში. ჩვენს მიერ აღნიშნული საცდელი ცხობები განხორციელდა შპს „კონდიტერში“ და სტუ-ს აგრარული მეცნიერებების და ბიოსისტემების ინჟინერის ფაკულტეტის ლაბორატორიაში.

**ჭვავის ფერმენტირებული ალაოს მოქმედება კექსების შრობისას**

კექსის ასორტიმენტი	შრობა			
	1 დღე-ღამე		7 დღე-ღამე	
	მაჩვენებელი	კონტროლი	მაჩვენებელი	კონტროლი
კექსი „საოჯახო“ კონტროლი (26 % ალაოს ფქვილი მასით)	0,44	–	5,76	–
ალაოს გარეშე	0,82	0,38	6,75	0,99
კექსი „გამოცანა“ კონტროლი (20 % ალაოს ფქვილი მასით)	0,27	–	3,44	–
ალაოს გარეშე	0,77	0,5	6,36	2,92
კექსი „საოჯახო“		±0,46		±1,68
კექსი „გამოცანა“		±0,65		±0,85

- რეცეპტურაში ჭვავის ფერმენტირებული შეცვლილია ხორბლის ფქვილის თანაფარდობით 1:1 - თან.

შაქრების დიდი ნაწილი ჭვავის ალაოთი წარმოდგენილია გლუკოზის სახით, რომელიც გამოირჩევა გაზრდილი სიტკბოთი ამან განაპირობა რეცეპტურის შედგენისას კექსებში შეგვემცირებინა შაქრის ფხვნილის რაოდენობა. კექსების ახალ ასორტიმენტებში ასევე საგრძნობლად შემცირებულია ცხიმების, კარაქის და მარგარინის შემცველობა. ახალი ხარისხის კექსებში შაქრისა და ცხიმების შემცირება არ უშლიდა ხელს მის სირბილეს, ფორიანობას და მზა პროდუქციის სხვა ორგანოლეპტიკურ შემადგელობას. ყველაფერმა ამან მოგვცა საშუალება შეგვემცირებინა თვითღირებულება ნედლეულისა რომელიც საჭირო იყო ახალი ასორტიმენტის კექსების მომზადებისათვის. შედარებისათვის კექსი „საოჯახო“ მიღებულ კონტროლზე და რომელსაც უშვებდა წარმოება კექსი 4,3 %-ით, კექსი „გამოცანა“ კექსთან „საოჯახო“ შედარებით 13,7 %-ით იაფი.

ამიტომ ჭვავის ალაოს მოხმარება ფქვილოვან საკონდიტრო წარმოებაში შეიძლება ჩავთვალოთ პერსპექტიულად. კექსების ახალი ასორტიმენტი განსაკუთრებით ე.წ. „პასკა“ რომელიც წინასაადგომოდ პრაქტიკულად იქნება წარმოებაში განსხვავდება მიღებული კონტროლირებად წარმოებაში მომზადებული კექსებისაგან იმით, რომ მათი დამზადება უფრო იაფი ჯდება, რაც მთავარია მეტ ხანს ინარჩუნებს სირბილეს, შეიცავს ნაკლები რაოდენობით შაქრებს და ცხიმებს, ამიტომ მათი მირთმევა შეუძლიათ იმ ადამიანებს რომელთაც აქვთ მიდრეკილება ჭარბი წონისაკენ და აქვთ შაქრიანი დიაბეტი.

ამრიგად, საკონდიტრო საცხობებში შემუშავებული ტექნოლოგიის დანერგვა მნიშვნელოვანია ჯანსაღი საკვების (საკონდიტრო ფქვილოვანი ნაწარმის) წარმოების მიზნით.

**ლიტერატურა**

1. Данилова Е.Н., Цуркова К.Е. Пищевая ценность хлебобулочных изделий. –Москва, Пищевая промышленность, 1973,80 с.
2. Л.Я. Ауэрман. Технология хлебопекарного производства. –Санкт-Петербург, Професия, 2005, 416 с.
3. რ. გაფრინდაშვილი. საკვები პროდუქტების დანამატები. –თბილისი, ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2007, 129 გვ.

