

მზის ენერგიის გამოყენების პოტენციური საქართველოს მოსახლეობის ცხელწყალმომარაგებისთვის. თანამედროვე ჰელიოსისტემების სქემები და კლასიფიკაცია

საქართველოს ინჟინერ-ენერგეტიკოსთა ასოციაცია

**თ.მიქიაშვილი, თ.ჯიშპარიანი, ბ.არაბიძე,
ო.პილურაძე, ბ.ჩხაიძე, რ.პანდელაკი**

მოცემულია თანამედროვე ჰელიოსისტემების თბური (ტექნოლოგიური) სქემების სისტემატიზაციის, ჰელიოდანადგარების კლასიფიკაციისა და შედარებითი დაზასიათების შედეგები. შეფასებულია ცხელწყალმომარაგებისთვის საჭირო ენერგიის დანახარჯები საქართველოს საყოფაცხოვრებო სექტორში და ამ მიზნით ჰელიოსისტემების გამოყენების ეფექტურობა. ნაჩვენებია საქართველოს მოსახლეობის მიერ ცხელწყალმომარაგებისთვის მოხმარებული ენერგიის სტრუქტურა და მისი გარდაქმნის ეკოლოგიური მაჩვენებლები, რომლებიც მიღებულია საექსპერტო შეფასებებით, გარკვეული დაშვებების საფუძველზე. შეფასებულია დანახარჯები, რომლებიც შესაძლებელია მიღწეულ იქნეს საყოფაცხოვრებო სექტორში ცხელწყალმომარაგების არსებული საშუალებების ჩანაცვლებისას მზის ენერგიით და გაანალიზებულია ჰელიოდანადგარების საინვესტიციო ეფექტურობა ასეთი ჩანაცვლების პირობებში. მოცემულია ადგილობრივ და მსოფლიო ბაზარზე წყალგამაცხელებელი ჰელიოსისტემების ფასები. მოყვანილია საქართველოში ერთი საშუალო სტატისტიკური (4-სულიანი) ოჯახისთვის საჭირო ჰელიოდანადგარის მთავარი კვანძის – მზის კოლექტორის შთანთქმის ზედაპირის ფართობისა და ცხელი წყლის ავზის ტევადობის შეფასების გამარტივებული მეთოდიკა.

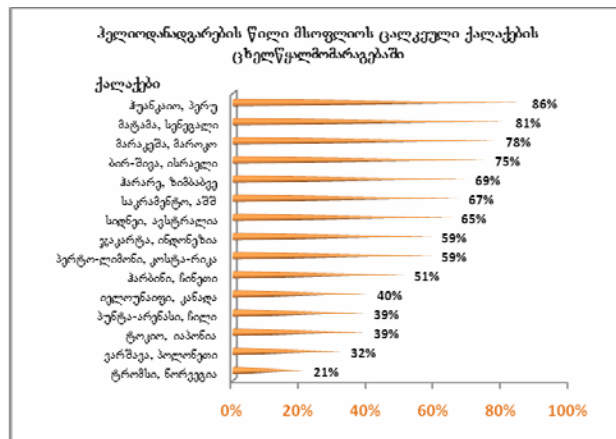
საკვანძო სიტყვები: ცხელწყალმომარაგება; ჰელიოსისტემების სქემები; მზის კოლექტორი; ინსოლაცია; თბოგადაცემა; წყლის ავზი.

1. შესავალი.

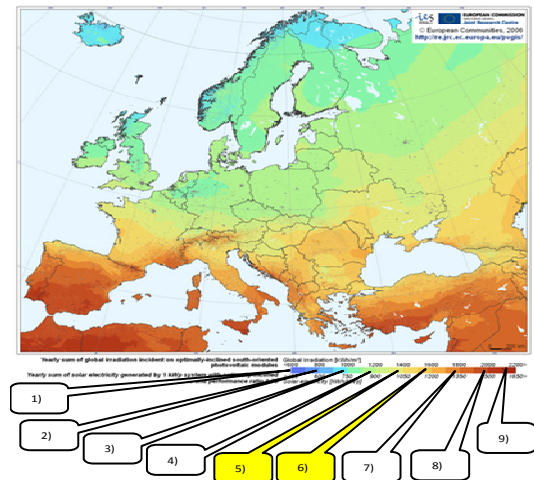
ენერგიის განახლებადი რესურსების გამოყენება მიმდინარე ეტაპზე წარმოადგენს აქტუალურ ამოცანას, როგორც ენერგეტიკული მრეწველობის, ისე საყოფაცხოვრებო სექტორისთვის. “განახლებადი ენერგეტიკული ტექნოლოგიები” ფართოდ ინერგება ადამიანის საქმიანობის მრავალ სფეროში. ხშირად ასეთ ტექნოლოგიებს არატრადიციულსაც უწოდებენ, თუმცა მათი უმეტესობა ემყარება სწორედ რომ ყველაზე ტრადიციულ და გამოყენების უძველესი ისტორიის მქონე ენერგიის წყაროს – მზის ენერგიას.

მზის ენერგიის გამოყენება საყოფაცხოვრებო მიზნებისთვის განსაკუთრებით აქტუალური და ეფექტურია მრავალ ქვეყანაში. მაგალითისთვის ნახ. 1-ზე ნაჩვენებია ჰელიოდანადგარების წილი მსოფლიოს ცალკეული ქალაქების ცხელწყალმომარაგებაში¹. როგორც ნახ.2-დან ჩანს, საქართველო მდებარეობს საკმაოდ მაღალი ინსოლაციის 5) და 6) ზონაში (1200-1400 კვტ*სთ/(მ²*წ)), რაც ქმნის ქვეყანაში მზის ენერგიის მაღალი ეფექტურობით გამოყენების პირობებს. ასეთი პირობების რეალიზებისთვის საჭიროა წინასწარი შეფასებები და ანალიზი.

¹ www.retscreen.net



ნახ. 1. პელიოდანადგარების წილი მსოფლიოს ცალკეული ქალაქების ცხელწყალმომარაგებაში



ნახ. 2 ინსოლაცია ევრაზიის კონტინენტის სხვადასხვა ზონაში, კვტ*სთ/(მ²*წ):
1)-600,-400; 2)- 600-800; 3)- 750-1000; 4)- 800-1200 5)- 1200-1400 6)- 1300-1400 7)-1350-1800 8)- 1500-2000 9)- 1150-2200

კვლევითი სამუშაოები მზის ენერგიის გამოსაყენებელი პოტენციალის შესასწავლად საქართველოში ჩატარდა წინა წლებში სხვადასხვა პროექტის ფარგლებში². მიუხედავად ამისა, პელიოდანადგარების ტექნოლოგიებისა და მზის კოლექტორების ტექნიკის სწრაფი ტემპებით განვითარება, ასევე მათი შესასყიდი ფასების მკვეთრი ცვლა მოითხოვს შეფასებითი სამუშაოების პერიოდულ განახლებას.

2. სამუშაოს მიზანი.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, ავტორთა მიზანია მოიყვანონ სისტემაში მსოფლიო ბაზარზე არსებული პელიოსისტემების თბური სქემები და ჩაატარონ დანადგარების კლასიფიკაცია სხვადასხვა ნიშნის მიხედვით. მეორეს მხრივ კი, შეაფასონ საქართველოში მოსახლეობის ცხელწყალმომარაგებისთვის საჭირო ენერგიის დანახარჯები და განსაზღვრონ ამ მიზნით პელიოსისტემების გამოყენების ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტურობა.

3. გათბობა-ცხელწყალმომარაგების პელიოსისტემები. მათი

კლასიფიკაცია, სქემები და ელემენტები.

განსაზღვრებები.

ინსოლაცია - დედამიწის ჰორიზონტალური ზედაპირის ერთეულზე ფართობზე მოსული მზის გამოსხივების სიმძლავრე [კვტ/მ²,ჯ/(მ²*წმ), კვტ*სთ/(მ²*დ-ლ), კვტ*სთ/(მ²*წ)].

პელიოსისტემა - პელიოდანადგარის და გათბობა-ცხელწყალმომარაგების კონტურის ერთობლიობა (ნახ. 3).

პელიოსისტემის დანიშნულებაა დედამიწაზე მოსული მზის გამოსხივების გარდაქმნა ტექნოლოგიურ სითბურ ენერგიად.

