

UDC 620.9

SCOPUS CODE 2102

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2022-2-66-80>

**ქარის ენერგეტიკაში ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების გამოყენების ეფექტიანობის შეფასების ოპტიმალური ეკონომეტრიკული მოდელის შემუშავება და აპრობაცია საქართველოში**

**გიორგი ლუდუმიძე** ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: g.gudumidze95@gmail.com

**დავით ჯაფარიძე** ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: gjaparidze.d55@gmail.com

**რეცენზენტები:**

**თ. ჯიშკარიანი**, სტუ-ის ენერგეტიკის ფაკულტეტის პროფესორი  
E-mail: tengish@yahoo.com

**თ. მუსელიანი**, სტუ-ის ენერგეტიკის ფაკულტეტის პროფესორი  
E-mail: museliani@yahoo.com

**ანოტაცია.** ელექტროენერგეტიკაში ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების დანერგვის ეფექტიანობის განსაზღვრის მეთოდების მსოფლიო პრაქტიკის შესწავლისა და მეცნიერული ანალიზის საფუძველზე, პრობლემის გადაწყვეტისადმი კომპლექსური მიდგომით შემუშავებულია ქარის ენერგეტიკაში ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების გამოყენების ეფექტიანობის შეფასების ოპტიმალური ეკონომეტრიკული მოდელი, რომელშიც გათვალისწინებულია ეფექტიანობაზე მოქმედი ყველა შესაძლო ფაქტორი. შეფასებულია საქართველოში ქარის ენერჯიის გამოყენებით ელექტროენერჯიის წარმოების შესაძ-

ლებლობა და მისი დანერგვის პერსპექტივები. ქარის ელექტროსადგურებში ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების გამოყენების ეფექტიანობის შეფასების ოპტიმალური ეკონომეტრიკული მოდელი აპრობირებულია გორის ქარის ელექტროსადგურის მაგალითზე. ჩატარებული კვლევებით დადგენილია ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების დანერგვის მაღალი ეფექტიანობა.

**საკვანძო სიტყვები:** ანალიზი; ეკონომეტრიკული მოდელი; ელექტროენერჯიის დამაგროვებლები; ეფექტიანობა; პერსპექტივები; ქარის ელექტროსადგურები.

## შესავალი

ელექტრული სისტემების გამართული ფუნქციონირებისათვის აუცილებელი პირობაა ელექტროენერჯიის წარმოებისა და მოხმარების ერთდროულობის უზრუნველყოფა. ამ ამოცანის გადასაჭრელად უკანასკნელ ათწლეულში ელექტროსისტემების სტრუქტურებსა და შემადგენლობაში ხდება ფუნდამენტური ცვლილებები. ვითარდება მარეგულირებელი ჰიდროელექტროსადგურების მშენებლობა და ფართოვდება ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემები, რაც განაპირობებს ელექტროენერჯიის წარმოების და მოხმარების დროში გაყოფას, უნარს გაიზარდოს ელექტროსისტემის საიმედოობა და ეფექტიანობა, ელექტრული რეჟიმების მართვის ამაღლებას, ელექტრული სისტემების ფუნქციონირების ყველა ეტაპზე ეკონომიკური მაჩვენებლების გაუმჯობესებას.

განახლებადი ენერჯიის წყაროების გენერაციის სისტემის ხასიათის გათვალისწინებით, მისი დამოკიდებულებით ამინდის ცვალებადობასთან, ელექტრულ სისტემაში სიმძლავრის ბალანსის უზრუნველსაყოფად აუცილებელი ხდება სარეზერვო სიმძლავრის შესაბამისი მოცულობების არსებობა, რაც თანამედროვე დროში ძირითადად რეალიზდება ტრადიციული გენერაციის ხარჯზე. ცხადია, რომ ელექტრული ბალანსის შენარჩუნების ასეთ მეთოდს აქვს ტექნიკური და ეკონომიკური შეზღუდვები. ასეთ პირობებში ტრადიციული ელექტრული სისტემების შემადგენლობაში განახლებადი ენერჯიის წყაროების (გეწ) ინტეგრაციის პრობლემა ბოლომდე გადაუწყვეტელი რჩება.

დასმული პრობლემის გადაწყვეტაში ხარისხობრივად ახალი მიდგომაა ელექტროენერჯიის დამაგ-

როვებელი სისტემები (ეედს), რომლებიც განახლებადი წყაროების ენერჯიის (გეწ) ელექტროსისტემაში ინტეგრაციის სრულ საშუალებას იძლევა. მსოფლიო პრაქტიკაში [1] გეწ გამოყენებულია არა მხოლოდ ეფექტიანობის ასამაღლებლად, არამედ სხვა მიზნებისთვისაც. ელექტროსისტემაში სიხშირისა და ძაბვის რეგულირების, რეზერვირების, დატვირთვის უწყვეტი კვების ელექტროენერჯიის ხარისხის მაჩვენებლების შესანარჩუნებლად და სხვა. დღესდღეობით ელექტროსისტემაში ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების გამოყენება ელექტროენერჯიის განვითარების ერთ-ერთი საკვანძო მიმართულებაა. კომპანია BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE-ის [4] კვლევებით დადგენილია, რომ 2030 წლისთვის მსოფლიოში ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების დადგმული სიმძლავრე 125 გვტ-ს მიაღწევს. ფონდ ფორსპიტის [5] მონაცემებით 55% ხმარდება ელექტროენერჯიის სიხშირის რეგულირებას, 13% – ელექტროენერჯიის დატვირთვებს, 11% – განახლებადი ენერჯიის წყაროებს, 9% – სარეზერვო სიმძლავრეს, 7% – ელექტროენერჯიის განახლებადი წყაროების მხარდაჭერას, 2% – ცივ გაშვებას, 2% – დატვირთვების მართვას, დანარჩენი სხვა ღონისძიებებს.

ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების დანერგვა ელექტროსისტემებში ერთიანად ართულებს მის მართვას, თუმცა ამ ამოცანის ყველაზე ეფექტურ გადაწყვეტას წარმოადგენს. ენერჯიის განახლებადი წყაროების (ეგწ) და ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების (ეედწ) ტექნიკური კომპლექსის შექმნა და დანერგვა, საშუალებას იძლევა შევინარჩუნოთ ბალანსი ელექტროენერჯიის გენერაციასა

და მოხმარებას შორის, ოპტიმიზაციის გზით ეფექტურად იმართოს სიმძლავრის ნაკადები.

საქართველოში, სადაც ელექტროენერჯიის წარმოება მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ამინდის ცვალებადობასა და სეზონურობაზე, საბაზისო ელექტროენერჯიის წარმოების დაბალი წილის პირობებში განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს განახლებად ენერჯიაზე მომუშავე ელექტროსადგურებში და მთლიანად ელექტროსისტემაში ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების დანერგვა. ამ მიმართულებით წინა პლანზე იწევს მზისა და ქარის ენერჯეტიკის განვითარება, ამ დარგში ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების საყოველთაოდ დანერგვის უზრუნველყოფა. ამ პრობლემის გადაწყვეტისთვის უმნიშვნელოვანესია ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების დანერგვის ეფექტიანობის სწორი შეფასება. ეფექტიანობის შეფასების ისეთი ეკონომეტრიკული მოდელის შემუშავება,

რომელშიც გათვალისწინებული იქნება ეფექტიანობის მოქმედი ყველა შესაძლო ფაქტორი და დადგენილი იქნება ელექტროენერჯიის განახლებადი წყაროების მეშვეობით ელექტროენერჯიის წარმოების განვითარების ეკონომიკურად დასაბუთებული სტრატეგია და დამაგროვებლების დანერგვის ეფექტიანობა.

დასმული ამოცანის გადაწყვეტის განსაკუთრებულ აქტუალობას განაპირობებს ის ფაქტი, რომ ქარის ენერჯეტიკა მსოფლიოში ერთ-ერთი ყველაზე მზარდი დარგია. ზოგიერთ ქვეყანაში ქარის ენერჯიის წილი ელექტროენერჯიის მთლიან გამომუშავებაში თითქმის 50%-ს შეადგენს. საქართველოს ქარის ენერჯიის მნიშვნელოვანი პოტენციალი აქვს [15]. პირველ ცხრილში მოყვანილია საქართველოში ქარის ელექტროსადგურების განლაგების გეოგრაფია და ელექტროენერჯიის წარმოების პოტენციალი.

ცხრილი 1

**საქართველოში ქარის სადგურების განლაგების გეოგრაფია და ელექტროენერჯიის წარმოების პოტენციალი**

№	ადგილმდებარეობა	სიმძლავრე (მგვტ)	წლიური გამომუშავება (მლნ.კვტსთ)
1	ფოთი	50	110
2	ჭოროხი	50	120
3	ქუთაისი	100	200
4	მთა-საბუეთი I	150	450
5	მთა-საბუეთი II	600	2000
6	გორი-კასპი	200	500
7	ფარავანი	200	500
8	სამგორი	50	130
9	რუსთავი	50	150
	ჯამი	1450	4160

ცხრილიში ქარის ელექტროსადგურების მიერ ელექტროენერჯიის წარმოების პოტენციალის შესახებ მოყვანილი მონაცემების გათვალისწინებით წინამდებარე კვლევაში ძირითადი აქცენტები გადანაწილია ქარის ენერჯიის გამოყენების ეფექტიანობის შეფასებასა და მისი ამაღლების გზებზე.

### ძირითადი ნაწილი

საქართველოში ელექტროენერჯიის წარმოებაში ქარის ენერჯიის გამოყენების პრობლემის თანამედროვე მოთხოვნების შესაბამისად გადაწყვეტის მიზნით სიღრმისეულად იქნა შესწავლილი და მეცნიერულად გაანალიზებული ქარის ენერჯეტიკაში ინვესტიციების ეფექტიანობის შეფასებაში გამოყენებული მეთოდები [3,13]. ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ ქარის ელექტროენერჯეტიკის განვითარებაში განხორციელებული ინვესტიციების ეფექტიანობის შეფასებაში ნაკლებად ან საერთოდ არ არის გამოყენებული კომპლექსური მიდგომა. სრულად არ არის გათვალისწინებული ეფექტიანობაზე მოქმედი ფაქტორები, რაც მთავარია, არ არის დადგენილი ქარის ელექტროსადგურებში ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების დანერგვის ეფექტიანობა. აქედან გამომდინარე, აუცილებელია ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემის ეფექტიანობის შეფასება განხორციელდეს კომპლექსური მიდგომით. შემუშავებული უნდა იყოს ეფექტიანობის შეფასების ისეთი კრიტერიუმები, რომლებშიც გათვალისწინებული იქნება მათზე მოქმედი ყველა შესაძლო ფაქტორი და უზრუნველყოფილი იქნება ელექტროენერჯიის ისეთი დამაგროვებლების შერჩევა, რომელთა ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასია-

თებლები სრულად დააკმაყოფილებს ტექნიკურ მოთხოვნებსა და უზრუნველყოფს ეკონომიკურ ეფექტიანობას. ამ ამოცანის გადაჭრას სრულყოფილად პასუხობს [11] დამაგროვებელი სისტემების გამოყენების ეფექტიანობის შეფასება წმინდა დისკონტირებული შემოსავლის მაქსიმუმის კრიტერიუმით, რომელიც იძლევა საშუალებას ობიექტურად შეფასდეს ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემის დანერგვისთვის გაწეული ხარჯები და მისგან მიღებული ეფექტი.

