

საქართველოს
საინჟინრო
სიხლენი

სსს

1'25

GEORGIAN
ENGINEERING
NEWS

GEN

ISSN 1512-0287

საქართველოს
საინჟინერო
სიახეუბნო

GEORGIAN
ENGINEERING
NEWS

N1, vol. 102, 2025

საქართველოს საინჟინრო სიახლენი GEORGIAN ENGINEERING NEWS, vol. 102, 2025

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. გასილევი (უკრაინა), ლ. ივანოვი (რუსეთი), ა. კაბულოვი (უზბეკეთი),
ბ. კატალინიჩი (ავსტრია), ვ. კეკელიძე (რუსეთი), პ. კერვალიშვილი (საქართველო),
კ. კოჟოგულოვი (კირგიზეთი), 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), გ. ჯავახიძე (საქართველო), ა. ჯანახმადოვი (აზერბაიჯანი)

სარედაქციო საბჭო

დ. გორგიძე, ა. დოლიძე, ქ. მახაშვილი, თ. საჩანელი

International Engineering Academy Georgian Engineering Academy

Editor-in-Chief: Archil Prangishvili

EDITORIAL BOARD

N. Edilberto (Peru), 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 T. Sachaneli

Georgian Engineering News (GEN)LTD

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0287>

Address: TECHINFORMI, St. Kostava 47, Tbilisi 0179

Tel.: 995 (32) 2335315, 2335122

Fax: 995 (32) 2335122

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

Internet: www.tech.caucasus.net

Copyright © by GEN LTD

სარჩევი

ორმაგი გრადიენტის მქონე თერმოდრეკადობის თეორიის სტატიკის დირიხლეს სასაზღვრო ამოცანის ამოხსნა ბირთვისათვის და მთელი სივრცისათვის ბირთვული ღრუთი ხარაშვილი მ.გ., მეტრეველი დ.ზ.	5
კრიტიკული ძალების განსაზღვრის საკითხის შესახებ გრაფო-ანალიზური მეთოდით Mathcad კომპიუტერული პროგრამის გამოყენებით ბანძელაძე ბ.რ.	17
კონტროლირებადი სისტემის საიმედოობის საკითხი ნამჩევაძე ც.ვ.	24
საინვესტიციო პროექტის რენტაბელობის ანალიზი და რენტაბელობის ზღვარის დადგენის მათემატიკური მეთოდი გასიტაშვილი ზ.ა., გორგიძე დ.ა., ხუციშვილი ს.ა., ხართიშვილი მ.პ., მუსერიძე რ.რ.	27
სამშენებლო-საინვესტიციო პროექტების რანჟირების და ამორჩევის მრავალკრიტერიუმიანი ექსპერტული მეთოდი გასიტაშვილი ზ.ა., გორგიძე დ.ა., ხუციშვილი ს.ა., ხართიშვილი მ.პ., მუსერიძე რ.რ.	32
შეყურსული ძალებით დატვირთული აბსოლუტურად მოქნილი მილსადენების მცირე თავისუფალი რხევების დიფერენციალური განტოლებათა სისტემის ამოხსნის შესახებ არქანია ზ.მ., სულაბერიძე მ.მ.	38
რეგრესიის განტოლების დადგენა მეორადი ბეტონის სიმტკიცის კვლევისას კიკვიძე ო.გ., ცირეკიძე ნ.თ., გერაძე პ.თ., ბარათაშვილი მ.პ.	43
კბილანებიანი მუშტა გადაცემები კახიანი მ.რ., ბერიძე თ.რ., ნოზაძე ნ.ი.	48
სივრცითი დაგეგმარება და ახალი მიდგომები გვენცაძე ნ.ა.	51
აირტურბინული მოწყობილობისათვის მუდმივი დენის გენერატორის შერჩევა შალამბერიძე მ.შ., ცქიფურიშვილი თ.ზ., ლობჯანიძე გ.მ., შალამბერიძე შ.ა.	59
ვერტმფრენის გაცვეთილი დეტალების ადგენა მირიჯანაშვილი ზ.მ., დადიანიძე გ.ა., ხუციშვილი მ.გ., სარალიძე ბ.რ., ქოქოშვილი ნ.ზ.	65
წყალმომარაგების ოპერირების მეთოდოლოგია ევროპასა და საქართველოში ყაველაშვილი ლ.ბ.	69
წყალმომარაგების პრობლემები საქართველოს რეგიონებში გორდუზიანი ქ.გ., ცინაძე ზ.ო., ყაველაშვილი ლ.ბ.	72
წყალი, ენერგია და სურსათის უსაფრთხოება ცინაძე ზ.ო., გორდუზიანი ქ.გ.	76
ბიტუმის მოდიფიცირება პოლიმერებით ჩიქოვანი ა.ბ., ნებეიერიძე ნ.ვ., ცინაძე ზ.ო.	81

POROUS MATERIAL CONTAINING PERLITE FOR PURIFICATION OF OIL-CONTAMINATED ENVIRONMENTS

Molodinashvili Z.F., Gamkrelidze N.M., Kopaleishvili M.N., Gabunia T.I. and Shatakishvili T.N. 85

პოლიმერ-მატარებლის მიღების ტექნოლოგიის მოდიფიკაცია L-ლიზინის საფუძველზე
ჯონაძე გ.ა., გურუშიძე მ.ზ., ქერქაძე ჯ.ვ., ზავრადაშვილი ნ.მ. 88

BIOCHEMICAL PROPERTIES OF LANTHANIDES

Topuria E.S., Tusiashvili T.N., Mamiseishvili M.M. and Gvelesiani I.O. 93

გამა-აცეტილამინობენზალდეჰიდის იზონიკოტინოილჰიდრაზონის მოლეკულის
კომპლექსწარმოქმნა ლითონის იონებთან: DFT ქვანტურ-ქიმიურ-ქვანტურ DFT მეთოდის
გამოყენებით
ცინცაძე მ.გ., გიორგაძე თ.ზ., ჭანტურია მ.მ., გულბანი დ.ა., ლოჩოშვილი დ.მ. 97

INVESTIGATION OF THE POSITIONAL ISOMERS OF MEPHEDRONE AND CLEPHEDRONE IN THE URINE SAMPLES OF DRUG ABUSERS IN GEORGIA

Dadianidze A.G., Jorbenadze S.K., Tkemaladze V.M., Kobidze G.M., Jibuti G.T., Dolidze G.D., Lo Faro A.F., Busardo F.P. and Chankvetadze B.G. 103

ლაქ-საღებავების ხარისხზე მოქმედი ფაქტორების შესწავლა
ბარათელი ნ.დ., ფალავანდიშვილი თ.ჯ., ჭიშვილი ს.ზ., მარგიევი დ.ა. 112

ფორიანი მსუბუქი არაორგანული მასალის მიღება ვულკანური ქანების საფუძველზე
გურასკაშვილი ა.ნ. 117

DETERMINATION OF HEAVY METALS IN THE SOILS OF THE VILLAGE KVEDA SIMONETI IN THE KVIRILA RIVER BASIN

Tsintsadze R.L., Tchanturia N.M., Takaishvili N.V. and Chankvetadze B.G. 121

ეკოლოგიური უსაფრთხოება და რაციონალური ბუნებათსარგებლობა
ანდლუღაძე მ.ნ., მჭედლიშვილი გ.ს., მამულაშვილი მ.ა. 128

ზოგიერთი არაპოლარული და მცირედ პოლარული ნახშირწყალბადების
ნარევის დაყოფა მაღალეფექტურ შევსებით სვეტებზე
მათირიშვილი მ.ი., ჩხარტიშვილი ნ.ნ., მახაშვილი ქ.ა. 131

ღვინომასალებში ეთანოლის შემცველობის განსაზღვრის გამარტივებული მეთოდიკა
მათირიშვილი მ.ი., კილაძე მ.თ., მათირიშვილი ი.შ. 134

ANTIBIOTICS AS MEANS OF BIOLOGICAL PLANT PROTECTION

Kanchaveli Sh.S., Lomidze N.T. and Pavliashvili K.M. 136

ANTAGONISTS AND THEIR USE AGAINST PLANT DISEASES

Kanchaveli Sh.S., Pavliashvili K.M. and Lomidze N.T. 139

ფარმაკოპიდეზმოლოგიური მიდგომები წამლის გამოყენების შეფასების პროცესში
მაშიაშვილი ნ.ვ., ცინცაძე თ.გ. 142

ეთნოგრაფიის გამოყენება ჯანმრთელობისა და ფარმაცევტული სერვისების კვლევაში
მაშიაშვილი ნ.ვ., ცინცაძე თ.გ. 147

ტრისტან ბუაძის გახსენება 152

**ორმაგი გრადიენტის მქონე თერმოდრეკადობის თეორიის სტატიკის დირიხლეს
სასაზღვრო ამოცანის ამოხსნა ბირთვისათვის და მთელი
სივრცისათვის ბირთვული დრუთი**

ხარაშვილი მ.გ., მეტრეველი დ.ზ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

1. შესავალი

სასაზღვრო ამოცანების ამოხსნის მრავალი მეთოდი არსებობს, მათ შორის არის ფურიეს მეთოდი, რომელიც მდგომარეობს შესაბამისი დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის ცვლადთა განცალებებში სხვადასხვა მრუდწირულ კოორდინატთა სისტემის მიმართ. თუ მოდელის შესაბამისი დიფერენციალური განტოლებათა სისტემა საკმარისად რთულია, მაშინ ასეთ შემთხვევაში მისი ამოხსნის წარმოდგენილია ისეთი განტოლებების ამონახსნებით, რომელთა წარმოდგენაც შესაძლებელია სხვადასხვა მრუდწირულ კოორდინატთა სისტემაში. ასეთებია მაგალითად ჰარმონიული, ბიჰარმონიული, მეტაჰარმონიული და სხვა ფუნქციები. ლიტერატურაში ცნობილია ნებერ-პაპკოვიჩის, კოლოსოვ-მუსხელიშვილის, ტრეპტცის, სლობოდინსკის და სხვათა წარმოდგენები.

მოცემულ ნაშრომში მიღებული თერმოდრეკადობის თეორიის ორმაგი გრადიენტის დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის ზოგადი ამონახსნი წარმოდგენილია ოთხი ჰარმონიული და ოთხი მეტაჰარმონიული ფუნქციების საშუალებით. ეს ფუნქციები წარმოდგენილი არიან მწკრივების სახით სფერულ კოორდინატთა სისტემაში უცნობი კოეფიციენტებით, რომლებიც განისაზღვრებიან გარკვეული წრფივ ალგებრულ განტოლებათა სისტემიდან. ამოხსნები მიღებულია აბსოლუტურად და თანაბრად კრებადი მწკრივების სახით.

სტატიაში შესწავლილი ამოცანების ამოხსნის ერთადერთობის საკითხი შესწავლილია D. Iesan, R. Quintanilla-ს მიერ [1].

2. ძირითადი დიფერენციალური განტოლებები და სასაზღვრო ამოცანის დასმა.

აღვნიშნოთ Ω -ით ბირთვი, რომელიც შემოსაზღვრულია $\partial\Omega$ სფერული ზედაპირით ცენტრით კოორდინატთა სათავეში და რადიუსით R . $\Omega^- = \mathbb{R}^3 \setminus \Omega$.

ძირითად დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემას სტატიკის შემთხვევაში აქვს შემდეგი სახე [1]

$$(\mu - \nu_1 \Delta) \Delta u + (\lambda + \mu - \nu_2 \Delta) \operatorname{grad} \operatorname{div} u + (\beta - \gamma) \Delta \operatorname{grad} \varphi = 0, \quad (2.1)$$

$$(\beta - \gamma) \Delta \operatorname{div} u + d \Delta \Delta \varphi - k \Delta \varphi = 0, \quad (2.2)$$

სადაც $u = (u_1, u_2, u_3)^T$ გადაადგილების ვექტორია, φ ტემპერატურის განმსაზღვრელი ფუნქციაა, $\lambda, \mu, \nu_1, \nu_2, \beta, \gamma, d, k$ დადებითი ფიზიკური მუდმივებია, Δ არის ლაპლასის სამგანზომილებიანი ოპერატორი, T -ტრანსპონირების სიმბოლოა.

განსაზღვრება 2.1. $U = (u_1, u_2, u_3, \varphi)^T$ ვექტორს ვუწოდოთ რეგულარული Ω^+ არეში, თუ $U \in C^4(\Omega^+) \cap C^3(\bar{\Omega}^+)$.

განსაზღვრება 2.2. $U = (u_1, u_2, u_3, \varphi)^T$ ვექტორს ვუწოდოთ რეგულარული Ω^- არეში, თუ $U \in C^4(\Omega^-) \cap C^3(\bar{\Omega}^-)$, ხოლო უსასრულოდ დამორებული წერტილის მახლობლობაში უნდა აკმაყოფილებდეს ქრობის შემდეგ პირობებს

$$U_j(x) = O(|x|^{-1}), \quad \frac{\partial^\alpha U_j(x)}{\partial^{\alpha_1} x_1 \partial^{\alpha_2} x_2 \partial^{\alpha_3} x_3} = O(|x|^{-2}), \quad |x| \rightarrow \infty, \\ j=1, 2, 3, 4, \quad 1 \leq \alpha = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 \leq 3.$$

ამოცანა (I)[±]. Ω[±] არეში ვიპოვოთ (2.1) – (2.2) სისტემის ისეთი რეგულარული $U = (u_1, u_2, u_3, \varphi)^T$ ამონახსნი, რომელიც ∂Ω საზღვარზე აკმაყოფილებს შემდეგ სასაზღვრო პირობებს

$$\{u(z)\}^\pm = f^{(1)}(z), \quad \left\{ \frac{\partial u(z)}{\partial n(z)} \right\}^\pm = f^{(2)}(z), \quad z \in \partial\Omega, \quad (2.3)$$

$$\{\varphi(z)\}^\pm = f^{(3)}(z), \quad \left\{ \frac{\partial \varphi(z)}{\partial n(z)} \right\}^\pm = f^{(4)}(z), \quad z \in \partial\Omega, \quad (2.4)$$

სადაც $f^{(j)} = (f_1^{(j)}, f_2^{(j)}, f_3^{(j)})$, $j=1, 2$, $f_k^{(j)}$, $k=1, 2, 3$, $j=1, 2$, $f^{(3)}$, $f^{(4)}$ ∂Ω საზღვარზე მოცემული ფუნქციებია, $n(z)$ არის $z \in \partial\Omega$ წერტილზე გამავალი Ω⁺ არის მიმართ გარე ნორმალის ორტი, ხოლო

$$\frac{\partial}{\partial n(z)} = n_1(z) \frac{\partial}{\partial z_1} + n_2(z) \frac{\partial}{\partial z_2} + n_3(z) \frac{\partial}{\partial z_3},$$

n_1, n_2, n_3 არის ერთეულოვანი $n(z)$ ვექტორის კოორდინატები.

3. დიფერენციალურ განტოლებათა (2.1) – (2.2) სისტემის ზოგადი ამონახსნის წარმოდგენა

თეორემა 3.1. იმისათვის, რომ $U = (u_1, u_2, u_3, \varphi)^T$ ვექტორი იყოს (2.1) – (2.2) ერთგვაროვანი სისტემის რეგულარული ამონახსნი $\Omega \subset R^3$ არეში, აუცილებელი და საკმარისია, რომ იგი წარმოიდგინებოდეს შემდეგი სახით

$$u(x) = \text{grad} \Phi_1(x) - a \text{grad} r^2 \left(r \frac{\partial}{\partial r} + 1 \right) \Phi_2(x) + \text{rot} \text{rot} (x r^2 \Phi_2(x)) + \\ \text{rot} (x \Phi_3(x)) + \text{grad} [a_1 \Phi_5(x) + a_2 \Phi_6(x)] + \frac{1}{\lambda_3^2} \text{rot} (x \Phi_7(x)) - \frac{1}{\lambda_3^4} \text{rot} \text{rot} (x \Phi_8(x)), \quad (3.1)$$

$$\varphi(x) = \Phi_4(x) + a_3 \Phi_5(x) + a_4 \Phi_6(x), \quad (3.2)$$

სადაც $\Delta \Phi_j(x) = 0$, $j=1, 2, 3, 4$, $(\Delta - \lambda_1^2) \Phi_5(x) = 0$, $(\Delta - \lambda_2^2) \Phi_6(x) = 0$, $(\Delta - \lambda_3^2) \Phi_j(x) = 0$,

$$j=7, 8, \lambda_3^2 = \frac{\mu}{v_1}, \quad a = \mu / (\lambda + 2\mu),$$

$$\lambda_1^2 + \lambda_2^2 = \frac{1}{d(v_1 + v_2)} [k(v_1 + v_2) + d(\lambda + 2\mu) - (\beta - \gamma)^2], \quad \lambda_1^2 \lambda_2^2 = \frac{k(\lambda + 2\mu)}{d(v_1 + v_2)},$$

$$a_j = \frac{1}{(\lambda + 2\mu) \lambda_j^2} \left(v_1 + v_2 - \frac{(\beta - \gamma)^2}{k - d \lambda_j^2} \right), \quad j=1, 2,$$

$$a_3 = \frac{\beta - \gamma}{\lambda_1^2(k - d\lambda_1^2)}, \quad a_4 = \frac{\beta - \gamma}{\lambda_2^2(k - d\lambda_2^2)},$$

$$r = |x|, \quad r \frac{\partial}{\partial r} = x \cdot \text{grad}.$$

დამტკიცება. ვთქვათ $U = (u_1, u_2, u_3, \varphi)^T$ ვექტორი წარმოადგენს (2.1) – (2.2) სისტემის რეგულარულ ამონახსნს. (2.1) ტოლობის ორივე მხარეს მოვახდინოთ div -ის ოპერატორი, მივიღებთ

$$[\lambda + 2\mu - (v_1 + v_2)\Delta] \Delta \text{div} u + (\beta + \gamma) \Delta \Delta \varphi = 0. \quad (3.3)$$

შემოვიღოთ აღნიშვნები $V_1 := \Delta \text{div} u$, $V_2 := \Delta \varphi$.

თუ ამ აღნიშვნებს გავითვალისწინებთ (2.2) და (3.3) ტოლობებში, მივიღებთ შემდეგ სისტემას

$$\begin{aligned} [\lambda + 2\mu - (v_1 + v_2)\Delta] V_1 + (\beta - \gamma) \Delta V_2 &= 0, \\ (\beta - \gamma) V_1 + (d\Delta - k) V_2 &= 0. \end{aligned} \quad (3.4)$$

ამ სისტემიდან ვღებულობთ

$$-d(v_1 + v_2)(\Delta - \lambda_1^2)(\Delta - \lambda_2^2)(V_1, V_2)^T = 0, \quad (3.5)$$

სადაც

$$\lambda_1^2 + \lambda_2^2 = \frac{1}{d(v_1 + v_2)} [k(v_1 + v_2) + d(\lambda + 2\mu) - (\beta - \gamma)^2], \quad \lambda_1^2 \cdot \lambda_2^2 = \frac{k(\lambda + 2\mu)}{d(v_1 + v_2)}.$$

(3.5) ტოლობიდან ვღებულობთ

$$(\Delta - \lambda_1^2)(\Delta - \lambda_2^2)(V_1, V_2)^T = 0.$$

ამ განტოლების ამონახსნი წარმოვადგინოთ ასე

$$V_1(x) = \Phi_5(x) + \Phi_6(x), \quad V_2(x) = \Psi_5(x) + \Psi_6(x), \quad (3.6)$$

სადაც

$$(\Delta - \lambda_1^2)(\Phi_5, \Psi_5)^T = 0, \quad (\Delta - \lambda_2^2)(\Phi_6, \Psi_6)^T = 0.$$

თუ V_1 და V_2 ფუნქციების (3.6) მნიშვნელობებს შევიტანთ (3.4)-ის მეორე განტოლებაში, მივიღებთ

$$(\beta - \gamma)(\Phi_5(x) + \Phi_6(x)) + (d\lambda_1^2 - k)\Psi_5(x) + (d\lambda_2^2 - k)\Psi_6(x) = 0.$$

აქედან ვღებულობთ

$$\Psi_5(x) = \frac{\beta - \gamma}{k - d\lambda_1^2} \Phi_5(x), \quad \Psi_6(x) = \frac{\beta - \gamma}{k - d\lambda_2^2} \Phi_6(x). \quad (3.7)$$

$\Psi_j(x)$, $j = 5, 6$ ფუნქციის ეს მნიშვნელობები შევიტანოთ (3.6)-ში, მივიღებთ

$$\begin{aligned} V_1(x) &= \Phi_5(x) + \Phi_6(x), \\ V_2(x) &= (\beta - \gamma) \left[\frac{1}{k - d\lambda_1^2} \Phi_5(x) + \frac{1}{k - d\lambda_2^2} \Phi_6(x) \right]. \end{aligned} \quad (3.8)$$

$V_1(x)$ და $V_2(x)$ ფუნქციები წარმოადგენილნი (3.8) ფორმულებით, აკმაყოფილებენ (3.4)-ის პირველ განტოლებასაც.

(2.1) ტოლობის ორივე მხარეს მოვახდინოთ rot -ის ოპერაცია, მივიღებთ

$$(\Delta - \lambda_3^2)w(x) = 0, \quad \lambda_3^2 = \frac{\mu}{v_1}, \quad (3.9)$$

სადაც $w(x) := \Delta \operatorname{rot} u$.

ვინაიდან $\operatorname{div} w(x) = 0$, ამიტომ (3.9)

$$w(x) = \operatorname{rot} \operatorname{rot} (x\Phi_7(x)) + \operatorname{rot} (x\Phi_8(x)), \quad x = (x_1, x_2, x_3)^T, \\ (\Delta - \lambda_3^2)\Phi_j(x) = 0, \quad j = 7, 8.$$

(2.1) განტოლება გადავწეროთ შემდეგი სახით

$$\mu \Delta u(x) + (\lambda + \mu) \operatorname{grad} \operatorname{div} u(x) = (v_1 + v_2) \operatorname{grad} V_1(x) - \\ - (\beta - \gamma) \operatorname{grad} V_2(x) - v_1 \operatorname{rot} w(x). \quad (3.10)$$

თუ (3.10) ტოლობის მარჯვენა მხარეში შევიტანთ V_1 , V_2 და W -ს მნიშვნელობებს, მივიღებთ

$$\mu \Delta u(x) + (\lambda + \mu) \operatorname{grad} \operatorname{div} u(x) = \\ = \operatorname{grad} \left[\left(v_1 + v_2 - \frac{(\beta - \gamma)^2}{k - d\lambda_1^2} \right) \Phi_5(x) + \left(v_1 + v_2 - \frac{(\beta - \gamma)^2}{k - d\lambda_2^2} \right) \Phi_6(x) \right] + \\ + \mu \operatorname{rot} (x\Phi_7(x)) - v_1 \operatorname{rot} \operatorname{rot} (x\Phi_8(x)). \quad (3.11)$$

(3.11) არაერთგვაროვანი დიფერენციალური განტოლების ზოგადი ამონახსნი წარმოიდგინება ასე

$$u(x) = u^{(0)}(x) + u^{(1)}(x), \quad (3.12)$$

სადაც $u^{(0)}(x)$ არის ერთგვაროვანი

$$\mu \Delta u(x) + (\lambda + \mu) \operatorname{grad} \operatorname{div} u(x) = 0$$

განტოლების ზოგადი ამონახსნი, რომელსაც აქვს შემდეგი სახე [2]

$$u^{(0)}(x) = \operatorname{grad} \Phi_1(x) - a \operatorname{grad} r^2 \left(r \frac{\partial}{\partial r} + 1 \right) \Phi_2(x) + \operatorname{rot} \operatorname{rot} (x^2 \Phi_2(x)) \\ + \operatorname{rot} (x r^2 \Phi_3(x)), \quad (3.13)$$

სადაც $\Delta \Phi_j(x) = 0$, $j = 1, 2, 3$, $a = \mu / (\lambda + 2\mu)$.

(3.11) განტოლების კერძო ამონახსნი წარმოიდგინება ასე

$$u^{(1)}(x) = \operatorname{grad} [a_1 \Phi_5(x) + a_2 \Phi_6(x)] + \frac{1}{\lambda_3^2} \operatorname{rot} (x\Phi_7(x)) - \frac{1}{\lambda_3^4} \operatorname{rot} \operatorname{rot} (x\Phi_8(x)), \quad (3.14)$$

სადაც

$$a_j = \frac{1}{(\lambda + 2\mu)\lambda_j^2} \left(v_1 + v_2 - \frac{(\beta - \gamma)^2}{k - d\lambda_j^2} \right), \quad j = 1, 2.$$

(3.8)-ის მეორე ტოლობიდან ვღებულობთ, რომ

$$\Delta \varphi = (\beta - \gamma) \left[\frac{1}{k - d\lambda_1^2} \Phi_5(x) + \frac{1}{k - d\lambda_2^2} \Phi_6(x) \right].$$

აქედან

$$\varphi(x) = \Phi_4(x) + (\beta - \gamma) \left[\frac{1}{\lambda_1^2 (k - d\lambda_1^2)} \Phi_5(x) + \frac{1}{\lambda_2^2 (k - d\lambda_2^2)} \Phi_6(x) \right]. \quad (3.15)$$

შემოვიდოთ აღნიშვნები

$$a_3 = \frac{\beta - \gamma}{\lambda_1^2 (k - d\lambda_1^2)}, \quad a_4 = \frac{\beta - \gamma}{\lambda_2^2 (k - d\lambda_2^2)}.$$

თუ ამ აღნიშვნებს გავითვალისწინებთ (3.15)-ში, მივიღებთ დასამტკიცებელ (3.2) ტოლობას. ასევე, თუ $u^{(0)}(x)$ და $u^{(1)}(x)$ ვექტორების (3.13) და (3.14) მნიშვნელობებს შევიტანთ (3.12) -ში მივიღებთ დასამტკიცებელ (3.1) ტოლობას. ამით თეორემის პირველი ნაწილი დამტკიცებულია. უშუალო შემოწმებით მტკიცდება, რომ $U(x) = (u_1(x), u_2(x), u_3(x), \varphi(x))^T$ ვექტორი, რომელიც მიღებულია (3.1) და (3.2) ფორმულების სახით წარმოადგენს (2.1) – (2.2) სისტემის ამონახსნს.

4. $(I)^+$ ამოცანის ამოხსნა

$(I)^+$ ამოცანის ამოხსნა ვეძებთ (3.1) – (3.2) ფორმით, სადაც $\Phi_j(x)$, $j=1, 2, \dots, 8$ ფუნქციები წამოდგენილნი არიან მწკრივების სახით

$$\Phi_j(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{m=-k}^k \left(\frac{r}{R} \right)^k Y_k^{(m)}(\vartheta, \varphi) A_{mk}^{(j)}, \quad j=1, 2, 3, 4, \quad (4.1)$$

$$\Phi_j(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{m=-k}^k g_k(\lambda r) Y_k^{(m)}(\vartheta, \varphi) A_{mk}^{(j)}, \quad j=5, 6, 7, 8.$$

აქ $r = |x|$, (r, ϑ, φ) x წერტილის სფერული კოორდინატებია, $A_{mk}^{(j)}$, $j=1, 2, \dots, 8$ საძიებელი მუდმივებია,

$$g_k(\lambda r) = \sqrt{\frac{R}{r}} \frac{I_{k+1/2}(\lambda r)}{I_{k+1/2}(\lambda R)}, \quad (4.2)$$

$\lambda = \lambda_1$, როცა $j=5$, $\lambda = \lambda_2$, როცა $j=6$, $\lambda = \lambda_3$, როცა $j=7, 8$, $I_\nu(x)$ წარმოსახვით არგუმენტიანი ბესელის ფუნქციაა,

$$Y_k^{(m)}(\vartheta, \varphi) = \sqrt{\frac{2k+1}{4\pi} \cdot \frac{(k-m)!}{(k+m)!}} \cdot P_k^{(m)}(\cos \vartheta) e^{im\varphi} \quad (4.3)$$

$P_k^{(m)}(\cos \vartheta)$ არის k -ური ხარისხისა და m -ური რიგის ლეჟანდრის პოლინომი.

მნიშვნა 4.1. ვთქვათ $U = (u, \varphi)^T$ ვექტორი (2.1) – (2.2) სისტემის ამონახსნია $\Omega^\pm$ არე-ში. ვექტორი $U = (u, \varphi)^T$ წარმოდგენილი (3.1) – (3.2) სახით იქნება ურთიერთ შესაბამისობაში $\Phi_j(x)$, $j=1, 2, \dots, 8$ ფუნქციებთან თუ სრულდება შემდეგი ტოლობა

$$\int_{\partial\Omega_r} \Phi_j(x) d\Omega_r = 0, \quad j=1, 3, 7, 8, \text{ როცა } r = |x| \leq R, \quad j=2, 3, 7, 8, \text{ როცა } r = |x| \geq R, \quad (4.4)$$

ე.ი. $U = (u, \varphi)^T$ ვექტორის ყოველ ნულოვან მნიშვნელობას შეესაბამება $\Phi_j(x)$, $j=1, 2, \dots, 8$ ფუნქციების ნულოვანი მნიშვნელობები და პირიქით.

თუ $\Phi_j(x)$, $j=1, 3, 7, 8$ ფუნქციების (4.1) მნიშვნელობებს შევიტანოთ (4.4) ტოლობა-ში, მივიღებთ

$$A_{00}^{(j)} = 0, \quad j=1,3,7,8.$$

განვიხილოთ ერთეულოვანი ვექტორები [2-4]

$$\begin{aligned} X_{mk}(\vartheta, \varphi) &= e_r Y_k^{(m)}(\vartheta, \varphi), \quad k \geq 0, \\ Y_{mk}(\vartheta, \varphi) &= \frac{1}{\sqrt{k(k+1)}} \left(e_\vartheta \frac{\partial}{\partial \vartheta} + \frac{e_\varphi}{\sin \vartheta} \frac{\partial}{\partial \varphi} \right) Y_k^{(m)}(\vartheta, \varphi), \quad k \geq 1, \\ Z_{mk}(\vartheta, \varphi) &= \frac{1}{\sqrt{k(k+1)}} \left(\frac{e_\vartheta}{\sin \vartheta} \frac{\partial}{\partial \varphi} - e_\varphi \frac{\partial}{\partial \vartheta} \right) Y_k^{(m)}(\vartheta, \varphi), \quad k \geq 1, \end{aligned} \quad (4.5)$$

სადაც $|m| \leq k$, $e_r, e_\vartheta, e_\varphi$ ერთეულოვანი ორთოგონალური ვექტორებია:

$$\begin{aligned} e_r &= (\cos \varphi \sin \vartheta, \sin \varphi \sin \vartheta, \cos \vartheta)^T, \\ e_\vartheta &= (\cos \varphi \cos \vartheta, \sin \varphi \cos \vartheta, -\sin \vartheta)^T, \\ e_\varphi &= (-\sin \varphi, \cos \varphi, 0)^T, \end{aligned}$$

$Y_k^{(m)}(\vartheta, \varphi)$ ფუნქციას აქვს (4.3) სახე.

$$\{Y_k^{(m)}(\vartheta, \varphi)\}_{|m| \leq k, k=\overline{0, \infty}} \quad (4.6)$$

და

$$\{X_{00}(\vartheta, \varphi), X_{mk}(\vartheta, \varphi), Y_{mk}(\vartheta, \varphi), Z_{mk}(\vartheta, \varphi)\}_{|m| \leq k, k=\overline{1, \infty}} \quad (4.7)$$

მიმდევრობები ქმნიან ორთონორმირებულ ვექტორთა სრულ სისტემას $L_2(\Sigma_1)$ სივრცეში, სადაც Σ_1 ერთეულრადიუსიანი სფეროა.

თუ $\Phi_j(x)$, $j=1, 2, \dots, 8$ ფუნქციების (4.1) მნიშვნელობებს შევიტანთ (3.1) – (3.2)-ში და გავითვალისწინებთ შემდეგ ტოლობებს [5]

$$\begin{aligned} \text{grad} [a(r)Y_k^{(m)}(\vartheta, \varphi)] &= \frac{da(r)}{dr} X_{mk}(\vartheta, \varphi) + \frac{\sqrt{k(k+1)}}{r} a(r)Y_k^{(m)}(\vartheta, \varphi), \\ \text{rot} [x a(r)Y_k^{(m)}(\vartheta, \varphi)] &= \sqrt{k(k+1)} a(r)Z_{mk}(\vartheta, \varphi), \\ \text{rotrot} [x a(r)Y_k^{(m)}(\vartheta, \varphi)] &= \frac{k(k+1)}{r} a(r)X_{mk}(\vartheta, \varphi) + \sqrt{k(k+1)} \left(\frac{d}{dr} + \frac{1}{r} \right) a(r)Y_{mk}(\vartheta, \varphi), \end{aligned} \quad (4.8)$$

მივიღებთ, რომ

$$\begin{aligned} u(x) &= \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{m=-k}^k \left\{ u_{mk}^+(r) X_{mk}(\vartheta, \varphi) + \sqrt{k(k+1)} [v_{mk}^+(r) Y_{mk}(\vartheta, \varphi) + w_{mk}^+(r) Z_{mk}(\vartheta, \varphi)] \right\}, \\ \varphi(x) &= \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{m=-k}^k \sigma_{mk}^+(r) Y_k^{(m)}(\vartheta, \varphi), \end{aligned} \quad (4.9)$$

სადაც

$$\begin{aligned}
u_{mk}^+(r) &= \frac{k}{R} \left(\frac{r}{R} \right)^{k-1} A_{mk}^{(1)} + (k+1)(kb-2a)R \left(\frac{r}{R} \right)^{k+1} A_{mk}^{(2)} + \\
&+ \frac{d}{dr} \left[a_1 g_k(\lambda_1 r) A_{mk}^{(5)} + a_2 g_k(\lambda_2 r) A_{mk}^{(6)} \right] - \frac{k(k+1)}{\lambda_3^4 r} g_k(\lambda_3 r) A_{mk}^{(8)}, \\
v_{mk}^+(r) &= \frac{1}{R} \left(\frac{r}{R} \right)^{k-1} A_{mk}^{(1)} + ((k+1)b+2)R \left(\frac{r}{R} \right)^{k+1} A_{mk}^{(2)} + \\
&+ \frac{1}{r} \left[a_1 g_k(\lambda_1 r) A_{mk}^{(5)} + a_2 g_k(\lambda_2 r) A_{mk}^{(6)} \right] - \frac{1}{\lambda_3^4} \left(\frac{d}{dr} + \frac{1}{r} \right) g_k(\lambda_3 r) A_{mk}^{(8)}, \\
w_{mk}^+(r) &= \left(\frac{r}{R} \right)^k A_{mk}^{(3)} + \frac{1}{\lambda_3^2} g_k(\lambda_3 r) A_{mk}^{(7)}, \\
\sigma_{mk}^+(r) &= \left(\frac{r}{R} \right)^k A_{mk}^{(4)} + a_3 g_k(\lambda_1 r) A_{mk}^{(5)} + a_4 g_k(\lambda_2 r) A_{mk}^{(6)}.
\end{aligned} \tag{4.10}$$

(4.9) ტოლობებიდან გამოვთვალოთ $u(x)$ ვექტორისა და $\varphi(x)$ ფუნქციის ნორმალთი წარმოებულნი

$$\begin{aligned}
\frac{\partial u(x)}{\partial n(x)} &= \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{m=-k}^k \left\{ u_{mk}^+(r) X_{mk}(\vartheta, \varphi) + \sqrt{k(k+1)} \left[\tilde{v}_{mk}^+(r) Y_{mk}(\vartheta, \varphi) + w_{mk}^+(r) Z_{mk}(\vartheta, \varphi) \right] \right\}, \\
\frac{\partial \varphi(x)}{\partial n(x)} &= \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{m=-k}^k \sigma_{mk}^+(r) Y_k^{(m)}(\vartheta, \varphi),
\end{aligned} \tag{4.11}$$

სადაც

$$\begin{aligned}
u_{mk}^+(r) &= \frac{d}{dr} u_{mk}(r) = \frac{k(k-1)}{R^2} \left(\frac{r}{R} \right)^{k-2} A_{mk}^{(1)} + (k+1)^2(kb-2a) \left(\frac{r}{R} \right)^k A_{mk}^{(2)} + \\
&+ \frac{d^2}{dr^2} \left[a_1 g_k(\lambda_1 r) A_{mk}^{(5)} + a_2 g_k(\lambda_2 r) A_{mk}^{(6)} \right] - \frac{k(k+1)}{\lambda_3^4} \frac{d}{dr} \left(\frac{1}{r} \right) g_k(\lambda_3 r) A_{mk}^{(8)}, \\
\tilde{v}_{mk}^+(r) &= \frac{d}{dr} v_{mk}(r) = \frac{k-1}{R^2} \left(\frac{r}{R} \right)^{k-2} A_{mk}^{(1)} + (k+1)((k+1)b+2) \left(\frac{r}{R} \right)^k A_{mk}^{(2)} + \\
&+ \frac{1}{r} \left(\frac{d}{dr} - \frac{1}{r} \right) \left[a_1 g_k(\lambda_1 r) A_{mk}^{(5)} + a_2 g_k(\lambda_2 r) A_{mk}^{(6)} \right] - \frac{1}{\lambda_3^4} \frac{d}{dr} \left(\frac{d}{dr} + \frac{1}{r} \right) g_k(\lambda_3 r) A_{mk}^{(8)}, \\
\tilde{w}_{mk}^+(r) &= \frac{d}{dr} w_{mk}(r) = \frac{k}{R} \left(\frac{r}{R} \right)^{k-1} A_{mk}^{(3)} + \frac{1}{\lambda_3^2} \frac{d}{dr} g_k(\lambda_3 r) A_{mk}^{(7)}, \\
\tilde{\sigma}_{mk}^+(r) &= \frac{k}{R} \left(\frac{r}{R} \right)^{k-1} A_{mk}^{(4)} + \frac{d}{dr} \left[a_3 g_k(\lambda_1 r) A_{mk}^{(5)} + a_4 g_k(\lambda_2 r) A_{mk}^{(6)} \right].
\end{aligned} \tag{4.12}$$

სასაზღვრო $f^{(j)}(z)$, $j=1, 2$ ვექტორები და $f^{(j)}(z)$, $j=3, 4$ ფუნქციები გავშალოთ ფურიე-ლაპლასის მწკრივად შესაბამისად (4.7) და (4.6) სისტემებში

$$\begin{aligned}
f^{(j)}(z) &= \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{m=-k}^k \left\{ \alpha_{mk}^{(j)}(r) X_{mk}(\vartheta, \varphi) + \right. \\
&+ \left. \sqrt{k(k+1)} \left[\beta_{mk}^{(j)}(r) Y_{mk}(\vartheta, \varphi) + \gamma_{mk}^{(j)}(r) Z_{mk}(\vartheta, \varphi) \right] \right\}, \quad j=1, 2
\end{aligned} \tag{4.13}$$

$$f^{(j)}(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{m=-k}^k \alpha_{mk}^{(j)}(r) Y_k^{(m)}(\vartheta, \varphi), \quad j=3, 4, \tag{4.14}$$

სადაც $\alpha_{mk}^{(j)}$, $j=1,2,3,4$, $\sqrt{k(k+1)}\beta_{mk}^{(j)}$, $\sqrt{k(k+1)}\gamma_{mk}^{(j)}$, $j=1,2$ ფურიეს კოეფიციენტებია

$$\begin{aligned}\alpha_{mk}^{(j)} &= \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\pi f^{(j)}(\vartheta, \varphi) \cdot X_{mk}(\vartheta, \varphi) \sin \vartheta d\vartheta, \quad j=1,2, \quad k \geq 0, \\ \sqrt{k(k+1)}\beta_{mk}^{(j)} &= \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\pi f^{(j)}(\vartheta, \varphi) \cdot Y_{mk}(\vartheta, \varphi) \sin \vartheta d\vartheta, \quad j=1,2, \quad k \geq 1, \\ \sqrt{k(k+1)}\gamma_{mk}^{(j)} &= \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\pi f^{(j)}(\vartheta, \varphi) \cdot Z_{mk}(\vartheta, \varphi) \sin \vartheta d\vartheta, \quad j=1,2, \quad k \geq 1, \\ \alpha_{mk}^{(j)} &= \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\pi f^{(j)}(\vartheta, \varphi) \cdot Y_k^{(m)}(\vartheta, \varphi) \sin \vartheta d\vartheta, \quad j=3,4, \quad k \geq 0.\end{aligned}\tag{4.15}$$

აქ $a \cdot b$ ნამრავლის ქვეშ გვესმის კომპლექსური რიცხვების სკალარული ნამრავლი $a, b \in C^m : a \cdot b = \sum_{j=1}^m a_j \bar{b}_j$ სადაც $\bar{b}_j$ აღნიშნავს b ვექტორის კომპლექსურად შეუღლებული j -ურ მდგენელს.

თუ (4.9) და (4.11) ტოლობების ორივე მხარეს გადავალთ ზღვარზე, როცა $x \rightarrow z$ ($r \rightarrow R$) და გავითვალისწინებთ, როგორც (2.3)-(2.4) სასაზღვრო პირობებს, ასევე (4.13)-(4.14) ტოლობებს, მაშინ საძიებელი $A_{mk}^{(j)}$, $j=1,2,\dots,8$ მუდმივებისათვის მივიღებთ წრფივ ალგებრულ განტოლებათა არაერთგვაროვან სისტემას

ა) როცა $k=0$

$$\begin{aligned}-2aRA_{00}^{(2)} + a_1 \frac{d}{dR} g_0(\lambda_1 R) A_{00}^{(5)} + a_2 \frac{d}{dR} g_0(\lambda_2 R) A_{00}^{(6)} &= \alpha_{00}^{(1)}, \\ -2aA_{00}^{(2)} + a_1 \frac{d^2}{dR^2} g_0(\lambda_1 R) A_{00}^{(5)} + a_2 \frac{d^2}{dR^2} g_0(\lambda_2 R) A_{00}^{(6)} &= \alpha_{00}^{(2)}, \\ A_{00}^{(4)} + a_3 A_{00}^{(5)} + a_4 A_{00}^{(6)} &= \alpha_{00}^{(3)}, \\ a_3 \frac{d}{dR} g_0(\lambda_1 R) A_{00}^{(5)} + a_4 \frac{d}{dR} g_0(\lambda_2 R) A_{00}^{(6)} &= \alpha_{00}^{(4)};\end{aligned}\tag{4.16}$$

ბ) როცა $k \geq 1$

$$\begin{aligned}u_{mk}^+(R) &= \alpha_{mk}^{(1)}, \quad \tilde{u}_{mk}^+(R) = \alpha_{mk}^{(2)}, \\ v_{mk}^+(R) &= \beta_{mk}^{(1)}, \quad \tilde{v}_{mk}^+(R) = \beta_{mk}^{(2)}, \\ w_{mk}^+(R) &= \gamma_{mk}^{(1)}, \quad \tilde{w}_{mk}^+(R) = \gamma_{mk}^{(2)}, \\ \sigma_{mk}^+(R) &= \alpha_{mk}^{(3)}, \quad \tilde{\sigma}_{mk}^+(R) = \alpha_{mk}^{(4)}.\end{aligned}\tag{4.17}$$

სამართლიანია შემდეგი თეორემა [1]

თეორემა 4.2 თუ $(I)^\pm$ ამოცანას რეგულარულ ფუნქციათა კლასში გააჩნია ამონახსნი, მაშინ იგი ერთადერთია.

ამ თეორემის თანახმად (4.16) და (4.17) სისტემები არიან თავსებადნი. თუ ამ სისტემის $A_{mk}^{(j)}$, $j=1,2,\dots,8$ ამონახსნებს შევიტანთ (4.9) ფორმულებში მივიღებთ $(I)^+$ ამოცანის ამონახსნს მწკრივების სახით. შევისწავლოთ მიღებული მწკრივების კრებადობის საკითხი.

სამართლიანია შემდეგი თეორემები [5], [6]

თეორემა 4.3. თუ $f^{(j)}(z) \in C^l(\partial\Omega)$, მაშინ $\alpha_{mk}^{(j)}$, $j=3,4$ კოეფიციენტისათვის სამართლიანია შემდეგი შეფასება

$$\alpha_{mk}^{(j)} = O(k^{-l}), \quad l \geq 1, \quad j=3,4.\tag{4.18}$$

თეორემა 4.4. თუ $f^{(j)}(z) \in C^l(\partial\Omega)$, მაშინ $\alpha_{mk}^{(j)}, \beta_{mk}^{(j)}, \gamma_{mk}^{(j)}, j=1,2$ კოეფიციენტებისათვის სამართლიანია შემდეგი შეფასება

$$\alpha_{mk}^{(j)} = O(k^{-l}), \beta_{mk}^{(j)} = O(k^{-l-1}), \gamma_{mk}^{(j)} = O(k^{-l-1}), j=1,2, l \geq 1. \quad (4.19)$$

თეორემა 4.5. $X_{mk}(\vartheta, \varphi), Y_{mk}(\vartheta, \varphi), Z_{mk}(\vartheta, \varphi)$ ვექტორებისათვის და $Y_k^{(m)}(\vartheta, \varphi)$ ფუნქციისათვის k -ს მიმართ სამართლიანია შემდეგი უტოლობები [5]

$$\begin{aligned} |X_{mk}(\vartheta, \varphi)| &\leq \sqrt{\frac{2k+1}{4\pi}}, \quad |Y_{mk}(\vartheta, \varphi)| < \sqrt{\frac{2k(k+1)}{2k+1}}, \\ |Z_{mk}(\vartheta, \varphi)| &< \sqrt{\frac{2k(k+1)}{2k+1}}, \quad |Y_k^{(m)}(\vartheta, \varphi)| < \sqrt{\frac{2k+1}{4\pi}}. \end{aligned} \quad (4.20)$$

სამართლიანია შემდეგი ასიმპტოტური წარმოდგენები როცა $k \rightarrow +\infty$ [7]

$$g_k(\lambda_j r) \sim \left(\frac{r}{R}\right)^k, \quad \frac{d}{dr} g_k(\lambda_j r) \sim \frac{k}{r} \left(\frac{r}{R}\right)^k, \quad j=1,2,3. \quad (4.21)$$

თუ $x \in \Omega^+$ ($r < R$), მაშინ (4.21) ასიმპტოტიკის თანახმად (4.9) მწკრივები არიან კრებადნი, როგორც გეომეტრიული ტიპის მწკრივები. ვთქვათ ახლა $x \in \partial\Omega$ ($r = R$), მაშინ (4.9) და (4.11) მწკრივები, თანახმად (4.20) უტოლობებისა, იქნებიან აბსოლუტურად და თანაბრად კრებადნი, თუ კრებადია შემდეგი მაჟორანტული მწკრივი

$$\sum_{k=0}^{\infty} k^{\frac{5}{2}} \left\{ \sum_{j=1}^2 \left[|\alpha_{mk}^{(j)}| + (|\beta_{mk}^{(j)}| + |\gamma_{mk}^{(j)}|) \right] + \sum_{j=3}^4 \frac{1}{k} |\alpha_{mk}^{(j)}| \right\}. \quad (4.22)$$

(4.22) მწკრივი იქნება კრებადი, თუ $\alpha_{mk}^{(j)}, j=1,2,3,4, \beta_{mk}^{(j)}, \gamma_{mk}^{(j)}, j=1,2$ კოეფიციენტები k -ს მიმართ უშვებენ შემდეგ ასიმპტოტიკას

$$\begin{aligned} \alpha_{mk}^{(j)} &= O(k^{-4}), \beta_{mk}^{(j)} = O(k^{-5}), \gamma_{mk}^{(j)} = O(k^{-5}), j=1,2, \\ \alpha_{mk}^{(j)} &= O(k^{-3}), j=3,4, k \rightarrow +\infty. \end{aligned} \quad (4.23)$$

თეორემა 4.3 და თეორემა 4.4-ის თანახმად (4.23) ასიმპტოტიკას ექნება ადგილი, თუ სასაზღვრო ვექტორ ფუნქციებისგან მოვითხოვთ, რომ $f^{(j)}(z) \in C^4(\partial\Omega), j=1,2$ და $f^{(j)}(z) \in C^3(\partial\Omega), j=3,4$, მაშინ (4.9) და (4.11) მწკრივები იქნებიან აბსოლუტურად და თანაბრად კრებადნი $\bar{\Omega}^+$ არეში, ხოლო $U=(u, \varphi)$ ვექტორი წარმოდგენილი (4.9) მწკრივებით არის $(I)^+$ ამოცანის რეგულარული ამონახსნი.

5. $(I)^-$ ამოცანის ამოხსნა

$(I)^-$ ამოცანის ამოხსნა ვეძებთ (3.1) – (3.2) ფორმით, სადაც $\Phi_j(x), j=\overline{1,8}$ ფუნქციები წარმოდგენილნი არიან შემდეგი მწკრივებით

$$\begin{aligned} \Phi_j(x) &= \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{m=-k}^k \left(\frac{R}{r}\right)^{k+1} Y_k^{(m)}(\vartheta, \varphi) A_{mk}^{(j)}, j=1,2,3,4, \\ \Phi_j(x) &= \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{m=-k}^k h_k(\lambda r) Y_k^{(m)}(\vartheta, \varphi) A_{mk}^{(j)}, j=5,6,7,8 \end{aligned} \quad (5.1)$$

სადაც $A_{mk}^{(j)}$ საძიებელი მუდმივებია, $r=|x|$, $Y_k^{(m)}(\vartheta, \varphi)$ -ის აქვს (4.3) სახე

$$h_k(\lambda r) = \sqrt{\frac{R}{r}} \frac{K_{k+1/2}(\lambda r)}{K_{k+1/2}(\lambda R)} \quad (5.2)$$

λ განსაზღვრულია (4.2) ტოლობებით, $K_r(x)$ -მაგდონალდის ფუნქციას.

თუ $\Phi_j(x)$, $j = 2, 3, 7, 8$ ფუნქციების (5.1) მნიშვნელობებს შევიტანთ (4.4) ტოლობაში (როცა $r \geq R$), მივიღებთ

$$A_{00}^{(j)} = 0, \quad j = 2, 3, 7, 8.$$

თუ $\Phi_j(x)$, $j = \overline{1, 8}$ ფუნქციების (5.1) მნიშვნელობებს შევიტანთ (3.1)-(3.2)

წარმოდგენებში და გავითვალისწინებთ (4.8) ტოლობებს, მივიღებთ

$$\begin{aligned} u(x) &= \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{m=-k}^k \left\{ u_{mk}^-(r) X_{mk}(\vartheta, \varphi) + \sqrt{k(k+1)} \left[v_{mk}^-(r) Y_{mk}(\vartheta, \varphi) + w_{mk}^-(r) Z_{mk}(\vartheta, \varphi) \right] \right\} \\ \varphi(x) &= \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{m=-k}^k \sigma_{mk}^-(r) Y_k^{(m)}(\vartheta, \varphi), \end{aligned} \quad (5.3)$$

სადაც

$$\begin{aligned} u_{mk}^-(r) &= -\frac{k+1}{R} \left(\frac{R}{r} \right)^{k+2} A_{mk}^{(1)} + k(b(k-1)+2) R \left(\frac{R}{r} \right)^k A_{mk}^{(2)} + \\ &\quad + \frac{d}{dr} \left[a_1 h_k(\lambda_1 r) A_{mk}^{(5)} + a_2 h_k(\lambda_2 r) A_{mk}^{(6)} \right] - \frac{k(k+1)}{\lambda_3^4 r} h_k(\lambda_3 r) A_{mk}^{(8)}, \\ v_{mk}^-(r) &= \frac{1}{R} \left(\frac{R}{r} \right)^{k+2} A_{mk}^{(1)} - R(bk-2) \left(\frac{R}{r} \right)^k A_{mk}^{(2)} + \\ &\quad + \frac{1}{r} \left[a_1 h_k(\lambda_1 r) A_{mk}^{(5)} + a_2 h_k(\lambda_2 r) A_{mk}^{(6)} \right] - \frac{1}{\lambda_3^4} \left(\frac{d}{dr} + \frac{1}{r} \right) h_k(\lambda_3 r) A_{mk}^{(8)}, \\ w_{mk}^-(r) &= \left(\frac{R}{r} \right)^{k+1} A_{mk}^{(3)} + \frac{1}{\lambda_3^2} h_k(\lambda_3 r) A_{mk}^{(7)}, \\ \sigma_{mk}^-(r) &= \left(\frac{R}{r} \right)^{k+1} A_{mk}^{(4)} + a_3 h_k(\lambda_1 r) A_{mk}^{(5)} + a_4 h_k(\lambda_2 r) A_{mk}^{(6)}. \end{aligned}$$

(5.3) ტოლობებიდან გამოვთვალოთ $u(x)$ ვექტორისა და $\varphi(x)$ ფუნქციის ნორმალით წარმოდგენილი

$$\begin{aligned} \frac{\partial u(x)}{\partial n(x)} &= \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{m=-k}^k \left\{ u_{mk}^-(r) X_{mk}(\vartheta, \varphi) + \sqrt{k(k+1)} \left[\tilde{v}_{mk}^-(r) Y_{mk}(\vartheta, \varphi) + w_{mk}^-(r) Z_{mk}(\vartheta, \varphi) \right] \right\}, \\ \frac{\partial \varphi(x)}{\partial n(x)} &= \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{m=-k}^k \sigma_{mk}^-(r) Y_k^{(m)}(\vartheta, \varphi), \end{aligned} \quad (5.4)$$

სადაც

$$\begin{aligned} u_{mk}^-(r) &= \frac{(k+1)(k+2)}{R^2} \left(\frac{R}{r} \right)^{k+3} A_{mk}^{(1)} - k^2(b(k-1)+2) \left(\frac{R}{r} \right)^{k+1} A_{mk}^{(2)} + \\ &\quad + \frac{d^2}{dr^2} \left[a_1 h_k(\lambda_1 r) A_{mk}^{(5)} + a_2 h_k(\lambda_2 r) A_{mk}^{(6)} \right] - \frac{k(k+1)}{\lambda_3^4 r} \left(\frac{d}{dr} - \frac{1}{r} \right) h_k(\lambda_3 r) A_{mk}^{(8)}, \\ \tilde{v}_{mk}^-(r) &= -\frac{k+2}{R^2} \left(\frac{R}{r} \right)^{k+3} A_{mk}^{(1)} + k(bk-2) \left(\frac{R}{r} \right)^{k+1} A_{mk}^{(2)} + \\ &\quad + \frac{1}{r} \left(\frac{d}{dr} - \frac{1}{r} \right) \left[a_1 h_k(\lambda_1 r) A_{mk}^{(5)} + a_2 h_k(\lambda_2 r) A_{mk}^{(6)} \right] - \frac{1}{\lambda_3^4} \frac{d}{dr} \left(\frac{d}{dr} + \frac{1}{r} \right) h_k(\lambda_3 r) A_{mk}^{(8)}, \end{aligned}$$

$$\tilde{w}^-(r) = \frac{k+1}{R} \left(\frac{R}{r} \right)^{k+2} A_{mk}^{(3)} + \frac{1}{\lambda_3^2} h_k(\lambda_3 r) A_{mk}^{(7)}$$

$$\tilde{\sigma}^-(r) = -\frac{k+1}{R} \left(\frac{R}{r} \right)^{k+2} A_{mk}^{(4)} + \frac{d}{dr} \left[a_3 h_k(\lambda_1 r) A_{mk}^{(5)} + a_4 h_k(\lambda_2 r) A_{mk}^{(6)} \right]$$

თუ (5.3) – (5.4) ტოლობების ორივე მხარეს გადავალთ ზღვარზე, როცა $x \rightarrow z \in \partial\Omega$ ($r \rightarrow R$) და გავითვალისწინებთ, როგორც (2.3) – (2.4) სასაზღვრო პირობებს, ასევე (4.13) – (4.14) სასაზღვრო ფუნქციების წარმოდგენებს, მაშინ საძიებელი $A_{mk}^{(j)}$, $j = \overline{1, 8}$ მუდმივებისათვის მივიღებთ წრფივ ალგებრულ განტოლებათა შემდეგ სისტემას

ა) როცა $k = 0$

$$\begin{aligned} -\frac{1}{R} A_{00}^{(1)} + a_1 \frac{d}{dR} h_0(\lambda_1 R) A_{00}^{(5)} + a_2 \frac{d}{dR} h_0(\lambda_2 R) A_{00}^{(6)} &= \alpha_{00}^{(1)}, \\ \frac{2}{R^2} A_{00}^{(1)} + a_1 \frac{d^2}{dR^2} h_0(\lambda_1 R) A_{00}^{(5)} + a_2 \frac{d^2}{dR^2} h_0(\lambda_2 R) A_{00}^{(6)} &= \alpha_{00}^{(2)}, \\ A_{00}^{(4)} + a_3 A_{00}^{(5)} + a_4 A_{00}^{(6)} &= \alpha_{00}^{(3)}, \\ -\frac{1}{R} A_{00}^{(4)} + a_3 \frac{d}{dR} h_0(\lambda_1 R) A_{00}^{(5)} + a_4 \frac{d}{dR} h_0(\lambda_2 R) A_{00}^{(6)} &= \alpha_{00}^{(4)}; \end{aligned} \quad (5.5)$$

ბ) როცა $k \geq 1$

$$\begin{aligned} u_{mk}^-(R) &= \alpha_{mk}^{(1)}, & \tilde{u}_{mk}^-(R) &= \alpha_{mk}^{(2)}, \\ v_{mk}^-(R) &= \beta_{mk}^{(1)}, & \tilde{v}_{mk}^-(R) &= \beta_{mk}^{(2)}, \\ w_{mk}^-(R) &= \gamma_{mk}^{(1)}, & \tilde{w}_{mk}^-(R) &= \gamma_{mk}^{(2)}, \\ \sigma_{mk}^-(R) &= \alpha_{mk}^{(3)}, & \tilde{\sigma}_{mk}^-(R) &= \alpha_{mk}^{(4)}. \end{aligned} \quad (5.6)$$

თეორემა 4.2-ის თანახმად (4.16) და (4.17) სისტემები არიან თავსებადნი. თუ ამ სისტემების ამოხსნებს შევიტანთ $u(x)$ ვექტორისა და $\varphi(x)$ ფუნქციის (5.3) მნიშვნელობებში მივიღებთ $(I)^-$ ამოცანის ამონახსნს. ახლა შევისწავლოთ (5.3) და (5.4) მწკრივების კრებადობის საკითხი.

სამართლიანია შემდეგი ასიმპტოტური წარმოდგენები [7]

$$h_k(\lambda_j r) \sim \left(\frac{R}{r} \right)^{k+1}, \quad \frac{d}{dr} h_k(\lambda_j r) \sim \frac{k}{r} \left(\frac{R}{r} \right)^{k+1}, \quad k \rightarrow +\infty. \quad (5.7)$$

თუ გავიმეორებთ მეოთხე პუნქტში ჩატარებულ მსჯელობას მწკრივების კრებადობის შესახებ, მივიღებთ, რომ თუ $f^{(j)}(z) \in C^4(\partial\Omega)$, $j = 1, 2$ და $f^{(j)}(z) \in C^3(\partial\Omega)$, $j = 3, 4$, მაშინ (5.3) და (5.4) მწკრივები იქნებიან აბსოლუტურად და თანაბრად კრებადი.

ლიტერატურა

1. D. Iesan, R. Quintanilla. A second gradient theory of thermoelasticity. //Journal of elasticity, 154 (2023), pp.629-643. DOI:10.1007/s10659-023-10020-1
2. Giorgashvili L.G. Solution of basic boundary value problems of static elasticity theory for a sphere (Russian). //Proceedings of I.Vekua institute of applied mathematics. Tbilisi, V.10 (1981), 32-37.
3. Mors F, Feshbah G. Methods of theoretical physics. (Russian) Vol.2, -Moscow, Inostran Literatura, 1960.
4. Ulitko A.F. The method of eigenvector functions in three-dimensional problems of the theory of elasticity. (Russian). - Kiev, Naukova Dumka, 1979.

5. Giorgashvili L.G., Solution of the basic boundary value problems of stationary thermoelastic oscillations for domains bounded by spherical surfaces. Georgian mathematical J. 4(1997), No.5, 421-438.
6. Mikhlin S.G., Multidimensional singular integrals and integral equations. (Russian). -Moscow, Fizmatgiz, 1962.
7. Tikhonov A.N., Samarski A.A. Equations of mathematical physics. (Russian).- Moscow, Nauka, 1966.

SUMMARY

SOLUTION OF THE DIRICHLET BOUNDARY VALUE PROBLEM OF STATICS OF THE THEORY OF THERMOELASTICITY WITH DOUBLE GRADIENT FOR THE NUCLEUS AND THE ENTIRE SPACE OF THE NUCLEAR CAVITY

Kharashvili M.G. and Metreveli D.Z.

Georgian Technical University

Problem of thermoelasticity theory with double gradient, solved for Dirichlet static boundary conditions with kernel and a space with kernel loop. In this paper we study problem of thermoelasticity theory with double gradient for Dirichlet static boundary conditions with kernel and a space with kernel loop, in case when both the displacement vector and the derivative of its normal are given everywhere along the boundary. The limiting thermal and thermal flow values are also given. Representational formula for a general solution to corresponding homogenous system of differential equations is expressed with the aid of four harmonic and four meta harmonic functions. The problem is reduced to a system of linear algebraic non homogenous equations and then investigated in this form. The solution is presented as infinite series. The boundary conditions of smoothness ensure absolute and uniform convergence of the series.

Keywords: double gradient, thermoelasticity theory, Dirichlet static boundary conditions.

კრიტიკული ძალების განსაზღვრის საკითხის შესახებ გრაფო-ანალიზური მეთოდით
Mathcad კომპიუტერული პროგრამის გამოყენებით

ბანძელაძე ბ.რ.

ქუთაისის აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

დრეკადი ღეროვანი სისტემების მდგრადობის ამოცანების ამოხსნა, კერძოდ, კრიტიკული ძალების მნიშვნელობების განსაზღვრა განვიხილოთ გრაფო-ანალიზური მეთოდით. იგი ჩამოაყალიბა ა. სმირნოვმა მატრიცული ფორმით, რაც განსაკუთრებით ეფექტურია კომპიუტერული პროგრამების გამოყენების დროს [1].

დრეკადი სისტემის დეფორმირებული მდგომარეობა დავახასიათოთ ε ვექტორ-სვეტით:

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

სადაც, $\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n$ გადაადგილებები 1, ..., n კვეთების.

სატვირთო მატრიცა P განპირობებული იქნება მოქმედი გარე ძალებით, რომლებიც განსაზღვრულები არიან სიზუსტით β პარამეტრამდე.

P მატრიცის ნამრავლი β პარამეტრზე და ε ვექტორ-სვეტზე განსაზღვრავს მომენტს სისტემის 1, ..., n წერტილებში და წარმოადგენს ვექტორ-სვეტს

$$m_\beta = \begin{bmatrix} M_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ M_n \end{bmatrix}$$

ანუ

$$m_\beta = \beta P \varepsilon$$

თუ აღვნიშნავთ Π -თი რეაქციის გავლენის მატრიცას, ე.ი. მატრიცას, რომლის სვეტები წარმოადგენენ $\varepsilon_1=1, \varepsilon_2=1$ და ა.შ. გადაადგილებებით გამოწვეულ საყრდენ რეაქციებს, ხოლო L_m -ით მომენტების გავლენის მატრიცას (L_m მატრიცის სვეტები წარმოადგენენ მომენტებს 1, ..., n წერტილებში, რომლებიც გამოწვეულია $R_1=1, R_2=1$ და ა.შ. რეაქციებით), მაშინ მომენტების ვექტორი რეაქტიული ძალებისაგან განისაზღვრება m_r ვექტორ-სვეტით, რომელიც ტოლია

$$m_r = L_m \Pi \varepsilon$$

დრეკადი ტვირთების ვექტორ-სვეტი W , რომლის ელემენტებს წარმოადგენენ დრეკადი ტვირთები 1,2, ..., n წერტილებში, განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით:

$$W = B_{\omega} G m_{\beta} + B_{\omega}^0 m_r \quad (1)$$

აქ G მატრიცა, რომელიც განსაზღვრავს ღეროს ინერციის მომენტების ცვლილების კანონს, წარმოადგენს დიაგონალურ მატრიცას

$$G = \begin{bmatrix} I_0/I_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & I_0/I_2 & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & I_0/I_n \\ 0 & 0 & \dots & \cdot \end{bmatrix};$$

B_{ω} და B_{ω}^0 – დრეკადი ტვირთების მატრიცა, ოდონდ, თუ მომენტების ეპიურა სწორხაზოვანია, მაშინ B_{ω} მატრიცა განისაზღვრება გამოსახულებით

$$B_{\omega} = \frac{S_0}{6EI_0} \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & 0 & \dots & 0 \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \alpha_{nn} \end{bmatrix} = \frac{S_0}{6EI_0} \cdot B_{\omega}^0$$

ანუ

$$\alpha_{k(k-1)} = \rho_k; \alpha_{kk} = 2(\rho_k + \rho_{k+1}); \alpha_{k(k+1)} = \rho_{k+1}; \rho_k = \frac{S_k I_0}{(S_0 I_k)}$$

აქ S_k – სიგრძე k -ური მონაკვეთის, ხოლო S_0 – სიგრძე მონაკვეთის, რომელიც მიღებულია ბაზისად. მომენტების მრუდხაზოვანი ეპიურის შემთხვევაში უნდა ვისარგებლოთ გამოსახულებით

$$B_{\omega} = \frac{S_0}{6EI_0} \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} & 0 & \dots & 0 \\ \beta_{21} & \beta_{22} & \beta_{23} & \dots & 0 \\ 0 & \beta_{32} & \beta_{33} & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \alpha_{nn} \end{bmatrix},$$

სადაც

$$\begin{aligned} \beta_{k(k-1)} &= \frac{S_k + 2S_{k+1}}{2(S_k + S_{k+1})} \rho_k - \frac{2S_{k+1}^2}{2S_k(S_k + S_{k+1})} \rho_{k+1}; \\ \beta_{kk} &= \frac{4S_{k+1} + S_k}{2S_{k+1}} \rho_k + \frac{4S_k + S_{k+1}}{2S_k} \rho_{k+1}; \\ \beta_{k(k+1)} &= \frac{S_k^2}{2S_{k+1}(S_k + S_{k+1})} \rho_k + \frac{S_{k+1} + 2S_k}{2(S_k + S_{k+1})} \rho_{k+1}. \end{aligned}$$

ზემოთ მოყვანილი ფორმულები მიღებულია ინტერპოლაციის დახმარებით სიმპსონის ფორმულების მიხედვით.

გადახრების სიდიდეები დრეკადი ტვირთების მატრიცის და ფიქციური დრეკადი სისტემის გამოყენებით შეიძლება განისაზღვროს ვექტორ-სვეტით

$$\varepsilon = L_m^* W \quad (2)$$

სადაც L_m^* მომენტების გავლენის მატრიცა ფიქციურ ნაგებობაში, ე.ი. ამ მატრიცის ყოველი სვეტი იძლევა მომენტს 1, 2, ..., n წერტილებში, რომელიც გამოწვეულია იმავე 1, 2, ..., n წერტილებში თანმიმდევრულად მოდებული ერთეული ძალებით.

(2) ტოლობაში (1) გამოსახულების ჩასმით, მივიღებთ შემდეგ მატრიცულ განტოლებას

$$\varepsilon = (\beta L_m^* B_\omega P + L_m^* B_\omega^0 L_m \Pi) \varepsilon$$

მარტივი გარდაქმნების შემდეგ, გვექნება

$$\begin{aligned} \{E + \beta(L_m^* B_\omega^0 L_m \Pi - E) L_m^* B_\omega P\} \varepsilon &= 0 \\ \left\{ \left[\frac{1}{\beta} E + (L_m^* B_\omega^0 L_m \Pi - E) \right] L_m^* B_\omega P \right\} \varepsilon &= 0 \end{aligned}$$

სადაც E ერთეული დიაგონალური მატრიცაა. უკანასკნელი ტოლობის ორივე მხარის – 1-ზე გამრავლებით მივიღებთ

$$\left\{ [-\lambda E + (E - L_m^* B_\omega^0 L_m \Pi)] L_m^* B_\omega P \right\} \varepsilon = 0$$

ანუ

$$(C - \lambda E) \varepsilon = 0, \quad (3)$$

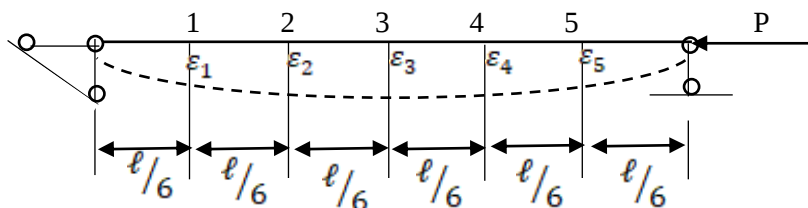
სადაც

$$C = (E - L_m^* B_\omega^0 L_m \Pi) L_m^* B_\omega P; \quad \lambda = \frac{1}{\beta}. \quad (4)$$

(3) სისტემის არანულოვანი ამონახსნი შესაძლებელია, როცა დეტერმინანტი

$$|C - \lambda E| = 0 \quad (5)$$

C მატრიცის გამოთვლისას ხელსაყრელია L_m^* , P და B_ω მატრიცების ზოგიერთი მუდმივი მამრავლი გავიტანოთ მატრიცებიდან. მაშინ გვექნება $\lambda = \frac{\alpha}{\beta}$, სადაც α – რიცხვი, რომელიც მიიღება სამ გადასამრავლებელ მატრიცასთან არსებული მუდმივი მამრავლების გადამრავლების შედეგად.



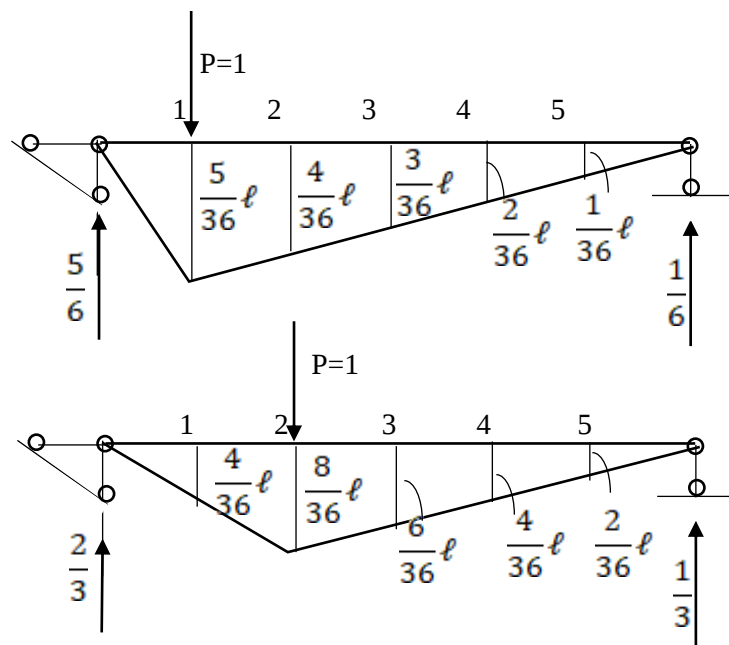
ნახ.1. მუდმივი მართობი კვეთის ღეროს საანგარიშო სქემა

მოდელის სახით განვიხილოთ ბოლოებით სახსრულად დაყრდნობილი მუდმივი მართობირ კვეთის ღერო და განვსაზღვროთ კრიტიკული ძალა, რომელიც მოქმედებს მასზე ღერძული მიმართულებით. ღეროზე ავიდოთ ხუთი წერტილი (ნახ.1).

განხილულ შემთხვევაში $S_i = l/6 (i=1, 2, \dots, 5)$, ვინაიდან ღერო დაყოფილია ექვს ტოლ ნაწილებად. ფიქტიური ძელი მოცემული დაყრდნობის შემთხვევაში ემთხვევა საწყის ძელს [2]. L_m^* მატრიცას აქვს სახე

$$L_m^* = \frac{l}{36} \begin{bmatrix} 5 & 4 & 3 & 2 & 1 \\ 4 & 8 & 6 & 4 & 2 \\ 3 & 6 & 9 & 6 & 3 \\ 2 & 4 & 6 & 8 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{bmatrix}$$

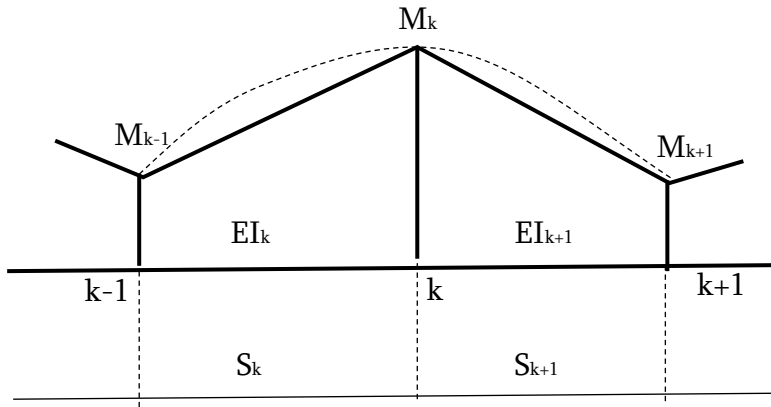
აქ პირველი სვეტის სიდიდეების მნიშვნელობები განსაზღვრულია 1 წერტილში მოდებული ერთეულოვანი ძალით გამოწვეული ეპიურის აგების გზით. პირველი სვეტის ელემენტები წარმოადგენს მომენტებს 1, 2, ..., 5 წერტილებში შესაბამისად [ნახ. 2, ა]. მეორე სვეტისთვის გვაქვს ნახ.2, ბ.



ნახ. 2. 1 და 2 წერტილებში მოდებული ერთეულოვანი ძალების ეპიურები

ანალოგიური სახით 3, 4 და 5 წერტილებში $P=1$ ძალის მოდებით. მიიღებინ დანარჩენი სვეტების რიცხვითი მნიშვნელობები.

მდგრადობის ამოცანების ამოხსნისას M_p ეპიურის ორდინატები, ასევე ეპიურების მოხაზულობები უცნობია, ამიტომ უცნობ ეპიურას ცვლიან რომელიმე ცნობილი მრუდით. ყველაზე უფრო მარტივად ითვლება მოხაზულობის შეცვლა ტეხილი ხაზით. უფრო ზუსტი შედეგი მიიღება, თუ ტეხილის ნაცვლად მივიღებთ მრუდხაზოვან მოხაზულობას. ერთ-ერთი მარტივი ხერხი მდგომარეობს M_p ეპიურის შეცვლაში კვადრატული პარაბოლების სისტემით, რომლებიც გადიან ყოველი სამი წერტილის შემდეგ, ისე, როგორც ნაჩვენებია წყვეტილით ნახ. 3-ზე.