² a) Least Cost Plan for Energy Sector. Georgia, 1998, Burns and Roe, ICF Kaiser, American Electric Power, Harza Engineering Company, Center for Energy Efficiency

b) In-depth Review of Energy Efficiency Policies and Programmes of The Republic of Georgia/Energy Charter Protocol on Energy Efficiency and Related Environmental Aspects (PEEREA)/ENERGY CHARTER SECRETARIAT, 2006

c) USAID/WINROCK/World Experience for Georgia/Under Sub-Agreement 5708-07-04/ "Renewable Energy Potential in Georgia and the Policy Options for Its Utilization".2008

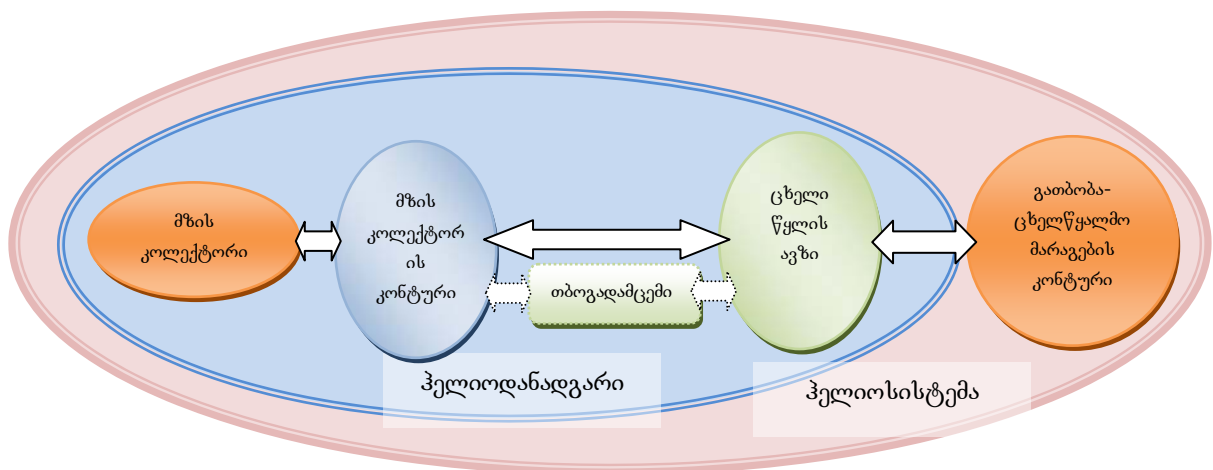
ჰელიოდანადგარი - ჰელიოსისტემის შემადგენელი ნაწილი, რომელიც აერთიანებს მზის კოლექტორს, მზის კოლექტორის კონტურს, ცხელი წყლის ავზს და ხშირ შემთხვევებში თბოგადამცემს კოლექტორის კონტურს და ცხელი წყლის ავზს შორის (ნახ. 3).

გათბობა-ცხელწყალმომარაგების ჰელიოსისტემების კლასიფიკაცია.

გათბობა-ცხელწყალმომარაგების ჰელიოსისტემების კლასიფიცირება შესაძლებელია შემდეგი ნიშნების მიხედვით:

- მზის ენერგიის გამოყენების ხერხი;
- ჰელიოსისტემის დანიშნულება;
- მუშაობის ხანგრძლივობა;
- სქემის ტექნიკური გადაწყვეტა;
- მზის კოლექტორის კონტურში გამოყენებული თბოგადამტანის ტიპი და ცირკულაციის ხერხი;
- მომხმარებლისთვის განკუთვნილი ცხელი წყლის და სითბოს გაცემის ხერხი.

მზის ენერგიის გამოყენების ხერხის მიხედვით არსებობს მაღალტემპერატურული და დაბალტემპერატურული ჰელიოსისტემები. **მაღალტემპერატურული** ჰელიოსისტემები აღჭურვილია პარაბოლურ-სარკეებიანი ან სხვა ტიპის კონცენტრატორებიანი მზის კოლექტორებით. მათ იყენებენ მაღალი პარამეტრების ორთქლის მისაღებად ჰელიოელექტროსადგურებში, წყლის გამტკნარების დანადგარებში და სხვ. **დაბალტემპერატურული** ჰელიოსისტემები გამოიყენება გათბობის, ცხელწყალმომარაგების, ვენტილაცია-კონდიციონირების საყოფაცხოვრებო და სითბოსიცივით მომარაგების ინდუსტრიულ სისტემებში. დაბალტემპერატურული ჰელიოსისტემები, თავის მხრივ, იყოფა პასიურ და აქტიურ სისტემებად. **პასიურია** სისტემა, რომელშიც მზის გამოსხივების მიმღებ და სითბოში გარდაქმნის ელემენტს წარმოადგენს საკუთრივ შენობა ან მისი ცალკეული ელემენტი – კედელი, გადახურვა და სხვ. **აქტიურია** სისტემა, რომელშიც მზის გამოსხივების მიმღებ და სითბოში გარდაქმნის ელემენტს წარმოადგენს ჰელიოდანადგარი.



ნახ. 3. გათბობა-ცხელწყალმომარაგების ჰელიოსისტემის კვანძები და მათი ურთიერთქმედების ბლოკ-სქემა

დანაშნულების მიხედვით არსებობს მხოლოდ ცხელწყალმომარაგების, გათბობა-ცხელწყალმომარაგებისა და სხვა გამოყენების ჰელიოსისტემები. გათბობა-ცხელწყალმომარაგების ჰელიოსისტემები უპირატესად არის ორ – და მეტკონტურიანი. ამასთან, სხვადასხვა კონტურებში შესაძლებელია გამოყენებული იყოს სხვადასხვა ტიპის თბოგადამტანი. სხვა გამოყენების, ანუ კომბინირებული ჰელიოსისტემები გათვალისწინებულია ძირითადად თბოსიცივით მომარაგებისთვის მთელი წლის განმავლობაში.

მუშაობის ხანგრძლივობის მიხედვით განასხვავებენ სადღელამისო და სეზონური მოქმედების ჰელიოსისტემებს. სადღელამისო სისტემები, როგორც წესი, მუშაობენ მთელი წლის განმავლობაში წყალსათბობ ან გათბობის ქვებთან კომბინაციაში. სეზონური მოქმედების ჰელიოსისტემები გამოიყენება უპირატესად ცხელწყალმომარაგებისთვის ზაფხულის თვეებში და გარდამავალ სეზონზე, გარემოს დადებითი ტემპერატურების დროს.

სქემის ტექნიკური გადაწყვეტის მიხედვით არსებობს ერთკონტურიანი, ორკონტურიანი და მრავალკონტურიანი ჰელიოსისტემები.

მზის კოლექტორის კონტურში გამოყენებული თბოგადამტანის მიხედვით ჰელიოსისტემები იყოფა თხევად და აირად თბოგადამტანიან სისტემებად. თხევად თბოგადამტანიან სისტემებში გამოიყენება ანტიფრიზის წყალხსნარი, წყალი, ასევე სხვადასხვა სახის ზეთები. აირად თბოგადამტანიან სისტემებში ძირითადად გამოიყენება ჰაერი.

მზის კოლექტორის კონტურში თბოგადამტანის ცირკულაციის ხერხის მიხედვით არსებობს პასიური, ანუ ბუნებრივი ცირკულაციით მომუშავე, და აქტიური, ანუ იძულებითი ცირკულაციით მომუშავე ჰელიო-სისტემები. განსხვავებით აქტიური სისტემებისგან, პასიური ჰელიოსისტემების კოლექტორების კონტურში არ გამოიყენება ტუმბოები და ვენტილატორები. აქ თბოგადამტანი ცირკულირებს ბუნებრივი გრავიტაციის ძალების ზემოქმედებით.

მომხმარებლისთვის განკუთვნილი ცხელი წყლისა და სითბოს გაცემის ხერხის მიხედვით არსებობს ღია, ანუ პირდაპირი და ჩაკეტილი, ანუ არაპირდაპირი ჰელიოსისტემები. ღია, ანუ პირდაპირ ჰელიოსისტემებში, მომხმარებელი მოიხმარს იმ წყალს, რომელიც ცირკულირებს მზის კოლექტორის კონტურში. წყლის დანაკლისი კონტურში კომპენსირდება საკვები წყლის დამატებით, რაც ხდება განუწყვეტლივ, წყლის მოხმარების პარალელურად. ჩაკეტილი, ანუ არაპირდაპირ ჰელიოსისტემებში მზის კოლექტორის კონტური წარმოადგენს იზოლირებულ კვანძს, “საკუთარი” თბოგადამტანით, რომელიც მომხმარებლისთვის განკუთვნილი წყლის კონტურს უკავშირდება მხოლოდ რეკუპერაციული თბოგადამცემით (თბოგადამცემით, რომელშიც შესათბობი და შემთბობი მუშა სხეულები ერთმანეთს არ ერევა, არამედ გამიჯნულია ხურების ზედაპირებით). თავის მხრივ, ჩაკეტილი სისტემები იყოფა მაღალი და ატმოსფერული წნევის სისტემებად. მაღალი წნევის (ანუ დაწნევით მომუშავე) სისტემებისთვის კოლექტორის კონტურში გამოიყენება ანტიფრიზის წყალხსნარები ან ზეთები, რომლებიც შესაძლებელია მუშაობდეს როგორც იძულებითი, ისე ბუნებრივი ცირკულაციით. ატმოსფერული წნევის ჰელიოსისტემების კოლექტორის კონტურში კი იყენებენ წყალს. კონტური აღჭურვილია ცხელი წყლის ავზით, რომელიც იმავდროულად წარმოადგენს სადრენაჟე ავზს. ამ ავზის მოცულობა საკმარისია კოლექტორის კონტურის წყლის შესანახად. ასეთი სისტემების თავისებურებაა ის, რომ წყლის გაყინვის თავიდან ასაცილებლად უარყოფითი ტემპერატურების დროს კოლექტორის კონტურს ცლიან აღნიშნულ ავზში, რომლის ზედაპირებიც დაფარულია თბური იზოლაციით.

თვალსაჩინოებისთვის ნახ. 4-ზე ნაჩვენებია გათბობა-ცხელწყალმომარაგების ჰელიოსისტემების კლასიფიკაციის სქემა.

ნახ. 5-10-ზე ნაჩვენებია თანამედროვე ჰელიოსისტემების პრინციპული თბური სქემები. სქემების შედგენა-სისტემატიზაცია შესრულდა ჩვენს მიერ სხვადასხვა პუბლიკაციების ანალიზის, ადგილობრივ ბაზარზე არსებული მოწყობილობების შესწავლის და “განახლებადი ენერგეტიკის პროექტების” განხორციელების საკუთარი გამოცდილების საფუძველზე³.