ზოგადად ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების დანერგვის ეფექტიანობა შეიძლება შეფასდეს შემდეგი ფორმულით: [12]

$$\sum_{m=1}^t \frac{1}{(1+E_{mi})} (P_{mi} - 3m_i) \cdot A_{mi} > 0 \rightarrow \max \quad (1)$$

სადაც

$P_m$  არის შედეგები,  $m$  ბიჯზე, ათასი ლარი წელიწადში;

$3_m$  – დანახარჯები,  $m$  ბიჯზე, ათასი ლარი წელიწადში;

$m$  – ბიჯის ნომერი, წელიწადი;

$\alpha_m$  – დისკონტირების კოეფიციენტი, რომელიც ტოლია  $\frac{1}{(1+E_{mi})}$ ;

$E_{mi}$  – დისკონტის ნორმა;

$K_m$  – ინვესტიციის მოცულობა, ათასი ლარი წელიწადში.

ქარის ელექტროსადგურებში ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების დანერგვის ეფექტიანობის შეფასების შედარებითი ანალიზი შეიძლება განხორციელდეს სამი ვარიანტით. I ვარიანტი, როდესაც ქარის ელექტროსადგურის მშენებლობა და მისი ექსპლუატაცია ხორციელდება ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების გარეშე. II ვარიანტი,

როდესაც ქარის ელექტროსადგურებში ხდება დამაგროვებლის დანერგვა, რაც განაპირობებს გამომუშავებული ელექტროენერჯიის ზრდასა და ნაზრდი ელექტროენერჯია გამოყენებულია ოპტიმალურ რეჟერვად. III ვარიანტი, როდესაც ქარის ელექტროსადგურებში ხდება ელექტროენერჯიის დამაგროვებლის დანერგვა და გამომუშავებული ელექტრო-

ენერჯია სრულად გამოიყენება ოპერატიულ რეჟერვში.

I ვარიანტისთვის ქარის ენერჯიის გამოყენების ეფექტიანობაზე მოქმედი ყველა შესაძლო ფაქტორის გათვალისწინებით ქარის ელექტროსადგურის ეკონომიკური ეფექტიანობა შეიძლება შეფასდეს შემდეგი ფორმულით:

$$\sum_{m=1}^t \text{წდშ} = \frac{\sum_{m=1}^t (W_i * T + C K m + Z k m + D R m - C m - H m - B K m - D m - J m i)}{(1 + E m) t} \quad (2)$$

II ვარიანტისთვის ქარის ელექტროსადგურში დამაგროვებლების დანერგვის ეფექტიანობის შეფასების გამოსახულებას ექნება სახე:

$$\sum_{m=1}^t \text{წდშ} = \frac{\sum_{m=1}^t (W_i * T + \Delta W * T_{რეზ} + C K m i + Z k m + D R m - C m - H m - B K m - D m - J m i)}{(1 + E m) t} \quad (3)$$

III ვარიანტისთვის ქარის ელექტროენერჯიის სადგურებში ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების დანერგვის ეფექტიანობა გამოითვლება ფორმულით:

$$\sum_{m=1}^t \text{წდშ} = \frac{\sum_{m=1}^t (W_i + \Delta W) * T_{რეზ} + C K m i + Z k m + D R m - C m - H m - B K m - D m - J m i)}{(1 + E m) t} \quad (4)$$

სადაც

$C_m$  არის საექსპლუატაციო ხარჯები, ათასი ლარი წელიწადში;

$H_m$  – გადასახადები, სადაც შედის ქონების გადასახადი, მოგების გადასახადი, გარემოს დაცვის გადასახადი, ათასი ლარი წელიწადში;

$BK_m$  – სესხის გადასახადები, ათასი ლარი წელიწადში;

$D_m$  – დივიდენდების მოცულობა, ათასი ლარი წელიწადში;

$t$  – დამაგროვებელი სისტემის ექსპლუატაციის ვადა, წელიწადი;

$W_{im}$  – ქარის ელექტროსადგურის მიერ გამომუშავებული ელექტროენერჯიის მოცულობა  $m$  ბიჯზე (მლნ. კვტ. სთ);

$T$  – ელექტროენერჯიის ტარიფი (თეთრი/კვტ. სთ);

$T_{რეზ}$  – სარეზერვო ელექტროენერჯიის ტარიფი (თეთრი/კვტ. სთ);

$A_{mi}$  – ქარის ელექტროსადგურის ძირითადი ფონდების საამორტიზაციო ანარიცხები, მოცემულია  $m$  ბიჯზე, ათასი ლარი წელიწადში;

$K_i$  – ქარის ელექტროსადგურის მშენებლობაში განხორციელებული საინვესტიციო ხარჯები, ათასი ლარი;

$CK_m$  – მოზიდული საკუთარი კაპიტალი, ათასი ლარი წელიწადში;

$ZK_m$  – მოზიდული ნასესხები კაპიტალი, ათასი ლარი წელიწადში;

$DR_m$  – შემოსავლები არაკომერციული საქმიანობიდან, ათასი ლარი წელიწადში;

$J_{mi}$  – ინვესტიციების შემოსავლიანობა, რომელიც გამოითვლება შემდეგი ფორმულით [12]:

$$I_{mi} = (PHK_i - BHK_i) * ND + (SHMH_i - BH + JOK_i) * HD_i \quad (5)$$

სადაც

$PHK_i$  არის ინვესტირებული კაპიტალი რეგულირების გრძელვადიანი პერიოდის დაწყებამდე  $i$  წლისთვის (ლარი);

$BHK_i$  – რეგულირების გრძელვადიანი პერიოდის დაწყებამდე ინვესტირებული კაპიტალის დაბრუნება დაგროვებული რეგულირების დაწყებიდან  $i$  წლამდე (ლარი);

$ND$  – ინვესტირებულ კაპიტალზე შემოსავლიანობის ნორმა დადგენილი მარეგულირებელი ორგანოს მიერ გრძელვადიანი რეგულირების  $i$  წლისთვის;

$HD_i$  – რეგულირების პერიოდში ინვესტირებული კაპიტალის შემოსავლიანობის ნორმა;

$SHMH_i$  – დანახარჯების ჯამი, გათვალისწინებული რეგულირების გრძელვადიანი პერიოდისთვის მარეგულირებელი ორგანოს მიერ დამტკიცებულ საინვესტიციო პროგრამაში, დაწყებული 1-0 წლიდან დამთავრებული 1-1 წლისთვის.