ნახ.3. M_p მომენტის მოხაზულობა

ზემოთ მოყვანილ B_ω მატრიცას აქვს სამდიაგონალიანი სტრუქტურა. იმ შემთხვევაში, როცა ღეროს ყველა დაყოფილი ნაწილის სიგრძე ტოლია, ე.ი. $S_k = S_{k+1} = S_0 = const$, გვექნება

$$\beta_{k(k-1)} = \frac{3}{4}\rho_k - \frac{1}{4}\rho_{k+1},$$

$$\beta_{kk} = \frac{5}{2}(\rho_k + \rho_{k+1}),$$

$$\beta_{k(k+1)} = -\frac{1}{4}\rho_k + \frac{3}{4}\rho_{k+1}$$

იმის გათვალისწინებით, რომ $\rho=1$, დრეკადი ტვირთების მატრიცას ექნება სახე განხილულ შემთხვევაში საყრდენი რეაქციები არ იწვევენ მომენტებს l არეში ($L_m = 0$). ამასთან

$$P = \begin{bmatrix} P & 0 & 0 \\ 0 & P & 0 \\ 0 & 0 & P \end{bmatrix}$$

აქედან გამომდინარე, (4) გამოსახულების თანახმად გვექნება ($S_0 = \frac{l}{16}$):

$$C = L_m^* B_\omega P = \frac{l}{36} \begin{bmatrix} 5 & 4 & 3 & 2 & 1 \\ 4 & 8 & 6 & 4 & 2 \\ 3 & 6 & 9 & 5 & 3 \\ 2 & 4 & 6 & 8 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{bmatrix} \frac{5S_0}{6EI_0} \begin{bmatrix} 1 & 0,1 & & & \\ 0,1 & 1 & 0,1 & & \\ & 0,1 & 1 & 0,1 & \\ & & \cdot & \cdot & \cdot \\ & & & \cdot & \cdot & \cdot \\ & & & & 0,1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P & 0 & 0 \\ 0 & P & 0 \\ 0 & 0 & P \end{bmatrix} =$$

$$= \frac{5Pl^2}{36^2 EI} \begin{bmatrix} 5 & 4 & 3 & 2 & 1 \\ 4 & 8 & 6 & 4 & 2 \\ 3 & 6 & 9 & 5 & 3 \\ 2 & 4 & 6 & 8 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0,1 & & & \\ 0,1 & 1 & 0,1 & & \\ & 0,1 & 1 & 0,1 & \\ & & \cdot & \cdot & \cdot \\ & & & \cdot & \cdot & \cdot \\ & & & & 0,1 & 1 \end{bmatrix}$$

შემდგომი ალგებრული ოპერაციები მატრიცებზე მიმდინარეობს Mathcad-ში კომპიუტერული პროგრამის წესების მიხედვით. ამასთან გვექნება:

$$A := \begin{bmatrix} 5 & 4 & 3 & 2 & 1 \\ 4 & 8 & 6 & 4 & 2 \\ 3 & 6 & 9 & 5 & 3 \\ 2 & 4 & 6 & 8 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{bmatrix} \quad B := \begin{bmatrix} 1 & 0,1 & & & \\ 0,1 & 1 & 0,1 & & \\ & 0,1 & 1 & 0,1 & \\ & & & \ddots & \\ & & & & \ddots & \\ & & & & & 0,1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$c := \begin{bmatrix} 5 \cdot 4 & 4 \cdot 8 & 3 \cdot 6 & 2 \cdot 4 & 1 \cdot 2 \\ 4 \cdot 8 & 9 & 7 \cdot 2 & 4 \cdot 8 & 2 \cdot 4 \\ 3 \cdot 6 & 7 \cdot 2 & 10 \cdot 2 & 7 \cdot 2 & 3 \cdot 6 \\ 2 \cdot 4 & 4 \cdot 8 & 7 \cdot 2 & 9 & 4 \cdot 8 \\ 1 \cdot 2 & 2 \cdot 4 & 3 \cdot 6 & 4 \cdot 8 & 5 \cdot 4 \end{bmatrix}$$

$$C := \frac{5Pl^2}{36^2 EI} \cdot c \quad (6)$$

(5) მდგრადობის განტოლების ამოსახსნელად, ე.ი. c მატრიცის λ საკუთარი მნიშვნელობების საპოვნელად Mathcad-ში ჩაშენებულია რამდენიმე ფუნქცია, რომლებიც რეალიზაციას უკეთებენ საკმაოდ რთულ გამოთვლით ალგორითმებს. ვისარგებლოთ ერთი მათგანით – $\text{eigenvals}(c)$, რომელიც ანგარიშობს ვექტორს, რომლის ელემენტებს წარმოადგენს c მატრიცის საკუთარი მნიშვნელობები.

აღვნიშნოთ

$$\lambda = \frac{1}{\frac{5Pl^2}{36^2 EI}} \rightarrow \lambda = \frac{1296 \cdot E \cdot I}{5 \cdot P \cdot l^2} \quad (7)$$

მახასიათებელი განტოლება იქნება $|C - \lambda \cdot E| = 0$

$$\text{eigenvals}(c) = \begin{bmatrix} 1.329 \\ 1.8 \\ 3 \\ 6.6 \\ 26.271 \end{bmatrix} \quad \lambda_{\max} := 26.271$$

ამოვხსნათ სიმბოლურად (7) ალგებრული განტოლება P -ს მიმართ:

$$\lambda = \frac{1296 \cdot E \cdot I}{5 \cdot P \cdot l^2} \text{ Solve, } P \rightarrow \frac{1296 \cdot E \cdot I}{5 \cdot \lambda \cdot l^2}$$

კრიტიკული ძალა

$$P_{kr}(E, I, l) := \frac{1296 \cdot E \cdot I}{5 \cdot \lambda_{\max}} \quad P_{kr}(E, I, l) \rightarrow \frac{9.867 \cdot E \cdot I}{l^2}$$

რაც ზუსტი $P_{kr} = \pi^2 EI / l^2$ ამონახსნისაგან განსხვავდება 0,03%-ით.

ლიტერატურა

1. Н.И. Безухов, О.В. Лужин, Н.В. Колкунов. Устойчивость и динамика сооружений. -Москва, Высшая школа, 1987, 264 с
2. А.Ф. Смирнов, А.В. Александров, Б.Я. Лашеников, Н.Н. Шапошников. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений. -Москва, Стройиздат, 1984, 415 с.
3. Дмитрий Кирьянов. Mathcad 15/Mathcad Prime 1.0. Санкт-Петербург. 2012.

SUMMARY

ON THE ISSUE OF DETERMINING THE CRITICAL FORCES BY A GRAPH-ANALYTICAL METHOD BASED ON MATHCAD

Bandzeladze B.R.

Akaki Tsereteli State University

The issue of stability of elastic rod systems is considered using the example of a rod hinged at the ends. The calculation of the critical force is carried out using the graph-analytical method in matrix form. The efficiency of using computer programs to solve such problems is demonstrated on the basis of the Mathcad application program. It has been established that the value of the critical force differs from the exact solution by 0.3 %.

Keywords: elastic rod, MATHCAD, stability, critical force.

კონტროლირებადი სისტემის საიმედოობის საკითხი

ნამჩევადე ც.ვ.

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი

რთულ თანამედროვე ტექნიკურ სისტემებში (მაგ. კომპიუტერში და სხვა) კონტროლი სისტემის გამართულობაზე ხორციელდება როგორც უწყვეტად მისი ფუნქციონირების პროცესში (აპარატურული ან პროგრამული კონტროლი), ასევე პერიოდულად – დროის განსაზღვრული ინტერვალის შემდეგ. კომპიუტერზე უწყვეტი კონტროლით მოწმდება გამოთვლების სისწორე და თუ აღმოჩნდება გაუმართაობა (აღმოჩენადი მტყუნება-მტყუნების პირველი სახე), მაშინ კომპიუტერი გადაეცემა აღდგენაზე. რის შემდეგაც მისი მუშაობა აღდგება და ხელახლა სრულდება პროგრამის განსაზღვრული ნაწილი.

რიგი მიზეზების გამო უწყვეტი კონტროლი ყველა შეცდომას ვერ აღმოაჩენს, ამიტომ იგი არ წარმოადგენს აბსოლუტურად სარწმუნოს. აღნიშნულის გამო კონტროლირებად სისტემებში შეიძლება წარმოიშვას არააღმოჩენადი მტყუნებები (მტყუნების მეორე სახე). პერიოდული კონტროლით აღმოჩნდება ის მტყუნებები, რომლებიც არ აღმოჩნდა უწყვეტი კონტროლით. კომპიუტერი გააგრძელებს გამოთვლას მანამ, სანამ არ წარმოიშობა აღმოჩენადი მტყუნება ან არ დადგება პერიოდული კონტროლის დრო. როგორც პირველ, ასევე მეორე შემთხვევაში იგი შემოწმდება, დადგინდება მტყუნების სახე (თუ ამას ადგილი აქვს), გადაეცემა აღდგენაზე. რის შემდეგაც კომპიუტერის მუშაობა აღდგება და მოხდება პროგრამის არასწორი ნაწილის გაშვება.

ზემოთ აღნიშნულთან დაკავშირებით მნიშვნელოვანია გამოვიკვლიოთ კონტროლირებად სისტემაზე უწყვეტი კონტროლის მახასიათებლების, პერიოდული კონტროლის ხანგრძლივობის და მისი პერიოდულობის გავლენა. ქვემოთ განვიხილავთ სისტემას რაიმე არსებითი გამარტივების გარეშე. იგი წარმოადგენს ხანგრძლივი მოქმედების აღდგენად სისტემას, რომელიც გამოიყენება უწყვეტ რეჟიმში.

დავუშვათ სისტემაში მუშა რეჟიმში წარმოიშობა მტყუნებები α ინტენსივობით-აღმოჩენადი და β ინტენსივობით – არააღმოჩენადი უწყვეტი კონტროლით. მტყუნებები არის პუასონის კანონით განაწილებულები. სარწმუნო კონტროლის ხანგრძლივობა – $Q(x)$, მეზობელ შემოწმებებს შორის ინტერვალი – $\Gamma(x)$, აღდგენის დრო – $G(x)$ არის შემთხვევითი სიდიდეები ზოგადი კანონით განაწილებულები. სისტემა თავდაპირველად გამართულია. აღდგენის პროცესში მტყუნებები არ წარმოიშობა და საიმედო კონტროლი არ წარმოებს.

დროის ნებისმიერ მომენტში განხილული სისტემა შეიძლება იყოს ხუთიდან ერთ-ერთ მდგომარეობაში: s_0 – სისტემა გამართულია; s_1 – სისტემა არ არის გამართული, მაგრამ მტყუნება არ არის აღმოჩენილი; s_2 – სისტემა გამართულია და მიმდინარეობს სარწმუნო კონტროლი; s_3 – სისტემა არ არის გამართული და მიმდინარეობს სარწმუნო კონტროლი, მაგრამ მტყუნება ჯერ კიდევ არ არის აღმოჩენილი; s_4 – სისტემა არის აღდგენის პროცესში. შემოვიტანოთ აღნიშვნები:

$p_i(t)$ – ალბათობა იმისა, რომ t მომენტში სისტემა იმყოფება s_i მდგომარეობაში, $i = \overline{0,4}$; $p_i(t, x)dx$ – ორი მოვლენის ერთდროულად გამოვლენის ალბათობა: t მომენტში სისტემა იმყოფება s_i მდგომარეობაში და დრო, რომლის განმავლობაშიც სისტემა იმყოფება s_i მდგომარეობაში მოთავსებულია შუალედში $(x, x + dx)$.

$\mu(x) = G'(x)/(1 - G(x))$, $q(x) = Q'(x)/(1 - Q(x))$, $\gamma(x) = \Gamma'(x)/(1 - \Gamma(x))$ – აღდგენის, სარწმუნო კონტროლის და მეზობელი სარწმუნო კონტროლების ინტერვალის ინტენსივობები.

ცხადია, რომ:

$$p_i(t) = \int_0^t p_i(t, x) dx, \quad i = \overline{0, 4}; \quad \sum_{i=0}^4 p_i(t) = 1 \quad (1)$$

განაწილების შესაბამის ფუნქციას აქვს სახე: $F_i(t, x) = \int_0^x p_i(t, u) du$.

სრული ალბათობის ფორმულის საშუალებით შეიძლება ჩავწეროთ სხვაობითი დამოკიდებულებები სისტემის მდგომარეობების ალბათობებისათვის $(t, t + \Delta t)$ ინტერვალში. მაგალითისათვის განვიხილოთ დამოკიდებულებები შემდეგი ალბათობებისათვის: $p_0(t, x)$ და $p_1(t, x)$:

$$p_0(t + \Delta t, x + \Delta t) = p_0(t, x)[1 - (\lambda + y(x))\Delta t] + \Delta t \quad (2)$$

$$p_1(t + \Delta t, x + \Delta t) = p_1(t, x)[1 - (\alpha + y(x))\Delta t] + p_0(t, x)\beta\Delta t + \Delta t \quad (3)$$

სადაც $\lambda = \alpha + \beta$.

ავხსნათ (3) დამოკიდებულება. იმისათვის, რომ $t + \Delta t$ მომენტში სისტემა იმყოფებოდეს S_1 მდგომარეობაში $p_1(t + \Delta t, x + \Delta t)dx$ ალბათობით აუცილებელია, რომ t მომენტში ის იმყოფებოდეს იგივე S_1 მდგომარეობაში $p_1(t, x)$ ალბათობით, Δt დროში არ უნდა მომხდარიყო აღმოჩენადი მტყუნება და არ უნდა დაწყებულიყო სარწმუნო შემოწმება, ან სისტემა t მომენტში იმყოფებოდეს S_0 მდგომარეობაში $p_0(t, x)dx$ ალბათობით და Δt დროში არ უნდა მომხდარიყო არააღმოჩენადი მტყუნება [1–3].

გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ:

$$\partial p_0(t, x)/\partial t + \partial p_0(t, x)/\partial x = -[\lambda + y(x)]p_0(t, x) \quad (4)$$

$$\partial p_1(t, x)/\partial t + \partial p_1(t, x)/\partial x = -[\alpha + y(x)]p_1(t, x) + \beta p_0(t, x) \quad (5)$$

$$\partial p_2(t, x)/\partial t + \partial p_2(t, x)/\partial x = -[\lambda_1 + q(x)]p_2(t, x) \quad (6)$$

$$\partial p_3(t, x)/\partial t + \partial p_3(t, x)/\partial x = -q(x)p_3(t, x) + \lambda_1 p_2(t, x) \quad (7)$$

$$\partial p_4(t, x)/\partial t + \partial p_4(t, x)/\partial x = -\mu(x)p_4(t, x) \quad (8)$$

სასაზღვრო პირობებს იმის გათვალისწინებით, რომ საწყის მომენტში სისტემა იმყოფება S_0 ($p_0(0) = 1$) მდგომარეობაში, აქვს სახე:

$$p_0(t, 0) = \int_0^t p_2(t, x)q(x)dx + \int_0^t p_4(t, x)\mu(x)dx + \delta(t) \quad (9)$$

$$p_1(t, 0) = 0, \quad p_2(t, 0) = \int_0^t p_0(t, x)y(x)dx \quad (10)$$

$$p_3(t, 0) = \int_0^t p_1(t, x)y(x)dx \quad (11)$$

$$p_4(t, 0) = \int_0^t [\alpha p_0(t, x) + \alpha p_1(t, x) + p_3(t, x)q(x)]dx \quad (12)$$

$$\delta(t) = \begin{cases} 0, & \text{როცა } t \neq 0 \\ \infty, & \text{როცა } t = 0 \end{cases} \quad \int_0^\infty \delta(t)dt = 1;$$

$\delta(t)$ არის იმპულსური ფუნქცია [4,5].

ალბათობები ლაპლას-სტილტესის გარდაქმნის სახით წარმოდგება შემდეგნაირად:

$$\bar{p}_0(s) = [1 - \bar{y}(s + \lambda)] \bar{W}_1(s + \lambda) / (s + \lambda),$$

$$\bar{p}_1(s) = [1 - \bar{y}(s + \alpha)] \bar{W}_1(s + \lambda) / (s + \alpha) - \bar{p}_0(s),$$

$$\bar{p}_2(s) = [1 - \bar{q}(s + \lambda_1)] \bar{y}(s + \lambda) \bar{W}_1(s + \lambda) / (s + \lambda_1),$$

$$\bar{p}_3(s) = [[1 - \bar{q}(s)] \bar{y}(s + \alpha) / s] \bar{W}_1(s + \lambda) - \bar{p}_2(s),$$

$$\bar{p}_4(s) = [1 - \bar{g}(s)] [[1 - \bar{q}(s + \lambda_1)] \bar{y}(s + \lambda_1)] \cdot \bar{W}_1(s + \lambda) - 1] / s \bar{g}(s),$$

$$\text{სადაც } p_i(s) = \int_0^{\infty} p_i(t) \exp(-st) dt.$$

$$\text{გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ: } \sum_{i=0}^4 \bar{p}_i(s) = 1/s$$

ვიპოვეთ ძირითადი აღბათური მახასიათებლების (უწყვეტი კონტროლის მახასიათებლები, პერიოდული კონტროლის ხანგრძლივობა და მისი პერიოდულობა) როგორც სტაციონალური, ასევე არასტაციონალური მნიშვნელობები უწყვეტი და პერიოდულად კონტროლირებადი აღდგენითი სისტემისათვის. ლიტერატურაში ცნობილი შედეგებისაგან განსხვავებით, ისინი მიღებულია სისტემის რაიმე არსებითი გამარტივებისა და საწყისი შემთხვევითი სიდიდეების განაწილების კანონებზე რაიმე სახის შეზღუდვის გარეშე. შედეგები საკმაოდ მარტივია და გამოსადეგია პრაქტიკაში უშუალოდ გამოყენებისათვის.

ლიტერატურა

1. Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиотехники и автоматики. -М., Советское радио, 1975, 472 с.
2. Микадзе И.С., Арабули Н.В., Эдиаური Л.Ш. Компьютер с аппаратным контролем в конце передачи пакета. //Georgian Engineering News, 2005, №2, pp.104-106.
3. Микадзе И.С., Хочолава В.В. Об одной модели системы массового обслуживания. / Труды ТГУ, 2002, 7(446), сс. 205-207.
4. Микадзе И.С., Хочолава В.В. Система массового обслуживания с резервированием. //Georgian Engineering News, N4, 2002. сс. 38-41.
5. ნამჩევაძე ც. ვ. დისერტაცია: "მასობრივი მომსახურების გამოთვლითი სისტემების ანალიზი მათი საიმედოობის გათვალისწინებით"; 2008.

SUMMARY

ON THE RELIABILITY OF THE MONITORED SYSTEM

Namchevadze Ts.V.

Akaki Tsereteli State University, Kutaisi

Both stationary and nonstationary values of basic probabilistic characteristics of a continuously or periodically monitored restorable system are determined with the monitoring period and duration and the restoration, arbitrarily distributed quantities. The failure flows, detected and undetected by continuous monitoring, are assumed to be Poisson.

Keywords: reliability, monitored system, failure, restorable system.

საინვესტიციო პროექტის რენტაბელობის ანალიზი და რენტაბელობის
ზღვარის დადგენის მათემატიკური მეთოდი

გასიტაშვილი ზ.ა., გორგიძე დ.ა., ხუციშვილი ს.ა., ხართიშვილი მ.პ., მუსერიძე რ.რ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

შესავალი. კომპანიაში მიმდინარე სამეწარმეო საქმიანობის წარმართვისას, მეწარმემ უნდა იცოდეს მისი სარეალიზაციო საინვესტიციო პროექტის (ების) ფინანსური მდგომარეობა და შეძლოს შესაბამისი მიმართულების ანალიზი. ხშირად საჭირო ინფორმაცია გარკვეულ დაშვებებს ეფუძვნება და არა სანდო გამოთვლებს ან შესაბამის ანალიზს. ხშირად მეწარმეები ეყრდნობიან საკუთარ ინტუიციას, აჟღერებენ სხვადასხვა ვარაუდს და აკეთებენ ზედაპირულ დაშვებებს, ყველა ანალიზი ტარდება მხოლოდ კომპანიაში არსებული ნაღდი ფულის მიმოქცევის საფუძველზე. იშვიათად ხდება, წარმოებისა და გაყიდვების კრიტიკული მოცულობის ანალიზი, ანუ რენტაბელობის ზღვარის (იგივეა რაც წაუგებლობის წერტილი, ან ნულოვანი მოგების წერტილი) დადგენა. ამიტომ ასეთი მიდგომის შედეგად მიღებული მონაცემები ხშირად არ არის სანდო.

წაუგებლობის წერტილი ფინანსური ანალიზის ერთ-ერთი უფრო ხშირად გამოყენებადი ცნებაა, რომელიც არ არის შემოსაზღვრული მხოლოდ ეკონომისტებთან დაკავშირებული პრობლემატიკით. მისი გამოყენება და შესაბამისი გამოთვლები მოეთხოვებათ მეწარმეებს, პროექტების ინიციატორებს, ინვესტორებს და იმ პირებს, რომლებიც პასუხისმგებელი არიან გადაწყვეტილებების მიღებაზე.

სტატიის მიზანია განვსაზღვროთ წაუგებლობის წერტილის არსი და მისი გამოთვლის მათემატიკური მეთოდი.

ძირითადი ნაწილი. კომპეტენტური მმართველი გადაწყვეტილებების მიღების ერთ-ერთი ინსტრუმენტი, როდესაც მნიშვნელოვანია ჩამოგვიყალიბდეს სამეწარმეო საქმიანობის ზოგადი ხედვა, წარმოადგენს ფირმების, კომპანიების და განსახორციელებელი საინვესტიციო პროექტების რენტაბელობის (წაუგებლობის) ანალიზი, რომელსაც ასევე ეწოდება (CVP - ანალიზი ინგლისური ტერმინიდან Cost-Volume-Profit ", ანუ დანახარჯების, რეალიზაციის მოცულობის და მოგების ერთობლივი ანალიზი). ასეთი ფორმით ხდება სამეწარმეო საქმიანობის ფინანსური შედეგების, ხარჯებსა და წარმოების (გაყიდვების) მოცულობებზე დამოკიდებულების თვალყურის დევნება.

ასეთი ანალიზის ფარგლებში, მმართველობითი გადაწყვეტილებების მიღების მნიშვნელოვანი ინდიკატორია წაუგებლობის წერტილი (break-event point) . (ასევე გვხვდება სხვა სახელწოდებებიც: „ნულოვანი მოგების წერტილი“, „წონასწორობის წერტილი“, „კრიტიკული მოცულობის წერტილი“, „რენტაბელობის ზღვარი“).

საინვესტიციო პროექტის წაუგებლობის ანალიზი, წარმოადგენს პროექტების ეფექტურობის შეფასების მნიშვნელოვან შემადგენელს. ის არის ფინანსური მართვის ინსტრუმენტი, რომელიც ეხმარება კომპანიებს განსაზღვრონ ის წერტილი, როდესაც მათი მთლიანი შემოსავალი უტოლდება მათ მთლიან დანახარჯებს, ანუ არ არის არც მოგება და არც ზარალი. მნიშვნელოვანია ინვესტორს ჰქონდეს ინფორმაცია იმის შესახებ, თუ წარმოების პროცესი რა მომენტიდან იქნება რენტაბელური და რა რაოდენობის პროდუქციის წარმოებაა ამისათვის საჭირო. ასეთი ანალიზი იძლევა მნიშვნელოვან ინფორმაციას საინვესტიციო პროექტის ფინანსური მდგრადობის შესახებ და ეხმარება საჭირო გადაწყვეტილებების მიღებას.

წაუგებლობის ანალიზი შეიძლება სხვადასხვა დანიშნულებით განიხილებოდეს, კერძოდ, როგორც: დანახარჯების განსაზღვრის და მართვის ინსტრუმენტი, ფასწარმოქმნის სტრატეგიის დამუშავების ინსტრუმენტი ან რენტაბელობის პროგნოზირების ინსტრუმენტი. განვიხილოთ თითოეული მიმართულება უფრო დეტალურად:

1. დანახარჯების მართვის პერსპექტივა: წაუგებლობის ანალიზი საშუალებას აძლევს კომპანიებს შეაფასონ სხვადასხვა დანახარჯების გავლენა მათ მომგებიანობაზე. იგულისხმება დანახარჯების დაჯგუფების შესაძლებლობა - წარმოების ფიქსირებულ (მათ ასევე უწოდებენ პირობითად ფიქსირებულს) და ცვლად დანახარჯებად.

ფიქსირებული დანახარჯები ისეთი დანახარჯებია, რომლებიც უცვლელი რჩება წარმოების მოცულობის ცვლილების მიუხედავად, ხოლო ცვლადი დანახარჯები იცვლება წარმოების მოცულობის ცვლილების შესაბამისად. ჩვენ პირობითად ვუშვებთ, რომ ასეთი დამოკიდებულებას აქვს პირდაპირ პროპორციული ხასიათი. დანახარჯების დადგენა კომპანიებს საშუალებას აძლევს განსაზღვრონ გაყიდვების მინიმალური ღონე, რომელიც საჭიროა ყველა ხარჯის დასაფარად და წაუგებლობის წერტილის მისაღწევად.

2. ფასების სტრატეგიის პერსპექტივა: წაუგებლობის ანალიზი ეხმარება კომპანიებს ჩამოაყალიბონ ოპტიმალური ფასწარმოქმნის სტრატეგიები. წაუგებლობის წერტილის ცოდნა, კომპანიას ეხმარება გამოთვალოს მინიმალური ფასი, რომლითაც პროდუქტი ან მომსახურება უნდა გაიყიდოს, რათა დაიფაროს დანახარჯები და თავიდან იქნას აცილებული დანაკარგები. გარდა ამისა, შესაძლებელია გაანალიზდეს ფასების ცვლილების გავლენა მომგებიანობაზე და მიღებული იქნას გადაწყვეტილებები ფასწარმოქმნაზე.

3. პროგნოზირების პერსპექტივა: წაუგებლობის ანალიზი გვეხმარება მომავალი გაყიდვებისა და მომგებიანობის პროგნოზირებაში. არსებული მონაცემებისა და საბაზრო ტენდენციების გაანალიზებით, ბიზნესს შეუძლია განსაზღვროს წაუგებლობის წერტილი, იგივე რენტაბელობის ზღვარი, საქმიანობის სხვადასხვა სცენარისათვის. ეს ინფორმაცია საშუალებას აძლევს კომპანიას შეაფასოს საინვესტიციო პროექტების ფინანსური მიზანშეწონილობა და მიიღოს სტრატეგიული გადაწყვეტილებები, გაყიდვების სავარაუდო მოცულობების და ხარჯების საფუძველზე.

აღნიშნული შესაძლებლობების პირობებში, წაუგებლობის ანალიზის ჩატარებით, შესაძლებელი ხდება გადაიჭრას მთელი რიგი ამოცანები, მაგალითად: ვიპოვოთ წერტილი, რომელიც შემდგომში გახდება კომპანიის ნულოვანი მოგების წერტილი(რენტაბელობის ზღვარი); დაადგინდეს, ამ წერტილის მისაღწევად, მზა პროდუქციის რა რაოდენობა უნდა იყოს წარმოებული სარეალიზაციოდ; რა ფასი უნდა დაწესდეს საქონელსა და მომსახურებაზე, რათა გაიზარდოს მოთხოვნა და მივიღოთ სასურველი შემოსავალი; წარმოების როგორი ტექნოლოგია უნდა შეირჩეს ეფექტურობის დონის ასამაღლებლად; შესაძლებელი ხდება ოპტიმალური საწარმოო გეგმის ფორმირება და ა.შ. ამრიგად, ორგანიზაციაში წაუგებლობის ანალიზი მიიჩნევა, საქონელსა და მომსახურებაზე მოთხოვნის შესწავლის ერთ-ერთ ვარიანტად, ქვეყანაში არსებული ეკონომიკური ვითარების პირობებში.

პრაქტიკაში წაუგებლობის წერტილის პოვნის რამდენიმე მეთოდი არსებობს, მაგრამ ყველაზე პოპულარული სამია: მათემატიკური, მთლიანი მოგების და გრაფიკული მეთოდები. მათემატიკური მეთოდი ნიშნავს, კომპანიის წაუგებლობის წერტილის დადგენას მათემატიკური გამოსახულებების საშუალებით. ანუ გაყიდვების იმ მოცულობის გამოთვლას რომლის დროსაც შემოსავლები და დანახარჯები ერთმანეთს უტოლდება.

მოგების საპოვნელად სხვადასხვა ფორმულა გამოიყენება, მაგრამ მათ შორის შეიძლება გამოვყოთ ერთი, რომელიც ამჟამად ყველაზე მიღებულია. ის შემდგენილია მოგების სიდიდის დასადგენად საანგარიშო პერიოდში, ორგანიზაციის მთლიან შემოსავლებს აკლდება სრული დანახარჯები, რომელიც მოიცავს მუდმივ და ცვლად დანახარჯებს, ანუ, თუ X -ით აღვნიშნავთ წარმოებული პროდუქციის სიდიდეს, მაშინ მოგება

$$P(X) = R(X) - C(X) \quad (1)$$

სადაც, მთლიანი (სრული) დანახარჯები არის პროდუქციის X – სიდიდის წრფივი ფუნქცია

$$C(X) = K_c * X + FC \quad (2)$$

აქ K_c – წარმოებულ ერთეულზე გაწეული ცვლადი დანახარჯებია. FC – მუდმივი დანახარჯებია.

შემოსავალი

$$R(X) = K_R * X \quad (3)$$

ასევე არის პროდუქციის X – სიდიდის წრფივი ფუნქცია. აქ K_R – ერთეულის გასაყიდი ფასია.

თუ (2)-ს და (3)-ს შევიტანთ (1)-ში მივიღებთ

$$P(X) = K_R * X - (K_c * X + FC) = K_R * X - K_c * X - FC = (K_R - K_c) * X - FC$$

აქედან,

$$P(X) = (K_R - K_c) * X - FC \quad (4)$$

(4) წარმოადგენს მოგების წრფივ მოდელს. ეკონომიკის პრინციპებიდან გამომდინარე $(K_R - K_c)$ უნდა იყოს დადებითი სიდიდე, ამიტომ შესაბამის გრაფიკს აქვს აღმავალი სახე (არის ზრდადი ფუნქცია). იხ. სქემა 1.

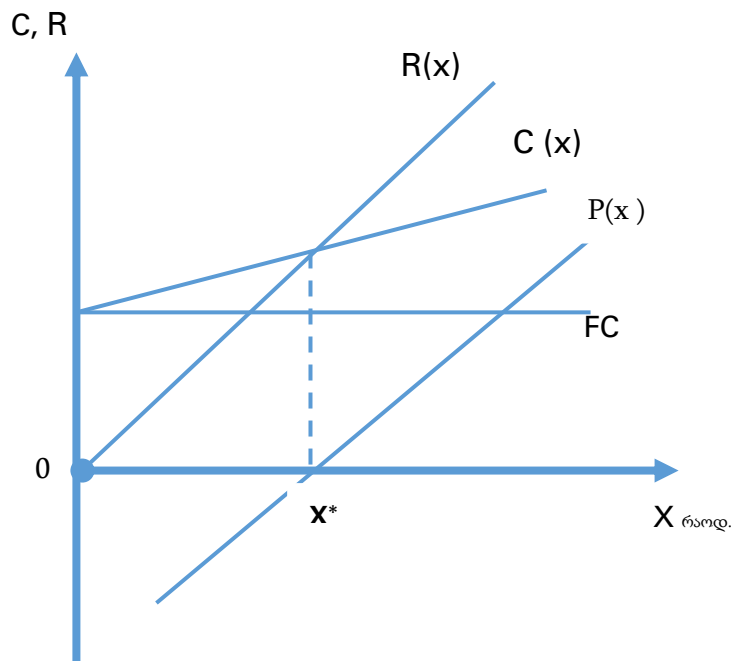
ნულოვანი მოგების წერტილის ზოგადი მეთოდოლოგია არის წარმოებული ერთეულების X^* რაოდენობა, რომელსაც მოაქვთ ნულოვანი მოგება ანუ (4)-ში მოგება $P(X^*) = 0$.

$$(K_R - K_c)X - FC = 0 \quad (5)$$

აქედან, ნულოვანი მოგების წერტილი (X^*) ტოლია :

$$X^* = FC / (K_R - K_c) \quad (6)$$

ნულოვანი მოგების წერტილი (X^*) გამოითვლება, წარმოების მთლიანი ფიქსირებული დანახარჯების გაყოფით, სხვაობაზე-ერთეულის სარეალიზაციო ფასს და პროდუქტის ამ ერთეულის წარმოებაზე გაწეულ ცვლად დანახარჯებს შორის: სქემა



სქემა. წაუგებლობის წერტილის(ნულოვანი მოგების წერტილი) მოძებნის გრაფიკული მეთოდი

გრაფიკული მეთოდი გულისხმობს წაუგებლობის ანალიზის შედეგების ვიზუალურ წარმოდგენას, რომელიც ხშირად კეთდება წაუგებლობის (ნულოვანი მოგების) წერტილის გრაფიკული წარმოდგენის გამოყენებით სქემა. ამ შემთხვევაში საჭირო ხდება მოიძებნოს წერტილი, რომელიც იქნება წაუგებლობის წერტილი, ანუ დააკმაყოფილებს (5) ტოლობას.

დიაგრამაზე წრფივი გრაფიკების სახით ნაჩვენებია, მთლიანი დანახარჯები და მთლიანი შემოსავალი წარმოების ან გაყიდვების სიდიდეზე დამოკიდებულებით. წერტილი, სადაც ეს ორი წრფე იკვეთება, შეესაბამება წაუგებლობის წერტილს, ხოლო მისი შესაბამისი მნიშვნელობა X^* აბსცისთა ღერძე, არის წაუგებლობის (ნულოვანი მოგების) წერტილის მნიშვნელობა. ამის დასტურად მოგების გრაფიკი აბსცისთა ღერძს კვეთს ნულოვანი მოგების X^* წერტილში. შეიძლება ითქვას, რომ წაუგებლობის ანალიზის გრაფიკული წარმოდგენა ნათელ სურათს იძლევა წაუგებლობის წერტილის შესახებ და ეხმარება კომპანიებს ვიზუალურად წარმოაჩინონ სხვადასხვა სცენარის გავლენა მომგებიანობაზე.

წაუგებლობის წერტილის ფორმულა ფულად გამოსახულებაში: ყოველი კომპანიის წარმატების დონე ბაზარზე იზომება მიღებული შემოსავლების სიდიდითა და სტაბილურობით. შემოსავლების ზრდა თითქმის ყოველთვის ნიშნავს წარმოების მოცულობის შესაბამის ზრდას. იმის დასადგენად, თუ პროექტის რეალიზაციის რომელ ეტაპზე მიიღწევა მისი გამოსყიდვა და გამოთვალეთ რამდენის წარმოებაა საჭირო იმისათვის, რომ არ გავკოტრდეთ, უნდა ვიცოდეთ წაუგებლობის წერტილის ფულადი მნიშვნელობის გამოსათვლელი ფორმულა. ასეთი გამოსახულება მისაღებად რენტაბელობის ზღვარის შესაბამისი რაოდენობრივი გამოსაულება უნდა გავამრავლოთ სარეალიზაციო ფასზე, ანუ

$$M_R = K_R * FC / (K_R - K_c) \quad (7)$$

წაუგებლობის წერტილის ფულადი M_R მნიშვნელობა და მისი გამოსათვლელი ფორმულა გვეხმარება განისაზღვროს მთელი საინვესტიციო პროექტების რეალიზების მიზანშეწონილობა და საჭირო სვლების თანმიმდევრობა. მაგალითად, თუ წინასწარი გამოთვლების დროს წაუგებლობის წერტილი ვერ მიიღწევა, ალბათ აზრი არ აქვს ინვესტირებას სავარაუდოდ წამგებიან პროექტებში.

წაუგებლობის წერტილის გამოთვლაში სირთულები. ერთი შეხედვით წაუგებლობის წერტილის გამოთვლა მარტივი ჩანს და გამოთვლაში სირთულებს არ უნდა ველოდოთ. მაგრამ საქმეს ართულებს ის ფაქტი, რომ ფორმულის გამოყვანისას რამდენიმე მნიშვნელოვანი დაშვებაა გასათვალისწინებელი. მათ შორის მნიშვნელოვანია:

1. გაანგარიშების ფორმულაში ფიგურირებს სხვაობა შემოსავალს (გაყიდვების მოცულობას) და ცვლად დანახარჯებს შორის ანუ სხვაობა პროდუქტის ერთეულის გასაყიდ ფასსა და ერთეულის წარმოებაზე ან შეძენაზე გაწეულ დანახარჯებს შორის. აქედან გამომდინარე, ვუშვებთ, რომ ყველა წარმოებული ან შეძენილი პროდუქტი იყიდება. გაუყიდავი პროდუქტები (საქონელი) არ არის გათვალისწინებული, რადგან მათი გაყიდვიდან შემოსავალი ცხადია ვერ იქნება მიღებული.

2. ცვლადი დანახარჯები პირდაპირპროპორციულია (წრფივი) გაყიდვების მოცულობის. ეს ყოველთვის ასე არ ხდება. მაგალითად, იმ შემთხვევაში, როდესაც წარმოების მოცულობის გასაზრდელად საჭირო გახდა ახალი ობიექტის აშენება, ან სამშენებლო კომპანიაში მიმდინარეობს ორი ან მეტი სხვადასხვა სირთულის პროექტის რეალიზება, გამოთვლები უფრო რთულდება.

3. ფიქსირებული დანახარჯები არ არის დამოკიდებული გაყიდვების მოცულობაზე. თუმცა ესეც ყოველთვის ასე არ არის. თუ წარმოების მოცულობის გასაზრდელად საჭირო გახდა ახალი ობიექტის აშენება, მართვის რგოლში პერსონალის დაქირავება, კომუნალური გადასახადების გაზრდა, ან თანამედროვე ციფრული ტექნოლოგიების დანერგვა თუ გამოიწვია მმართველი პერსონალის შემცირება- ასეთი შემთხვევები ასევე არ ესადაგება წარმოდგენილ ფორმულას.

4. წაუგებლობის წერტილი გამოითვლება მთლიანად კომპანიისათვის ან მიღებული იქნას მიმდინარე პროექტების გასაშუალებელი მნიშვნელობა.

წაუგებლობის წერტილის გამოთვლისას ყველაზე მნიშვნელოვანი შეზღუდვა არის დაშვება 4. იმისათვის, რომ გამოთვლები არ გასაშუალებდეს, და შესრულდეს, თითოეული პროექტისათვის ცალ-ცალკე, საჭიროა ვიცოდეთ ფიქსირებული დანახარჯების რა წილი მოდის თითოეულ პროექტზე. გვჭირდება ცალკეულ პროექტების მიხედვით ფიქსირებული დანახარჯების განაწილების მეთოდიკა. გარდა ამისა, თუ პროექტები ბევრია, თითოეული პროექტისათვის წაუგებლობის წერტილების ცალ-ცალკე გამოთვლა გადაიქცევა რთულ ამოცანად, რომელიც მოითხოვს დიდი რაოდენობით გამოთვლებს.

ამასთან ერთად, რენტაბელობის ზღვარი (წაუგებლობის წერტილი) მნიშვნელოვანია განისაზღვროს არა მხოლოდ ახალი კომპანიებისათვის, არამედ იმ კომპანიებისთვისაც, რომლებიც რამდენიმე წელია საქმიანობენ. ეს უნდა მოხდეს, როგორც ახალი პროექტების დაწყებისას, ასევე ორგანიზაციის შემოსავლებისა და ხარჯების თანაფარდობის შესახებ არსებული მდგომარეობის მონიტორინგისათვის.

დასკვნა. წაუგებლობის ანალიზი არის ძლიერი ინსტრუმენტი, რომელიც საშუალებას აძლევს კომპანიებს განვითარდნენ და შეაფასონ თავიანთი საინვესტიციო პროექტების ფინანსური მდგრადობა, ჩამოაყალიბონ ფასწარმოქმნის ოპტიმალური სტრატეგიები და მიიღონ დასაბუთებული გადაწყვეტილებები პროგნოზირებად გაყიდვებზე. ამით კომპანიას შეუძლია გააუმჯობესოს თავისი ფინანსური მართვის პრაქტიკა და გაზარდოს მომგებიანობა.

თუ ყველაფერი კეთდება შეცდომების გარეშე, მაშინ ჩვენ შეგვიძლია განვსაზღვროთ ძირითადი ფაქტორები, რომლებიც ხელს უწყობენ მიზნების მიღწევას.

ლიტერატურა.

1. ჭილაძე იზოლდა. მმართველობითი აღრიცხვა. სახელმძღვანელო. - თბილისი, მერიდიანი, 2018
<https://www.interbusiness.edu.ge/storage/books/2a9b4ea2ec553c4510e12f7cb56bfff06.pdf>
2. Финансовый менеджмент: теория и практика / под ред. В.С. Стояновой. – М.: Перспектива, 2014, 656 с.
3. Clasification of Manufacturing Costs and Expenses, 2015. [http:// www.microbuspub.com/pdfs/chapter4.pdf](http://www.microbuspub.com/pdfs/chapter4.pdf)
4. [https://buhconsul.ru/ka/calculation-of-profitability of-the-enterprise-financial-analysis-and-investment analysis-of-the-enterprise/](https://buhconsul.ru/ka/calculation-of-profitability-of-the-enterprise-financial-analysis-and-investment-analysis-of-the-enterprise/) ;
5. <https://www.investopedia.com/terms/b/breakevenanalysis.asp>

SUMMARY

PROFITABILITY ANALYSIS OF AN INVESTMENT PROJECT AND A MATHEMATICAL METHOD FOR DETERMINING THE LIMIT OF PROFITABILITY

Gasitashvili Z.A., Gorgidze D.A., Khutsishvili S.A., Khartishvili M.P. and Museridze R.R.

Georgian Technical University

The article examines the process of analyzing the profitability of entrepreneurial processes at an enterprise and the methodology for forming a break-even point, which is one of the important tools for monitoring the financial condition. The break-even point shows the volume of production and sales at which the enterprise stops operating at a loss and its profit begins to grow. The process of risk analysis is especially important in new investment projects, as well as in the process of managing newly created companies, in order to correctly determine and assess financial expectations. The article examines mathematical and graphical methods for calculating the break-even point of the rate of return, and analyzes the system of corresponding characteristics with existing connections. The quantitative and monetary values of the loss point are determined.

Keywords: investment project, entrepreneurial activity, profitability margin, break-even point, zero profit point.

სამშენებლო-საინვესტიციო პროექტების რანჟირების და ამორჩევის მრავალკრიტერიუმიანი ექსპერტული მეთოდი

გასიტაშვილი ზ.ა., გორგიძე დ.ა., ხუციშვილი ს.ა., ხართიშვილი მ.პ., მუსერიძე რ.რ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

შესავალი. მშენებლობა-მატერიალური წარმოების ერთ-ერთი უძლიერესი დარგია, რომელიც მოიცავს სამშენებლო-სამონტაჟო, საპროექტო-საძიებო, საკონსტრუქტორო ორგანიზაციებს.

მშენებლობა როგორც პროცესი უკვე დაიტვირთა ახალი, ეკონომიკური შინაარსით და წარმოადგენს კაპიტალის მფლობელების საინვესტიციო საქმიანობას, შენობების და ნაგებობების მთელი ციკლის პერიოდში, რომელთა შექმნაც (აშენება) წარმოადგენს ინვესტიციის ძირითად მიზანს.

საინვესტიციო-სამშენებლო საქმიანობის განვითარებისათვის მნიშვნელოვანია დარგობრივი, ტექნოლოგიური, ეკონომიკური პროპორციების და დამოკიდებულებების ხარისხობრივად შეიცვალა, კადრების სტრუქტურის და ხარისხის, სამშენებლო მეცნიერების და საპროექტო სფეროს, ძირითადი შიდა და გარე კავშირების შემგომი განვითარება და მიზანმიმართული კვლევა. აღნიშნულ პროცესში განსაკუთრებული ადგილი უნდა დაიკავოს აქტუალური და პერსპექტიული საინვესტიციო პროექტების მოძიების, დასაბუთების, დამუშავების და საბოლოო რეალიზაციის პროცესებმა.

სამშენებლო პროცესების ინვესტირება მიითხოვს საკმაოდ მსხვილ ფინანსურ რესურსებს, გამოყენების გრძელვადიანი ციკლით, თუმცა შეიძლება, საქმიანობის ამ სფეროში განხორციელებულმა პროექტებმა შექმნას ფულადი მასის რეგულარული ნაკადები [1].

სტატიის მიზანს წარმოადგენს ალტერნატიული სამშენებლო საინვესტიციო პროექტების შეფასება ხარისხობრივი და რაოდენობრივი მაჩვენებლებით, მათი რანჟირება და ყველაზე პერსპექტიული პროექტის ამორჩევა.

ძირითადი ნაწილი. ძალიან დიდია მშენებლობის როლი ნაციონალური ეკონომიკის და თვითონ მშენებლობის დარგის (ქვედარგების) განვითარების სისტემაში. მშენებლობა როგორც პროცესი არსებული თავისებურებების გათვალისწინებით, წარმოადგენს კაპიტალის მფლობელების საინვესტიციო საქმიანობის განსაკუთრებულ ინტერესს, სამშენებლო საქმიანობის მთელი ციკლის პერიოდში, რომლის შედეგებიც მოიაზრება ინვესტირების ძირითად მიზნობრივ ორიენტირად [2].

საინვესტიციო მენეჯმენტის თეორიაში, განიხილავენ რეალურ ინვესტიციებთან გამოსაყენებელ, საინვესტიციო ხასიათის გადაწყვეტილებების სამ ბლოკს.

- პროექტის არჩევა და რანჟირება;
- პროექტის ექსპლუატაციის ოპტიმიზაცია;
- საინვესტიციო პროგრამის ფორმირება.

მნიშვნელოვანია შესაბამისი ამოცანების გადაწყვეტა სამშენებლო-საინვესტიციო პროექტების ანალიზისა და კვლევების პროცესშიც. სტატიის მიზნებიდან გამომდინარე შევჩერდებით მხოლოდ პირველ ბლოკზე.

პრობლემის გადასაწყვეტად შემოთავაზებულია მრავალკრიტერიუმიანი ექსპერტული მეთოდი, რომელიც გულისხმობს შეფასების ბევრ კრიტერიუმს (შემდეგში მაჩვენებელს) და ბევრ ექსპერტს (ორზე მეტი). მრავალი კრიტერიუმი გულისხმობს შეფასების ხარისხობრივი და რაოდენობრივი მაჩვენებლების არსებობას, რომლებიც ხშირად გამოიყენება პროექტების წინასწარი შეფასების ეპატზე [1,3]. სამშენებლო პროექტების შეფასების და არჩევის პრობლემის გადაწყვეტა მრავალკრიტერიუმიანი ექსპერტული მეთოდით, წარმოადგენს მრავალკრიტერიუმიან გადაწყვეტილებათა მიღების გარკვეული სახის ამოცანას, რომლის რეალიზება ვფიქრობთ მიზანშეწონილია შემდეგი ალგორითმის საშუალებით:

ბიჯი 1. ექსპერტული ჯგუფის ფორმირება.

ბიჯი 2. ექსპერტული ჯგუფის წევრების მიერ, შეფასების ხარისხობრივი მაჩვენებლების და მათი მახასიათებლების (ქვემაჩვენებლების) იერარქიული წარმოდგენა. ასევე შეფასების რაოდენობრივი მაჩვენებლების დადგენა.

ბიჯი 3. შეფასების რაოდენობრივი მაჩვენებლების არამკაფიო წარმოდგენა და მათი ნორმირება;

ბიჯი 4. ექსპერტების მიერ შეფასების მაჩვენებელთა რანჟირება და მათი წონების გამოთვლა.

ბიჯი 5. ექსპერტების მიერ შეფასების არამკაფიო სკალის და შეფასების ანკეტის ფორმირება და ყოველი პროექტის შეფასება ხარისხობრივი და რაოდენობრივი მაჩვენებლებით, შეფასების არჩეული სკალის შესაბამისად;

ბიჯი 6. შეფასების ანკეტაში თითოეული მაჩვენებლისთვის ჯამური არამკაფიო შეფასების ფორმირება.

ბიჯი 7. მაჩვენებლების ჯამური შეფასების და დადგენილი წონების გამოყენებით, ყოველი პროექტისთვის საერთო, ინტეგრალური შეფასების გამოთვლა;

ბიჯი 8. პროექტების რანჟირება მიღებული შედეგების მიხედვით.

ყოველი ბიჯი განვიხილოთ უფრო დეტალურად:

არსებობს ხარისხობრივი მაჩვენებლების ფართო ჩამონათვალი, რომელიც გამოიყენება საინვესტიციო პროექტების შესაფასებლად [2,3]. ნაშრომში გამოყენებულია ხარისხობრივი მაჩვენებლების და ქვემაჩვენებლების სისტემა, რომელიც შედარებით მნიშვნელოვანია საინვესტიციო პროექტების კონკრეტული „კლასის“- სამშენებლო პროექტების შესაფასებლად. წარმოდგენილია მაჩვენებელთა არასრული ჩამონათვალი, ესენია:

1. პროექტის შესაბამისობა სამშენებლო კომპანიის მიმდინარე სტრატეგიასთან და გრძელვადიან მიზნებთან;

1.1 სამშენებლო კომპანიის სტრატეგიაში ცვლილებების მართებულობა (იმ შემთხვევაში თუ ეს საჭიროა პროექტის მისაღებად);

1.2. პროექტის შესაბამისობა სამშენებლო კომპანიაში ინოვაციურ საქმიანობასთან;

1.3. პროექტის ვადების შესაბამისობა კომპანიის მოთხოვნებთან;

1.4. პროექტის რეალიზებისთვის საჭირო პოტენციალის ზრდის შესაძლებლობა;

1.5 დროებითი წარუმატებლობების (ფინანსური, დროითი, რეალიზაციაში შეფერხებები) გავლენა, ორგანიზაციაში მიმდინარე საქმიანობაზე.

2. სამეცნიერო ტექნიკური მახასიათებლები:

2.1. საპატენტო მდგომარეობის დონე (სისუფთავე);

2.2. პროდუქციის უნიკალურობა (ანალოგების არარსებობა ან დიდი უპირატესობა);

2.3. პროექტის რეალიზაციისთვის საჭირო ტექნიკური რესურსების არარსებობა;

2.4. საკონსულტაციო ფირმების მომსახურების საჭიროება ან კვლევის ჩატარება კომპანიის გარეთ.

შეფასების სხვა მაჩვენებლები წარმოდგენილია მახასიათებლების გარეშე: საწარმოო პროცესის მახასიათებლები; გარემოს და ტექნოლოგიური პროცესების მაჩვენებლები; ფინანსური მაჩვენებლები (კრიტერიუმები); მარკეტინგული საქმიანობის დონე; განუზღვრელობის და რისკის შედარების მაჩვენებლები და ა.შ.

ხარისხობრივი მაჩვენებლების შეფასებისთვის შემოთავაზებულია ლოგიკური შეფასებების შემდეგი სახის სკალა:

- მოცემული კრიტერიუმი ძალიან დაბალი დონით ახასიათებს პროექტს;

- მოცემული კრიტერიუმი დაბალი დონით ახასიათებს პროექტს;

- პროექტის საშუალო დონით შეფასება;

- მოცემული კრიტერიუმით პროექტი ფასდება მაღალი დონით;

- მოცემული კრიტერიუმი იძლევა პროექტის ძალიან მაღალ შეფასებას.

არამკაფიო სიმრავლეთა თეორიის შესაძლებლობების გამოყენებით გადავდივართ უფრო მოქნილ რიცხობრივ შეფასებებზე, რაც იმას ნიშნავს, რომ ჩამოთვლილ ლოგიკურ შეფასებებს

უნდა შევუსაბამოთ ტრაპეციის მაგვარი არამკაფიო რიცხვები (ცხრ. 1). ეს რიცხვები წარმოადგენენ მაჩვენებლების არამკაფიო რიცხვით შეფასებებს. [7,8]

ცხრილი 1. არამკაფიო რიცხვების საფუძველზე შედგენილი შეფასების სკალა

ლოგიკ. შეფასება	ძალიან დაბალი	დაბალი	საშუალო	მაღალი	ძალიან მაღალი
არამკაფიო შეფასება	(0; 0.05; 0.1; 0.3)	(0.1; 0.3; 0.3; 0.5)	(0.3; 0.5; 0.5; 0.7)	(0.5; 0.7; 0.7; 0.9)	(0.7; 0.9; 0.95; 1)

რაოდენობრივი მაჩვენებლების რანგში შეიძლება გამოყენებული იქნას შემდეგი მაჩვენებლები:

1. ინვესტიციების საჭირო მოცულობა სამეცნიერო-კვლევით და საკონსტრუქტორო საქმიანობის ეტაპზე, ასევე ინვესტიციების მოცულობა ამ ეტაპის შედეგების დაწერგვაზე;
2. ახალი პროდუქციის ერთეულის გეგმიური თვითღირებულება;
3. დასამუშავებელი პროდუქციის წარმოების საპროგნოზო მოცულობა და ა.შ.

შეფასების გამოყენებულ რაოდენობრივ მაჩვენებლებებს, შეიძლება ქონდეთ განსხვავებული განზომილება. ამიტომ აუცილებელია მათი ნორმირება და მიყვანა სიდიდეებამდე განზომილების გარეშე. ასევე ნორმირების მიზანია მივიყვანოთ არამკაფიო რიცხვითი ინტერვალის სახით წარმოდგენილი რაოდენობრივი მაჩვენებლები არამკაფიო რიცხვამდე, რომელიც დევს (0,1) შუალედში. რაც საშუალებას მოგვცემს ყოველი პროექტი ერთდროულად შევაფასოთ ორივე სახის მაჩვენებლებით და გამოვთვალოთ ერთიანი ინტეგრალური არამკაფიო შეფასება.

თუ მაჩვენებლის უკეთეს მნიშვნელობად მიიჩნევა მაქსიმალური სიდიდე მაშინ ნორმირებას ვახდენთ შემდეგი წესით: რიცხვითით დიაპაზონში მოცემულ რიცხვის ყოველ შემადგენელს ვყოფთ მათ შორის მაქსიმალურზე. ასეთ მაჩვენებლად ჩვენს შემთხვევაში შეიძლება ჩაითვალოს დასამუშავებელი პროდუქციის წარმოების საპროგნოზო მოცულობა.

თუ $B = (b_1, b_2, b_3, b_4)$ არის შეფასების რაოდენობრივი მაჩვენებლის არამკაფიო მნიშვნელობა, რომლის უკეთესი მნიშვნელობა არის მაქსიმალური სიდიდე, მაშინ ნორმირების შემდეგ შეფასების მაჩვენებელს ექნება სახე:

$$\bar{B} = \left(\frac{b_1}{b_{\max}}, \frac{b_2}{b_{\max}}, \frac{b_3}{b_{\max}}, \frac{b_4}{b_{\max}} \right) \quad (1)$$

სადაც $b_{\max} = \max(b_1, b_2, b_3, b_4)$.

თუ მაჩვენებლის უკეთესი მნიშვნელობა არის მისი მინიმალური სიდიდე, მაშინ მას ვყოფთ არამკაფიო რიცხვის ყოველ შემადგენელზე. შეფასების მაჩვენებელი შეიძლება იყოს პროდუქციის ერთეულის გეგმიური თვითღირებულება.

თუ $B = (b_1, b_2, b_3, b_4)$ არის რაოდენობრივი მაჩვენებლის არამკაფიო მნიშვნელობა, რომლის მინიმალური სიდიდეც ითვლება უფრო უკეთესად. მაშინ ნორმირების შემდეგ შეფასების მაჩვენებელი იქნება

$$\bar{B} = \left(\frac{b_{\min}}{b_1}, \frac{b_{\min}}{b_2}, \frac{b_{\min}}{b_3}, \frac{b_{\min}}{b_4} \right) \quad (2)$$

სადაც $b_{\min} = \min(b_1, b_2, b_3, b_4)$.

რაოდენობრივი მაჩვენებლების ნორმირებული არამკაფიო რიცხვები $(b_1^k, b_2^k, b_3^k, b_4^k)$. აკმაყოფილებენ ცხად უტოლობებს:

$$0 \leq (b_1^k, b_2^k, b_3^k, b_4^k) \leq 1,$$

სადაც k არის რაოდენობრივი მაჩვენებლების რიცხვი.

ექსპერტები შეფასების შედეგებს აფიქსირებენ ანკეტებში, სადაც შესაფასებელ კითხვას მისაღებული აქვს არარიცხვითი შეფასება ყოველი კითხვის გასწვრივ. შეფასების მაჩვენებლებისთვის წონების დათვლა წარმოადგენს საკმაოდ მნიშვნელოვან და შინაარსობრივ ეტაპს. ამ დროს ექსპერტმა უნდა გადაწყვიტოს, რომელი მაჩვენებელია უფრო მნიშვნელოვანი (პრიორიტიზებული), სხვა მაჩვენებლებთან შედარებით, რაც განსაზღვრავს კიდევ შედეგის საბოლოო სახეს.

შეფასების მაჩვენებლებისთვის წონების დადგენის განსხვავებული მეთოდები არსებობს [2,3] მათ შორის სტანდარტულ მეთოდებს წარმოადგენს იერარქიული ანალიზის მეთოდი რომელიც შემოთავაზებული იყოს საატის მიერ [5]. აღნიშნული მეთოდის რამდენიმე მოდიფიკაცია არსებობს. სტატიაში ხარისხობრივი მაჩვენებლების იერარქიაში ექსპერტები ადგენენ მხოლოდ მაჩვენებლების წონებს შედარების მატრიცის გამოყენებით, ქვემაჩვენებლების წონები კი არ გამოითვლება, როგორც ეს იერარქიული ანალიზის მეთოდშია.

ექსპერტული შეფასების შეთანხმებულობის დონეს, რომელიც მიღებულია ყველა ექსპერტის მიერ, შემადგენლის შეფასების შემდეგ, ახასიათებენ შეთანხმებულობის კოეფიციენტით (კორკორდაციის კოეფიციენტი) W . რაც მეტია W მით უფრო მეტად შეთანხმებულად (საიმედოდ) ითვლება შეფასებები [6].

$$W = \frac{12 \cdot \sum_{i=1}^n \Delta R_i^2}{\left[m^2 (n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j \right]}, \quad \Delta R_i = R_i - \bar{R} \quad (3)$$

სადაც R_i არის რანგების ჯამი i -რი მაჩვენებლებისთვის, მინიჭებული ყველა ექსპერტის მიერ; j – ნომერი შეესაბამება j -რ ექსპერტს $j=1, \dots, m$; m – ექსპერტების რაოდენობა. i – შეესაბამება მაჩვენებლების ნომერს; $i=1, 2, \dots, n$; n – შეფასების მაჩვენებლების რაოდენობა; $\bar{R}$ – რანგების ჯამების საშუალო მნიშვნელობა; T_j – განიხილება მაშინ, როცა რომელიმე ექსპერტს აქვს ერთნაირი შეფასებები.

ჩვეულებრივად შეთანხმებულობა ითვლება დამაკმაყოფილებლად თუ $W > 0,5$ და კარგი როცა $W > 0,7$.

ექსპერტებს შორის თუ შეთანხმებულობის დონე დაბალია, მაშინ უნდა დადგინდეს აზრთა განსხვავებულობის მიზეზი. შედეგები უნდა ეცნობოს ექსპერტული კომისიის ყველა წევრს, ამის შემდეგ უნდა მოხდეს მაჩვენებლების ხელახალი ანალიზი და შეიცვალოს მათი შეფასებები.

ძალზე მნიშვნელოვანია, ექსპერტთა ჯგუფმა, მაჩვენებელთა სისტემის ფორმირებასთან ერთად, განსაზღვროს შეფასების ანკეტის ფორმა [1,3,5] ასეთი ანკეტის ფორმა, პირობითად ერთი ხარისხობრივი მაჩვენებლისათვის და მისი მახასიათებლებისთვის წარმოდგენილია ცხრ. 2-ში. ასეთი ანკეტით ფასდება ყოველი სამშენებლო პროექტი ექსპერტთა ჯგუფის მიერ. ხდება ყოველი მაჩვენებლის დეკომპოზიცია მახასიათებლებად (მაჩვენებლის უფრო დეტალური, მახასიათებელი ჯგუფი), ყოველი ჯგუფის შეფასების შედეგები ჯამდება საშუალო არითმეტიკულის წესით (აქ გათვალისწინებულია მახასიათებლების და ექსპერტების რაოდენობა). შედეგად ვღებულობთ ყოველი მაჩვენებლის არამკაფიო საშუალო ექსპერტულ შეფასებას.

ცხრ.2-ში. წარმოდგენილი სიტუაციისათვის, ოთხივე მახასიათებლით ექსპერტების მიერ ჯამურად, პროექტს საშუალოდ აფასებს 15 ექსპერტი, როგორც კარგი აფასებს 16 ექსპერტი და როგორც ძალიან კარგი აფასებს 9 ექსპერტი. პირველი მაჩვენებლის – X_1 მნიშვნელობის დასათვლელად მახასიათებლებით შეფასებები უნდა შეჯამდეს შესაბამისი არითმეტიკული მოქმედებების გამოყენებით [7], ანუ:

$$X_1 = 15 \cdot (0.3; 0.3; 0.5; 0.7) + 16 \cdot (0.5; 0.7; 0.7; 0.9) + 9 \cdot (0.7; 0.9; 1; 1) = (18.8; 23.8; 27.8; 33.8);$$

ჯამური არამკაფიო რიცხვი იყოფა ექსპერტების რიცხვზე და მახასიათებლების რაოდენობაზე, მიღებული საშუალო არითმეტიკული იქნება პირველი მაჩვენებლის არამკაფიო შეფასება.

$$X_1=(0.47;0.6;0.69;0.85)$$

ასეთი წესით განსაზღვრული ყოველი მაჩვენებლის შეწონილი ჯამის მიხედვით ითვლება ალტერნატიული პროექტის ინტეგრალური შეფასება [1,3].

ცხრილი 2. სამშენებლო პროექტის ხარისხობრივი მაჩვენებლებით შეფასების ანკეტის ფორმა

მაჩვენებლის დასახელება	ქვემაჩვენებლები	პირველი მაჩვენებლის არამკაფიო შეფასება				
		(0; 0; 0.1; 0.3)	(0.1; 0.3; 0.3; 0.5)	(0.3; 0.3; 0.5; 0.7)	(0.5; 0.7; 0.7; 0.9)	(0.7; 0.9; 1; 1)
1.პროექტის შესაბამისობა სამშენებლო კომპანიის მიმდინარე სტრატეგიასთან და გრძელვადიან გეგმებთან;	1.1.კომპანიის სტრატეგიაში ცვლილებების მართებულობა			XXX	XXXXX	XX
	1.2.პროექტის შესაბამისობა ინოვაციურ საქმიანობასთან			XXXX	XXXX	XX
	1.3.ვადების შესაბამისობა კომპანიის მოთხოვნებთან			XXXX	XXX	XXX
	1.4.პერსონალის ზრდის შესაძლებლობა			XXXX	XXXX	XX
მაჩვენებლის ჯამური არამკაფიო შეფასება		$X_1 = (x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14})$				

ვთქვათ სამშენებლო პროექტის შეფასება ხდება, რიცხვებით $X_1, X_2, \dots, X_n$ და მაჩვენებლების შესაბამისი წონებია $a_1, a_2, \dots, a_n$. სადაც, $a_i \geq 0$ და $\sum_{i=1}^n a_i = 1$, მაშინ, პროექტის ინტეგრალური შეფასება ტოლი იქნება

$$X = \sum_{i=1}^n a_i X_i \quad (4)$$

არამკაფიო რიცხვების შემთხვევაში, როცა $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, x_{i4})$, $i = 1, 2, \dots, n$, მაშინ

$$X = \left(\sum_{i=1}^n a_i x_{i1}; \sum_{i=1}^n a_i x_{i2}; \sum_{i=1}^n a_i x_{i3}; \sum_{i=1}^n a_i x_{i4} \right) \quad (5)$$

როგორც ვხედავთ არაკაფიო რიცხვების გამოყენება საშუალებას იძლევა გავითვალისწინოთ რაოდენობრივი მაჩვენებლების მიახლოებითი გეგმიური მნიშვნელობები, თანაზომადი გავხადოთ მაჩვენებლები და რაც უფრო მნიშვნელოვნად მიგვაჩნია ალტერნატიული სამშენებლო პროექტები შევაფასოთ ორივე სახის მაჩვენებლებით ერთდროულად.

იმის შემდეგ რაც კვლევის ობიექტისთვის მივიღებთ ინტეგრალურ არამკაფიო შეფასების შესაძლებელი არის შესაბამისი მკაფიო რიცხვითი მნიშვნელობის გამოთვლა, რაც ამარტივებს პროექტების შედარების პროცესს. არსებობს რამდენიმე განსხვავებული მეთოდი მაგალითად: ჩიუ-პარკის მეთოდი, ჩანგის მეთოდი კაუფტმან-გუფტის მეთოდი ა.შ. [7,8]

ნაშრომში გამოყენებული გვაქვს ჩანგის მეთოდი, რომელიც მარტივია გამოსაყენებლად და გამოსათვლელად. თუ $X = (x_1, x_2, x_3, x_4)$ არის ინტეგრალური არამკაფიო შეფასება, მაშინ ფორმულა

$$ch(x) = \frac{x_3^2 + x_3 \cdot x_4 + x_4^2 - x_1^2 - x_1 \cdot x_2 - x_2^2}{6} \quad (6)$$

პროექტების პირველადი შეფასება ხარისხობრივი და რაოდენობრივი მაჩვენებლებით სამშენებლო კომპანიისთვის არის გარკვეული ფილტრი, რომლის ძირითადი მიზანია – შევადგინოთ არაპერსპექტიული პროექტები და გზა გაუხსნათ შემდგომი დამუშავებისათვის შედარებით საინტერესო, ეფექტურ პროექტებს. პროექტებს რომელთა ინტეგრალური მნიშვნელობა ყველაზე მაღალია.

დასკვნა. სამშენებლო საინვესტიციო პროექტების შეფასების, რანგირების და ამორჩევის ამოცანის რეალიზება, წარმოადგენს, მრავალკრიტერიუმის გადამწყვეტილებათა მიღების მნიშვნელოვან ეტაპს. ის საბაზოა საინვესტიციო პროექტების მართვასთან დაკავშირებული სხვა ამოცანებისათვის. წარმოდგენილი მეთოდიკა საშუალებას იძლევა, მოვახდინოთ სხვადასხვა ნიშნით კლასიფიცირებული საინვესტიციო-სამშენებლო პროექტების ეფექტური წინასწარი შეფასება, ხარისხობრივი და რაოდენობრივი მაჩვენებლების ერთიანი სისტემის დახმარებით და შევძლოთ მათ შორის საუკეთესოების ამორჩევა, ეფექტურად გამოვიყენოთ კომპიუტერული ტექნოლოგიები, საწყის ეტაპზე შევძლოთ არაეფექტური, სტრატეგიულ მიზნებთან და გეგმებთან შეუსაბამო პროექტების უარყოფა, რითაც შეიძლება მნიშვნელოვნად დავზოგოთ, კომპანიის ადამიანური და მატერიალური რესურსები.

ლიტერატურა

1. ნ. მჭედლიშვილი, ს. ხუციშვილი, ა. ბეჭაია. საინვესტიციო პროექტების წინასწარი შერჩევის და შეფასების ზოგიერთი საკითხი. //მართვის ავტომატიზებული სისტემები, შრომები თბ. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“ 2011.
2. Бовтеев С. В. Основы управления инвестиционно-строительными проектами: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013, 197 с.
3. ნ. მჭედლიშვილი, ს. ხუციშვილი, გ. ამილახვარი. ფირმის საქმიანობის წინასწარი შეფასების ექსპერტული მეთოდი, არამკაფიო სიმრავლეთა თეორიის და Matlab-ის ბაზაზე. //ბიზნეს-ინჟინერინგი, №4, თბ. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2012, გვ.91-97
4. Борискова Л.А., Глебова О.В. Совершенствование механизма предварительного отбора инновационных проектов. /Управление проектами., N3, 2009, сс.44-51.
5. Волокобинский М.Ю., Пекарская О.А., Рази Д.А. Принятие решений на основе метода анализа иерархий. /Финансы: теория и практика. -М: 2016, сс. 33-42
6. коэффициент конкордации или согласия Кендалла <http://mathmethod.wikispaces.com>
7. Chui, Y.C. and Chan, S.P. (1994) "Fuzzy cash flow analysis using present worth criterion", Engineering Economist, 39, pp. 113–138.
8. Decision making with the analytic hierarchy process Thomas L. Saaty Katz Graduate School of Business, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA 15260, US <https://www.rafikulislam.com/uploads/resources/197245512559a37aadea6d.pdf>

SUMMARY

MULTI-CRITERIA EXPERT METHOD FOR RANKING AND SELECTING CONSTRUCTION AND INVESTMENT PROJECTS

Gasitashvili Z.A., Gorgidze D.A., Khutsishvili S.A., Khartishvili M.P. and Museridze R.R.

Georgian Technical University

Construction companies often have to solve the problem of selecting investment projects suitable for implementation. At this stage, it becomes necessary to use a methodology that will allow assessing projects according to a certain system of indicators, conducting a comparative analysis of projects, taking into account expected risks, and selecting projects that will correspond to the company's development strategy. Within the framework of this methodology, a multi-criteria expert decision-making method is proposed, which should ensure the assessment and comparison of all possible alternative projects, their prioritization, and the formation of the necessary recommendations for the decision maker. A qualitative and quantitative system of project assessment indicators, a fuzzy assessment scale and questionnaire, and a mechanism for determining the weights of indicators have been developed.

Keywords: Project, construction project, ranking, indicator, expert system, specific weight, integral assessment.

შეყურსული ძალებით დატვირთული აბსოლუტურად მოქნილი მილსადენების მცირე თავისუფალი რხევების დიფერენციალური განტოლებათა სისტემის ამოხსნის შესახებ

არქანია ზ.მ., სულაბერიძე მ.მ.

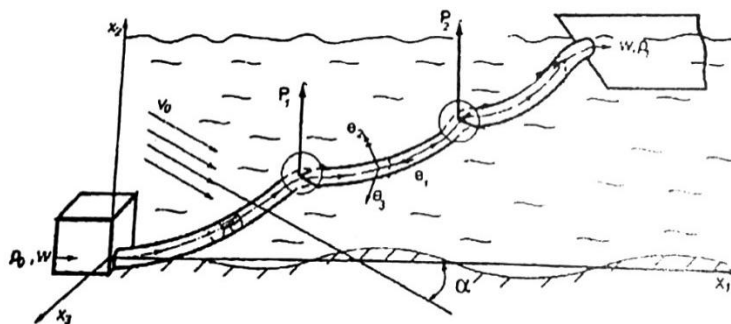
აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი

აბსოლუტურად მოქნილ მილსადენები, შლანგები, მოქნილი ღეროები ფართოდ გამოიყენება ტექნიკის სხვადასხვა დარგში; მათ მიეკუთვნება: ელექტროგადამცემი ხაზები, სითხის სატუმბი შლანგები, მილსადენები ზღვიდან წიაღისეულის ამოსაქაჩად, საზღვაო პორტებში შესასვლელი არხის გასაწმენდად, კოსმოსური საკაბელო სისტემები და სხვა.

ამ შემთხვევებში მილსადენებზე (შლანგებზე) ერთდროულად მოქმედებენ შეყურსული ძალები, განაწილებული ძალები (მაგ: სიმძიმის ძალა განაწილებული ჰიდროდინამიკური ძალა) და სითხის შიგა ნაკადი. მილსადენის (შლანგის) ძალური ან კინემატიკური შემფოტებისას მოსალოდნელი რეზონანსული რეჟიმის შედეგად შესაძლებელია მილსადენის (შლანგის) რღვევა, რაც ხშირად დაკავშირებულია დიდ ეკონომიკურ და ეკოლოგიურ ზარალთან.

აღნიშნული რეზონანსული რეჟიმის თავიდან აცილების მიზნით აუცილებელია რხევის საკუთარი სიხშირეების ცოდნა, ამიტომაც წინამდებარე ნაშრომი, რომელიც მიძღვნილია მილსადენის თავისუფალი რხევების განტოლებათა სისტემის ამოხსნისადმი, და კერძოდ საკუთარი სიხშირეების განსაზღვრისადმი, თეორიულად და პრაქტიკულად საინტერესოა.

ნახ. 1-ზე წარმოდგენილია მილსადენის საანგარიშო სქემა; მილსადენის დანიშნულებაა ზღვის ფსკერიდან გრუნტის ამოღება. კვანძებზე მოდებულია შეყურსული ძალები $\vec{p}^{(k)}$; p_0 – არის წნევა სითხეში, W – სითხის შიგა ნაკადის სიჩქარე, $\vec{V}_0$ – სითხის გარე ნაკადის სიჩქარე (ნახ.1).



ნახ. 1 მილსადენის საანგარიშო სქემა

ვსარგებლობთ იდეალური სითხის სტაციონარული ნაკადით სავსე მილსადენის მცირე რხევის განტოლებებით, რომლებიც მოცემულია პროფ. ვ.ა. სვეტილიცკის მონოგრაფიაში [13].

დეკარტეს x_0, x_2, x_3 კოორდინატთა სისტემაში გვაქვს შემდეგი განტოლებათა სისტემა (უგანზომილებო სახით).

$$\begin{cases} \frac{\partial U_{x_1}}{\partial \varepsilon} + \frac{x_{10}'^2 - 1}{Q_{10}} \Delta Q_{x_1} + \frac{x_{10}' \cdot x_{20}'}{Q_{10}} \Delta Q_{x_2} + \frac{x_{10}' \cdot x_{30}'}{Q_{10}} \Delta Q_{x_3} = 0 \\ \frac{\partial U_{x_2}}{\partial \varepsilon} + \frac{x_{20}' \cdot x_{20}'}{Q_{10}} \Delta Q_{x_1} + \frac{x_{20}'^2 - 1}{Q_{10}} \Delta Q_{x_2} + \frac{x_{20}' \cdot x_{30}'}{Q_{10}} \Delta Q_{x_3} = 0 \\ \frac{\partial U_{x_3}}{\partial \varepsilon} + \frac{x_{30}' \cdot x_{20}'}{Q_{10}} \Delta Q_{x_1} + \frac{x_{20}'^2 - 1}{Q_{10}} \Delta Q_{x_2} + \frac{x_{20}' \cdot x_{30}'}{Q_{10}} \Delta Q_{x_3} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 U_{x_i}}{\partial \tau^2} - \frac{\Delta Q_{x_i}}{\partial \varepsilon} = 0 \quad (i=1,2,3) \quad (2)$$

სადაც U_{x_i} – მილსადენის ღერძული წირის წერტილის გადაადგილებები; ε – ღერძული წირის წერტილის მიმდინარე ბუნებრივი კოორდინატი; Q_{10} – ღერძული ძალვა მილსადენში წონასწორობის მდგომარეობაში; ΔQ_{x_i} – ღერძული ძალვის დინამიკური მდგენელები; x_{i0} – მილსადენების ღერძული წირის წერტილის კოორდინატები წონასწორობის მდგომარეობაში; τ – უგანზომილებო დრო.