³ a) USAID/WINROCK/World Experience for Georgia/Under Sub-Agreement 5708-07-04/ “Renewable Energy Potential in Georgia and the Policy Options for Its Utilization”.2008

ჰელიოსისტემების ზოგადი დახასიათება

ექსპლუატაციის ეფექტურობის თვალსაზრისით, მსგავსი ნიშნებით ჯგუფდება ანტიფრიზის წყალხსნარზე (გლიკოლზე) მომუშავე წნევითი სისტემები (კლასიფიკატორი: 6.2, 7.2.1, ნახ.: 6 ა,ბ,გ; 7 გ; 9 ა,ბ; 11) და წყალზე მომუშავე ატმოსფერული (დასაცლელი) სისტემები თბოგადამტანის ბუნებრივი და იძულებითი ცირკულაციით (კლასიფიკატორი: 6.2, 7.2.2, ნახ. 5,ა,ბ, ნახ.10; კლასიფიკატორი: 6.1, 7.1, ნახ. 7,ა; კლასიფიკატორი: 6.1, 7.2.2, ნახ. 7,ბ; კლასიფიკატორი: 6.2, 7.1, ნახ. 8).

ანტიფრიზის წყალხსნარზე (გლიკოლზე) მომუშავე წნევითი სისტემები.

ასეთ სისტემებს იყენებენ იქ, სადაც წყლის ხარისხი არ არის დამაკმაყოფილებელი ან იქმნება წყლის გაყინვის საშიშროება ღამის პერიოდში (მზის კოლექტორის კონტურში).

სისტემის უპირატესობებია:

- მზის კოლექტორის კონტურში გამოიყენება ანტიფრიზის წყალხსნარი, რითაც ის დაცულია გაყინვისგან;
- კოლექტორის კონტურში მუდმივად არის თბოგადამტანი; ის ყოველთვის მზადაა მუშაობისთვის და შეუძლია შეათბოს წყალი ზამთრის მზიან ამინდშიც;
- თბოგადამტანის (ანტიფრიზის წყალხსნარის) ცირკულაცია კოლექტორის კონტურში ხდება იძულებით, ტუმბოს გამოყენებით. ამიტომ არ აქვს არსებითი მნიშვნელობა მილსადენების დახრის და მოღუნვის კუთხეების სიზუსტეს და რაოდენობას. შესაბამისად სისტემა მარტივად მონტაჟდება ყველა ტიპის შენობაზე.

სისტემის ნაკლოვანებებია ის, რომ:

- ანტიფრიზის წყალხსნარის გამოყენებისას თბოგადაცემის ეფექტურობა ნაკლებია, ვიდრე წყლის გამოყენების დროს; თანაბარი ეფექტურობის პირობებში ანტიფრიზიანი სისტემები არის უფრო ძვირი, ვიდრე წყლიანი სისტემები;
- ანტიფრიზის ხარისხის ხანგრძლივი შენარჩუნებისთვის საჭიროა სისტემის პერიოდული პროფილაქტიკური მომსახურება;
- ცხელი წყლის მოხმარების შეწყვეტისას წყდება ანტიფრიზის ცირკულაცია კოლექტორის კონტურში, რასაც ხშირად მოჰყვება ტემპერატურისა და წნევის გადიდება დასაშვებზე მაღალ მნიშვნელობებამდე. ამ დროს სისტემის დაზიანების (გარღვევის) თავიდან ასაცილებლად იღება მცველი სარქველი და “ზედმეტი” ანტიფრიზი გამოიღვენება ატმოსფეროში. ეს, ერთის მხრივ, იწვევს ატმოსფეროს დაბინძურებას, და მეორეს მხრივ, სისტემის შევსების საჭიროებას. ამასთან, აუცილებელი ხდება გარემოსთვის უსაფრთხო ძვირადღირებული ანტიფრიზების გამოყენება.

წყალზე მომუშავე ატმოსფერული (დასაცლელი) სისტემები თბოგადამტანის ბუნებრივი და იძულებითი ცირკულაციით**სისტემის უპირატესობებია ის, რომ:**

- კოლექტორის კონტურში თბოგადამტანად გამოყენებულია წყალი, რომელიც გამოირჩევა მდგრადი ქიმიური სტრუქტურით და რომლის თბოტექნიკური თვისებები უკეთესია ანტიფრიზების თვისებებთან შედარებით;
- ზამთრის პერიოდში, როდესაც სისტემა არ მუშაობს, მზის კოლექტორის კონტური იცლება წყლისგან. შესაბამისად, სისტემა საიმედოდ არის დაცული გაყინვისგან. ასევე, არ არსებობს კონტურში წნევისა და ტემპერატურის გადიდებისა და სისტემის დაზიანების (რღვევის) საშიშროება ზამთრის მზიან ამინდებში.

b) Dr. K.Kushashvili. Solar Hot Water and Heating Systems. “Therma.LTD”. Tbilisi, 2009.

c) Artificial Intelligence in Energy and Renewable Energy Systems/Soteris Karogirou/Nova Science Publishers, Inc. New-York, ISBN 1-60021-261-1, 2006, 471 p.

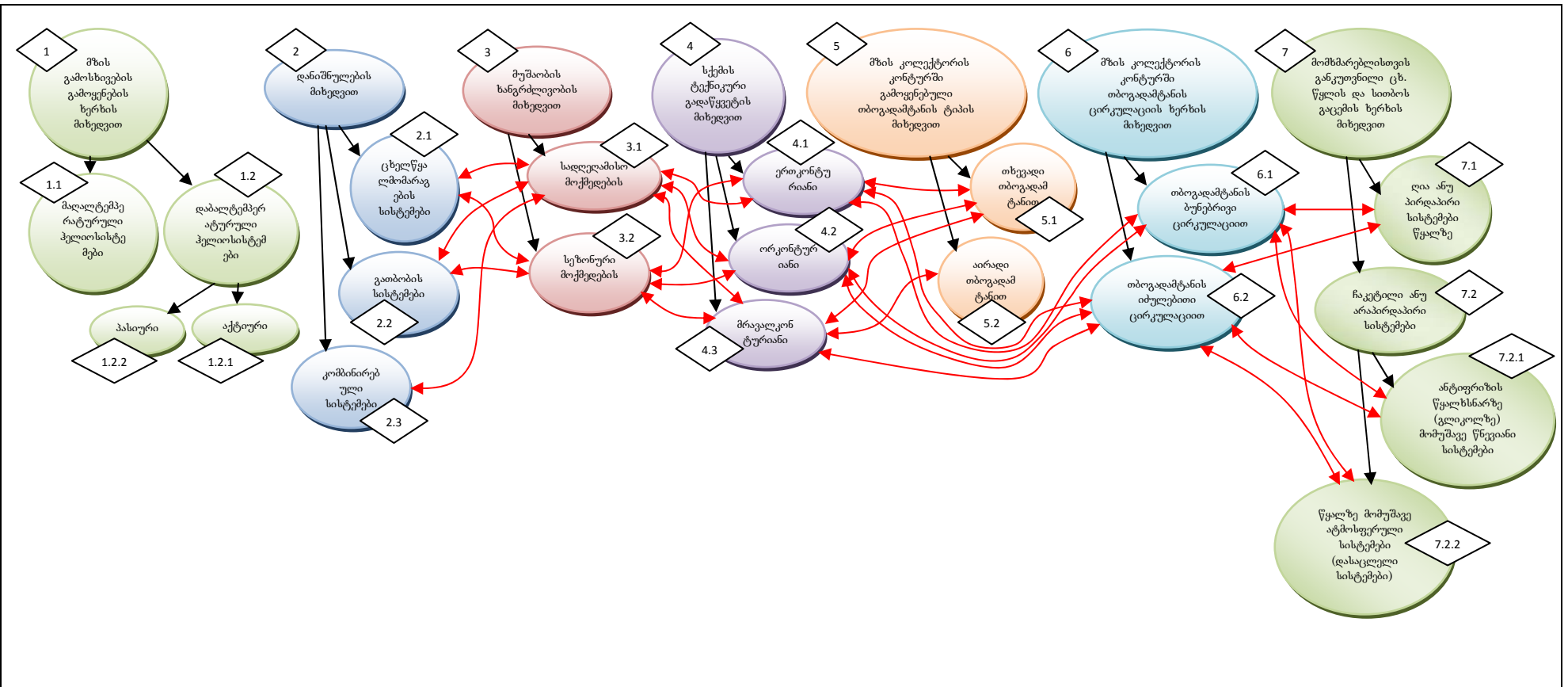
d) “Johnson Controls”, Renewable Energy Solution Presentation. Wisconsin, USA, 2009.

e) Federal Energy Management Program. Current Application and Research in Photovoltaic Technology of Buildings. 2009.

f) Ю.А.Табунщиков. Научные основы проектирования энергоэффективных зданий. АВОК6.№1/1998