4. მ. დოლიძე, რ. იაშვილი. კვების მრეწველობის ტექნოლოგიური ნარჩენების გამოყენება. –თბილისი, საარი, 2007, 112 გვ.
5. გ. დანელია. კვების პროდუქტების ექსპერტიზის საფუძვლები. –თბილისი, ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2001, 64 გვ.
6. Скурихина И.М. Химический состав пищевых продуктов. –Москва, Агропромиздат, 1978, 224 с.

#### **SUMMARY**

#### **THE USE OF RYE RAW MATERIAL IN CONFECTIONERY**

**Dolidze M.V., Sukhishvili N.Z. and Otarashvili N.I.**

**Georgian Technical University**

In the paper the use of rye flour in the production of bakery foods and confectionery is considered. There is a little tradition in Georgia in consumption of rye flour. The technology, favorable for humans sick by diabetes, is created. This is attractive and need for this product. By investigations it was established that in dried crust „Cake“, manufactured by mentioned technology, the amount of carbohydrate is reduced significantly, the duration of its storage life and indices of taste are increased.

**Keywords:** rye flour, confectionery, bakery foods.



ღვაწდმოსილ მეცნიერსა და ახალგაზრდა თაობის აღმზრდელს, საქართველოს საინჟინრო აკადემიის აკადემიკოსს, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ემერიტუს-პროფესორს, ვლადიმერ ფადიურაშვილს 85 წელი შეუსრულდა.

ვლადიმერ ფადიურაშვილი დაიბადა 1936 წელს. საშუალო სკოლის დამთავრების შემდეგ 1955 წელს მან სწავლა გააგრძელა საქართველოს ტექნიკურ ინსტიტუტში ქიმიური და კვების მრეწველობის ფაკულტეტზე, რომლის დამთავრების შემდეგ მიენიჭა ინჟინერ-ტექნოლოგის კვალიფიკაცია.

ინსტიტუტის დამთავრებისთანავე, შრომითი მოდერნიზაცია, განაწილებით დაიწყო რუსთავის ქიმიურ კომბინატში, სადაც მუშაობდა ჯერ მეაპარატედ, შემდეგ უფროს მეაპარატედ, და კონტროლის ლაბორატორიის გამგედ. მალე ვ. ფადიურაშვილი დაინიშნა კომბინატის ახლად ჩამოყალიბებული სამეცნიერო-ექსპერიმენტული ცენტრის უფროსად. მთელი რიგი ქიმიური პროცესები, რომლებშიც გამოყენებულია კატალიზური ტექნიკის სხვადასხვა სიახლეები, დამუშავებულია ვ. ფადიურაშვილის უშუალო ხელმძღვანელობითა და მონაწილეობით, და წარმატებითაა დანერგილი რუსთავისა და ყოფილი საბჭოთა კავშირის რესპუბლიკების ქიმიურ წარმოებებში.

1982 წლიდან ბატონმა ვ. ფადიურაშვილმა მუშაობა დაიწყო საკავშირო მნიშვნელობის სამეცნიერო-საწარმოო გაერთიანება „ანალიზხელსაწყოში“ ფიზიკურ-ქიმიური კვლევითი ლაბორატორიის გამგედ. 1995 წლიდან იგი გაერთიანების სწავლული მდივანია, 2001 წლიდან კი გაერთიანების სამეცნიერო კვლევითი ინსტიტუტის დირექტორი.

სამეცნიერო-საწარმოო გაერთიანება „ანალიზხელსაწყო“-ში მისი უშუალო ხელმძღვანელობითა და მონაწილეობით დამუშავებულია მრავალი ინსტრუმენტული ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდი, რომელთა უმეტესი ნაწილი გამოყენებული იქნა გაერთიანებაში შექმნილ ფიზიკურ-ქიმიურ ხელსაწყოებთან და წარმატებით დაინერგა მრავალ საწარმოში. სწორედ ამ პერიოდში გამოიკვეთა ვ. ფადიურაშვილის პირადი თვისებები: პასუხისმგებლობის გამაფრებელი გრძნობა, დაკისრებული საქმისადმი უაღრესად სერიოზული მიდგომა, კოლეგებისა და თანამშრომლებისადმი ყურადღება და მზრუნველობა.