ჩვენი შემთხვევისათვის განტოლებების ჩაწერისას გავითვალისწინოთ, რომ მილსადენზე შეყურსული ძალებს შორის, სიმძიმის ძალის გახდა არავითარი განაწილებული ძალა არ მოქმედებს, მილსადენის ღერძული წირის, ნაწილი ყოველ ორ შეყურსულ ძალას შორის წარმოადგენს ბრტყელ წირს, ყოველ უბანზე $x_{30} = 0$ და (1) – (2) განტოლებათა სისტემა გარდაიქმნება ორ დამოუკიდებელ ქვესისტემად შემდეგი სახით:

$$\begin{cases} \frac{\partial U_{x_1}}{\partial \varepsilon} + \frac{x_{10}'^2 - 1}{Q_{10}} \Delta Q_{x_1} + \frac{x_{10}' \cdot x_{20}'}{Q_{10}} \Delta Q_{x_2} = 0 \\ \frac{\partial U_{x_2}}{\partial \varepsilon} + \frac{x_{20}' \cdot x_{20}'}{Q_{10}} \Delta Q_{x_1} + \frac{x_{20}'^2 - 1}{Q_{10}} \Delta Q_{x_2} = 0 \\ \frac{\partial^2 U_{x_1}}{\partial \tau^2} - \frac{\partial \Delta Q_{x_1}}{\partial \varepsilon} = 0 \\ \frac{\partial^2 U_{x_2}}{\partial \tau^2} - \frac{\partial \Delta Q_{x_2}}{\partial \varepsilon} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_{x_3}}{\partial \tau^2} - \frac{1}{Q_{10}} \Delta Q_{x_3} &= 0 \\ \frac{\partial^2 U_{x_3}}{\partial \tau^2} - \frac{\partial \Delta Q_{x_3}}{\partial \varepsilon} &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

(3) განტოლებათა სისტემა აღწერს მილსადენის მცირე რხევებს ვერტიკალურ სიბრტყეში, ხოლო (4) განტოლებათა სისტემა აღწერს მილსადენის მცირე რხევებს ვერტიკალური სიბრტყის მიმართ.

(3) და (4) განტოლებათა სისტემის ამონახსენი ვეძებთ შემდეგი სახით

$$U_{xj} = U_{xj0}(\varepsilon)e^{i\beta\tau} \quad \Delta Q = \Delta(\varepsilon)_{xjo} e^{i\beta\tau}$$

მაშინ (3) სისტემიდან მივიღებთ

$$\begin{cases} \frac{\partial U_{x_{10}}}{\partial \varepsilon} - \frac{1-x_{10}'^2}{Q_{10}} \Delta Q_{x_{10}} + \frac{x_{10}' \cdot x_{20}'}{Q_{10}} \Delta x_{20} = 0 \\ \frac{\partial U_{x_{20}}}{\partial \varepsilon} - \frac{x_{10}' \cdot x_{20}'}{Q_{10}} \Delta Q_{x_{10}} - \frac{1-x_{10}'^2}{Q_{10}} \Delta Q_{x_{20}} = 0 \\ \Delta Q_{x_{10}}' + \beta^2 U_{x_{10}} = 0 \\ \Delta Q_{x_{20}}' + \beta^2 U_{x_{20}} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

თუ (5) განტოლებათა სისტემას ჩავწერთ ვექტორული ფორმით k -ური უბნისათვის $\bar{p}^{(k)}$ და $\bar{p}^{(k-1)}$ შეყურსულ ძალებს შორის გვექნება მილსადენის რხევის შემდეგი დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა

$$\bar{Z}'^{(k)} + A^{(k)}(\varepsilon, \beta) \bar{Z}^k = 0 \quad (k=1, 2, 3, \dots, n) \quad (6)$$

სადაც

$$\bar{Z}^{(k)} = \begin{bmatrix} U_{x_{10}} \\ U_{x_{20}} \\ \Delta Q_{x_{10}} \\ \Delta Q_{x_{20}} \end{bmatrix} \quad A^{(k)}(\varepsilon, \beta) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{1-x_{10}'^2}{Q_{10}^{(k)}} & \frac{x_{10}' \cdot x_{20}'}{Q_{10}^{(k)}} \\ 0 & 0 & \frac{x_{10}' \cdot x_{20}'}{Q_{10}^{(k)}} & \frac{1-x_{10}'^2}{Q_{10}^{(k)}} \\ \beta^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \beta^2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$A^{(k)}$ მატრიცაში შემავალი x_{j0}' , $Q_{10}^{(k)}$ სიდიდეები განისაზღვრება მილსადენის წონასწორობის განტოლებიდან და მოცემულია ზ. არქანიას შრომებში [1-2]

(6) დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის ამონახსენი

$$\bar{Z}^{(k)} = K^{(k)}(\varepsilon, \beta) \bar{C}^k = 0 \quad (7)$$

სადაც K არის (6) ერთგვაროვან დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის ამონახსნის ფუნდამენტალური მატრიცა, $\bar{C}$ – არის ნებისმიერი მუდმივების ვექტორი.

(7) დამოკიდებულება საშუალებას იძლევა დავაკავშიროთ $\bar{Z}^{(k)}$ ვექტორის კომპონენტები ყოველი (k) უბნისთვის საწყის და ბოლო წერტილებში

$$\bar{Z}^{(k)}(\varepsilon_k) = K^{(k)}(\varepsilon_k, \beta) \bar{Z}^{(k)}(0) \quad (8)$$

სადაც $\bar{Z}^{(k)}(0), \bar{Z}^{(k)}(\varepsilon_k)$ – შესაბამისად წარმოადგენენ $\bar{Z}^{(k)}$ ვექტორის მნიშვნელობებს უბნის საწყის და ბოლო წერტილებში.

თუ განვიხილავთ ორი შეყურსული ძალის მოდების შემთხვევას, მაშინ გვექნება სამი უბანი $\varepsilon_{k-1} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_k$ ($k=1, 2, 3$) და (8) დამოკიდებულებიდან

$$\bar{Z}^{(3)}(\varepsilon_3) = K \bar{Z}^{(1)}(0) \quad (9)$$

მილსადენის ჩამაგრების წერტილებში სრულდება პირობები

$$\begin{cases} Z_1^{(1)}(0) = U_{x_1 0} = 0 & Z_2^{(1)}(0) = U_{x_2 0} = 0 \\ Z_1^{(3)}(\varepsilon_3) = U_{x_1} = 0 & Z_2^{(3)}(\varepsilon_3) = U_{x_2} = 0 \end{cases} \quad (10)$$

(8) დამოკიდებულებები ჩავწეროთ გაშლილი სახით (9) – (10) პირობის გამოყენებით, მაშინ მივიღებთ

$$\begin{cases} K_{13} \Delta Q_{x_1 0}^{(1)} + K_{14} \Delta Q_{x_1 0}^{(1)} = 0 \\ K_{23} \Delta Q_{x_1 0}^{(1)} + K_{24} \Delta Q_{x_1 0}^{(1)} = 0 \end{cases} \quad (11)$$

სადაც K_{ij} – ფუნდამენტალური K მატრიცის კომპონენტებია.

(11) სისტემაში $\Delta Q_{x_1 0}$ და $\Delta Q_{x_2 0}$ არ უდრის ნულს, აქედან გამომდინარე დეტერმინანტი

$$D = \begin{vmatrix} K_{13} & K_{14} \\ K_{23} & K_{24} \end{vmatrix} = 0 \quad (12)$$

(12) განტოლების ამონახსნი იძლევა მილსადენის რხევის საკუთარ სიხშირეებს.

ვერტიკალური სიბრტყის მიმართ მილსადენის რხევის საკუთარი სიხშირეების განსაზღვრის ალგორითმის მისაღებად (4) განტოლებათა სისტემიდან მივიღებთ:

$$\begin{cases} \frac{\partial U_{x_3 0}}{\partial \varepsilon} + \frac{1}{Q_{10}} \Delta Q_{x_3 0} = 0 \\ \frac{\partial \Delta Q_{x_3 0}}{\partial \varepsilon} + \beta^2 U_{x_3 0} = 0 \end{cases} \quad (14)$$

თუ შემოვიღებთ აღნიშვნებს

$$\bar{Z}_1 = \begin{bmatrix} U_{x_3 0} \\ \Delta Q_{x_3 0} \end{bmatrix} \quad A_1(\varepsilon, \beta) = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{Q_{10}} \\ \beta^2 & 0 \end{bmatrix}$$

მაშინ (14) ჩაიწერება შემდეგი სახით

$$\bar{Z}_1^{(k)} - A_1(\varepsilon, \beta) Z_1^{(k)} = 0 \quad (15)$$

აქედან წინა შემთხვევის ანალოგიურად მოხდება (15) სისტემის ზოგადი ამონახსნის ჩაწერა და შემდეგ რხევის საკუთარი სიხშირების განსაზღვრის ალგორითმის შედგენა.

ლიტერატურა

1. არქანია ზ.მ. მარდალეიშვილი ნ.ვ. ჰაერის ან სითხის ნაკადში მოთავსებული აბსოლუტურად მოქნილი მილსადენების სიმტკიცის შეფასება. /აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მოამბე, 2021, #1(17), გვ. 144-150.
2. Арканья З.М., Мардалишвили Н.В. Расчет абсолютно гибких стержней, нагруженных сосредоточенными силами в потоке воздуха или жидкости. /Вестник МГУ. математика, механика, серия 1, No4, 2019, сс.58-62.
3. Arkania Z.M., Badzgaradze A.G. About the method of calculation of hoses loaded concentrated forces. //Int. J.Problems Of Mechanic #2(31), 2008, pp.72-76.
4. Арканья З.М., Сагинадзе И.С. Об оценке прочности шлангов. //Проблемы прикладной механики, No1 (10), 2003, сс. 100-103.
5. Арканья З.М. Статика шлангов, заполненных потоком вязкой жидкости и нагруженных сосредоточенными силами. /ИВУЗ, Машиностроение, 1987, No4, сс.11-15.
6. Бадзгарадзе А.Г. Колебания абсолютно гибкого стержня в потоке жидкости, вызванные силами Кармана. /ИВУЗ, Машиностроение, 1985, No5, сс.73-77.
7. Кульмач А.А. Якорные системы удержания плавущих объектов. -Л. Судостроение, 1981, 335с.
8. Лоицянский Л.Г. Механика жидкости и газа. -М.: Наука, 1978, 736с.
9. Светлицкий В.А. Механика абсолютно гибких стержней. -М.: Изд-во МАИ, 2001, 432с.
10. Светлицкий В.А. Механика стержней, часть 1-Статика. -М.: Высшая школа, 1987, 320с.
11. Светлицкий В.А. Механика стержней, часть 2-Динамика. -М.: Высшая школа, 1987, 304с.
12. Светлицкий В. А., Сагинадзе И.С. Сулаберидзе М.М. Колебания провисающих шлангов, заполненных движущейся жидкостью. Расчеты на прочность. -М., Машиностроение, 1983, Вып. 23, сс. 207-214.
13. Светлицкий В.А. Механика трубопроводов и шлангов. -М.: Машиностроение, 1982, 279с.
14. Светлицкий В.А. Механика гибких стержней и нитей.- М.: Машиностроение, 1978, 222с.
15. Светлицкий В.А., Мирошник Р.А., Куркин В.И. Определение формы стационарного движения нити в средах различной вязкости. //Прикладная Механика, т. 8, вып. 4, АН УССР, 1972, сс. 100-104.
16. Яблонский В.С. Краткий курс технической гидродинамики. -М.: Наука, 1961, 355с.

SUMMARY

ON THE SOLUTION TO THE SYSTEM OF DIFFERENTIAL EQUATIONS FOR SMALL FREE OSCILLATIONS OF ABSOLUTELY FLEXIBLE PIPELINES LOADED WITH CONCENTRATED FORCES

Arkania Z.M. and Sulaberidze M.M.

Akaki Tsereteli State University, Kutaisi

A system of differential equations for small free oscillations of a pipeline loaded with concentrated forces and filled with an ideal fluid flow has been worked out. This system of equations has been transformed into two independent subsystems. The first subsystem describes small oscillations of the pipeline in the vertical plane, while the second subsystem describes these oscillations with respect to the vertical plane.

The solutions to the said systems of equations are written in a vector form, and an algorithm for determining the natural frequencies of oscillation is proposed for each case.

Keywords: pipeline; concentrated force; axial force; displacement; oscillation; differential equation; frequency; coordinate; solution to equation.

რეგრესიის განტოლების დადგენა მეორადი ბეტონის სიმტკიცის კვლევისას

კიკვიძე ო.გ., ცირეკიძე ნ.თ., გერაძე პ.თ., ბარათაშვილი მ.პ.

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი

მეორადი ბეტონის კვლევასთან დაკავშირებით ბოლო წლებში შესრულებულია რიგი სამეცნიერო სამუშაოები. 2024 წელს ინჟინერთა 26-ე საერთაშორისო კონფერენციაზე წარდგენილი იყო თემა „მეორადი აგრეგატების გამოყენება ბეტონის წარმოებაში“ [1] სადაც მეცნიერებმა კვლევების საფუძველზე დაადგინეს, რომ: მეორად შემავსებლებზე დაფუძნებული საცდელი ბეტონები ხასიათდებოდა საკმარისად მაღალი გამძლეობით კუმშვაზე მე-3 დღეს, რაც საშუალებას გვაძლევს გამოვიყენოთ მთელი რიგი მიზნებისთვის ბეტონის საპროექტო სიმტკიცის მიღწევის შემდეგ, მათ შორის ტროტუარზე საყრდენის აგებისათვის. მეორადი ბეტონის შემავსებლების გამოყენებამ შეიძლება ხელი შეუწყოს სამშენებლო ნარჩენების განთავსებასა და ნაგავსაყრელზე მელიორაციასთან დაკავშირებული მნიშვნელოვანი პრობლემების გადაჭრას. ბეტონის წარმოებისთვის გამოყენებული ყველა ნედლეული ხელმისაწვდომია მთელ ევროპაში. ეს საშუალებას გვაძლევს გამოვიტანოთ დასკვნა, რომ მეორად შემავსებლებზე დაფუძნებულ ბეტონებს აქვთ სიმტკიცე, რაც საშუალებას აძლევს ასეთ მასალებს განიხილონ როგორც ტრადიციული ბეტონების ალტერნატივა ხისტი ტროტუარების ქვედა ფენისთვის.

აგრეთვე, ამ საკითხთან დაკავშირებით სადირექტაციო ნაშრომი შეასრულა თამარა მურთაზაევამ [2]. ის აღნიშნავს, რომ ეკოლოგიის თვალსაზრისით, გარემოსთვის ერთ-ერთ ყველაზე დიდ საშიშროების წყაროდ მთელს პლანეტაზე ბეტონი ითვლება. ამიტომ, ძალიან მნიშვნელოვანია ბეტონის გადამუშავება. მეორადი შემავსებლის გამოყენებით ნახშირბადის კვალი მცირდება და მშენებლობის ხარჯებიც იკლებს. გადამუშავებული ბეტონი ამცირებს მოთხოვნილებას ბუნებრივ შემავსებელზე (ქვიშა, ღორღი). ნაშრომში წარმოდგენილია წვრილ მარცვლოვანი და მძიმე ბეტონების შემადგენლობები მეორად შემავსებლებში, მათი გაცრისა და გამდიდრების გარეშე. შემუშავებულია ამ ბეტონის შემადგენლობის ანგარიში. პრაქტიკაში დანერგვისთვის რეკომენდირებულია ბეტონებში დანამატების შეყვანა, ამ დროს მიმდინარეობს ფიზიკო ქიმიური პროცესები, რაც ზრდის ცემენტის სიმტკიცეს. ექსპერიმენტის საფუძველზე მიღებულია მაღალი ხარისხის სიმტკიცის ბეტონი, ბუნებრივი და მეორადი შემავსებლის ერთობლივი გამოყენებით.

ნაშრომის მიზანია კავშირის დადგენა ნიმუშების სიმტკიცის ზღვარსა და ასაკს შორის რეგრესიის განტოლების საშუალებით, ექსპერიმენტული კვლევების მონაცემების საფუძველზე. ექსპერიმენტი არის ერთ ფაქტორიანი, რომელშიც დამოუკიდებელი ფაქტორი (x) არის ბეტონის ნიმუშის ასაკი (დღე), ხოლო დამოკიდებული ფაქტორი (y) სიმტკიცის ზღვარი. დამოუკიდებელი ფაქტორი იცვლება სამ დონეზე ($n=3$), თითოეულ დონეზე პარალელური გაზომვების რაოდენობა ტოლია 3-ის ($m=3$). ცხრილში მოცემულია ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები [3].

ერთ ფაქტორიანი რეგრესიის მოდელის შედგენისათვის საჭიროა გადავჭრათ შემდეგი საკითხები.

ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები

J I	ნიმუშის ასაკი X_i	y_{ij}			$\sum_{j=1}^3 y_{ij}$	y_i	σ_i^2	$\hat{y}_i$ (k=1)	$\hat{y}_i$ (k=2)
		1	2	3					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7	137	139,6	138,7	415,3	138,4	1,745	176,15	138.419
2	14	275,5	278,5	276,4	830,4	276,8	2,37	220,25	276.77
3	28	290	290,7	287,85	868,55	289,5	2,206	308,45	289.74

დავადგინოთ, ახდენს თუ არა x ფაქტორი გავლენას y ფაქტორზე. ამისათვის განვსაზღვროთ y ფაქტორის საშუალო მნიშვნელობები დამოუკიდებელი ფაქტორის თითოეული დონისათვის. ვისარგებლოთ ფორმულით:

$$\bar{y}_i = \frac{\sum_{j=1}^3 y_{ij}}{m}; \quad i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

შესაბამისი რიცხვითი მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილი 1-ის მე-7 სვეტში. გავიანგარიშოთ დისპერსიის მნიშვნელობა x ფაქტორის თითოეული დონისათვის [4].

$$\sigma_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{m-1}; \quad i = 1, 2, 3 \quad (2)$$

საშუალო დისპერსია ტოლია:

$$\sigma_0^2 = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 \sigma_j^2 = 2,107 \quad (3)$$

განვსაზღვროთ, x ფაქტორის დონის ცვლილების დისპერსიის მნიშვნელობა, ამისათვის ვისარგებლოთ, ფორმულით [4].

$$\sigma_x^2 = \frac{m}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - \bar{y})^2 \quad (4)$$

სადაც $\bar{y}$ საშუალო მნიშვნელობაა მთლიანი შერჩევისათვის მი დაკვირვებებიდან:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{y}_i = 234,9 \quad (5)$$

$\bar{y}$ რიცხვითი მნიშვნელობის გათვალისწინებით (4) ფორმულაში მივიღებთ $\sigma_x^2 = 21073,5$. როგორც გაანგარიშებები აჩვენებენ, σ_0^2 და σ_x^2 მნიშვნელოვნად განსხვავდება ერთმანეთისაგან. ამიტომ, x ფაქტორი ახდენს გავლენას y ფაქტორზე. მაშასადამე, ნიმუშის ასაკი ახდენს გავლენას ნიმუშის სიმტკიცეზე.

ფიშერის კრიტერიუმით:

$$F = \frac{\sigma_x^2}{\sigma_0^2} = \frac{21073,53}{2,107} = 10002 > F_{1-\alpha}$$

სადაც: $F_{1-\alpha}$ აიღება ცხრილებიდან საიმედოობის ალბათობის $P=0,95$ $n(m-1)$ მნიშვნელობებისათვის [5] $F_{1-\alpha}(P=0,95, n(m-1)) = 19$.

შევადგინოთ რეგრესიის განტოლება. შევირჩიოთ, წრფივი რეგრესიის განტოლებით, რომელიც შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგი სახით [5]

$$y - m_y = \frac{K_{xy}}{D_x}(x - m_x) \quad (6)$$

სადაც:

$$m_x = \frac{1}{3}(7+14+28) = 16,3 \quad m_y = \frac{1}{3}(138,4+276,8+289,5) = 234,9$$

$$D_x = \frac{1}{3}[(16,3-7)^2 + (16,3-14)^2 + (16,3-28)^2] = 76,223$$

$$K_{xy} = \frac{1}{2}[(7-16,3) \cdot (138,4-234,9) + (14-16,3) \cdot (276,8-234,9) + (28-16,3) \cdot (289,5-234,9)] \approx 480$$

თუ გავითვალისწინებთ მიღებულ მნიშვნელობებს (6) ფორმულაში მივიღებთ რეგრესიის განტოლებას.

$$y = 6,3x + 132,05 \quad (7)$$

შევამოწმებთ წრფივი რეგრესიის (7) განტოლება ადეკვატურობაზე. ამისათვის საჭიროა გავიანგარიშოთ ადეკვატურობის დისპერსია.

(4) ფორმულის გამოყენებით გვაქვს:

$$\sigma_{\text{დეკ}}^2 = \frac{3}{2} \sum_{i=1}^3 (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2 \quad (8)$$

სადაც, $\hat{y}_i$ არის რეგრესიის (7) განტოლებით განსაზღვრული მნიშვნელობები x ფაქტორის თითოეული დონისათვის, რომელიც მოცემულია ცხრილის მე-9 სვეტში ($k=1$)

$$\sigma_{\text{დეკ}}^2 = \frac{3}{2}[(138,4-176,15)^2 + (276,8-220,25)^2 + (289,5-308,45)^2] = 7471,6$$

$$\text{ფიშერის კრიტერიუმით } F = \frac{\sigma_{\text{დეკ}}^2}{\sigma_0^2} = \frac{7471,6}{2,107} = 3546 > F_{1-\alpha}. \text{ აქედან გამომდინარე}$$

წრფივი რეგრესიის (7) განტოლება არაა ადეკვატურია, ე.ი. არა ადეკვატურად აღწერს ექსპერტულ მონაცემებს და არ გამოდგება.

შემდეგი ეტაპისთვის შევარჩიოთ რეგრესიის კვადრატული განტოლება ($k=2$) სახით:

$$y = b_0 + b_1x + b_2x^2 \quad (9)$$

Mathcad-ის ჩაშენებული ფუნქციებით [6] გაანგარიშებული იქნა რეგრესიის კოეფიციენტები. ცხრილში მოცემული მნიშვნელობისათვის რეგრესიის კოეფიციენტები ტოლია:

$$b_0 = -88,33; \quad b_1 = 38,636; \quad b_2 = -0,898$$

შესაბამისად, რეგრესიის კვადრატულ განტოლებას აქვს შემდეგი სახე:

$$\hat{y} = -0,898x^2 + 38,636x - 88,33 \quad (10)$$

შევამოწმოთ რეგრესიის კვადრატული განტოლება ადეკვატურობაზე. ამისათვის გავიანგარიშოთ $\hat{y}_i$ -ის მნიშვნელობები მე-10 განტოლებით x ფაქტორის თითოეული დონისთვის. შედეგები შეტანილია ცხრილის მე-10 სვეტში ($k=2$).

გავიანგარიშოთ ადეკვატურობის დისპერსია (8) ფორმულით. მივიღებთ:

$$\sigma_{\text{დეკ}}^2 = \frac{3}{2} \sum_{i=1}^3 (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2 = [(138,4-138,419)^2 + (276,8-276,77)^2 + (289,5-289,74)^2] = 0,088$$

ფიშერის კრიტერიუმით გავიანგარიშოთ F -ის მნიშვნელობა:

$$F = \frac{\sigma_{\text{აღმ}}^2}{\sigma_0^2} = \frac{0,088}{2,107} = 0,042$$

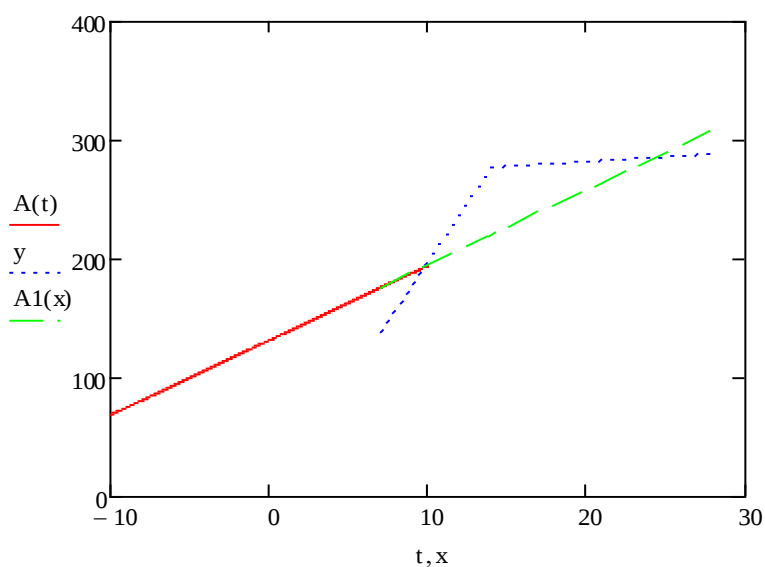
სრულდება პირობა $F < F_{1-\alpha}$. მაშასადამე, (10) რეგრესიის განტოლება აკმაყოფილებს ადეკვატურობის კრიტერიუმს, შესაბამისად ადეკვატურად აღწერს ექსპერიმენტულ შედეგებს.

ნახაზზე ნაჩვენებია რეგრესიის კოეფიციენტების გაანგარიშებები წრფივი (ა) და კვადრატული ფუნქციებისათვის (ბ) Mathcad-ის სისტემის ჩაშენებული ფუნქციებით [6] და მოცემულია რეგრესიის განტოლებების შესაბამისი გრაფიკები.

ნახაზი (ბ)-დან ჩანს, რომ კვადრატული რეგრესიის განტოლება, ფაქტობრივად, ზუსტად აღწერს ექსპერიმენტულ წერტილებს.

$$x := \begin{pmatrix} 7 \\ 14 \\ 28 \end{pmatrix} \quad y := \begin{pmatrix} 138,4 \\ 276,8 \\ 289,5 \end{pmatrix} \quad s := \text{regress}(x, y, k)$$

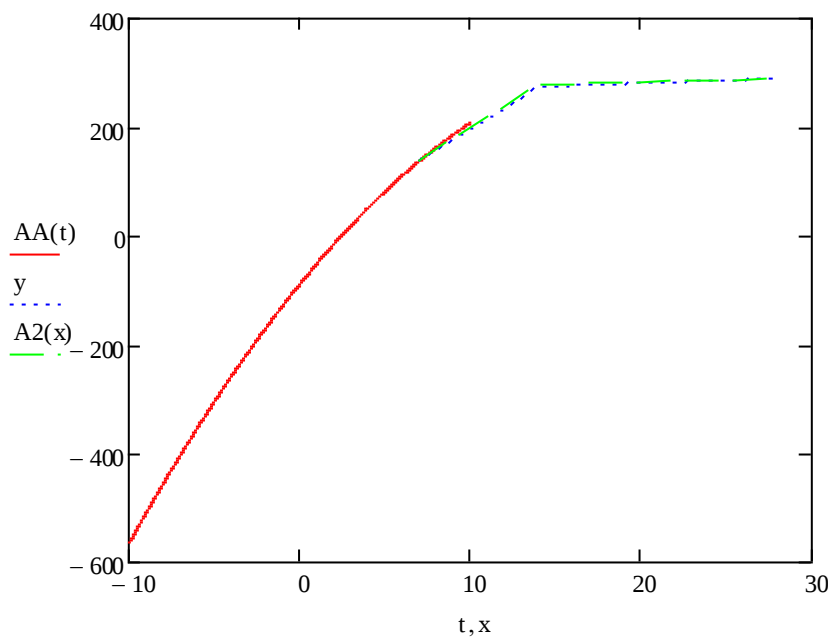
$$A(t) := \text{interp}(s, x, y, t) \quad k := 1 \quad A1(x) := 6,297 \cdot x + 132,05$$



(ა)

$$kk := 2 \quad ss := \text{regress}(x, y, kk)$$

$$ss = \begin{pmatrix} 3 \\ 3 \\ 2 \\ -88.033 \\ 38.636 \\ -0.898 \end{pmatrix} \quad AA(t) := \text{interp}(ss, x, y, t) \quad A2(x) := -0.898x^2 + 38.636x - 88.033$$



(ბ)

განგარიშების შედეგები Mathcad -ის ჩაშენებული ფუნქციებით.

ა) წრფივი რეგრესია, ბ) კვადრატული რეგრესია

დასკვნა: ნიმუშების სიმტკიცის ზღვრის ასაკზე დამოკიდებულება აღიწერება (10) კვადრატული რეგრესიის განტოლებით.

ლიტერატურა

1. Chystiakov2024https://www.researchgate.net/publication/380507742_Use_of_Secondary_Aggregates_for_Concrete_Production
2. მურთაზაევა 2018 <https://www.dissercat.com/content/vysokoprochnye-betony-na-osnove-vtorichnogo-syrya>
3. ცირეკიძე ნ.თ., კიკვიძე ო.გ., ბარათაშვილი მ.პ., ბალანჩივაძე მ.ვ. მეორადი ბეტონის სიმტკიცის მახასიათებლების კვლევა. // საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, 2021, N3, გვ.20-24.
4. ო. კიკვიძე. ექსპერიმენტის დადგენა და ანალიზი. აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 2017 წელი, 198 გვ.
5. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и её инженерные приложения. 2-е изд. -М.: Высшая школа, 2000, 480 с.
6. Кирьянов Д.В. Самоучитель Mathcad 13.- СПб.: БХВ-Петербург, 2006, 528 с.

SUMMARY

DETERMINING THE REGRESSION EQUATION IN THE STUDY OF SECONDARY CONCRETE STRENGTH

Kikvidze O.G., Tsirekidze N.T., Geradze P.T. and Baratashvili M.P.

Akaki Tsereteli State University, Kutaisi

This paper presents the results of testing secondary concrete samples under compression. A dispersive and regression analysis of the experimental data was conducted, and a non-linear regression equation was derived, which correlates the strength limit of the samples with their age. Numerical calculations were performed using the built-in functions of Mathcad.

Keywords: strength limit, secondary concrete, regression equation.

კბილანებიანი მუშტა გადაცემები

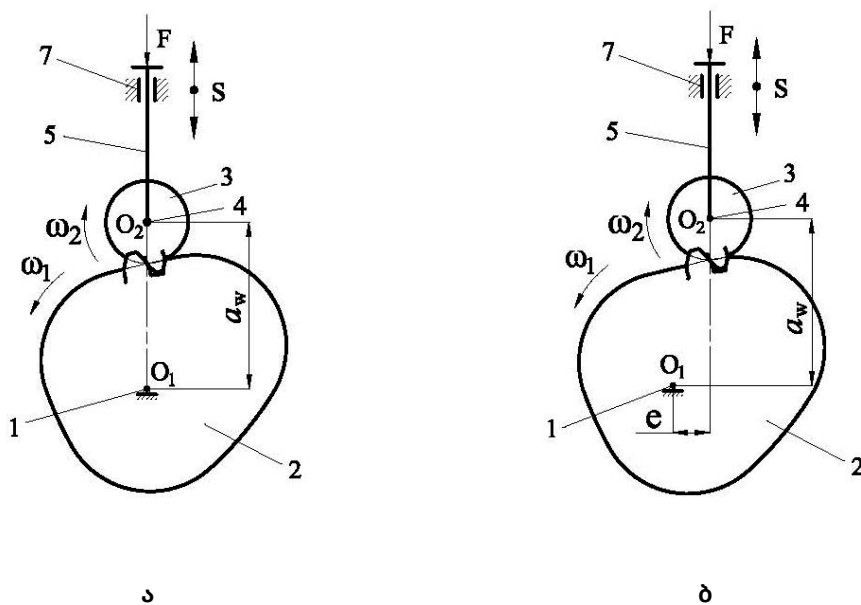
კახიანი მ.რ., ბერიძე თ.რ., ნოზაძე ნ.ი.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

საქართველოს საინჟინრო აკადემია

მანქანა-დანადგარების მუშაობის ხანგამძლეობა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული მისი შემადგენელი დეტალების და კვანძების ცვეთამდეგობაზე და გადაცემათა დინამიკურ მაჩვენებლებზე [2]. მუშტა გადაცემის წყვილში წარმოქმნილი ცვეთა და შედეგად დეტალის ზედაპირიდან მასალის ამოფხვანა ახდენს მნიშვნელოვან გავლენას მანქანა-ავტომატების მუშა ორგანოების მოცემული კანონით მუშაობის სიზუსტეზე. ამავე დროს მუშტის საწყისი რადიუსის შემცირება კონტაქტის ზონაში იწვევს კუთხისებურად მიმართული დაწნევის ზრდას [3]. აღნიშნულთან ერთად იზრდება მექანიზმის რგოლებზე მოქმედი ძალები, მცირდება მექანიზმის მარგი ქმედების კოეფიციენტი და ჩნდება ჩაჭდვის განვითარების შესაძლებლობა ანუ არანაირ ძალას არ შეეძლება წამყვანი რგოლიდან (მუშტადან) მიმყოლი რგოლის (საბიძგელას) ადგილიდან დაძვრა. ამის თავიდან ასაცილებლად შესაძლებელია მანქანა-ავტომატებში გამოვიყენოთ კბილანებიანი მუშტა გადაცემები[1].

ბრტყელი კბილანებიანი ცენტრალური და დეზაქსიალური(არაცენტრალური) მუშტა მექანიზმები (სურ. 1, ა, ბ), რომლებიც შედგება ბრტყელი არამრგვალი ცილინდრული კბილათვალისაგან (2) და მრგვალი ცილინდრული კბილანისაგან (3), შეიძლება გამოვიყენოთ მუშტების ბრუნვითი მოძრაობის გარდასაქმნელად საბიძგელას (5) წინსვლით-უკუსვლით მოძრაობად.

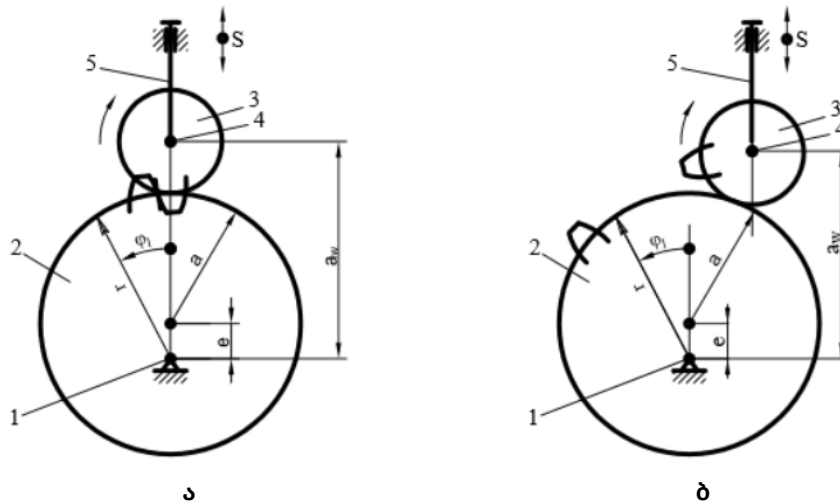


სურ. 1. ბრტყელი კბილანებიანი მუშტა მექანიზმი

ა)ცენტრალური; ბ)დეზაქსიალური

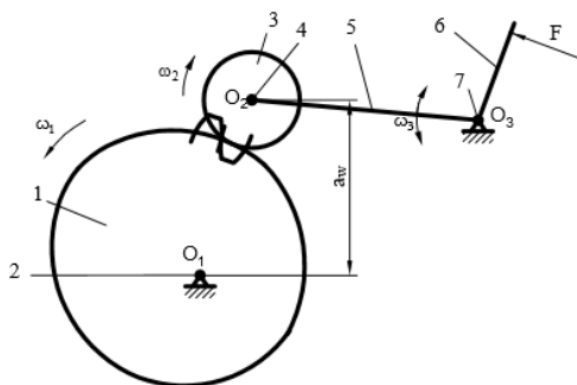
ბრტყელი კბილანებიანი ცენტრალური და დეზაქსიალური(არაცენტრალური) მუშტა მექანიზმები (სურ. 2, ა, ბ), რომლებიც შედგება ბრტყელი მრგვალი ექსცენტრული ცი-

ლინდრული კბილათვალისაგან (2) და მრგვალი ცილინდრული კბილანისაგან (3), შეიძლება გამოვიყენოთ მუშტების ბრუნვითი მოძრაობის გარდასაქმნელად საბიძგელას (5) წინსვლით-უკუსვლით მოძრაობად.

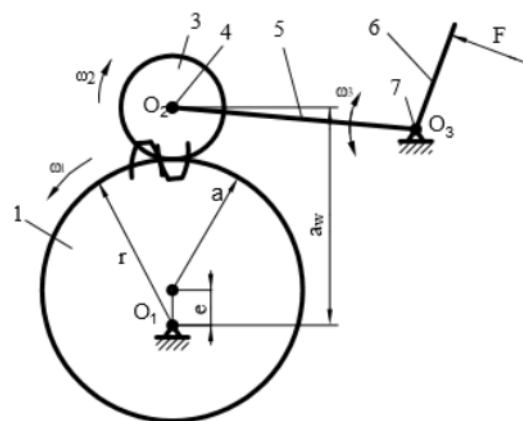


სურ.2. ბრტყელი ექსცენტრულკბილანებიანი მუშტა მექანიზმი
ა)ცენტრალური; ბ)დეზაქსიალური

ბრტყელი მუშტა მექანიზმები, რომლებიც შედგებიან არამრგვალი ცილინდრული კბილანებისაგან (1) (სურ. 3) ან ექსცენტრული კბილანებისაგან (1) (სურ. 4) და მრგვალი ცილინდრული კბილანისაგან (3), შეგვიძლია გამოვიყენოთ მუშტების 1 ბრუნვითი მოძრაობის გარდასაქმნელად მხრეულის (6) რხევით მოძრაობად.

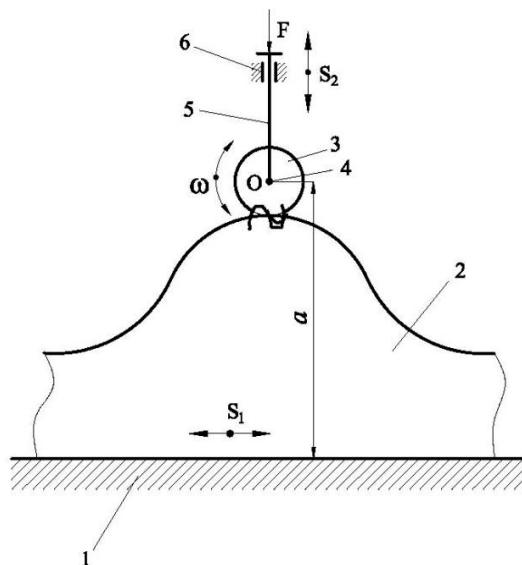


სურ.3. ბრტყელი მუშტა მექანიზმები
არამრგვალი ცილინდრული კბილანებით



სურ.4. ბრტყელი მუშტა მექანიზმები
ექსცენტრული კბილანებით

ბრტყელი მუშტა მექანიზმი, რომელიც შედგება ლარტყასაგან (2) და საბიძგელასაგან (5) (სურ. 5), შეიძლება გამოყენებულ იქნას ლარტყას (2) წინსვლით უკუსვლითი მოძრაობის გარდასაქმნელად საბიძგელას (5) წინსვლით-უკუსვლით მოძრაობად ლარტყის პროფილის შესაბამისი კანონით.



სურ.5. ბრტყელი კბილანებიანი მუშტა მექანიზმი ლარტყით და საბიძგელათი

იმ შემთხვევაში, როდესაც კბილანებიანი მუშტას ცენტროიდა ელიფსის წარმოდგენს (სურ.5), საბიძგელას გადაადგილება ზედა კიდურა მდებარეობიდან განისაზღვრება დამოკიდებულებით

$$S = \frac{a(1-e)}{1+e\cos\varphi_1},$$

სადაც: a – ელიფსის დიდი ნახევრადღერძის სიგრძე; e – ელიფსის ექსცენტრისიტეტი; φ_1 – მუშტას მობრუნების კუთხე.

მრგვალი ექსცენტრული კბილანისას (სურ. 2,ა) საბიძგელას გადაადგილება იანგარიშება

$$S = \sqrt{a^2 - e^2 \sin^2 \varphi_1} - e \cos \varphi_1$$

სადაც: a – წრის რადიუსია; e – კბილანის ექსცენტრისიტეტი; φ_1 – კბილანის მობრუნების კუთხეა.

მანქანა-დანადგარების შემადგენელი გადაცემების დახვეწა და გაუმჯობესება მნიშვნელოვნად უშლის ხელს გადაცემათა შემადგენელი დეტალების ცვეთას და ხელს უწყობს დინამიკური პროცესების შემცირებას; აქედან გამომდინარე მანქანების და მისი შემადგენელი ნაწილების ხანგამძლეობის გაზრდას და მათ ეფექტურ მუშაობას.

ლიტერატურა

1. Р.Ш. Варсимашвили. Зубчатые передачи с переменным передаточным отношением. –Тбилиси, Технический университет, 2015, ISBN 978-9941-20-579-8.
2. В.В. Лоцманенко. Кулачковые механизмы. -Владивосток, 2000. УДК 621.83.
3. Book 2023, Principles of Engineering Tribology. Ahmed Abdelbary, Li Chang. ISBN 978-0-323-99115-5.

SUMMARY

TOOTHED CAM-FOLLOWERS

Kakhiani M.R., Beridze T.R. and Nozadze N.I.

Georgian Technical University

Georgian Academy of Engineering

The durability of machinery and equipment depends significantly on the wear resistance of its component parts and assemblies. The wear and tear in the gear pair and the resulting removal of material from the surface of the part have a significant impact on the accuracy of the working bodies of automatic machines, according to this law. To avoid this, it is possible to use toothed gears in automatic machines.

Keywords: tooth, gears, cam, follower, teeth.

სივრცითი დაგეგმარება და ახალი მიდგომები

გვენცაძე ნ.ა.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

21 საუკუნეში საგრძნობლად გაიზარდა ბუნების გადამწყვეტი როლის გაცნობიერება ადამიანის სიცოცხლისა და კეთილდღეობის შენარჩუნებაში. ახალი გამოწვევების საპასუხოდ მსოფლიოს ბევრი წარმატებული ქვეყნის მთავრობებმა და გადაწყვეტილების მიმღებებმა პირებმა აიღეს ვალდებულებები დედამიწის ეკოსისტემების დასაცავად, რათა ხელი შეუწყონ ჩვენს მდგრად მომავალს. პლანეტის უმდიდრესი ეკოსისტემები ჯერ კიდევ ინარჩუნებენ უამრავ უნიკალური სახეობას და წარმოადგენენ საფუძველს ადამიანების ჯანმრთელობისა და კეთილდღეობისთვის. მისი რესურსის მეშვეობით ეძლევა სიცოცხლე 8 მილიარდ მაცხოვრებელს დედამიწაზე. თუმცა, კაცობრიობის მიერ მათი მუდმივად გადაჭარბებული გამოყენება და არასწორი მართვა მოკლევადიანი მიღწევებისთვის, გრძელვადიან გავლენას ახდენს პლანეტარული უსაფრთხოების ქსელზე. შეცვლილი კლიმატი და დაკარგული ბიომრავალფეროვნება ართულებს ადეკვატური საკვების და წყლის უზრუნველყოფას, სტიქიური უბედურებებისგან დაცვას და მომავალი თაობებისთვის მდგრადობის შენარჩუნებას. ზემოთხსენებული ვალდებულებებიდან ერთერთი მთავარია საარსებო გარემოს და სივრცის იმგვარი დაგეგმარება და მართვა, რომელიც ნაკლებად დააზიანებს და დაბალანსებულად განავითარებს მას.

სივრცითი განვითარება, როგორც პროცესი, ფოკუსირებულია გადაწყვეტილებებზე და აქტივობებზე, რომლებიც დაკავშირებულია მიწათსარგებლობის კოორდინაციასა და სივრცით განაწილებასთან. კონცეფტუალურად სივრცითი დაგეგმარების სისტემა წარმოადგენს ტერიტორიული მმართველობის მოწყობას, რომელიც ცდილობს კონკრეტულ ადგილებში სივრცითი განვითარების პირობების დადგენა-ჩამოყალიბებას. სივრცითი მოწყობის ერთ-ერთი მთავარ მიზანია ადამიანის მიერ შესრულებული სამუშაოების ასახვა სივრცეში, რომლის ეფექტურად აღსრულებისთვის აუცილებელია სხვადასხვა პროფესიულ დარგებს შორის მჭიდრო თანამშრომლობა. დაგეგმვა და დაგეგმარება არის ინსტრუმენტები, რომელიც ასახავს საზოგადოების ისტორიას, თუ როგორ მუშაობს მისი წარსული, აწმყო და მომავალი ერთად მდგრადი ხვალისდელი დღისთვის. სივრცითი მოწყობის შინაარსის აღქმა თეორიულად ბევრად მარტივია. მაგრამ როდესაც საქმე ეხება სივრცის განვითარების პრაქტიკას, სივრცითი დაგეგმარების მომგებიანი შედეგების მიღწევა უკვე მნიშვნელოვანი გამოწვევა ხდება. ჯერ კიდევ იშვიათია დაგეგმვის დადებითი შედეგების რეალურ სამყაროში განხორციელება, სადაც რთული არჩევანი უნდა გაკეთდეს მომგებიანი ღირებულებების საზიანოდ.

სივრცითი დაგეგმარება ეს არის განვითარების დაგეგმვა და მოიცავს არსებით ცვლილებებს და პასუხობს კითხვებზე, თუ რა უნდა განხორციელდეს, რამდენად არსებითია ეს ცვლილებები არსებულ სიტუაციასთან მიმართებაში. ახდენს საჭიროებების და პრობლემების იდენტიფიცირებას და მათი გადაჭრის გზების შესაძლო გადაწყვეტილებებს. ეს გადაწყვეტილებები უნდა გაანალიზდეს და შეფასდეს სავალდებულო გადაწყვეტილებების მიღებამდე და მათ განხორციელებაში ჩართვამდე. ჩართული მხარეების მიერ გარემოებების და ალტერნატივების განხილვის შედეგად, გადაწყვეტილებები მიიღება უფრო რაციონალურად, საერთო სოციალური, ეკოლოგიური, კულტურული და ეკონომიკური ღირებულებების გათვალისწინებით და არა მეცნიერული დაგეგმვით.

ევროპის ქვეყნების სივრცითი მოწყობის მაგალითებზე, (კვლევები ჩატარდა 2017 წლიდან 2020 წლამდე) ჩატარებულმა კვლევებმა დაადაგინა, რომ დაგეგმვის პროცესი უნდა დაეფუძნოს შეფასებულ ღირებულებებს (VLP), გარემოს დაცვისა და ახალი განვითარების

ინტერესების დაბალანსების გათვალისწინებით. კვლევებმა გამოავლინა საინტერესო ტენდენციები და მიმართულებები სივრცითი დაგეგმარების სისტემების და ტერიტორიული მმართველობის ევოლუციაში. ამასთან, აჩვენა ახალი ტიპოლოგიების შემუშავების ვერსიებიც. ყოველივე ეს გახდა საფუძველი, ევროკავშირის პოლიტიკის გადახედვის და ეროვნული სივრცითი დაგეგმარება და ტერიტორიული მმართველობა, ფოკუსირდა ურთიერთშორის სინერგიებსა და წინააღმდეგობებზე. ევროკავშირის თანმიმდევრულ პოლიტიკასა და სივრცითი დაგეგმარების პრაქტიკას შორის ჯვარედინი თანამშრომლობა გახდა და რჩება ევროპის ქვეყნებში დაგეგმვის დღის წესრიგში მთავარი არსი [1].

სხვადასხვა მაგალითების შესწავლამ აჩვენა, რომ სივრცის დაგეგმარებისთვის ისეთი მეთოდოლოგიის შექმნაა საჭირო, რომელიც უზრუნველყოფს არსებული სივრცის დაგეგმვასა და განვითარების განხორციელების სტრატეგიების მიწის მენეჯმენტის პრაქტიკაში დანერგვას და რომელიც გაადვილებს სახელმძღვანელო რეკომენდაციების აღსრულებას. აპრობირებული და საუკეთესო მეთოდოლოგიური მიდგომები, რომელიც წარმოადგენს ძირითადი კვლევის შედეგების სინთეზს, ბევრ შემთხვევაში შემდეგნაირია:

1. ღირებულებებზე დაფუძნებული მიდგომების თეორიული გაგების უზრუნველყოფა;

2. სივრცითი დაგეგმვის პროცესის ორგანიზებისა და თავისებურებების შესწავლა და დაგეგმარების პროცესში დაინტერესებული მხარეების ჩართვის საუკეთესო გზების იდენტიფიცირება;

3. დაგეგმვის გარემოს და მონაწილეთა საერთო ღირებულებების ანალიზი და მათი ტიპოლოგიის შეფასების მეთოდები, მათ შორის ღირებულების გამომწვევი ფაქტორების შეფასება;

4. ღირებულებებზე დაფუძნებული მიდგომების სინთეზიდან გამომდინარე სივრცითი დაგეგმარების პროცესში მონაწილეთა ორგანიზაციული მახასიათებლებისა და საერთო ღირებულებების ჩათვლით, მეთოდოლოგიურ ჩარჩოს შემუშავება;

აღნიშნული მეთოდოლოგიური მიდგომის პირველი სამი ვერსია, ეფუძნება ცოდნის გენერირების სამ საფეხურს: ა) თეორიული ორიენტაციის გაგება; ბ) ინსტიტუციური საკითხები და საქმეები; გ) დაგეგმვისას იმ ღირებულებების გათვალისწინება, რამაც გამოიწვია შედეგი – ღირებულებულებებზე დაფუძნებული (VLP) მიდგომის მეთოდოლოგია სივრცითი განვითარებისადმი.

მეოთხე ვერსია, ფასეულობებით, იგივე ღირებულობებით, განპირობებული მიდგომები სივრცითი დაგეგმარებაში გულისხმობს იმას, თუ როგორ ახორციელებენ გადაწყვეტილებებს და აქტივობებს ისინი, ვისაც ევალება ლიდერობა ცხოვრების ნებისმიერ სექტორში ან დისციპლინაში. გადაწყვეტილებები და აქტივობები, ასევე დაკავშირებულია დაგეგმვასთან, რომელიც მოიცავს სხვადასხვა ურთიერთ-დაკავშირებული ან/და იზოლირებული გადაწყვეტილებებისა და აქტივობების კოორდინაციას დასახული მიზნების მისაღწევად.

ინტეგრირებული სივრცითი დაგეგმარების საშუალებით, ქვეყნებს შეუძლიათ შექმნან მომავლის საერთო ხედვა და განსაზღვრონ, პოლიტიკური მიზნების პარალელურად, სად და როგორ მიიღონ მრავალმხრივი ზომები ეროვნული პრიორიტეტის მისაღწევად. მიუხედავად იმისა რომ, ბევრი ქვეყანა აქვს მცდელობა, შეინაჩუნოს პლანეტაზე ბიომრავალფეროვნება და მგრადობა და ამისთვის სხვადასხვა გზებით იბრძვის, მაინც არ დგება სასურველი შედეგი. პრობლემას მიზნების მისაღწევად წარმოადგენს სივრცითი მონაცემების და ინსტრუმენტების ნაკლებობა, არადა მათი სრულფასოვანი ბაზის არსებობის შემთხვევაში, მდგომარეობის მონიტორინგი და გადაწყვეტილების მიღება უფრო სამართლიანი და მარტივი იქნება.

სივრცითი დაგეგმარების თვალსაზრისით, დამეგმავები ყოველთვის მოქმედებდნენ ღირებულებებით ან აცნობიერებდნენ მათ საჭიროებას თავიანთ საქმიანობაში. სწორედ ამიტომ, დაგეგმვა უნდა განხორციელდეს ადამიანებთან დაკავშირებული ღირებულებების სხვადასხვა ნაკრებით. ყველა სახის დაგეგმვა – იქნება ეს მიწის/სივრცითი დაგეგმარება,

ბუნებრივი თუ ადამიანური რესურსების დაგეგმვა – ყველა ადამიანის საქმიანობაა და ურთიერთდაკავშირებულია. ასევე ჭეშმარიტებაა, რადგანაც დაგეგმვა ეხება ადამიანებს, მისი ღონისძიებების განხორციელება ან აუმჯობესებს ან აუარესებს მათ საცხოვრებელ პირობებს. ღირებულებები არის ნებისმიერი დაგეგმვის პროცესის ბირთვი, შესაბამისად ძალიან მნიშვნელოვანია მათგან გამოწვეული მიდგომების დაკავშირება დაგეგმვასთან სივრცითი პერსპექტივიდან.

რას გულისხმობს ღირებულებებით მართული მიდგომები სივრცის დაგეგმვასა და განვითარებაში?

VLP მიდგომის დანერგვა, რომელიც დაფუძნებულია დაინტერესებული მხარეების გამოცდილებასა და ემპირიული მონაცემების კონსოლიდირებულ ახალ ცოდნებზე, გვეხმარება უკეთესად იქნას გაგებული და წარმართული შესაბამისი პროცესები და მათი შედეგები კონკრეტულ ტერიტორიებზე, გამოვლენილი ღირებულებების და დამოკიდებულებების საფუძველზე. თავიდან იქნება აცილებული ისეთი პრობლემები როგორიცაა: დაუგეგმავი ურბანული გავრცელება, გარემო/ლანდშაფტის ფრაგმენტაცია და დაზიანება, არათანაბრად დასახლებული ტერიტორიები, გადახდისუუნარო ტერიტორიები და ა.შ. შემოთავაზებული მიდგომა მიგვიყვანს როგორც, მიწათსარგებლობის რეგიონული და ადგილობრივი პოლიტიკის, ისე ტერიტორიული მმართველობის გაუმჯობესებამდე, უფრო ინკლუზიური და მდგრადი ტერიტორიების განვითარებაზე, ბიზნესის, საზოგადოებისა და ბუნების სასარგებლოდ.

VLP მიდგომის არგუმენტები, რომელიც იძლევა ახალი მეთოდოლოგიის შექმნის და მისი განხორციელების გზებს, ასახავს კულტურისა და დაგეგმვის სისტემების ევოლუციას. ამის კარგი მაგალითია აფრიკაში ებოლას პანდემიის დროს საზოგადოების მიერ გადაფასებული ღირებულებები. მათ შეცვალეს კულტურული ფესტივალების, დაკრძალვის ცერემონიალების თუ სხვა სადღესასწაულო პრაქტიკა, რაც დაუცველს ხდიდა მათ პანდემიის მიმართ. შესაბამისად, დააყენეს მოთხოვნა, აღნიშნული საზოგადოებრივი ჯანმრთელობის ღირებულებების გადაფასებები ასახულიყო დაგეგმვის დოკუმენტაციაში. ყველასთვის ცნობილია როგორი რადიკალური ცვლილებები მოხდა COVID-19-ის (კორონავირუსის პანდემია) პერიოდში. ცხოვრებისეული ყოფა საერთოდ შეიცვალა. განსაკუთრებით ეს გამოვლინდა საჯარო და საზოგადოებრივი თავშეყრის ადგილების მიმართ. მაგალითად, თუნდაც ერთი ცვლილება – ფიზიკური/სოციალური დისტანცირების პრაქტიკა საჯარო სივრცეებში, არის ღირებულებებთან დაკავშირებული დაგეგმვის საკითხი, რომელიც მოითხოვს ინტეგრაციას სივრცის დაგეგმარებაში.

ახალი მიდგომებით, დაგეგმვა-დაგეგმარებაში გასათვალისწინებელია ყველა ის ფაქტორი, რომელიც დაკავშირებულია კულტურულ, ინსტიტუციურ, ეთიკურ ან იდეოლოგიურ (ან ფილოსოფიურ) ღირებულებების განცდასთან და რომელიც აყალიბებს ადამიანების ცხოვრების წესს. ღირებულებები ასევე შეიძლება გამოიხატოს იმაში, თუ როგორ განიხილავენ ადამიანები ბუნებასთან და სხვებთან ურთიერთობის მიზანშეწონილობას, მათ შორის ქმედებებსა და ჩვევებს, რომლებიც ხელს უწყობენ კარგ ცხოვრებას. ღირებულებები ურთიერთკავშირშია, რადგანაც, ეფუძნებიან ცხოვრების პრინციპებს. ისინი ასევე, შეიძლება გამოვლინდეს ადგილებზე დაფუძნებულ ურთიერთობებში ან ადგილის განცდაში. ამიტომ დაგეგმვის სისტემა, რომელიც მუშაობს არსებული საცხოვრებელი პირობებისა და საარსებო საშუალებების გასაუმჯობესებლად, მოითხოვს დაგეგმვის მიდგომას, რომელიც ითვალისწინებს ღირებულებებს (სოციალური, ეკონომიკური თუ გარემოსდაცვითი) და მათ გავლენას კონკრეტულ სფეროებზე. სწორედ ამიტომ, VLP მიდგომა გადამწყვეტია სინერგიების იდენტიფიცირებისთვის, რომლებიც გაზრდის დაბალანსებულ სოციალურ-ეკონომიკურ და გარემოზე ზემოქმედების შემცირებას და მმართველობის გაუმჯობესებას დასახლებებში.

როგორც უკვე ავღნიშნეთ, სივრცითი დაგეგმარება არის „მრავალმხრივი და უაღრესად კომპლექსური აქტივობა, ჩართული კონკრეტულ კულტურულ კონტექსტში, რომელიც შედგება ჩართულ აქტორებს შორის ინტერაქტიული პროცესებისგან, მათი კულტურული

შემეცნებითი ჩარჩოებისგან და კონკრეტული სოციალური კონტექსტებისგან. ღირებულებები, რომლებიც წარმოიქმნება კულტურიდან, გავლენას ახდენს ადამიანების ზრახვებზე, ცხოვრების წესზე, ადგილის გრძნობაზე, პრაქტიკებზე, ნორმებსა და წესებზე.

ღირებულებები, გარდა იმისა, რომ რწმენის სისტემების ან კულტურის ერთობლიობაა, არის ძირითადი ინსტრუმენტები დაგეგმვის პროცესში შეხედულებების გამოხატვის, ინტერპრეტაციისა და გაგებისთვის. ისინი, ასევე წარმოადგენენ დაგეგმვის გამოცდილების ძირითად ნაწილს კონცეფციიდან შედეგამდე და მის მონიტორინგამდე.

სივრცობრივად განაწილებული ღირებულებები არის ის ღირებულებები, რომლებიც შეიძლება აღიარებულ იქნეს როგორც ეკოსისტემებით, ასევე ადამიანის მიერ შექმნილი წარმონაქმნებით. ეკოსისტემები, მაგალითად, სასოფლო-სამეურნეო და სატყეო მიწები და ეკოლოგიური ლანდშაფტები, ბუნებრივი კაპიტალის არსებითი ნაწილია. მათი ხარისხი გარემოს სიცოცხლისუნარიანობის საფუძველია. თუმცა, ადამიანის გავლენა ეკოსისტემებზე საგრძნობია. ეკოსისტემები ადამიანებს აწვდიან სერვისებს, რომლებიც რელევანტურია გადარჩენისთვის, ჯანმრთელობისთვის და კეთილდღეობისთვის/კულტურისთვის. ადამიანის მიერ შექმნილი წარმონაქმნები (სერვისები, რომელიც რელევანტურია-საცხოვრებელის, სამუშაო და დასვენების ადგილების შესაქმნელად), მაგალითად, განვითარება, გაუმჯობესება და კომუნალური საქმიანობა, მის მიერ შექმნილი კაპიტალის არსებითი ნაწილია, რომლის ხარისხი სოციალურ-ეკონომიკური თანასწორობის საფუძველია.

საზოგადოების მონაწილეობა და დაინტერესებული მხარეების ჩართულობა ინტეგრირებულია სივრცითი დაგეგმარების პროცესში ევროპის ყველა ქვეყანაში. თუმცა, ეს პროცესი განსხვავებულია სხვადასხვა ქვეყანაში და თუნდაც ერთი და იგივე ქვეყნის რეგიონებსა თუ მუნიციპალიტეტებში. განსხვავება, ასევე ვლინდება კონკრეტული დაგეგმვის პრაქტიკის პირობებში.

მონაწილეობის კონცეფცია მოიცავს სივრცითი დაგეგმვა-დაგეგმარების იდეებისა და მიდგომების განხილვებს და დისკუსიებს, შეთანხმებებს და კონფლიქტიდან/უთანხმოებიდან კონსენსუსის მიღწევებს. საზოგადოების მონაწილეობა დაგეგმვისას ღირებულებების საკითხად უნდა ჩაითვალოს. მაგალითად, გერმანიის შემთხვევაში, მონაწილეობა განიხილება, როგორც კულტურული ღირებულება, რომელიც მხედველობაში უნდა იქნას მიღებული ნებისმიერი დაგეგმვის პროცესში. თანამშრომლობის ნდობა, კოლექტიური მოქმედების პრობლემების გადაჭრისა და ეფექტური დემოკრატიული მმართველობის წინაპირობაა. ნდობა სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანია მონაწილეთა რწმენისთვის. მისი მოპოვება და შენარჩუნება ძალიან რთულია, რადგანაც მჭიდრო კავშირშია რისკთან, ძალასთან და თანამედროვეობასთან. თუმცა, ისევ და ისევ მოქალაქეთა ჩართულობა არის კრიტიკული პროცესი, კომუნიკაციის, ინფორმირებული დებატებისა და ნდობის აღდგენის პრაქტიკის გასაუმჯობესებლად. სათათბირო დაგეგმვის მეთოდი, როგორც მონაწილეობითი დაგეგმვისა და ურბანული დაგეგმარების თეორიის ფორმა, ყურადღებას ამახვილებს საზოგადოების ჩართულობაზე სივრცითი დაგეგმარებისა და მართვის პროცესებში. ის მოიცავს ყველა თვალსაზრისს გადაწყვეტილების მიღების პროცესში და აერთიანებს მათ ყველას ერთ ხედვაში, განსხვავებით მონაწილეობითი დაგეგმვისგან, რომელის დროსაც, სავარაუდოდ შედეგით მოტივირებულები ირჩევენ ხედვას, რომელიც ეფუძნება საფუძვლიან მტკიცებულებებსა და არგუმენტებს. სათათბირო დემოკრატია უზრუნველყოფს სივრცის დაგეგმვის პრინციპებს. ყველაზე მნიშვნელოვანი ის არის, რომ გამოვლინდეს მომგებიანი პირობები და თანამშრომლობის კონკრეტული ფორმები, რომლებიც უზრუნველყოფენ საუკეთესო შედეგს და მნიშვნელოვნად შეუწყობს ხელს გადაწყვეტილების მიღების პროცესს.

მეთოდოლოგიის შემუშავების კვლევა აღიარებს, რომ პრობლემის სტრუქტურირების მეთოდები (PSM) მისაღებია ღირებულებების სტრუქტურირებისთვის და დამგეგმავებისა და დაინტერესებული მხარეების დასახმარებლად. მიზნებისა და ამოცანების შეფასების

კრიტიკურობად ჩართვა და ამ კრიტიკურობებისთვის მინიჭებული წონა არეგულირებს ხარჯ-სარგებლის ანალიზის (CBA) რაოდენობრივ ჩარჩოს, რათა მოერგოს დაგეგმვის საჭიროებებს.

PSM არის მეთოდების ალტერნატიული ნაკრები, რომელიც შემუშავებულია ისეთი პრობლემების გადასაჭრელად და სიტუაციების მოსაგვარებლად, სადაც არ არსებობს ერთიანი მიზანი და სადაც საკითხები სადაოა.

მეთოდოლოგიის შემუშავება აღიარებს, რომ სივრცის განვითარებისთვის, უნდა არსებობდეს ღირებულებების ჩამოყალიბებისთვის ხელსაყრელი დაგეგმვის გარემო. დაგეგმვის გარემო მოიცავს პირობებს, რომლებიც ხელს უწყობს დაგეგმვის პროცესს. მაგალითად, კანონები, პოლიტიკა, პროფესიული ეთიკა, ადამიანის ქცევა, პოტენციალი და სხვა. დაგეგმარების გარემომ ფუნდამენტური როლი უნდა შეასრულოს გეოგრაფიულ რეგიონებში, იურიდიულ იურისდიქციებში ან ადმინისტრაციულ საზღვრებში სივრცითი დაგეგმარების პრაქტიკის ბუნების ჩამოყალიბებაში. სამი ძირითადი ელემენტი, რომელიც ახასიათებს დაგეგმვის გარემოს, რომელიც ეფუძნება დაინტერესებულ მხარეთა საერთო ღირებულებებს, მოიცავს: სივრცის დაგეგმარებაში ორგანიზება და მონაწილეობა, დაგეგმვის პროცესი და ინსტრუმენტები და დაგეგმვის ღონისძიებების დაკავშირება მდგრადი თემების ხელშეწყობასთან [2].

სივრცის დაგეგმარებაში ღირებულების გამაძლიერებელი ან დამხმარე გარემოს შემუშავებისას, მეთოდოლოგიის გამოსაყენებლად მნიშვნელოვანია შემდეგი საკითხების გათვალისწინება:

- დაგეგმვის ორგანიზება პრაქტიკაში, იერარქიების და ინსტიტუტების, გავლენიანი აქტორების, მათ შორის ორგანიზაციული სტრუქტურების, ავტორიტეტების, პარტნიორული ურთიერთობების, საერთო ინტერესების ჯგუფებისა და ცალკეული პირების საიდენტიფიცირებლად;
- დაინტერესებულ მხარეებს შორის კავშირების დადგენა, მათ შორის თანამშრომლობის ფორმები, ტრანსსასაზღვრო ურთიერთობები, სექტორული ინტერესების ინტეგრაცია, პრობლემაზე ორიენტირებული თანამშრომლობა და ა.შ.;
- დაგეგმვის კონტექსტში რელევანტურ ადგილებს შორის კავშირების შეფასება, მაგ., რურალური, ურბანული და პერიფერია;
- დაგეგმვის პრაქტიკის ევოლუციის ძირითადი განმსაზღვრელი მომენტების, მოვლენებისა და ადამიანების იდენტიფიცირება;
- მეთოდები, თუ როგორ შეუძლიათ ადამიანებს იხეირონ სივრცითი დაგეგმარებით, მათ შორის ინფორმაცია, განათლება, თანამშრომლობა, ღირებულებების გაგება, კრიტიკული ქმედება;
- სივრცითი დაგეგმარებას სამართლებრივი და ადმინისტრაციული საფუძვლები;
- პოლიტიკის შემუშავება და განხორციელება, რომელიც ასახავს ტრადიციულ ღირებულებებს, მაგალითად, დომინანტური პოლიტიკის სტილს, მისი გავლენის დადგენა ინსტიტუციურ შესრულებაზე და სოციალურ აქტივობაზე ბოლო წლების განმავლობაში;
- ცვლილებები ტერიტორიული მმართველობის განზომილებაში, რითაც დამყარდა მოძრაობა – ბრძანება-კონტროლსა და კონსენსუსზე ორიენტირებულ მმართველობის მოდელებს შორის.

დაგეგმვის პროცესის თავისებურებებიდან გამომდინარე, ძალიან მნიშვნელოვანია მისთვის გეგმის შედგენა და შესაბამისი ინსტრუმენტების შემუშავება. დაგეგმვის პრაქტიკის გაუმჯობესების მიზნით უფრო მეტი ყურადღება უნდა გამახვილდეს სათათბირო გეგმის შედგენაზე, დაგეგმვის რეჟიმებზე, მის ფორმალურ და არაფორმალურ ინსტრუმენტებზე და პროექტზე ორიენტირებულ მეთოდებზე. მეთოდოლოგიის ნაწილში უნდა მოხდეს შემდეგი საკითხების განხილვა:

- ბოლო ათწლეულების განმავლობაში ადგილობრივი დაგეგმვის პრაქტიკის ევოლუციაზე მოქმედი ძირითადი მამოძრავებლების იდენტიფიცირება, მათ შორის, თუ

როგორ განვითარდა ღირებულებები პოლიტიკურ, ეკონომიკურ და სოციალურ ქმედებებში და ა.შ.;

- სტრუქტურებისა და ქსელების იდენტიფიცირება, რომლებიც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ ლოკალური დაგეგმარების პრაქტიკის განვითარებაზე, თუ როგორ იცვლენოდნენ ისინი დროთა განმავლობაში;

- პროფესიონალთა/დამგეგმავების განათლების მიმოხილვა და მათი როლი, მაგ: აღმასრულებელი ფუნქცია, ტექნიკური სპეციალისტი, კონსულტანტი, მომლაპარაკებელი ან ასისტენტი;

- დაგეგმვის თანმიმდევრულობის შეფასება პრაქტიკაში, რამდენიმე თემის იდენტიფიცირება და მათი განსხვავებების დადგენა ურბანულ/რურალურ, რეგიონულ/ლოკალურ ან სხვა კონტექსტში;

- დაგეგმვის სხვადასხვა ინსტრუმენტებზე დაკვირვება პრაქტიკაში;

- სტრატეგიებზე ან მიწათსარგებლობაზე ორიენტირებული, განვითარებადი დაგეგმვის რეჟიმების მახასიათებლების და ინსტრუმენტების განხილვა, მაგალითად, დაგეგმვის ზოგადი/სპეციფიკური წესები, დაგეგმვის დოკუმენტების ნაკრები, იურიდიულად სავალდებულო/მმართველი, ფორმალური და/ან არაფორმალური სივრცითი მართვის მექანიზმები, მრავალ სექტორული მონაწილეობა და;

- იმ პროექტების შესწავლა, რომელიც უზრუნველყოფს სივრცითი დაგეგმარების გაუმჯობესებას;

- დინამიური ცვლილებები სივრცის დაგეგმვასა და განხორციელებას შორის ურთიერთობის შედარებისას (დაგეგმვის მიღმა, გეგმების პრაქტიკაში განხორციელება, მიწათსარგებლობის მართვაში გადაწყვეტილების მიღება);

დაგეგმვის პროცესში ღირებულებების შესანარჩუნებლად აუცილებელია თავად დაგეგმვის გარემოს ანალიზი და ჩართული აქტორების საერთო ღირებულებები, ყურადღება უნდა გამახვილდეს მათ კულტურულ ცნობიერებაზე, რომელთა მოქმედებებმა შეიძლება გავლენა მოახდინოს დაგეგმვის შედეგებზე. ამ მიზნის მისაღწევად, უნდა განიხილებოდეს მეთოდოლოგიის გამოყენებასთან დაკავშირებული შემდეგი საკითხები:

- რამდენად იცავს სივრცითი დაგეგმარება პრაქტიკაში ისეთ პრინციპებს, როგორიცაა მდგრადობა, საზოგადოების მონაწილეობა, გამჭვირვალობა, ინკლუზიურობა, თანაბარი შესაძლებლობები და თანმიმდევრულობა;

- მონაწილეობისა და აქტივობის მნიშვნელობა სივრცის დაგეგმარებაში. განვითარებისა და მენეჯმენტის ხელშეწყობა, სივრცითი დაგეგმარებაში დაინტერესებული მხარეების გამოვლენილი და განხილული სივრცითი ღირებულებების გათვალისწინებით;

- რამდენად აღსრულებადია ჩართული აქტორების აღქმები, შეხედულებები, საერთო ღირებულებები და ქცევა სივრცითი დაგეგმარების მიმართულებით;

- რამდენად ამართლებს დაგეგმვის დღის წესრიგი და დისკურსები;

- რამდენად ემსახურება სივრცითი დაგეგმარება სხვადასხვა ინტერესებს, მათ შორის ადგილობრივ მოსახლეობას, ბიზნესს, დეველოპერებს, ინვესტორებს და ა.შ.;

- სამოქალაქო საზოგადოების აქტივობის გაზრდის მიზეზები და ურბანული და რურალური განვითარების საკითხების გარშემო მობილიზებული ქვემოდან ზევით ინიციატივებისა და იდეებიდ იდენტიფიცირება, და მათი ადგილი დებატებსა და დაგეგმვის დღის წესრიგში;

- დაგეგმვის გამოცდილების და სივრცითი დაგეგმარების ტრადიციების განვითარებადი, ინდივიდუალური მიდგომების შეფასება [3].

VLP მიდგომის მეთოდოლოგიის გამოსაყენებლად, დამგეგმარებლებმა, სამთავრობო უწყებებმა, მიწის მენეჯერებმა და სივრცით დაგეგმარებაში ჩართულმა სხვა ლიდერებმა, უნდა შეისწავლონ ღირებულებების მრავალფეროვანი მახასიათებლები, რომლებმაც შეიძლება გავლენა იქონიონ განვითარების შედეგებზე - ნეგატიურად ან დადებითად.