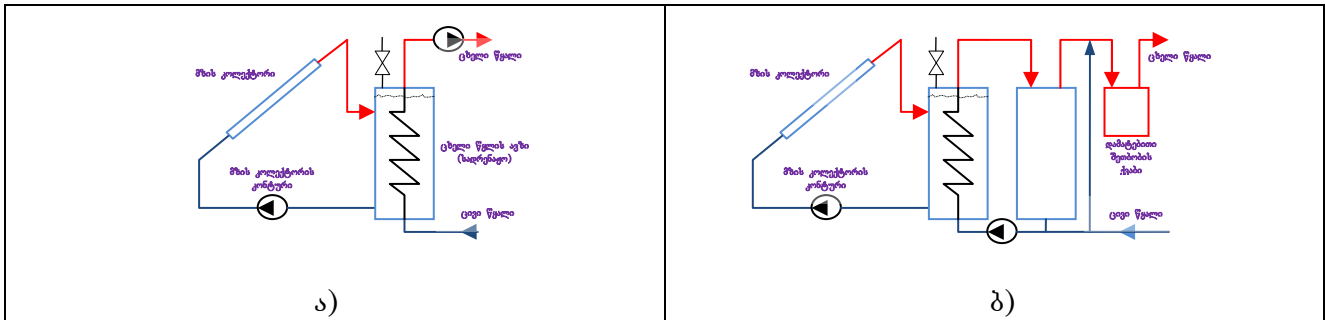
სისტემის ნაკლოვანებებია ის, რომ:

- როდესაც კონტური დაცლილია, არ ხდება კოლექტორის კვანძების გაგრილება და არსებობს მათი გადახურების საშიშროება მზის სხივების ზემოქმედებით;
- ბუნებრივი ცირკულაციით მომუშავე სისტემების დამონტაჟებისას აუცილებელია ღონეთა სხვაობის შენარჩუნება ცხელი წყლის ავზსა და მზის კოლექტორებს შორის, რაც ყოველთვის არ არის შესაძლებელი შენობის კონსტრუქციის შეზღუდულობის გამო; აუცილებელია მილგაყვანილობის ზუსტი კოორდინირება (დახრილობების ზუსტი შესრულება და სადრენაჟე წერტილების ზუსტი განთავსება), რათა უზრუნველყოფილი იქნეს სისტემის სრული დაცლა;
- წყლისაგან ზამთრის პერიოდში, რაც ასევე ვერ ხერხდება ზოგიერთ შემთხვევაში. სათანადო ინფორმირების პირობებში, ვფიქრობთ, ჰელიოსისტემების თბური სქემების სისტემატიზაციისა და კლასიფიკაციის ზემოთ მოყვანილი შედეგები სასარგებლო იქნება ფართო მომხმარებლისთვის (კერძო პირები, სასტუმროებისა და კემპინგების მეპატრონეები, კვებისა და სპორტულ-გამაჯანსაღებელი ობიექტები, ბავშვთა სკოლამდელი აღზრდის დაწესებულებები, ჰოსპიტლები და ამბულატორიები, სამრეწველო ობიექტები, საპროექტო და სამშენებლო ორგანიზაციები, ჰელიოსისტემების გაყიდვით დაინტერესებული დილერები, ინჟინრები და სხვ.), რათა მათ სწორად შეირჩიონ სისტემის კომპლექტაცია და ზომები გამოყენების მოსალოდნელი პირობების გათვალისწინებით.



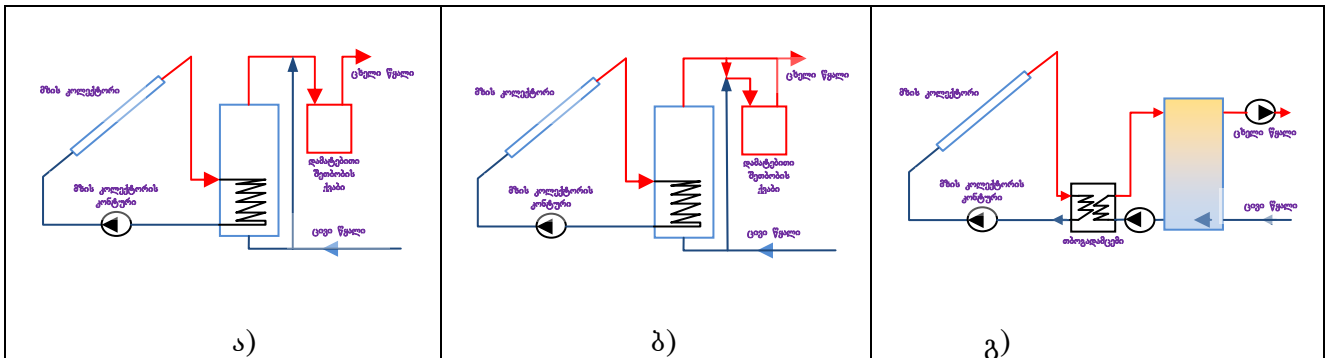
ნახ. 4. გათბობა-ცხელწყალმომარაგების პელიოსისტემების კლასიფიკაცია:

1 1.1 - კლასიფიკატორები



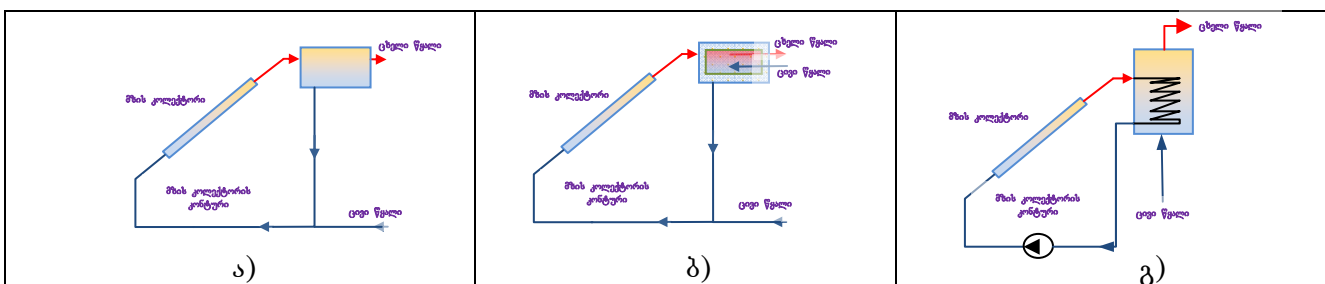
ნახ. 5. ცხელწყალმომარაგების ატმოსფერული/დასაცლელი ჰელიოსისტემები:

- ა) მაღალი ინსულაციის კლიმატური პირობებისთვის (კლასიფიკატორები: 1.2.1, 2.1, 3.2, 4.2, 5.1, 6.2, 7.2.2);
 ბ) დაბალი ინსულაციის კლიმატური პირობებისთვის; ცხელი წყლის მუდმივი დამატებითი შეთბობით (კლასიფიკატორები: 1.2.1, 2.1, 3.1, 4.2, 5.1, 6.2, 7.2.2)



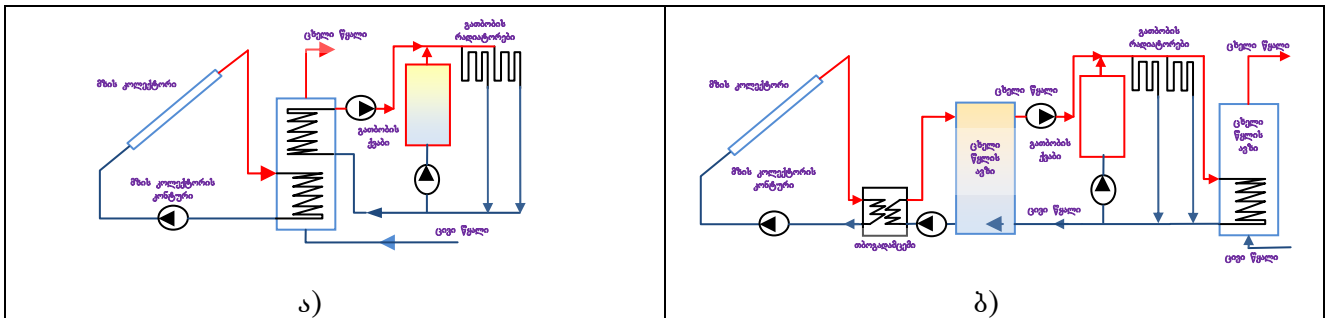
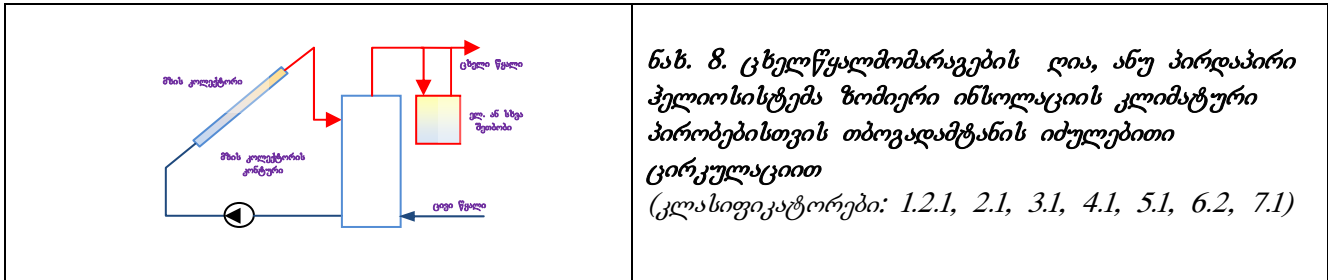
ნახ. 6. ცხელწყალმომარაგების მაღალი წნევის ჰელიოსისტემები:

- ა) დაბალი ინსულაციის კლიმატური პირობებისთვის; ცხელი წყლის მუდმივი დამატებითი შეთბობით (კლასიფიკატორები: 1.2.1, 2.1, 3.1, 4.2, 5.1, 6.2, 7.2.1);
 ბ) ზომიერი ინსულაციის კლიმატური პირობებისთვის; ცხელი წყლის პერიოდული შეთბობით (კლასიფიკატორები: 1.2.1, 2.1, 3.1, 4.2, 5.1, 6.2, 7.2.1);
 გ) მაღალი ინსულაციის კლიმატური პირობებისთვის (კლასიფიკატორები: 1.2.1, 2.1, 3.2, 4.2, 5.1, 6.2, 7.2.1)