წმინდა დისკონტირებული შემოსავლის განსაზღვრისთვის აუცილებელია ქარის ელექტროსადგურში განსათავსებლად, ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლებით ყველაზე ეფექტური ელექტროენერჯის დამაგროვებელი ტიპების შერჩევა.

კვლევამ აჩვენა, რომ ბოლო წლებში ამ მიმართუ-

ლებით მნიშვნელოვანი შედეგებია მიღწეული. შექმნილია მსხვილი სხვადასხვა სიმძლავრის ელექტროენერჯის დამაგროვებლები, გაუმჯობესებულია ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები, გაფართოებულია გამოყენების არეალი. ყოველწლიურად კლებით ხასიათდება წარმოების ღირებულება და იზრდება ეფექტიანობა. განვითარებულ ქვეყნებში მიღწეული შედეგებისა და საქართველოში ელექტროენერჯის წარმოების სეზონურობისა და ქარის სიჩქარის გათვალისწინებით, შერჩეულია ელექტროენერჯის დამაგროვებლების ხუთი სხვადასხვა ტიპი. მათი შედარებითი ანალიზისთვის ელექტროენერჯის დამაგროვებლების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები შეტანილია მე-2 ცხრილში.

მე-2 ცხრილში მოცემული ელექტროენერჯის დამაგროვებელი ტიპების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების შედარებითი ანალიზით გამოირკვა, რომ მოცემული ელექტროენერჯის დამაგროვებელი ტიპებიდან, როგორც ტექნიკური, ისე ეკონომიკური მაჩვენებლებით ქარის მცირე ელექტროსადგურებში დასანერგად ყველაზე ეფექტურია ლითიუმის ტიპის ელექტროენერჯის დამაგროვებლის გამოყენება. ამ ტიპის დამაგროვებლის საინვესტიციო ღირებულება 2020 წელს შეადგენდა 385\$-ს და 2030 წლისთვის 270\$-მდე შემცირდება [4]. ასევე საკმაოდ ეფექტურია მისი სისტემასთან ინტეგრაცია და სრული დატვირთვით სისტემისთვის მიწოდების დრო, რომელიც მერყეობს 1-დან 4 წმ-მდე. მცირეა საექსპლუატაციო ხარჯები. 2020 წლის მონაცემებით საექსპლუატაციო ფიქსირებული ხარჯი წელიწადში 1 კვტ-ზე 3.79\$-ს შეადგენს, ხოლო ცვლადი ხარჯი – 0.5125\$-ს 1 მგვტს-ზე [8].

დამაგროვებელი ტიპების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები

	პარამეტრი	განზომილება	ნატრიუმ-გოგირდის ბატარეა		ლითიუმ-იონის ბატარეა		ტყვიის მუჯავა		ნატრიუმ ლითონის ჰალიდი		თუთია-ჰიბრიდული კათოდი	
			2020	2030	2020	2030	2020	2030	2020	2030	2020	2030
ექსპლუატაციაში შესასვლელი ხარჯები	შენახვის ბლოკი	\$/კვტსთ	661	465	165	99	260	220	700	482	265	192
	სასისტემო ბალანსი	\$/კვტსთ	100	95	38	27	100	95	100	95	150	91
	აღჭურვილობა	\$/კვტ	133	127	63	54	176	167	115	110	173	164
	კონტროლი და კომუნიკაცია	\$/კვტ	7	6	2	1	4	3	5	4	4	3
	სისტემასთან ინტეგრაცია	\$/კვტსთ	100	95	44	31	62	54	59	53	55	47
	შესყიდვები, ინჟინერია და მშენებლობა	\$/კვტსთ	64	61	53	43	54	50	53	48	51	46
	პროექტის განვითარება	\$/კვტსთ	102	97	63	52	84	81	82	77	81	75
	ქსელში ინტეგრაცია	\$/კვტ	48	45	20	16	27	26	26	24	25	23
	მილიანი ღირებულება (მშენებლობა და ექსპლუატაციაში შესვლა)	\$/კვტ	3626	2674	1541	1081	2194	1854	3710	2674	2202	1730
	მილიანი ღირებულება (მშენებლობა და ექსპლუატაციაში შესვლა)	\$/კვტსთ	907	669	385	270	549	464	928	669	551	433
	საოპერაციო ხარჯები	ფიქსირებული	\$/კვტ - წელი	11.5	10.3	3.79	3.1	7.61	6.98	7.87	7.11	6.67
ცვალებადი		\$/მგვტსთ	1.12		0.5125		0.99		1.1		0.87	
სასისტემო დანაკარგი		\$/კვტსთ	0.032	0.03	0.005	0.004	0.03	0.024	0.031	0.027	0.03	0.026
აღწერა	ეფექტიანობა	%	75%	76%	86%	88%	78%	79%	79%	81%	79%	82%
	რეაგირების დრო	წმ	11-13		1-4		9-11		10-11		8-9	
	ციკლის სიცოცხლის ხანგრძლივობა	#	1200	1250	2000	2100	1350	1470	1390	1510	1415	1550
	ხანგრძლივობა	წელი	10		10		10		10		10	
	საშუალო ხანგრძლივობა	წელი	3.5	3.6	5.77	6.06	3.89	4.24	4.01	4.356	4.082	4.472

ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემის გამოყენების ეფექტიანობის შეფასების ოპტიმალური ეკონომეტრიკული მოდელი აპრობირებულია საქართველოში მოქმედ გორის ქარის ელექტროსადგურის მაგალითზე. ამ მიზნით შესწავლილია მითითებული ელექტროსადგურის ექსპლუატაციის რეჟიმები, დადგენილია ელექტროენერჯიის წლიური გამომუშავების მოცულობა, შეფასებულია

მისი ოპერატიულ რეზერვში გამოყენების პერსპექტივა, სეზონურობის თავისებურება, აღნიშნული მონაცემები შეტანილია მე-3 ცხრილში.