სივრცით დაგეგმარებაში, დაინტერესებული მხარეების ღირებულებებისა და პრეფერენციების სოციალურ-ეკონომიკური, გარემოსდაცვითი და ინსტიტუციური ასპექტები განასახიერებს მდგრადობის განზომილებებს. ისინი შეიძლება ეხებოდეს მომავალზე ორიენტირებულ ან ისტორიულ ცვლილებებს. ამიტომ, დაგეგმვამ-განხორციელებლემ უნდა შექმნან აუცილებელი წინაპირობები მიწის რესურსების მდგრადი გამოყენებისთვის, რომლებითაც შეათანხმა სივრცითი განვითარების ინტერესები ყველა განზომილებასა თუ ღირებულების ელემენტებთან, რომლებიც გამოიყენება კონკრეტულ დაგეგმარებულ გარემოში. მაგალითად, ბუნებრივი რესურსების შენარჩუნებისა და აღორძინების ინტერესები წარმოადგენს ეკოლოგიურად მნიშვნელოვან გარემოსდაცვით ღირებულებებს. ისინი ასევე, შეიძლება იყოს სოციალური ღირებულებები ეკოლოგიებისთვის. ამ ტიპის ინტერესები ევროპაში პირველადია, მაგრამ სხვაგან შეიძლება იყოს მეორეხარისხოვანი. დაგეგმვის გეოგრაფიის მიუხედავად, გარკვეული ფასეულობები, როგორც წესი, არის ძირითადი ინტერესი ხალხისთვის მთელს მსოფლიოში. მაგალითად, ღირებულებები, რომლებიც დაკავშირებულია საცხოვრებელთან, სამუშაოსთან და ადგილის გაუმჯობესებასთან, როგორც ცნობილია, არის უპირველესი ინტერესი ნებისმიერი ფორმის სივრცითი გარემოში, იქნება ეს ქალაქური, რურარული თუ პერიფერიული. ამისათვის, აუცილებელია ეფექტური სტრატეგიების მიღება იმ პრობლემებთან და მიდგომებთან გასამკლავებლად, რომლებიც ხშირად გვხვდება დაინტერესებულ მხარეებს შორის ფასეულობების განსაზღვრისას, შეფასებისა და განხილვისას. გარდა ამისა, საჭიროა მენეჯმენტის სტილისა და ინსტიტუციური პარამეტრების მიმოხილვა და მდგრადობის ანალიზი. ახალი გამოწვევების ფონზე საჭირო ხდება მდგრადობის ახალი პარადიგმა მდგრადი მომავლისკენ და არა მდგრადი განვითარებისკენ. ამ კუთხით, მდგრადობის ასპექტები ფოკუსირებული უნდა იყოს რამდენად უნდა შემცირდეს ან შეიცვალოს ადამიანის საჭიროებები ისე, რომ ზემოქმედება გარემოზე და მიწასთან დაკავშირებულ რესურსებზე მაქსიმალურად დაბალი იყოს. VLP მიდგომა არ ანაცვლებს ინსტიტუციონალიზებულ სივრცის დაგეგმვას, არამედ ავსებს მას. ის სარგებელია საზოგადოებისთვის, ხოლო სარგებელი ამართლებს ღირებულებებს, რომელიც ხელს უწყობს სწორი გადაწყვეტილების მიღებას. მიდგომის განხორციელებამ უნდა გააძლიეროს მასშტაბური და სექტორამორისი თანმიმდევრულობა სამ ურთიერთდაკავშირებულ მიწათსარგებლობას, სივრცითი დაგეგმარებას და სექტორულ პოლიტიკას შორის. საზოგადოების მონაწილეობა მიზანმიმართულად უნდა იმართებოდეს. მოსახლეობის ჩართულობა არ უნდა იყოს ორგანიზებული კონკრეტული მიზნისა და ინფორმირებული/ახსნილი დღის წესრიგის გარეშე. დისკუსიები უნდა იყოს კონსტრუქციული და მოწოდებული არგუმენტებით. მხარეთა (ხელისუფლების ან სხვა ორგანოების) პასუხისმგებლობა გადაწყვეტილების მიღებასთან დაკავშირებით, ასევე უნდა იყოს მკაფიო და გაცხადებული. მონაწილე მხარეების/ინტერესები შეიძლება განსხვავდებოდეს მათი სტატუსისა და კომპეტენციების მიხედვით. კომპეტენციის დონე საკმაოდ მნიშვნელოვანია გასაგებად. თუმცა, ბევრი რამ დამოკიდებულია მონაწილეებისთვის მიწოდებულ ინფორმაციაზე და მათ მიერ მის გაგებაზე. კომპეტენციის დონე გავლენას ახდენს დისკუსიების ხარისხზე და კომპეტენციის უნარზე. მონაწილეთა ადრეული ჩართვა ხელს უწყობს კონფლიქტების თავიდან აცილებას. წინააღმდეგ შემთხვევაში, ისინი ჩათვლიან, რომ ჩართვა ფორმალურია და არ არიან გადაწყვეტილების მიმღები. მონაწილეობითი მეთოდი უნდა შეესაბამებოდეს თავის ადგილსა და დროს. ეგრეთ წოდებულ მონაწილე ლიდერებს ეკისრებათ მთავარი როლები საზოგადოებრივი აზრისა და ცვლილებების განსახორციელებლად. კონკრეტულმა ინსტრუმენტებმა შეიძლება ხელი შეუწყოს მონაწილეობას და გადაწყვეტილების სწორად მიღებას. თუმცა, ეს დაინტერესებული მხარეების კომპეტენციაზეც (ცოდნა, უნარები და დამოკიდებულებები) არის დამოკიდებული [4,5].

დასკვნის სახით შეიძლება ითქვას, რომ წინამდებარე სტატია იყო მცდელობა, რას წარმოადგენს VLP მიდგომები და რა შედეგების მოტანა შეუძლია მას სივრცით დაგეგმა-

რებაში. ახალი ინოვაციური იდეების მზარდი საჭიროების გამო, აღნიშნული მიდგომის დანერგვა უკვე დაწყებულია ევროპის და მსოფლიოს ბევრ ქვეყანაში, ადამიანებზე ორიენტირებული დაგეგმვის განსახორციელებლად. შემოთავაზებული მეთოდოლოგია აქტუალურია, გამომდინარე იქედან, რომ სივრცითი დაგეგმარებასა და განვითარებაში ხშირად უგულვებლყოფილია ადამიანების ღირებულებებსა და პრეფერენციებთან დაკავშირებული ის ასპექტები, რომლებსაც დაგეგმვის შედეგი ემსახურება. მეთოდოლოგიის გამოყენებისას, სივრცის დამგეგმავებმა, მოსახლეობამ, სამთავრობო უწყებებმა და მიწის მენეჯერებმა უნდა გაითვალისწინონ მხოლოდ ის ღირებულებები, რომლებიც ხელს უწყობენ კარგი სივრცითი მმართველობისა და მიწის მართვის პრაქტიკას. აღნიშნულის წარმატებული განხორციელებისთვის რეკომენდაციები უნდა იყოს ორგანიზებული სამი მიმართულებით: 1. ინსტიტუციური გარემოს გაუმჯობესება, დაგეგმვის პროცესის ორგანიზება და ჩართულობა; 2. დაგეგმვის არაფორმალური (დამატებითი) ინსტრუმენტების ინტეგრირება ფორმალურ დაგეგმვის დღის წესრიგში; 3. საზოგადოების მონაწილეობის, თანამშრომლობისა და განხილვის კონცეფცია. ამ რეკომენდაციების არსებობის შემთხვევაში, VLP მიდგომის მეშვეობით სასარგებლო ღირებულებების გამოყენების ალბათობა ბევრად მაღალი იქნება.

ლიტერატურა

1. Rex Steward, Pierre Chopin, Peter H. Verburg - Supporting spatial planning with a novel method based on participatory Bayesian networks: An application in Curaçao June, 2024 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901124000674> - გადამოწმებულია 27.02.2025;
2. PATRICK MCVEIGH- Spatial planning and economic development - from strategy to delivery. 13.06.2024 <https://www.beca.com/ignite-your-thinking/ignite-your-thinking/june-2024/spatial-planning-and-economic-development-from-strategy-to-delivery> - გადამოწმებულია 27.02.2025;
3. Armands Auzins and Uchendu Eugene Chigbu - Values-Led Planning Approach in Spatial Development: A Methodology. 26 April 2021 <https://www.mdpi.com/2073-445X/10/5/461> - გადამოწმებულია 27.02.2025;
4. Integrated Spatial Planning- Workbook. <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2023-09/undp-gef-integrated-spatial-planning-workbook-2023-en.pdf> გადამოწმებულია 27.02.2025;
5. Murat Özyavuz - New Approaches to Spatial Planning and Design – 26 June , 2019;

SUMMARY

SPATIAL PLANNING AND NEW APPROACHES

Gventsadze N.A.

Georgian Technical University

Spatial development, as a process, focuses on decisions and activities related to the coordination of land use and spatial distribution. Spatial planning/scheduling reflects the work performed by humans in space, the effective implementation of which requires close cooperation between different professional fields. Planning and scheduling are tools that reflect the history of society, how its past, present and future work together for a sustainable tomorrow. The perception of the content of spatial planning is theoretically much easier. But when it comes to the practice of spatial development, achieving beneficial results from spatial planning already becomes a significant challenge. The article briefly reviews the aspects of spatial planning and describes the problems of its implementation in the implementation part. Due to new challenges and especially the state of the planet's ecosystem, the approaches and strategies that have been used so far in spatial planning are being reconsidered. The world's leading countries have already started thinking and working on this, many have taken the first steps - developed and implemented new strategies. It is precisely these strategies and approaches that are proposed in the article. Hopefully, our country's field and related specialists are also working and discussing innovations and solutions in order to guarantee the country's sustainable future.

Keywords: spatial development, planning, strategy, planet, land use, values.

აირტურბინული მოწყობილობისათვის მუდმივი დენის გენერატორის შერჩევა

შალამბერიძე მ.შ., ცქიფურიშვილი თ.ზ., ლობჯანიძე გ.მ., შალამბერიძე შ.ა.

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტში შექმნილია ელექტროენერგეტიკული აირტურბინული მოწყობილობის მოქმედი მაკეტი [1], მასზე და მის შემადგენელ მთავარ ელემენტებზე, მაგალითად წვის საკანზე ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა:

- შექმნილ მოწყობილობაში მიმდინარე პროცესების, კერძოდ თბოჰიდრო ენერგეტიკული პროცესების შეფასების ერთ-ერთი მთავარი კრიტერიუმია აირტურბინის ფრთაზე წვის საკნიდან ამოტყორცნილი ნამწვი აირის ნაკადის მოქმედებით გამოწვეული ძალა $F_{აქ}$;

- ამ ძალის სიდიდე დამოკიდებულია წვის საკნის მოცულობაზე და საწვავად გამოყენებული აირის ჰაერთან ნარევი პროცენტულ შემცველობაზე. წვის საკნის მოცულობის გაზრდით, მასში წარმოქმნილი ნამწვი აირის ნაკადის ფრთაზე მოქმედი ძალა პროპორციულად იზრდება [2];

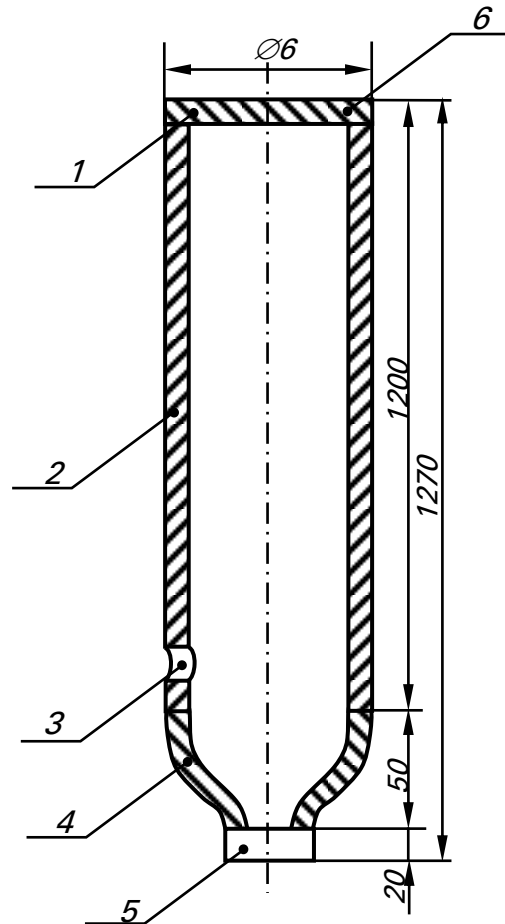
- იმის გამო, რომ აირტურბინის ფრთაზე მოქმედი ძალა იმპულსური ხასიათისაა, რომელთა ხანგრძლივობა 1 წმ-ზე ნაკლებია, გაძნელებულია ან შეუძლებელს ხდის ამ ძალის პირდაპირი გაზომვისათვის გამოყენებული იქნას სტანდარტული გადამწოდები. შემოთავაზებულია მათი გაზომვის არაპირდაპირი მეთოდები, კერძოდ თბური და ინდუქციური მეთოდი. პირველი მათგანის გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ ექსპერიმენტულ კვლევებში. შეუძლებელია მისი გამოყენება პროცესების უწყვეტი კონტროლისათვის, რაც გამოწვეულია იმით, რომ გაზომვის სიზუსტეზე მოქმედებს გაზომვის ინტერვალის ხანგრძლივობა და ამის გამოც აუცილებელია გაზომვის მომენტში აირტურბინის ფრთის ზედაპირის ტემპერატურა იყოს ერთნაირი. ამ პირობის შესრულებას კი უსაჭიროება დამატებითი დრო ყოველი ექსპერიმენტის მომზადებისას [3];

- შემოთავაზებულია აირტურბინის ფრთაზე მოქმედი იმპულსური ძალის არაპირდაპირი გაზომვის ინდუქციური მეთოდის ახალი სქემა და ამ ძალის ნამდვილი მნიშვნელობის განსაზღვრის მეთოდი [4].

კვლევებმა აჩვენა, რომ დღემდე არ არსებობს ერთიანი მეთოდი, რომლითაც შესაძლებელი იქნებოდა კონკრეტული სიმძლავრის აირტურბინული ელექტროენერგეტიკული მოწყობილობისათვის შესაბამისი ნებისმიერი სიმძლავრის სხვადასხვა სახის ელექტროგენერატორის შერჩევა. თუმცა, ჩვენს მიერ შემოთავაზებული იყო აირტურბინული მოწყობილობისათვის სინქრონული გენერატორის შერჩევის პრინციპი [5]. იგი მდგომარეობდა შემდეგში: ბუნებრივი აირის ჰაერთან ნარევის საკანში წვისას წარმოქმნილი ნამწვი აირის ნაკადის აირტურბინის ფრთაზე მოქმედი ძალის $F_{აქ}$, აგრეთვე გენერატორის საჭირო დატვირთვის გათვალისწინებით, წინასწარ ვირჩევდით სინქრონულ გენერატორს, რომლის ტექნიკური მონაცემების, აგრეთვე ზოგიერთი საჭირო პარამეტრების დადგენის შემდეგ, ვახდენდით შერჩეული გენერატორის, ნომინალურ რეჟიმში მუშაობისას, როტორზე ბრუნვის საწინააღმდეგოდ მოქმედ დამამუხრუჭებელ ელექტრომაგნიტური ძალის $F_{გმ}$ გაანგარიშებას. ამის საფუძველზე პირობის $F_{აქ} > F_{გმ}$ შესრულების შემთხვევაში ვასკვნიდით, რომ შერჩეული ელექტროგენერატორი ვარგისია არსებული აირტურბინის შემადგენლობაში ელექტრული ენერგიის გამომუშავებისათვის. მსგავსი მიდგომა გამოყენებულია ახალი კონკრეტული სიმძლავრის გენერატორის დაპროექტებისათვის [6].

ქვემოთ მოცემულია აირტურბინული მოწყობილობისათვის მუდმივი დენის გენერატორის შერჩევის პრინციპი.

წინასწარ ცნობილია, რომ აირტურბინის წვის საკნიდან ამოტყორცნილი ნამწვი აირის ნაკადის მოქმედებით აირტურბინის ფრთაზე მოქმედმა ძალამ შეადგინა $F_{adj} \approx 10$ დკნ. წვის საკანი, რომელიც წარმოადგენს $D=60$ მმ დიამეტრისა და $H=1200$ მმ სიმაღლის ლითონის მილს, რომელსაც გააჩნია ძირი და მის საწინააღმდეგოდ განლაგებული კონუსური ფორმის საქშენი და სახურავი, აღჭურვილია ბუნებრივი აირისა და ჰაერის ნარევის მიწოდების სარქველისაგან და ნაპერწკლის ანთებისათვის განკუთვნილი სარქველისაგან. ნახ.1-ზე წარმოდგენილი ზომების მქონე წვის საკანის მოცულობა შეადგენს $V=0,045$ მ³-ს.



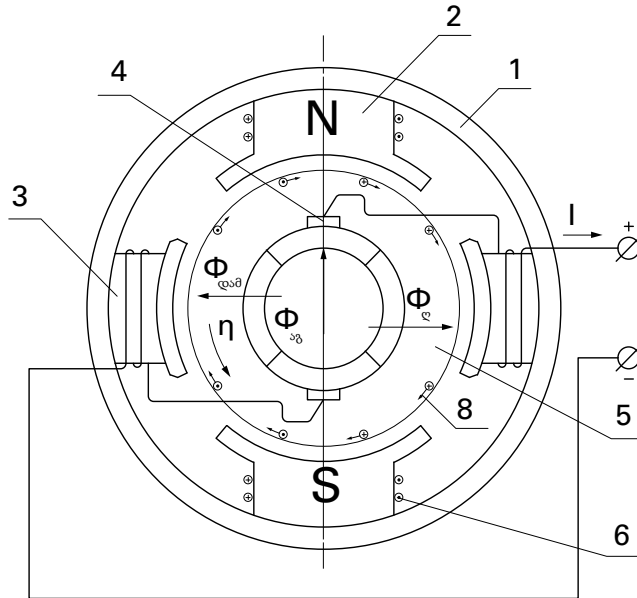
ნახ.1. წვის საკნის სქემა.

1 – ძირი; 2 – ცილინდრი; 3 – უკუსარქველი, 4 – კონუსი; 5 – საქშენი;
6 – ნაპერწკლის ანთების სარქველი.

აირტურბინული მოწყობილობით გამომუშავებული ელექტრული ენერგიის მომხმარებელია დამცავ აირში ელექტრორკალური შედეგების რკალი, რომელიც მოიხმარს $I=500$ ა დენს. გენერატორს აქვს ხისტი გარე მახასიათებელი. წინასწარ შერჩეული იყო ГCF-500 ტიპის ელექტროგენერატორი.

ნახ. 2-ზე მოცემულია ГCF-500 ტიპის მუდმივი დენის გენერატორის ღუზის რეაქცია, კერძოდ აგზნების – $\Phi_{აგზ}$, ღუზის – $\Phi_{ღ}$ და დამატებითი – $\Phi_{დამ}$ მაგნიტური ნაკადების ურთიერთ და ჯამური ნაკადის მოქმედება ღუზის გრაგნილზე. როგორც ნახ.2-დან ჩანს ეს

უკანასკნელი ქმნის ღუზის ბრუნვის საწინააღმდეგოდ მოქმედ ელექტრომაგნიტურ ძალას F_{Φ} , რომლის დაძლევა უნდა მოახდინოს აირტურბინის ფრთებზე მოქმედმა $F_{\Phi_{\text{ფ}}}$ ძალამ. საჭიროა დავადგინოთ რამდენი წვის საკნის მქონე აირტურბინული მოწყობილობა შეძლებს გენერატორის ნომინალურ რეჟიმში მუშაობას. მისი ტექნიკური მახასიათებლები და გაანგარიშებებისათვის საჭირო ზოგიერთი პარამეტრები მოცემულია ცხრილში.



ნახ.2. მუდმივი დენის გენერატორის ღუზის რეაქცია

1 – კორპუსი; 2 – ძირითადი პოლუსები; 3 – დამატებითი პოლუსები; $\Phi_{\text{ფ}}$ – ღუზის მაგნიტური ნაკადი; $\Phi_{\text{აფ}}$ – აგზნების მაგნიტური ნაკადი; $\Phi_{\text{დამ}}$ – დამატებითი, პოლუსის ნაკადი; 6 – აგზნების გრაგნილი, I – დატვირთვის დენი; n – ღუზის ბრუნვის მიმართულება; 8 – ღუზის დამამუხრუჭებელი F_{Φ} ძალის შემქმნელი გრაგნილის გამტარი.

ГГГ-500 ტიპის მუდმივი დენის გენერატორის მონაცემები

#	გენერატორის მახასიათებლები	განზომილება	მნიშვნელობა
1	ნომინალური დენი	ამპერი	500
2	დენის რეგულირების ზღვრები	ამპერი	60 – 500
3	ნომინალური ძაბვა	ვოლტი	230
4	მუშა ძაბვა	ვოლტი	40
5	ღუზის მაგნიტური გამტარის სიგრძე	მეტრი	0,6
6	გენერატორის გარე წინაღობა	ომი	–
7	ღუზის გრაგნილის გამტარის გადაადგილების სიჩქარე	ბრ/წთ	300
8	ღუზაზე ღარების რაოდენობა	ცალი	56
9	ღარში გამტარების რაოდენობა	ცალი	2
10	გენერატორის შიგა წინაღობა	ომი	0,4
11	გრაგნილის სახეობა	–	ყულფისებრი
12	აგზნების გრაგნილის წინაღობა	ომი	115

გენერატორის ნომინალური ბრუნთა რიცხვის (n) მიხედვით გაანგარიშებული უნდა იქნას გრაგნილის გამტარში აღძრული ე.მ.ძ.-ის სიდიდე (e). ამისათვის კი საჭიროა ვიცოდეთ

აგრეთვე, გენერატორის ღუზის მაგნიტური გამტარის დიამეტრის (D), გამტარის აქტიური სიგრძე L , რომელთა მიხედვით შეიძლება გამოთვლილი იყოს აგზნების გრაგნილის მიერ შექმნილ მაგნიტურ ველში გენერატორის ღუზის გრაგნილის გამტარის გადაადგილების სიჩქარე

$$V = rD \cdot n' = 3,14 \cdot 0,6 \cdot 5 = 9,4 \text{ მ/წმ} \quad (1)$$

სადაც n' არის ღუზის ბრუნთა რიცხვი 1 წმ-ში

$$n' = \frac{n}{60} = \frac{300}{60} = 5 \text{ ბრ/წმ} \quad (2)$$

ღუზის მაგნიტური გამტარი დამზადებულია ელექტრომექანიკური ფოლადისაგან $\exists 310$ [7], რომლისთვისაც მაგნიტური ინდუქციის მაქსიმალური დასაშვები სიდიდე

$$B=1,2 \text{ ტესლა.} \quad (3)$$

გენერატორის ღუზის ერთ გამტარში აღძრული ე.მ.დ. [8]

$$e = B \cdot L \cdot V = 1,2 \cdot 0,8 \cdot 9,4 = 9 \text{ ვოლტი.} \quad (4)$$

ღუზის მაგნიტური გამტარს აქვს 56 ღარი.

მათში მოთავსებული გამტარები ორ-ორი ბოლოთი შეერთებულია კოლექტორის ორ ფირფიტასთან, რომლებზეც ერთდროულად კონტაქტში მოდის ტრავერსას ორ-ორი მუსა; ამ უკანასკნელებთან მიერთებულია მომხმარებელი, ამიტომ გამტარების რიცხვი გრაგნილებში

$$n_{\phi} = \frac{z}{2} = \frac{56}{2} = 28 \text{ გამტარი} \quad (5)$$

გრაგნილში აღძრული ჯამური ე.მ.დ.

$$e_{\Sigma} = n_{\phi} \cdot e = 28 \cdot 9 = 252 \text{ ვოლტი.} \quad (6)$$

გენერატორის აგზნების დენი

$$I_{\text{აგ}} = \frac{U_{\text{გ}}}{r_{\text{აგ}}} = \frac{230}{15} = 2 \text{ ამპერი.} \quad (7)$$

გენერატორის ღუზაში გამავალი დენი

$$I_{\text{ღ}} = \frac{P_{\text{გ}}}{U} = \frac{3500}{252} \approx 140 \text{ ამპერი.}$$

ღუზის გრაგნილის გამტარებზე მოქმედი დამამუხრუჭებელი ელექტრომაგნიტური ძალა

$$F_{\text{გ}} = B \cdot L \cdot I_{\text{ღ}} = 1,2 \cdot 0,8 \cdot 140 = 134 \text{ ნიუტონი.} \quad (8)$$

ღუზის გრაგნილზე მოქმედი ჯამური დამამუხრუჭებელი ძალა

$$\Sigma F_{\text{გ}} = F_{\text{გ}} \cdot N_{\text{გ}} = 134 \cdot 28 = 3752 \text{ ნიუტონი.} \quad (9)$$

ერთი წვის საკნის მიერ შექმნილი მექანიკური სიმძლავრე

$$P_{\text{გკ}} = F_{\text{გკ}} \cdot V = 100 \cdot 9,4 = 940 \text{ ვატი.} \quad (10)$$

დენის მიღების აირტურბინული მოწყობილობისათვის შემოთავაზებული ელექტროგენერატორი განკუთვნილია $n=3000$ ბრ/წთ ბრუნზე მუშაობისათვის.

როგორც გამოკვლევებმა აჩვენა ასეთი მაღალი ბრუნვის მიღწევა საჭიროებს სპეციალურ რთული კონსტრუქციის აირტურბინას. მისი დამზადება სირთულის გამო შემოთავაზებულია აღნიშნული გენერატორის მუშაობა 300 ბრ/წთ-ის ფარგლებში. ე. ი. ნომინალური ბრუნთა რიცხვი შემცირებული იქნება 10-ჯერ.

შემცირებულ ბრუნთა რიცხვზე დამამუხრუჭებელი სიმძლავრე

$$P_{\text{გკ}} = \frac{1}{10} (e_{\Sigma} \cdot I_{\text{ვ}}) = \frac{1}{10} (252 \cdot 140) = 3528 \text{ ვატი.} \quad (11)$$

ოთხი წვის საკნის ერთდროული მოქმედებისას განვითარებული მექანიკური სიმძლავრე

$$\Sigma P_{\text{გკ}} = P_{\text{გკ}} \cdot 4 = 940 \cdot 4 = 3760 \text{ ვატი.} \quad (12)$$

(11) და (12) გამოსახულებების შედარებით გამომდინარეობს, რომ შესრულებულია გენერატორის მუშაობისას დამამუხრუჭებელი ძალის დაძლევის, შემდეგი პირობა:

$$[\Sigma P_{\text{გკ}} = 3760] > [P_{\text{გ}} = 3528] \quad (13)$$

რაც იმაზე მიუთითებს, რომ შემოთავაზებული წვის საკნებით დამზადებული აირტურბინული მოწყობილობის ოთხივე წვის საკნის ერთდროული მოქმედებისას, შესაძლებელია მუდმივი დენის გენერატორის მუშაობა ღუზის შემცირებულ ბრუნთა რიცხვზე ($n=300$ ბრ/წთ). კერძოდ 3,5 კვტ სიმძლავრის ელექტრული ენერგიის მიღება.

როგორც (13) გამოსახულებიდან ჩანს $\Sigma P_{\text{გკ}}$ მეტია $P_{\text{გ}}$ დამამუხრუჭებელ ელექტრომაგნიტურ სიმძლავრეზე 232 ვატით, რაც საკმარისი აღმოჩნდა აირტურბინულ მოწყობილობაში არსებული მექანიკური დანაკარგების გადასალახად.

ამრიგად, აირტურბინული მოწყობილობისათვის კონკრეტული წვის საკნების გამოყენებისას შესაძლებელია მუდმივი დენის გენერატორის შერჩევა შემოთავაზებული გაანგარიშების მიხედვით.

კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური მხარდაჭერით – გრანტი #AR-22-3264

ლიტერატურა

1. ლობანიძე გ., შალამბერიძე მ., ცქიფურიშვილი თ., ზივზივადე ლ. ენერგეტიკული აირტურბინული მოწყობილობების გამოყენებით ქვეყნის ელექტროენერგეტიკული რესურსების განვითარების შესაძლებლობა. /VII ქართულ-პოლონური საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „სატრანსპორტო ხიდი ევროპა-აზია“. შრომების კრებული, 2023, გვ.136-141. საქართველო, ქუთაისი.
2. ლობანიძე გ.მ. შალამბერიძე მ.მ., ცქიფურიშვილი თ.ც, პაპიძე ზ.ა. ბუნებრივ აირზე მომუშავე ელექტროენერგეტიკული აირტურბინული მოწყობილობა. //საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, 2023 (99), #3, გვ 23-27. DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0287>

3. M.Shalamberidze, T.Tskipurishvili, G. Lobzhanidze, L.ZivZivadze. The Creation of New Model of a Gas – Turbine Electric Power-Generating Device. Riga, Latvia. 2024 <https://conect.rtu.lv/program/>
4. Marlen Shalamberidze, Tamar Tskipurishvili, Giorgi Lobzhanidze, Lali Zivzivadze. „Creating an Environmentally Friendly Propane-Powered Gas Turbine Device“. Environmental and Climate Technologies. Riga, Latvia. 2024, vol. 28, no. 1, pp. 603–613 <https://doi.org/10.2478/rtuect-2024-0047> <https://content.sciendo.com>
5. Marlen Shalamberidze, Tamari Tskipurishvili, Giorgi Lobzhanidze, Romanoz Topuria, Tevdore Pkhakadze, Davit Dzadzamia , Lali Zivzivadze. PECULIARITIES OF PROPANE AND METHANE COMBUSTION IN THE COMBUSTION CHAMBER OF THE GAS TURBINE ELECTRIC POWER GENERATING DEVICE. 1st INTERNATIONAL ENERGY SYSTEMS ENGINEERING CONGRESS INESEC 2024. Kutaisi, Georgia. pp. 193-198.
6. Mathematical Models for the Design of Electrical Machines. Edited by Frederic Dubas, Kamel Boughrara. 2021, p. 252 <https://doi.org/10.3390/books978-3-0365-0399-8>
7. Monoselidze R. Asynchronous motor design“. Tbilisi. TSODNA publishers. (1969), p. 271.
8. HANDBOOK OF ACCELERATOR PHYSICS AND ENGINEERING (2ND EDITION) 2nd Revised ed. Edition by Alexander Wu Chao , Maury Tigner , Frank Zimmermann , Karl-Hubert Mess , 2013

SUMMARY

SELECTION OF A DC GENERATOR FOR A GAS TURBINE DEVICE

Shalamberidze M.Sh., Tskipurishvili T.Z., Lobzhanidze G.M. and Shalamberidze Sh.A.

Akaki Tsereteli State University, Kutaisi

The article presents the analysis of the results achieved when studying the gas turbine device, and on this basis, the necessary calculations for the selection of a DC generator for the gas turbine device are proposed. Calculations for the generation of electrical energy in a gas turbine device with a combustion cell of a capacity of 0.045 m³ are performed on the example of a ГСГ-500 type generator. The simultaneous operation of four combustion cells can generate a total mechanical power of 3760 W, which can overcome the electromagnetic braking force of 3528 W, as well as overcome other mechanical losses of the gas turbine device.

Keywords: gas turbine device; combustion cell; electrical generator; thermal energy; generator armature winding.

ვერტმფრენის გაცვეთილი დეტალების აღდგენა

მირიჯანაშვილი ზ.მ., დადიანიძე გ.ა., ხუციშვილი მ.გ., სარალიძე ბ.რ., ქოქოშვილი ნ.ზ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სსიპ-ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტი

კვლევის მიზანი იყო ვერტმფრენის დეტალის მუშა ზედაპირის გაცვეთილი ზედაპირის აღდგენა, რომელიც სფერულ ცილინდრული ფორმოსაა გარე დიამეტრით $\Phi 60$ მმ, ხოლო შიგა $\Phi 30$ მმ.

მნიშვნელოვანია პლაზმური და ელექტრო რკალით დადუღებული დანაფარები [1–3]. მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია ელექტრონაპერწყლურ დადუღებას. ელექტრონაპერწყლური დადუღების ძირითადი უპირატესობებია: დანაფარის დადების მაღალი სიჩქარე; დასამუშავებელი ზედაპირის მინიმალური გახურება; დანაფარის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების გაუჯობესება [4–7]. ასევე, ელექტრონაპერწყლური დაფარვის წარმატებული უნივერსალური გამოყენების საფუძველია ელექტრული რეჟიმების, ელექტროდის მასალის, დამუშავების ხანგრძლივობის, ელექტროდშორისი არის ვარიანტების შესაძლებლობა. შედეგად უზრუნველყოფილია დანაფარების საექსპლუატაციო თვისებების, მათი სისქის რამდენიმე მიკრომეტრიდან 1 მმ-მდე და მეტი, ასევე შესაძლებელია შევქმნათ ახალი რელიეფი საჭირო თვისებებით.

სამუშაო შესრულებულია სსიპ-ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტში. დასაფარი დეტალი შედგება საკონსტრუქციო ლეგირებული ფოლადი 30XГCH2A- გან, რომლის ქიმიური შედგენილობაა მოცემულია ცხრ. 1 -ში.

ცხრილი 1. ლეგირებული ფოლადის 30XГCH2A ქიმიური შედგენილობა

ქიმიური ელემენტი	C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu
%	0,27 – 0,34	0,9 – 1,2	1 – 1,3	1,4 – 1,8	0,9 – 1,2	0,3 -მდე

ელექტრონაპერწყლური დაფარვა განხორციელდა დანადგარ Элитрон-22A-ის დახმარებით შემდეგი რეჟიმებით: ამპლიტუდა 9, რეჟიმი 6. დაფარვისათვის გამოყენებულ იქნა სპილენძის ელექტროდი, რომლის ზომებია $6 \times 6 \times 25$ მმ, ხოლო მისი ქიმიური შედგენილობა მოცემულია ცხრ. 2-ში.

ცხრილი 2. სპილენძის ელექტროდის ქიმიური შედგენილობა

ქიმიური ელემენტი	Zn	Fe	Si	Al	Te	Cu
%	0,195	0,074	0,062	9,847	0,014	87,52

დანადგარი Элитрон – 22A განკუთვნილია ელექტრონაპერწყლური მეთოდით ზედაპირის განმტკიცებისა და ლეგირებისათვის, ელექტროეროზიული დამუშავებისათვის მანქანათა ნაწილების, შტამპების, მჭრელი კონსტრუქციების, დეტალების ზომების აღდგენისათვის, აგრეთვე ლოკალური დაფარვისათვის. კეთილშობილური ლითონების დაფარვა ხდება მიკრონებში.

მაღალი ხარისხის დაფარვის მისაღებად და წარმადობის გაზრდის მიზნით მოვახდინეთ ნახევრად მექანიზირებული მოწყობილობის შემუშავება, რომლისთვისაც გამოვიყენეთ ინსტიტუტში არსებული პოტენციომეტრი КСН-4, რომლის მბრუნავ ცილინდრულ ღერძს მიუერთეთ ჩვენს მიერ ინსტიტუტში დიელექტრიკული მასალისაგან დამზადებული

ცილინდრული ღერძი გარე დიამეტრით $\Phi 30$ მმ, სიგრძით 100 მმ. აღნიშნულ ღერძზე ხისტად დავამაგრეთ ვერტმფრენის ცილინდრულ სფერული დეტალი ელექტრონაპერწყლური მეთოდით დაფარვისათვის. შევარჩიეთ ბრუნვის სიჩქარე 8 ბრუნი წუთში.

პოტენციომეტრ КСП-4 ტუმბლერის ჩართვის შემდეგ ჩვენს მიერ შემუშავებულ ღერძზე დამაგრებული ვერტმფრენის ცილინდრული დეტალი იწყებს წრიულ ბრუნვას. დასაფარავ დეტალზე მიყვანილია დენი ელექტროსადენით, ირთვება ელექტრონაპერწყლური დანადგარი ЭЛИТРОН – 22А, რის შემდეგაც ვიბროამგზნების შეხებით ვერტმფრენის სფერულ ცილინდრულ დეტალზე ხდება ელექტროდით დაფარვა წრიულად სამ ფენად, ზემოთ მითითებული რეჟიმებით (ცხრ. 3). სულ დაიფარა 12 ცალი ვერტმფრენის დეტალი. დანადგარის წარმადობის მიხედვით შემდეგია: 2,8 ა (რეჟიმში 6) წარმადობისას 0,016 სმ²/წთ.

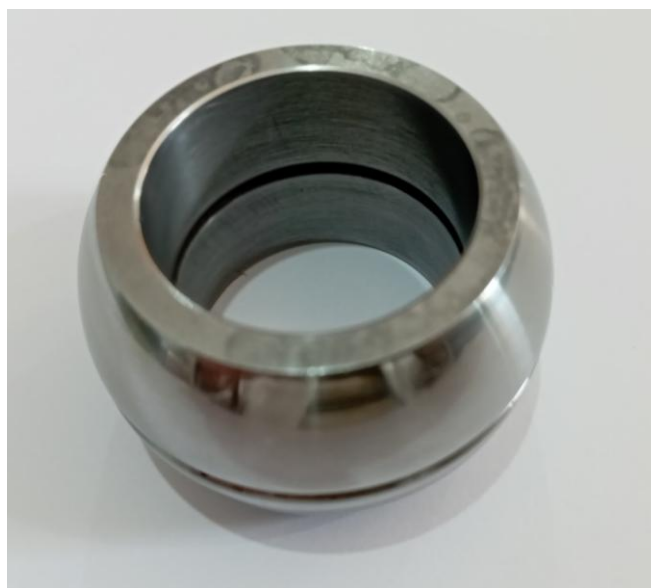
ცხრილი 3. ელექტროდით დაფარვის რეჟიმები

რეჟიმი	1	2	3	4	5	6
დენი, ა	0,5	0,3	1,0	1,8	2,3	2,8

ზემოთ მოყვანილი რეჟიმებზე დანაფარების წონები მოცემულია ცხრ. 4 -ში.

ცხრილი 4. დანაფარების წონები

#	წონა დაფარვამდე, გ	წონა დაფარვის შემდეგ, გ	დანაფარის წონა
1	175,44	175,83	0,39
2	174,90	175,19	0,29
3	175,88	176,11	0,23
4	175,20	175,40	0,20
5	175,78	175,98	0,20
6	175,75	175,99	0,24
7	175,37	175,64	0,27
8	173,95	174,17	0,22
9	173,91	174,12	0,21
10	174,90	175,10	0,20
11	174,57	174,80	0,23



სურ. 1. ვერტმფრენის დაუფარავი ნიმუში

ელექტრონაპერწყლური მეთოდით დანაფარის დადებამ საშუალება მოგვცა აღგვედგინა ვერტმფრენის გაცვეთილი დეტალები, სურ. 1-ზე მოცემულია ვერტმფრენის დაუფარავი ნიმუში, ხოლო სურ. 2-ზე მოცემულია ელექტრონაპერწყლური დაფარვით აღდგენილი ვერტმფრენის დეტალები.



სურ.2. ვერტმფრენის აღდგენილი ნიმუშები

ამრიგად, გაცვეთილი დეტალების აღსადგენად მნიშვნელოვანია ელექტრონაპერწყლური ტექნოლოგიით დანაფარების დადება. აღნიშნული ტექნოლოგია ხასიათდება: დანაფარის დადების მაღალი სიჩქარით, დასამუშავებელი ზედაპირის მინიმალური გახურებით, დანაფარების საექსპლუატაციო თვისებების უზრუნველყოფით და დაბალი დანახარჯებით. ელექტრონაპერწყლური მეთოდით დანაფარის დადებამ საშუალება მოგვცა აღგვედგინა ვერტმფრენის გაცვეთილი დეტალები.

ლიტერატურა

1. ხუციშვილი მ., დადიანიძე გ., მირიჯანაშვილი ზ., სარალიძე ბ. ცვეთამდეგი დანაფარების რკალური მეთოდებით დატანის თანამედროვე მეთოდები და პერსპექტივები. / აკადემიკოს გივი ცინცაძის დაბადებიდან 90 წლისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო-სამეცნიერო კონფერენციის შრომების კრებული. თბილისი 2023, გვ. 564 – 575.
2. მირიჯანაშვილი ზ., ხუციშვილი მ., დადიანიძე გ., სარალიძე ბ. ახალი ცვეთამდეგი დასადუღებელი მასალის დამუშავება. // საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება“. შრომები, თბილისი, 2020, გვ. 31-36.
3. Пузряков А. Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления: Учебное пособие по курсу Технология конструкций из металлокомпозитов. 2-е изд., перераб. И доп. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. - 360 с. (Технологии ракетнокосмического машиностроения.)
4. Бурумкулов Ф. Х., Лезин П. П., Сенин П. В., Иванов В. И., Величко, С. А., Ионов П. А. Электроискровые технологии восстановления и упрочнения деталей машин и инструментов. -Саранск: Красный октябрь, 2003, 504 с.

5. Иванов В. И. Классификация объектов, методологические и технологические особенности электроискрового упрочнения и увеличения ресурса. - Москва. /Труды ГОСНИТИ. Том 106, 2010, сс. 31–41.
6. Иванов В. И., Костюков А. Ю., Денисов В. А., Задорожний Р. Н., Донской Д. В., Назаров А. А. Восстановление деталей импортных двигателей во втором автобусном парке Москвы. //Ремонт, восстановление, модернизация, 2013, № 5, сс. 3–10.
7. L. P. Kornienko, G. P. Chernova, V. V. Mihailov, A. E. Gitlevich Use of the electrospark alloying method to increase the corrosion resistance of a titanium surface. //Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2011, Vol. 47 (1), pp. 9–17.

SUMMARY

RESTORATION OF WORN HELICOPTER PARTS

Mirijanashvili Z.M., Dadianidze G.A., Khutsishvili M.G., Saralidze B.R. and Kokoshvili N.Z.

Georgian Technical University

LEPL - Ferdinand Tavadze Metallurgy and Materials Science Institute

To restore worn parts, it is important to apply coatings using the electro-spark deposition technology. This technology is characterized by a high deposition speed, minimal heating of the processed surface, ensuring the operational properties of the coating, and low costs. The application of coatings using the electro-spark method has enabled us to restore worn helicopter parts.

Keywords: helicopter, restore, worn parts, coatings, electro-spark deposition technology.

წყალმომარაგების ოპერირების მეთოდოლოგია ევროპასა და საქართველოში

ყაველაშვილი ლ.ბ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

1. შესავალი

წყალმომარაგება ნებისმიერი ქვეყნის კრიტიკულად მნიშვნელოვანი ინფრასტრუქტურული კომპონენტია, რომელიც მოიცავს წყლის მოპოვებას, გაწმენდას, ტრანსპორტირებასა და განაწილებას. ევროპასა და საქართველოს შორის წყალმომარაგების სისტემებში მნიშვნელოვანი განსხვავებები არსებობს, რაც დაკავშირებულია ინფრასტრუქტურულ განვითარებასთან, ტექნოლოგიურ პროგრესთან და რეგულაციურ სტანდარტებთან [1-2]

ევროპაში წყლის ძირითადი წყაროებია:

- მიწისქვეშა წყლები (არტეზიული ჭაბურღილები)
- ზედაპირული წყლები (მდინარეები, ტბები, წყალსაცავები)
- გადამუშავებული წყალი (განსაკუთრებით წყლის დეფიციტის მქონე ქვეყნებში, მაგალითად, ესპანეთი, ნიდერლანდები)

წყლის რესურსების მართვა მკაცრად რეგულირდება ევროკავშირის წყლის ჩარჩო დირექტივით (Water Framework Directive - WFD).

საქართველოს წყალმომარაგება ძირითადად დამოკიდებულია:

- მიწისქვეშა წყლებზე, რაც წყლის მაღალი ხარისხის შენარჩუნების საშუალებას იძლევა.
- ასევე გამოიყენება მდინარეები და წყალსაცავები, თუმცა ზოგიერთ რეგიონში წყლის ხარისხი არასაკმარისად კონტროლდება.

კანონმდებლობა არ არის სრულყოფილად ჰარმონიზებული ევროპულ სტანდარტებთან, რაც რთულდება წყლის რესურსების მდგრადი მართვის კუთხით.

2. მთავარი ნაწილი

ევროპაში წყალმომარაგება რეგულირდება ევროკავშირის წყლის ჩარჩო დირექტივით (WFD), რომელიც უზრუნველყოფს მდგრადი და ეკოლოგიურად სუფთა წყლის მართვას (ცხრ.1).

საქართველოში წყლის წყაროები ძირითადად ბუნებრივი მიწისქვეშა წყლებია, თუმცა ხშირია მდინარეების გამოყენებაც. მთავარი გამოწვევები მოიცავს დაბინძურების რისკებს და არასაკმარის ინფრასტრუქტურულ განვითარებას [2].

ცხრილი 1. წყალმომარაგების წყაროები

მახასიათებელი	ევროპა	საქართველო
წყლის წყაროები	ზედაპირული და მიწისქვეშა წყლები, გადამუშავებული წყალი	ძირითადად მიწისქვეშა წყლები და მდინარეები
წყლის მართვის პოლიტიკა	ევროკავშირის წყლის ჩარჩო დირექტივა (WFD), მდგრადი გამოყენება	ნაკლებად სტრუქტურირებული პოლიტიკა, ხშირად ადგილობრივი მუნიციპალიტეტების მართვა
წყლის რესურსების დაცვა	ძლიერი გარემოსდაცვითი რეგულაციები	გარემოსდაცვითი პრობლემები და დაბინძურების საფრთხე

ცხრილი 2. წყლის დამუშავება და ხარისხის კონტროლი

მახასიათებელი	ევროპა	საქართველო
გამწმენდი სისტემები	ულტრაიისფერი ფილტრაცია, ქლორირება, ოზონირება, მემბრანული ტექნოლოგიები	ძირითადად ქლორირება, ნაკლებად განვითარებული მემბრანული ტექნოლოგიები
წყლის ხარისხის მონიტორინგი	მუდმივი ლაბორატორიული შემოწმება, რეალურ დროში მონიტორინგი	პერიოდული შემოწმებები, ზოგჯერ არასაკმარისი ლაბორატორიული მონაცემები
ევრონორმებთან შესაბამისობა	მკაცრი სტანდარტები (EU Drinking Water Directive)	ხარისხის კონტროლის გარკვეული ხარვეზები

ევროპაში წყალმომარაგების ხარისხი მკაცრად კონტროლდება ევროპის სასმელი წყლის დირექტივის (EU Drinking Water Directive) საფუძველზე. იქ გამოიყენება თანამედროვე გამწმენდი ტექნოლოგიები, როგორიცაა მემბრანული ფილტრაცია, ულტრაიისფერი დასხივება და ოზონირება (ცხრ.2).

საქართველოში წყლის ხარისხის კონტროლი ძირითადად ქლორირებაზეა დაფუძნებული, ხოლო თანამედროვე მონიტორინგის სისტემები ჯერ კიდევ არ არის ფართოდ დანერგილი [3].

ცხრილი 3. წყალმომარაგების ქსელის მართვა და დანაკარგები

მახასიათებელი	ევროპა	საქართველო
წყალმომარაგების ქსელები	თანამედროვე, სენსორებით აღჭურვილი, ენერგოეფექტური	მოძველებული ინფრასტრუქტურა, ხშირი გაჟონვები
დანაკარგების შემცირება	ჭკვიანი წყლის მართვა, გაჟონვის დეტექტორები	მაღალი დანაკარგები (40–50%)
მომხმარებელთა მომსახურება	მაღალი სტანდარტები, 24/7 რეაგირება	ხშირად შეფერხებები და გრძელვადიანი პრობლემები

ევროპული ქვეყნები დიდი ყურადღებას აქცევენ ჭკვიან (Smart) ქსელებს, რომლებიც გაჟონვების მონიტორინგსა და ქსელის ოპტიმიზაციას უზრუნველყოფენ (ცხრ.3). საქართველოში კი წყალმომარაგების ქსელი ხშირად მოძველებულია, რაც იწვევს წყლის მაღალი დანაკარგებს (40–50%) და მოსახლეობის ნაწილისთვის წყლის მიწოდების შეფერხებას [3].

ცხრილი 4. წყალმომარაგების საფინანსო მოდელები და ტარიფები

მახასიათებელი	ევროპა	საქართველო
წყლის ტარიფები	მოხმარებაზე დაფუძნებული დიფერენცირებული ტარიფები	ფიქსირებული და შედარებით დაბალი ტარიფები
დამატებითი ინვესტიციები	კერძო და საჯარო სექტორის თანამშრომლობა	ხშირად სახელმწიფო ბიუჯეტის დაფინანსება
წყლის სუბსიდირება	დაბალშემოსავლიანი მოსახლეობის მხარდაჭერა	ზოგჯერ ადგილობრივი მუნიციპალიტეტების სუბსიდირება

ევროპის ქვეყნებში წყლის ტარიფები მოხმარებლის მოხმარებაზეა დაფუძნებული, რაც ხელს უწყობს წყლის დაზოგვას და მდგრადი მოხმარების პოლიტიკის დანერგვას.

საქართველოში ტარიფები ძირითადად ფიქსირებულია და შედარებით დაბალია, თუმცა ეს ხშირად არ ასახავს ინფრასტრუქტურის რეალურ ხარჯებს და აფერხებს სექტორის განვითარებას (ცხრ. 4) [4].

ცხრილი 5. მდგრადი განვითარება და მომავალი გამოწვევები

მახასიათებელი	ევროპა	საქართველო
წყლის რესურსების მდგრადი მართვა	ენერგოეფექტურობა, განახლებადი წყლის წყაროების ოპტიმიზაცია	წყლის რესურსების არაეფექტური გამოყენება
კლიმატის ცვლილების გავლენა	ადაპტირებული პოლიტიკა, ახალი ტექნოლოგიები	მზარდი გვალვები და წყლის რესურსების რისკები
ინოვაციები	ჭკვიანი წყლის მონიტორინგი, ციფრული კონტროლი	ნაწილობრივი ციფრულიზაცია, თუმცა არა ფართოდ დანერგილი

ევროპული ქვეყნები ენერგოეფექტურ წყლის სისტემებს, დაბალი ნახშირბადის ტექნოლოგიებსა და წყლის რესურსების მდგრად გამოყენებას ხელს უწყობენ (ცხრ.5).

საქართველოში კი წყლის არაეფექტური გამოყენება, გარემოსდაცვითი რისკები და კლიმატის ცვლილების ზემოქმედება მნიშვნელოვან გამოწვევებად რჩება.

3. დასკვნა

ევროპასა და საქართველოს შორის წყალმომარაგების ოპერირების მეთოდოლოგიებში არსებითი განსხვავებებია.

- ევროპაში ყურადღება გამახვილებულია მდგრადობაზე, თანამედროვე ტექნოლოგიებზე და ხარისხის მკაცრ კონტროლზე.

- საქართველოში კი ჯერ კიდევ გამოწვევად რჩება ინფრასტრუქტურის გაუმჯობესება, წყლის დანაკარგების შემცირება და წყლის ხარისხის გაუმჯობესება.

საქართველოში აუცილებელია წყალმომარაგების სისტემების მოდერნიზაცია, ჭკვიანი ტექნოლოგიების დანერგვა და წყლის რესურსების მდგრადი მართვის პოლიტიკის ჩამოყალიბება, რათა ქვეყანა ევროპულ სტანდარტებს მიუახლოვდეს.

სტატია იბეჭდება შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური მხარდაჭერით - გრანტი PHDF-24-532

ლიტერატურა

1. ევროპის წყლის ჩარჩო დირექტივა (Water Framework Directive, WFD): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32000L0060>
2. ევროკავშირის სასმელი წყლის დირექტივა (Drinking Water Directive): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32020L2184>
3. საქართველოს ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისია (GNERC): <https://gnerc.org/ge/tariffs/tariff-water/tarifebis-metologia-water>
4. წყალმომარაგების ტარიფების გაანგარიშების მეთოდოლოგიის დამტკიცების შესახებ დადგენილება: <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/6041594>

SUMMARY

WATER SUPPLY OPERATION METHODOLOGY IN EUROPE AND GEORGIA

Kavelashvili L.B.

Georgian Technical University

The operation of water supply systems in Europe and Georgia differs significantly in terms of the development and management approaches of water supply systems. In Europe, water management is strictly regulated by environmental and technological standards, whereas in Georgia there are still many challenges related to infrastructure renewal, water quality, and loss management.

Keywords: water supply, Georgia, Europe, methodology.

წყალმომარაგების პრობლემები საქართველოს რეგიონებში

გორდეზიანი ქ.გ., ცინაძე ზ.ო., ყავლაშვილი ლ.ბ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

შესავალი

მთავარი ქალაქები, როგორცაა თბილისი, ქუთაისი და ბათუმი, უკეთ განვითარებული წყალმომარაგების სისტემით სარგებლობენ. თუმცა, ამ ქალაქებში კვლავ არსებობს პრობლემები წყლის მიწოდების უწყვეტობისა და ხარისხის თვალსაზრისით [1].

გუდაური, თუშეთი, ხევსურეთი და სხვა მაღალმთიანი ადგილები ხშირად აწყდებიან წყლის დეფიციტის პრობლემას. აქ ინფრასტრუქტურა უფრო სუსტია, რაც მოსახლეობას წყლის სტაბილური მიწოდების პრობლემებს უქმნის. მიუხედავად იმისა, რომ წყლის რესურსები ბუნებრივად მდიდარია, მისი გადამუშავებისა და დამუშავების საკითხები ხშირად პრობლემურია [2].

კიდევ ერთი დიდი გამოწვევა წყლის მიწოდება სოფლად და დაბლობ რეგიონებშია. ამ რეგიონებში, ზოგიერთ სოფელში წყლის მიწოდების პრობლემები შეიძლება სეზონური იყოს, განსაკუთრებით გვალვიან პერიოდებში. მთავრობამ და ადგილობრივმა მმართველობებმა ამ პრობლემის გადაწყვეტის მიზნით, წყლის მიწოდების სისტემების განახლება და გაფართოება დაიწყეს.

ძირითადი ნაწილი

საქართველოს რეგიონების წყალმომარაგების საკითხი საკმაოდ კომპლექსურია და დიდ გამოწვევებს შეიცავს. მიუხედავად იმისა, რომ დიდ ქალაქებში ინფრასტრუქტურა გაცილებით უკეთ არის განვითარებული, რეგიონებში მაინც ბევრი პრობლემა არსებობს [2-3]. ზოგადად, ვფიქრობ, რომ:

- **გადატვირთული ინფრასტრუქტურა:**

ბევრი რეგიონი, განსაკუთრებით იმ ადგილებში, სადაც მოსახლეობა კოტეჯებად არის განლაგებული, ადრეული ინფრასტრუქტურის სისტემებით არის აღჭურვილი. ამ სისტემების ადაპტაცია თანამედროვე მოთხოვნებთან საკმაოდ რთულია, ამიტომ საჭიროა მათი სრული განახლება და დახვეწა.

- **წყლის რესურსების არათანაბარი განაწილება:**

საქართველოს ზოგიერთ რეგიონში წყლის რესურსები საკმაოდ მდიდარია (მაგალითად, სამეგრელოში, რაჭასა და კახეთში), მაგრამ მაღალმთიან რეგიონებში (თუშეთი, ხევსურეთი) წყლის მიწოდება გამოწვევაა, რადგან ეს ადგილები ხშირად იზოლირებული და ნაკლებად განვითარებულია ინფრასტრუქტურით.

- **გვალვები და კლიმატური ცვლილებები:**

გვალვები და კლიმატური ცვლილებები ამ ბოლო წლებში უფრო ინტენსიურად მიმდინარეობს, რაც ზეგავლენას ახდენს წყალმომარაგებაზე. ეს განსაკუთრებით მათთვის პრობლემური ხდება, ვისაც წყალი არ მიეწოდება ცენტრალიზებულ სისტემით, და ხშირად წარუმატებელი გადლობის პირობებში წყლის რეზერვები მცირეა.

- **წყლის დაზოგვის მნიშვნელობა:**

ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მიმართულება არის მოსახლეობის გააქტიურება წყლის დაზოგვის შესახებ, რადგან ხშირად წყლის ნაკლებობა გამოწვეულია სწორედ არსებული რესურსების არასწორი გამოყენებით.

• **სარწყავი სისტემები და სოფლის მეურნეობა:**

საქართველოს მრავალ რეგიონში სოფლის მეურნეობა ძალიან მნიშვნელოვანი თემაა. სარწყავი წყლის მიწოდების გაუმჯობესება მნიშვნელოვან როლს ითამაშებს სასოფლო-სამეურნეო პროდუქციის გაორმაგებაში და წყალმომარაგების სტაბილურობაში.

იმის გამო, რომ ქვეყანაში წყალმომარაგების სისტემის სრულყოფა და განახლება აუცილებელია, განსაკუთრებული ყურადღება უნდა დაეთმოს როგორც წყალსაცავებს, ისე ტექნოლოგიებს, რომლებიც წყლის გამოყენებას მაქსიმალურად ეფექტურს გახდის [2].

მთის კურორტების განვითარება საქართველოში მნიშვნელოვან გამოწვევებთანაა დაკავშირებული, მთის წყალმომარაგება ერთ-ერთი ცენტრალური პრობლემაა. ტურიზმის ზრდასთან ერთად იზრდება სუფთა წყლის მოხმარება, სანიტარული ინფრასტრუქტურის საჭიროება და მდგრადი წყლის რესურსების მართვის აუცილებლობა.

ძირითადი პრობლემები მთის კურორტების წყალმომარაგებაში

• **წყლის სისტემების არასაკმარისი მოცულობა:**

ტურისტული სეზონის პიკზე წყლის მოხმარება იზრდება, ხოლო არსებული ინფრასტრუქტურა ხშირად ვერ აკმაყოფილებს მოთხოვნას.

• **ინფრასტრუქტურის მოძველება:**

ბევრ კურორტზე წყალმომარაგების ქსელი ჯერ კიდევ საბჭოთა პერიოდიდან მოდის და საჭიროებს სრულ რეაბილიტაციას.

• **წყლის დანაკარგები:**

წყლის სისტემების გაუმართაობის გამო ხდება მნიშვნელოვანი დანაკარგები, რაც ამძიმებს სიტუაციას.

• **წყალარინების პრობლემები:**

ბევრ კურორტზე არ არის სრულად გამართული კანალიზაციის სისტემები და ჩამდინარე წყლების დამუშავება.

• **კლიმატური ცვლილებები:**

მთის რეგიონებში გვალვების ან ზამთრის ყინვების გამო შესაძლოა წყლის ნაკლებობა წარმოიშვას.

საქართველოს მთის კურორტების წყალმომარაგების მდგომარეობა

1. გუდაური

არსებობს ცენტრალიზებული სისტემა, თუმცა ზამთრის სეზონზე მოხმარება მნიშვნელოვნად იზრდება.

პრობლემები: სასტუმროების რაოდენობის ზრდა ქმნის დეფიციტს; მოსაგვარებელია წყლის დანაკარგები.

2. ბაკურიანი

ბაკურიანში 2020 წელს წყალმომარაგების გაუმჯობესებისთვის ჩატარდა ინფრასტრუქტურული პროექტები.

პრობლემები: ტურისტული სეზონის პიკზე წყლის მიწოდება მაინც შეფერხებულია, ხოლო კანალიზაციის სისტემა გაუმართავია.

3. მესტია (თეთნულდი, ჰაწვალი)

მუნიციპალიტეტის მხარდაჭერით გაძლიერდა სისტემები, თუმცა ზამთრის სეზონზე დატვირთვა მაინც მაღალია.

პრობლემები: რთული რელიეფი ართულებს წყლის ინფრასტრუქტურის გაფართოებას.

4. გოდერძი (აჭარა)

ამჟამად მიმდინარეობს წყლის სისტემის რეაბილიტაცია.

პრობლემები: ინვესტიციების სიმცირე, წყლის დაბალი ხარისხი, სანიტარული პრობლემები.

საქართველოს მთის კურორტებზე წყალმომარაგება ერთ-ერთი მთავარი გამოწვევაა, რაც ზღუდავს ტურიზმის სრულფასოვან განვითარებას. ინფრასტრუქტურის განახლება, თანამედროვე ტექნოლოგიების დანერგვა და მდგრადი წყლის მართვა აუცილებელია იმისთვის, რომ კურორტებმა შეძლონ ტურისტული მოთხოვნის დაკმაყოფილება და განვითარდნენ როგორც საერთაშორისო სტანდარტების შესაბამისი ობიექტები [3].

დასკვნა

ვფიქრობთ, რომ საქართველოს რეგიონებში წყალმომარაგების გამოწვევების გადაჭრა ახალი ინვესტიციებისა და ტექნოლოგიების გამოყენებით ძალიან მნიშვნელოვანი იქნება. რამდენიმე გზა არსებობს, რომლითაც ეს პრობლემა შეიძლება მოგვარდეს:

1. ინფრასტრუქტურის განახლება და მოდერნიზება:

თანამედროვე ტექნოლოგიები, როგორიცაა smart წყლის მრიცხველები და მონიტორინგის სისტემები, შეიძლება გამოიყენოს იმისათვის, რომ უფრო ეფექტურად კონტროლდებოდეს წყლის მოხმარება და ქსელებში სარწყავი წყლის დაკარგვა. ახალ ინფრასტრუქტურაზე ინვესტიციები ხელს შეუწყობს სისტემების გაუმჯობესებას, რაც შეამცირებს წყლის დაკარგვას და გაზრდის მისი მიწოდების სტაბილურობას.

2. მრავალფუნქციური წყალსაცავები:

ახალი წყალსაცავები და მდინარეების წყლის მართვის სისტემა დაეხმარება წყლის რესურსების უკეთ გაორმაგებას. ამასთან, შენახული წყალი შეიძლება გამოყენებულ იქნას როგორც სასმელი წყლის, ასევე სარწყავი წყლისთვის.

3. ინოვაციური წყლის დაზოგვის ტექნოლოგიები:

მაგალითად, მიკროწყლის აღება და მისი გადამუშავება, რაც აგრარულ სექტორში და ინდუსტრიაში ერთდროულად შეიძლება მოხდეს. სოფლის მეურნეობაში "სწორი" ტექნოლოგიები, როგორიცაა წვეთოვანი სარწყავი სისტემა, დაეხმარება წყლის უფრო ეკონომიურად გამოყენებას.

4. კულტურისა და განათლების როლი:

მნიშვნელოვანი იქნება მოსახლეობის ცნობიერების ამაღლება წყლის ეკონომიურ გამოყენებაზე. ახალი პროგრამები, რომლებიც ხელს შეუწყობს ადამიანებს, რომ სწორად გამოიყენონ წყალი (მაგალითად, რეცხვა და სარწყავი სისტემა) და მუდმივად მათ ასწავლიან ახალ ტექნოლოგიებს, შეიძლება შეცვალოს მთელი წყლის რესურსების მოხმარების მიდგომა.

5. მიმდინარე პროექტების გაფართოება:

საქართველოში უკვე მიმდინარეობს ისეთი პროექტები, როგორიცაა წყალმომარაგების და კანალიზაციის სისტემების მოდერნიზება (მაგალითად, წყალმომარაგების გაუმჯობესება პანკისის ხეობაში ან წყლის დამუშავების პროექტები რეგიონებში). მსგავსი ინვესტიციები რეგიონებში წყლის მიწოდების გაუმჯობესებისთვის აუცილებელია.

6. ახალი წყლის რესურსების მოძიება:

როგორც ტექნოლოგიები ვითარდება, შესაძლოა წყლის ახალ სახეობებს, როგორიცაა ახლად აღმოჩენილი წყლის რესურსები ან ზედაპირული წყლების უკეთ გამოყენების შესაძლებლობები, ხელი შეუწყოს ქვეყნის მდგრად წყალმომარაგებას.

იმისათვის, რომ ეს პრობლემები ეფექტურად მოგვარდეს, აუცილებელია სახელმწიფოს და კერძო სექტორის ერთობლივი ინვესტიციები, რომელიც ქვეყნის ეკონომიკურ განვითარებასაც დაეხმარება.

სტატია იბეჭდება შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური მხარდაჭერით - გრანტი PHDF-24-532

ლიტერატურა

1. "საქართველოს მთის წყალსაცავები და მათი ზემოქმედება გარემოზე" – ეროვნული ბიბლიოთეკის ციფრულ ბიბლიოთეკა "ივერიელში". <https://dspace.nplg.gov.ge/handle/1234/420346>
2. "სტუ-ს ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის სამეცნიერო რეფერირებადი შრომები".
3. "საქართველოში ტურიზმისა და კურორტების განვითარების ღონისძიებათა შესახებ". <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/1292547?publication=0>

SUMMARY

WATER SUPPLY PROBLEMS IN THE REGIONS OF GEORGIA

Gordeziani K.G., Tsinadze Z.O. and Kavelashvili L.B.

Georgian Technical University

The water supply sector in Georgia is one of the strategic areas, as it is directly linked to the well-being of the population, economic development, and the preservation of ecological sustainability. Water supply and water supply systems in Georgia vary regionally, as the distribution of water resources and the state of infrastructure differ across regions. In some areas, water supply is quite stable, while in others — especially in mountainous regions and rural areas — there are more serious challenges.

Keywords: water supply, regions of Georgia, infrastructure, problems.

წყალი, ენერგია და სურსათის უსაფრთხოება

ცინაძე ზ.ო., გორდეზიანი ქ.გ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

შესავალი

წყალი, ენერგია და საკვები განუყოფლად არის დაკავშირებული და მხარს უჭერს მიმდინარე გლობალური ვაჭრობისა და პროდუქტიულობის მოდელების განვითარებასა და გაფართოებას. იგი ეყრდნობა ფიზიკურად და ეკოლოგიურად შეზღუდულ რესურსებს და წარმოადგენს გამოწვევას ამ პროცესის გასაგრძელებლად. როგორც ახლახანს იქნა შემოთავაზებული მსოფლიო ეკონომიკურ ფორუმზე, „თუკი წყლის მართვის „ჩვეულებრივი“ პრაქტიკა გაგრძელდება კიდევ ორი ათწლეულის განმავლობაში, მსოფლიოს დიდ ნაწილს სერიოზული და სტრუქტურული საფრთხე ემუქრება ეკონომიკური ზრდის, ადამიანის კეთილდღეობისა და ეროვნული უსაფრთხოებისთვის“. არასათანადო მმართველობითი სტრუქტურები და ცუდი მენეჯმენტი – და, შესაბამისად, განაწილების უთანასწორობა – აუცილებლად იწვევს ნარჩენების გაზრდას, ეფექტურობის დაქვეითებას, ძირითადი სერვისების შემცირებას და ინფრასტრუქტურის შენარჩუნებას, რაც ამძაფრებს და ართულებს წყალთან, სანიტარიულ სისტემასთან, ენერგიასა და საკვებთან დაკავშირებულ პრობლემებს [1].

ამ საკითხებს ემატება მზარდი პრობლემები მათი სამომავლო ხელმისაწვდომობისა და მდგრადობის შესახებ. 7 მილიარდ ადამიანზე მეტი მზარდი მოსახლეობისგან:

- 0,9 მილიარდ ადამიანს არ აქვს წვდომა უსაფრთხო სასმელ წყალზე.
- 2,6 მილიარდ ადამიანს არ აქვს სათანადო სანიტარული პირობები.
- 1,3 მილიარდ ადამიანს არ აქვს ელექტროენერგიაზე წვდომა.
- 2,7 მილიარდ ადამიანს არ აქვს წვდომა სამზარეულოს თანამედროვე და ჯანსაღ ფორმებზე.
- დაახლოებით 1 მილიარდი ადამიანი არასაკმარისი კვებაა.

ურბანიზებულ პლანეტაზე კიდევ ორი მილიარდი ადამიანის დამატება მნიშვნელოვან ზეწოლას მოახდენს ენერგიის, წყლისა და საკვების მოთხოვნილებებზე. ეს აუცილებლად მოითხოვს განვითარების ამ სამ მიზანს შორის ურთიერთგაცვლის გაზრდას, რაც, ამავე დროს, ეწინააღმდეგება ეკოსისტემის დეგრადაციის დაჩქარების პოტენციალს. ეს ურთიერთდაკავშირება გამოიხატება ერთ სექტორში განხორციელებული ქმედებების შედეგით, რომელსაც აქვს დადებითი ან უარყოფითი გავლენა დანარჩენ ორზე. თუმცა, მიდგომა როგორც მოქმედების, ისე ანალიზის მიმართ არის წინა პლანზე არსებული და წინა განვითარების სტრატეგიები. თუ ჩვენ გავაგრძელებთ ამ გზას, მაშინ ორ ათწლეულზე ნაკლებ დროში 40%-ით ნაკლები მტკნარი წყლის რესურსი იქნება ხელმისაწვდომი [2].

წინა ასი წლის განმავლობაში მსოფლიო მოსახლეობა სამჯერ გაიზარდა, მაგრამ წყალზე მოთხოვნა შვიდჯერ გაიზარდა. იმის გათვალისწინებით, რომ წყალი გადამწყვეტია ცხოვრების ყველა ასპექტისთვის, მაშინ თუ ეს ტენდენცია გაგრძელდება, გადაჭარბებული ექსპლუატაცია, ტრანსსასაზღვრო კონფლიქტები და ეკოსისტემის დეგრადაცია ექსპონენტურად გაგრძელდება.

ეს არის გამოწვევა, რომელიც დღეს გლობალური საზოგადოების წინაშე დგას; გამოწვევა, რომელსაც ვერც ერთი ქვეყანა ვერ გაუმკლავდება იზოლირებულად, რადგან მას ემატება მრავალი გრძელვადიანი ტრანსსასაზღვრო დავა, რომლებიც გადაუჭრელი რჩება. აქედან გამომდინარე, შესაძლებელია ყველასთვის გრძელვადიანი წყლის, ენერგეტიკული და სასურსათო უსაფრთხოების რეალიზაცია; აზროვნებისა და მიდგომის ტრანსფორმაცია აუცილებელია მენეჯმენტისა და განვითარების ახალი შესაძლებლობებისთვის, რაც ინოვაციური ტექნოლოგიების საშუალებით ხდება.

ინოვაციური ტექნოლოგიების გარდა, საჭიროა ახალი ჩარჩო, რომელიც შესაძლებელს გახდის გარემოსა და ეკოსერვისების, მრეწველობისა და ეკონომიკის, სოციალური და ეროვნული ინტერესების ურთიერთდაკავშირების შეფასებას. „სამმაგი ქვედა ხაზის“ მიდგომა, რომელსაც ამჟამად იყენებენ მთავრობები და ინდუსტრია გადაწყვეტილებების ეფექტურობისა და ეკონომიკის შესამოწმებლად, დადასტურდა, რომ შეზღუდულია მათი ურთიერთდაკავშირების გაგებაში. ამ პროცესების რთულ ურთიერთდაკავშირებულ დინამიკაზე გავლენას ახდენს პლანეტარული სისტემის შედარებით მცირე სექტორის შეფასებისას მიღებული გადაწყვეტილებები. როგორც ჩვენ გვესმის მეტი ეკოსისტემა-ეკოსერვისები და პლანეტარული დინამიკა და ურთიერთდამოკიდებულება, ამიტომ ჩვენი პოლიტიკა და მმართველობის ჩარჩოები უნდა ასახავდეს ამ გაგებას; ეს იყო იდენტიფიცირებული, როგორც NEXUS მიდგომა, რომელიც მიღებულ იქნა ბონში (2011) და აღიარებული იქნა გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის ბოლო კონფერენციაზე მდგრადი განვითარების შესახებ.

ძირითადი ნაწილი

წყლის უსაფრთხოება ათასწლეულის განვითარების მიზნებში (MDG) არის განსაზღვრული, როგორც „უსაფრთხო სასმელ წყალზე წვდომა და სანიტარიულ სისტემაზე“, რომელიც ადამიანის უფლებაა. წყალი შეიძლება შემდგომ გამოიყოს როგორც მოხმარებადი და არამოხმარებადი მისი გამოყენებისას, და სხვა კლასიფიკაცია განისაზღვროს, როგორც ლურჯი, მწვანე ან ნაცრისფერი წყალი, წყაროდან და წინა სარგებლობის მიხედვით.

ენერგეტიკული უსაფრთხოება გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის მიერ არის განსაზღვრული, როგორც „სუფთა, საიმედო და ხელმისაწვდომ ენერგეტიკულ სერვისებზე წვდომა გათბობის, განათების, კომუნიკაციებისა და პროდუქტიული გამოყენებისთვის“. მიუხედავად იმისა, რომ კონკრეტულად არ არის ნათქვამი, რა თქმა უნდა იგულისხმება, რომ ამის მიღწევა შესაძლებელია გარემოსდაცვითი პრობლემების დაცვით [2-3].

სურსათის უსაფრთხოება განსაზღვრულია სურსათისა და სოფლის მეურნეობის ორგანიზაციის (FAO) მიერ, როგორც "ხელმისაწვდომობა საკმარისი, უსაფრთხო და ნოყიერი საკვების მოთხოვნილებებისა და საკვების პრეფერენციების დასაკმაყოფილებლად აქტიური და ჯანსაღი ცხოვრებისთვის".

ურთიერთკავშირის პერსპექტივაში აზროვნება ეყრდნობა წყალს, ენერგიას, საკვებს და სხვა აქტორებს შორის ჯვარედინი ისეთი ურთიერთდამოკიდებულების გაგებას, როგორიცაა მმართველობა, რეგულირება და ეკოსისტემური სერვისები. პირდაპირი და არაპირდაპირი სინერგიის პოტენციალის რეალიზებისთვის, ამ აქტორებს სჭირდებათ ტრანსდისციპლინური და ტრანსსასაზღვრო ხასიათის ინტეგრირება. ამგვარად, NEXUS პერსპექტივა გვეხმარება გადავიდეთ ტრადიციული ერთიანი დისციპლინური დოქტრინის მიღმა და ფოკუსირება მოახდინოს თანამშრომლობის ურთიერთსასარგებლო პოტენციალზე.

აქედან გამომდინარე, ურთიერთკავშირის გაგება მოითხოვს ალტერნატიული პოლიტიკის, სტრატეგიებისა და ინვესტიციების შემუშავებას, რათა გამოიყენოს სინერგიები და შეამსუბუქოს კომბინაციები განვითარების ამ სამ მიზანს შორის. ინდუსტრია და მთავრობა აცნობიერებენ, რომ არსებული მარეგულირებელი და ეკონომიკური ჩარჩოები არაადეკვატურია და საჭიროებს სამთავრობო უწყებების, კერძო სექტორისა და სამოქალაქო საზოგადოების აქტიური მონაწილეობით გაუმჯობესებას. ამ გზით შესაძლებელია არასასურველი შედეგების თავიდან აცილება და საბედისწერო შედეგების უფრო ეფექტურად გამოყენება.

მთლიანობაში, NEXUS პერსპექტივა უზრუნველყოფს ინფორმირებულ და გამჭვირვალე ჩარჩოს მდგრადი მზარდი მოთხოვნილების დასაკმაყოფილებლად. აქედან გამომდინარე, მნიშვნელოვანია შევიდეს ნექსის პერსპექტივა მომავალ ლოკალურ, ეროვნულ და საერთაშორისო დაგეგმვის აქტივობებში, რომლებიც ფოკუსირებულია წყალთან, საკვებთან ან ენერგიასთან ურთიერთქმედებაზე ყველა დონეზე.

მსოფლიოს მოსახლეობა აგრძელებს ზრდას, სოფლის მეურნეობის ინდუსტრიას მოუწევს ხელახლა გამოგონება ამ მუდმივად მზარდი მოთხოვნის უზრუნველსაყოფად. კრიტიკულად ეს უნდა მიღწეულ იქნეს მთავარი მიწისა და წყლის რესურსების ხელმისაწვდომობის მზარდი შემცირების, ურბანიზაციისა და ენერგეტიკული სექტორის დანაკარგების პირობებში, რადგან წიაღისეულ საწვავზე იაფი ხელმისაწვდომობა მცირდება და ბიოსაწვავის წარმოება განიხილება როგორც ალტერნატივა [4].