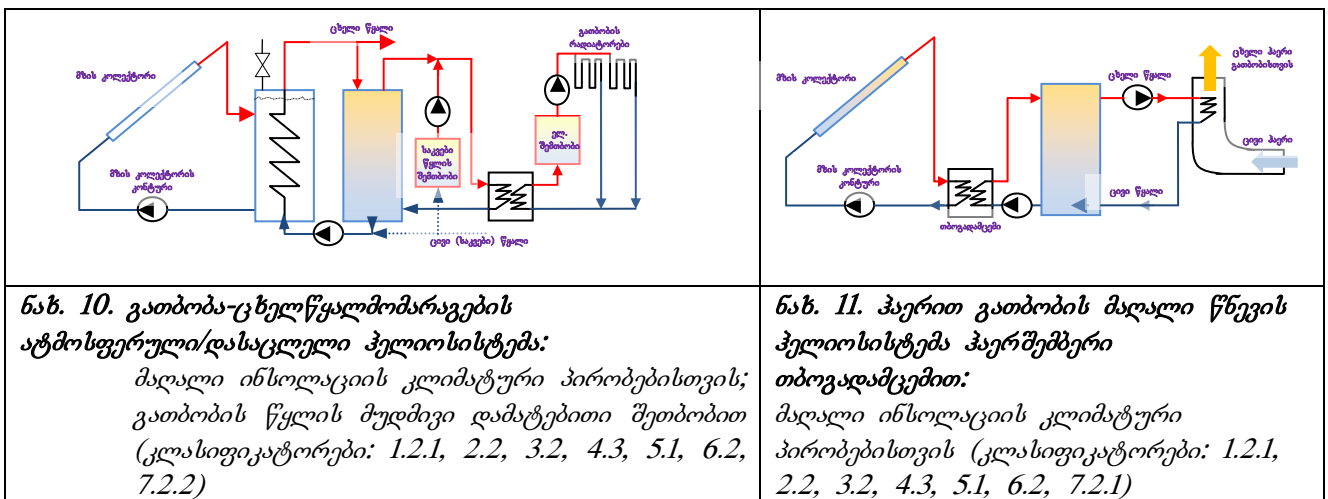
ნახ. 7. ცხელწყალმომარაგების ჰელიოსისტემები მაღალი ინსულაციის კლიმატური პირობებისთვის თბოგადამტანის ბუნებრივი და იძულებითი ცირკულაციით:

- ა) ღია ანუ პირდაპირი სისტემა (კლასიფიკატორები: 1.2.1, 2.1, 3.2, 4.1, 5.1, 6.1, 7.1);
 ბ) ჩაკეტილი, ანუ არაპირდაპირი სისტემა (კლასიფიკატორები: 1.2.1, 2.1, 3.2, 4.2, 5.1, 6.1, 7.2.2);
 გ) ჩაკეტილი, ანუ არაპირდაპირი სისტემა მაღალი ინსულაციის კლიმატური პირობებისთვის ავზში ჩაყენებული თბოგადამცემი მილების კონით (კლასიფიკატორები: 1.2.1, 2.1, 3.2, 4.2, 5.1, 6.2, 7.2.1)



ნახ. 9. გათბობა-ცხელწყალმომარაგების მაღალი წნევის ჰელიოსისტემები:

- ზომიერი და მაღალი ინსოლაციის კლიმატური პირობებისთვის; გათბობის წყლის პერიოდული დამატებითი შეთბობით; ცხელი წყლის ავზში ჩაყენებული თბოგადამცემი მილების კონით (კლასიფიკატორები: 1.2.1, 2.2, 3.2, 4.3, 5.1, 6.2, 7.2.1);
- დაბალი ინსოლაციის კლიმატური პირობებისთვის; გათბობის წყლის მუდმივი დამატებითი შეთბობით; განმხოლოებული თბოგადამცემით (კლასიფიკატორები: 1.2.1, 2.2, 3.1, 4.3, 5.1, 6.2, 7.2.1)



ენერგიის დანახარჯები საყოფაცხოვრებო ცხელწყალმომარაგებაზე.

ისევე, როგორც სხვა პოსტსოციალისტურ ქვეყნებში, საქართველოშიც არ არსებობს წყალმომარაგების ინდივიდუალური აღრიცხვა საყოფაცხოვრებო სექტორში. ამის გამო შეუძლებელია საყოფაცხოვრებო ცხელწყალმომარაგებისთვის საჭირო ენერგიის ზუსტი შეფასება. მიახლოებითი შეფასებისთვის კი შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს სხვა ქვეყნებში არსებული ცხელწყალმომარაგების ნორმები (ცხრ.1). ამ ცხრილის ბოლო სტრიქონსა და სვეტში მოყვანილია სიდიდეები საქართველოსთვის, რომლებიც მიღებულია გაანგარიშებით, შემდეგ პარაგრაფში მოცემული საანგარიშო სქემის და დაშვებების საფუძველზე.

ცხრილი 1. ცხელწყალმომხმარებლის ნორმები სხვადასხვა ქვეყანაში. წყლის გაცხელებისთვის საჭირო ენერგია

ქვეყნები	ცხელწყალმომხმარებლის ნორმა		წყლის გაცხელებისთვის საჭირო ენერგია, კვტ*სთ/(ოჯ*დ-დ)		
	ლ/(სული*დ-დ)	ლ/(ოჯ*დ-დ)	$t_1=5^{\circ}\text{C}$	$t_1=10^{\circ}\text{C}$	$t_1=15^{\circ}\text{C}$
აშშ, ^{ა)}	47	188	9	8	7
საბჭოთა ^{ბ)} , მინ.	80	320	15	13	11
მაქს.	130	520	24	21	18
ევროპის ^{გ)}	30	120	6	5	4
საქართველო ^{დ)}	30	120	6	5	4

წყაროები:

ა) "Johnson Controls", Renewable Energy Solution Presentation. Wisconsin, USA, 2009.

ბ) СНиП 11-36-93

გ) Artificial Intelligence in Energy and Renewable Energy Systems/Soteris

Karogirou/Nova Science Publishers, Inc. New-York, ISBN 1-60021-261-1, 2006, 471 p.

დ) USAID/WINROCK/World Experience for Georgia/Under Sub-Agreement 5708-07-04/ "Renewable Energy Potential in Georgia and the Policy Options for Its Utilization".2008

წყლის გაცხელებისთვის საჭირო ენერგია.

წყლის გაცხელებისთვის საჭირო ენერგიის გაანგარიშება, რომლის შედეგები მოცემულია ცხრ. 1-ში ჩატარდა ჩანართ 1-ში ნაჩვენები სქემის მიხედვით.

ჩანართი 1. წყლის გაცხელებისთვის საჭირო ენერგიის გაანგარიშების სქემა

სქემა:

აღნიშვნები:

G - ცხელწყალმომხმარებლის ნორმა, ლ/(ოჯ*დ-დ);

t_1 - ცივი (საკვები) წყლის ტემპერატურა, $^{\circ}\text{C}$

G_2 - გაცხელებული წყლის ხარჯი, ლ/(ოჯ*დ-დ)

t_2 - გაცხელებული წყლის ტემპერატურა, $^{\circ}\text{C}$

G_1 - შეზავებული (ცივი) წყლის ხარჯი, ლ/(ოჯ*დ-დ)

t_3 - შეზავებული (საბოლოო მოხმარების) წყლის ტემპერატურა, $^{\circ}\text{C}$

C - წყლის კუთრი სითბოტევადობა, კჯ/(ლ* $^{\circ}\text{C}$);

დაშვებები:

$t_1 = 5/10/15, ^{\circ}\text{C}$

$t_3 = 45, ^{\circ}\text{C}$

$C = 4.2, \text{კჯ}/(\text{ლ}^{\circ}\text{C})$

განტოლებები:

მატერიალური ბალანსი:

$$G = G_1 + G_2 \text{ ----- (1)}$$

სითბური ბალანსი:

$$Gct_3 = G_1ct_1 + G_2ct_2 \text{ ----- (2)}$$

წყლის გაცხელებისთვის საჭირო ენერგიის საანგარიშო ფორმულა:

$$Q = G_2c(t_2 - t_1) + Gc(t_3 - t_1) \text{ -----(3)}$$

ცხელწყალმომხმარებლის სიდიდე, რომელიც საქართველოსთვის შეადგენს დაახლოებით 30 ლ 1 სულზე დღე-ღამის განმავლობაში, მიღებულია შეფასებით პროექტის: USAID/WINROCK/World Experience for Georgia/Under Sub-Agreement 5708-07-04/ "Renewable Energy Potential in Georgia and the Policy Options for Its Utilization".2008 ფარგლებში. ამ დროს ჩატარებული კვლევა ერთ-ერთ საკითხად ითვალისწინებდა ცხელწყალმომხმარებლის შეფასებას თბილისის მრავალბინიან შენობებში მცხოვრებ მოსახლეობაში. დაკვირვება ჩატარდა 10 ოჯახზე, რომელთა სულადობა იცვლებოდა 4-დან 5-მდე. სოციალურად ისინი წარმოადგენდნენ მოსამსახურეთა ოჯახებს, რომელშიც შედიოდნენ მშობლები და 2-3 სკოლის ასაკის ბავშვი. ცხელწყალმომხმარებლისთვის ოჯახები იყენებდნენ ერთნაირ 1.5 კვტ სიმძლავრის და 80 ლ ტევადობის ელექტროწყალგამაცხელებელ ავზებს. გამოკვლევამ გვიჩვენა, რომ ოჯახების მიერ ცხელი წყლის მოხმარება ზაფხულის სამი, ყველაზე ცხელი თვის