გორის ქარის ელექტროსადგურში ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების დანერგვის ეფექტიანობის შეფასებისთვის აუცილებელი საწყისი ინფორმაცია მოცემულია მე-4 ცხრილში.

ცხრილი 3

გორის ქარის ელექტროსადგურის ტექნიკური მაჩვენებლები

მლნ კვტ.სთ					ელექტროენერჯიის გამომუშავება მლნ. კვტ.სთ (წლებისა და თვეების მიხედვით) და შესაბამისი მახასიათებლები					
გორის ქარის სადგურის ექსპლუატაციის პერიოდი თვეების მიხედვით	2017	2018	2019	2020	ქარის რესურსის სრულად ათვისების დროს დამატებითი ელექტროენერჯიის დაახლოებითი გამომუშავებული რაოდენობა	%-ული სხვაობა ფაქტობრივ გამომუშავებასა და ქარის რესურსის სრულად ათვისების შემთხვევაში გამომუშავებას შორის	ქარის რესურსის სრულად ათვისების დროს ელ.ენერჯიის დაახლოებით გამომუშავებული რაოდენობა	მარგი ექვდების კოეფიციენტი	სიმძლავრე	წლის სეზონურობა %
I	6,540	7,123	5,828	7,706	855	11.1%	8,561	0.49	20.70	91%
II	5,818	6,220	7,371	6,622	743	11.2%	7,365			
III	8,934	7,048	8,229	5,162	331	6.4%	5,493			
IV	9,413	9,365	6,814	9,317	859	9.2%	10,176			
V	7,910	5,173	6,069	2,436	182	7.5%	2,618			
VI	8,762	5,145	5,472	1,528	197	12.9%	1,725			
VII	7,315	8,050	8,946	8,785	587	6.7%	9,372			
VIII	8,421	7,568	8,281	6,715	370	5.5%	7,085			
IX	6,848	8,099	9,386	9,350	435	4.7%	9,785			
X	6,893	7,198	7,475	7,503	950	12.7%	8,453			
XI	5,074	6,748	8,685	8,422	690	8.2%	9,112			
XII	5,793	6,453	7,093	7,113	976	13.7%	8,089			
Σ	87,72	84,19	89,65	80,66	7,377	9.1%	88,036			



გორის ქარის ელექტროსადგურში ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების დანერგვის ეფექტიანობის შეფასებისთვის აუცილებელი საწყისი ინფორმაცია

მაჩვენებლები	საანგარიშო პერიოდი									
	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
ძირითადი ფონდების საწყისი ღირებულება (მილიონი ლარი)	71.28									
ძირითადი ფონდების ნარჩენი ღირებულება (მილიონი ლარი)	65.58	60.33	55.50	51.06	46.98	43.22	39.76	36.58	33.66	30.96
სამორტიზაციო ანარიცხები (მილიონი ლარი წელიწადში)	5.70	5.25	4.83	4.44	4.09	3.76	3.46	3.18	2.93	2.69
შემოსავლები არაეკონომიკური საქმიანობიდან (მილიონი ლარი)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
სესხის გადასახადი (მილიონი ლარი)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ქარის ელექტროსადგურის დადგენილი ტარიფი (თეთრი/კვტ.სთ)	20.67	20.67	20.67	20.67	20.67	20.67	20.67	20.67	20.67	20.67
სარეზერვო ელექტროენერჯიის ტარიფი (თეთრი. კვტ/სთ)	22.67	22.67	22.67	22.67	22.67	22.67	22.67	22.67	22.67	22.67
ქარის სადგურის მიერ საშუალო წლიური გამომუშავება (მილიონი კვტ.სთ)	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84
დამაგროვებლის დანერგვის შედეგად ქარის სადგურის მიერ გამომუშავებული ელექტროენერჯიის ყოველწლიური ზრდა (მილიონი კვტ.სთ)	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4
ინვესტიციების შემოსავლიანობა (მილიონი ლარი წელიწადში)	14.26	11.98	10.06	8.45	7.10	5.96	5.01	4.21	3.53	2.97
გორის სადგურის ინვესტიციის შემოსავლიანობის %-ულობა	16%	16%	16%	16%	16%	16%	16%	16%	16%	16%