ზოგიერთი ბუნებრივი რესურსი, რომელიც მზარს უჭერს ადამიანის კეთილდღეობას, განახლებადია და თითქოს უსასრულოა, მაგალითად, მზის ენერგია. თუმცა, მსოფლიოს მზარდი მოსახლეობისთვის მტკნარი წყლის, ენერგიისა და საკვების შესაქმნელად საჭირო რესურსების დიდი ნაწილი შეზღუდულია. ეს რესურსებია – მიწა, ნიადაგი, საკვები ნივთიერებები და სუფთა სასმელი წყალი. ამდენად, რაოდენობრივი განსაზღვრა, რაც ხელმისაწვდომია, რთულია;

რესურსების ბაზისა და მისი ფუნქციონალური დინამიკის გაგება არის ძირითადი სტრატეგიის კომპონენტი. თუ დინამიკა გასაგებია, მაშინ აქტივობები, რომლებიც გავლენას ახდენენ ამ პროცესებზე, შეიძლება შეფასდეს „დამატებითი ღირებულების“ ან „ღირებულების დაკარგვის“ თვალსაზრისით. ეს მოგება ან ზარალი პირდაპირ კავშირშია ეკოსისტემის მუშაობასთან, რომელსაც ეწოდება „ეკოსერვისები“, რომლებიც უზრუნველყოფილია ამ ბუნებრივ გარემოში. თუ ძირითად საქმიანობად ითვლება ზარალის მომტანი, ანუ დამაბინძურებელი ნაკადი, მაშინ დაწესდება ჯარიმა ეკონომიკური კომპენსაციის, გარემოსდაცვითი რესტიტუციის ან მარეგულირებელი წესების დაცვით, რომელიც შეეცდება დაიცვას წონასწორობა ეკოსისტემაში [5].

თუმცა, გარემოს გაგება, რომელშიც ახლა ჩვენ აღმოვჩნდით მნიშვნელოვნად შეცვლილი ლანდშაფტებით, ურბანიზაციით, დაბინძურებული წყლის სისტემებით და შეცვლილი კლიმატით, აჩენს ორ ფუნდამენტურ საკითხს: „რა არის ბუნებრივი გარემო?“ და „როგორ გვინდა, რომ ის ფუნქციონირდეს მომავალში?“ ეს საკითხები ქმნის თავსატეხს, შეგვიძლია რეალურად აღვადგინოთ ან შევინარჩუნოთ ის, რაც შეიცვალა ან დაკარგულია?

მასშტაბის ეკონომია, რომელიც დაკავშირებულია ეკოსერვისების მიწოდებასთან, იქნება მნიშვნელოვანი ფაქტორები ხარჯების ეფექტურობისა და ინვესტიციების დასადგენად, რაც საჭიროა რესურსების გრძელვადიანი მდგრადობის უზრუნველსაყოფად, რაც უზრუნველყოფს საკვების, ენერგიისა და წყლის უსაფრთხოებას. თუმცა, პრაქტიკაში IWRM-ს ხშირად არ აქვს მოსალოდნელი შედეგები, რადგან ჩარჩოს გამოყენება ვერ აგვარებს რესურსების განაწილების ძირითად პოლიტიკას, აღქმულ ტრანსსასაზღვრო საჩივრებს, ნაციონალისტურ მიზნებს და ბაზრებთან კავშირს.

ამ პროცესის ნაწილია კლიმატის ცვალებადობის გაგება და ადაპტური მართვის სტრატეგიების ზემოქმედების მონიტორინგი, მეცნიერებისა და ტექნოლოგიების ინოვაციური მიდგომების მეშვეობით.

ატმოსფერული სინოპტიკური დახასიათების მეთოდოლოგიების გამოყენებით კლიმატის დივერგენციასა და ნალექის მიწოდების ცვალებადობას შორის კავშირის დამყარება, რომელიც დაკავშირებულია ექსტრემალურ მოვლენებთან (სველი და მშრალი), საშუალებას მისცემს გაუმჯობესდეს ზემოქმედება ნიადაგსა და სოფლის მეურნეობაზე. ამ მოვლენებისა და მათი გარდამავალი ქცევების გასაგებად ეფექტური ანალიტიკური ინსტრუმენტის შემუშავება უმნიშვნელოვანესია, ასევე იმის აღიარება, რომ შესაძლოა არსებობდეს როგორც პირველადი, ისე მეორადი ფაქტორები დაკავშირებული რეგიონულ კლიმატის ცვალებადობასთან. მნიშვნელოვანი წინგადადგმული ნაბიჯია ნალექის შეტანის და ზედაპირული და მიწისქვეშა ჩამონადენის და საკვები ნივთიერებების ხელახალი განაწილების გაგება. მიწოდებისა და სატრანსპორტო მექანიზმების შეფასებით შესაძლებელია წყალშემკრები სისტემების დინამიკის და, შესაბამისად, მიწოდებული (ეკო) სერვისების უფრო მეტი გაგება.

იმისთვის, რომ გლობალურმა საზოგადოებამ მოიპოვოს სარგებელი, უკიდურესად ეკონომიური გზაა ორი დამატებითი მიდგომის გამოყენება ცვალებად კლიმატში წყლის ხარისხის საკითხების უკეთ გასაგებად და მართვისთვის. გადაწყვეტილებების უმეტესობა ბუნებრივი რესურსების სტატუსთან (როგორიცაა წყლის ხარისხი) და ამ რესურსებზე პოტენციური ან რეალური ზემოქმედების შესახებ შემოთავაზებული მენეჯმენტის ქმედებებით ემყარება კონკრეტული პარამეტრების გაზომვებს, რომლებიც განიხილება როგორც აქტივის სიჯანსაღის „ინდიკატორები“. თუმცა, მიუხედავად იმისა, რომ მსგავსი ინდიკატორები ძალზე ცვალებადია როგორც სივრცეში, ასევე დროში, ამ ინდიკატორების გაზომვა და მუდმივი მონიტორინგი არსებითად შეზღუდულია ორივე ასპექტში რესურსების შეზღუდვის გამო დროის, ფულის, ადამიანებისა და აღჭურვილობის თვალსაზრისით.

მანამდე დასრულებულია კვლევები, რომლებიც ასახავს მონიტორინგის ქსელების შესაბამისი დროითი სიხშირისა და სივრცითი განაწილების მნიშვნელობას. ამ კვლევებიდან ირკვევა, რომ ძალიან მცირე სიხშირეზე ან ტერიტორიულ განაწილებაზე მონიტორინგს შეუძლია მნიშვნელოვნად არასწორად წარმოაჩინოს რთული პროცესების რეალური მასშტაბები და ეფექტი, როგორიცაა წყალშემკრები დაბინძურების ზარალი. მონიტორინგის აღჭურვილობისა და განრიგის დანერგვა შესაბამისი ტარიფებითა და სიმკვრივით, რათა უზრუნველყოს ჭეშმარიტად მნიშვნელოვანი მონაცემები და ჩვეულებრივი მონიტორინგის აღჭურვილობის გამოყენება წელიწადში მრავალი ათასი დოლარი დაჯდება. თუმცა, ორმხრივი მიდგომის მიღებით, რომელიც ცდილობს გაიგოს კლიმატის შეყვანის დინამიკა – კერძოდ, ნალექი – და ლანდშაფტში წყლის გადანაწილების მიზეზობრივი ეფექტები, შესაძლებელია მდგრადი შედეგების მიღწევა [6-7].

ამ განვითარების პირველადი შედეგია გადაწყვეტილების მხარდაჭერის ინსტრუმენტარიუმი, რომელიც ინვესტიციებს, ადაპტაციას, რესურსების მდგომარეობის შეფასებას, მიწისა და წყლის მართვას უზრუნველყოფს. ეს ხელსაწყოები მიწისა და წყლის მენეჯერებს და მთავარ გადაწყვეტილების მიმღებებს მიაწვდის ეფექტურ მეთოდოლოგიას, რათა გაუმჯობესდეს ხანმოკლე და საშუალოვადიანი ნალექის ცვალებადობა და კლიმატის ცვლილება შემდეგი გზით:

- მიწის, წყლისა და პროდუქტიულობის საუკეთესო მართვის პრაქტიკის ხელშეწყობა მარგინალურ და მშრალი მიწის მეურნეობაში;
- სოფლის წყალმომარაგების სისტემის გაუმჯობესების ხელშეწყობა;
- ეკოსისტემების მდგრადი მართვის შესაძლებლობების ოპტიმიზაცია, როგორიცაა მდინარეები, ლანდშაფტები და პროდუქტიული რესურსების ბაზა;
- წყლის რესურსების მართვის გაუმჯობესებული მონაცემების, წყლის პოლიტიკის ინსტრუმენტებისა და მთავრობის რეაგირებისთვის მონაცემთა მიწოდება;
- ნალექის ცვალებადობის გავლენის ანალიზი წყლის ჩამონადენზე, მიწისქვეშა წყლების შევსებაზე, წყლის ხარისხზე, ნიადაგის მდგომარეობაზე, ნუტრიენტების სტატუსზე და საკვები ნივთიერებების ციკლორობაზე მიწის ამჟამინდელი და პოტენციური გამოყენების პირობებში SWA-სა და ჩრდილოეთ ამერიკის შერჩეული რეგიონის ნიადაგურ-ლანდშაფტებზე;
- მაღალი სიხშირის მონაცემთა შეგროვება განხორციელებული ამ ნაკადების დროითი მასშტაბის და, განსაკუთრებით, წყლისა და დამაბინძურებლების ბინადრობის დროის გასაზომად სხვადასხვა ამინდისა და კლიმატური პირობების პირობებში.

დასკვნა

ახალი ხედვის და აზროვნების გამოყენება წყლის, ენერგეტიკისა და სურსათის უსაფრთხოების საკითხებზე საბოლოოდ წახალისებს მიწისა და წყლის ხარისხის მენეჯმენტის გაუმჯობესებული გეგმების და მცირე და მასშტაბური გადაწყვეტილების მხარდაჭერის სისტემების შემუშავებას, რომლებიც უზრუნველყოფენ ნდობის მნიშვნელოვნად გაზრდილ

დონეს წყლის ხარისხის პროგნოზირებისას ცვალებადი კლიმატის პირობებში. თუმცა, ეს მოითხოვს ახალი ხელსაწყოებისა და ტექნოლოგიების შემუშავებას, რაც საშუალებას მოგვცემს გავხადოთ წყლისა და დამაბინძურებლების ნაკადის საჭირო გაზომვები უფრო წარმომადგენლობითი და ეკონომიურად ეფექტური, ვიდრე აქამდე იყო.

სანდო და მტკიცე სენსორებზე დაფუძნებული გარემოსდაცვითი მონიტორინგის ქსელების შემუშავება, რომელიც გამოიმუშავებს დროებით და სივრცით წარმომადგენლობით მონაცემთა ნაკრებებს, საბოლოო ჯამში გადაწყვეტილების მიმღებთათვის უფრო სანდო ინფორმაციას მისცემს წყლისა და საკვები ნივთიერებების ტრანსპორტირებას სხვადასხვა კლიმატის პირობებში. ინტერაქტიული დინამიკის უფრო ფუნდამენტური გაგებაა საჭირო ამ ლანდშაფტების გამძლეობის (ან მდგრადობის) ამოცნობის პოტენციალის სრულად იდენტიფიცირებისთვის და გასაგებად და, შესაბამისად, უკეთ უნდა შეფასდეს ეკოსერვისების შესაბამისი მნიშვნელობის (დირეზულებით). უკეთესი მონიტორინგის ტექნოლოგიები, მონაცემთა შეგროვების ვარიანტები და ანალიტიკური ხელსაწყოები უზრუნველყოფს უკეთესი გადაწყვეტილების მიღებისა და რისკების მართვის ჩარჩოს. ეს არის ურთიერთდაკავშირებული მიზნების და რესურსების დინამიური ბუნების მართვის ურთიერთდაკავშირებული მიდგომის საფუძველი, ძირითადი გაგება იმისა, რომ ერთ სექტორში გადაწყვეტილებები გავლენას მოახდენს მეორეზე. ამ ტიპის ჰოლისტიკური მიდგომის გარეშე, წყალსა და საკვებზე უსაფრთხო მდგრადი ხელმისაწვდომობის უზრუნველყოფა, ჩვენი ენერგეტიკული მოთხოვნილებების გათვალისწინებისას, მიუღწეველია.

ლიტერატურა

1. Water Security: the water-food-energy-climate nexus: The World Economic Forum water initiative. Ed. D. Waughray 2011. Island Press Washington DC.
2. H. Hoff, H., Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus. Stockholm Environment Institute, November 2011.
3. Wang, N., N. Zhang, et al. (2006). "Wireless sensors in agriculture and food industry—Recent development and future perspective." *Computers and Electronics in Agriculture* 50(1): 1-14.
4. The State of Food Insecurity in the World, FAO 2011, p12
5. Millennium Ecosystem Assessment (<http://www.maweb.org/en/index.aspx>)
6. UNDP: Millennium Development Goals, Goal 7: Ensure environmental sustainability
7. FAO. 1996. Rome Declaration on World Food Security and World Food Summit Plan of Action. World Food Summit 13–17 November 1996. Rome

SUMMARY

WATER, ENERGY AND FOOD SECURITY

Tsinadze Z.O. and Gordeziani K.G.

Georgian Technical University

Water, energy, and food are inextricably interconnected and are grounded in the evolution and expansion of current models of global trade and productivity. Growing global concern over limited access to these three fundamental elements of life is now compounded by increasing anxiety about their future availability and sustainability. The addition of more people to an increasingly urbanized planet will place significant pressure on the level and complexity of trade-offs needed between these three development goals, while trade itself must also act to minimize the potential for accelerating ecosystem degradation. This paper argues that it is possible to achieve long-term security in water, energy, and food; however, the "business-as-usual" approach will not suffice. A transformation in thinking and approach is essential through the adoption of new management and development opportunities enabled by innovative technologies. A new approach, framed through a Nexus perspective, forms a fundamental basis for redefining our understanding of the interdependence between water, energy, and food security, and is a core principle for realizing a green economy. This paradigm shift is crucial for achieving sustainable development goals in the context of global climate and economic change.

Keywords: climate, water, food, energy, sustainability, green economy

ბიტუმის მოდიფიცირება პოლიმერებით

ჩიქოვანი ა.ბ., ნებიერიძე ნ.ვ., ცინაძე ზ.ო.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

შესავალი

ბიტუმინერალური კომპოზიტის ტექნოლოგიაში ფართო გამოყენება მოიპოვა სხვადასხვა დანამატმა, რომელიც საშუალებას გვაძლევს გავაუმჯობესოთ შემკვრელის თვისებები და მისი ურთიერთქმედება მინერალური მასალებთან. ფუნქციონალური ნიშნით ის იყოფა:

- გამათხევადებელი;
- მაპლასტიფიცირებელი;
- მოდიფიცირებადი;
- კომპოზიციური.

ასფალტბეტონის თვისებების გაუმჯობესების ძირითადი საშუალებაა პოლიმერბიტუმის შემკვრელში (პბმ) პოლიმერის შეყვანა.

ძირითადი ნაწილი

პოლიმერბიტუმოვანი შემკვრელის შექმნის ორი საშუალება არსებობს, მის შემადგენლობასა და პოლიმერული დანამატის აგებულებაზე დამოკიდებულებით:

პოლიმერული დანამატები ცვლიან შემკვრელის ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს და სტრუქტურას, ბიტუმზე ახდენენ მაპლასტიფიცირებელ ზემოქმედებას. ამასთან „ბიტუმ-პოლიმერის“ სისტემის კომპონენტები ერთმანეთთან შედიან ქიმიურ ზემოქმედებაში, რის შედეგადაც იქმნება ერთიანი საწარმოო სტრუქტურა;

პოლიმერული დანამატები მოქმედებენ როგორც მაარმირებელი ელემენტები, ამასთან კომპონენტები არ შედიან ერთმანეთთან ქიმიურ ზემოქმედებაში; პოლიმერბიტუმის კომპოზიციაში იქმნება დამოუკიდებელი სივრცული სტრუქტურები. ორივე შემთხვევაში პოლიმერულმა მოდიფიკატორებმა უნდა პასუხი გასცენ შემდეგ ძირითად მოთხოვნებს:

- უნდა თბომდეგნი იყვნენ მინუს 40°C – პლიუს 70°C ტემპერატურის დიაპაზონში;
- ღნობის ტემპერატურა არ უნდა ჰქოდეთ 170°C -ზე მეტი;
- უნდა მდგრადი იყვნენ დესტრუქციისა და დაბერებისადმი;
- მინერალურ მასალებთან ჰქონდეთ კარგი ადჰეზია.

პოლიმერ-მოდიფიკატორის არჩევა ასევე განისაზღვრება მისი პლასტიკურობის ტემპერატურული ინტერვალით და უნარით გაიხსნას ან გაჯირჯვდეს ბიტუმში.

ბიტუმებში დანამატად გამოიყენება შემდეგი ჯგუფის პოლიმერული მასალები:

– კაუჩუკმსგავსი პოლიმერები-ელასტომერები (ნატურალური და სინთეზური კაუჩუკი, ბუტილკაუჩუკი, ბუტილსტიროლური კაუჩუკები, პოლიიზობუტილენი, დეველკანიზირებული რეზინის ფხვნილი);

– სხვადასხვა ლატექსი (დივინილსტიროლური, დავინილნიტრილური) და თხევადი სილოქსანური კაუჩუკები;

– თერმოპლასტიკური პლასტმასები (პოლიეთილენი და პოლიპროპილენი, პოლიმეთილაკრილატი, პოლისტიროლი, პოლივინილლორიდი);

– თერმორეაქტიული ფისები (ფენოლფორმალდეჰიდური, ეპოქსიდური);

– თერმოპლასტიკური პოლიმერები (დივინილსტიროლი, დივინილმეტასტიროლი, იზოპრენსტიროლური პლკთანაპოლიმერი).

დამუშავებულია და გამოიყენება მოდიფიცირებადი პოლიმერის ბიტუმში შეყვანის სხვადასხვა მეთოდი:

- 150...170°C ტემპერატურამდე გაცხელებულ ბიტუმში ფხვნილისებრი პოლიმერის შეყვანა;
- გაცხელებულ ბიტუმში პოლიმერის ხსნარის (სხვადასხვა ნახშირბადწყალბადის ფრაქციებად) შეყვანა;
- დაქუცმაცებული (ფხვნილისებრი) პოლიმერის უშუალოდ მინერალურ მასალაში შეყვანა, მისი ბიტუმთან გაერთიანებამდე.
- ბიტუმის ემულსიაში ლატექსის სახის პოლიმერის შეყვანა.

პერსპექტიულია კომპლექსური შემკვრელი ბიტუმისა და მაპლასტიფიცირებელი დაბალმოლეკულური პოლიმერების საფუძველზე. მაღალი რეოლოგიური თვისებები აღენიშნება მაგალითად, ნარჩენ ან დაჟანგულ ნავთობის ბიტუმს, მასზე ან მის კომპაუნდზე 1...5% პოლიეთილენის, პოლიიზობუტილენის, პოლიბუტილენის, ბუტილკაუჩუკის, ეპოქსიდური ფისის და სხვათა დამატებით. ამასთან მოდიფიცირებული დანამატის მასითი წილი შეიძლება აღწევდეს 20%.

დაბალი სიბლანტის ბიტუმებისათვის, რომლებიც გამოირჩევიან ასფალტენების და ფისების დაბალი შემცველობით, წარმატებით გამოიყენება დივინილსტიროლის თერმოპლასტები (დსტ-30), რომელშიც შერწყმულია მაღალი სიმტკიცე მომატებულ ტემპერატურებზე. სიხისტის და ელასტიკურობის დაბალი ტემპერატურა. დანამატი დსტ-30 (ჩვეულებრივ 2...4,5%), რომელიც გახსნილია 15...20% კონცენტრაციამდე ნახშირბადწყალბადოვან გამხსნელში, შეიყვანება 100 – 110°C-მდე გაცხელებულ ბიტუმში. პოლიმერბიტუმის შემკვრელში გამხსნელის არსებობა საშუალება გვაძლევს შევამციროთ ასფალტბეტონის ნარევის დამზადების, ჩაწყობის და შემკვრივების ტემპერატურა, 2, 3 და 4% დსტ-30 ხსნარის სახით დიზელის საწვავში შეყვანა საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ პოლიმერბიტუმი (პბმ) მინუს 25°C, მინუს 35°C და მინუს 50°C სიხისტის ტემპერატურით.

ამ სახის პბმ მოსაშვადებლად გამოიყენება საგზაო ნავთობის ბიტუმი და ნავთობის ბიტუმი, ბუტადიენის და სტიროლის ბლოკთანაპოლიმერები. დსტ გამხსნელად იყენებენ დიზელის საწვავს, გუდრონს, სხვადასხვა მარკის თხევად ბიტუმს. ქვის მასალებთან შეჭიდულობის გაზრდისათვის პბმ-ში შეყავთ კათიონური ტიპის ზედაპირულ-აქტიური ნივთიერებები.

პლასტიფიკატორებად გამოიყენება შემდეგი მარკის ინდუსტრიული ზეთები: ი-20ა, ი-30ა, ი-40ა და ი-50ა, ასევე ბლანტი საგზაო ბიტუმის მისაღები მასალები.

სახელმწიფო სტანდარტის „პოლიმერ-ბიტუმის საგზაო შემკვრელები, ბლოკთანაპოლიმერების ბაზაზე“ შესაბამისად, ამ მასალებზე მიღებულმა შემკვრელმა უნდა დააკმაყოფილოს ცხრილში მოყვანილი მონაცემები.

პოლიმერ-ბიტუმის შემკვრელის ტექნიკური მოთხოვნები

მაჩვენებლების დასახელება	ნორმა მარკების მიხედვით					
	პბმ 300	პბმ 200	პბმ 130	პბმ 90	პბმ 60	პბმ 40
ნემსის ჩაღწევის სიღრმე, 0,1 მმ						
25°C-ზე	300	200	130	90	60	40
0°C-ზე	90	70	50	40	32	25
დარბილების ტემპერატურა °C, არანაკლებ	45	47	49	51	54	56
ჭიმვადობა, სმ, არანაკლებ						
25°C-ზე	30	30	30	30	25	15
0°C-ზე	25	25	20	15	11	8
სიხისტის ტემპერატურა °C, არაუმეტეს	-40	-35	-30	-25	-20	-15
აალების ტემპერატურა °C, არანაკლებ	220	220	220	220	230	230
გაცხელების შემდეგ ტემპერატურის ცვლილება, °C	7	7	6	6	5	5

ცნობილია ბიტუმის მოდიფიკაციის მეთოდები რეგენერირებული რეზინით და რეზინის ფხვნილით, რომელიც მიიღება ავტომობილის საბურავების ან სხვა რეზინო-ტექნიკური მასალებიდან. ფხვნილისებრ დაქუცმაცებული რეზინა, 3...5% რაოდენობით, შეყავთ 150...250°C-მდე გაცხელებულ ბიტუმში.

ამ გზით მიღებული რეზინობიტუმის შემკვრელის თვისებები შეიძლება შეიცვალოს ფართო დიაპაზონში, შერევის რეჟიმზე დამოკიდებულებით, კომპონენტები თანაფარდობით და ქიმიური შემადგენლობით, ასევე რეზინის ფხვნილის ზედაპირის მდგომარეობით.

რეზინობიტუმის შემკვრელი საწყისის ბიტუმისაგან გამოირჩევა სიხისტის დაბალი ტემპერატურით და დარბილების მაღალი ტემპერატურით. ბზარმდეგობის მაღალი მაჩვენებელი აიხსნება რეზინობიტუმის კომპოზიციაში პარაფინნაფტენური ნახშირწყალბადების შემცველობით. რეზინის ფხვნილით ყველაზე მეტი მოდიფიკაციის ეფექტი მიიღება მაღალი სიბლანტის ბიტუმებში (ნსბ 40/60), რაც გამოიხატება რეზინობიტუმის პლასტიკურობის ინტერვალის უფრო მეტი გაფართოებით.

ბევრი ქვეყნის საგზაო მშენებლობის პრაქტიკაში არის მნიშვნელოვანი გამოცდილება ბიტუმის თვისებების გაუმჯობესებისა კაუჩუკის დამატებით. სინთეზური კაუჩუკი ზრდის ბიტუმის ჭიმვადობას, დარტყმის სიმტკიცეს. ამცირებს სიხისტის ტემპერატურას. დამუშავებულია კაუჩუკის ბიტუმში შეყვანის შემდეგი მეთოდები:

- ბიტუმის შერევა მცირე დოზის (2...5%) კაუჩუკთან, 150 °C-მდე ტემპერატურაზე, შემდგომი ენერგიული არევით;

- კაუჩუკის წინასწარი გახსნა და ამ ხსნარის გაერთიანება ბიტუმთან;

- კაუჩუკის ლატექსის შეყვანა ბიტუმში.

ბიტუმის კაუჩუკთან არევის ზედმეტი ტემპერატურა გავლენას ახდენს როგორც ბიტუმის ისე კაუჩუკის თვისებებზე. მაღალ ტემპერატურაზე (140...200 °C) ბიტუმის შერევა კაუჩუკთან იწვევს კაუჩუკის მოლეკულების გაწყვეტას, ამასთან მცირდება მისი გავლენა ბიტუმის თვისებებზე. იმისათვის, რომ ეს ავიცილოთ, არევის ტემპერატურა და დრო უნდა იყოს შეზღუდული. 130 °C ტემპერატურაზე ბიტუმკაუჩუკის ნარევი შეიძლება შევინახოთ არაუმეტეს 72 სთ, 160 °C-ზე – არაუმეტეს 12 სთ, ხოლო 200 °C-ზე არაუმეტეს 1 სთ.

კაუჩუკბიტუმის შემკვრელის მომზადების ტექნოლოგიაში ერთ-ერთი ძირითადი მიმართულებაა კაუჩუკის ბიტუმში შეყვანის მეთოდის დამუშავება დაბალ ტემპერატურაზე და ამით კაუჩუკის დესტრუქციის შემცირება. ამ მეთოდის რეალიზაცია მიიღწევა კაუჩუკის ხსნარის ან ლატექსის სახით შეყვანით.

კაუჩუკის წინასწარი გახსნა საკმაოდ ეფექტურ, მსუბუქ გამხსნელში, კარგად ეთვისება ბიტუმს, საშუალებას გვაძლევს ბიტუმკაუჩუკის შემკვრელი დავამზადოთ დაბალ ტემპერატურაზე და ამით თავიდან ავიცილოთ კაუჩუკის დესტრუქცია.

სხვა მიმართულებაა კაუჩუკის ლატექსის (ემულსიის) გამოყენება. ეფექტურია 2...3% ლატექსის შეყვანა დაბალი სიბლანტის ბიტუმში, 80...90°C ტემპერატურაზე.

ბიტუმის ხარისხის ამაღლების პერსპექტიული მიმართულებაა მასში ოლიგომერის დანამატის შეყვანა, რომელიც შუალედურ მდგომარეობას იკავებს პოლიმერსა და მონომერს შორის. მას, როგორც წესი, აქვს თხევადი კონსისტენცია, რაც უზრუნველყოფს მისი გამოყენების არსებით ტექნოლოგიურ უპირატესობას, პოლიმერებთან შედარებით. ბიტუმის თვისებებზე გავლენის ხასიათით ოლიგომერი უახლოვდება პოლიმერს. ბიტუმების ოლიგომერებით მოდიფიკაცია საშუალებას გვაძლევს ავამაღლოთ შემკვრელის ელასტიკურობა, გავაფართოოთ ელასტიურობის ინტერვალის და შევამციროთ სიხისტის ტემპერატურა.

ოლიგომერის ძვირფასი თვისებაა – ნაწილობრივ პოლიმერიზაციის უნარი, შედარებით დაბალი ტემპერატურის დროს. ამ უნარის გამოყენება ასფალტბეტონის ნარევის მომზადების პროცესში (120...160 °C), განაპირობებს ნარევების წარმოების ტექნოლოგიური პროცესების ეფექტურობას.

განსაკუთრებული ეფექტი მიიღება ბიტუმში ოლიგომერის და პოლიმერიზაციის ინიციატორის ერთდროული შეყვანით, ასე, სნბ 40/60 მარკის ბიტუმში ოლიგომერული კაუჩუკის 20 % რაოდენობით და 1 % პოლიმერიზაციის ინიციატორის (ჰექსაქლორპარაქსილოლის) შეყვანა შემკვრელის პლასტიკურობის ინტერვალს ზრდის 130 °C ტემპერატურამდე, ხოლო სიხისტის ტემპერატურას ამცირებს –35 °C-მდე. ამასთან შემკვრელის ჭიმვადობა 0 °C ტემპერატურაზე იზრდება 4,5-დან 15 სმ-მდე.

დასკვნა

საგზაო მშენებლობაში ფართოდ გამოყენებული შემკვრელი ნივთიერება – ბიტუმი, რომელსაც მუშაობა უხდება ძალიან რთულ პირობებში – ორგანული მასალაა, რის გამოც იგი მინერალური შემკვრელებისგან განსხვავებით მეტად განიცდის ატმოსფერული მოვლენების გავლენას – დაბერებას, მის ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებზე ძალიან მოქმედებს როგორც მაღალი ისე დაბალი ტემპერატურა და სხვა ფაქტორები. ამის გამო დადგა საკითხი ბიტუმის თვისებების მოდიფიცირებისა სხვადასხვა და მათ შორის ყველაზე ეფექტური-პოლიმერული მასალებით, რაც განხილულია ჩვენს სტატიაში.

ლიტერატურა

1. ა. ჩიქოვანი. ბეტონის ტექნოლოგია. საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2015, 358 გვ., ISBN 978-9941-20-510-1
2. ლ. კლიმიაშვილი, დ. გურგენიძე, ა. ჩიქოვანი. ბეტონთმცოდნეობა. საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2022, 272 გვ. ISBN 978-9941-28-725-1
3. Юндин А.Н. Битуминозные дорожно-строительные материалы. -М, ACB, 2021.

SUMMARY

MODIFICATION OF BITUMEN WITH POLYMERS

Chikovani A.B., Nebieridze N.V. and Tsinadze Z.O.

Georgian Technical University

One of the main directions for improving the quality of bituminous binders is their modification with polymeric materials, resulting in the production of polymer-bitumen binder (PBB). The use of polymer additives allows for the enhancement of the full range of physical and mechanical properties of asphalt concrete — increasing strength, deformation resistance, water resistance, frost resistance, and more.

Keywords: asphalt concrete, bitumen, modification, polymer, additive, composite, emulsion, oligomer, rubber, rheology.

POROUS MATERIAL CONTAINING PERLITE FOR PURIFICATION OF OIL-CONTAMINATED ENVIRONMENTS

Molodinashvili Z.F., Gamkrelidze N.M., Kopaleishvili M.N., Gabunia T.I. and Shatakishvili T.N.

Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Petre Melikishvili Institute of Physical and Organic Chemistry
Georgian Technical University

Abstract. Numerous studies have shown that the most environmentally friendly, effective and economical method of purification is the use of sorbents. In this case, sorbents must have a number of specific indicators: hydrophobicity, regeneration ability, significant adsorption capacity, durability, chemical and thermal stability. They must also be environmentally friendly and have a low cost. Natural perlite was chosen. Optimal conditions for thermal modification of the natural sorbent were established: heating at a temperature of 240-700 °C for 6 hours. Chemical modification of perlite with organosilicon compounds was carried out. The processes of perlite hydrophobization were studied. Amide oligomers were synthesized. The optimal mass ratio of perlite and amide-aldehyde oligomer was determined to be 0.3:0.7, respectively.

Keywords: oil products, natural sorbents, modification, porous material, hydrophobization

1. INTRODUCTION

The emergence of the oil industry gave a great push to the development of various industrial sectors. Over 2.5 billion tons of crude oil are produced annually in the world. However, the oil industry has negative consequences, namely the pollution of the natural environment by oil and products of its processing. As a result of pollution, large areas become unsuitable for agricultural use. As a result, a large amount of carcinogenic compounds enter the atmosphere, causing many animals and plants to die [1, 2].

Numerous studies showed that the most environmentally friendly, efficient, and cost-effective treatment was using sorbents. At the same time, sorbents must have a number of specific indicators: hydrophobicity, the possibility of regeneration, significant adsorption capacity, floatability, chemical and thermal stability. They should also be environmentally friendly and have a low cost [3].

Sorbents, according to the method of exposure, can be divided into inorganic, organic (natural), organic mineral, and synthetic. As a polymeric matrix in compositions are used phenol-aldehyde oligomers, polyurethanes, polyethylene, polystyrene, polypropylene, polyamides, polyacrylates, and other classes of polymers. We consider amide-aldehyde oligomers as polymers to be used for the intended purpose because of their availability and low cost [1,4].

2. EXPERIMENTAL METHODS AND MATERIALS

Research has been conducted to select natural mineral sorbents. Natural sorbents have an advantage over synthetic sorbents. They are accessible and inexpensive. However, natural sorbents are inferior to synthetic ones in terms of efficiency, purity, and homogeneity. Of great interest are mineral sorbents – silicon series (diatomites), bentonite clays, and natural acid-resistant zeolites (perlite, clinoptilolite, etc.). It is also necessary to take into account the size of their pores for complete sorption of the substance, and their thermal stability. Natural perlite was selected. Optimum conditions for thermal modification of the natural sorbent were determined – heating at 240–700 °C for 6 hours [5–7].

Research has been conducted to determine the optimal conditions for chemical modification. Work has been carried out to obtain the H-form.

Chemical modification has been carried out to increase the size and activity of the pores. Optimal conditions (temperature, time, solution concentration, and component ratio) for chemical modification of sorbents were determined.

Experiments on thermal modification were conducted.

To determine the optimal temperature for thermal modification, perlite was heated for 3 hours at 250, 300, 400, 450, 500, 550, 600, and 700 °C.

When heated to 250 °C, mainly the release of absorbed water occurs. An increase in temperature leads to the destruction of organic components and the expansion of pores. At 700 °C, the pore size reaches its maximum, and the pore capacity of the modified perlite increases. It has been established that the introduction of thermally (heating at 700 °C) and chemically (with organosilicon compounds) modified perlite into the polymer composition dramatically improves the properties of the porous polymer - its density, floatability, sorption properties, etc.

Hydrophobization of both natural, unmodified and thermally modified (at 400 °C) perlite was carried out at 250 °C for 6 hours in a silicon environment.

The experiment showed that thermally modified perlite after hydrophobization:

1. Does not get wet in water and does not sink.
2. Effectively absorbs oil from the surface of contaminated water.

To obtain polymer compositions, complex urea-formaldehyde, melamine-formaldehyde, and urea-melamine-formaldehyde oligomers were synthesized, which are promising materials for use as a matrix in compositions. The synthesis of oligomers was carried out mainly in aqueous solutions based on the amide component and formaldehyde:

The method involves the interaction of the amide component (urea, melamine) and formaldehyde in an aqueous solution under certain conditions of the reaction medium (pH = 5–7.5) and temperature (30 – 100 °C) [8,9].

The composites were prepared from perlite (both natural and modified) and amidoaldehyde oligomer (with different percentages) using the technology we developed. The results obtained allowed us to conclude that the optimal weight ratio of perlite and amidoaldehyde oligomer for obtaining an effective material is 0.3:0.7, respectively. With an increase in the amount of perlite to 50 % (relative to the oligomer), heat resistance, density, and fire resistance increase, and the physical and mechanical properties improve. However, a further increase in the ratio leads to a deterioration in the properties of the material.

The effect of pH on the formation of a hybrid polymer was studied. Along with urea-formaldehyde and melamine-formaldehyde homogeneous polymers, complex urea-hyaline-formaldehyde polymers were obtained. At the first stage of polymer formation in an aqueous solution, methylol derivatives of melamine were obtained, which were then converted into oligomers by heat treatment (100 °C) and lowering the pH to 5-6. When the obtained oligomers and a foaming agent (foaming agent, 60 % H₃PO₄, resorcinol and H₂O) interacted, a foamed polymer was obtained, from which polymers with a porous structure were obtained.

3. RESULTS AND DISCUSSION

To study the sorption properties of the polymer, water artificially contaminated with an oil product (benzene) was taken. Sorbents were placed in the resulting emulsion for a certain time (1, 3, 5, 7, 10 days). Hybrid materials based on urea-formaldehyde oligomers and modified perlite were used as sorbents. After that, the porous samples (sorbents) were extracted from the aqueous medium. Using spectral analysis, the concentration of the oil product remaining in the aqueous emulsion was determined. The study showed that the porous composites are characterized by significantly higher sorption properties than natural and modified perlite. Thermally modified, hydrophobized perlite almost completely absorbs the oil product if its concentration does not exceed 6·10³ mg/l, and at a higher concentration - 14·10³ mg/l, the amount of oil product absorbed by perlite decreases. Under these conditions, hybrid composites obtained based on amide-aldehyde oligomer and containing 30 % of natural or modified perlite exhibit high sorption properties. The properties of sorbents were studied using spectral and chromatographic methods. The influence of various factors (reaction medium,

oligomer concentration, air flow intensity, stirring frequency, amount of natural sorbent, etc.) on the formation of a hybrid porous polymer was studied. It was found that the following are optimal conditions for polymer formation: pH of the reaction mixture <7, oligomer concentration – 55 %, intense air flow, maximum stirring frequency, temperature $20 \pm 5^\circ \text{C}$, and the content of natural sorbent – 25 %.

4. CONCLUSION

A natural sorbent, perlite, was selected. To activate the sorbent, it was thermally and chemically activated.

Optimal conditions for thermal modification of the sorbent were determined. Chemical modification of perlite was carried out with organosilicon compounds.

The processes of perlite hydrophobization were studied. Amide oligomers were synthesized.

The optimal mass ratio of perlite and amidoaldehyde oligomer was determined to be 0.3:0.7, respectively. The influence of various factors on the process of hybrid porous polymer formation was studied.

REFERENCES

1. Peters A. Oil spills and the environment. // Ecology, 2006, # 4, 11 p.
2. Gridin O.M. About oil sorbents. // Metallurgist, 2000, # 10, pp. 25–31.
3. Zheltov, M. Sorbents in the fight against oil spills. // Aquaterm.2012, # 1 (65), pp. 98–101.
4. Toroptseva A.M., Belogorodskaya K.V., Bondarenko V.M. Laboratory Workshop in Chemistry and Technology of High-Molecular Compounds". -Leningrad, Chimia', 1972, p. 218.
5. Patent 2587440 of the Russian Federation. Composition for obtaining of sorbent based on carbamide-formaldehyde resin // Melkozerov V.M., Vasilyev S.I., Lapushova L.A.; publ. 2016. Bull. No. 17.
6. Patent 2593160 of the Russian Federation. Polymer composition for plastic foam // Melkozerov V.M., Vasilyev S.I., Ortman A.S.; publ. 2016. Bull. No. 21.
7. Lapushova L. A., Vasiliev S. I. Results of the study of the structure of the polymer sorbents "Uni-Polymer-M" for liquidation of anthropogenic spillage of oil and oil products // Protection of the environment in the Oil and Gas Complex. 2015. No. 6. pp. 17-21.
8. Vasilyev S.I., Lapushova L.A., Melkozerov V.M., Matveykina Ya.V., Gorbunova L.N. Results of the study of hydrophilia of polymer sorbents from the "Unipolymer" series // Systems Methods Technologies, 2016, № 1 (29), pp. 135-139.
9. Melkozerov V.M., Vasilyev S.I., VelpA.Ya., Krylyshkin R.N., Maryanchik D.I. Operational properties of polymeric sorbents // J. of Sib. Federal Univ. Engineering & Technologies, 2011. No. 4, pp. 369-379.

რეზიუმე

პერლიტის შემცველი ფოროვანი მასალა ნავთობით დაბინძურებული გარემოს გასაწმენდად მოლოდინაშვილი ზ.ფ., გამყრელიძე ნ.მ., კოპალეიშვილი მ.ნ., გაბუნია თ.ი., შატაკიშვილი თ.ნ..

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის, პეტრე მელიქიშვილის სახელობის ფიზიკური და ორგანული ქიმიის ინსტიტუტი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მრავალრიცხოვანმა კვლევებმა აჩვენა, რომ სორბენტების გამოყენებით ნავთობითა და ნავთობპროდუქტებით დაბინძურებული გარემოს გაწმენდა არის ყველაზე უფრო ეკოლოგიურად სუფთა, ეფექტური და ეკონომიური მეთოდი. სორბენტებს უნდა ჰქონდეთ მთელი რიგი სპეციფიკური ინდიკატორები: ჰიდროფობიურობა, რეგენერაციის უნარი, ადსორბციის უნარი, გამძლეობა, ქიმიური და თერმული სტაბილურობა. ისინი ასევე უნდა იყვნენ ეკოლოგიურად სუფთა და ჰქონდეთ დაბალი ღირებულება. ჩვენს მიერ შერჩეული იქნა ბუნებრივი სორბენტი – პერლიტი. დადგენილია ბუნებრივი სორბენტის თერმული მოდიფიკაციის ოპტიმალური პირობები: გათბობა $240 - 700^\circ \text{C}$ ტემპერატურაზე 6 საათის განმავლობაში. განხორციელდა პერლიტის ქიმიური მოდიფიკაცია სილიციუმ-ორგანული ნაერთებით. შესწავლილია პერლიტის ჰიდროფობიზაციის პროცესი. სინთეზირებულია ამიდური ოლიგომერები. დადგენილია პერლიტისა და ამიდ-ალდეჰიდის ოლიგომერის ოპტიმალური მასური თანაფარდობა – 0,3:0,7.

საკვანძო სიტყვები: ნავთობპროდუქტები, ბუნებრივი სორბენტები, მოდიფიკაცია, ფოროვანი მასალა, ჰიდროფობიზაცია.

პოლიმერ-მატარებლის მიღების ტექნოლოგიის მოდიფიკაცია L-ლიზინის საფუძველზე**ჯოხაძე გ.ა., გურუშიძე მ.ზ., ქერქაძე ჯ.ვ., ზავრადაშვილი ნ.მ.****საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი****საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტი**

პოლიმერულმა მატარებლებმა რევოლუცია მოახდინეს წამლების მიწოდების მოწინავე სისტემებში (DDS) სამკურნალო პრეპარატების ბიოშედწევადობის გაუმჯობესების, მიზანმიმართული/სელექტიური/ლოკალური მიწოდებით გვერდითი ეფექტების მინიმიზაციის, ზუსტი დოზირების, ხანგრძლივი ან სასურველი პერიოდის განმავლობაში თერაპიული ეფექტის შენარჩუნებისა და პროლონგირებული, კონტროლირებადი გამოყოფის გამო [1,2]. აღნიშნული სისტემებისათვის ერთ-ერთი ყველაზე პერსპექტიული პოლიმერებია ბიოდეგრადირებად-ბიოთავსებადი პოლიესტერამიდები, რომელთა სინთეზისა და კვლევის დარგში საქართველოში, აკად. რ. ქაცარავას ხელმძღვანელობით, მრავალწლიანი წარმატებული კვლევები მიმდინარეობს [3-5].

ზემოაღნიშნულ პოლიესტერამიდებში ფუნქციონალიზაციის მიზნით L-ლიზინის ჩართვა კიდევ უფრო ზრდის კომპოზიციების მრავალფეროვნებას რეგულირებადი სპეციფიკური თვისებებით, შესაძლებელი ხდება ე. წ. პოლიმერული პრეპარატების კონიუგატების კონსტრუირება. გრძელ მაკრომოლეკულურ ჯაჭვებში ჩართული ფუნქციური ჯგუფები სხვადასხვა ფუნქციისა და მოქმედების სხვადასხვა მექანიზმის მექანიზმით დაბალ- და მაღალმოლეკულური (წამლებით, ფერმენტებით და სხვ.) ნერთებით მოდიფიკაციის, ხოლო არატოქსიკური „საშენი ბლოკების“ ვარირება კი მათი თვისებების მიზანმიმართული მართვის საშუალებას იძლევა. შესაბამისად, მოცემული პოლიმერები შესაძლებელია მოერგოს ნებისმიერ გამოყენებას [6-8].

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ჩვენ გადაწყვიტეთ მოგვეხდინა მაკრომოლეკულების გვერდით ჯაჭვში კარბოქსილის ჯგუფების შემცველი პოლიესტერამიდების მიღების მეთოდის მოდიფიკაცია და ოპტიმიზაცია. მიზნად დავისახეთ L-ლიზინის საფუძველზე სინთეზირებული ბენზილის ჯგუფების შემცველი პოლიმერის კატალიზური ჰიდროგენოლიზის მეთოდის მოდიფიკაცია, აგრეთვე პოლიმერის მიღების სტრუქტურული ტექნოლოგიური სქემის შემუშავება რესურსდამოკავი და გარემოსდაცვითი ტექნოლოგიის გათვალისწინებით.

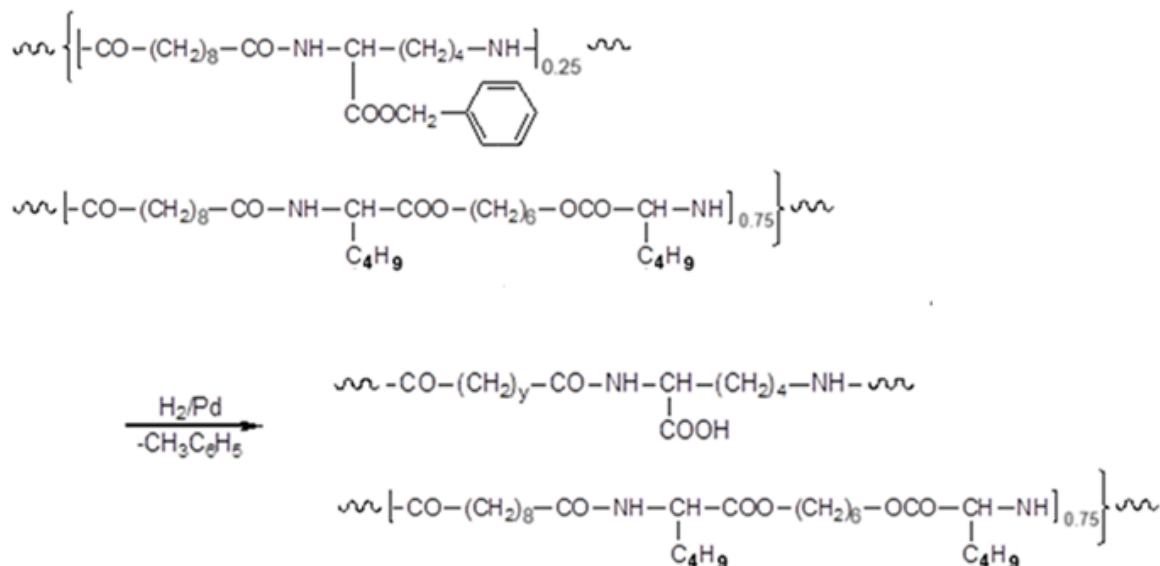
დასახული მიზნის მისაღწევად, როგორც მოდელური პოლიმერი, დავასინთეზეთ თანაპოლიესტერამიდი – **8-[Leu-6]_{0.75}-[Lys(bz)]_{0.25}** ბენზილის ესტერის ფორმით, შეუცვლელი α,L-ამინომჟავების (ლეიცილისა და ლიზინის), 1,6-ჰექსანდიოლისა და სებაცინის მჟავას საფუძველზე.

L-ლიზინის მონომერი 0.25 მოლური წილით ავიღეთ იმის გათვალისწინებით, რომ პოლიმერს ფორმირებისას წყალბადური ბმების წარმოქმნის ალბათობა შეგვემცირებინა პოლიმერის ხსნადობის შესანარჩუნებლად; ასევე პოლიამიდური ჯგუფების (ბენზილის ჯგუფებთან ერთად) ზრდას არ გამოეწვია კატალიზური ჰიდროგენოლიზის პროცესის გახანგრძლივება და ბიოდეგრადაციის უნარის შემცირება [9].

პოლიმერული ბენზილის ესტერის დაცვის ჩამოხსნისათვის ჩვენს კვლევამდე გამოყენებული იყო საკმაოდ ფართოდ გავრცელებული ნახშირბადაზე დატანილი Pd-ის კატალიზატორი (Pd/C), რის შედეგადაც მიიღებოდა მუქი ნაცრისფერი ხსნარები. ამ ხსნარების გასუფთავების (ფერის მოცილების) ყველა მცდელობა – ჰიდროგენოლიზის პირობების შეცვლა, ხსნარების გაწმენდა დიალიზით, დამუშავება სილიკაგელით, ცენტრიფუგირება მაღალ სიჩქარეზე (24000 წთ⁻¹) – წარუმატებლად დასრულდა [6].

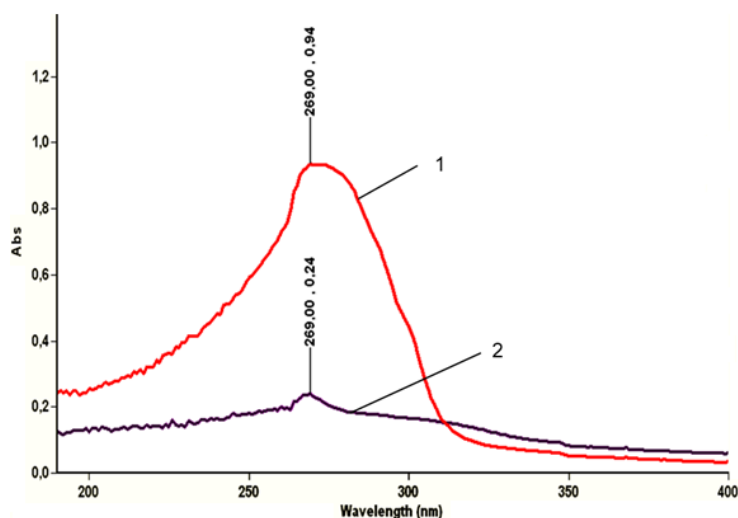
ამ პრობლემიდან გამომდინარე, ვივარაუდეთ, რომ კატალიზური ჰიდროგენოლიზის შედეგად მიღებული პოლიმერის პოლიელექტროლიტური ბუნებისა და ლეიცილის გვერ-

დითი ჰიდროფობური იზოპუთილის ($i\text{-C}_4\text{H}_9$) ჯგუფები მოქმედებს როგორც ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები და ადგილი აქვს ნაწილაკების დეზინტეგრაციას კოლოიდურ ზომამდე. წარმოქმნილი კოლოიდური სისტემები კი იმდენად მდგრადია, რომ მათი გაწმენდა შეუძლებელია. ამიტომ კვლევაში დებენზილირებისათვის გამოვიყენეთ ე. წ. Pd-ის შავი [10]. ჰიდროგენოლიზის დამთავრების შემდეგ, პოლიმერული ხსნარები გავფილტრეთ, დავაცენტრიფუგირეთ (9000 წთ^{-1} , „BECKMAN“, $30,000 \text{ g}$), მივიღეთ უფერო და გამჭვირვალე ხსნარები (სქემა 1).



სქემა 1. 8-[Leu-6]_{0.75}-[Lys(H)]_{0.25}-ის სინთეზი

ჰიდროგენოლიზის ხარისხს ვაკონტროლებდით UV-სპექტრომეტრული ანალიზით (UV-Vis-ულტრაიისფერი-ხილული სპექტრომეტრი „VARIAN“, CARRY 100, დიაპაზონი 900–190 ნმ) – ბენზილის ესტერის შთანთქმის პიკის გაქრობით 250–270 ნმ უბანში, პოლიმერს ხილულ უბანში შთანთქმა არ აქვს (ნახ. 1). დადგინდა, რომ ბენზილის ესტერული ფორმის თანაპოლიესტერამიდის სრული ჰიდროგენოლიზისთვის (D.H.~100 %) საჭიროა 8 სთ.



ნახ. 1. co-PEA 8-[Leu-6]_{0.75}-[Lys(Bz)]_{0.25}-ის UV-სპექტრები ((DMF, $c=10^{-3}$ მოლ/ლ):
1. ჰიდროგენოლიზამდე; 2. D. H. ~ 100 %.

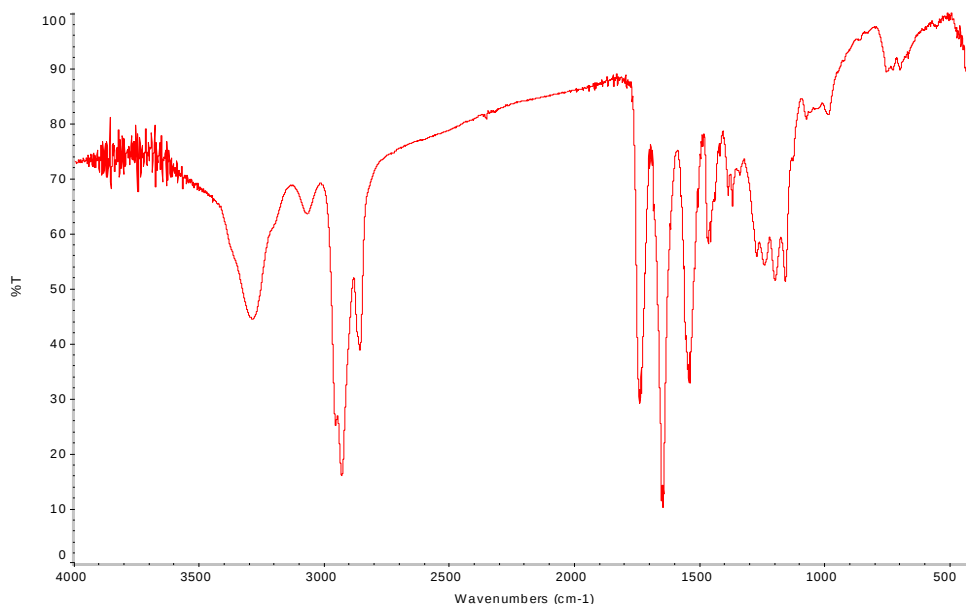
შესწავლილია მიღებული პოლიმერების ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები (M_w , M_n , M_w/M_n , T_g , ფირწარმოქმნის უნარი და ხსნადობა)(ცხრილი).

თანაპოლიესტერამიდების ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები

co-PEAs	T_g , °C	M_w 10^{-3}	M_n , 10^{-3}	M_w/M_n	ფირწარმოქმნის უნარი	ხსნადობა						
						H ₂ O	EtOH	Etac	CHCl ₃	DMA	DMF	THF
PEA(Bz)	21.4	60.5	40.0	1.51	+	–	+	–	+	+	+	+
PEA(H)	19.9	52.5	30.0	1.77	+	–	+	–	+	+	+	+

თანაპოლიესტერამიდის ბენზილის ესტერული – 8-[Leu-6]_{0.75}-[Lys(Bz)]_{0.25} და დებენზილირებული (8-[Leu-6]_{0.75}-[Lys]_{0.25}) ფორმების (ცხრილი) მოლეკულურ-მასური მახასიათებლები მეტყველებს, რომ ჰიდროგენოლიზის პროცესში Pd-ის შავის გამოყენებით ძირითადი ჯაჭვი პრაქტიკულად არ იცვლება, მოლეკულურ-მასური განაწილება კი უმნიშვნელოდ იცვლება. აღნიშნული მეტად მნიშვნელოვანი დადებითი ფაქტორია ბიოსამედიცინო მასალებად მათი გამოყენებისათვის. მიღებულ პოლიმერებს ახასიათებს კარგი ფირწარმოქმნის უნარი და ხსნადობა ჩვეულებრივ ორგანულ გამხსნელებში, როგორებიცაა ეთანოლი, დიმეთილფორმამიდი/დიმეთილაცეტამიდი, ქლოროფორმი, ტეტრაჰიდროფურანი. დაბალი გამინების ტემპერატურა ($T_g \leq 25^\circ\text{C}$) კი განაპირობებს ფიზიოლოგიურ პირობებში პოლიესტერამიდების მაღალ ელასტიკურობას.

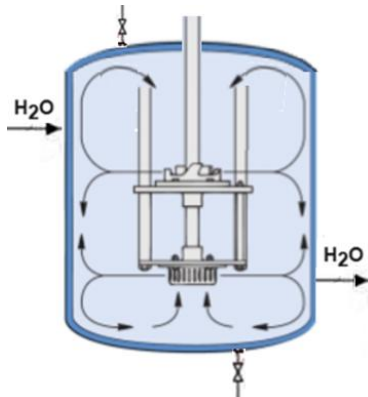
რაც შეეხება H-ფორმის თანაპოლიესტერამიდის ინ-სპექტრს (FTIR-ფურიე გარდაქმნის ინფრაწითელი სპექტრომეტრი „TERMO NICOLET“, AVATAR 370, დიაპაზონი 400–4000 cm^{-1} , გაზომვის სიზუსტე: 0.5 cm^{-1}), პრაქტიკულად იდენტურია ფუნქციური ჯგუფების უბანში, ერთხანაცვლებული ბენზოლის ბირთვის შთანთქმის (თითების ანაბეჭდის) უბანში (730 cm^{-1}) კი მცირე განსხვავებაა (ნახ. 2):



ნახ. 2. 8-[Leu-6]_{0.75}-[Lys(H)]_{0.25}-ის FTIR-სპექტრი

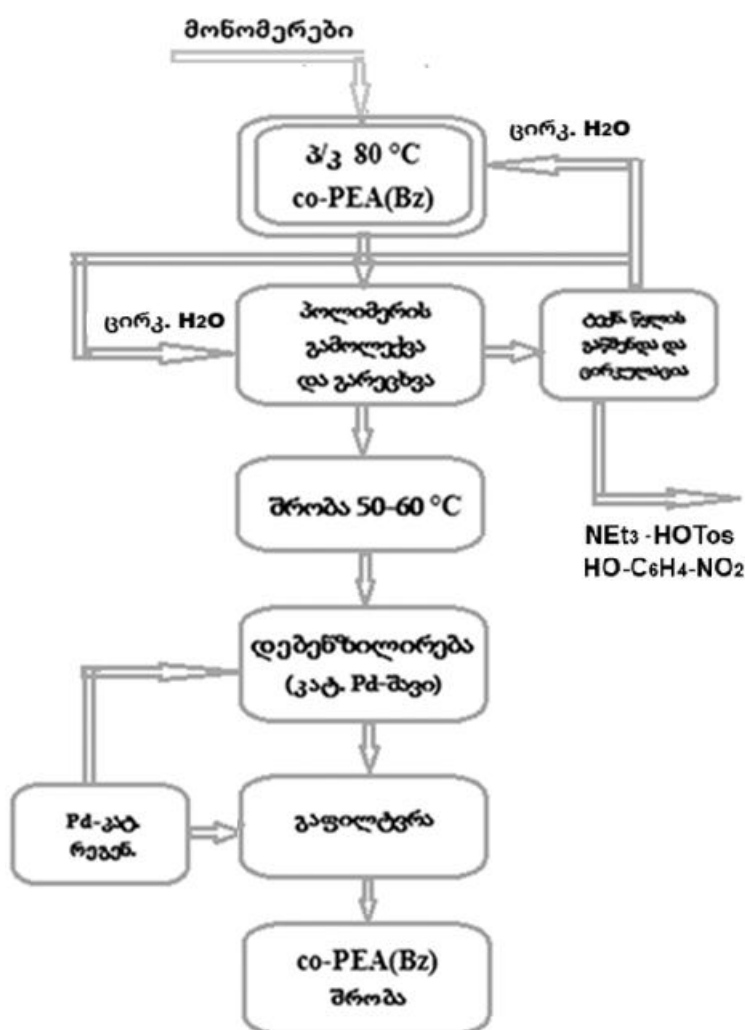
მოცემული ტექნოლოგიური პროცესის საკვანძო საკითხია co-PEA(Bz)-ის გასუფთავება პოლიკონდენსაციური პოლიმერიზაციის თანამდე პროდუქტებისაგან, განსაკუთრებით კი კ-ნიტროფენოლისაგან. პოლიმერის გასუფთავებისთვის შემოთავაზებულია მისი გამოლექვა

წყალში და გამდინარე წყლით გარეცხვა სპეციალიზებული მექანიკური შემრევის გამოყენებით (ნახ. 3). აღნიშნული შემრევი წყლის ნაკადში ქმნის ტურბულენტურ რეჟიმს, რაც იწვევს წყალში შეტივტივებული პოლიმერული ნაწილაკების უწყვეტ, ინტენსიურ მორევას და ეფექტურ გამორეცხვას თანამდელ პროდუქტებისაგან:



ნახ. 3. მექანიკური შემრევის სქემატური გამოსახულება

მნიშვნელოვანია ტექნოლოგიური წყლების რეციკლირების მეთოდებისა და ჩაკეტილი (შეკრული) საწარმოო ციკლების დანერგვა, ვინაიდან ასეთი წყლები, გადამუშავებისა და ხელახალი გამოყენების გარეშე, პირდაპირ გაედინება ეკოსისტემაში და იწვევს გარემოს სერიოზულ დაბინძურებას. შესაბამისად, პოლიმერის გამორეცხვის შემდეგ ტექნოლოგიური წყალი უნდა გაიწმინდოს და დაუბრუნდეს საწარმოო ციკლს ან გამოყენებულ იქნას სხვა დანიშნულებით (მაგალითად, თბომატარებლად რეაქტორის პერანგში და სხვ.). ამის გათვალისწინებით შემუშავებულია პოლიმერის მიღების სტრუქტურული ტექნოლოგიური სქემა, რომელიც ეფუძნება ტექნოლოგიური წყლის ჩაკეტილი სისტემის გამოყენებას (ნახ. 4).



ნახ. 4. co-PEA(H)-ის მიღების სტრუქტურული ტექნოლოგიური სქემა

რაც შეეხება პარა-ნიტროფენოლს, შესაძლებელია მისი უტილიზაცია და პესტიციდების წარმოებაში გამოყენება. პ-ნიტროფენოლი წარმოადგენს ფართოდ გავრცელებული სასოფლო-სამეურნეო ინსექტიციდის – პარათიონის სინთეზში ძირითად შუალედურ ნივთიერებას. პ-ნიტროფენოლის გამოყოფა ტრიეთილამინის პ-ტოლუოლსულფონატის წყალხსნარიდან შეიძლება განხორციელდეს ფუძე-მჟავური ექსტრაქციის გამოყენებით, ნარევის კომპონენტების ფუძე-მჟავური თვისებების განსხვავებების საფუძველზე.

ლიტერატურა:

1. I. Š. Jerbić. Biodegradable Synthetic Polymers and their Application in Advanced Drug Delivery Systems (DDS). // NanoTech Appl., 2018, 1(2), pp. 1-9.
2. DeFife K. M., Grako K., Cruz-Aranda G., et al. Poly (ester amide) Co-polymers Promote Blood and Tissue Compatibility. // Journal of Biomaterials Science, 20 (2009), pp. 1495-1511.
3. Díaz A., Katsarava R., Puiggalí J., Synthesis, Properties and Applications of Biodegradable Polymers Derived from Diols and Dicarboxylic Acids: From Polyesters to Poly(ester amide)s. //Int. J. Mol. Sci., 2014, 15, pp.7064-7123.
4. Gomurashvili Z., Katsarava R., Kricheldorf H.R. The Synthesis of Biodegradable Polymers. //J. Macromol.Sci. - Pure and Appl. Chem., 2000, v. 37, p. 215.
5. Zavadashvili N., Jokhadze G., Gverdsiteli M., Tugushi D., Katsarava R. Biodegradable functional polymers composed of naturally occurring amino acids. /Research &Reviews in Polymer, Japan (SPSJ), 2017, v. 8(I), pp. 1-23;
6. გ. ჯოხაძე, ნ. ნეფარიძე, მ. მაჩაიძე, დ. ხარაძე, რ. ქაცარავა. L-ლიზინის ბენზილისა და გრძელჯაჭვიანი ალკილის ეთერების შემცველი თანაპოლიესტერამიდების ბიოდეგრადაცია ცდებში *in vitro*. //საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 2006, ტ. 6, #4, გვ. 416-422.
7. Jokhadze G., Chu C.C., Tugishi D., Katsarava R. Synthesis of biodegradable copoly-(ester amide) containing L-lysine benzyl ester moieties in the backbones. // Georgian Engineering news, 2006, #2, p.220-223.
8. Lee S.H., Szinai I., Carpenter K., Katsarava R., Jokhadze G., Chu C.C., et al., In-vivo biocompatibility evaluation of stents coated with a new biodegradable elastomeric and functional polymer. Coronary Artery Disease, 2002, v.13(4), pp. 237-241.
9. გ. ჯოხაძე, ც. გოგუაძე. მაკრომოლეკულების ფიზიკა და ქიმია, სტუ, 2022, 263 გვ. სტუ, CD-6941.
10. Handbook of Organopalladium Chemistry for Organic Synthesis; Negishi, E.; de Meijere, A., Eds.; John Wiley & Sons: New York, 2002; Vol. 1 & 2.

SUMMARY

MODIFICATION OF THE TECHNOLOGY FOR OBTAINING OF L-LYSINE BASED POLYMER CARRIER

Jokhadze G.A., Gureshidze M.Z., Kerkadze J.V. and Zavadashvili N. M.

Georgian Technical University

Agricultural University of Georgia

The technology of obtaining polymer carriers based on the essential amino acid L-lysine is one of the important directions in the development of modern drug delivery systems (DDS). These polymers have significant potential in various technologies, since their unique set of properties meets almost all the requirements for polymer carriers. The aim of the research is to modify the technology for obtaining functional polyesteramides, as well as to develop a structural technological scheme taking into account resource-efficient and environmental technology (with a closed system technological water). For polymer purification, washing with running water using a mechanical mixer with turbulent action is proposed, and methods for utilizing by-products are also provided.

Keywords: polymer carrier, drug delivery systems, polyesteramide, conjugate, prolongation, therapeutic effect, utilization.

BIOCHEMICAL PROPERTIES OF LANTHANIDES

Topuria E.S., Tusiashvili T.N., Mamiseishvili M.M. and Gvelesiani I.O.

Georgian Technical University

Abstract. Lanthanides have the ability to influence biological processes. Intravenous injections of lanthanide salts cause fatty degeneration of the liver, which is preceded by a decrease in the level of glucose in the blood serum. Lanthanides have a wide effect on subcellular structures and enzymes localized in them, thereby affecting metabolism. In the liver, lanthanides cause morphological changes in the nuclei. All these changes lead to disruption of biochemical processes in the cell. The effect of lanthanides on the nuclear control mechanisms of RNA synthesis depends on the structure of the electron shells of these elements. Lanthanides have a wide effect on subcellular structures and enzymes localized in them, thereby affecting metabolism. The effect of lanthanides on carbohydrate and fat metabolism is to some extent dependent on the effect of these elements on hormones. Thus, the biochemical changes induced by lanthanides are diverse and the mechanisms of these changes are quite complex. The effects of these elements depend largely on the concentration and the form in which they are administered.

Keywords: lanthanides, lanthanum, europium, samarium, gadolinium, blood plasma, metabolism, praseodymium nitrate, hypoglycemia, Liver, spleen, kidney, pancreas, insulin, enzymes, nucleic acid, mitochondria.

For a long time it was believed that lanthanides are not contained in animal and plant tissues, but the use of such particularly sensitive methods as mass spectrometry, X-ray fluorescence, etc., made it possible to detect insignificant amounts of these elements in them. For example, lanthanides are found in the ash of leaves of some species of ferns, in horsetail (three species of *Equisetum*), in the biomass of some food and grain plants, as well as in algae. At the same time, about 100 times more europium is found in algae than in food plants. Small amounts of lanthanides are found in the skeletons of fish found on the ocean floor [1-4].

In the human body, in particular in the spleen, some lanthanides - lanthanum, europium and samarium - are found in the highest amounts. People with chronic alcoholism have significantly more samarium and europium than healthy people. No age or gender differences in the accumulation of lanthanides have been observed [5-6].

Lanthanides have the ability to influence biological processes. Of particular importance is the biochemical effect of lanthanides when they are administered to animals. For example, intravenous injections of lanthanide salts caused fatty degeneration of the liver and a significant increase in the concentration of free fatty acids in the blood plasma. The development of fatty degeneration of the liver was preceded by a pronounced decrease in the level of glucose in the blood serum, which normalized only on the 3rd-6th day.

Lanthanides stimulate the synthesis of insulin by the pancreas. For example, 1 hour after administration of praseodymium nitrate, the concentration of insulin in the portal vein blood increases. Normalization of insulin levels occurs only after 2-3 days. For example, the non-pancreatic gland of an animal treated with praseodymium does not respond to additional intake of glucose or glucagon, while in normal animals, stimulation of insulin secretion is recorded in response to glucose intake. An increase in the concentration of glucose in the blood causes the influx of Ca^{2+} and is involved in the mechanism of insulin secretion. In biological systems, lanthanides reduce the absorption of free intracellular calcium, which leads to a violation of their secretory function.

It is believed that hypoglycemia occurs in the liver due to inhibition of the activity of the main enzymes of gluconeogenesis. Intravenous administration of lanthanides leads to a decrease in the activity of only the enzymes that catalyze gluconeogenesis, while the activity of other enzymes that catalyze glycolysis and gluconeogenesis remains unchanged. Based on the different genesis of glycolysis and gluconeogenesis, it is assumed that lanthanides affect carbohydrate metabolism

through the nucleic acid system. Intravenous administration of lanthanides leads to a selective disruption of protein synthesis and, consequently, a decrease in the number of enzymes that catalyze gluconeogenesis [7-9].

The causes of hypoglycemia and changes in lipid metabolism are due to the disruption of the main mechanisms of metabolism in the liver under the influence of lanthanides.

Liver glycogen plays an important role in regulating blood glucose levels. The reason for the disruption of carbohydrate metabolism by lanthanide ions is the disruption of the fine structure of cells and a change in the activity of a number of enzymes, which leads to a decrease in the level of glycogen in the stomach and an increase in the amount of fat.

Lanthanides can not only influence the activity of enzymes, but also themselves can exhibit catalytic activity. For example, La^{3+} and Ce^{3+} ions catalyze the decomposition of phosphate-containing compounds; In addition to simple esters of phosphoric acid and pyrophosphate, their action extends to substances of high physiological importance, such as hexose monophosphates and hexose diphosphates, 1,3-diphosphoric, cytidylic, adenylic acids, etc.

In enzymatic catalysis, the specificity of lanthanides in relation to the substrate is observed. For example, glucose-1-phosphate is hydrolyzed much faster than glucose-6-phosphate, and diphosphates - faster than monophosphates. The catalytic effect of cerium is stronger than lanthanum, which, apparently, is due to the presence of f-electrons in Ce^{3+} . From the kinetic curves of the process, it is clear that the metal forms an intermediate complex, which then decomposes.

Lanthanides also catalyze the cleavage of phosphoric acid, ATP, some diethers of P–O–P and P–N bonds, and the conversion of metaphosphate to orthophosphate. It is these properties of lanthanides that affect biochemical processes in the body. For example, after the administration of lanthanides, the activity of many enzymes in the liver changes.

Changes in carbohydrate metabolism in the body of animals exposed to lanthanides are accompanied by a violation of fat metabolism. For example, 48 hours after the injection of CeCl_3 , the fat content in the liver increases, which is mainly due to neutral fats. Liver damage caused by praseodymium nitrate is accompanied by a violation of blood serum lipid metabolism.

The development of fatty degeneration of the liver and its return to normal depends on the mitochondrial fat oxidation system, lanthanides have a greater affinity for mitochondria, that is, animal liver mitochondria are able to absorb La^{3+} in a non-energetic and energy-dependent manner, which is accompanied by mitochondrial swelling. With an increase in the concentration of La^{3+} , mitochondrial membranes are damaged, which is due to the formation of ionic bridges between the La^{3+} binding sites on the outer surfaces of the outer mitochondrial membrane.

Lanthanides act as competitive inhibitors of Ca^{2+} transport into mitochondria. Phospholipids act as Ca^{2+} transporters across mitochondrial membranes, while lanthanides have the ability to bind to phospholipid membranes and, therefore, can block mitochondrial Ca^{2+} transport. This process is accompanied by a decrease in the level of H^+ ions in the environment, i.e. lanthanum not only binds and inhibits Ca^{2+} transport, but also has additional binding sites that do not interact with Ca^{2+} . Lanthanides can also inhibit the activity of Ca^{2+} -stimulated enzymes. By penetrating mitochondria, lanthanide ions can cause disorders in the oxidative chain [10-13].

The mitochondria of the liver of animals, with significant doses of lanthanides, expand and occupy a large part of the liver cell. Sometimes the main substance of mitochondria has similarities with the fatty inclusions of the cell. Therefore, there is a possibility of the transformation of mitochondria into fat droplets due to impaired oxidation of fatty acids.

According to electron microscopic studies, changes in the structure of mitochondria are preceded by changes in the endoplasmic reticulum (ER). When lanthanide salts are administered to animals, changes in the structure of the EPR can lead to disruption of biochemical processes catalyzed by microsomal enzymes. After the administration of CeCl_3 , the ability of the liver

microsomal function to hydroxylate hexobarbital and demethylate N-methylaniline decreased (the level of cytochrome P-450 decreased by 53%). The level of glucose in the blood decreased, and the level of non-esterified fatty acids increased.

It has been observed that fatty degeneration of the liver develops faster in female organisms than in males.

Due to the ability of lanthanides to interact with nucleic acids, the introduction of ions of these elements affects the metabolism of nucleic acids.

In the liver, lanthanides cause morphological changes in the nuclei. The nuclei acquire an irregular shape, and chromatin is concentrated on their periphery. Dissociation of ribosomes is observed. Sometimes dissociated ribosomes form aggregates due to binding to lanthanides. All these changes can lead to disruption of biochemical processes in the cell.

Intravenous administration of light lanthanides (Pr^{2+} , Nd^{3+} , Sm^{2+}) to animals after 24 hours caused inhibition of nuclear RNA synthesis in the liver, while heavy lanthanides (Gd^{3+} , Dy^{3+} and Er^{3+}) had no effect. Therefore, the effect of lanthanides on the nuclear control mechanisms of RNA synthesis depends on the structure of the electronic shells of these elements [14].

In brain and liver tissues, under the influence of gadolinium and europium, the content of nucleic acids increases, and in kidney and spleen tissues it decreases. The introduction of lanthanides in various forms (ionic and in the form of complexes with glycine) into animals leads to a decrease in nucleic acid activity and an increase in the amount of RNA, DNA and protein in the liver and kidneys. Low concentrations of lanthanides lead to an increase in the content of nucleic acids and proteins and a decrease in nucleic acid activity. All these changes are most clearly expressed 24 hours after liver resection. The content of nucleic acids and proteins gradually normalizes and reaches control values by the 14th day.