1976 წლიდან ბატონი 2020 წლამდე ბატონი ვლადიმერი ეწეოდა პედაგოგიურ მოდერნიზაციას საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში, სადაც იგი 2009 წლიდან ავტომატიკისა და ინფორმატიკის ფაკულტეტის მიკროპროცესორული და საზომი ტექნიკის დეპარტამენტის სრული პროფესორი იყო. ვ. ფადიურაშვილს გამოქვეყნებული აქვს 100 მეტი სამეცნიერო ნაშრომი, სამი მონოგრაფია, ხუთი სახელმძღვანელო და დამხმარე სახელმძღვანელო. იგი მონაწილეობდა მრავალ სამეცნიერო სიმპოზიუმებსა და კონფერენციებში.

ვ. ფადიურაშვილის მიერ შექმნილია სადუზინფექციო-სასტერილიზაციო ფარმაცევტული კომპოზიცია „ჯაფა“ რომელზეც მას მიღებული აქვს არა მარტო საქართველოს საავტორო მოწმობა არამედ უკრაინისა და ევრაზიის სხვადასხვა ქვეყნის პატენტები.

გუსურვებთ ბატონ ვლადიმერს ჯანმრთელობას და დიდხანს სიცოცხლეს.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
საქართველოს საინჟინრო აკადემია  
ჟურნალ „საქართველოს საინჟინრო სიახლეების“ რედაქცია

## ექვნიევა აკადემიკოს გივი ცინცაძის ხსოვნას



საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსი, ქიმიის მეცნიერებათა დოქტორი, საქართველოსა და უკრაინის სახელმწიფო პრემიების ლაურეატი, საქართველოს მეცნიერების დამსახურებული მოღვაწე, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის პროფესორი გივი ცინცაძე დაიბადა 1933 წლის 18 აპრილს, ქალაქ თბილისში პედაგოგთა ოჯახში. საშუალო სკოლის ოქროს მედალზე დამთავრების შემდეგ სწავლა გააგრძელა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ქიმიის ფაკულტეტზე.

1965 წლიდან მოღვაწეობდა საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის (საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი) ქიმიური ტექნოლოგიის და მეტალურგიის ფაკულტეტზე, სადაც გაიარა საინტერესო შემოქმედებითი გზა ასისტენტიდან

პროფესორამდე. წლების მანძილზე ხელმძღვანელობდა უნივერსიტეტის ანალიზური და ზოგადი და არაორგანული ქიმიის კათედრებს. 1992–1995 წლებში იყო საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიის სასწავლო-სამეცნიერო ინსტიტუტის დირექტორი, 1995–1997 წლებში – ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიის ფაკულტეტის დეკანი. შეთავსებით ხელმძღვანელობდა პ. მელიქიშვილის სახელობის ფიზიკური და ორგანული ქიმიის ინსტიტუტის კომპლექსურ ნაერთების ქიმიისა და რ. აგლაძის სახელობის არაორგანული ქიმიისა და ელექტროქიმიის ინსტიტუტის არაორგანული ნაერთების ფიზიკა-ქიმიის ლაბორატორიებს. ათეული წლების მანძილზე ლექციებს კითხულობდა ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტსა და ამავე უნივერსიტეტის სოხუმის ფილიალში.

გ. ცინცაძემ 1965 წელს წარმატებით დაიცვა საკანდიდატო დისერტაცია კოორდინაციული ნაერთების კრისტალოქიმიის დარგში. 1971 წელს კი სადოქტორო დისერტაცია თემაზე „ლითონების ციანატური, თიოციანატური და სელენოციანატური ნაერთების გამოკვლევა“.

უაღრესად ფართო და მასშტაბური იყო გივი ცინცაძის მეცნიერული მოღვაწეობის დიაპაზონი. არაორგანული, კოორდინაციული და სტრუქტურული ქიმიის, კრისტალოქიმიის, სპექტროქიმიის, კვანტური ქიმიის, ქიმიის ისტორიის სფეროებს მოიცავს მის მიერ შესრულებული შვიდ ასეულზე მეტი ნაშრომი, რომელთა შორისაა მონოგრაფიები, სახელმძღვანელოები, საავტორო მოწმობები. ფართოა მისი სამეცნიერო ნაშრომების ციტირების არეალი.