(იენისი, ივლისი, აგვისტო) განმავლობაში, შეადგენდა დაახლოებით 50 ლ/(სული*დ-ლ)-ს, ხოლო წლის დანარჩენ 9 თვეში - დაახლოებით 20 ლ/(სული*დ-ლ). ამასთან, ზაფხულში წყლის გაცხელება ხდებოდა 15^0 -დან 39^0C -მდე, ხოლო დანარჩენ პერიოდში, - 10^0 -დან 45^0C -მდე. ელექტროგამაცხელებლების უწყვეტი მუშაობის ჯამური ხანგრძლივობა, როგორც ეს შეფასებებმა გვიჩვენა, ზაფხულში (3 თვეში) შეადგენდა 370-400 სთ-ს, ხოლო დანარჩენ პერიოდში - 670-800 სთ-ს. შესაბამისად, მათი ტექნიკური გამოყენების კოეფიციენტი არ აღემატებოდა $(400\text{სთ}+800\text{სთ})/8760 \text{ სთ}=14\%$, ხოლო ცხელი წყლის და მის გაცხელებაზე დახარჯული ენერგიის სადღეღამისო მოხმარების საშუალო წლიური სიდიდეები, შესაბამისად, იყო 30 ლ/(სული*დ-ლ) და 4-5 კვტ*სთ/(ოჯ*დ-ლ). შეფასებებში არ იყო გათვალისწინებული სითბოს დანაკარგები წყალგამაცხელებელი ავზის გარე ზედაპირებიდან, თუმცა, მათი ტემპერატურა პრაქტიკულად არ განსხვავდებოდა სათავის ჰაერის ტემპერატურისგან, რაც მიუთითებდა ამ დანაკარგების უმნიშვნელობაზე.

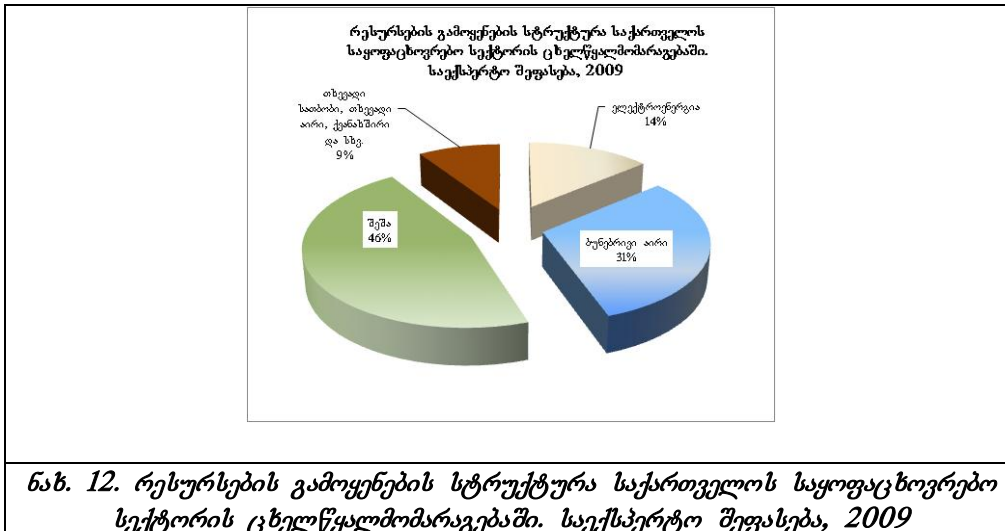
საბოლოოდ შეიძლება ითქვას, რომ ცხრ.1-ში მოყვანილი მაჩვენებლები კარგად შეესაბამება ერთმანეთს. გამონაკლისს წარმოადგენს მხოლოდ საბჭოთა ნორმები. მონაცემები საქართველოსთვისა და ევროპის ქვეყნებისთვის პრაქტიკულად ერთნაირია.

შემდგომ ანალიზში, იმ მოსაზრებიდან გამომდინარე, რომ საქართველოსთვის მიღებული მონაცემები არ ითვალისწინებდა ცხელი წყლის დანახარჯებს სამზარეულოში, უმჯობესია მივიღოთ აშშ-ის ნორმები: ცხელწყალმოხმარებისთვის - 47 ლ/(სული* დ-ლ); წყლის გაცხელებისთვის - 8 კვტ*სთ/ (ოჯ*დ-ლ).

ცხელწყალმომარაგების ენერგოდანახარჯები.

ცხელწყალმომარაგების ენერგოდანახარჯები - ენერგია, რომელსაც მოიხმარს წყალგამაცხელებელი მოწყობილობა, წყლის გაცხელებისთვის საჭირო ენერგიას აღემატება დანაკარგებით, რომელიც თან ახლავს წყალზე ენერგიის გადაცემის პროცესს. შეფასებებში ეს დანაკარგები გათვალისწინებული იქნება წყალგამაცხელებელი მოწყობილობების მ.ქ. კოეფიციენტებით. როდესაც ცნობილია მოწყობილობის ტიპი, მისი მ.ქ. კოეფიციენტის ცოდნა სრულიად საკმარისია იმისათვის, რომ მისაღები სიზუსტით განისაზღვროს ცხელწყალმომარაგების ენერგოდანახარჯები კონკრეტული მომხმარებლისთვის. გაცილებით რთულია ცხელწყალმომარაგების ენერგოდანახარჯების შეფასება საქართველოს მასშტაბით, რამდენადაც არ არსებობს სტატისტიკური მონაცემები მოსახლეობაში გამოყენებული მოწყობილობების შესახებ. ასეთ პირობებში უნდა შემოვიფარგლოთ მხოლოდ უხეში შეფასებებით, რომელიც გარკვეული რისკის ფასად შესაძლებელია დავამყაროთ წინა წლებში ჩატარებული კვლევის შედეგებს, მომდევნო წლების ტენდენციებს და სპეციალურად ამ სამუშაოსთვის ახლახან ჩატარებული შეზღუდული მოცულობის გამოკითხვებს. ამ გამოკითხვების შედეგად გამოირკვა, რომ არსებული წყალგამაცხელებელი მოწყობილობებიდან საქართველოში გავრცელებულია 50-200 ლ მოცულობის წყალგამაცხელებელი ავზები ელექტროენერგიაზე და პირდაპირდენითი წყალგამაცხელებლები ბუნებრივ აირზე (ე.წ. კალონკები). მოსახლეობა შედარებით იშვიათად იყენებს პირდაპირდენით ელექტროწყალგამაცხელებლებს (ე.წ. ატმორებს). საყოფაცხოვრებო სექტორში გარკვეული ადგილი უჭირავს გათბობა-ცხელწყალმომარაგების კომბინირებულ სისტემებს, სადაც გამოიყენება გათბობის კომპაქტური (15-35 კვტ სიმძლავრის) ქვაბები.

ნახ. 12-ზე ნაჩვენებია რესურსების გამოყენების შეფასებითი სტრუქტურა საქართველოს საყოფაცხოვრებო სექტორის ცხელწყალმომარაგებაში.



ცხრილი 2. ცხელწყალმომარაგების ენერგოდანახარჯების და ეკოლოგიური მაჩვენებლების შეფასებითი სიდიდეები საქართველოს საყოფაცხოვრებო სექტორისთვის

მოხმარებული	გაზიფიცირებული ოჯახი		არაგაზიფიცირებული ოჯახი			სულ, ოჯახი
	470,680		750,320			1,221,000
ცხელწყალმომარაგებისთვის იყენებს:	ბუნებრივი აირს ¹⁾ ოჯახების 80%	ელექტროენერგიას ²⁾ ოჯახების 20%	ელ.ენერგიას ²⁾ ოჯახების 10%	შემას ³⁾ ოჯახების 75%	სხვა რესურსს ოჯახების 15%	13,972,356
რესურსის მოხმარების ეფექტურობა	85%	95%	95%	50%	არ ეფასება	
წყლის გაცხელებისთვის საჭირო ენერგია, კტ*სთ/(ოჯ*დ-დ)	8	8	8	8	8	
ცხელწყალმომარაგების ენერგოდანახარჯი, კტ*სთ/დ-დ	3,543,944	792,724	631,848	9,003,840	არ ეფასება	
რესურსის მოხმარება, მ ³ /დ-დ	376,704 ბ. აირი	60,188 ბ. აირი	47,973 ბ. აირი	5,893 შემა	არ ეფასება	
ნახშირორთქლის გამოხლევა ⁴⁾ , კტCO ₂ /დ-დ	760,941	121,579	96,906	არ ეფასება	არ ეფასება	

1) ბუნებრივი აირის დაწვის უდაბლესი სითბო - 33 868 კვ/მ³; მისი შედგენილობა მოცულობით პროცენტებში:

CH₄-93.97%, C₂H₆-2.97%, C₃H₈-0.43%, C₄H₁₀-0.12%, C₅H₁₂-0.1%, N₂-1.78%, CO₂-0.62%, O₂-0.01%;

2) თბოქველქროსადგურების (თეს) წილი საქართველოში ელექტროენერგ. გამოშვ. ბალანსში - 20%; თესების საშ. შეწონილი მ.კ. 28%;