The introduction of lanthanide chlorides and glycolates two weeks before the operation is more effective than after it. Stimulation of biochemical processes in the liver has a positive effect on the process of its regeneration: the initial mass of the liver is restored much faster, the content of nucleic acids and proteins is normalized. It is noteworthy that the effectiveness of lanthanides in a complex with glycine is much higher than that of inorganic lanthanide salts.

When lanthanum is administered to animals with tumors, the RNA content increases and the protein content in the spleen decreases.

Lanthanides have a wide range of effects on subcellular structures and enzymes localized in them, thereby influencing metabolism. The effect of lanthanides on carbohydrate and fat metabolism is somewhat dependent on the effect of these elements on hormones. Thus, the biochemical changes caused by lanthanides are diverse, and the mechanism of these changes is quite complex. The action of these elements largely depends on the concentration and the form in which these elements are administered.

REFERENCES

1. Bamann E., Fischler F., Trampmann H. 1974. Biochemistry. 7, 325, 413.
2. Bayley P., Debenham P. 1994. Biochemistry. 43, 3, 561.
3. Duffy M., Schowarz V. 1973. Biochemistry 330, 294.
4. Epstein M., Levitski A., Reuben J. 1994. Biochemistry. 13, 8.
5. Epstein M., Reuben J., Levitski A. 1977. Biochemistry. 16, 11..
6. Erametsa O., Sihvonen M. 1971. Ann. med. exptl. et. boil. Fenniae.49, 35.
7. Sarkander H., Brade W. Arch. Toxicol. 1996. 36.,11.
8. Villani F., Piccinini F., Ciarra A., Brambilla G. 1975. Biochem. Parmacol. 24, 13, 1349.
9. Yonuschol G., Helman D., Mushrush G., Woude G., Robey G. 1978. Bioinorg. Chem. 8, 5, 105.
10. Yonuschol G., Mushrush G. 1975. Biochemistry 14, 8, 77.
11. David A. Atwood .The Rare Earth Elements: Fundamentals and Applications. 2012.
12. Christopher H. Evans. Biochemistry of the Lanthanides. August 14, 2013.

13. Carlos F.G.C.Geraldes. Lanthanide and Other Transition Metal Ion Complexes and Nanoparticles in Magnetic Resonance Imaging. 2024.

14. Tsinsadze M., Kilasonia N., Mamiseishvili M., Bebia N. Coordination compounds of lanthanides with ortho-, meta- and para-nitrobenzohydrazide. GTU, Tbilisi. 2018.

რეზიუმე

ლანთანიდების ბიოქიმიური თვისებები

თოფურია ე.ს., ტუსიაშვილი თ.ნ., მამისეიშვილი მ.მ., გველესიანი ი.ო.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ლანთანიდებს აქვთ უნარი, გავლენა მოახდინონ ბიოლოგიურ პროცესებზე. ლანთანიდების მარილების ინტრავენური ინექციების ჩატარება იწვევს ღვიძლის ცხიმოვან დეგენერაციას, რასაც წინ უძღვის სისხლის შრატში გლუკოზის დონის შემცირება. ლანთანიდებს ფართო გავლენა აქვთ უჯრედქვეშა სტრუქტურებსა და მათში ლოკალიზებულ ფერმენტებზე, რითაც გავლენას ახდენენ მეტაბოლიზმზე. ღვიძლში ლანთანიდები იწვევს ბირთვების მორფოლოგიურ ცვლილებებს. ყველა ეს ცვლილება იწვევს უჯრედში ბიოქიმიური პროცესების დარღვევას. ლანთანიდების გავლენა რნმ-ის სინთეზის ბირთვულ საკონტროლო მექანიზმებზე, დამოკიდებულია ამ ელემენტების ელექტრონული გარსების სტრუქტურაზე. ლანთანიდებს ფართო გავლენა აქვთ უჯრედქვეშა სტრუქტურებსა და მათში ლოკალიზებულ ფერმენტებზე, რითაც გავლენას ახდენენ მეტაბოლიზმზე. ლანთანიდების გავლენა ნახშირწყლებისა და ცხიმების მეტაბოლიზმზე გარკვეულწილად დამოკიდებულია ამ ელემენტების ჰორმონებზე გავლენასთან. ამგვარად, ლანთანიდებით გამოწვეული ბიოქიმიური ცვლილებები მრავალფეროვანია და ამ ცვლილებების მექანიზმი საკმაოდ რთულია. ამ ელემენტების მოქმედება დიდწილად დამოკიდებულია კონცენტრაციასა და იმ ფორმაზე, რომლითაც ეს ელემენტები შეჰყავთ.

საკვანძო სიტყვები: ლანთანიდები, ლანთანი, ევროპიუმი, სამარიუმი, გადოლინიუმი, სისხლის პლაზმა, მეტაბოლიზმი, პრაზუოდიმუმის ნიტრატი, ჰიპოგლიკემია, ღვიძლი, ელენთა, თირკმელი, პანკრეასი, ინსულინი, ფერმენტები, ნუკლეინის მჟავა, მიტოქონდრია.

გამა-აცეტილამინობენზალდეჰიდის იზონიკოტინოილჰიდრაზონის მოლეკულის კომპლექსწარმოქმნა ლითონის იონებთან: DFT ქვანტურ-ქიმიურ-ქვანტურ DFT მეთოდის გამოყენებით

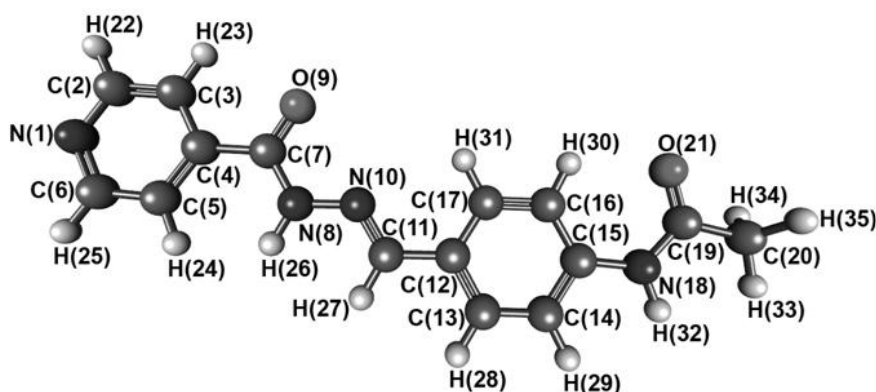
ცინცაძე მ.გ., გიორგაძე თ.ზ., ჭანტურია მ.მ., გულბანი დ.ა., ლოჩოშვილი დ.მ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
სოხუმის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
რ.აგლაძის არაორგანული ქიმიისა და ელექტროქიმიის ინსტიტუტი

შესავალი. ჰიდრაზონები ბიოლოგიურად აქტიურ, მნიშვნელოვან ორგანული ნივთიერების კლასს წარმოადგენენ. რომლებიც ფართოდ გამოიყენება მედიცინასა და სოფლის მეურნეობაში, ტექნიკასა და მრეწველობის სხვადასხვა დარგებში.

სამეცნიერო ლიტერატურის ანალიზი აჩვენებს, რომ ჰიდრაზიდების წარმოებულების და ზოგადად ჰიდრაზონების, მათი სინთეზის, ტაუტომერიზაციისა და კომპლექსწარმოქმნის უნარის შესახებ მონაცემები არასრულია, ზოგიერთ შემთხვევაში, კი მათ მიერ წარმოქმნილი კოორდინაციული ნაერთები აბსტრაქტული რჩება, რაც განსაკუთრებულ ყურადღებას მოითხოვს. რთული მოლეკულების ელექტრონული და სივრცითი სტრუქტურების შესწავლის შედეგად შესაძლებელი გახდა გაცილებით რთულ სტრუქტურაში ქიმიური ნაერთების „შემადგენლობა-სტრუქტურის თვისებების“ ურთიერთკავშირის მიზეზების დადგენა. შესწავლილია გამა-აცეტილამინობენზალდეჰიდის იზონიკოტინოილჰიდრაზონის სტრუქტურა და კომპლექსწარმოქმნის უნარი სხვადასხვა მეტალებთან.

სტატიაში განხილულია გამა-აცეტილამინობენზალდეჰიდის იზონიკოტინოილჰიდრაზონის (გააბაინჰ-L) ქვანტურ-ქიმიური კვლევის შედეგად მიღებული მონაცემები. განსახილველი ნივთიერების მოლეკულის სტრუქტურა შეიცავს მეთილის ამინო და კარბონილის ჯგუფებს, ბენზოლის და პირიდინის ბირთვებს რომლებიც გავლენას ახდენენ ატომებში ელექტრონული მუხტების გადანაწილებაზე, რაც განსაზღვრავს მათ რეაქციისუნარიანობას, ბიოლოგიურ აქტივობასა და კომპლექსწარმოქმნის უნარს [1-2].



გამა-აცეტილამინობენზალდეჰიდის იზონიკოტინოილჰიდრაზონის მოლეკულაში ატომების დანომრვა

კვლევის მეთოდика. გააბაინჰ მოლეკულის გეომეტრიისა და ელექტრონული სტრუქტურის ზუსტად დასადგენად, ჩატარებულია ქვანტურ-ქიმიური კვლევა DFT მეთოდის გამოყენებით 6-31G საბაზისო ნაკრების და B3LYP ფუნქციონალის და ყველა გეომეტრიული მონაცემის სრული ოპტიმიზაციის გამოყენებით.

გაანგარიშების პროცესი ხორციელდებოდა აირადი ფაზისთვის. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ატომების ნუმერაცია თვითნებურია. გეომეტრიისა და ელექტრონების განაწილების განხილვის გასამარტივებლად, გამოთვლითი მონაცემები მოცემულია ცხრილების სახით.

ენერგეტიკული მახასიათებლების დამუშავებიდან ჩანს, რომ გამა-აცეტილამინობენზალდეჰიდის იზონიკოტინოილჰიდრაზონის წარმოქმნის სითბო უარყოფითი სიდიდეა, რაც მოლეკულის მდგრადობაზე მიუთითებს აირად ფაზაში (ცხრ.1).

ცხრილი 1. ენერგეტიკული მახასიათებლები

სრული ენერგია, ჰარტრი (E_H)	წარმოქმნის ენთალპია, კკალ/მოლ	ენტროპია, კალ/მოლ·K	დიპოლური მომენტი, D
-949.482	181.343	131.924	5.229

მაქსიმალური უარყოფითი ელექტრონული მუხტები გააჩნიათ პირიდინის ბირთვის N(1), ამინო ჯგუფის N(8) და N(10) და N(18) აზოტის ატომებს $q=-0.442$, -0.447 , -0.232 და -0.634 შესაბამისად, კარბონილური ჯგუფების O(9) და O(21) ჟანგბადის ატომებს $q=-0.579$ და $q=-0.617$, და მეთილის ჯგუფის C(20) ნახშირბადის ატომს $q=-0.774$ (ცხრ. 2).

ცხრილი 2. გამა-აცეტილამინობენზალდეჰიდის იზონიკოტინოილჰიდრაზონის მოლეკულაში მუხტი დონორულ ატომზე და ელექტრონებით ატომური ორბიტალების დასახლება

№	ატომი	მუხტი ატომზე	ელექტრონების დასახლება			
			ჩონჩხი	სავალენტო მრე	პოლარიზაციის გათვალისწინებით	სრული
1	N(1)	-0.442	1.999	5.424	0.018	7.442
2	N(8)	-0.447	1.999	5.434	0.014	7.447
3	O(9)	-0.579	2.000	6.564	0.016	8.579
4	N(10)	-0.232	1.999	5.207	0.026	7.232
5	N(18)	-0.634	1.999	5.624	0.010	7.634
6	C(20)	-0.774	1.999	4.767	0.008	6.774
7	O(21)	-0.617	2.000	6.600	0.017	8.617

მეთილის ჯგუფის C(20) ნახშირბადის ატომს ასეთი მაღალი ეფექტური ელექტრონული მუხტის მიუხედავად არააქვს უნარი წარმოქმნას ბმა კომპლექსწარმომქმნელთან, რადგან იმყოფება sp^3 ჰიბრიდულ მდგომარეობაში, რისი ვარაუდის საფუძველს გვაძლევს C(19)–C(20) ბმის სიგრძე ($1.503\text{\AA}$) და C(19)–C(20)–H(33), C(19)–C(20)–H(34) და C(19)–C(20)–H(35) კუთხეების სიდიდეები, რომლებიც შესაბამისად ტოლია: 111.836° , 109.593° და 109.544° , და ოთხივე ჰიბრიდული ორბიტალით უკვე ანხორციელებს ბმებს (ცხრ. 3 და 4).

ცხრილი 3. გამა-აცეტილამინობენზალდეჰიდის იზონიკოტინოილჰიდრაზონის მოლეკულაში ვალენტური ელექტრონების განაწილება ატომურ ორბიტალებს შორის

№	ატომი	n	ვალენტური ელექტრონების განაწილება სავალენტო ატომურ ორბიტალებზე			
			ns	np _x	np _y	np _z
1	N(1)	2	1.373	1.701	1.219	1.131
2	N(8)	2	1.241	1.151	1.374	1.667
3	O(9)	2	1.700	1.834	1.597	1.432
4	N(10)	2	1.370	1.027	1.642	1.169
5	N(18)	2	1.262	1.314	1.380	1.668
6	C(20)	2	1.139	1.109	1.249	1.269
7	O(21)	2	1.695	1.817	1.630	1.458

ამინო ჯგუფის N(8) და N(10) აზოტის ატომები იმყოფებიან sp^2 ჰიბრიდულ მდგომარეობაში (N(8)–N(10) ბმის სიგრძე არის 1,379Å, ხოლო C(7)–N(8)–N(10) და N(8)–N(10)–C(11) ბმის კუთხეებია 120.389° და 120.779° შესაბამისად (LP(1)_{N(10)} - $sp^{2.01}$). მაგრამ, ვალენტური ელექტრონების განაწილების ანალიზით სავალენტო ატომურ ორბიტალებზე, ვხედავთ, რომ N(8) აზოტის ატომის ელექტრონული წყვილი თავმოყრილია არაჰიბრიდულ $2p_z$ ორბიტალზე, რაც გამოიწვევს მის მონაწილეობას კომპლექსწარმოქმნაში. რასაც ვერ ვიტყვით N(10) აზოტის ატომზე, სადაც ელექტრონული წყვილი $2p_y$ ჰიბრიდულ ორბიტალზეა მოთავსებული, და მაშასადამე N(10) აზოტის ატომს უკვე აქვს უნარი უზრუნველყოს ელექტრონული წყვილი და განახორციელოს σ დონორულ-აქცეპტორული ბმა ცენტრალურ ატომთან [3-5].

ცხრილი 4. გამა-აცეტილამინობენზალდეჰიდის იზონიკოტინოილჰიდრაზონის მოლეკულაში ზოგიერთი ბმის სიგრძის მნიშვნელობები

№	ატომთშორისი ბმა	ატომთშორისი ბმის სიგრძე, Å
1	N(1)–C(2)	1.358
2	N(1)–C(6)	1.358
3	C(7)–O(9)	1.224
4	N(8)–N(10)	1.379
5	N(18)–C(19)	1.369
6	C(19)–C(20)	1.503
7	C(19)–O(21)	1.218

პირიდინის ბირთვის N(1) აზოტის ატომიც იმყოფება sp^2 ჰიბრიდულ მდგომარეობაში (LP(1)_{N(1)} - $sp^{2.45}$), რასაც განაპირობებს N(1)–C(2) (1.358Å) და N(1)–C(6) (1.358Å) ბმის სიგრძეები და C(2)–N(1)–C(6) ბმის კუთხე 121.411° , მაგრამ ატომურ ორბიტალებზე სავალენტო ელექტრონების განაწილება გვიჩვენებს, რომ ელექტრონული წყვილი არ არის მოთავსებული არაჰიბრიდულ ორბიტალზე. მაშასადამე პირიდინის ბირთვის N(1) აზოტის ატომსაც აქვს უნარი უზრუნველყოს ელექტრონული წყვილი და განახორციელოს σ დონორულ-აქცეპტორული ბმა ცენტრალურ ატომთან [6].

ცხრილი 5. გამა-აცეტილამინობენზალდეჰიდის იზონიკოტინოილჰიდრაზონის მოლეკულაში ზოგიერთი სავალენტო კუთხეების მნიშვნელობები

№	სავალენტო კუთხე	სავალენტო კუთხის სიდიდე, გრადუსი
1	C(2)–N(1)–C(6)	121.411
2	C(7)–N(8)–N(10)	120.389
3	N(8)–N(10)–C(11)	120.779
4	C(15)–N(18)–H(32)	116.113
5	C(19)–C(20)–H(33)	111.836
6	C(19)–C(20)–H(34)	109.593
7	C(19)–C(20)–H(35)	109.544

N(18) აზოტის ატომი იმყოფება sp^2 ჰიბრიდულ მდგომარეობაში (N(18)–C(19) ბმის სიგრძე არის 1,369Å, C(15)–N(18)–H(32) ბმის კუთხე 116.113° (ცხრ. 3 და 4)). მაგრამ, სავალენტო ატომურ ორბიტალებზე ვალენტური ელექტრონების განაწილების ანალიზი, გვიჩვენებს,

რომ N(18) აზოტის ატომის ელექტრონული წყვილი თავმოყრილია არაჰიბრიდულ $2p_z$ ორბიტალზე, რაც გამოიწვევს მის მონაწილეობას კომპლექსწარმოქმნაში.

კარბონილური ჯგუფების O(9) და O(21) ჟანგბადის ატომები, C(7)-O(9) და C(19)-O(21) ბმის სიგრძეების ანალიზით, რომელიც შესაბამისად ტოლია 1,224Å და 1,218Å (ცხრ. 3), sp ჰიბრიდულ მდგომარეობაში იმყოფებიან ($LP(1)_{O(9)} - sp^{0.68}$ და $LP(1)_{O(21)} - sp^{0.72}$). ორივე ჟანგბადის ატომი ნახშირბადის ატომებთან (O(9) ჟანგბადის ატომი C(7) ნახშირბადის ატომთან და O(21) ჟანგბადის ატომი C(19) ნახშირბადის ატომთან) ბმული არიან ორმაგი ბმით, ამიტომ ერთი ჰიბრიდული ორბიტალი (ორივე შემთხვევაში $2p_x$) უზრუნველყოფს ელექტრონულ წყვილს, რომელიც განაპირობებს კოორდინაციული ბმის წარმოქმნას [7-8].

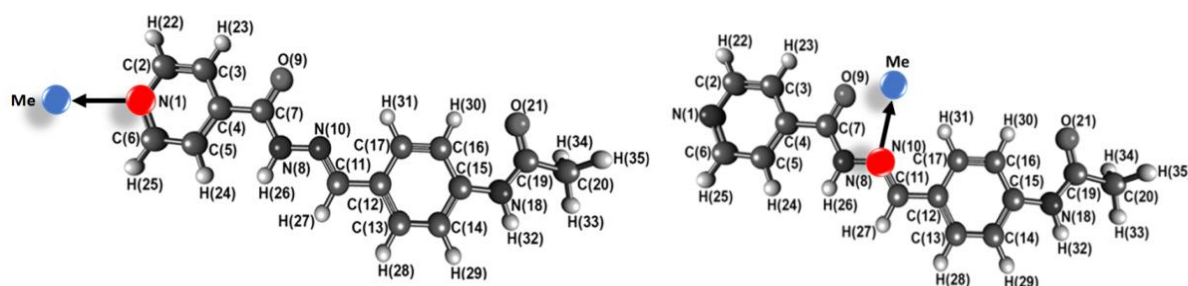
ცხრილი 6. გამა-აცეტილამინობენზალდეჰიდის იზონიკოტინოილჰიდრაზონის მოლეკულაში N(1), C(2), C(6), C(7), N(8), O(9), N(10), C(11), C(19), O(21) ატომების სავალენტო ბმის ორბიტალების ანალიზის ზოგიერთი მონაცემი

№	ბმა	დასახლება	აო ჰიბრიდიზაცია	აო შემდგენლობა, %	პოლარიზაციის კოეფიციენტი
1	$\sigma_{N(1)-C(2)}$	1.988	N(1) $sp^{1.74}$	s(36.43)p(63.43)d(0.15)	0.7715
			C(2) $sp^{2.31}$	s(30.18)p(69.70)d(0.12)	0.6362
2	$\sigma_{N(1)-C(6)}$	1.987	N(1) $sp^{1.76}$	s(36.19)p(63.66)d(0.15)	0.7702
			C(6) $sp^{2.28}$	s(30.46)p(69.43)d(0.11)	0.6378
3	$\sigma_{C(7)-O(9)}$	1.993	C(7) $sp^{2.19}$	s(31.27)p(68.59)d(0.14)	0.5944
			O(9) $sp^{1.46}$	s(40.60)p(59.10)d(0.30)	0.8041
4	$\sigma_{N(8)-N(10)}$	1.985	N(8) $sp^{2.24}$	s(30.85)p(69.07)d(0.08)	0.7307
			N(10) $sp^{3.14}$	s(24.11)p(75.69)d(0.20)	0.6827
5	$\sigma_{N(10)-C(11)}$	1.989	N(10) $sp^{1.33}$	s(42.78)p(57.06)d(0.16)	0.7739
			C(11) $sp^{2.08}$	s(32.40)p(67.49)d(0.11)	0.6334
6	$\sigma_{C(19)-O(21)}$	1.994	C(19) $sp^{2.19}$	s(31.34)p(68.52)d(0.15)	0.5890
			O(21) $sp^{1.38}$	s(41.92)p(57.77)d(0.32)	0.8081
7	$LP(1)_{N(1)}$	1.928	$sp^{2.45}$	s(27.33)p(72.55)d(0.12)	
8	$LP(1)_{O(9)}$	1.979	$sp^{0.68}$	s(59.32)p(40.63)d(0.05)	
9	$LP(1)_{N(10)}$	1.918	$sp^{2.01}$	s(33.20)p(66.69)d(0.11)	
10	$LP(1)_{O(21)}$	1.975	$sp^{0.72}$	s(58.07)p(41.88)d(0.05)	
11	$\sigma^*_{N(1)-C(2)}$	0.015	N(1) $sp^{1.74}$	s(36.43)p(63.43)d(0.15)	0.6362
			C(2) $sp^{2.31}$	s(30.18)p(69.70)d(0.12)	-0.7715
12	$\sigma^*_{N(1)-C(6)}$	0.014	N(1) $sp^{1.76}$	s(36.19)p(63.66)d(0.15)	0.6378
			C(6) $sp^{2.28}$	s(30.46)p(69.43)d(0.11)	-0.7702
13	$\sigma^*_{C(7)-O(9)}$	0.009	C(7) $sp^{2.19}$	s(31.27)p(68.59)d(0.14)	0.8041
			O(9) $sp^{1.46}$	s(40.60)p(59.10)d(0.30)	-0.5944
14	$\sigma^*_{N(8)-N(10)}$	0.021	N(8) $sp^{2.24}$	s(30.85)p(69.07)d(0.08)	0.6827
			N(10) $sp^{3.14}$	s(24.11)p(75.69)d(0.20)	-0.7307
15	$\sigma^*_{N(10)-C(11)}$	0.007	N(10) $sp^{1.33}$	s(42.78)p(57.06)d(0.16)	0.6334
			C(11) $sp^{2.08}$	s(32.40)p(67.49)d(0.11)	-0.7739
16	$\sigma^*_{C(19)-O(21)}$	0.014	C(19) $sp^{2.19}$	s(31.34)p(68.52)d(0.15)	0.8081
			O(21) $sp^{1.38}$	s(41.92)p(57.77)d(0.32)	-0.5890

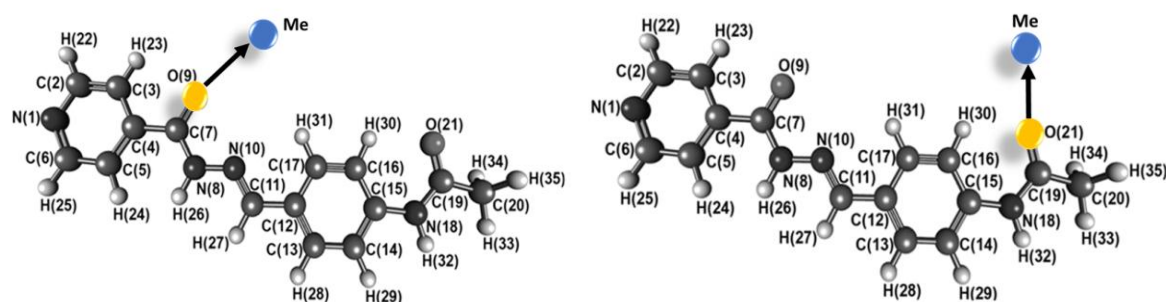
მაშასადამე, შეიძლება დავასკვნათ, რომ გამა-აცეტილამინობენზალდეჰიდის იზონიკოტინოილჰიდრაზონის მოლეკულა კომპლექსწარმოქმნელთან შეიძლება კოორდინირებულეს:

1. მონოდენტატური ლიგანდის სახით:

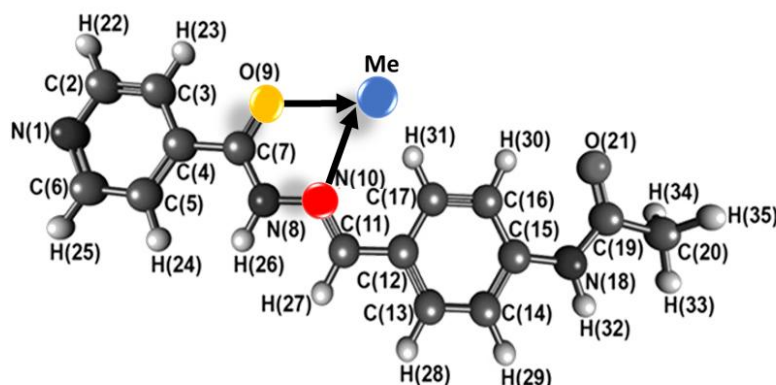
პირიდინული ჯგუფის N(1) და ამინოჯგუფის N(10) აზოტით:



კარბონილური ჯგუფების O(9) და O(21) ჟანგბადებით:



2. ან ხუთწევრიანი ბიდენტატურ-ციკლური ლიგანდის სახით - ამინოჯგუფის N(10) აზოტის და კარბონილის ჯგუფის O(9) ჟანგბადის ატომებით:



დასკვნა. გამა-აცეტილამინობენზალდეჰიდის იზონიკოტინოილჰიდრაზონის მოლეკულის გეომეტრიისა და ელექტრონული სტრუქტურის დასადგენად ჩვენს მიერ ჩატარებულია თეორიული ქვანტური-ქიმიური კვლევები. დადგენილია დონორული ატომები, რომლებმაც შესაძლებელია მიიღოს მონაწილეობა ცენტრალურ ატომთან კოორდინაციული ბმის წარმოქმნაში.

ნაშრომში, გამა-აცეტილამინობენზალდეჰიდის იზონიკოტინოილ-ჰიდრაზონის (გაა-ბაინჰ-L) სტრუქტურის შესასწავლად, ჩატარებულია ქვანტურ-ქიმიური გამოთვლები DFT მეთოდის 6-31G საბაზისო ნაკრების და B3LYP ფუნქციონალის გამოყენებით. ავტორების მიერ გამოთვლილია მოლეკულის გეომეტრიული მონაცემები: ბმის სიგრძეები, ვალენტური და ბრუნვის კუთხეები და ელექტრონული მუხტების განაწილება ატომებზე. მიღებული თეორიული მონაცემების დამუშავების საფუძველზე შეჯამებულია გამა-აცეტილამინობენზალდეჰიდის იზონიკოტინოილჰიდრაზონის სტრუქტურის ქვანტურ-ქიმიური გაანგარიშების

შედეგები. მოლეკულის ატომებზე ელექტრონული მუხტების განაწილებით დადგენილია დონორული ატომები, რომლებმაც შესაძლებელია მიიღოს მონაწილეობა ცენტრალურ ატომთან კოორდინაციული ბმის წარმოქმნაში.

ლიტერატურა

1. Chanturia M., Giorgadze T., Gulbani D., Lochoshvili D. The influence of solvents on the complex-forming ability of saluzide (2-carboxy-3,4-dimethoxybenzaldehyde isonicotinoyl-hydrazone), "Chemistry - Achievements and Prospects" International Scientific-Methodical Conference dedicated to the 90th anniversary of the birth of Academician Givi Tsintsadze, 2023, April 20, Tbilisi, 69-70;
2. Tsintsadze M., Giorgadze T., Sharia I. Defining the complex formation ability of a hydrazone (para-nitrobenzoylhydrazone of meta-nitrobenz-aldehyde (PNBHMNBA) Containing carbonyl group, CHEMICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF BIOPOLYMERS Book, Volume I, Publishing House "UNIVERSAL" Tbilisi 2020, pp.157-166
3. Tsintsadze M., T. Giorgadze T., Maisuradze M., Bolkvadze N., Lochoshvili D. The influence of solvents on the complex formation ability of 3-nitrodibenzothiophene, Georgian Chemical Journal, 2019, Vol. 19 N.1, pp. 21-25;
4. M. Tsintsadze, T. Z. Giorgadze, I. Sharia, D. Lochoshvili, G. Tsintsadze, Effekt av lösningsmedel på komplexbildningskapaciteten hos meta-nitrobensoylhydrazon av meta-nitrobensaldehyd (MNBGMNBA), Int. Vetenskaplig teknik. konf. "Naturvård och hållbar utveckling" tillägnad 80-åringar. Prof. V. Eristavi, Samling av verk, Tbilisi 2020 s. 164–166;
5. Montavon, G. et al. Machine learning of molecular electronic properties in chemical compound space. N. J. Phys. 15, 095003 (2013).
6. Botu, V. & Ramprasad, R. Learning scheme to predict atomic forces and accelerate materials simulations. Phys. Rev. B 92, 094306 (2015).
7. Rupp, M., Tkatchenko, A., Müller, K.-R. & von Lilienfeld, O. A. Fast and accurate modeling of molecular atomization energies with machine learning. Phys. Rev. Lett. 108, 058301 (2012).
8. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002%2Fanie.202205735>.

SUMMARY

COMPLEXATION OF GAMMA-ACETYLAMINO BENZALDEHYDE ISONICOTINOYLHYDRAZONE MOLECULE WITH METAL IONS: DFT QUANTUM-CHEMICAL METHOD

Tsintsadze M.G., Giorgadze T.Z., Chanturia M.M., Gulbani D.A. and Lochoshvili D.M.

Georgian Technical University

Sokhumi State University

R. Agladze Institute of Inorganic Chemistry and Electrochemistry

We have conducted theoretical quantum-chemical studies to determine the geometry and electronic structure of the gamma-acetylaminobenzaldehyde isonicotinoylhydrazone molecule. Donor atoms that can participate in the formation of a coordination bond with the central atom have been identified. In this work, quantum-chemical calculations have been performed using the 6-31G basis set of the DFT method and the B3LYP functional to study the structure of gamma-acetylaminobenzaldehyde isonicotinoylhydrazone (gabainh-L). The authors have calculated the geometric data of the molecule: bond lengths, valence and torsion angles, and the distribution of electronic charges on atoms. Based on the processing of the obtained theoretical data, the results of quantum-chemical calculations of the structure of gamma-acetylaminobenzaldehyde isonicotinoylhydrazone are summarized. The distribution of electronic charges on the atoms of a molecule determines the donor atoms that can participate in the formation of a coordination bond with the central atom.

Keywords: hydrazone, aldehyde, gamma-acetylaminobenzaldehyde isonicotinoylhydrazone, biological activity, quantum chemical calculations, DFT/B3LYP method, molecular geometry, bond lengths, bond angles, electronic structure, reactivity, charge distribution.

INVESTIGATION OF THE POSITIONAL ISOMERS OF MEPHEDRONE AND CLEPHEDRONE IN THE URINE SAMPLES OF DRUG ABUSERS IN GEORGIA

Dadianidze A.G., Jorbenadze S.K., Tkemaladze V.M., Kobidze G.M., Jibuti G.T., Dolidze G.D.,
Lo Faro A.F., Busardo F.P. and Chankvetadze B.G.

I. Javakhishvili Tbilisi State University
University Politecnica delle Marche of Ancona

Abstract. Drug addiction is one of humanity's oldest and major problems. In recent years, the issue has become even more critical, as new substances have emerged that exhibit stronger toxicity than classical narcotics. These substances have been termed as new psychoactive substances (NPS). The identification of traditional narcotics (for example, heroin, amphetamine and cocaine) using modern analytical techniques is relatively straightforward and their effects on the human body have been well studied. Accordingly, treatment methods are available. However, currently, the analytical methods for identifying chiral NPS and their metabolites are not yet sufficiently developed. Moreover, these substances and the enantioselective properties of their metabolites have not been investigated. Rapid change of the landscape of NPS challenges analytical method development for their detection and quantification. One of the current trends in the worldwide market of illegal drugs is a replacement of prohibited compounds with their structural analogues and isomers. Selective detection of positional isomers and enantiomers (in the case of chiral NPS) is very challenging. This relates to the fact that the most widely used detector for forensic analysis, mass spectrometer (MS), cannot differentiate between positional isomers, as well as between enantiomers. Thus, these species have to be separated from each other before they enter MS-detector. Recent studies from our group have indicated that in the countries of the EU after regulation of widely abused Mephedrone and Clephedrone they were substituted with their positional isomers which are not yet regulated by law. The aim of the present study was to examine if the shift from the above mentioned popular illicit drugs to their positional isomers was the case also on the market of illegal drugs in Georgia. As the results indicated this was not (yet) the case.

Keywords: Clephedrone, Enantioseparation, Mephedrone, Positional isomers, Toxicology.

Introduction

The distribution, effects, and study of synthetic cathinones present a significant challenge for modern science and regulatory authorities. Notably, Clephedrone (4-chloromethcathinone, 4-CMC) and mephedrone (4-methylmethcathinone, 4-MMC) have been among the most commonly used substances among drug users in the European Union (EU) [1].

Synthetic cathinones are derived from the naturally occurring compound cathinone, the primary psychoactive ingredient of the khat plant (*Catha edulis*). Cathinone is the β -keto analogue of amphetamine, and all synthetic cathinones contain a β -keto moiety in their structure. They possess a phenethylamine core, with an alkyl group attached to the alpha carbon and a ketone group bonded to the beta carbon, along with additional substitutions [2].

Derivatives can be formed by substitutions at four different positions on the cathinone molecule (Fig. 1).

These substitutions allow for the synthesis of a wide range of derivatives with varying effects and potency [3].

According to Georgian legislation, synthetic cathinones are classified as controlled substances under the category of NPS [4]. Additionally, specific cathinones, such as mephedrone, clephedrone, alpha-PVP and others, are regulated under the Georgian Law on Narcotic Substances, Psychotropic Substances, Precursors, and Narcological Assistance [5].

In the last decade the abuse of synthetic cathinones, particularly mephedrone and clephedrone, has been increasing in Georgia. In recent years, there has also been a rise in cases of

these substances being seized from illegal circulation. Their widespread availability is largely due to their low cost [6].

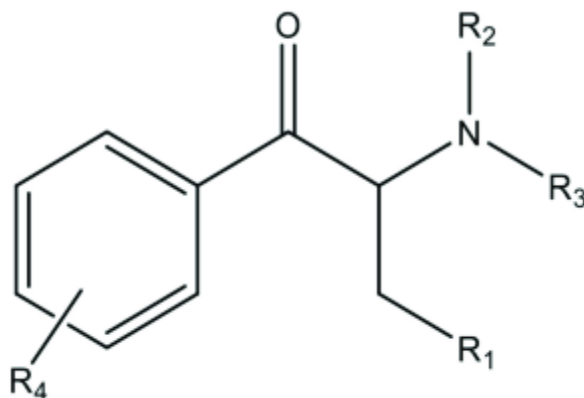


Figure 1. Chemical structure of cathinone and potential substitution positions

R_1 = Hydrogen or any combination of one or more alkyl, alkoxy, alkylendioxy, haloalkyl, or halogen substitutions; R_2 = Hydrogen or any alkyl group; R_3 = Hydrogen, any alkyl group, or incorporation into a cyclic structure; R_4 = Hydrogen, any alkyl group, or incorporation into a cyclic structure.

Following the regulation of clephedrone and mephedrone between 2010 and 2020, their positional isomers 2-chloromethcathinone (2-CMC), 3-chloromethcathinone (3-CMC) and 2-methylmethcathinone (2-MMC), and 3-methylmethcathinone (3-MMC), respectively, gradually emerged on the EU illegal drug market as legal alternatives. These isomers were not initially regulated and exhibited similar effects on the human body [7]. They were easily accessible and, since they were not explicitly prohibited by law, became attractive products, as their transportation, possession, and distribution carried no legal risks.

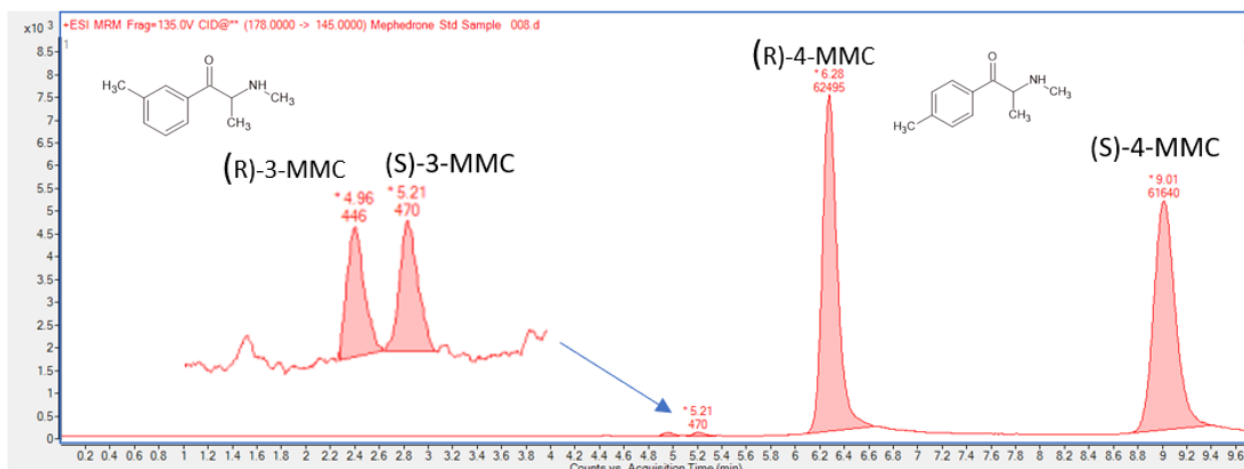
In EU countries differentiation between positional isomers of CMCs and MMCs is of critical importance due to their different legal status. In addition, there are the reports available in the literature indicating that the difference in the pharmacology and toxicology may exist for positional isomers. The methods commonly used in forensic laboratories for analysis of cathinone derivatives are not able to distinguish between their positional isomers. Therefore, recently our group has developed the methods enabling simultaneous separation and enantioseparation of 4-CMC and its positional isomers [8], as well as simultaneous separation and enantioseparation of 4-MMC and its positional isomers [9]. Application of the method reported in ref. [8] to the 9 oral fluid samples collected by Belgian police and identified as containing 4-CMC showed that only 2 samples contained 4-CMC while all 9 samples contained 3-CMC. Similarly, application of the method reported in ref. [9] to the 15 oral fluid samples identified previously as containing 4-MMC showed that only 1 sample contained 4-MMC, 5 samples contained 3-MMC and 12 samples contained 2-MMC. Thus, it is clear that the illegal drug market in EU reacted to the regulation of given drugs of abuse with introducing their "legal" positional isomers.

Commonly, new psychoactive substances (NPS) that emerge in European market often spread to Georgia, as well. Based on this trend, it was important to investigate whether drug abusers in Georgia still consumed 4-CMC and 4-MMC or if their positional isomers had also gained popularity.

Results and Discussion

To verify the method described in ref. [9], a 4-MMC standard provided by one of the international suppliers was added to a blank biological sample (urine). The extraction of the control sample was carried out under the same conditions as those used for processing the biological samples of drug users [9]. As a result of the analysis, both, minor amounts of 3-MMC and its enantiomers, as well as 4-MMC and its enantiomers, were successfully detected (Figure 2) [9]. This

indicates that the standard of 4-MMC under this study contained minor impurity of 3-MMC that remained “hidden” since most of the methods used in forensic laboratories worldwide cannot



discriminate between mephedrone (4-MMC) and its positional isomers.

Figure 2. Enantiomeric separation of “4-MMC” standard provided by one of the international suppliers
Separation and detection conditions were as described in ref.

In the urine samples of 7 mephedrone users, only 4-CMC, its enantiomers, and metabolites were identified (Figures 3 and 4) [8]. It is interesting to note that in the urine some of the metabolites were easily detected which were difficult to be detected in the earlier study in oral fluid samples. In confirmation of the same earlier study no enantioselectivity in biotransformation and pharmacokinetics of 4-CMC was observed [8]. However, this may relate to the stereochemical instability of 4-CMC [10, 11] and most likely also its phase-1 metabolites.

The presence of positional isomers of 4-CMC, namely of 2-CMC and 3-CMC was not detected in any of the samples.

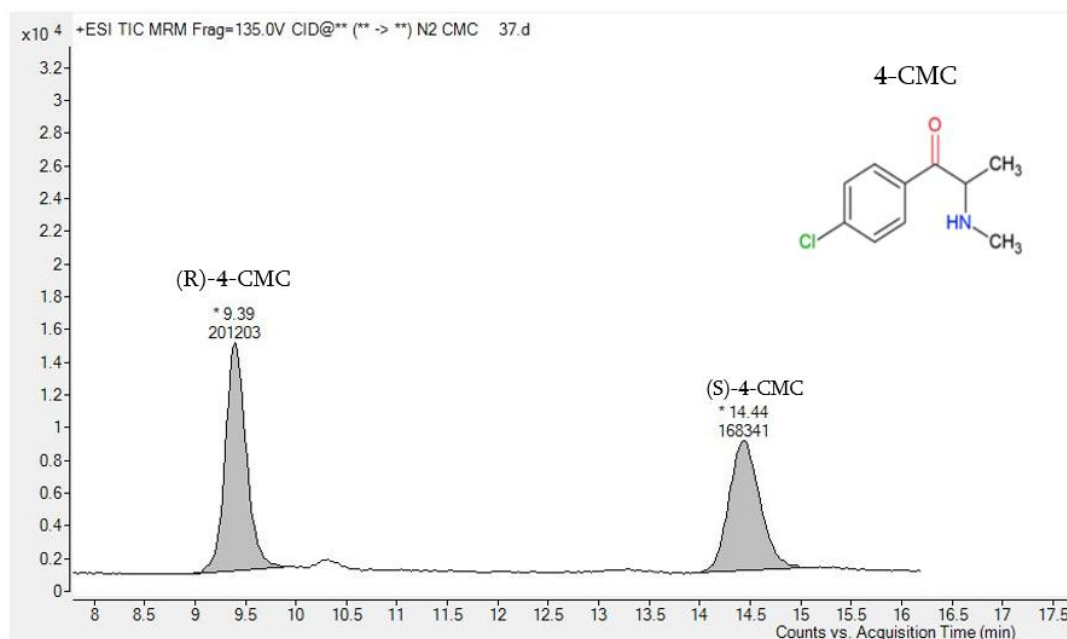


Figure 3. Enantioseparation of 4-CMC in the urine sample of the drug abuser. Separation and detection conditions were as described in ref.

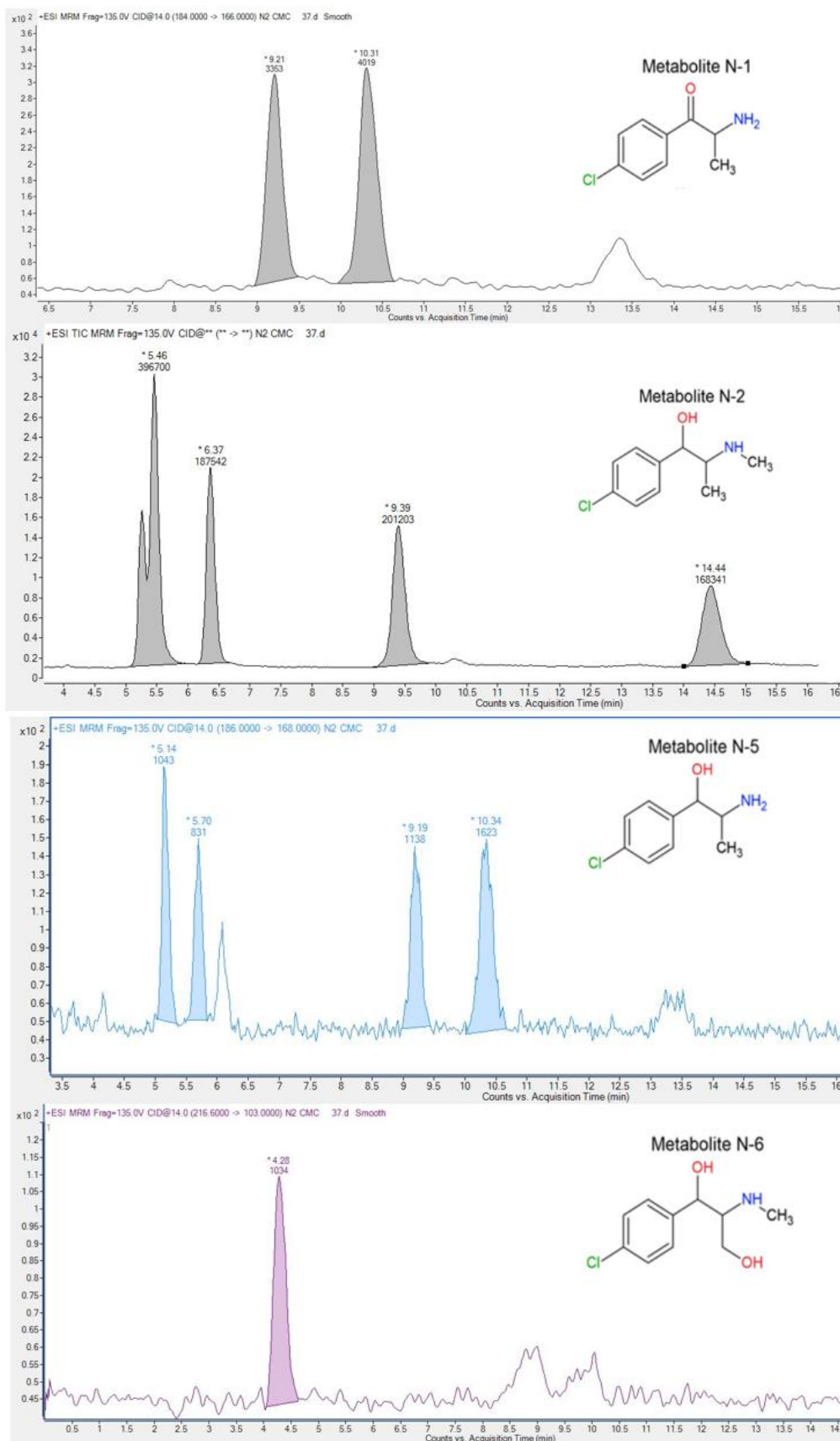


Figure 4. Enantioselective HPLC-MS/MS analysis of 4-CMC-metabolites in the urine sample of the drug abuser. Separation and detection conditions were as described in ref.

After extracting and analyzing the 5 urine samples of drug abusers, it was determined that in the biological samples of mephedrone users, only 4-MMC, its enantiomers, and metabolites were detected (Fig. 5 and 6) [9].

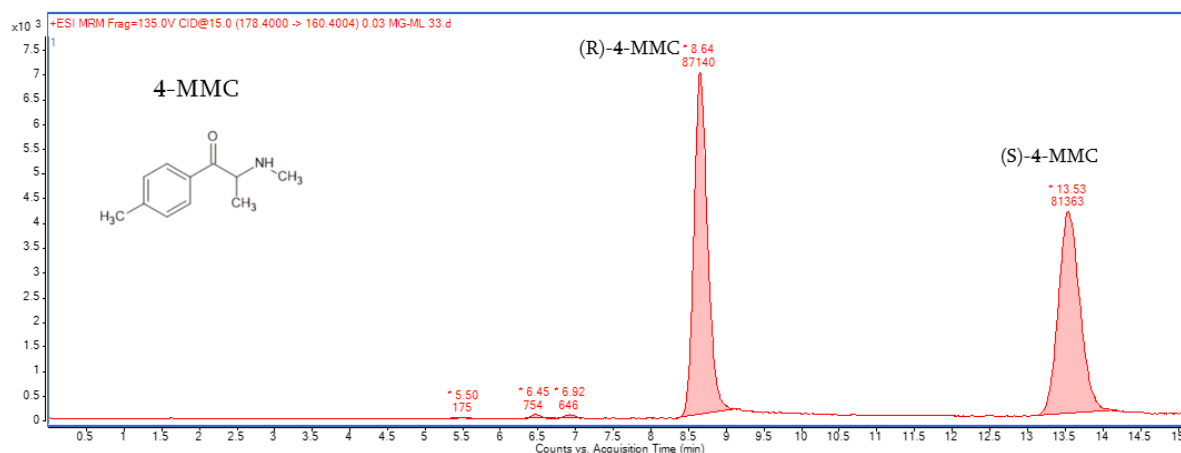


Figure 5. Enantioseparation of 4-MMC in the urine sample of the drug abuser. Separation and detection conditions were as described in ref.

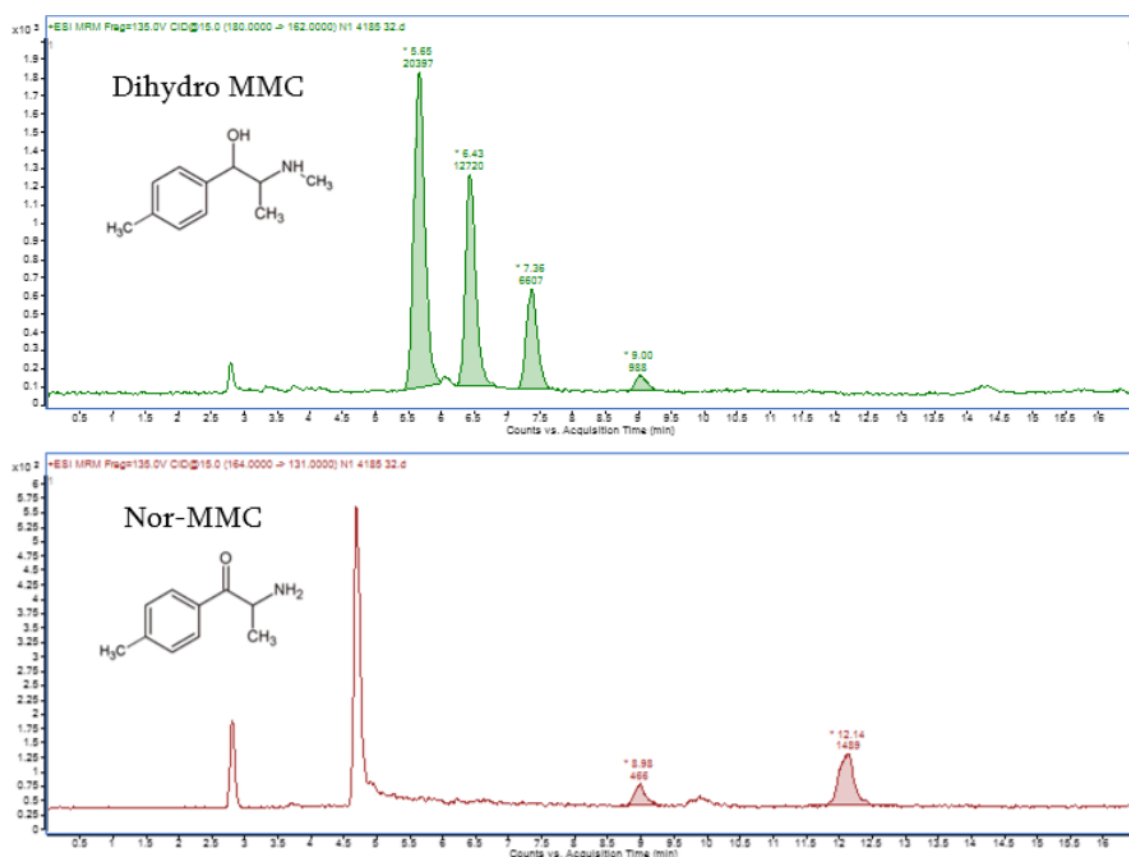


Figure 6. Enantioselective HPLC-MS/MS analysis of 4-MMC-metabolites in the urine sample of the drug abuser. Separation and detection conditions were as described in ref.

The presence of positional isomers of 4-MMC, namely of 2-MMC and 3-MMC was not detected in any of the samples.

Experimental Section

Standards for the experiments, 4-chloromethcathinone (4-CMC) and 4-methylmethcathinone (4-MMC) were purchased from Honeywell Fluka™ (Morristown, NJ, USA) and were stored at -20 to -25 °C before use.

The reagents used in the study (HPLC grade) methanol, potassium phosphate buffer, potassium hydroxide, acetic acid, dichloromethane, propan-2-ol, ammonium hydroxide, ammonium bicarbonate, water, dimethylformamide, formic acid and acetonitrile were supplied by Carl Roth GmbH (Karlsruhe, Germany).

The experiment was conducted using HPLC-MS/MS Agilent 1260-6410 liquid chromatography-mass spectrometry system, consisting of the following modules:

- G4220A binary pump
- G1329B autosampler with automatic initiation system
- G1316A column thermostat
- G1314D variable wavelength detector
- Agilent 6410B triple quadrupole mass spectrometer

The instrument was controlled, and data were processed using Agilent MassHunter B.03.01 software.

Sample preparation: Urine samples were processed using solid-phase extraction following the Agilent Technologies “Agilent Bound Elut Certify and Certify II method manual M2707B” [12]. Column used: Lux-AMP 250x4.6 mm; particle size: 3 µm from Phenomenex Inc. (Torrance, CA, USA).

Analysis Conditions for mephedrone:

- Column: Lux-AMP, 250x4.6mm
- Mobile Phase: A: MeOH/B: 5mM Ammonium Bicarbonate in Water (pH 11.67)
- Temperature: 20 °C
- Gradient (Table 1.)
- Flow Rate: 1 mL/min

Table 1. Gradient program

Time (min)	Solvent A (%)	Solvent B (%)	Flow mL/min	Max. Pressure Limit [bar]
0	40	60	1	130
21	40	60	1	130
22	20	80	1	130
33	40	60	1	130
43	40	60	1	130

Analysis Conditions for clephedrone:

- Column: Lux-AMP 250x4.6mm
- Mobile Phase: ACN-35/65–5 mM Ammonium Bicarbonate in Water (pH: 11.54)
- Temperature: 20 °C
- Flow Rate: 1 mL/min

Mass Spectrometric Data:

The mass spectrometer operated in MRM (Multiple Reaction Monitoring) mode, where two transition signals were used for each primary compound (2-, 3-, 4-MMC and CMC). Additionally, two transition signals were assigned for the possible metabolites of MMCs and CMCs (Tab. 2 and 3) [8-9].

Table 2. MS-detection parameters for 2, 3 and 4-MMC, their phase-1 metabolites and mephedrone-d3.

Analyte	Molecular mass, g/mol	Precursor ion, m/z	Product ion, m/z	CE, eV
2, 3 and 4-MMC, Buphedrone, Ehcathinone	177.4	178.4	160.4	15
			145.4	15
Mephedrone-d3	180.4	181.4	163.3	15
Nor-MMC	163.0	164.0	146.0	15
			131.0	15
Dihydro-MMC	179.0	180.0	162.0	15
			147.0	15
Hydroxy-MMC	193.1	194.1	176.1	15
			146.1	15
Hydroxy-nor-MMC	165.0	166.0	148.0	15
			133.0	15
Carboxy-MMC	207.0	208.0	146.0	15
			121.0	15
Succinic-nor-MMC	263.0	264.0	164.0	15
			146.0	15
Methamfepramone	177.01	178.01	105.1	20
			72.2	20

Abbreviations: MMC, methylmethcathinone; CE, collision energy.

Table 3. MS-detection parameters for 2, 3 and 4-CMC, their phase-1 metabolites and mephedrone-d3.

Analyte	Molecular mass, g/mol	Precursor ion, m/z	Product ion, m/z	CE, eV
2, 3 and 4-CMC	197.6	198.61	181.1	12
			146.1	8
Mephedrone-d3	180.4	181.4	163.3	14
Metabolite N-1	183.05	184.05	166.04	14
			138.99	14
			131.05	14
Metabolite N-2	199.06	200.06	182.07	14
			167.04	14
Metabolite N-3	213.06	214.06	138.9	14
			128.8	14
Metabolite N-4	199.06	200.06	182.03	14
			164.02	14
			147.06	14
Metabolite N-5	185.06	186.06	168.06	14
			116.05	14
			115.05	14
Metabolite N-6	215.67	216.67	125.01	14
			103.03	14
Metabolite N-7	213.02	214.02	128.9	14
			90.9	14

Abbreviations: CMC, chloromethcathinone; CE, collision energy.

Real samples

In the study involved 12 volunteers, and the collection of biological samples (urine) took place in Georgia. The participants' ages ranged from 25 to 35 years, with an average weight of 75 kg. During the survey, they stated that they regularly consumed stimulants, including clephedrone, mephedrone, alpha-PVP, cocaine, amphetamine, MDMA, and others.

During the interview, they admitted to using mephedrone and clephedrone in various doses, with an average daily dose of 50–200 mg. Urine samples were collected once between 0.5 to 4 hours after consumption. The collected samples were stored at -20 °C.

Concludes

It can be concluded that, unlike European countries, there is currently no evidence of the use of positional isomers of 4-MMC and 4-CMC in Georgia.

This may be due to the fact that, under Georgian law on narcotic substances, psychotropic substances, precursors, and narcological assistance [4], as well as the law on new psychoactive substances [5], the isomers of listed substances (such as mephedrone and clephedrone) are also subject to control.

The number of samples available to us for the present study was quite limited for making statistically absolutely reliable conclusions, and using a higher number of samples is desirable.

REFERENCES

1. European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, "Synthetic stimulants – the current situation in Europe," *European Drug Report*, 11 June 2024. [Online]. Available: https://www.euda.europa.eu/publications/european-drug-report/2024/synthetic-stimulants_en.
2. European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, "Synthetic cathinones drug profile," *European Drug Report*, 11 June 2024. [Online]. Available: https://www.euda.europa.eu/publications/drug-profiles/synthetic-cathinones_en#publications.
3. A. L. Riley, K. H. Nelson, P. To, R. López-Arnau, P. Xu, D. Wang, Y. Wang, H. Shen, D. M. Kuhn, M. Angoa-Perez, J. H. Anneken, D. Muskiewicz, and F. S. Hall, "Abuse potential and toxicity of the synthetic cathinones (i.e., 'Bath salts')," *Neurosci. Biobehav. Rev.*, vol. 110, pp. 150-173, 2020.
4. Legislative Herald of Georgia, "Law of Georgia on New Psychoactive Substances." [Online]. Available: <https://matsne.gov.ge/en/document/view/2330479?publication=3>.
5. Legislative Herald of Georgia, "Law of Georgia on Narcotic Drugs, Psychotropic Substances and Precursors and Narcological Assistance." [Online]. Available: <https://matsne.gov.ge/en/document/view/1670322?publication=23>.
6. National Drug Situation Monitoring Center, Ministry of Justice of Georgia, "Annual Report on the Drug Situation 2022," Tbilisi, 2022. [Online]. Available: <https://justice.gov.ge/files/iz7zjVX7E2Nb.pdf>.
7. G. Daziani, A. F. Lo Faro, V. Montana, G. Goteri, M. Pesaresi, G. Bambagiotti, E. Montanari, R. Giorgetti, and A. Montana, "Synthetic Cathinones and Neurotoxicity Risks: A Systematic Review," *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 24, p. 6230, 2023.
8. G. Kobidze, G. Sprega, A. Balloni, A. F. Lo Faro, G. Basile, S. M. R. Wille, T. Farkas, F. P. Busardo, and B. Chankvetadze, "Simultaneous chemo- and enantio-separation of 2-, 3- and 4-chloro-methcathinones by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry and its application to oral fluid samples," *J. Pharm. Biomed. Anal.*, vol. 248, p. 116293, 2024.
9. G. Kobidze, A.F. Lo Faro, A. Balloni, G. Sprega, M. Massano, S. M. R. Wille, G. Basile, T. Farkas, A. Tini, F.P. Busardo, and B. Chankvetadze, "Simultaneous enantioselective determination of 2-, 3- and 4-methylmethcathinones, their isomers and major phase-1 metabolites in oral fluid of drug abusers using enantioselective high-performance liquid chromatography tandem mass-spectrometry," *Anal. Bioanal. Chem.*, vol. ABC-00021-2025, accepted for publication.
10. S. Jorbenadze, T. Khatiashvili, L. Giunashvili, A. Chelidze, A. F. Lo Faro, S. Pichini, M. Farré, E. Papaseit, M. Nuñez-Montero, T. Farkas, J. Carlier, F. P. Busardo, and B. Chankvetadze, "Challenges encountered in the

enantioselective analysis of new psychoactive substances exemplified by clephedrone (4-CMC)," *//J. Pharm. Biomed. Anal.*, vol. 248, p. 116275, 2024.

11. S. Jorbenadze, L. Giunashvili, T. Khatiaashvili, A. Chelidze, V. Tkemaladze, G. Sprega, A. F. Lo Faro, G. Basile, T. Farkas, F. P. Busardo, and B. Chankvetadze, "Investigation of stereochemical stability of 2-, 3- and 4-chloromethcathinones in various biological matrices," *//J. Pharm. Biomed. Anal.*, vol. 249, 116350, 2024.

12. Agilent Technologies, Inc., Agilent Bound Elut Certify and Certify II Method Manual M2707B, Printed in USA, Aug. 7, 2014, doc. 5991-4939EN.

რეზიუმე

საქართველოში მეფედრონისა და კლეფედრონის პოზიციური იზომერების კვლევა

ნარკოდამოკიდებული პირების შარდის ნიმუშებში

დადიანიძე ა.გ., ჯორბენაძე ს.კ., ტყემალაძე ვ.მ., კობიძე გ.მ., ჯიბუტი გ.თ., დოლიძე გ.დ.,

ლო ფარო ა.ფ., ბუსარდო ფ.პ., ჭანკვეტაძე ბ.გ.

ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ანკონის პოლიტექნიკური უნივერსიტეტი, ანკონა, იტალია

ნარკოდამოკიდებულება ადამიანის ერთ-ერთი უძველესი პრობლემა გახლავთ და ბოლო წლებში ეს საკითხი უფრო მეტად გამწვავდა. გამოჩნდა ახალი ფსიქოაქტიური ნივთიერებები. ისინი უფრო ძლიერ ტოქსიკურობაით გამოირჩევიან ვიდრე კლასიკური ნარკოტიკები. მაშინ, როცა კლასიკური ნარკოტიკების იდენტიფიკაცია შედარებით მარტივია, ქირალური ახალი ფსიქოაქტიური ნივთიერებებისა და მათი მეტაბოლიტების იდენტიფიკაციის ანალიზური მეთოდები ჯერ კიდევ არ არის საკმარისად განვითარებული. მასს სპექტრომეტრი, რომელიც ყველაზე ფართოდ გამოიყენება კრიმინალისტიკურ ანალიზებში, ვერ ახერხებს პოზიციურ იზომერებისა და ენანტიომერების განსხვავებას. ბოლო კვლევებმა აჩვენა, რომ ევროკავშირის ქვეყნებში, ახალი ფსიქოაქტიური ნივთიერებების, სინთეზური კათინონების ჯგუფის ნაწარმების, კერძოდ მეფედრონისთვის და კლეფედრონისთვის რეგულაციების შემოღების შემდეგ, არალეგალურ ბაზარზე ისინი ჩაანაცვლა მათმა პოზიციურმა იზომერებმა, რომლებიც კანონმდებლობით ჯერ სრულად არ რეგულირდება. ამ კვლევის მიზანი იყო, შეგვეფასებინა იყო თუ არა საქართველოში არალეგალურ მოხმარებაში კლეფედრონისა და მეფედრონის პოზიციური იზომერები. შედეგებმა აჩვენა, რომ საქართველოში ამ ეტაპზე ფიქსირდება მხოლოდ მეფედრონისა და კლეფედრონის მოხმარების ფაქტები.

საკვანძო სიტყვები: კლეფედრონი, ენანტიომერული დაყოფა, მეფედრონი, პოზიციური იზომერები, ტოქსიკოლოგია.

ლაქ-საღებავების ხარისხზე მოქმედი ფაქტორების შესწავლა

ბარათელი ნ.დ., ფალავანდიშვილი თ.ჯ., ჭიშვილი ს.ზ., მარგიევი დ.ა.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სამშენებლო ინდუსტრიაში მოთხოვნა საღებავებსა და ლაქებზე მსოფლიოში სწრაფად მზარდია. სწორედ, ამ ბაზრის სეგმენტისთვის ნედლეული და მისგან წარმოებული პროდუქცია შესაბამისობაში უნდა იყოს მარეგულირებელ დოკუმენტებთან და პასუხობდეს ეკონომიკურ გამოწვევებს.

საღებავების, ლაქების და სხვა საფარი მასალების გამოყენების მიზნებიდან გამომდინარე, ინდუსტრია პირობითად იყოფა არქიტექტურულ/დეკორატიულ, სამრეწველო და სპეციალური დანიშნულების საფარებად. ბაზრის თითოეულ სეგმენტს აქვს თავისი სპეციფიკური მოთხოვნები და შეზღუდვები. დეკორატიული – ყველაზე დიდი სეგმენტია გაყიდვებისა და მწარმოებლების მიხედვით.

მშენებლობასა და მრეწველობაში ახალი ტექნოლოგიების გაჩენამ, მომხმარებლებში თანამედროვე ესთეტიკური გემოვნების ჩამოყალიბებამ გაზარდა მოთხოვნები ლაქებსა და საღებავებზე. ლაქ-საღებავების მიმართ წაყენებული მოთხოვნები განისაზღვრება მათი დანიშნულებით, გამოყენების არიალით (შიდა თუ გარე სამუშაოები), უსაფრთხოებით, გარემოზე ზემოქმედების მიხედვით და ტექნიკური მახასიათებლებით, როგორებიცაა: მაღალი დაფარვის უნარი, გამძლეობა, სტაბილურობა, შრობის დრო, კარგი ადჰეზია, რომელთა სიდიდეები დამოკიდებულია ლაქ-საღებავებში არსებული კომპონენტების ფიზიკურ-ქიმიური პარამეტრებით.

ლაქებსა და საღებავებზე ნორმატიული დოკუმენტებით წაყენებული სპეციალური მოთხოვნები დაეხმარება მომხმარებელს სწორი არჩევანის გაკეთებაში იმ პროდუქტის სასარგებლოდ, რომელიც მის ყველა მოთხოვნას სრულიად დააკმაყოფილებს [1,2], რადგან დღეს ბაზარზე ლაქ-საღებავების მრავალფეროვნება მოითხოვს პროდუქციის ხარისხის გარკვეულ კონტროლს, რათა თავიდან ავიცილოთ უხარისხო და ფალსიფიცირებული პროდუქტების გამოჩენა.

დიდი ყურადღება ეთმობა საღებავების უსაფრთხოებას, განსაკუთრებით ტყვიის შემცველობის მხრივ. დღესაც იწარმოება ტყვიის შემცველი საღებავები, თუმცა მაღალი პასუხისმგებლობის მქონე, სანდო კომპანიები მას აღარ აწარმოებენ. სწორედ ამიტომ, საღებავის არჩევისას, მნიშვნელოვანია ეტიკეტის გაცნობა.

2023 წლიდან საქართველოში სამშენებლო ლაქ-საღებავებში ტყვიის შემცველობის მაკონტროლებელი ახალი რეგლამენტი ამოქმედდა, რომელიც მწარმოებლებს, დისტრიბუტორებსა და რეალიზატორებს ახალ ვალდებულებებს უწესებს.

ტექნიკური რეგლამენტის თანახმად, ლაქ-საღებავებში ტყვიის შემცველობა არ უნდა აღემატებოდეს 0.009 %-ს. ამ პროცესს მონიტორინგს და ზედამხედველობას „ბაზრის მონიტორინგის სააგენტო“ უწევს. ეს საკითხი დღის წესრიგში დადგა ერთი მხრივ, ევროკავშირთან ასოცირების ხელშეკრულებით ნაკისრი ვალდებულებების ფარგლებში და მეორე მხრივ, თვითონ საკითხის მნიშვნელობიდან გამომდინარე, ვინაიდან საღებავებში ტყვიამ შეიძლება გამოიწვიოს ადამიანის ჯანმრთელობის დაზიანება გრძელვადიან პერიოდში [1,3].

საღებავებისა და ლაქების ხარისხობრივი მაჩვენებლების სტანდარტთან შესაბამისობის და კონკურენტუნარიანობის დადგენის მიზნით შესწავლილია ქ. თბილისში, სუპერმარკეტ „დომინოში“ სარეალიზაციოდ გამოტანილი ზოგიერთი ნიმუში, რომელთა ეტიკეტების ანალიზი და ორგანოლექტიკური მახასიათებლები [4,5] მოცემულია ცხრ.1-ში.

ცხრილი 1. ლაქ-საღებავების ეტიკეტირებისა და ორგანოლექტიკური მახასიათებლების ანალიზი

#	დასახელება	მწარმოებელი, ქვეყანა	ფერი	ტექსტურა
1	ПФ-266 –ალკიდური ემალი	უკრაინა (ATOLL)	ალისფერი (RAL2002)	სუფთა, ერთგვაროვანი და სტაბილური კონსისტენცია, მექანიკური ჩანართებისა და ნალექის გარეშე
2	ПФ-116 –ალკიდური ემალი	უკრაინა (ZEBRA)	RAL1034 პასტელი ყვითელი	
3	CAPADIN – წყალ– დისპერსიული საღებავი	საქართველო (CAPAROL)	RAL 1013 მარგალიტის თეთრი	
4	BETEK PLASTIC – საღებავი	თურქეთი (BETEK)	RAL 1013 მარგალიტის თეთრი	
5	YACHT VARNISH – იახტის ლაქი	თურქეთი (GENC)	600	
6	AURA DEKOR LACK – ფასადის ლაქი	უკრაინა (ESKARO)	100	კონსისტენცია არათანაბარია, აღინიშნება გამრევება და ნალექი

საკვლევ ნიმუშებზე ჩატარებული კვლევით დადგენილია მასალის დაფარვის უნარი, შრობის დრო და მისი ხარისხი, არაქროლადი და აქროლადი ნივთიერებების მასური წილი, საღებავის ნაკადის გაღინების დრო (პირობითი სიბლანტე), სიმკვრივე, pH წყალ-დისპერსიულ საღებავებში, მჟავური რიცხვი ლაქებში, ტყვიის შემცველობა, აგრეთვე ტემპერატურის მიმართ მდგრადობა. ასევე შესწავლილია ტემპერატურის გავლენა შრობის პროცესზე. მიღებული შედეგები წარმოდგენილია ცხრ.2-ში [6-12].

ცხრილი 2. საკვლევ ნიმუშების შრობის და ზედაპირის ვიზუალური მახასიათებლები

№	ნიმუშები	შრობის დრო, სთ (20 °C)		შრობის ხარისხი	მასალის ზედაპირის სახე
		ნორმა	შედეგი		
1	ПФ-266 –ალკიდური ემალი	≤ 24	21,5	I	თანაბარი ზედაპირი პრიალა ეფექტით
2	ПФ-116 –ალკიდური ემალი		22,5	II	ნახევრად პრიალა, თანაბარი ზედაპირით
3	CAPADIN – წყალ– დისპერსიული საღებავი	1–2	2	II	მქრქალი, თანაბარი ზედაპირი
4	BETEK PLASTIC – საღებავი		2	II	თანაბარი ზედაპირი, მქრქალი
5	YACHT VARNISH – იახტის ლაქი	≤ 48	23,7	I	თანაბარი ზედაპირი, პრიალა
6	AURA DEKOR LACK – ფასადის ლაქი	3 – 36	27,0	II	არათანაბარი ზედაპირით, ნახევრად პრიალა

ცხრილი 3. ნიშუშების შრობის დროზე ტემპერატურის გავლენის შესწავლა

№	ნიშუშების დასახელება	სხვადასხვა ტემპერატურაზე ნიშუშების შრობის დრო, სთ				მასალის ზედაპირის სახე (40-50 °C-ის დროს)
		20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	
1	ემალი ალკიდური ПФ-266	21	19	11	9	არათანაბარი განაწილება, ხედაპირი ნახევრად მქრქალი
2	ემალი ალკიდური ПФ-116	30	20	12	8	
3	YACHT VARNISH–იახტის ლაქი	23	21	14	9	არათანაბარი განაწილება, ზედაპირი ნახევრად პრიალა
4	AURA DEKOR LACK – ფასადის ლაქი	28	25	20	9	

როგორც ცხრ. 2 და 3-ის მონაცემებიდან ჩანს, ემალისა და ლაქის ტიპის საღებავებში ორგანოლექტიკური მახასიათებლები, შრობის დრო და ხარისხი, ზედაპირის სახე სტანდარტით განსაზღვრულ ნორმებს შეესაბამება. მიუხედავად იმისა, რომ ტემპერატურის გაზრდით შრობის დრო საკმაოდ შემცირდა (50 °C-ზე 8–9 სთ-ს შეადგენს), ზედაპირზე გამხსნელის ინტენსიური აორთქლების გამო წარმოიქმნა ბუშტუკები, ბოლოს კი ბზარები და შეიცვალა ზედაპირის სახე.