გივი ცინცაძის კვლევების ძირითადი მიმართულება კოორდინაციული ნაერთების სინთეზის ახალი მეთოდების შემუშავებასა და მათი კრისტალოქიმიის შესწავლას ეხებოდა. ამ სამუშაოთა ბაზაზე შეიქმნა კოორდინაციული ქიმიის არსებითად ახალი დარგი – ლითონების ფსევდოჰალოგენიდური კომპლექსების ქიმია. მნიშვნელოვანია მისი გამოკვლევები ბიოარაორგანული ქიმიის დარგშიც, რომელმაც საიმედო ფუნდამენტი შეუქმნა ბიოლოგიური აქტივობის მექანიზმის გაგებას. მეცნიერის მოღვაწეობა ვრცელდებოდა არა მარტო თეორიულ კვლევებზე, არამედ იგი გამოყენებით ხასიათსაც ატარებდა, ამ გამოკვლევებმა საფუძველი დაუდო მრავალი ახალი ბიოკოორდინაციული სამკურნალო პრეპარატის შექმნას. მის მოღვაწეობაში მნიშვნელოვანი ადგილი ეთმობოდა ახალი ტექნოლოგიების დანერგვის საკითხებსაც.

1983 წელს გ. ცინცაძე აირჩიეს საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტად. 1993 წელს – ნამდვილ წევრად – აკადემიკოსად. 1990 წელს კოორდინაციული ქიმიის სფეროში შესრულებული ნაშრომთა ციკლისათვის „ფსევდოჰალოგენიდების ქიმია“, უკრაინულ და გერმანულ მეცნიერებთან ერთად დაჯილდოვდა უკრაინის სახელმწიფო პრემიით. 1998 წელს ნაშრომისთვის „მეტალთა კოორ-

დინაციული ნაერთები – სითეზი, აღნაგობა, თვისებები“ მიენიჭა საქართველოს სახელმწიფო პრემია. 1994 წელს არჩეულ იქნა ინფორმატიზაციის საერთაშორისო აკადემიის ნამდვილ წევრად; 2007 წელს კი – რუსეთის საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა აკადემიის ნამდვილ წევრად, არჩეული იყო ცხუმ-აფხაზეთის მეცნიერებათა აკადემიის წევრად.

განსაკუთრებით აღსანიშნავია მეცნიერის ღვაწლი სამეცნიერო კადრების აღზრდის საქმეში. მისი მოსწავლეები ნაყოფიერად მოღვაწეობენ მსოფლიოს სხვადასხვა სამეცნიერო და სასწავლო ცენტრებში (საქართველო, რუსეთი, უკრაინა, აზერბაიჯანი, ამერიკის შეერთებული შტატები, გერმანია, კანადა, ახალი ზელანდია, თურქეთი). კოორდინაციული ქიმიის გამოჩენილი მკვლევარი ამ დარგში ქართული მეცნიერული სკოლის დამაარსებელია.

სამეცნიერო-კვლევით საქმიანობასთან ერთად გივი ცინცაძე ნაყოფიერ სასწავლო-პედაგოგიურ და საზოგადოებრივ საქმიანობას ეწეოდა. ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტზე მისთვის ჩვეული მაღალი პროფესიონალიზმით უძღვებოდა ახალგაზრდა თაობის აღზრდას. დიდია გ. ცინცაძის დამსახურება საშუალო და უმაღლეს სკოლებში ქიმიის სწავლების სრულყოფის, მაღალკვალიფიციური ახალგაზრდა სპეციალისტებისა და სამეცნიერო კადრების მომზადების საქმეში.

2005 წელს გივი ცინცაძე აირჩიეს ტარას შევჩენკოს სახელობის კიევის ნაციონალური უნივერსიტეტის საპატიო დოქტორად.

ბატონი გივი იყო საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის ქიმიისა და ქიმიური ტექნოლოგიის განყოფილების აკადემიკოს-მდივანი; მრავალი სამეცნიერო კონფერენციის, სესიისა და ყრილობის საორგანიზაციო კომიტეტის წევრი; ჟურნალების: საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის „მაცნე“ (ქიმიის სერია), „საქართველოს ქიმიური ჟურნალი“, სარედაქციო კოლეგიის წევრი.

ღმერთმა დაუმკვიდროს საუკუნო სასუფეველი...

*საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
საქართველოს საინჟინრო აკადემია  
ჟურნალ „საქართველო საინჟინრო სიახლენის“ რედაქცია*