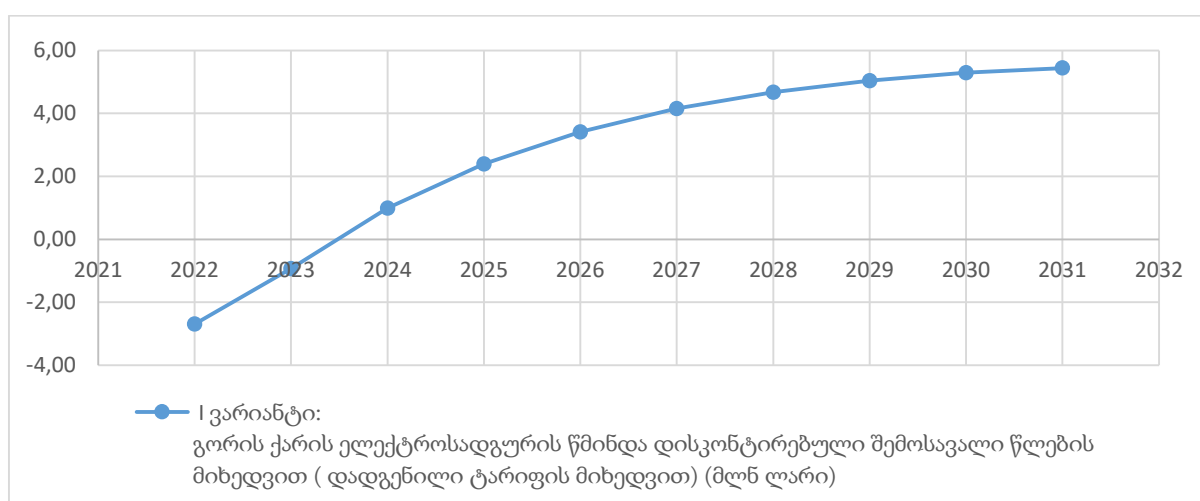
საოპერაციო ხარჯები (მილიონი ლარი)	0.3564	0.3564	0.3564	0.3564	0.3564	0.3564	0.3564	0.3564	0.3564	0.3564
საკუთარი კაპიტალი (მილიონი ლარი)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ნასესხები კაპიტალი (მილიონი ლარი)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
დივიდენდები (მილიონი ლარი)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
გადასახადები (მილიონი ლარი)		0.90	0.83	0.77	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50	0.46
ძირითადი ფონდების საწყისი ღირებულება დამაგროვებლის ჩათვლით (მილიონი ლარი)	74.48									
ძირითადი ფონდის ნარჩენი ღირებულება დამაგროვებლის ჩათვლით (მილიონი ლარი)	68.52	63.04	58.00	53.36	49.09	45.16	41.55	38.22	35.17	32.35
სამორტიზაციო ანარიცხები დამაგროვებლის ჩათვლით (მილიონი ლარი წელიწადში)	5.96	5.48	5.04	4.64	4.27	3.93	3.61	3.32	3.06	2.81
ინვესტიციების შემოსავლიანობა დამაგროვებლის ჩათვლით (მილიონი ლარი წელიწადში)	14.77	12.41	10.42	8.75	7.35	6.18	5.19	4.36	3.66	3.07
საოპერაციო ხარჯები დამაგროვებლის ჩათვლით (მილიონი ლარი წელიწადში)	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
გადასახადები დამაგროვებლის ჩათვლით (მილიონი ლარი წელიწადში)		0.995	0.916	0.843	0.775	0.713	0.656	0.604	0.555	0.511

მე-4 ცხრილში მოცემული საწყისი ინფორმაციითა და მე-2, მე-3, მე-4 ფორმულებით განისაზღვრა გორის ქარის ელექტროსადგურში ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების დანერგვის ეფექტიანობა. ან-

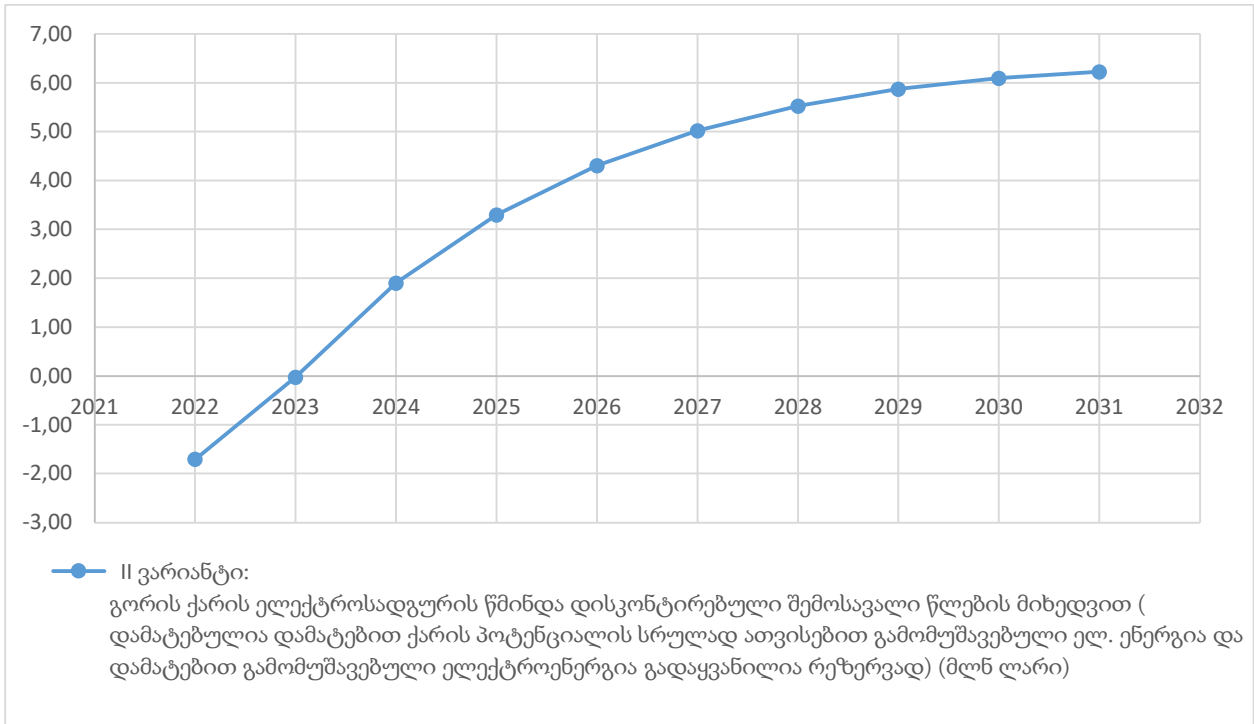
გარიშის შედეგები ასახულია მე-5 ცხრილში, ხოლო გრაფიკის სახით ნაჩვენებია 1-ელ, მე-2, მე-3 სურეზზე.