ცხრილი 4. საკვლევ ლაქ-საღებავებში დაფარვის უნარის, არააქროლადი ნივთიერებების, სიბლანტის და სიმკვრივის განსაზღვრის შედეგები

№	ნიშუშები	დაფარვა, გ/მ²		არააქროლ. ნივთ. მასური წილი, %		ნაკადის გაღინებისდრო (პირობითი სიბლანტე), წმ⁻¹		სიმკვრივე, კგ/მ³	
		ნორმა	შედეგი	ნორმა	შედეგი	ნორმა	შედეგი	ნორმა	შედეგი
1	ПФ-266 –ალკიდური ემალი	80–150	120	60–90	90	15-დან –25-მდე	21	1032 – 2045	1150
2	ПФ-116 –ალკიდური ემალი		120		88		22		1258
3	CAPADIN – წყალ-დისპერსიული საღებავი	80–200	145	50–70	66	18-დან–26-მდე	24	1339-1361	1340
4	BETEK PLASTIC – საღებავი		145		65		25		1345
5	YACHT VARNISH – იახტის ლაქი	60 –120	110	>65	90	18-დან–20-მდე	20	1041–1131	1068
6	AURA DEKOR LACK – ფასადის ლაქი		130		23		23		1085

ამავდროულად, გამხსნელის უფრო სწრაფად აორთქლების გამო, ვიდრე ეს საჭირო იყო, მოხდა საღებავის ნაწილაკების იძულებითი შეკვრა, ვიდრე ეს ბუნებრივი შრობისას მოხდებოდა. ამის გათვალისწინებით, ბაზარზე არსებული საღებავების შრობის ოპტიმალურ ტემპერატურად 20–30 °C მივიჩნიეთ.

ყველა ნიმუშში არააქროლადი ნივთიერებების მასური წილი სტანდარტით განსაზღვრულ ნორმებს შეესაბამება (ISO 3233).

როგორც ცხრილიდან ჩანს, სიბლანტე და დაფარვის უნარი მხოლოდ ფასადის ლაქში „Aura Dekor Lack“ არის მაღალი და არ შეესაბამება სტანდარტს, რაც პირველ რიგში გამოწვეულია მისი შედგენილობით, წარმოების პროცესში მაღალი სიბლანტის მქონე აფსკწარმომქმნელებისა და გამხსნელის გამოყენებით. ასევე სტანდარტს არ შეესაბამება ამ ნიმუშის ორგანოლექტიკური მაჩვენებლებიც, რადგან კონსისტენცია იყო არაერთგვაროვანი, შეინიშნებოდა ნალექი და განშრევა. ლაქების მაღალი სიბლანტის გამო რთულია მათი ზედაპირზე დატანა, ამავდროულად იზრდება ხარჯი და არაეკონომიურია.

ცხრილი 5. საკვლევ ლაქ-საღებავებში pH-ის, მჟავური რიცხვის და ტყვიის მასური წილის სიდიდეები

№	ნიმუშები	pH-ის მნიშვნელობა		ლაქებში მჟავური რიცხვის მნიშვნელობა, (KOH მგ/გ)		ლაქ-საღებავებში ტყვიის შემცველობა ppm (მგ/კგ)	
		ნორმა	შედეგი	ნორმა	შედეგი	ნორმა	შედეგი
1	ПФ-266 –ალკიდური ემალი	–	–	–	–	90	13.5
2	ПФ-116 –ალკიდური ემალი						15
3	CAPADIN – წყალ-დისპერსიული საღებავი	8.0 – 9.5	8.6	–	–		3
4	BETEK PLASTIC – საღებავი		8.2				8
5	YACHT VARNISH – იახტის ლაქი	–	–	2–10	2.62		26
6	AURA DEKOR LACK – ფასადის ლაქი				3,5		13

მიღებული შედეგებით ჩანს, რომ წყალდისპერსიულ საღებავებში (საღებავი CapaDin, საღებავი Betek Plastic) pH-ის, ხოლო ლაქებში (იახტის ლაქი YACHT VARNISH, ფასადის ლაქი Aura Dekor Lack) მჟავური რიცხვის მნიშვნელობები შეესაბამება სტანდარტით გათვალისწინებულ ნორმებს.

გამოკვლეულია ტყვიის მასური წილი ყველა საკვლევ ნიმუშში, არ სცდება ზღვ-ს და შესაბამისობაშია სტანდარტთან.

დასკვნა

ემალისა და ლაქის ტიპის საღებავებში შრობის დრო და ხარისხი, ზედაპირის სახე სტანდარტით განსაზღვრულ ნორმებს შეესაბამება. ჩვენს მიერ შესწავლილი იქნა ლდობის დროის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება, რამაც აჩვენა, რომ ტემპერატურის გაზრდით შრობის დრო საკმაოდ შემცირდა (50 °C-ზე 8–9 სთ-ს შეადგენს), მაგრამ ზედაპირზე გამხსნელის ინტენსიური აორთქლების გამო წარმოიქმნა ბუმტუკები, ბოლოს კი ბზარები და შეიცვალა ზედაპირის სახე. გამხსნელის სწრაფი აორთქლების გამო მოხდა საღებავის ნაწი-

ლაკების იძულებითი შეკრა, ვიდრე ბუნებრივი შრობისას. სწორედ, ამის გათვალისწინებით, ბაზარზე არსებული საღებავების შრობის ოპტიმალურ ტემპერატურად მივიჩნიეთ 20–30 °C.

ყველა ნიმუშში არააქროლადი ნივთიერებების მასური წილი სტანდარტით განსაზღვრულ ნორმებს შეესაბამება (ISO 3233);

გამოსაკვლევი ნიმუშებიდან, სიბლანტე და დაფარვის უნარი მხოლოდ ფასადის ლაქში „Aura Dekor Lack“ არის მაღალი და არ შეესაბამება სტანდარტს, რაც პირველ რიგში გამოწვეულია მისი შედგენილობით, წარმოების პროცესში მაღალი სიბლანტის მქონე აფსკწარმომქმნელებისა და გამხსნელის გამოყენებით. ასევე სტანდარტს არ შეესაბამება ამ ნიმუშის ორგანოლექტიკური მაჩვენებლებიც, რადგან კონსტიტუენცია იყო არაერთგვაროვანი, შეინიშნებოდა ნალექი და განშრევება. მაღალი სიბლანტის დროს მასა არის მკვრივი, ძნელდება მათი ზედაპირზე დატანა, ამავდროულად იზრდება ლაქის ხარჯი და არაეკონომიურია.

წყალდისპერსიულ საღებავებში (საღებავი CapaDin, საღებავი Betek Plastic) pH-ის, ხოლო ლაქებში (იახტის ლაქი YACHT VARNISH, ფასადის ლაქი Aura Dekor Lack) მჟავური რიცხვის მნიშვნელობები შეესაბამება სტანდარტით გათვალისწინებულ ნორმებს. გამოკვლეულია ტყვიის მასური წილი ყველა საკვლევ ნიმუშში. იგი არ სცდება ზღვ-ს და შესაბამისობაშია სტანდარტთან.

ლიტერატურა:

1. Shengelia E., (2012). Lecture course “Examination of organic products”, 110 p. Electronic version, GTU Central Library. CD 720
2. Turner, G. P. A. (1988). Introduction to Paint Chemistry and Principles of Paint Technology, 259 Pages
3. Tsverava M., Basilaia D., Barateli N. (2017). Technology of household chemical products. Lecture course, Tbilisi., 160 p. GTU Center. Library CD-4285;
4. Shengelia E., (2016). Lecture course „Production of vegetable oils and resins and their expertise“. Electronic version, GTU Central Library. CD 4649;
5. ISO 3668:2017(en) Paints and varnishes - Visual comparison of paint colour;
6. ISO 2808:2019 Paints and varnishes — Determination of film thickness;
7. GOST 19007-73. Determination of drying time and quality in paints and varnishes;
8. ISO 3233-1:2019 Paints and varnishes — Determination of percentage volume of non-volatile matter;
9. ISO 2431:2019 Paints and varnishes — Determination of flow time by use of flow cups;
10. ISO 2811-1:2011 Determination of density in paints and varnishes;
11. ISO 2811-1:2011 Determination of density in paints and varnishes;
12. ISO 660 Determination of acid number;
13. ISO 3856-1:1984 Paints and varnishes — Determination of „soluble“ metal content;
14. GOST 27037-86 Determination of stability of paints and varnishes to changing temperature.

SUMMARY

STUDY OF FACTORS AFFECTING THE DURABILITY OF PAINTS AND VARNISHES

Barateli N.D., Palavandishvili T.J., Tcheishvili S.Z. and Margievi D.A.

Georgian Technical University

The demand for paints and varnishes in the construction industry is rapidly growing all over the world. Every year, increasingly stringent requirements are imposed on varnishes and paints, as well as on the surfaces they cover, which is associated with the emergence of new technologies in industry and construction and the formation of modern aesthetic tastes among consumers. In order to study the competitiveness of paints and varnishes sold on the consumer market of Georgia and determine the compliance of quality indicators with the standard, the color, consistency, content of mechanical impurities, as well as the presence of dispersion and sediment were determined in test samples. Of the quality indicators: hiding power of the material with varnishes and paints (g/m^2), drying time (h), drying quality (quality scale), mass fraction of non-chlorinated substances (%), conditional viscosity (s^{-1}), density (kg/m^3), pH - for water-dispersion paints, acid number (KOH mg/g) - for varnishes, from heavy metals - lead (ppm mg/kg), heat resistance. The influence of temperature on the drying process was also studied. The results of the study are presented in the form of conclusions.

Keywords: coating, drying quality, drying time, paint, varnish.

ფორიანი მსუბუქი არაორგანული მასალის მიღება ვულკანური ქანების საფუძველზე

გურასპაშვილი ა.ნ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

შესავალი

ენერგოეფექტურობა დღემდე რჩება აქტუალურ პრობლემად და მის მისაღწევად მსოფლიოს წამყვან ქვეყნებში მრავალი მიმართულებით ტარდება მიზნობრივი სამუშაოები. მათ შორის აქტუალურია არაორგანული ფორიანი მასალების მიღება, რომლებიც ფართოდ გამოიყენება სამრეწველო დარგებში და მშენებლობაში. ასეთი სახის მასალებში გამოყოფენ სიმსუბუქით გამორჩეულ და მაღალი ფორიანობის მქონე (90 %-ზე მეტი) მასალას – ქაფმინას [1, 2].

ქაფმინის და მისგან ნაკეთობათა მიღების ტექნოლოგია რთულია, რადგან მოითხოვს სპეციფიკურ სანედლეულო ბაზას, ასევე მისგან ფორიანი მინის და ნაწარმის მიღების პროცესების ზედმიწევნით ზუსტ დაცვას.

ქაფმინის მიღების ეკონომიკურ მხარეს ძირითადად განსაზღვრავს სანედლეულო ბაზის წვდობადობა და ღირებულება, კაზმის მიღებაზე გაწეული დანახარჯები. მნიშვნელოვანი ხდება ისეთი საკითხების გათვალისწინება, როგორიცაა ნედლეულის შედგენილობის სტაბილურობა, მისი მომზადებისათვის აუცილებელი ტექნოლოგიური პროცესების რაოდენობისა და სახეობათა მინიმუმამდე დაყვანა. ამ მხრივ, ქაფმინის მიღების თანამედროვე მიდგომები არარაციონალურია.

ქაფმინის და მისგან შესაბამისი ნაწარმის მიღება დღეისათვის ძირითადად ხდება ორი სახეობის ნედლეულიდან: მეორადი/მეგროვილი, პრაქტიკულად დეფიციტური მინის ლეწისაგან და სპეციალურად მოხარშული მინისაგან მიღებული ფრიტირებული გრანულებიდან მათგან ლეწის პირველადი გადამუშავება მოითხოვს დახარისხებას, რეცხვას და მსხვრევას, რაც ზრდის შრომატევადობას, ენერგოდანახარჯებს და ამასთან ვერ უზრუნველყოფს ხარისხიანი ქაფმინის ნაწარმის მიღებას. სპეციალურად მოხარშული მინიდან გრანულების მიღება დამატებით მოითხოვს მინის ხარშვას მასალატევადი კაზმიდან, რაც იწვევს ქაფმინის ღირებულების მკვეთრ ზრდას.

ლეწისა და გრანულებიდან ქაფმინის მისაღები კაზმის მომზადების ტექნოლოგია იდენტურია და უკავშირდება დაქუცმაცებული ლეწის ან გრანულების წმინდა დაფქვას, ამაფუებელ მასალასთან (1 – 5 მას. %) ერთად და მიღებული ნარევის აფუებას მაღალტემპურატურული (800 – 1000°C) თერმული დამუშავებით [3-5].

ორივე „ტრადიციული“ ნედლეულიდან ქაფმინის მიღების ტექნოლოგიური პროცესი გამოირჩევა მაღალი ენერგოდანახარჯებით და მასალატევადობით, რაც აძვრივებს ქაფმინას და ამცირებს მის კონკურენტუნარიანობას. აღნიშნულმა გარემოებამ განაპირობა ქაფმინის მისაღები ახალი სანედლეულო წყაროების მოძიება და ამ მიმართულებით მრავალ ქვეყანაში აქტიურად მიმდინარეობს კვლევები ქაფმინის მისაღებად ბუნებრივი ქანების და ტექნოგენური ნარჩენების გამოყენებით [6].

ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევა მიზნად ისახავდა ქაფმინის მისაღები სანედლეულო ბაზის გაფართოებას და მასალატევადობის შემცირებას, მისი წარმოების ტექნოლოგიის გამარტივების უზრუნველყოფით. აღნიშნულის განსაზოციელებლად შერჩეული და შესწავლილი იქნა კონკრეტული ადგილმდებარეობის (საქართველო, სამცხე-ჯავახეთის რეგიონი) ვულკანური მინა – ობსიდიანი.

ძირითადი ნაწილი

შერჩეული საკვლევი ობსიდიანიდან ქაფმინის ლაბორატორიულ პირობებში მისაღებად ჩატარდა შემდეგი კვლევითი სამუშაოები: ნაჭროვანი ნედლეულის მსხვრევა, შედგენილობის გასაშუალოება, თერმული დამუშავების ჩატარება, აფუების ოპტიმალური პარამეტრების და მიღებული ფორიანი მასალის თვისებების დადგენა.

კვლევის ობიექტი – ობსიდიანი წარმოადგენს, შავი ფერის მასალას – მინას, რომელიც არ შეიცავს ხილვად კრისტალურ ჩანართებს. საკვლევად აღებული ნედლეულის სინჯის ქიმიური შედგენილობა (მას. %): 73,81 SiO_2 ; 14,79 Al_2O_3 ; 1,25 Fe_2O_3 ; 1,02 CaO ; 0,39 MgO ; 2,88 Na_2O ; 0,30 MnO ; 0,47 LOI და წარმოადგენს მცირე რაოდენობით ტუტე (2,88 %) და ტუტე მიწა (2,41 RO) ოქსიდების შემცველ ალუმინ-სილიკატურ მინას. მასში ფიქსირდება 0,5 %-მდე აქროლალების არსებობა, სავარაუდოდ წყლის მოლეკულების სახით.

ობსიდიანის ქაფმინაში გარდაქმნის დასადგენად ჩატარდა თერმული დამუშავება ორი შესაძლო ვარიანტით: ტემპერატურის (t) და დროის (τ) ზრდის პირობისათვის. თერმოდამუშავების ტემპერატურული ინტერვალი შეადგენდა 900 – 1300 °C (τ=15 წთ), ხოლო გარკვეულ ტემპერატურაზე (1100 °C) დაყოვნების ხანგრძლივობა განისაზღვრა 5-დან 35 წთ-მდე ინტერვალით (ობსიდიანის მარცვლები ზომით 10 – 15 მმ). ქაფმინაში გარდაქმნის ხარისხი შეფასდა ე.წ. აფუების კოეფიციენტით: $K_\alpha = \gamma' / \gamma_0$ (ცხრ. 1-ში).

ცხრილი 1. ობსიდიანის აფუების კოეფიციენტის (K_α) დამოკიდებულება თერმული დამუშავების ტემპერატურაზე (t) და დროზე (τ)

თერმული დამუშავების პარამეტრები		მოცულობითი სიმკვრივე γ' , კგ/მ ³	K_α	თერმული დამუშავების პარამეტრები		მოცულობითი სიმკვრივე, γ' , კგ/მ ³	K_α
t, °C	τ, min			t, °C	τ, min		
25	–	1420 ⁽¹⁾	–	25	–	1420 ⁽¹⁾	–
900	15	1420 ⁽⁴⁾	1,0	1100	5	1420 ⁽⁴⁾	1,0
1000	„	1270	1,1	„	10	940	1,7
1100	„	505	2,8	„	15	505	2,8
1150	„	305	4,7	„	20	275 ⁽²⁾	5,4 ⁽³⁾
1200	„	200	7,1 ⁽³⁾	„	25	260 ⁽²⁾	5,5 ⁽³⁾
1250	„	360	3,9	„	30	260	5,5
1300	15	630	2,3	1100	35	260	5,5

(1) – გამომშრალი მასალისათვის ($\gamma_0=1420$ კგ/მ³);

(2) – ოპტიმალური პარამეტრი;

(3) – K_α მაქსიმალური მნიშვნელობა;

(4) – თერმულად დამუშავებული მასალისათვის (γ' , კგ/მ³)

მიღებული შედეგების შეფასების სფუძველზე დადგინდა, რომ ობსიდიანის მაქსიმალური აფუების ოპტიმალური პარამეტრები (K_α -ს მნიშვნელობათა გამოვლენილი მაქსიმალური სიდიდით) შემდეგია: ტემპერატურა 1200° ± 20C, ხოლო აღნიშნულ ტემპერატურაზე

დაყვანება შეადგენს 20 – 25 წთ. დამატებითი ექსპერიმენტაციით დადგინდა, რომ თერმული დამუშავების რეკომენდირებული რეჟიმი უზრუნველყოფს ობსიდიანიდან (ლაბორატორიულ პირობებში) 180 – 200 კგ/მ³ ხვედრითი სიმკვრივის ქაფმინის მიღებას (ცხრ. 2).

ცხრილი 2. ობსიდიანიდან მიღებული და სტანდარტით მოთხოვნილი ქაფმინის თვისებები⁽¹⁾

N	მოთხოვნილი (მასასიათებელი) თვისება	განზომილების ერთეული	თვისებათა მნიშვნელობა	
			ქაფმინა (GOST 33949-2016)	ქაფმინა ობსიდიანიდან
1	კუთრი სიმკვრივე	d, კგ/მ ³	$8 \leq d \leq 200$	180 -200
2	სიმტკიცე კუმშვაზე	P, Mpa	$0,3 \leq P \leq 3.0$	$0,810 \pm 0,1$
3	წყალშთანთქმა ⁽²⁾	W, %	$< 0,5$	$0,43 \pm 0,02$
4	სორბციული უნარი	S, %	$< 0,7$	$0,420 \pm 0,3$
5	თბოგამტარობის კოეფიციენტი	$\lambda_{25^{\circ}\text{C}}, \text{ W/(m.K)}$	≤ 0.065	$0,055 \pm 0,005$

⁽¹⁾ – t = თერმული დამუშავების პარამეტრები: 1200°C ± 20; τ – 20 წთ

⁽²⁾ – 24 სთ-იანი წყალში ყოფნის შემდეგ

ობსიდიანიდან მიღებული ქაფმინის გამოყენების შესაძლებლობის და პერსპექტიულობის შეფასება განხორციელდა ქაფმინის მიმართ შესაბამისი სტანდარტით GOST 33949-2016 [7] რეგლამენტირებული მასასიათებელი თვისებების შესწავლით (სიმკვრივე, სიმტკიცე კუმშვაზე, წყალშთანთქმა, სორბციული უნარი, თბოგამტარობა). ექსპერიმენტურად მიღებული შედეგები და სტანდარტის მოთხოვნები წარმოდგენილია ცხრ. 2-ში. მონაცემთა შედარებით ნათლად ჩანს, რომ ობსიდიანიდან მიღებული ქაფმინა აკმაყოფილებს სტანდარტის მოთხოვნებს და აქედან ადასტურებს მისი გამოყენების შესაძლებლობას.

დასკვნა

ჩატარებული კვლევის შედეგები გვიჩვენებს, რომ ქაფმინის მისაღებ ნედლეულად შესაძლებელია შერჩეული ადგილმდებარეობის ობსიდიანის მონოკაზმის გამოყენება. ქაფმინა მიიღება ობსიდიანის 1200 ± 20°C თერმული დამუშავებით 20 – 25 წუთის განმავლობაში, რაც უზრუნველყოფს 180 – 200 კგ/მ³ მოცულობითი სიმკვრივის მასალა-ნაკეთობის მიღებას. მიღებული ქაფმინის წყალშთანთქმა, სორბციული უნარი, სიმტკიცე კუმშვაზე და სხვა თვისებები სრულად აკმაყოფილებს ქაფმინაზე მოქმედ სტანდარტის მოთხოვნებს.

ლიტერატურა

1. Foam Glass – an overview. <https://www.sciencedirect.com/topics/enering/foam-glass>
2. Foam Glass. [Wikipedia.en.wikipedia.org/wiki/Foam_glass](https://en.wikipedia.org/wiki/Foam_glass)
3. Preparation and characteristics of glass foam. Aalborg Universitets forskningsportal (2019). https://vbn.aan.dk>fiees>PHD_Martin_Bonderu.
4. R.Aaboe. Foam glass –an alternative lightweight and insulating. Statens vegvesen. <https://www.vegvesen.no/an>foku somrader>
5. Glass Handbook. https://professional.gjames.com/_data/assets/pdf_file/
6. R. Melkonyan, O. Suvorova, D.Makarov, N. Manakova. Vitreous Foamed Materials:Challenges of Production and Solutions. DOI:10.25702/KSC.2307-5228-2018-10-1-133-156. C:/Users/ps/Dowland S/ proizvodstvo stekloobranh-penomaterialov-problemi –i-reshenia/pdf (in Russian);

7. GOST33949-2016(EN13167-2012, NEQ). Cellular glass thermal insulating product for buildings and constructions. <https://files.stroyif.ru>index> 2.

SUMMARY

OBTAINING POROUS LIGHTWEIGHT INORGANIC MATERIAL BASED ON VOLCANIC ROCKS

Guraspashvili A.N.

Georgian Technical University

The results of the conducted research show that it is possible to use obsidian monomix from the selected location as a raw material for foam glass. Foam glass is obtained by thermal treatment of obsidian at $1200 \pm 20^{\circ}\text{C}$ for 20 – 25 minutes, which ensures the production of a material-product with a Specific gravity of $180 - 200 \text{ kg/m}^3$. The water absorption, sorption capacity, compressive strength and other properties of the obtained foam glass fully meet the requirements of the standard applicable to foam glass.

Keywords: obsidian, heat treatment, foam glass, technological parameters, properties.

DETERMINATION OF HEAVY METALS IN THE SOILS OF THE VILLAGE KVEDA SIMONETI IN THE
KVIRILA RIVER BASIN

Tsintsadze R.L., Tchanturia N.M., Takaishvili N.V. and Chankvetadze B.G.

Iv. Javakhishvili Tbilisi State University

Abstract. In the manganese mining region of the Kvirila River, agricultural lands are irrigated with river water. The goal of the present study was to determine the content of some heavy metals (with an emphasis on Mn) in agricultural soils in the village of Kveda Simoneti, Terjola municipality, located in the Kvirila River basin. Additionally, we sought to investigate the soil remediation capacity of the plant *Phytolacca americana*. Furthermore, we aimed to identify the agro-sector's beneficial macronutrients (N, P, K). Our experimental data demonstrated that the nickel content in the soil samples under investigation was 1.24-1.37 times higher, and the manganese content was 29.5-34.6 times higher than the maximum allowable upper limits. The soil in the growth area of *P. Americana* exhibited lower levels of manganese and other specified heavy metals (Zn, Fe, Cu, Ni) compared to soils located 5 and 10 meters away from the growth site of *P. Americana*, indicating a specific (but modest) capacity of this plant to accumulate these metals.

Keywords: heavy metals, Soil, *Phytolacca americana*, manganese, nickel.

1. Introduction

Manganese (Mn) ranks as the 12th most abundant element in the Earth's crust, constituting approximately 0.1 % of its mass. Although Mn does not occur in nature as a primary metal, it is a component of over one hundred minerals; the most common and commercially significant manganese-containing mineral is pyrolusite, mainly consisting of MnO_2 . Mn naturally occurs in the form of compounds in rocks and soils; it is widely distributed in the environment and found in trace amounts in water, air, soil, and food.

The presence of Mn as a trace element in living organisms is essential for vital processes. Both deficits and excesses of Mn can have harmful effects on health. It is important to note that excessive intake of Mn, most commonly through inhalation or ingestion, can lead to pathology of the central nervous system (CNS). A deficiency of Mn may result in several disorders, including skeletal defects, infertility, cardiovascular disease, hypertension, and alterations in lipid and carbohydrate metabolism [1].

One of the richest manganese (Mn) deposits in the world and the largest Mn mines are located in the Republic of Georgia, in the town of Chiatura. The waters of the Kvirila River were used in the extraction process for many years and are contaminated not only with Mn but also with other heavy metals. Earlier studies have shown that there are high concentrations of total Mn and Fe in the lower reaches of the Kvirila River. The sediments in the riverbed also contain elevated concentrations of metals [2]. A related serious issue is that the waters of the Kvirila River are used for the irrigation of agricultural land in the municipalities of Chiatura, Zestafoni, and Terjola. This has led to severe heavy metal contamination of the soils along the Kvirila River, particularly with Mn. Preliminary measurements of Mn and some other heavy metals (Zn, Cu, Ni, Fe) in "agricultural" soils adjacent to the Kvirila River in the Terjola municipality indicated concentrations of Mn exceeding the permitted upper limit 30 – 40 times. Similarly, the content of some other heavy metals in the soil was also over the permitted limits. The risk to the local population of getting exposed to the toxic metals is particularly high, as these areas are currently used for cultivating agricultural crops, especially vegetables, as well as for pastureland.

Our primary objective was to measure the content of heavy metals (with an emphasis on Mn) in agricultural soils adjacent to the Kvirila River in the village of Kveda Simoneti, Terjola municipality, to assess the level of soil contamination; and simultaneously to investigate the soil remediation capacity of the plant *Phytolacca americana*, wildy grown in the same area.

2. Materials and Methods

2.1 Soil Sample Collection and Analysis

Soil samples were collected in the village of Kveda Simoneti, Terjola municipality, from horizons of 0 – 30 cm and 30 – 60 cm, following appropriate procedures. A total of six soil samples (cadastral code 33.05.37.343) were taken from a distance of 400 – 500 m from the riverbed.

After transporting the samples to the laboratory, they were cleaned of excess impurities, air-dried at room temperature (20 – 25 °C), ground, and a sample was taken for analysis, adhering to the envelope method. Soil was sieved using a <2 mm mesh, and the grinding-reduction process was repeated several times.

Moisture was removed from the soils (in an oven at 105 °C to constant weight), and 1.0000 g of soil was taken for analysis, which was calcinated in a furnace at 350 – 400 °C for 1 hour. The calcinated soil was transferred to a 100 ml beaker, 20 ml of aqua regia (3 volumes of 37 % HCl w/w (Merck) + 1 volume of HNO₃ 65 % (w/w) (Merck) was added, and the solution was evaporated to dryness on an electrical heater. This procedure was repeated twice. To the resulting dry residue, 5 ml of 1:1 diluted HCl was added, and the mixture was left for 24 hours at room temperature. The solution was filtered, and the filtrate was made up to 100 ml with deionized water in a volumetric flask. Finally, the contents of certain heavy metals (Zn, Cu, Ni, Mn, Fe) were determined in the obtained filtrates using two instruments: an Atomic Absorbance Spectrometer (AAS9000, Skyray Instruments, China) and a Microwave Plasma Atomic Emission Spectrometer (MP-AES Agilent 4200, Santa Clara, CA, USA).

The direction and intensity of various physical-chemical, biochemical, and other processes occurring in soils, as well as the forms of biogenic and regulated substances, including heavy metals, soil fertility, and toxicity, depend on pH [3]. Concurrently, we determined the pH of the studied soils. The pH of soil leachates was determined using the potentiometric method with an AB 150 pH/mV (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA) potentiometer.

2.2. *Phytolacca Americana*

Phytolacca Americana has recently been identified as a hyperaccumulator of certain heavy metals [4, 5]. This plant grows wild in our study area, along the roadside. Therefore, we decided that, in the first stage, we would verify whether the wild-growing *P. americana* in the soils surrounding the Kvirila River in the village of Kveda Simoneti exhibited accumulation capacity for heavy metals (Zn, Cu, Ni, Mn).

For this purpose, we collected soil samples from the growth sites of the *P. americana* plant, as well as from locations 5 and 10 meters away from these growth sites.

3. Method Validation

To ensure the reliability of the determination results and the validity of the employed method, we used certified reference material (CRM) — WAGENINGEN EVALUATING PROGRAMS FOR

ANALYTICAL LABORATORIES; International Soil-Analytical Exchange - ISE sample 838. We determined the heavy metal content in the standard soil sample using a slightly modified method along with standard ISO methods ISO 11466:2010 and ISO 11047:2011, which are also based on extraction with aqua regia. For quantitative measurements, we employed an Atomic Absorption Spectrometer (AAS) and a Microwave Plasma Atomic Emission Spectrometer (MP-AES). Based on the obtained results, we calculated their Z-SCORES and performed evaluations according to these criteria [6].

Results of the determination of the standard certified soil (CRM) sample with atomic absorbance spectrometry and microwave plasma atomic emission spectrometry are shown in Tables 1 and 2.

Table 1. Results of the determination of the standard certified soil (CRM) sample with atomic absorbance spectrometry and a microwave plasma atomic emission spectrometry

Metal	CRM Values		AAS			MP-AES		
	Mean Value	Standard Deviation	Result mg/kg	Z- Score	Evaluation	Result mg/kg	Z- Score	Evaluation
Copper (Cu)	6.52	1.182	9.07	1.13	 Satisfactory	8.0	0.28	 Satisfactory
Zink (Zn)	7.64	1.265	12.54	1.21	 Satisfactory	12.33	1.09	 Satisfactory
Nickel (Ni)	10.4	1.77	8.95	2.06	 Questionable performance	9.0	2.10	 Questionable performance
Manganese (Mn)	105	14.4	87.55	-1.21	 Satisfactory	132.67	1.92	 Satisfactory

Table 2. Results of the Determination of the Standard Certified Soil (CRM) Sample Processed by the Modified Method (Sample Mass: 1.0000 gram)

Metal	CRM Values		AAS			MP-AES		
	Mean Value	Standard Deviation	Result mg/kg	Z- Score	Evaluation	Result mg/kg	Z- Score	Evaluation
Copper (Cu)	6.52	1.182	11.09	1.93	 Satisfactory	7.83	0.15	 Satisfactory
Zink (Zn)	7.64	1.265	13.50	1.75	 Satisfactory	11.62	0.69	 Satisfactory
Nickel (Ni)	10.4	1.77	8.93	2.04	 Questionable performance	8.91	2.02	 Questionable performance
Manganese (Mn)	105	14.4	118.14	0.91	 Satisfactory	128.25	1.61	 Satisfactory

4. Results and Discussion

4.1 Soil Analysis

The content of heavy metals (mg/kg) in the soils sampled in the village of Kveda Simoneti, Terjola municipality, was determined using atomic absorbance spectrometry and microwave plasma atomic emission spectrometry are shown in Table 3.

Table 3. Results of the Determination of the soil sampled in the village of Kveda Simoneti from horizons of 0–30 cm and 30–60 cm.

Sample №	Sampling Place	Zn		Mn		Ni		Cu		pH
		MP-AES	AAS	MP-AES	AAS	MP-AES	AAS	MP-AES	AAS	
1	Simoneti 1 0–30 cm	69.5	70.8	51 850	51 110	105.2	108.1	40.6	39.68	7.88
2	Simoneti 1 30–60 cm	63.5	62.9	48 370	48 490	99.3	100.8	37.4	36.22	7.49
3	Simoneti 2 0–30cm	77.5	79.8	51 120	48 605	108.7	108.5	46.7	45.12	8.06
4	Simoneti 2 30–60 cm	61.6	62.1	45 020	44 670	104.6	100.3	39.6	38.12	7.61
5	Simoneti 3 0–30 cm	73.8	75.2	50 350	49 675	109.5	107.6	43.3	42.83	7.85
6	Simoneti 3 30–60cm	67.7	69.9	45 510	44 270	108.5	106.0	38.8	37.83	7.50
MPL		100		1500		80		55		–

According to the obtained results, the pH varies between 7.50 and 8.06, indicating that the soils in the village of Kveda Simoneti, Terjola municipality, belong to weakly alkaline soils. The accuracy of the results aligns with the literature data. It is known from the literature [7] that most of the soils in the eastern part of the Kolkheti lowland are classified as yellow-brown and gray soils, characterized by both neutral and weak alkaline reactions.

The content of zinc determined by the two instruments is quite close to each other, with a standard deviation (SD) ranging from 0.25 to 1.15 and a relative standard deviation (RSD) between 0.40 % and 1.60 %, which is an acceptable margin of error.

Based on the analysis of the heavy metal determination data, we found that the zinc content in the soils of Kveda Simoneti ranges from 71.6 to 79.8 mg/kg. The results comply with the standards established by Georgian legislation [8].

The copper results determined by the two instruments are also quite close to each other, with a standard deviation (SD) ranging from 0.24 to 0.79 and a relative standard deviation (RSD) between 0.55 % and 1.90 %, which is an acceptable margin of error.

The copper content varies between 36.22 and 46.7 mg/kg. The results, in all samples, comply with the standards set by Georgian legislation [8].

The nickel results from the two instruments are very close to each other, with a standard deviation (SD) ranging from 0.10 to 2.15 and a relative standard deviation (RSD) between 0.09 % and 2.10 %, which is an acceptable margin of error.

The nickel content ranges from 99.3 to 109.5 mg/kg. The results exceed the maximum allowable concentration by 1.2 to 1.45 times in all samples.

The manganese results determined by the two instruments are quite close to each other, with a standard deviation (SD) ranging from 0.06 to 1.26 and a relative standard deviation (RSD) between 0.12 % and 2.52 %, which is an acceptable margin of error.

The manganese content varies between 44.27 and 51.85 mg/kg. The obtained results in all samples exceed the maximum allowable concentration by 29.5 to 34.6 times, respectively.

As mentioned above (Section 2.2), analyses were conducted on *Phytolacca americana* samples collected from its growth sites and adjacent areas at distances of 5 and 10 meters along the

Kvirila River in the village of Kveda Simoneti. These analyses aimed to determine the accumulation levels of heavy metals (Zn, Cu, Ni, Mn). The obtained results can be found in Table 4.

Table 4. Results of Soil Analysis for Heavy Metal Content (mg/kg) from the Growth Site of the Plant *Phytolacca Americana* at Distances of 5 and 10 Meters

№	Soil sample	Zn	Fe	Cu	Ni	Mn
1	Soil at the site of <i>Phytolacca americana</i> collection	100.4	28774.4	28.6	16.6	694.5
1.1	Soil 5 meters away from the <i>Phytolacca americana</i> collection	121.8	32184.8	88.4	14.0	708.8
1.2	Soil 10 meters away from the <i>Phytolacca americana</i> collection	126.4	27851.5	50.5	12.4	629.8
2	Soil collected near <i>Phytolacca americana</i> (Kveda Simoneti)	134.6	24 659.5	29.6	1.0	13916.4
2.1	Soil 5 meters away from <i>Phytolacca americana</i> (Kveda Simoneti)	195.1	18 988.8	35.8	29.6	22 977.5
2.2	Soil 10 meters away from <i>Phytolacca americana</i> (Kveda Simoneti)	135.3	20 532.8	31.8	25.6	23 516.4
3	Soil collected near <i>Phytolacca americana</i> (Rodinauli Intersection 1)	117.7	28 008.2	45.0	1.0	13 413.5
3.1	Soil 5 meters away from <i>Phytolacca americana</i> (Rodinauli Intersection 1)	138.3	30 867.8	46.1	3.1	14 444.7
3.2	Soil 10 meters away from <i>Phytolacca americana</i> (Rodinauli Intersection 1)	110.7	22 551.3	44.1	2.1	14 244.9
4	Soil collected near <i>Phytolacca americana</i> (Rodinauli Intersection 2)	122.5	22 551.3	28.2	1.1	14 244.9
4.1	Soil 5 meters away from <i>Phytolacca americana</i> (Rodinauli Intersection 2)	134.4	25 862.5	33.6	4.8	17 572.2
4.2	Soil 10 meters away from <i>Phytolacca americana</i> (Rodinauli Intersection 2)	133.4	24 978.2	33.9	4.0	15 845.6

It should be noted that in most cases, the content of manganese and other specified heavy metals (Zn, Fe, Cu, Ni) in the soil at the growth site of *P. americana* is lower than that of the soil 5 and 10 meters away from the growth site, which suggests, to some extent, the accumulation capacity of the plant *Phytolacca americana*. However, this capacity is not distinctly pronounced and unequivocal.

Table 5. Other Chemical Indicators of Soil

Parameter	Unit	Result
Nitrogen	mg/100g	7.0
Phosphorus	mg/100g	1.470
Potassium	mg/100g	2.97
Carbonates	%	3.3
Humus	%	1.67

In one of the soil samples (0 – 30 cm) from the village of Kveda Simoneti in the Terjola municipality, the content of beneficial nutrients (N, P, K) for the agro-sector was determined (Table 5). The following methods were used:

- Potassium – Microwave Plasma Atomic Emission Spectrometry (MP-AES) method (after preliminary sample preparation)
- Total nitrogen content – Modified Kjeldahl method
- Total phosphorus content – Spectrophotometric method using HACH DR 1900 (LCK 350) after sample preparation
- Carbonates – Volumetric method using ISO 10693
- Humus – Photometric method

The mobile forms of nitrogen and phosphorus in the soil of the village of Kveda Simoneti, developed on the terraces of the Kvirila River, are present in small amounts, with nitrogen at 7 mg/100 g of soil and phosphorus at 1.47 mg/100 g of soil. The exchangeable potassium content is low and does not exceed 3 mg/100 g of soil.

Our analysis of humus yielded a result of 1.67 %, which correlates well with literature data [7] as it is known that yellow-brown and gray soils are characterized by a moderate humus content, typically up to 2 % in the 0 – 30 cm thickness layer of soil.

The low content of carbonates at 3.3 % in the investigated soil indicates that the formation of the soils in Kveda Simoneti occurred on carbonate-poor rocks.

Conclusion

The results of this study indicate that the soils in the village of Kveda Simoneti, Terjola municipality, are of a weak base nature, with a pH varying between 7.50 and 8.06.

In the soil samples from the village of Kveda Simoneti, near the Kvirila River, the results of determining certain heavy metals (copper, zinc, nickel, manganese) show that the nickel content is 1.2-1.4 times higher, and the manganese content is 29.5 – 34.6 times higher than the maximum allowable concentrations.

In most cases of the soil samples from the village of Kveda Simoneti, the content of manganese and other specified heavy metals (Zn, Fe, Cu, Ni) in the soil at the growth site of *P. americana* is lower than that of the soil 5 and 10 m away from the growth site. This suggests, to some extent, the accumulation capacity of the plant *Phytolacca americana*, though this capacity seems to be limited.

In the soils of the village of Kveda Simoneti, developed on the terraces of the Kvirila River, the mobile forms of nitrogen and phosphorus are present in small amounts, with nitrogen at 7 mg/100 g of soil and phosphorus at 1.47 mg/100 g of soil. The exchangeable potassium content is low and does not exceed 3 mg/100 g of soil.

The content of carbonates in the studied soil is low at 3.3 %, while the amount of humus, which determines the nature and fertility of the soil, is moderate at 1.67 %.

Acknowledgments

Rusudan Tsintsadze thanks Shota Rustaveli Georgia National Science Foundation, for partial financial support of this study through the PhD grant No. PHDF-22-405.

REFERENCES

1. Röllin H. *Manganese: Environmental Pollution and Health Effects*, in: Encyclopedia of Environmental Health, J.O. Nriagu (ed.), pp. 617-629, Elsevier, 2011.

2. Caruso, B. S., Mirtskhulava, M., Wireman, M., Schroeder, W., Kornilovich, B., & Griffin, S. (2012). Effects of Manganese Mining on Water Quality in the Caucasus Mountains, Republic of Georgia. *Mine Water and the Environment*, 31(1), 16-28. <https://doi.org/10.1007/s10230-011-0163-3>
3. Supatashvili, G. *Environmental Chemistry (Ecochemistry)*, Tbilisi State University, 2009.
4. Murray B. McBride MB, Zhou Y. (2019). Cadmium and Zinc Bioaccumulation by *Phytolacca Americana* from Hydroponic Media and Contaminated Soils. *International Journal of Phytoremediation*, DOI: 10.1080/15226514.2019.1612849.
5. Phytoremediation of Mn-Contaminated Paddy Soil by Two Hyperaccumulators (*Phytolacca americana* and *Polygonum hydropiper*) Aided with Citric Acid. Qing-wei Yang, Hua-ming Ke, Shou-Jiang Liu & Qing Zeng. *Environmental Science and Pollution Research*, volume 25, pages 25933–25941 (2018).
6. ISO 13528:2022 - Statistical Methods for Use in Proficiency Testing by Interlaboratory Comparison.
7. Urushadze T., *Agronomy*. 2020.
8. Minister of Labor, Health and Social Affairs of Georgia. 2001. Addendum to Order №297/N of August 16.

რეზიუმე

მძიმე მეტალების განსაზღვრა მდინარე ყვირილას აუზის სოფელ ქვედა სიმონეთის ნიადაგებში ცინცაძე რ.ლ., ჭანტურია ნ.მ., თაყაიშვილი ნ.ვ., ჭანკვეტაძე ბ.გ.

ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

მანგანუმის მოპოვების რეგიონში მდინარე ყვირილას აუზში სასოფლო-სამეურნეო სავარგულები ირწყვება მდინარის წყლით, რომელშიც დიდი ხნის მანძილზე სამრეწველო ნარჩენები ჩაედინებოდა. ჩვენი კვლევის მიზანი იყო თერჯოლის მუნიციპალიტეტში, სოფელ ქვედა სიმონეთში მდინარე ყვირილას მიმდებარედ, სასოფლო-სამეურნეო ნიადაგებში ზოგიერთი მძიმე ლითონის შემცველობის დადგენა (აქცენტი Mn-ზე) ნიადაგის დაბინძურების დონის განსაზღვრად; და ამასთან, აღნიშნულ ნიადაგებზე ველურად გაზრდილი მცენარის ფიტოლაკა ამერიკანას აკუმულაციური უნარის შესწავლა ზოგიერთი მძიმე მეტალის მიმართ. ასევე, აგროსექტორისათვის სასარგებლო, საკვები ელემენტების (N, P, K) რაოდენობის დადგენა. ჩვენს მიერ ჩატარებულმა ექსპერიმენტულმა მონაცემებმა აჩვენა, რომ საკვლევი ნიადაგის ნიმუშებში ნიკელის შემცველობა 1.24-1.37-ჯერ, ხოლო მანგანუმის 29.5-34.6-ჯერ მაღალია ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებზე. *P.Americana*-ს გაზრდის ადგილზე ნიადაგში ნაკლებია მანგანუმისა და სხვა განსაზღვრული მძიმე მეტალების (Zn, Fe, Cu, Ni) შემცველობა, ვიდრე *P.Americana*-ს გაზრდის ადგილიდან 5 და 10 მ დაშორებით, რაც აღნიშნული მცენარის მიერ ამ მეტალების გარკვეულ აკუმულაციის უნარზე მიგვანიშნებს.

საკვანძო სიტყვები: მძიმე მეტალები, ნიადაგი, ფიტოლაკა ამერიკანა, მანგანუმი, ნიკელი.

ეკოლოგიური უსაფრთხოება და რაციონალური ბუნებათსარგებლობა**ანდრეაძე მ.ნ., მჭედლიშვილი გ.ს., მამულაშვილი მ.ა.****საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი**

გარემოს დაცვის განვითარების თანამედროვე ეტაპზე ხშირად ფიგურირებს ცნება – „ეკოლოგიური უსაფრთხოება“. ეკოლოგიური უსაფრთხოება – ადამიანის სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანი ეკოლოგიური ინტერესების დაცულობაა და პირველ რიგში, მისი უფლება იქონიოს სუფთა, ჯანსაღი ცხოვრებისათვის ხელსაყრელი გარემო.

ეკოლოგიური უსაფრთხოება ისიცაა, რომ ბუნებრივი გარემოსა და ადამიანის სამეურნეო მოღვაწეობა უნდა იყოს დაბალანსებულ მდგომარეობაში, რაც გულისხმობს ისეთი პირობებისა და დონეების დაწესებას, როდესაც გარემოზე ზეწოლა არ აღემატება მის თვითაღდგენის უნარის ზღვარს.

ეკოლოგიური უსაფრთხოება ის სისტემაცაა, რომელიც არეგულირებს პროფილაქტიკური ღონისძიებების კომპლექსებს, რათა არ დაიშვას საგანგებო მდგომარეობები არა მარტო ანთროპოგენური მოღვაწეობის ზღვრებში, არამედ ბუნებრივ გარემოში მოსალოდნელ მოვლენათა პირობებში [1].

ამ ფუნქციებიდან გამომდინარე, ეკოლოგიური უსაფრთხოება უნდა განვიხილოთ როგორც საზოგადოებისთვის მისაღები ეკოლოგიური საფრთხეების სოციალურ-ეკონომიკური დონე, რომელიც გვიჩვენებს გარემოს მდგომარეობის და ადამიანის ჯანმრთელობის ნორმიდან გადახრას.

კონკრეტულ გეოსოციო ეკოსისტემასთან მიმართებაში ანსხვავებენ გარე და შიდა საფრთხეებს. გარე საფრთხეებს მიაკუთვნებენ: კლიმატის გლობალურ დათბობას, მავნე ნივთიერებათა ტრანსსასაზღვრო გადატანას, ოზონის ფენის დაშლას, ცალკეულ სახელმწიფოთა ტერიტორიაზე რადიოაქტიური ნარჩენების განთავსებას. იმ შემთხვევაში, თუ ამ ნარჩენების განთავსება უფრო ძლიერი სახელმწიფოს მეშვეობით ხორციელდება ყოველგვარი შეთანხმების გარეშე, საქმე გვაქვს ეკოლოგიურ აგრესიასთან.

შიდა ეკოლოგიური საფრთხეები სახელმწიფოს საკუთარი სტრუქტურებისა და მეურნე სუბიექტების მოღვაწეობითაა განპირობებული. მათი გამოვლინებაა ბუნებრივი რესურსების არარაციონალური ექსპლუატაცია, ბუნებისდაცვითი ღონისძიებების გაუთვალისწინებლად წარმოებათა მოწყობა, სხვადასხვა ანთროპოგენური მოვლენები.

არსებობს ასეთი სქემა, რომელიც მიუთითებს შიდა ეკოლოგიური პრობლემების გადასაწყვეტად ეკოლოგიური უსაფრთხოების მართვას (ნახაზი).

ეკოლოგიური უსაფრთხოება წარმოადგენს საშუალობების და მოქმედებების სისტემას მიმართულს გარემოზე ნეგატიური ზემოქმედების აღკვეთის ან მინიმიზაციისკენ. ის მოიცავს სხვადასხვა ასპექტებს დაწყებულს ატმოსფეროში მავნე ნივთიერებების გამონაბოლქვის შემცირებიდან გაგრძელებულს სუფთა ტექნოლოგიების შემუშავებით და ნარჩენების მართვით [2-5].

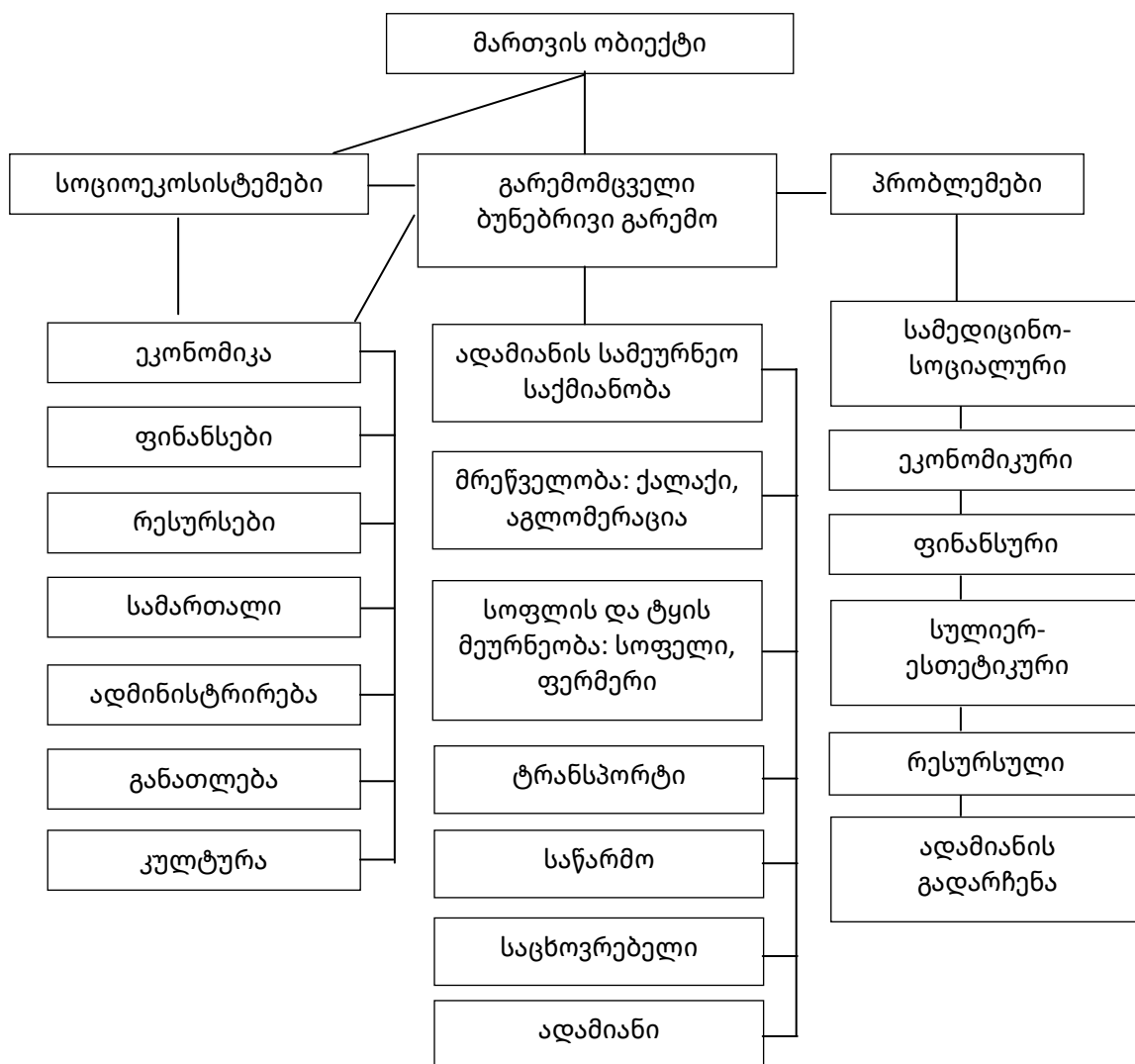
ეკოლოგიური უსაფრთხოების კლასიფიკაცია შეიძლება მოხდეს სხვადასხვა კრიტერიუმებით:

- ტერიტორიალური პრინციპით ანსხვავებენ: გლობალური (საერთაშორისო), ნაციონალური (სახელმწიფოებრივი), რეგიონალური, ადგილობრივი, ობიექტების;
- უზრუნველყოფის საშუალების მიხედვით გამოყოფენ: ტექნოგენურ-ეკოლოგიური, სოციალურ ეკოლოგიური, ბუნებრივი, ეკოლოგიურ-ეკონომიკური და სხვა;
- დაცვის ობიექტების მიხედვით;
- ეკოლოგიური უსაფრთხოების დარღვევის მიზეზების მიხედვით (ბუნებრივი, ხელოვნური);

- ეკოლოგიურად სახიფათო საქმიანობის მიხედვით (ტექნიკური, ქიმიური, ტოქსიკური, რადიაციული და სხვა).

ეკოლოგიური უსაფრთხოების ძირითადი ელემენტებია:

- გარემოს მონიტორინგი;
- ბუნებათსარგებლობის რეგულირება (ადმინისტრაციული და სამართლებრივი სისტემების შექმნა, რომლებიც უზრუნველყოფენ ბუნებრივი რესურსების რაციონალურ გამოყენებას);
- ეკოლოგიური სისტემების დაცვა;
- ანთროპოგენური ზემოქმედების შემცირება;



ეკოლოგიური უსაფრთხოების მართვის სქემა

ეკოლოგიური უსაფრთხოების ეფექტური უზრუნველყოფისთვის აუცილებელია ურთიერთობა საერთაშორისო დონეზე. საერთაშორისო საქმიანობის რამდენიმე პრიორიტეტული მიმართულებაა:

- ნახშირორჟანგის და სხვა სათბური აირების გამონაბოლქვის შემცირება;
- ბიოლოგიური მრავალფეროვნების და ბუნებრივი ეკოსისტემების დაცვა;
- ნარჩენების მართვა და გადამუშავება;

- გაუდაბნოების (ტყეების არასწორი ჩეხვა) წინააღმდეგ ბრძოლა.
ბუნებრივი რესურსები დიდ როლს თამაშობენ ეკოლოგიური უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად, მაგალითად:

- შენარჩუნება და აღდგენა ეკოლოგიური წონასწორობის;
- აღდგენადი ბუნებრივი რესურსების მოხმარების ტემპები უნდა შეესაბამებოდეს მათი აღდგენის ტემპებს;
- ყველა რესურსი გამოყენებული უნდა იყოს მაქსიმალური ეფექტიანობით.

ეკოლოგიური უსაფრთხოების და რაციონალური ბუნებათსარგებლობის პრობლემები განუყოფლად არიან დაკავშირებული საზოგადოების სოციალურ-ეკონომიკურ განვითარებასთან.

რაციონალური ბუნებათსარგებლობა – ეს არის ბუნებათსარგებლობის სისტემა, რომლის დროსაც მოპოვებული ბუნებრივი რესურსები გამოიყენება თითქმის სრულად, უზრუნველყოფილია განახლებადი ბუნებრივი რესურსების აღდგენა, მთლიანად და მრავალჯერადად გამოიყენება წარმოების ნარჩენები (ანუ ორგანიზებულია უნარჩუნო ტექნოლოგია), რაც საშუალებას იძლევა მნიშვნელოვნად შემცირდეს გარემოს დაბინძურება [3,4].

რაციონალური ბუნებათსარგებლობა გულისხმობს მეცნიერულად დასაბუთებული ბუნებრივი რესურსებით სარგებლობას, რომელიც უზრუნველყოფს ბუნებრივ-რესურსული პოტენციალის მაქსიმალურად შესაძლებელ შენახვას (შენარჩუნებას), ეკოსისტემების თვითრეგულაციისა და თვითაღდგენის უნარების მინიმალური შემცირებისას.

ამგვარად, ბუნებრივი რესურსების როლი ეკოლოგიურ უსაფრთხოებაში მდგომარეობს ბუნების შენარჩუნებასა და აღდგენაში, ასევე მისი კომპონენტების რაციონალურ გამოყენებაში, ხოლო ზოგადად, შეიძლება ითქვას, რომ ეკოლოგიური უსაფრთხოების უზრუნველყოფა ეს არის კომპლექსური ამოცანა, რომელიც მოითხოვს საზოგადოების ყველა ფენის მონაწილეობას, მხოლოდ ერთობლივი მოქმედებით არის შესაძლებელი მდგრადი განვითარების მიღწევა, გარემოს სტაბილიზაცია და ეკოლოგიური კრიზისის დაძლევა.

REFERENCES

1. შ. ანდლულაძე, ნ. ანდლულაძე, ლ. ანდლულაძე. „ეკოლოგია“ (სახელმძღვანელო). -თბილისი, საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2016. გვ. 286
2. შ. ანდლულაძე. ეკოლოგიური პოლიტიკა და ბუნებრივი რესურსების დაცვა – რაციონალური გამოყენება. //ფურნალი „ქართული პოლიტიკა“, #5, თბილისი, დეკემბერი, 2015. გვ
3. გ.მჭედლიშვილი, ნ.ჩხუბიანიშვილი, შ.ანდლულაძე. ბუნებათსარგებლობის ეკონომიკა და პროგნოზირება. -თბილისი, „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2017, გვ.90
4. მჭედლიშვილი გ.ს., მამულაშვილი მ.ა. პროგნოზირება და მისი მნიშვნელობა ბუნებათსარგებლობაში. //საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, 2021, № 2, გვ. 81-85. ISSN 1512-0287
5. Т.Е. Гридэл, Б.Р. Алленби. Промышленная Экология: Учеб. пособие для вузов / Пер. с англ. под ред. проф. Э.В. Гирусова. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012. 527 с. (Серия «Зарубежный учебник»).

SUMMARY

ENVIRONMENTAL SAFETY AND RATIONAL USE OF NATURAL RESOURCES

Andguladze Sh.N, Mchedlishvili G.S. and Mamulashvili M.A.

Georgian Technical University

The paper examines the definitions of the concept of “environmental safety”, often used in the field of environmental protection in our time, in terms of its essence, purpose, relevance, and importance. Different directions of its threats are presented, and a scheme of environmental security management for possible solutions to problems is presented. Classifications of environmental security according to various criteria are described. The necessity of international relations to solve the problem is emphasized and priority directions in this regard are given. Rational nature management and rational use of natural resources are explained as the most important issues and its special role in ensuring ecological security.

Keywords: ecological safety, nature use, rational use, resource management.

ზოგიერთი არაპოლარული და მცირედ პოლარული ნახშირწყალბადების ნარევის დაყოფა მაღალეფექტურ შევსებით სვეტებზე

მათირიშვილი მ.ი., ჩხარტიშვილი ნ.ნ., მახაშვილი ქ.ა.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანალიზისა და კვლევის ქრომატოგრაფიულ მეთოდებში ფართოდ გამოიყენება შევსებითი და მიკროშევსებითი სვეტები, რომელთა ეფექტურობაში მნიშვნელოვან ნაბიჯს წარმოადგენს დიატომიტის ფუძეზე ახალი ტიპის მაღალი ეფექტურობის მქონე მატარებლის შექმნა[1].

მყარი მატარებელი ჩვეულებრივ მიიღება გასუფთავებული დიატომიტის სოდასთან შერევისა და მიღებული ნარევის შემდგომი შეღებვით $1000 - 1300^{\circ}\text{C}$. ამ ხერხით მიღებული მატარებლის ნაკლს წარმოადგენს მისი ძალზე დაბალი მექანიკური სიმტკიცე.

ცნობილია აირ-თხევადი ქრომატოგრაფიისათვის ძლიერ ფორებიანი მყარი მატარებლის მიღების ხერხი, რაც გამოიხატება გასუფთავებული დოლომიტის ფლუსთან შერევით, გრანულირებით, გამოწვითა და პროდუქტის შემდგომი კლასიფიკაციით აუცილებელ გრანულიროვან ფრაქციებათ. ასეთი მატარებლისათვის დამახასიათებელია დაბალი ხვედრითი ზედაპირი ($0,80 \text{ მ}^2/\text{გ}$). აღნიშნულთან ტექნიკური არსითა და მიღებული მახასიათებლებით უფრო ახლოს დგას მყარი მატარებლის მიღების ხერხი, რომელიც მოიცავს გასუფთავებული დიატომიტის შერევას ფლუსოვან დანამატთან ან შეკავშირებას სახამებლისა და პოლივინილაცეტატის $2 - 5\%$ ან $1 - 5\%$ რაოდენობასთან, გრანულირებას, გამოწვასა და გრანულების დამუშავებას $5 - 10\%$ -იანი მარილმჟავათი და მათ ფრაქციებათ კლასიფიკაციას[2,3].

ჩვენს შემთხვევაში გამოსავალ ნედლეულად გამოყენებულ იქნა ამ მიზნით ადრე შეუსწავლელი შემდეგი შედგენილობის დიატომიტის ქანი:

$\text{SiO}_2 - 60-70\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 1-5\%$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 1,5-4,0\%$; $\text{CaO} - 1,0-3,5\%$; $\text{Na}_2\text{O}_3 - 10-17\%$; დანარჩენი – ჰუმუსები. აირადი ქრომატოგრაფიისათვის საჭირო ახალი მყარი მატარებელი მიიღება შედარებით მარტივი ტექნოლოგიური სქემით. მოცემული დიატომიტი განიცდიდა წყალთან სუსპენზირებას სარეველიან აპარატში 3 საათის განმავლობაში შემდეგი შეფარდებით, დიატომიტი: წყალი $1:7$; შემდგომი სუსპენზია განიცდიდა ცენტრიფუგირებას, მიღებული პასტა ირეოდა შნეკიან სარეველაში, მშრალი დიატომიტის წონის 40% რაოდენობის სოდასთან, 2 საათის განმავლობაში. ერთდროულად ხდებოდა ქაფ წარმომქმნელის დამატება (1% წონით) და გრანულირდებოდა ექსტრუდერში. გამოწვა მიმდინარეობდა 3 საათის განმავლობაში 900°C ტემპერატურაზე, იფქვებოდა ბურთულებიან წისქვილზე და ნაწილდებოდა ფრაქციებად სტანდარტული საცრების კომპლექტის გამოყენებით.

მიღებული მატარებლის მახასიათებლები მოცემულია ცხრ. 1-ში.

ცხრილი 1. მატარებლის მახასიათებლები

N	მაჩვენებელი	მონაცემები
1.	გარეგანი სახე	ვარდისფერი გრანულები
2.	ხვედრითი ზედაპირი $\text{მ}^2/\text{გ}$	$4 - 6$
3.	გრანულების მექანიკური სიმტკიცე დაფშვნაზე $\%$, არა ნაკლებ	$95,0$
4.	ჩაყრილი მასა, $\text{გ}/\text{სმ}^3$, არა უმეტეს	$0,7$
5.	წყლის ნაწურის pH	$7 - 8$

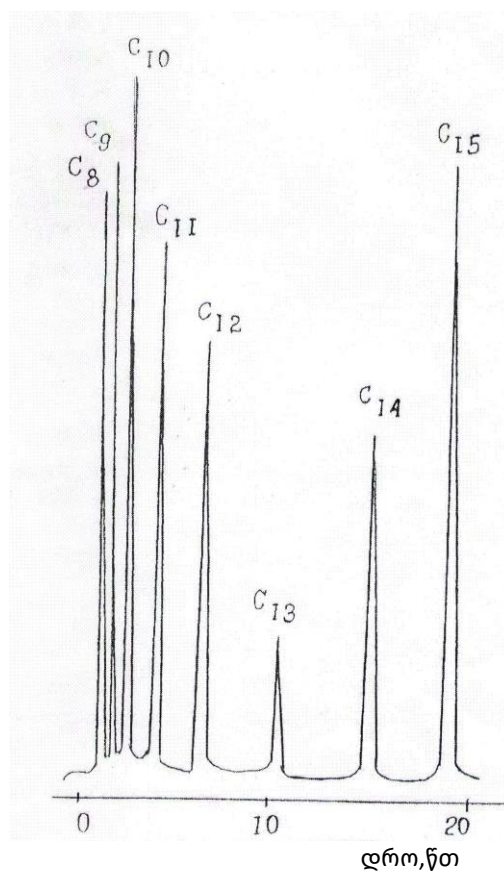
მიღებული მატარებელი იფარებოდა CKTΦT-50 ან HCKT-33. სვეტის ტემპერატურა იყო 100°C , ამოორთქლებლის 250°C , აიდ-ის 200°C . ახალი მატარებლის ფუძეზე მიღებული სორბენტებისათვის მიღებული მაჩვენებლები მოცემულია ცხრ. 2-ში.

ცხრილი 2. ახალი მატარებლის ფუძეზე მიღებული სორბენტებისათვის მიღებული მაჩვენებლები

N	ფრაქცია 0,16-0,25 მმ	უძრავი ფაზა	
		CKTΦT-50	HCKT-33
1.	თორ ტოლუოლის მიმართ, მმ	3,5 ათასი	2,8 ათასი
2.	A ₅ მეთოთ, მმ	0,3	0,35
3.	K ტოლუოლის მიმართ	1,0	1,0
4.	K ბენზოლ-ტოლუოლი	1,6	3,0
5.	K ოქტან-იზოოქტანი	1,3	1,3
6.	K ოქტან-ოქტანი	1,3	1,07
7.	K ბენზოლ-ციკლოჰექსანი	1,2	1,8

მიღებული მონაცემებიდან ჩანს, რომ მატარებელი პასუხობს დღეისათვის ცნობილ იმ ყველა საუკეთესო მაჩვენებლებს, რომელთა რეალიზებაც ხდება შევსებით სვეტებზე.

ნახშირწყალბადებისათვის მიღებული პიკები თითქმის შეესაბამება კაპილარულ სვეტებზე მიღებულ არაპოლარულ და მცირედ პოლარულ ნივთიერებათა პიკებს (ნახაზი).



C₉-C₁₅ ნახშირწყალბადების ნარევის დაყოფის ქრომატოგრამა

C₉-C₁₅ ნახშირწყალბადების ქრომატოგრაფიული დაყოფა ხდებოდა ქრომატოგრაფზე „LBET-530“. მატარებლათ გამოყენებული იყო LBETO XPOM 11, სორბენტით კი 5 %-იანი CKBT. სვეტის სიგრძე იყო 1მ, აირმატარებლის ხარჯი შეადგენდა 30 სმ³/წმ. ტემპერატურის პროგრამირება ხდებოდა 80 °C-დან 160 °C-მდე. ამრიგად, მატარებლის ახალი ტიპი აკმაყოფილებს მაღალეფექტურობას მთელი რიგი არაპოლარული და მცირედ პოლარული ნაერთების მიმართ.

ლიტერატურა

1. შათირიშვილი შ.ი., ჩხარტიშვილი ნ.ნ. ღვინოების დამუშავება ბიოლოგიური და კოლოიდური სიმღვრივების თავიდან აცილების მიზნით. //საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, ტ.100, N1, 2024, გვ.118-124.
2. შათირიშვილი შ., კილურაძე მ., წერეთელი ბ. მორდენიტის გამოყენების შესაძლებლობა ფილტრებში ღვინომასალების გასაწმენდად. /მესამე რესპუბლიკური სამეცნიერო-მეთოდური კონფერენცია ქიმიის, თბილისი, 9-12 ოქტომბერი, 2000, თეზისების ნაკრები, გვ.83.
3. ჩხარტიშვილი ნ., წერეთელი ბ., მაჭავარიანი ფ., უგრეხელიძე შ., შათირიშვილი შ. ცეოლითური დამუშავების გავლენა ღვინომასალების ძირითად ქიმიურ მაჩვენებლებზე. /აგრარული მეცნიერებების პრობლემები, V, თბილისი, 1999, გვ.7-12.

SUMMARY

SEPARATION OF SOME NON-POLAR AND SLIGHTLY POLAR HYDROCARBON MIXTURES ON A HIGH PERFORMANCE PACKED COLUMN

Shatirishvili Sh.I., Chkhartishvili N.N. and Makhashvili K.A.

Georgian Technical University

A novel solid carrier for gas chromatography, derived from diatomite rock with a previously uncharacterized composition, demonstrates high separation efficiency for various non-polar and slightly polar compounds.

Keywords: gas chromatography, hydrocarbon mixtures, diatomite rock

ღვინომასალებში ეთანოლის შემცველობის განსაზღვრის გამარტივებული მეთოდის გამოყენება**მათირიშვილი შ.ი., კილაძე მ.თ., მათირიშვილი ი.შ.****საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი**

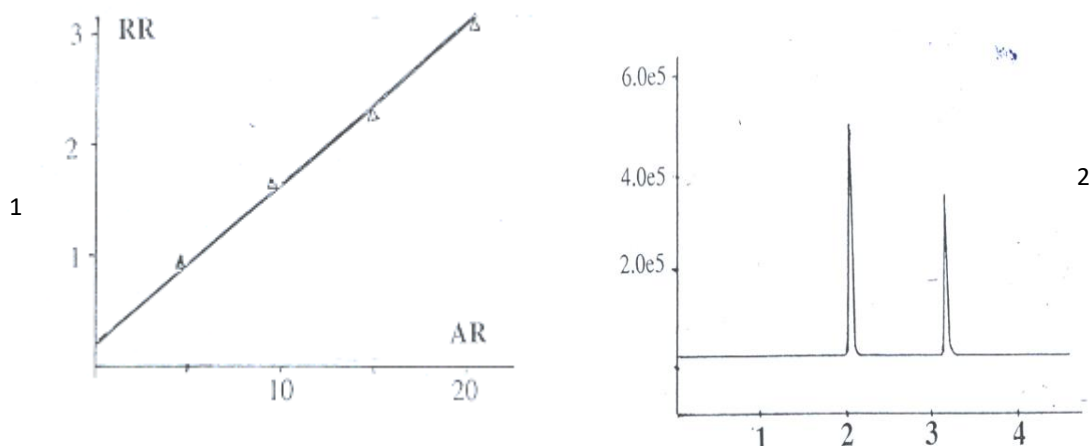
სხვადასხვა ღვინომასალებისა და მზა პროდუქტების შედგენილობის ქრომატოგრაფიული მონაცემები, შეიძლება გამოყენებულ იქნას როგორც ამ პროდუქტების ხარისხის გაუმჯობესებისათვის, ისე ჯანმრთელობაზე მთელი რიგი მავნე ნივთიერებების გავლენის შემცირების მიზნით. ამასთანავე, არა მარტო ფართოვდება ჩვენი წარმოდგენა ყურძნის გადამამუშავების პროდუქტების შედგენილობაზე მისი ტექნოლოგიური პროცესების სხვადასხვა სტადიაზე, არამედ გვიგრძელდება ქრომატოგრაფიის გამოყენების გამოცდილებაც სხვადასხვა რთული სისტემების მიმართ, რომლებიც ჩვეულებრივ შედგებიან აქროლადი, ნაკლებად აქროლადი და არააქროლადი კომპონენტებისაგან [1,2]. მეღვინეობის პროდუქტების მიღების ცალკეული სტადიების როლის ეფექტურობისათვის, დაწყებული გამოსავალი ღვინომასალების მომზადების როგორც კლასიკური, ტრადიციულთან ახლოს მდგომი, ისე მსხვილი სამრეწველო მეთოდითა და მისი დაძველების სხვადასხვა სტადიებისათვის, თვით საბოლოოდ ბოთლში ჩამოსხმამდეც, სასურველია და სასარგებლოა ღვინომასალებში დროის მინიმალური დანახარჩითა და საკმაო სიზუსტის ეთანოლის განსაზღვრის დაჩქარებული მეთოდის შემუშავება.

დაჩქარებული ანალიზის არსებული მეთოდები: გამოხდა ორთქლის ნაკადით, ებულიომეტრის გამოყენება, აირქრომატოგრაფიული, სინჯის მომზადებისათვის საკმაოდ დიდ დროს მოითხოვს და არც ყოველთვის ხასიათდება საკმარისი სიზუსტით. ასე, მაგალითად, ორთქლით გამოხდას თან ახლავს ჟანგვა და ოქერატორისგან მოითხოვს დროის დიდ ხარჯვას, მთელმა რიგმა ოქერაციებმა კი შეიძლება გამოიწვიოს პოტენციური შეცდომები. სპირტის შემცველობის ებულიოსკოპიური გაზომვა დამოკიდებულია წარმოქმნილი აზოტრონის, სპირტწყალხსნარის რაოდენობაზე, რასაც დუდილის ტემპერატურის განსაზღვრის შეცდომამდე მივყავართ და ოქერატორს საკმაოდ დიდ დროს აკარგვინებს. მართალია, აირქრომატოგრაფიული გაზომვა გამოირჩევა დიდი სიზუსტით [3], მაგრამ მოითხოვს სინჯის მომზადებისა და განზავების დამატებით ოქერაციებს, შინაგანი სტანდარტის დამატებით. საკმაოდ მრავალია ხელის ოქერაციებიც, თუმცა შესაძლებელია მათი სრული ავტომატიზაცია, რომლის დროსაც ყოველი ნიმუში განიცდის იდენტურ გადამამუშავებას, ხოლო ოქერატორის წილად მოდის ერთეული, შედარებით მარტივი ოქერაციების ჩატარება.

ქრომატოგრაფიულ ანალიზს ვატარებდით 0,25 – 0,3 მმ ზომის ნაწილაკების მქონე სორბენტ „კარბოგრაფ IAW20M“ შევსებულ 2 მ X 2 მმ ზომის სვეტზე [4].

ღვინომასალების ნიმუშებში ეთანოლის ანალიზის ჩასატარებლად ვახდენდით ხუთი კონცენტრაციის სპირტის სტანდარტული ხსნარების გაზომვის ოქერაციებს, რომლებიც ფარავდა გაზომვის საჭირო საზღვრებს, სახელობრ – 1 %, 5 %, 15 % და 20 %. ეთანოლის ალიქვოტური ნაწილი რაოდენობრივად გადაიტანებოდა საცობიანი ამპულებიდან და ხდებოდა მათი განზავება წყლით. ასევე ხდებოდა ღვინომასალების ალიქვოტური ნიმუშის განზავება და ზუსტ მიკროშპრიც „ჰალმიტონით“ შეგვყავდა ქრომატოგრაფის ამოორთქლებლის კამერაში შიგა სტანდარტის დამატებით. მოხვდება რა აირმატარებლის ნაკადში, ნიმუში საკმაოდ მოკლე სვეტში ჩვეულებრივ იშლება ორ კომპონენტად – ეთანოლად და იზოპროპილის სპირტად. ანალიზის აწყობიდან გამომდინარე, სიგნალს ვღებულობთ სპირტის შემცველობისას 0,2 % – 1 % ზევით, რის გამოც მინარევთა უმეტესობა არ განისაზღვრებოდა, რამდენადაც მათი შემცველობა იყო 0,01 – 0,1 % ფარგლებში.

სტანდარტული ნარევების ტიპური საკალიბრო გრაფიკი და ერთი მიღებული ქრომატოგრამა მოცემულია ნახაზზე.



$$RR=0,17 (AR)+0,0688$$

ეთანოლის ანალიზის აირქრომატოგრაფიული მეთოდი

1 – საკალიბრო მრუდი, 2 – ქრომატოგრამა

AR – რაოდენობა, RR – სიგნალი

დრო წუთებში; სიგნალი ეთანოლი-პროპანოლი

ლიტერატურა:

1. Шатиришвили И. Ш. Хроматография Грузинских Вин. -Тбилиси, Ганатლება, 1988, 170 с.
2. შათირიშვილი შ.ი.; კილაძე მ.თ.; შათირიშვილი ი.შ. ზოგიერთი მაგარი თვითნახადი სასმელების ქრომატოგრაფიული ანალიზი. //საქართველოს საინჟინრო სიახლენი. N1,ტ.100 2024. გვ.121-122.
3. Шатиришвили Ш.И., Сирбиладзе А. А., Андроникашвили Т. Г. /// Хроматографический журнал, 1995, N4, сс. 62-63.
4. F.Bruner et al. Annali di chemicee, 66, 1978, 565.