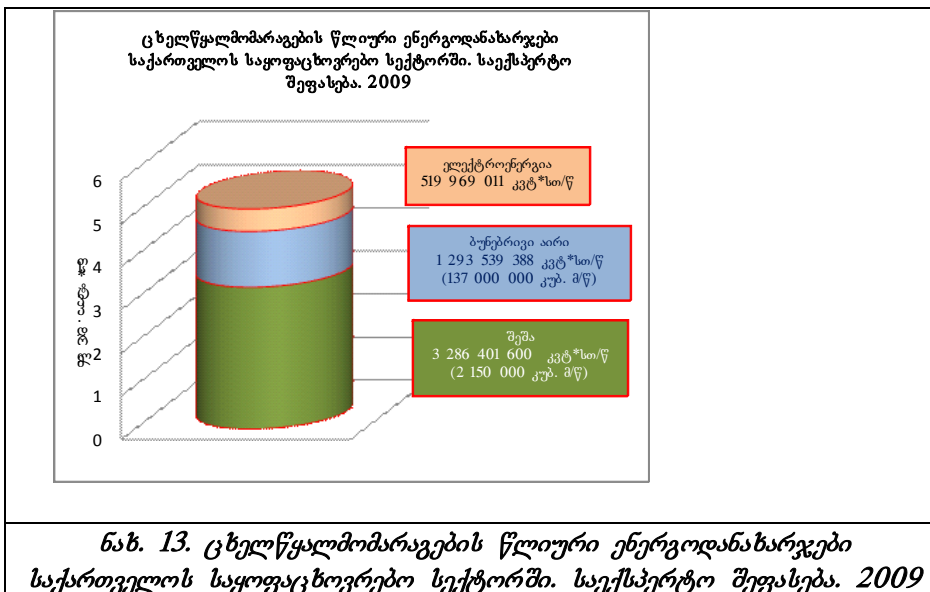
3) შეშის დაწვის უდაბლესი სითბო მდებარეობს 10000 კვ/კგ, სიმკვრივედ - 550 კვ/მ³;

4) იანგარიშება სტეჰომეტრული განტოლებით და ზემოთ მითითებული ბუნებრივი აირისთვის¹⁾ აირის: 2.02 კვCO₂/მ³ ბაირი.

ცხრ.2-ში მოცემულია ცხელწყალმომარაგების ენერგოდანახარჯების და ეკოლოგიური მაჩვენებლების სიდიდეები, რომლებიც მიღებულია შეფასებით, შემდეგი დაშვებების საფუძველზე: 1) გაზიფიცირებული ოჯახების 80% ცხელწყალმომარაგებისთვის იყენებს ბუნებრივ აირს, ხოლო 20% - ელექტროენერგიას. არაგაზიფიცირებულ ნაწილში კი წყლის გასაცხელებლად ელექტროენერგიას იყენებს ოჯახების 10%, თხევად სათბობს, თხევად აირს, ქვანახშირს და სხვა რესურსებს 15%, შემა - დაახლოებით 75%; 2) ბუნებრივი აირზე მომუშავე წყალგამაცხელებელი მოწყობილობის მ.კ. კოეფიციენტი საშუალოდ შეადგენს 85%, ანუ ბუნებრივი აირის მოხმარების ეფექტურობაა 85%; 3) წყლის გაცხელებისთვის ელექტროენერგიის მოხმარების ეფექტურობაა არანაკლებ 95% (ეს სიდიდე სამართლიანია წყალგამაცხელებელი ავზებისთვის და ითვალისწინებს სითბოს უმნიშვნელო დანაკარგებს ავზების გარე ზედაპირებიდან. რაც შეეხება პირდაპირი დინების ელექტროწყალგამაცხელებლებს, ისინი მუშაობენ პრაქტიკულად სითბური დანაკარგების გარეშე); 4) წყლის გაცხელებისთვის შეშის მოხმარების ეფექტურობაა დაახლოებით 50%.

ამ ცხრილიდან ჩანს, რომ საქართველოს მოსახლეობაში ცხელწყალმომარაგებისთვის ყოველდღიურად შესაძლებელია (დიდი ალბათობით) იხარჯებოდეს 377000 მ³ ბუნებრივი აირი, 1425000 კვტ*სთ ელექტროენერგია და 5900 მ³ შუშა.

რაც შეეხება ცხელწყალმომარაგების წლიური ენერგოდანახარჯების შეფასებას, იმ მოსაზრებიდან გამომდინარე, რომ ცხელი წყლის მოხმარება მთელი წლის განმავლობაში შეგვიძლია ჩავთვალოთ მუდმივ სიდიდედ (რის შესახებაც უკვე აღვნიშნეთ), ვიღებთ სურათს, რომელიც ნაჩვენებია ნახ. 13-ზე.



ცხელწყალმომარაგებისთვის გამოყენებული ენერგორესურსების ჩანაცვლების შესაძლებლობა მზის ენერგიით. ჩანაცვლების მოსალოდნელი შედეგი.

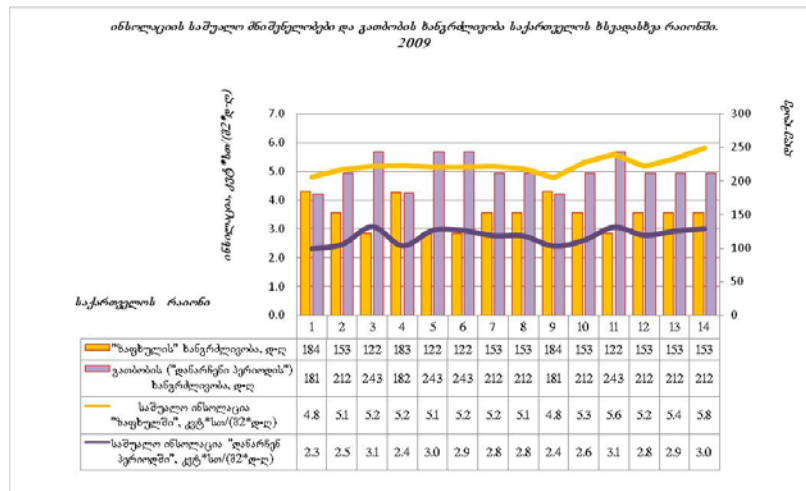
მზის ენერგიით ცხელწყალმომარაგების ამჟამად გამოყენებული საშუალებების ჩანანაცვლებლად უნდა ვიცოდეთ:

1. არის თუ არა საქართველოში ამისათვის საკმარისი მზის ენერგია.
2. წლის რომელი პერიოდისთვის და რა რაოდენობის მოსახლეობისთვისაა ეს უფრო ხელსაყრელი ტექნიკური თვალსაზრისით.
3. რა ტიპისა და მასშტაბის შეზღუდვები შეიძლება არსებობდეს მზის დანადგარების გამოყენების მიმართ.
4. როგორია მზის ენერგიით მიღებული ცხელი წყლის ეკონომიკა.

არის თუ არა საქართველოში ცხელწყალმომარაგებისთვის საკმარისი მზის ენერგია

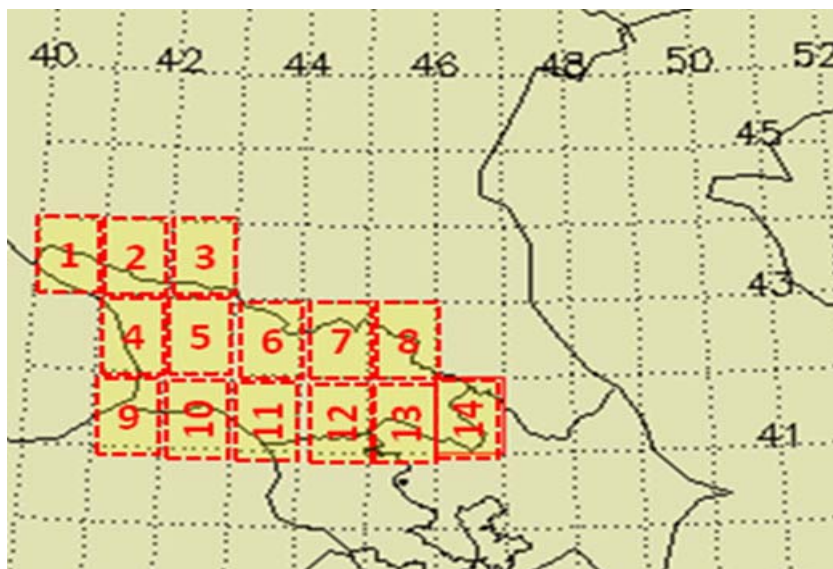
ცხადია, საკითხის ასე დასმა მოითხოვს გარკვეულ დაზუსტებას (რამდენადაც მზის კოლექტორების შეუზღუდავი რაოდენობის გამოყენებით შესაძლებელია ნებისმიერი რაოდენობის მზის ენერგიის მიღება ნებისმიერ ადგილზე). საკმარის მზის ენერგიაში იგულისხმება საინჟინრო გაანგარიშებებისთვის მისაღები სიდიდეები, რომლებიც ემყარება მზის კოლექტორების მისაღები ფართობებისა და ფასების კონცეფციას. მართალია, ოპტიმალური გადაწყვეტილების მისაღებად ეს სიდიდეები ზუსტდება ყოველი კონკრეტული შემთხვევისთვის, მაგრამ მათი მიახლოებითი მნიშვნელობები შესაძლებელია განისაზღვროს საპროექტო რეკომენდაციებით, რომელიც ემყარება უკვე არსებულ გამოცდილებას. ერთ-ერთი ასეთი რეკომენდაციის მიხედვით⁴, მზის გამოსაყენებელი ენერგიის საშუალო სიდიდედ მიღებულია: “ზაფხულის პერიოდისთვის” (აპრილი-სექტემბერი) 3.5 კვტ*სთ/(მ²*დ-დ); დანარჩენი პერიოდისთვის - 2.5 კვტ*სთ/(მ²*დ-დ).