გორის ქარის ელექტროსადგურში ელექტროენერჯიის დამაგროვებლის დანერგვის  
ეფექტიანობის შეფასების შედეგები

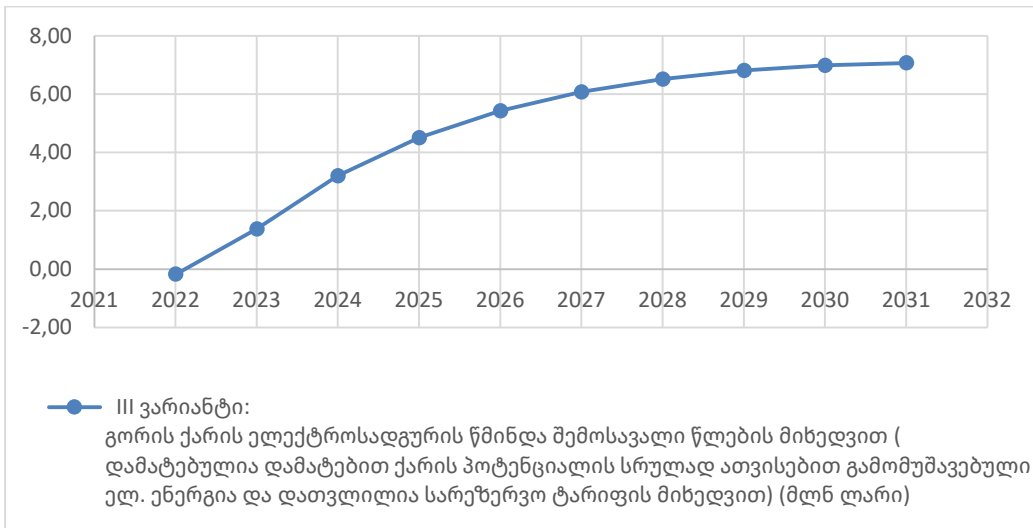
პერიოდი	I ვარიანტი: გორის ქარის ელექტროსადგურის წმინდა დისკონტირებული შემოსავალი წლების მიხედვით ( დადგენილი ტარიფის მიხედვით) (მლნ ლარი)	II ვარიანტი: გორის ქარის ელექტროსადგურის წმინდა დისკონტირებული შემოსავალი წლების მიხედვით (დამატებულია დამატებით ქარის პოტენციალის სრულად ათვისებით გამომუშავებული ელ. ენერჯია და დამატებით გამომუშავებული ელექტროენერჯიის რეზერვად გამოყენების პირობებში) (მლნ ლარი)	III ვარიანტი: გორის ქარის ელექტროსადგურის წმინდა შემოსავალი წლების მიხედვით (დამატებულია დამატებით ქარის პოტენციალის სრულად ათვისებით გამომუშავებული ელ. ენერჯია და დათვლილია სარეზერვო ტარიფის მიხედვით) (მლნ ლარი)
2022	-2.68	-1.70	-0.18
2023	-0.93	-0.02	1.38
2024	0.99	1.90	3.20
2025	2.39	3.30	4.50
2026	3.41	4.31	5.43
2027	4.15	5.02	6.07
2028	4.67	5.53	6.52
2029	5.04	5.87	6.80
2030	5.28	6.09	6.98
2031	5.44	6.23	7.07



სურ. 1. წდშ-ის ცვალებადობის დინამიკა, I ვარიანტი



სურ. 2. წდშ-ის ცვალებადობის დინამიკა, II ვარიანტი



სურ. 3. წდშ-ის ცვალებადობის დინამიკა, III ვარიანტი

პირველ ცხრილში მოყვანილი მონაცემების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ საქართველოში ქარის ენერჯიით ელექტროენერჯიის წარმოების სიმძლავრის

პოტენციალი შეადგენს 1450 მგვტ-ს, ელექტროენერჯიის წარმოება 4160 მლნ კვტ.სთ-ს. მსოფლიოში ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების გამოყენების

არსებული პრაქტიკით [7] დგინდება, რომ 20 მგვტ სიმძლავრეზე საქართველოს პირობებისთვის საკმარისია 5 მგვტ სიმძლავრის ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი. შესაბამისად, საქართველოში ქარის ენერჯეტიკაში საჭირო იქნება 363 მგვტ სიმძლავრის ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების გამოყენება. დამაგროვებლების ფასების კლების გათვალისწინებით, ქარის ელექტროსადგურებში ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების სრულად დანერგვას არსებული დოლარის კურსის გათვალისწინებით დასჭირდება 293 მლნ ლარი. მარტივი გათვლებითაც ირკვევა, რომ ამ ღონისძიების გატარებით მნიშვნელოვნად ამალდება საქართველოში ელექტროენერჯიის წარმოებისა და მოხმარების ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტიანობა. მოყვანილი ანალიზი მიუთითებს იმაზე, რომ საქართველოში ქარის ელექტროსადგურებში უპირობოდ უნდა იყოს დანერგილი ელექტროენერჯიის დამაგროვებლები.

### დასკვნა

1. საქართველოში ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების ქარის ენერჯეტიკაში დანერგვის აპრობაციის მიზნით გორის ქარის ელექტროსადგურის მაგალითზე შედარებითი ანალიზით შერჩეულია დამაგროვებლის სიმძლავრე, ელექტროტევადობა და განსაზღვრულია საინვესტიციო კაპიტალის მოცულობა. მოძიებულია ეფექტიანობაზე მოქმედი ფაქტორების შესახებ სტატისტიკური ინფორმაცია.
2. ელექტროენერჯეტიკაში ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების დანერგვის ეფექტიანობის შეფასების მსოფლიო პრაქტიკის სიღრმისეული მეც-

ნიერული ანალიზის, პრობლემების გადაწყვეტისადმი კომპლექსური მიდგომისა და ეფექტიანობაზე მოქმედი ყველა შესაძლო ფაქტორის გათვალისწინებით შემუშავებულია ქარის ელექტროსადგურებში ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების გამოყენების ეფექტიანობის შეფასების ოპტიმალური ეკონომეტრიკული მოდელი. აღნიშნული მოდელით დამაგროვებლების დანერგვის შეფასება საშუალებას იძლევა მეცნიერულად დადგინდეს ეფექტიანობა და ოპტიმალურად განისაზღვროს მათი ქარის ენერჯეტიკაში დანერგვის პერსპექტივები.