SUMMARY

THE SIMPLIFIED METHOD OF CONTAINING ALCOHOL DETERMINATION IN WINE PRODUCTS

Shatirishvili Sh.I., Kiladze M.T. and Shatirishvili I.Sh.

Georgian Technical University

For getting effective control of individual stages in vinemaking productions was worked out simplified method of ethanol determination in wine products.

Keywords: ebullioscopy, azeotropy, oxidation.

ANTIBIOTICS AS MEANS OF BIOLOGICAL PLANT PROTECTION

Kanchaveli Sh.S., Lomidze N.T. and Pavliashvili K.M.

Scientific Research Center of Agriculture (SRCA)
Georgian Technical University

Abstract: The effect of the antibiotic Trichothecin on the fungi causing wilting of fruit trees (*Fusarium oxysporum* Schltdl. and *Verticillium dahliae* Kleb.) has been studied, and it was found that it has fungicidal and fungistatic effects on these pathogenic fungi even in the case of (1:10) and at this time the incidence of wilting of seedlings does not exceed 6-7 %. It has also been established that antibiotics are not toxic to plants. The prospect of using antibiotics against plant diseases is based on the fact that they are effective at low concentrations, and a small amount of active substances is sufficient to protect plants.

Keywords: Antibiotics, *Trichothecin*, *Fusarium*, *Verticillium*

Antibiotics are substances produced by plants and microorganisms (bacteria, fungi), which have the ability to act toxically on other microorganisms. Antibiotics, both convenient in use, safe for humans and the environment, and due to a number of advantages over chemical preparations, are considered very promising in plant biological protection.

Synthetic organic compounds and antibiotics can make a fundamental breakthrough in plant protection. The principle of surface protection will be replaced by the internal principle of protection, which will be aimed at treating or preventing plant diseases. The prospect of using antibiotics against plant diseases is based on the fact that they are effective at low concentrations, and an extremely small amount of active substance is sufficient to protect plants. Antibiotics are not toxic to plants, they are absorbed by the plant, are stored in its tissues for a long time, and play the role of an immunological factor [1,2].

Antibiotics disrupt several processes in plant tissues, in particular, the development of the cell membrane, protein synthesis, nucleic acid synthesis, and individual stages of energy metabolism, which are associated with the transfer of electrons to mitochondria [3,4].

As it was found out by experiments, antibiotics can be used both against plant seeds and against plant diseases. In the case of use against seed diseases, it is necessary to soak the seeds in an antibiotic solution before sowing.

In our experiments, solutions of different concentrations were used, and the duration of seed soaking in the latter also varied.

The action of antibiotics was most effective when the seeds were soaked in 0.03 % antibiotic solutions for 6 hours.

As it was found out by experiments, antibiotics penetrate inside the seeds, reach the germ, then move into the roots, and from there into the aerial parts of the plant. It is noteworthy that the antibiotic affects the viability of the pathogenic microorganism and does not damage the seed germ.

Antibiotics such as phyto bacteromycin, polymyxin and actinoxanthin have been shown to be effective for seed treatment. When treating bean seeds with these antibiotics, bacteriosis was reduced by 85-90 %.

Antibiotics have been tested against plant diseases by introducing them into the soil under the plant, by poisoning the green parts of the plant (leaves, young shoots, and fruits), and by transferring the antibiotic-containing adsorbent to the uninfected plant.

The antibiotic Trichocytin, isolated from the fungus *Trichothecium roseum* link, was tested against wilting of fruit tree seedlings and it was found that it has a fungicidal and fungistatic effect on

the causative agents of wilting (*Fusarium oxysporum* Schltdl. and *Verticillium dahliae* Kleb.). The mentioned antibiotic is effective against fungi even in the case of strong dilution (1:10), and at this time, the incidence of wilting of seedlings is only 6-7 %. Antibiotics can be used against plant diseases not only in the form of preparations, but also in the form of a culture fluid, which will be diluted in water to a certain concentration.

The antibiotics we tested mainly act on plant diseases caused by facultative saprophytes or facultative parasites. Diseases caused by obligate parasites, such as those resulting from rust and gray mold fungi, often require an extended period for the development and identification of effective antibiotics to combat them.

Antibiotics synthesized by *Streptomyces* species can be successfully used against some pathogenic fungi. These antibiotics exhibit high fungitoxic properties and are less toxic to plants.

Antibiotics synthesized by *Streptomyces* and *Bacillus* species are characterized mainly by bactericidal properties, but some of them lead to the restriction of the development of pathogenic fungi. Antibiotics effective against fungal diseases, such as blasticidin, have been developed, and its application is effective against *Pyricularia oryzae*. Venturicidin is effective against apple scab and many other antibiotics synthesized by soil actinomycetes, especially *Streptomyces* species. Following these issues, research can be quite fruitful.

It was found that the amount of antibiotic accumulation depends on the type of plant and the age of its tissues. For example, tomatoes accumulate antibiotics in greater quantities than legumes; old tissues absorb antibiotics more intensively than young tissues; and finally, the higher the intensity of plant transpiration, the more antibiotics are adsorbed by the plant. In some plants (apricot, cherry, sweet cherry, peach) antibiotics penetrate well, in others (Lime, Elm, Maple, White Acacia) they do not penetrate at all.

It has been established that antibiotics can be used against plant diseases by introducing them into the soil.

It has been found that many antibiotics penetrate the roots, stems and can move at different speeds, through tissue vessels or other tissues. The rate of their movement depends on the antibiotics and the plant itself. Some antibiotics practically do not move from the leaves after spraying them, while others move to other parts of the plant, especially to the growth point, which is characterized by active metabolism.

We have explained the mechanism of action of most of the tested antibiotics against pathogenic fungi. It was found that they act directly on pathogens on the surface of the plant, (as many fungicides work), they also act systemically inside the plant, can be transformed into active inside the tissues, or vice versa - inactivation occurs. They can weaken the infection on the host plant and restore the plant's resistance.

Thus, it was found that microorganisms and the plants themselves produce antibiotics in the process of reproduction, which act against aerial and soil, both fungal and bacterial diseases of plants, and they can be used practically as a means of biological protection of plants. The positive side of antibiotics is that they are not toxic to plants. The prospect of using antibiotics against plant diseases is based on the fact that they are effective in low concentrations, and a particularly small amount of active substances is sufficient to protect plants.

REFERENCES

1. ყანჩაველი ზ, მცენარეთა პათოლოგიის საფუძვლები. თბილისი, გრიფონი, 2017, 662 გვ.
2. Baturman O, Britt-Ugartemendia K, Kunwar S, Yilmaz S, Fessler L, Redondo A, Chumachenko K, S, Wade T. The Use and Impact of Antibiotics in Plant Agriculture. *Phytopathology*, 2024, vol114, N5, p. 885–909. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-10-23-0357-IA>

3. Планк Я. Е. Болезни растений – М.: Колос, 1966, 359 с.

4. Gottlieb D., Show P. D. Annu. Rev. Phytopathology 1990, 8 pp.371- 378.

რეზიუმე

ანტიბიოტიკები, როგორც მცენარეთა ბიოლოგიური დაცვის საშუალებები

ყანჩაველი შ.ს, ლომიძე ნ.თ., პავლიაშვილი ქ.მ.

სოფლის მეურნეობის სამეცნიერო კვლევითი ცენტრი (SRCA)

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

დადგენილია, რომ ზოგიერთი მიკროორგანიზმები და თავად მცენარეები განვითარების პროცესში გამოყოფენ ანტიბიოტიკებს, რომლებიც მოქმედებენ მცენარის აეროვან და ნიადაგურ დაავადებებზე. შესწავლილია ანტიბიოტიკი ტრიქოტეცინის გავლენა ხეხილის ჭკნობის გამომწვევ სოკოებზე, (*Fusarium oxysporum* Schltdl. და *Verticillium dahliae* Kleb.) და დადგინდა, რომ აღნიშნულ პათოგენურ სოკოებზე ის ახდენს ფუნგიციდურ და ფუნგისტატიკურ მოქმედებას. ეფექტურად მოქმედებს ძლიერი განზავების (1:10) შემთხვევაშიც და ამ დროს ნერგების ჭკნობის გამოვლენა არ აღემატება 6-7%-ს. ასევე დადგინდა, რომ ანტიბიოტიკები არ არიან ტოქსიკური მცენარეთა მიმართ. ანტიბიოტიკების გამოყენების პერსპექტივა მცენარეთა დაავადებების წინააღმდეგ დაფუძნებულია მასზე, რომ ისინი ეფექტური არიან მცირე კონცენტრაციის შემთხვევაში და მცენარეთა დაცვისათვის საკმარისია მოქმედ ნივთიერებათა მცირე რაოდენობა.

საკვანძო სიტყვები: ანტიბიოტიკები, *Trichothecin*, *Fusarium*, *Verticillium*

ANTAGONISTS AND THEIR USE AGAINST PLANT DISEASES

Kanchaveli Sh.S., Pavliashvili K.M. and Lomidze N.T.

Scientific Research Center of Agriculture (SRCA)
Georgian Technical University

Abstract: The paper discusses the results of research on the fungus *Trichoderma*. It has been established that the antagonist fungus *Trichoderma* produces highly toxic antibiotics: gliotoxin, viridin, Trichodermin, and satsukalin, which cause the limitation of diseases such as verticilliosis, root rot and sclerotinosis. The biological effectiveness of the use of *Trichoderma* against verticilliosis is 48 %, against root rot 70 %, and against sclerotinosis 74 %. It has also been established that antagonists can be introduced into the soil in the form of pure cultures, biopreparations and composts.

Keywords: Antagonism, *Trichoderma*, *Verticillium*, *Fusarium*, *Sclerotinia*.

Microorganisms often exhibit antagonistic interactions, which are highly prevalent throughout nature. This phenomenon is especially pronounced among representatives of the soil microflora, not only fungi and actinomycetes, but also many bacteria that grow saprophytically in the soil are antagonistic to fungi and bacteria, including plant pathogens. For example: a decrease in the intensity of angular leaf spot of cucumbers and bacterial canker of tomatoes is caused by antagonistic bacteria in the soil. But antagonism is widespread among phytopathogenic bacteria, this issue has been studied more in relation to viruses. Often, but not always, antagonism is observed between related viruses; the reason for this may be competition for receptors or a violation of the normal mechanism of their reproduction. One virus can completely suppress another virus [1,2].

More than half of the species of actinomycetes that develop in soils are considered antagonists [3,4].

It has been established that the activity of fungi causing plant root rot - *Rhizoctonia*, *Fusarium* and others - is significantly limited by the action of the antagonist fungus - *Trichoderma*, which is present in the soil.

Experiments have shown that the number of antagonists living in the soil depends greatly on soil conditions - acidity, humidity, temperature, soil cultivation and especially used fertilizers, etc. Among the fertilizers applied, bioorganic variants—such as organic and biomix—hold significant importance. They promote the spread and development of antagonist fungi and bacteria, and increase the intensity of their action.

Organica is a liquid organic-bacterial fertilizer used in all phases of plant development (including flowering), both for root and foliar feeding.

It is advisable to organically process the seed and seedling material. Organica is a universal fertilizer that consists of several components - it equally represents all the useful properties found in humus, biohumus, sapropels, etc. It contains the necessary micro and macroelements, vitamins, fulvic and amino acids.

It is important that organica is saturated with beneficial microorganisms, bacteria and fungi that provide balanced plant absorption of nutrients, improve the health of the soil, plants and the area in general. Among them, the fungus-*Trichoderma* is especially important, which prevents root rot, and nitrogen-fixing bacteria, which convert nitrogen into a form that is available to the plant.

Organica fertilizer is used for foliar feeding at a working ratio of 1 %, and for root feeding at a ratio of 2 %.

The composition of the fertilizer biomix includes *Trichoderma* fungi, which act on pathogenic fungi of the plant root system, limiting their development. Biomix is used to provide the plant with nutrients, as well as to improve the soil and its structure.

It has been established that the number of antagonistic organisms in the soil also depends on the type of plant growing on a given plot. In the rhizosphere of one plant species, the accumulation of antagonistic fungi, bacteria, and actinomycetes is greater, while in the rhizosphere of another species it is lower. For example, in the rhizosphere of alfalfa, the number of antagonistic bacteria such as *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas aurantiaca*, and fungi of the genus *Trichoderma* increases sharply (*T.koningii*, *T.lignorum*).

It has been established that antagonists produce antibiotics, which cause antagonism. They penetrate the root system of plants and act on pathogens in the vascular system. Antagonists cause lysis of hyphae of pathogenic fungi, which is due to the action of antibiotics or enzymes secreted by them.

In order to use the antagonistic relationship between organisms in plant protection against diseases, it is necessary to consider such issues as: 1. Changing environmental conditions, especially nutritional conditions, to stimulate the development of the antagonist; 2. New, more effective species or strains of the antagonist will be involved; 3. Antibiotics that determine antagonism will be isolated and identified. Antagonists occur among fungi, bacteria, actinomycetes, and other microorganisms. Antagonists against phytopathogenic fungi can be other fungi, as well as bacteria and actinomycetes. Viruses can be used against fungi; Bacteria against insects and fungi; Fungi against fungi, insects, and nematodes.

Experiments have shown that the fungus *Trichoderma* produces a large number of highly toxic antibiotics: gliotoxin, viridin, trichodermin, satsukaline, etc. With the help of these antibiotics, the fungus limits the development of photopathogenic fungi such as *Verticillium dahliae* Kleb. (causing verticillium wilt of plants); *Fusarium oxysporum* Schltdl. (causing root rot of cereals, vegetables and other crops); *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary (causing cucumber sclerotinosis).

As the experiments have shown, the biological effectiveness of the use of the fungus *Trichoderma* against verticillium wilt is 68 %; 70 % against root rot and 74 % against sclerotinosis.

As mentioned above, actinomycetes are antagonists of some pathogenic fungi. Various strains of antagonistic actinomycetes can be used against plant diseases, for example: against potato canker strains: № 167, 711 and 103; against pamidvirosis furaziosis - strains № 360; against cucumber powdery mildew - strains № 3034.

The soil can be artificially enriched with antagonistic fungi and bacteria by introducing pure cultures or composts into it. Compost impregnated with the fungus *Trichoderma lignorum* is used against a number of diseases of agricultural crops, especially against diseases of vegetable crops in closed ground.

In addition to composts and pure cultures, antagonistic fungi and bacteria can be introduced into the soil in the form of biopreparations. One of such biopreparations is Biocatena, which is made from the strains of *Trichoderma liganorum*, *Trichoderma harzianum*, and *Trichoderma koningii*.

As a highly enzymatic biopreparation, it is used against more than 60 species of pathogenic organisms. In particular, it protects plants from diseases: root rot, neck rot, fruit rot, damping off, white and black rot, anthracnose, *Microsporium*, *Fusarium*, *Phytophthora* and others.

When it gets into moist soil, the fungus multiplies and begins to act, as a result of which it releases natural antibiotics and disinfects the surrounding area. The preparation has a long-lasting effect and gradually destroys pathogenic microorganisms in different phases. When the fungus spores get on the damaged part of the plant, they begin to develop, feed on the diseased tissues of the plant and heal the diseased area.

The preparation Biocatena is used under all crops in any phase of plant vegetation. However, it is best to start using the preparation at the initial stage of plant development. Its use is especially effective in greenhouses, since the conditions there are especially conducive to the development of fungal organisms.

The preparation is applied to the plant, both in the root zone and by spraying on the leaves, both for disease prevention and treatment. A 2 % working mixture of the preparation is used, as a biopreparation is safe for humans and the environment.

Thus, it was established that antagonists are abundant in nature, especially in the soil microflora. Antagonists can be fungi, bacteria, viruses and actinomycetes. The number of antagonists depends largely on the acidity of the soil, humidity, temperature, soil cultivation and fertilizers used.

It has been established that the antagonist fungus - *Trichoderma* secretes highly toxic antibiotics that cause antagonism. They limit the development of such diseases as verticilliosis, root rot and sclerotinosis.

Antagonists can be introduced into the soil in the form of pure culture, biopreparation and compost.

REFERENCES

1. ყანჩაველი ზ, მცენარეთა პათოლოგიის საფუძვლები. თბილისი, გრიფონი, 2017, 662 გვ.
2. Agrios G. Plant pathology. Fourth edition. (Departement of plant pathology university of Florida). Acad press. 2005. 922 pp.
3. Torres-Rodriguez J, Reyes-Pérez J, Quiñones-Aguilar E, Hernandez-Montiel L. Actinomycete Potential as Biocontrol Agent of Phytopathogenic Fungi: Mechanisms, Source, and Applications. Plants (Basel) 2022 Nov 23;11(23):3201. p. 1-15 doi: [10.3390/plants11233201](https://doi.org/10.3390/plants11233201)
4. Дементьева М. М. Фитопатология. - М.: Колос. 1977, 316 с.

რეზიუმე

ანტაგონისტები და მათი გამოყენება მცენარეთა დაავადებების წინააღმდეგ

ყანჩაველი მ.ს., პავლიაშვილი ქ.მ., ლომიძე ნ.თ.

სოფლის მეურნეობის სამეცნიერო კვლევითი ცენტრი (SRCA)

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

გაირკვა, რომ ანტაგონისტები მრავალად არიან გავრცელებული ბუნებაში, განსაკუთრებით ნიადაგის მიკროფლორაში. ანტაგონისტებს წარმოადგენენ: სოკოები, ბაქტერიები, ვირუსები, აქტინომიცეტები და სხვა. ანტაგონისტების რაოდენობა ნიადაგში დამოკიდებულია ნიადაგის მჟავიანობაზე, ტენიანობაზე, ტემპერატურაზე, ნიადაგის დამუშავებასა და გამოყენებულ სასუქებზე. დადგენილია, რომ ანტაგონისტი სოკო - *Trichoderma* წარმოქმნის მაღალტოქსიკურ ანტიბიოტიკებს: გლიოტოქსინს, ვირი-დინს, ტრიქოდერმინს და საცუკალინს, რომელიც იწვევს ისეთი დაავადებების შეზღუდვას, როგორიცაა ვერტიცილოზი, ფესვების ლპობა და სკლეროტინოზი. *Trichoderma*-ს გამოყენების ბიოლოგიური ეფექტურობა ვერტიცილოზის მიმართ არის 48%, ფესვის სიდამპლის მიმართ 70% და სკლეროტინოზის მიმართ 74%. ასვე დადგენილია, რომ ანტაგონისტების შეტანა ნიადაგში შეიძლება სუფთა კულტურების, ბიოპრეპარატისა და კომპოსტების სახით.

საკვანძო სიტყვები: ანტაგონიზმი, *Trichoderma*, *Verticillium*, *Fusarium*, *Sclerotinia*.

ფარმაკოპიდემოლოგიური მიდგომები წამლის გამოყენების შეფასების პროცესში**შამიაშვილი ნ.ვ., ცინცაძე თ.გ.****საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი**

რანდომიზაცია კვლევითი დიზაინის ყველაზე მნიშვნელოვანი მახასიათებელია მიზეზ-შედეგობრიობის დასადგენად. მეთოდი მაქსიმალურ დონეზე ზრდის შიდა ვალიდურობას მიკერძოებისა და დამაბნეველი ფაქტორების შემცირების გზით. თავად კვლევის შიდა ვალიდურობა აღნიშნავს, რამდენად შესაძლებელია კვლევითი ჯგუფების შედეგებს შორის სხვაობა ინტერვენციას მიეკუთვნოს და არ იქნეს დაკავშირებული სხვა ფაქტორებთან. თუმცა, რანდომიზებული კონტროლირებული კვლევებს-რკკ რამდენიმე მნიშვნელოვანი შეზღუდვა ახასიათებს. ისინი ფოკუსირებულია ინტერვენციის ეფექტებზე მაქსიმალური ყურადღებით შერჩეულ პაციენტებში, რომლებიც მკურნალობას გადიან შედარებით მცირე პერიოდის განმავლობაში მკაცრად კონტროლირებადი პირობების გათვალისწინებით. რკკ-ს ჩვეულებრივ ახასიათებს კვლევაში მკაცრი ჩართვის და კვლევის დატოვების კრიტერიუმები (გამოირიცხავს დაუცველ პაციენტების ჩართვას – ხანდაზმულებს, ბავშვებს, ერთდროულად რამდენიმე დაავადებების მქონე პირებს). ამ შეზღუდვების გამო, რკკ-სთვის გასათვალისწინებელია გარე ვალიდურობა. ეს უკანასკნელი აჩვენებს, შესაძლებელია თუ არა კვლევის შედეგად დადგენილი მიზეზ-შედეგობრიობა გავრცელდეს იმ ადამიანებზე, რომლებიც არ იყვნენ ჩართულნი კვლევაში და იქნება თუ არა ეს წამალი ეფექტური სხვა პაციენტებისთვის ან სხვა კლინიკური პირობების შემთხვევაში. ეფექტიანობა აჩვენებს, რამდენად კარგად მოქმედებს წამალი რეალურ გარემოში (როდესაც ექიმები მკურნალობენ პაციენტებს ტიპიური სქემით ხანგრძლივი დროის განმავლობაში), სხვა თერაპიულ ალტერნატივებთან შედარებით. ამის საპირისპიროდ, ეფექტურობა აღწერს, რამდენად კარგად მოქმედებს წამალი რკკ-ს პირობებში. რკკ მხოლოდ პაციენტების საშუალო შედეგებს იძლევა, არ ასახავს რეალურ გარემოში სამკურნალო საშუალებების გამოყენების ზეგავლენას ჯანმრთელობის შედეგებზე. ამიტომ კლინიკისტები, პაციენტები და პოლიტიკის შემქმნელები ხშირად მტკიცებულებების მისაღებად ეყრდნობიან ფარმაკოპიდემოლოგიურ კვლევებს [1], რომლებიც მნიშვნელოვან როლს ასრულებს წამლის რაციონალური და ხარჯთაღიწველი გამოყენების სფეროში. ფარმაკოპიდემოლოგიას შეუძლია სამკურნალო საშუალებების საჭიროების ანალიზი კლინიკური პრობლემის პრევალენტობის განსაზღვრით და ინციდენტობის გამოსავლენად. სამკურნალო საშუალებების გამოყენების კვლევა გვაწვდის ღირებულ ინფორმაციას სამკურნალო საშუალებების დანიშნისა და გამოყენების საკითხებთან დაკავშირებით. კვლევის საშუალებით შეფასდება პრევალენტობა (მოსახლეობის კონკრეტულ ჯგუფში, კონკრეტულ დროს (ან დროის მონაკვეთში) დაავადების ყველა არსებული შემთხვევის რიცხვი) და ინციდენტობა (დროის კონკრეტულ მონაკვეთში, მოსახლეობაში წარმოქმნილი დაავადების ახალი შემთხვევების რიცხვი, მაგ., აივ-ის ახალი შემთხვევები) [2].

ფარმაკოპიდემოლოგიაში რეკომენდებულია დაგეგმილი კვლევისთვის კითხვების წინასწარ განსაზღვრა, კვლევის დიზაინის, მონაცემთა ანალიზის გეგმის შედგენა, რაც აუცილებელია იმისთვის, რომ მინიმუმამდე დავიყვანოთ „შერჩევითი კვლევის“ რისკი, ანუ ისეთი მიგნებების პოვნა, რომლებიც მხოლოდ შემთხვევითობით იქნება გამოწვეული და არა მტკიცებულებებით. ამ მხრივ გასათვალისწინებელია შემდეგი საკითხები: კვლევის საფუძველი თავიდანვე უნდა იყოს მკაფიოდ განსაზღვრული და განმარტებული, კითხვა უნდა იყოს მოკლე და შედგენილი მონაცემების საფუძველზე, ნათლად გამოიკვეთოს ინტერესი, რაც დაკავშირებულია როგორც ინტერვენციასთან (ან ექსპოზიციასთან), ასევე შედეგებთან, გათვალისწინებული უნდა იყოს ძლიერი და სუსტი მხარეები [3,4]

კვლევითი პოპულაციის დიზაინი ფარმაკოპიდემოლოგიურ კვლევებში კრიტიკულად მნიშვნელოვანია. დამაბნეველი ფაქტორი და მიკერძოების რისკი განსაკუთრებით

მაღალია არაექსპერიმენტულ კვლევებში. ფარმაკოეპიდემიოლოგიურ კვლევებში კვლევითი კოჰორტები, როგორც წესი, მოიცავს პაციენტების კვლევით ჯგუფს, რომლებმაც მიიღეს სამკურნალო საშუალება და საკონტროლო ჯგუფს პრეპარატის ზემოქმედების გარეშე (ან სხვა მედიკამენტით იმპურნალეს). კვლევითი კოჰორტები უნდა იყოს შეზღუდული იმ პაციენტებზე, რომლებიც პრეპარატის ზემოქმედების მიხედვით ჰომოგენურია, რაც უზრუნველყოფს მახასიათებლების უკეთეს ბალანსს და აისახება შედეგზე. ეს შეამცირებს (თუმცა სრულად არ აღმოფხვრის) დამაბნეველ ფაქტორებს, რადგან არის ცვლადების არსებობის ალბათობა, რომლებიც გავლენას ახდენს დანიშვნის გადაწყვეტილებებზე, რაც მონაცემთა სისტემაში არ ფიქსირდება.

ფარმაკოეპიდემიოლოგიაში მთავარი კრიტერიუმია შიდა ვალიდურობის მაქსიმალური ზაცია დამაბნეველი ფაქტორის შემცირებით. პირველ რიგში, უნდა გამოირიცხოს პაციენტები „საინტერესო“ შედეგის ისტორიით. ეს პაციენტები შეიძლება წარმოადგენდეს გაზრდილ რისკს შედეგისთვის. ამ პაციენტების გამორიცხვა უკეთესს შედეგს იძლევა, ვიდრე ანალიზში შემდგომი კორექტირება, განსაკუთრებით თუ მდგომარეობა შეიძლება დაკავშირებული იყოს ძლიერი რისკ ფაქტორთან (შესაბამისად, დამაბნეველი ფაქტორი). მეორე, კვლევები შეიძლება შეიზღუდოს იმ პაციენტების შემთხვევაში, რომლებიც ახლად იწყებენ მედიკამენტის მიღებას ან არ იღებდნენ ამ წამალს გარკვეული დროის განმავლობაში (ე.წ. „wash-out period“. ჩვეულებრივ, wash-out პერიოდად ითვლება 6 თვე). ეს ღიზინი ამცირებს კონფაუნდირების (დამაბნეველი ფაქტორების) რისკს, რაც ხელს უშლის კვლევის სიზუსტეს [7].

ფარმაკოეპიდემიოლოგიურ კვლევებში სამკურნალო საშუალებების ზემოქმედება და შედეგები უნდა იყოს ოპერაციულად განსაზღვრული, რაც ასახულია კვლევისთვის ფორმულირებულ კითხვებში და გამოყენებულია მონაცემების წყაროდ. ვინაიდან ადმინისტრაციული მონაცემები სარგებლობის და არა კვლევის მიზნით იყო წარმოებული, ამიტომ პრეპარატის ზემოქმედებისა და შედეგების შეფასების პროცესში შეიძლება თავი იჩინოს როგორც სისტემურმა, ისე შემთხვევითმა შეცდომებმა. მნიშვნელოვანია, რომ მონაცემები ხშირად მხოლოდ იმ პირებზეა ხელმისაწვდომი, რომლებიც ფიქსირდებიან დაზღვევის გადახდის სისტემაში. რეცეპტების მონაცემები იძლევა ინფორმაციას წამლით მკურნალობის შესახებ, მედიკამენტის გაცემის თარიღის, აფთიაქის, დასახელების და მიღების რეჟიმის (დასახელება, დოზა, ხანგრძლივობა) შესახებ. პრეპარატების კოდირება შესაძლებელია უკვე დამკვიდრებული კლასიფიკაციის სისტემებით (მაგალითად, ჯანმო-ს ანატომიური თერაპიული ქიმიური სისტემა). გაცემის თარიღისა და დღეების მარაგის დეტალებზე დაყრდნობით, შესაძლებელია შეიქმნას მონაცემები მკურნალობის დამყოლობის შესახებ. მიუხედავად იმისა, რომ ელექტრონული სამედიცინო ჩანაწერები გვაძლევს მონაცემებს ექიმის მიერ დანიშნულ მედიკამენტზე, ინფორმაცია დოზისა და მიღების რეჟიმის შესახებ მკვლევარს არ გააჩნია, თუ პაციენტმა რეალურად არ შეიძინა მედიკამენტი აფთიაქიდან.

მკვლევარებმა შესაძლებელია გამოიყენონ პროცედურული დიაგნოსტიკური, ან სამედიცინო დაწესებულების კოდების კომბინაცია. ბოლო წლებში, ასევე, გაიზარდა ლაბორატორიული შედეგების შესახებ მონაცემების გამოყენება, თუმცა, ეს ინფორმაცია ფართო მასშტაბით ჯერ კიდევ არ არის ხელმისაწვდომი.

საკვლევ კოჰორტებს (ანუ მონაწილეთა ჯგუფებს) ჩვეულებრივ აკვირდებიან მკურნალობის დაწყების შემდეგ გარკვეული პერიოდის განმავლობაში, რათა შეფასდეს შედეგების (დაავადების პროგრესის ან მკურნალობის ეფექტურობის) გამოვლენა. ამ გზით, მკვლევარები აკონტროლებენ, როგორ იცვლება პაციენტების მდგომარეობა მკურნალობის დაწყებიდან გარკვეული დროის გასვლის შემდეგ, რათა გაანალიზდეს იწვევს თუ არა მკურნალობა სასურველ ან არასასურველ შედეგებს. მეთოდი განსაკუთრებით აქტუალურია იმის დასადგენად, როგორ მოქმედებს მკურნალობა დროთა განმავლობაში და შესაძლებელია თუ არა მიზეზ-შედეგობრივი კავშირის (მკურნალობასა და შედეგს შორის) დადგენა. ეს ცნობილია როგორც ზემოქმედების რისკის ფანჯარა. ზემოქმედების რისკის ფანჯარა არის დროის პერიოდი, რომლის განმავლობაში მედიკამენტის მიღება დაკავშირებულია მიღების რისკ-

თან. ეს პერიოდი ითვალისწინებს დამოკიდებულებას პრეპარატის გამოყენების ხანგრძლივობას და პრეპარატის ტოქსიურობის შორის. როგორც წესი, განიხილება პერიოდი, როცა სამკურნალო საშუალების მიღება შეწყვეტილია, თუმცა, პრეპარატი ჯერ კიდევ ავლენს ბიოლოგიურ აქტიურობას ორგანიზმში. ზემოქმედების რისკის ფანჯრის შერჩევამ შეიძლება იმოქმედოს რისკების შეფასებაზე.

ფარმაცოეპიდემიოლოგიური კვლევა, როგორც წესი, იყენებს ეპიდემიოლოგიურ მეთოდებს. სხვადასხვა კვლევის დიზაინები ხშირად გამოიყენება ფარმაცოეპიდემიოლოგიურ კვლევებში, როგორიცაა: კოჰორტის კვლევები, შემთხვევა-კონტროლის კვლევები, თვითკონტროლირებადი შემთხვევის კვლევები: ქეის-ქროსოვერი დიზაინი და ქეის-დროის-კონტროლის დიზაინი, ჯვარედინ-სექციური კვლევები, ეკოლოგიური კვლევები, კვაზი-ექსპერიმენტული დიზაინები: შეჩერებული დროის დიზაინი, წინა-შემდგომი პერიოდის დიზაინი, შემდგომი დიზაინი [8]

სამკურნალო საშუალებების გამოყენებისთვის მიმართავენ საზომს – 1,000 მცხოვრებზე დღიურად განსაზღვრული დოზები (DDD). ის წარმოადგენს სტანდარტულ ერთეულს, რომელსაც ჯანმო (WHO) აძლევს რეკომენდაციას. აღნიშნული საზომი იძლევა საშუალებას მოხდეს წამლების გამოყენების შედარება ქვეყნის მოსახლეობის და დოზირების მიხედვით. DDD საშუალო შემანარჩუნებელი დღიური დოზაა, რომელიც გამოიყენება მედიკამენტის ძირითადი ჩვენების შემთხვევაში მოზრდილებში. გაყიდვების, რეცეპტების მონაცემების კრებისთი შეფასება გამოსატული მაჩვენებელში – $DDD/1,000$ მცხოვრებზე/დღეში იძლევა შეფასებას იმაზე, მოსახლეობის რა პროცენტი ექვემდებარება ყოველდღიურად კონკრეტული წამლით მკურნალობას. მაგალითად, 10 DDD/1,000 მცხოვრებზე/დღეში ნიშნავს, რომ საშუალოდ 1% ყოველდღე იღებს საკვლევ წამალს ან წამლების ჯგუფს. ეს შეფასება განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ქრონიკული დაავადების დროს გამოყენებადი წამლებისთვის.

ჯანმრთელობის მსოფლიო ორგანიზაცია რეკომენდაციას უწევს სამკურნალო საშუალებების გამოყენების ხარისხის ინდიკატორებს, რაც მიზნად ისახავს მედიკამენტების სწორი ან არასწორი ან გადაჭარბებული ან არასაკმარისი გამოყენების შეფასებას. ეს ინდიკატორებია:

- სამკურნალო საშუალებების საშუალო რაოდენობა თითო რეცეპტზე (თითო პაციენტზე)

- გენერიკული დასახელებით დანიშნული წამლების პროცენტული რაოდენობა
- იმ ვიზიტების პროცენტული რაოდენობა, როდესაც დანიშნულია ანტიბიოტიკი
- იმ ვიზიტების პროცენტული რაოდენობა, როდესაც დანიშნულია ინექცია

- ესენციალური წამლების სიიდან ან ფორმულარიდან დანიშნული სამკურნალო საშუალებების პროცენტული რაოდენობა

- მკურნალობის პროპორციული დამოკიდებულება სტანდარტული მკურნალობის გაიდლაინების მიხედვით

- მედიკამენტის საშუალო ღირებულება გამოწერილი ექიმთან 1 ვიზიტის შემდეგ [9]

წამლების ღირებულების მონაცემები, ასევე, მნიშვნელოვანია პოლიტიკის შემუშავებისთვის. ღირებულება განისაზღვრება სხვადასხვა დონეზე: მთავრობის, ჯანდაცვის დაწესებულების, საავადმყოფოს, ჯანმრთელობის დაზღვევის გეგმის ან ჯანდაცვის სხვა სექტორის ფარგლებში. ხშირია კვლევები იმისთვის, რომ დადგინდეს, წამლების ღირებულების ზრდის მიზეზი. მაგალითად, საავადმყოფოში ძვირადღირებული, ახალი ონკოლოგიური თერაპიების დანერგვამ მოსალოდნელია გამოიწვიოს სამკურნალო საშუალებების ღირებულების ზრდა. მედიკამენტების ღირებულების ცვლილებები ზოგჯერ დაკავშირებულია რეცეპტების რაოდენობის ან რეცეპტის საშუალო ღირებულების ცვლილებასთან. ღირებულების საზომები მოიცავს:

- სამკურნალო საშუალებების საერთო ღირებულებას
- ღირებულებას თითოეული რეცეპტის მიხედვით

- ღირებულებას მკურნალობის პერიოდზე – დღეზე, თვეზე ან წელიწადზე
- ღირებულებას DDD-ზე
- მედიკამენტების ღირებულების წილს ჯანდაცვის საერთო ხარჯებში
- წამლების ღირებულებას საშუალო შემოსავალთან მიმართებით [10].

მედიკამენტებით მკურნალობაზე დამყოლობა ზოგადად აღნიშნავს, იღებს თუ არა პაციენტი სამკურნალო საშუალებებს განსაზღვრული წესით, ხოლო მკურნალობის მიმართ მდგრადობა მიუთითებს იმაზე, აგრძელებს თუ არა პაციენტი თერაპიას, ანუ ასახავს დროის ინტერვალს თერაპიის დაწყებიდან მის შეწყვეტამდე. დიდ პოპულაციებში მკურნალობის დამყოლობის და მდგრადობის კვლევები მნიშვნელოვანია იმის განსაზღვრისთვის, თუ რა ფაქტორები ახდენს გავლენას მათზე და შესაბამისად, კლინიკური და ეკონომიკური შედეგების შესაფასებლად. მკურნალობის რეჟიმების დაცვა – დამყოლობა შეიძლება შეფასდეს პაციენტებთან ინტერვიუებით, ბიოქიმიური საზომებით, როგორიცაა წამლის ან მისი მეტაბოლიტების დონე სისხლში ან შარდში, ტაბლეტების დათვლით, ექიმების შეფასებით. თუმცა, ეს მეთოდები დიდი პოპულაციებისათვის არ არის პრაქტიკული.

ადმინისტრაციული ბაზები, რომლებიც შეიცავს ინფორმაციას აფთიაქიდან წამლის გატანის მოთხოვნებზე, მნიშვნელოვანი წყაროა წამლის მიღების სიხუსტისა და მკურნალობის მდგრადობის შეფასებისთვის. ზემოთ აღნიშნული მაჩვენებლები შესაძლებელია შეფასდეს აფთიაქის მოთხოვნებში ასახული მედიკამენტების მიწოდების დღეებისა და წამლის შევსებათა შორის პერიოდის მიხედვით. ქვემოთ ჩამოთვლილი მაჩვენებლები შესაძლებელია გამოყენებული იქნას მკურნალობის რეჟიმის დაცვის შესაფასებლად: მედიკამენტების ფლობის კოეფიციენტი, გადაფარული დღეების პროპორცია, დამყოლობის კოეფიციენტი, შევსების თანხმობა, მუდმივი მრავალჯერადი შევსების ინტერვალი, დამყოლობის ინდექსი, შესრულების კოეფიციენტი, მიწოდების დღეების საერთო რაოდენობა განსაზღვრულ პერიოდში.

მიღებული შედეგი 80%-იანი ან მეტი მნიშვნელობით ითვლება, რომ პაციენტი იცავს განსაზღვრული მკურნალობის გრაფიკს. თუმცა, ამ მეთოდის ერთ-ერთი მთავარი შეზღუდვა ისაა, რომ არ შეუძლია დაადგინოს, ნამდვილად მიიღო თუ არა პაციენტმა შეძენილი მედიკამენტი. კვლევის დროს, ასევე, საყურადღებოა გათვალისწინებული იქნას წამლის ჩანაცვლება იმავე თერაპიული კლასის ფარგლებში, პირველად დანიშნული მედიკამენტის მიღების შემდეგ.

ფარმაკოპიდემოლოგიური კვლევების დროს მნიშვნელოვანია, მინიმუმამდე დავიკვანოთ მიკერძოების (bias) და დაბნეულობის (confounding) ეფექტები სარწმუნო და დამაჯერებელი შედეგების მისაღებად. ფარმაკოპიდემოლოგიურ კვლევებში არსებულ მთავარ გამოწვევებად რჩება: არასწორი კლასიფიკაცია, შერჩევის მიკერძოება და დაბნეულობა (კონფაუნდინგი) [11]. ეპოქაში, სადაც კვლევისთვის დიდი რაოდენობით მონაცემები დაგროვდა, და ხელმისაწვდომი გახდა, ინფორმაციის კონფიდენციალურობისა და პრივატულობის დაცვა ყველა მონაცემთა ბაზის მფლობელისა თუ მკვლევარისთვის გამოწვევას წარმოადგენს. განსაკუთრებით ეს უკავშირდება გენეტიკურ ინფორმაციას (მაგ., კონკრეტული გენეტიკური ტესტების შედეგები, მემკვიდრული დიაგნოზები, დაავადების ოჯახური ისტორიები). პაციენტების კონფიდენციალურობის დაცვა OECD-ის კონფიდენციალურობის სახელმძღვანელო პრინციპებზე დაყრდნობით, ცალკეულ ქვეყნებში (მათ შორის OECD-ის წევრ ქვეყნებში) დარეგულირებულია კანონებით. დარგის მკვლევარების მიერ განსაკუთრებული ყურადღებით უნდა იქნეს შესწავლილი კანონმდებლობა, პოლიტიკა და გაიდლაინები თუ ფარმაკოპიდემოლოგიური კვლევები შეეხება გენეტიკურ ინფორმაციას [1,12].

ჯანდაცვის ელექტრონული მონაცემთა ბაზების ხელმისაწვდომობა და ფარმაკოპიდემოლოგიური მეთოდების მიღწევები მკვლევარებს საშუალებას აძლევს განსაზღვრონ პროდუქტები, რომლებშიც ეფექტიანობა არ ემთხვევა ეფექტურობას. ეს იქნება სერიოზული გამოწვევა ყველა დაინტერესებული მხარისთვის, როგორიცაა ინდუსტრია, მარეგულირებლები, გადამხდელები, ჯანდაცვის პროვაიდერები და პაციენტები. ბოლო წლების

განმავლობაში, ევროპის წამლის სააგენტომ და აშშ-ს სურსათისა და წამლების ადმინისტრაციამ განსაზღვრეს რისკის მართვის გეგმების, რისკის შეფასებისა და შემცირების სტრატეგიების აუცილებლობა, რათა უზრუნველყონ იმის დადასტურება, რომ კონკრეტული წამლის სარგებელი აღემატება მის რისკებს.

ლიტერატურა

1. Zaheer-Ud-Din Babar (2015). Pharmacy Practice Research Methods. 2015. ISBN 978-3-319-14671-3 ISBN 978-3-319-14672-0 (eBook) DOI 10.1007/978-3-319-14672-0
2. Crescioli, G.; Bonaiuti, R.; Corradetti, R.; Mannaioni, G.; Vannacci, A.; Lombardi, N. Pharmacovigilance and Pharmacoepidemiology as a Guarantee of Patient Safety: The Role of the Clinical Pharmacologist. *J. Clin. Med.* 2022, 11, 3552.
3. abaté, M.; Montané, E. Pharmacoepidemiology: An Overview. *J. Clin. Med.* 2023, 12, 7033. <https://doi.org/10.3390/jcm12227033>
4. Montastruc, J.L.; Benevent, J.; Montastruc, F.; Bagheri, H.; Despas, F.; Lapeyre-Mestre, M.; Sommet, A. What is pharmacoepidemiology? Definition, methods, interest and clinical applications. *hérapie* 2019, 74, 169–174.
5. Barnett, M.J.; Khosraviani, V.; Doroudgar, S.; Ip, E.J. A narrative review of using prescription drug databases for comorbidity adjustment: A less effective remedy or a prescription for improved model fit? *Res. Soc. Adm. Pharm.* 2022, 18, 2283–2300.
6. Fujinaga, J.; Fukuoka, T. A Review of Research Studies Using Data from the Administrative Claims Databases in Japan. *Drugs Real. World Outcomes* 2022, 9, 543–550.
7. A Noah. key biases arising in pharmacoepidemiologic studies. *Pharmacoepidemiology and drug safety*, 32(1), 9-18.
8. Pottegård, A. Core concepts in pharmacoepidemiology: Fundamentals of the cohort and case-control study designs. *Pharmacoepidemiol. Drug Saf.* 2022, 31, 817–826.
9. Bowrin, K.; Briere, J.B.; Levy, P.; Millier, A.; Clay, E.; Toumi, M. Cost-effectiveness analyses using real-world data: An overview of the literature. *J. Med. Econ.* 2019, 22, 545–553.
10. World Health Organization. International Classification of Diseases and Related Health Problems (11th Revision). 2019. Available online: <https://icd.who.int/> (accessed on 23 October 2023).
11. Acton, E.K.; Willis, A.W.; Hennessy, S. Core concepts in pharmacoepidemiology: Key biases in pharmacoepidemiologic studies. *Pharmacoepidemiol. Drug Saf.* 2023, 32, 9–18.
12. Pereira L, Haidar CE, Haga SB, Cisler AG, Hall A, Shukla SK, Hebring SJ and Leary EJW (2024), Assessment of the current status of real-world pharmacogenomic testing: informed consent, patient education, and related practices. *Front. Pharmacol.* 15:1355412. doi: 10.3389/fphar.2024.1355412

SUMMARY

PHARMACOEPIDEMIOLOGICAL APPROACHES IN THE PROCESS OF ASSESSING DRUG UTILIZATION AND TREATMENT OUTCOMES

Shashiashvili N.V. and Tsintsadze T.G.

Georgian Technical University

Pharmacoepidemiology examines the link between drug use models, treatments, or impacts, and the resulting outcomes (useful/unhelpful) in heterogeneous large populations in non-experimental conditions, which is critical for the analysis and development of pharmaceutical practices. This article reflects the evaluation of the stages of the pharmacoepidemiological research process, focuses on research reading mechanisms, the search and use of data sources, and the determination of the population of pharmacoepidemiological research. The article discusses various research designs to measure adherence to treatment with medications. The studies play an important role in the rational and cost-effective use of the drug, assessing the safety and effectiveness of medicines in populations. Observational studies have recently included an assessment of the cost of medication and analysis of existing systems for drug monitoring. The article analyzes the key challenges and future prospects associated with the study, which will help improve drug treatment outcomes and improve pharmaceutical practices.

Keywords: Pharmacoepidemiology, Randomized controlled trials, Confounders, Medication adherence, Bias.

ეთნოგრაფიის გამოყენება ჯანმრთელობისა და ფარმაცევტული სერვისების კვლევაში

შამიაშვილი ნ.ვ., ცინცაძე თ.გ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ეთნოგრაფია ჰუმანიტარული მეცნიერებაა, რომელიც შეისწავლის ხალხის ყოფას, მათი კულტურის წარმოშობას, განსახლებას, კულტურულ-ისტორიულ კავშირებს, განვითარების კანონზომიერებებს, პოპულაციებში დამკვიდრებულ ტრადიციებს, ზნე-ჩვეულებებს და ქცევის ნორმებს. ტერიტორიული სივრცეების მიხედვით ეთნოგრაფია შესაძლებელია დაიყოს ზოგადად და რეგიონულად. მკვლევარებისთვის ინფორმაციის წყაროა უშუალოდ რეალურ გარემოში რესპოდენტთა გამოკითხვით ან საკვლევ ობიექტზე უშუალო დაკვირვების გზით მოპოვებული ეთნოგრაფიული მასალა, რაც ემყარება სავსე კვლევა-ძიების მეცნიერულ მეთოდებს.

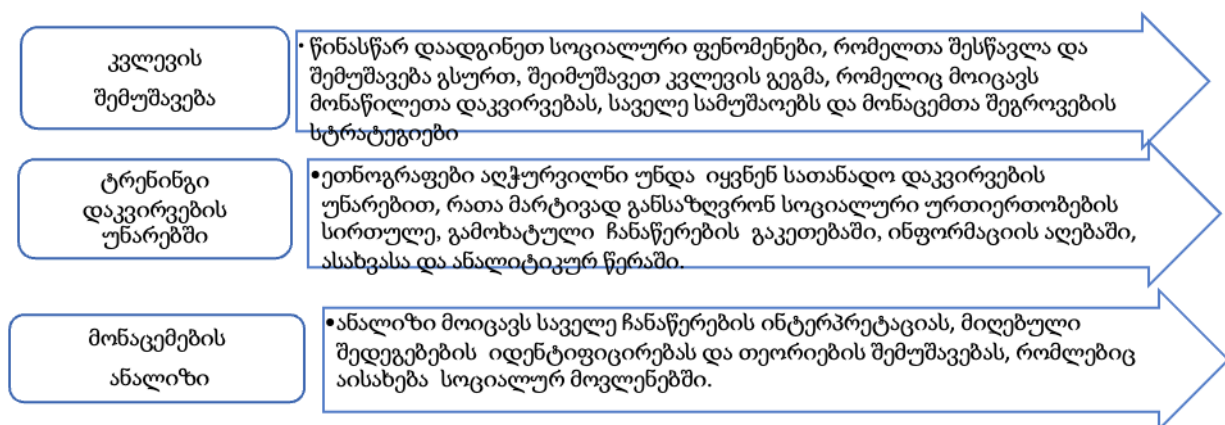
ვიდეო-რეფლექსური ეთნოგრაფია (VRE) წარმოადგენს ინოვაციური თვისებრივი კვლევის მეთოდოლოგიას, რომელიც უზრუნველყოფს უნიკალური ხასიათის დაკვირვებას ჯანდაცვის სექტორში სპეციალისტების მუშაობის რეალური სირთულეების შესასწავლად. ტრადიციული ეთნოგრაფიული მეთოდებისგან განსხვავებით, რომლებიც ეფუძნება წერილობით სავსე ჩანაწერებს და სადამკვირვებლო ანგარიშებს, VRE სამუშაო პრაქტიკაზე დასაკვირვებლად იყენებს **ვიდეო ჩანაწერებს**. ეს ჩანაწერები შემდეგ განხილდება ანალიზში ჩართულნი არიან მონაწილეების და მკვლევარების მიერ. ეთნოგრაფიული კვლევის სფეროში, **რეფლექსურობა არის კრიტიკული პრაქტიკა, რომელიც წარმოადგენს** თვითგამოკვლევის ინსტრუმენტს და კვლევის შედეგების სიმკაცრის გაძლიერების სტრატეგიას. **სააფთიაქო და ჯანდაცვის სერვისების კვლევაში**, სადაც მკვლევარები ხშირად საკვლევი გარემოს უშუალო მონაწილენი სუბიექტები არიან, რეფლექსურობა ეხმარება მათ, გაანალიზონ საკუთარი **რწმენა, თვითშემეცნება, ვარაუდები** და გავლენა კვლევის პროცესზე. ეს პრაქტიკა აუცილებელია იმის უზრუნველსაყოფად, რომ შეგროვებულ მონაცემებზე გავლენა არ მოახდენოს მკვლევარის პირადმა პოზიციამ, მისმა შეხედულებებმა და მიკერძოებამ.

ჯანდაცვის სერვისებისა და ფარმაცევტული მომსახურების კონტექსტში, ეთნოგრაფია შეიძლება გამოყენებულ იქნას იმგვარი სოციალური ფაქტორების შესასწავლად, რომლებიც სამკურნალო საშუალებების გამოყენებაზე, პაციენტების ქცევებზე, ჯანდაცვის პროვაიდერებსა და პაციენტებს შორის ურთიერთობებზე ახდენს გავლენას [1]. ის დამყარებულია კონსტრუქტივიზმისა და რეფლექსურობის პრინციპებზე, რომლებიც განასხვავებენ ეთნოგრაფიას სხვა თვისებრივი და რაოდენობრივი კვლევის მეთოდებისგან. ეთნოგრაფიაში მკვლევარი ცდილობს იმის ახსნას, თუ როგორ ქმნიან ინდივიდები და თემები მნიშვნელობებს მათი ურთიერთქმედებისა და ქცევების მეშვეობით, იკვლევს, თუ როგორ შეკავშირდება მნიშვნელობა, პრაქტიკა და ურთიერთობები კონკრეტული სოციალური კონტექსტის ფარგლებში. მაგალითად, წამლის გამოყენების შესწავლისას ეთნოგრაფია ადგენს თუ როგორ მოქმედებს არსებული კულტურული ნორმები, სოციალური კავშირები და ინსტიტუციური სტრუქტურები სამკურნალო საშუალებების მიღების პროცესზე, როგორ აღიქვამენ წამალს და მკურნალობას პაციენტები. ეს მიდგომა უზრუნველყოფს სოციალური კონტექსტის დეტალიზებულ, ნიუანსურ გაგებას. **რეფლექსურობა** გულისხმობს თავად მკვლევარის როლის წარმოჩენას და აღიარებას კვლევის პროცესში და მოითხოვს მისგან, წინასწარ განსაზღვროს საკუთარი მიკერძოებულობა, დააზუსტოს ვარაუდები და საკუთარი პოზიციურობა, დაადგინოს როგორ მოქმედებს აღნიშნული ფაქტორები მის მიერ ჩატარებულ დაკვირვებებსა და ინტერპრეტაციებზე. რეფლექსურობა კრიტიკულია პაციენტებს, ჯანდაცვის პროვაიდერებს და ფარმაცევტებს შორის ურთიერთობების შესწავლისას. ეთნოგრაფებმა უნდა განსაზღვრონ, ადგილი აქვს თუ არა და რა სახით ვლინდება მათი

არსებობის ზეგავლენა მონაწილეთა ქცევებზე, ამავდროულად, როგორ აყალიბებს კვლევის კონტექსტის აღქმას პერსონალური კულტურული ან პროფესიული ფონი [2].

ეთნოგრაფიული კვლევის ჩატარების საფეხურებია: ა) დაკვირვება – მკვლევარი ახდენს საზოგადოების ან გარემოს შესწავლას (დაკვირვებას ფარმაცევტების პაციენტებთან ან სამედიცინო პერსონალთან ურთიერთობაზე, მედიკამენტების განაწილებაზე კლინიკურ პირობებში). ბ) „სავლე სამუშაოების“ წარმოება – ითვალისწინებს კონკრეტულ სივრცეში მკვლევარის ხანგრძლივი დროით ყოფნას, დაკვირვებას, არაფორმალური ინტერვიუების აღებას და მონაცემების შეგროვებას. (სააფთიაქო კვლევის დროს, სავლე სამუშაოები ტარდება პაციენტისთვის მიცემულ კონსულტაციებზე დაკვირვებით). გ) მონაცემების ჩაწერა – ეთნოგრაფები აწარმოებენ სავლე ჩანაწერებს, ახდენენ დაკვირვებების დეტალურ აღწერას და ასახავენ მის დინამიკას [3,4]

ჯანდაცვის სექტორში ჩატარებული ეთნოგრაფიული კვლევა რამდენიმე ეთიკურ გამოწვევას უკავშირდება. მკვლევარებმა უნდა მიიღონ ინფორმირებული თანხმობა რესპოდენტებისგან, საყურადღებოა ასევე კონფიდენციალურობასთან, მკვლევარებსა და მონაწილეებს შორის უფლებების და გავლენის დისბალანსის პოტენციალთან დაკავშირებული საკითხების მართვა. ეთნოგრაფებმა ასევე უნდა გაითვალისწინონ მათი ადგილზე ყოფნის პოტენციური გავლენა კვლევის ობიექტების ქცევებზე. გასათვალისწინებელია რამდენიმე ძირითადი ასპექტი:



ჩანაწერების გაკეთება შემოქმედებითი და ანალიტიკური პროცესია, რომელიც მკვლევარებისგან მოითხოვს შექმნას ვრცელი აღწერილობები და მოახდინონ სწორი ინტეგრირება რეალური დასკვნების ასახსნელად [5].

ვიდეო-რეფლექსური ეთნოგრაფია (VRE) სხვა ეთნოგრაფიული მეთოდებისგან განსხვავდება კვლევის პროცესში **ვიდეო ტექნოლოგიის** ინტეგრირებით. ყოველდღიური საქმიანობის ჩაწერით რეალურ დროში, **ბუნებრივ გარემოში, გაუფილტრავად შესაძლებელია ინფორმაციის მიღება. რეფლექსური ჩართულობა** VRE-ის განმსაზღვრელი თვისებაა, რადგან მონაწილეები უყურებენ და აანალიზებენ საკუთარი მოქმედებების ვიდეო კადრებს. ეს პროცესი მონაწილეებს საშუალებას აძლევს **კრიტიკულად შეაფასონ** თავიანთი საქმიანობა, ვარაუდები ეჭვქვეშ დააყენონ, ჩაერთონ დისკუსიებში პრაქტიკის გაუმჯობესების საკითხებზე. VRE-ის ძირითადი პრინციპები დაფუძნებულია **მონაწილეობას, რეფლექსურობას და თანამშრომლობაზე** [6].

განსაკუთრებით სწრაფი ტემპით განვითარებად ჯანდაცვის და ფარმაცევტულ გარემოში, ტრადიციული კვლევის მეთოდები ზოგჯერ შეიძლება არაპრაქტიკული ან არასაკმარისი აღმოჩნდეს. ალტერნატიულ მიდგომას გვთავაზობს **მონაწილეობითი მეთოდები**, როგორიცაა VRE. ფარმაცევტული პრაქტიკა მოიცავს დავალებების ერთობლიობას, დაწყებული პაციენტის კონსულტაციიდან, მედიკამენტების განაწილებიდან, ინვენტარის მართ-

ვიდან და დასრულებული ჯანდაცვის სხვა პროფესიონალებთან კომუნიკაციით. **რეალურ დროში ვიდეო-კადრების გადაღებით**, VRE საშუალებას აძლევს პრაქტიკოსებსა და მკვლევარებსა დეტალურად შეისწავლონ ეს განხორციელებული ქმედებები, რაც **უფრო მდიდარ, მეტად ნიუანსურ გაგებას** უზრუნველყოფს იმ სამუშაოს შესახებ, რომელიც ხშირად უხილავი რჩება გარე დამკვირვებლებისთვის. VRE-ს **მიდგომა** განსაკუთრებით სასარგებლოა გარემოში, სადაც პერსონალი **გამოკვეთილად მდგრადია ცვლილების მიმართ**. სააფთიაქო პრაქტიკის კვლევაში, ის გვთავაზობს უნიკალურ მონაცემებს **კომუნიკაციის, სამუშაო ნაკადების, გადაწყვეტილების მიღების პროცესებში**. **განვიხილოთ მაგალითები:**

ა) ფარმაცევტული საქმიანობის შესწავლა აფთიაქებში. VRE-ს გამოყენება სააფთიაქო პრაქტიკის კვლევაში განხორციელდა **ავსტრალიის აფთიაქებში COVID-19 პანდემიის დროს**. კვლევამ გამოავლინა არა მხოლოდ ხილული ამოცანები, რომლებსაც ფარმაცევტები ჩვეულებრივ ასრულებენ, ისეთი, როგორიცაა მედიკამენტების გაცემა და პაციენტის კონსულტაციის გაწევა, არამედ „უხილავი“ **სამუშაოებიც**, რომელიც ხშირად შეუმჩნეველი რჩება, ასეთი იყო – მიწოდების ჯაჭვების მართვა, სხვა ჯანდაცვის პროვაიდერებთან კოორდინაცია, საზოგადოებრივი ჯანდაცვის გაიდლაინების ცვლილებები.

ბ) სწავლისა და ცვლილების ხელშეწყობა. კვლევის ინსტრუმენტად გამოყენების გარდა, ვიდეო კადრების კო-ანალიზში ფარმაცევტების ჩართვით, VRE-ს შეუძლია დისკუსიების წამოჭრა იმის შესახებ, თუ როგორ უნდა **მოხდეს კომუნიკაციის ოპტიმიზაცია** ფარმაცევტების გუნდში, როგორ გაუმჯობესდეს **სამუშაო პროცესის ეფექტურობა**, როგორ გაიზარდოს **პაციენტის უსაფრთხოება**. ეს პროცესები განსაკუთრებით ღირებულია მაშინ, როდესაც ცვლილების მიმართ გუნდში წინააღმდეგობრივი დამოკიდებულებაა [7]

მკვლევარებმა ყურადღებით უნდა შეარჩიონ **სამუშაო პრაქტიკა ან მისი ნაწილი, რაც უნდა** გადაიღონ. **საქმიანობის პროცესი** უნდა ასახავდეს **სააფთიაქო სამუშაოების ყოველდღიურ რეალობას**. გადაღების პროცესი **მაქსიმალურად მორგებული უნდა იყოს პროცესზე**, მონაწილეებს საშუალებას აძლევს ბუნებრივად განახორციელონ თავიანთი საქმიანობა. ეს შეიძლება მოიცავდეს სტაციონარული კამერების დაყენებას აფთიაქში ან მობილური კამერით გადაღებას ოპერატორის მიერ. პროცესის **მონაწილეებს** აფრთხილებენ, რომ მიმდინარეობს ვიდეოჩაწერა, შემდეგ კი თხოვენ კოლეგებს განიხილონ მასამა, წარმოადგინონ თავიანთი მოსაზრებები და იმსჯელონ გაუმჯობესების საკითხებზე. როგორც ნებისმიერი კვლევის შემთხვევაში, რომელშიც ადამიანები არიან ჩართულები, მნიშვნელოვანია **ეთიკურ საკითხების, პრივატულობის და კონფიდენციალურობის საკითხების გათვალისწინება**. მკვლევარებმა უნდა უზრუნველყონ, რომ ვიდეო კადრების დამუშავება მოხდეს სიფრთხილით. მონაწილეები სრულად უნდა იყვნენ ინფორმირებულნი კვლევის მიზნებზე, ჩართული სუბიექტების უფლებებზე. განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს იმ **პაციენტების კონფიდენციალურობის** დაცვას, რომლებიც გადაღებების პროცესში შეიძლება უნებლიედ მოხვდნენ ჩანაწერებში [8].

ეთნოგრაფიულ კვლევაში მკვლევარი ხშირად მონაწილეობენ და ჩართულნი არიან უშუალოდ იმ გარემოში, რომელიც შესწავლის ობიექტია, ამდენად, ისინი ვერ იქნებიან **ნეიტრალური დამკვირვებლები**. მკვლევარის ყოფნამ ადგილზე შეიძლება გავლენა მოახდინოს როგორც საგნებზე, ასევე შეგროვებულ მონაცემებზე. რეფლექსურობა არის გზა მკვლევარებისთვის, აღიარონ და **კრიტიკულად შეაფასონ** გავლენა, რაც გავლენას ახდენს დასკვნების **გამჭვირვალობასა და შედეგებზე** [9].

სააფთიაქო პრაქტიკის კვლევის **კონტექსტში, რეფლექსურობა რთული, მაგრამ აუცილებელი ფაქტორია**. **ფარმაცევტი-მკვლევარები** ხშირად პრაქტიკოსისა და მკვლევარის როლში გვევლინება. ერთდროულად ამ ორმაგ როლს შეუძლია შექმნას გარკვეული წინააღმდეგობა. რეფლექსურობა საშუალებას აძლევს ფარმაცევტ-მკვლევარს მუდმივად იფიქროს იმაზე, თუ როგორ შეიძლება ორმაგი როლის გათვალისწინების ფონზე ჩამოაყალიბოს **კითხვები, შეაგროვოს მონაცემები და მოახდინოს პასუხების და შედეგების**

ინტერპრეტაციები. რეფლექსურობის მთავარი ასპექტია მკვლევარის თვითშეგნების შესწავლა – მათი პირადი მიკერძოების, ღირებულებებისა და რწმენის გაცნობიერება. მიკერძოებამ, თუ არ არის გადამოწმებული და გადაზღვრული, შეიძლება გავლენა მოახდინოს იმაზე, თუ როგორ ჩამოაყალიბებენ ისინი კვლევის კითხვებს ან როგორ განმარტავენ მონაწილეთა ქმედებებს. რეფლექსურობის მნიშვნელოვანი ასპექტია **ინტერსექციურობა**. **მნიშვნელოვანი** მკვლევარის იდენტობის სხვადასხვა მაჩვენებლის (რასა, სქესი და პროფესია) განსაზღვრა იმ მიზნით, თუ რა გავლენას ახდენს ეს ფაქტორები მათ საქმიანობაზე [10,11]. რეფლექსურობის პრაქტიკით, მკვლევარს შეუძლია შეისწავლოს, თუ როგორ მოქმედებს **სოციალური ზომები** კვლევის პროცესზე და მიღებულ მონაცემებზე. ფარმაცევტს, რომელიც ატარებს კვლევას საკუთარ სამუშაო ადგილზე, შეიძლება გაუჭირდეს ობიექტური პოზიციის შენარჩუნება კოლეგებთან ან პაციენტებთან ურთიერთობისას. **კვლევისასა და პროფესიულ პრაქტიკას შორის გავლებული გამყოფი ხაზები** შეიძლება ბუნდოვანი გახდეს, რაც ართულებს პრაქტიკოსის როლის გამოყოფას მკვლევარისგან [9, 12].

რეფლექსურობა ამ **ორმაგი როლის** ნავიგაციის მიზნით მკვლევარებს სთავაზობს შემდეგ რეკომენდაციებს: ა) **დაადგინეთ და ზუსტად განსაზღვრეთ** როლები, რომლებსაც ისინი შეასრულებენ ამ სფეროში, ბ) **გაანალიზეთ, როგორ იმოქმედებს ეს როლები** მათ ურთიერთობაზე მონაწილეებთან და მათ მიერ შეგროვებულ ინფორმაციაზე, გ) **კრიტიკულად შეაფასეთ**, თუ როგორ იმოქმედებს ეს როლები მონაცემთა ინტერპრეტაციასა და მათ მიერ გამოტანულ დასკვნებზე.

რეფლექსურობის პრაქტიკაში ჩართვით, ფარმაცევტ-მკვლევარს შეუძლია უზრუნველყოს, რომ მათი დასკვნები უფრო გამჭვირვალე და **კონტექსტუალიზებული იყოს** რეალური მდგომარეობაში რამდენიმე ფუნქციის შესრულების შემთხვევაშიც კი. პრაქტიკული რეკომენდაციები რეფლექსური პრაქტიკისთვის შემდეგი სახით ჩამოყალიბდება: ა) რეფლექსური ჟურნალის წარმოება, რომელშიც მკვლევარს შეუძლია დააფიქსიროს თავისი აზრები, შეხედულებები და დაკვირვებები კვლევის პროცესში. ეს თვითრეფლექსია საშუალებას აძლევს მკვლევარს თვალყური ადევნოს, თუ რა გავლენა შეიძლება იქონიოს მონაცემთა შეგროვებასა და ანალიზზე მისმა რწმენამ, ვარაუდებმა და სოციალურმა პოზიციამ; ბ) რეგულარული დისკუსიების გამართვა კოლეგების ან ხელმძღვანელების ჩართულობით სავსე სამუშაოების დროს წარმოქმნილი გამოწვევებისა და პრობლემების საკითხების განხილვის დროს. ეს დაეხმარება მკვლევარს მოახდინოს **ბრმა წერტილების** და **არადიარებული მიკერძოების** იდენტიფიცირება; გ) მონაცემების შეგროვებისას, იტერაციულმა ასახვამ შეიძლება გამოიწვიოს კვლევის დიზაინის ან მიდგომის კორექტირება, რაც უზრუნველყოფს მონაცემების მაქსიმალურად ობიექტურ და მიუკერძოებელი ასახვას და დამუშავებას [13].

ეთნოგრაფია განსაკუთრებით ღირებულია კვლევის იმ ტიპის ამოცანების გადასაჭრელად, რომლებზე პასუხის გაცემა შეუძლებელია რაოდენობრივი მეთოდებით, მაგალითად, ჯანმრთელობის განმსაზღვრელი სოციალური ფაქტორების გაგება ან კულტურული ფაქტორების შესწავლა, რომლებიც გავლენას ახდენენ მკურნალობის დამყოლობაზე. მიუხედავად იმისა, რომ ეთნოგრაფია ნაკლებად გამოიყენება ჯანდაცვის სერვისების კვლევაში, მას აქვს პოტენციალი უზრუნველყოს მდიდარი შეხედულებების ჩამოყალიბება, ჯანდაცვის პრაქტიკის გასაუმჯობესებლად და პოლიტიკის გადაწყვეტილებების შესამუშავებლად. ეთნოგრაფია ნათელს ჰფენს ჯანდაცვის სერვისების მიწოდების სოციალურ ასპექტებს. გვაწვდის ჩარჩოს იმის გასაგებად, თუ როგორ მოქმედებს სოციალური დინამიკა პაციენტის ქცევასა და მკურნალობის შედეგებზე.

ლიტერატურა

1. Sofie Rosenlund Lau, Susanne Kaae, Sofia Källemark Sporrón. Ethnography and its potential for studying the social in social pharmacy: An example of autonomy and pharmaceuticals in eldercare. Research in Social and Administrative Pharmacy. Volume 18, Issue 1, January 2022, Pages 2151-2156. <https://doi.org/10.1016/j.sapharm.2021.04.003>

2. Lauren Cubellis, Christine Schmid, and Sebastian von Peter. *Ethnography in Health Services Research: Oscillation Between Theory and Practice*. Sage Journals. Volume 31, Issue 11. September 2021, Pages 2029-2040. <https://doi.org/10.1177/10497323211022312>
3. Cupit C., Mackintosh N., Armstrong N. (2018). Using ethnography to study improving healthcare: Reflections on the “ethnographic” label. *BMJ Quality & Safety*, 27(4), 258–260. <https://doi.org/10.1136/bmjqs-2017-007599>
4. Seligmann L., Estes B. (2020). Innovations in ethnographic methods. *American Behavioral Scientist*, 64(2), 176–197. <https://doi.org/10.1177/0002764219859640>
5. *Video-Reflexive Ethnography in Health Research and Healthcare Improvement Theory and Application*. Rick Iedema, Katherine Carroll, Aileen Collier, Su-Yin Hor, Jessica Mesman, Mary Wyer. Edition 1st Edition. 2019. DOI <https://doi.org/10.1201/9781351248013> . p. 241
6. Faith R. Yong. Su-yin Hor. A participatory research approach in community pharmacy research: The case for video-reflexive ethnography. April 2021. *Research in Social and Administrative Pharmacy* 18(11):2157-2163 DOI:10.1016/j.sapharm.2021.04.013
7. Hung L, Phinney A, Chaudhury H, Rodney P. Using video-reflexive ethnography to engage hospital staff to improve dementia care. *Glob Qual Nurs Res*. 2018;5:2333393618785095. doi: 10.1177/2333393618785095. [DOI] [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]
8. Iedema R, Carroll K, Collier A, Hor S-Y, Mesman J, Wyer M. *Video-reflexive ethnography in health research and healthcare improvement theory and application*. Boca Raton: CRC Press; 2019. [Google Scholar]
9. J. Tomlinson, K. Medlinskiene. Reflexivity in pharmacy practice qualitative research: systematic review of twelve peer-reviewed journals. *International Journal of Pharmacy Practice*, 2024, Vol. 32, No. S1 . <https://doi.org/10.1093/ijpp/riae013.007>
10. Jessica Dawson, Keera Laccos-Barrett, Courtney Hammond , Alice Rumbold. Reflexive Practice as an Approach to Improve Healthcare Delivery for Indigenous Peoples: A Systematic Critical Synthesis and Exploration of the Cultural Safety Education Literature. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 May 30;19(11):6691. doi: 10.3390/ijerph19116691
11. Kimberly Jamie and Adam Pattison Rathbone. Using theory and reflexivity to preserve methodological rigour of data collection in qualitative research. *Sage Journals*. 2022. Volume 3, Issue 1 <https://doi.org/10.1177/26320843211061302>
12. Mais Iflaifel, Rosemary Lim, Clare Crowley, Francesca Greco, Rick Iedema. Using video reflexive ethnography to explore the use of variable rate intravenous insulin infusions. *BMC Health Serv Res*. 2022 Apr 23;22:545. doi: 10.1186/s12913-022-07883-w
13. *Contemporary Research Methods in Pharmacy and Health Services*, 1st Edition - May 10, 2022. Editors: Shane P. Desselle, Victoria Garcia Cardenas, Claire Anderson, Parisa Aslani, Aleda M. H. Chen, Timothy F. Chen. Language: English. Paperback ISBN: 9780323918886.

SUMMARY

THE USE OF ETHNOGRAPHY IN HEALTH AND PHARMACEUTICAL SERVICES RESEARCH

Shashiashvili N.V. and Tsintsadze T.G.

Georgian Technical University

Ethnography is rarely used, though it can sometimes process crucial information for evaluating health and pharmaceutical services. This article discusses the principles of ethnography within the social context of pharmaceutical services. Ethnographic research focuses on participant observation and fieldwork, data recording tools, and analysis. Video Reflexive Ethnography (VRE) is a well-established qualitative methodology that examines the complex nature of the healthcare sector in a real-world setting. By closely collaborating with practitioners and focusing on the work environment, VRE can support workforce research, education, and change processes within pharmacy, as well as inspire shifts in resistant pharmacy environments. Reflexivity is an important strategy in ethnographic research, enabling assessment of the researcher’s self-awareness, beliefs, assumptions, and their impact on the research process and outcomes. The social position of the researcher can influence the framing and gathering of information in relation to race, gender, and profession. Reflexive practices help pharmacist-researchers navigate these potential biases and reduce the risk of influencing information collected during fieldwork.

Keywords: Ethnography, Reflexivity, Video-Reflexive Ethnography.

გახსენება

ტრისტან ბუაძეს 80 წელი შეუსრულდებოდა



ტრისტან ბუაძე – ასოცირებული პროფესორი, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატი, დაიბადა 1945 წლის 18 აგვისტოს ამბროლაურის რაიონის სოფ. ხონჭიორში. 1962 წელს ოქროს მედალზე დაამთავრა ამბროლაურის რაიონის სოფ. ნამანევის საშუალო სკოლა. 1968 წ. წარჩინებით დაამთავრა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მექანიკა-მათემატიკის ფაკულტეტი. 1974 – 1977 წწ. სწავლობდა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ასპირანტურაში. 1982 წელს უკრაინის მეცნიერებათა აკადემიის მათემატიკის ინსტიტუტში დაიცვა დისერტაცია ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად თემაზე: „მრავალგანზომილებიანი განაწილების სიმკვრივის არაპარამეტრული შეფასებები“.

ბატონი ტრისტანი 1983 წლიდან სიცოცხლის ბოლომდე მუშაობდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში (ასისტენტი, დოცენტი, ასოცირებული პროფესორი). მისი ძირითადი სამეცნიერო ინტერესების მიმართულებები იყო: ალბათური განაწილების შეფასებების სტატისტიკური საკითხები; ალბათობათა განაწილების სიმკვრივების არაპარამეტრული „გულოვანი“ და პროექციული შეფასებები; წრფივი და კვადრატული ფუნქციონალების ექსპონენტებიდან გაუსის ზომით სკოროხოლ-ფერნიკის ინტეგრალები ჰილბერტის სივრცეში; უსასრულოგანზომილებიანი სტატისტიკური სტრუქტურების კვლევის საკითხები. სტატისტიკური სტრუქტურები „ჰილბერტის სივრცეში“; სტატისტიკური სტრუქტურები „ჰილბერტის სივრცეში“.

ტრისტან ბუაძე იყო მრავალი სამეცნიერო ნაშრომის, სახელმძღვანელოს ავტორი, გამოქვეყნებული აქვს მონოგრაფია. სამეცნიერო კვლევებში, ბატონ ტრისტანთან ერთად, აქტიურად იყვნენ ჩართული მისი სტუდენტები.

ტ. ბუაძე იყო საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის სადისერტაციო კოლეგიის, სადოქტორო პროგრამა „მათემატიკა“ წევრი, ივანე ჯავახიშვილის სახელობის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ზუსტ და საბუნებისმეტყველო ფაკულტეტის სადისერტაციო კოლეგიის წევრი.

ტრისტან ბუაძის ხსოვნა სამუდამოდ დარჩება მეგობრების, კოლეგებისა და აღზრდილების გულში.

ღმერთმა დაუმკვიდროს საუკუნო სასუფეველი...

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ჟურნალ „საქართველოს საინჟინრო სიახლენის“ რედაქცია