3. ქარის ელექტროსადგურებში ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების დანერგვის ეფექტიანობის შეფასების ეკონომეტრიკული მოდელი აპრობირებულია გორის ქარის ელექტროსადგურის მაგალითზე. ჩატარებული ანგარიშებით დადგენილია, რომ აღნიშნულ სადგურში ელექტროენერჯიის დამაგროვებლის დანერგვა 10%-ით ზრდის ელექტროენერჯიის წარმოებას, ეკონომიკურად ეფექტიანია, აუმჯობესებს ელექტროენერჯიის ხარისხს, საშუალებას იძლევა შეფერხების გარეშე სისტემას მიაწოდოს ხარისხიანი ელექტროენერჯია და გამოყენებული იყოს სისტემის ოპერატიულ რეზერვში.
4. შეფასებულია საქართველოს ქარის ენერჯეტიკაში ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების გამოყენების ეფექტიანობა და მისი განვითარების პერსპექტივა, რაც თავისთავად განაპირობებს ქარის ელექტროენერჯეტიკაში ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების თანამედროვე სისტემების გამოყენების საყოველთაოდ დანერგვის აუცილებლობას.

## ლიტერატურა

1. Energy Institute. (2020). Energy storage. Retrieved from: <https://energy.hse.ru/accenergy> (In Russian).
2. Merus Power. (n.d). Merus Energy Storage System (ESS). Retrieved from: [https://www.merupower.fi/products/ess/?ppc\\_keyword=energy%20storage%20companies&gclid=Cj0KCQjw19GCBhDvARIsAFunhsksfQjirXHnENus1UNiGPyNGgb\\_jfAh5V4zFCvPp7MFaWORVcQcg\\_oaAu\\_CEALw\\_wcB](https://www.merupower.fi/products/ess/?ppc_keyword=energy%20storage%20companies&gclid=Cj0KCQjw19GCBhDvARIsAFunhsksfQjirXHnENus1UNiGPyNGgb_jfAh5V4zFCvPp7MFaWORVcQcg_oaAu_CEALw_wcB)
1. Merus Power. (2018). Energy storage system. (In English). Retrieved from: [https://www.merupower.fi/wp-content/uploads/2018/04/MP\\_Brochure\\_ESS\\_EN.pdf](https://www.merupower.fi/wp-content/uploads/2018/04/MP_Brochure_ESS_EN.pdf)
2. Wheeler, A., McKenna, B., Madell, D., Harrison, J., Prebble, K. et al. (2015). Energy storage system. (In English).
3. World Nuclear Association. (2021). Electricity and Energy Storage. Retrieved from: <https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/electricity-and-energy-storage.aspx>
4. Grid energy storage (2021). Retrieved from: [https://en.m.wikipedia.org/wiki/Grid\\_energy\\_storage](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Grid_energy_storage)
5. IRENA. (2020). Renewable Power Generation Costs in 2019. Retrieved from: [https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019?fbclid=IwAR1LhdmcJfDdHMDg4W\\_5XSJ30kblJpNvpYQVQFi01ftYbY5ho8-4DuB5us8](https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019?fbclid=IwAR1LhdmcJfDdHMDg4W_5XSJ30kblJpNvpYQVQFi01ftYbY5ho8-4DuB5us8)
6. Gustavsson, J. (2016). Energy Storage Technology Comparison. Retrieved from: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:953046/FULLTEXT01.pdf>
7. List of energy storage power plants. (2021). Retrieved from: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_energy\\_storage\\_power\\_plants](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_energy_storage_power_plants)
8. Commercial electricity system operator. Energy balance 2010-2020 , <https://esco.ge/ka/kvalifitsiuri-satsarmoebi/small-power-plants>
9. Pumer, M. N., Kasatov, A. A., Matuenko, N. N. (2007). Economic price. (In Russian);
10. Dobrynin, E. V., Krylov, A. N., Batishchev, A. M. (2022). Assessment of the efficiency of use of energy storage devices. (In Russian); <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-ispolzovaniya-nakopiteley-energii/viewer>
11. Geostat. (2021). Energy Balance of Georgia. (In Georgian); <https://www.geostat.ge/ka/single-categories/118/sakartvelos-energetikuli-balansi>
12. Georgian State Electric System. (2021). Ten-Year Transmission Network Development Plan of Georgia. (In Georgian). <https://www.gse.com.ge/proektebi/sakartvelos-gadamcemi-qselis-ganvitarebis-antsliani-gegma>

UDC 620.9

SCOPUS CODE 2102

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2022-2-66-80>

## Development and Approbation of an Optimal Econometric Model for Assessing the Efficiency of the Use of Energy Storage Devices in Wind Energy in Georgia

**Giorgi Ghudumidze** Department of Electric Power and Electromechanics, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 75, M. Kostava str.

E-mail: g.gudumidze95@gmail.com

**David Japaridze** Department of Electric Power and Electromechanics, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 75, M. Kostava str.

E-mail: gjaparidze.d55@gmail.com

### Reviewers:

**T. Jishkariani**, Professor, Faculty of Energy, GTU

Email: tengish@yahoo.com

**T. Museliani**, Professor, Faculty of Energy, GTU

E-mail: museliani@yahoo.com

**Abstract.** Based on the study of the world practice on methods for determining the efficiency of the introduction of electricity storage systems in electricity and a scientific approach to the problem, a complex econometric model for evaluating the efficiency of the use of electricity accumulators in wind energy has been developed. The possibility of generating electricity using the wind energy in Georgia has been assessed, the prospects for its introduction have been defined. The optimal econometric model for assessing the efficiency of the introduction of electricity collectors in wind farms is tested on the example of the wind power plant in Gori. Studies conducted at this power plant have established the high efficiency of the introduction of energy storage devices.

**Keywords:** analysis; econometric model; efficiency; electricity energy storage; prospects; wind farms.

*განხილვის თარიღი 26.03.2022*

*შემოსვლის თარიღი 29.03.2022*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 06.06.2022*