⁴ Ю.А.Табунщиков. Научные основы проектирования энергоэффективных зданий. АВОК6.№1/1998



ნახ. 14. ინსოლაციის საშუალო მნიშვნელობები და გათბობის ზანგრძლივობა საქართველოს სხვადასხვა რაიონში. 2009:

საქართველოს პირობითი დარაიონების რუკა



ნახ. 14-ზე ნაჩვენებია ინსოლაციის საშუალო მნიშვნელობები საქართველოს სხვადასხვა რაიონში “ზაფხულის” და “დანარჩენი” პერიოდებისთვის (NASA-s monacemebi/www.retscreen.net). ამ სიდიდეების შედარება ზემოთ მოყვანილ საპროექტო რეკომენდაციებთან ცხადყოფს, რომ საქართველოში არის ცხელწყალმომარაგებისთვის საკმარისი მზის ენერგია.

წლის რომელი პერიოდისთვის და რა რაოდენობის მოსახლეობისთვისაა ეს უფრო ხელსაყრელი ტექნიკური თვალსაზრისით

ამ საკითხის გადაწყვეტისას უნდა გავითვალისწინოთ მოსახლეობის აღჭურვა და გათბობა-ცხელწყალმომარაგების არსებული რეჟიმი.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, იქ, სადაც შესაძლებელია ბუნებრივი აირის გამოყენება, გათბობა-ცხელწყალმომარაგებისთვის მოსახლეობა იყენებს პირდაპირი ღირებულების წყალგამაცხელებლებს ("კალონკებს"), ბუნებრივ აირზე მომუშავე გამათბობლებს ("კარმა", "ნიკალა" და სხვ.), გათბობა-ცხელწყალმომარაგების კომბინირებულ სისტემებს (გათბობის ქვაბი+წყლის რადიატორების ქსელი), ასევე ელექტროგამაცხელებელ ავზებს და პირდაპირი ღირებულების ელექტროწყალგამაცხელებლებს ("ატმორი" და სხვ.).

ცხრ.3-ში ნაჩვენებია გათბობა-ცხელწყალმომარაგების მოწყობილობების კომბინაციები და გავრცელება საქართველოს საყოფაცხოვრებო სექტორში (საექსპერტო შეფასებით, 2009წ). ცხრილიდან ჩანს, რომ არსებული წყალგამაცხელებელი მოწყობილობების ჰელიოსისტემებით ჩანაცვლება აქტუალურია საქართველოს თითქმის მთელი მოსახლეობისთვის. გამონაკლისს შეიძლება წარმოადგენდეს მოსახლეობის მხოლოდ მცირე ნაწილი (დაახლოებით 21000 ოჯახი), რომელიც იყენებს გათბობა-ცხელწყალმომარაგების კომბინირებულ სისტემებს და რომლისთვისაც ცხელი წყლის მიღება გათბობის ენერგიასთან ერთად, არის ბუნებრივი პროცესი ზამთრის პერიოდში.

რა ტიპისა და მასშტაბის შეზღუდვები შეიძლება არსებობდეს მზის დანადგარების გამოყენების მიმართ

ცხრილი 3. გათბობა-ცხელწყალმომარაგების მოწყობილობების კომბინაციები და გავრცელება საქართველოს საყოფაცხოვრებო სექტორში (საექსპერტო შეფასებით, 2009წ)

კომპლექსი	დანიშნულება	მოწყობილობა	გავრცელება			შენიშვნა
			მოსახლეობის გაზიფიცირებული ნაწილი (1 750,680 ოჯახი)		მოსახლეობის არაგაზიფიცირებული ნაწილი (მათ შორის: თბილისი - 10500 ოჯახი, სხვა ქალაქ-რაიონები - 205820 ოჯახი, სოფლები - 543000 ოჯახი)	
			თბილისი (1 364,580 ოჯახი)	სხვა ქალაქები/რაიონები (386,100 ოჯახი)		
1	ცხელწყალმომარაგება	ბ. აირზე მომუშავე წყალგამაცხელებელი "კალონკები"	73%	77%	-	სამშაულო შემოსავლების მქონე ოჯახები, ასევე ოჯახები, სადაც მოშლილია რადიატორების ძველი სისტემა, ახლის დანერგვა კი ძვირია.
	გათბობა	ბ. აირზე მომუშავე გამათბობლები ("კარმა", "ნიკალა" და სხვ.)	(222,285 ოჯახი)	(127,959 ოჯახი)	-	
2	ცხელწყალმომარაგება	ელექტროენერგიაზე მომუშავე წყალგამაცხელებელი ავზები ("თერმექტი" "არისტორნი" და სხვ.) ან პირდაპირი ელექტროგამაცხელებლები ("ატმორი", "კემსანი" და სხვ.)	20%	20%	-	სამშაულო შემოსავლების მქონე ოჯახები, სადაც შეზღუდულია ადგილი "კალონკების" დასაყენებლად
	გათბობა	ბ. აირზე მომუშავე გამათბობლები ("კარმა", "ნიკალა" და სხვ.)	(60,900 ოჯახი)	(33,236 ოჯახი)	-	
3	ცხელწყალმომარაგება	გათბობა-ცხელწყალმომარაგების კომბინირებული სისტემა-გათბობის ქვაბი+წყლის რადიატორების ქსელი	7%	3%	-	კერძო/სოფლის მეურნეობის მეურნეობები
	გათბობა		(21,315 ოჯახი)	(4,985 ოჯახი)	-	
4	ცხელწყალმომარაგება	გათბობა			75% (562,740 ოჯახი)	ტიპური სოფლის ოჯახები
	გათბობა	შემის ღუმელები				
5	ცხელწყალმომარაგება	თხევადი სათბობის, თხევადი აირის, ქვანახშირის და სხვ. ღუმელები, ასევე ელექტროენერგია			15% (112,548 ოჯახი)	სოფლები და რაიონები, სადაც შეზღუდულია მზის მიწოდება/მოპოვება
	გათბობა					
6	ცხელწყალმომარაგება	ელექტროენერგიაზე მომუშავე წყალგამაცხელებელი ავზები ("თერმექტი" "არისტორნი" და სხვ.) ან პირდაპირი ელექტროგამაცხელებლები ("ატმორი", "კემსანი" და სხვ.)			10% (75,032 ოჯახი)	ძირითადად თბილისის არაგაზიფიცირებული ოჯახები, ასევე სოფლები და რაიონები, სადაც შეზღუდულია მზის მიწოდება/მოპოვება
	გათბობა	შემის, ელ. და სხვა გამათბობლები				

პირველ რიგში, ამ მხრივ შესაძლებელია არსებობდეს ტექნიკური პრობლემები⁵, რაც დაკავშირებულია საცხოვრებელ ბინებში ჰელიოსისტემების დამონტაჟების სირთულეებთან. მაგალითად, ჰელიოსისტემების დაყენება მრავალსართულიან საცხოვრებელ ბინებში შესაძლებელია სახურავზე, თუმცა ეს ხშირად ვერ უზრუნველყოფს ყველა მობინადრის მოთხოვნილებას, რამდენადაც გადახურვის ფართობი არ არის საკმარისი მოთხოვნილი

⁵ სამუშაოში არ განვიხილავთ კანონმდებლობასა და უსაფრთხოებასთან დაკავშირებულ პრობლემებს.

სიმძლავრეების უზრუნველსაყოფად. რაც შეეხება მზის კოლექტორების განთავსებას შენობის კედლებზე, ეს ყოველთვის არ არის შესაძლებელი შენობის კონსტრუქციული და არქიტექტურული თავისებურებების ან მზის მიმართ მისი არახელსაყრელი ორიენტაციის გამო. სხვა შემთხვევებში ეს დაკავშირებულია გაუმართლებლად დიდ დანახარჯებთან. ამ დროს გართულებულია, ასევე მილგაყვანილობის მონტაჟი. ამდენად, ყველაზე მოხერხებულ შემთხვევად ჰელიოსისტემების დაყენების მხრივ უნდა განვიხილოთ ინდივიდუალური ტიპის საცხოვრებელი სახლები. სტატისტიკის დეპარტამენტის მონაცემებით, ასეთი შენობების წილი საქართველოში შეადგენს 66%, მათ შორის თბილისში – 25.5, სხვა ქალაქებსა და რაიონებში – 38.1, სოფლებში – 99.5%. ამ ციფრების გათვალისწინებით მივიღებთ, რომ საქართველოს საყოფაცხოვრებო სექტორში ცხელწყალმომარაგებისთვის მზის ენერგიის გამოყენება განსაკუთრებული ტექნიკური პრობლემების გარეშე შესაძლებელია განხორციელდეს დაახლოებით 887000 ოჯახისთვის, რაც შეადგენს საქართველოს მოსახლეობის დაახლოებით 73%. ამასთან, ამჟამად გამოყენებული ენერგეტიკული რესურსების ჩანაცვლების შესაძლებლობა შეიძლება განვიხილოთ ორ ვარიანტში: პირველი – “ნომინალური ჩანაცვლება”, როდესაც არსებულ საშუალებებს განაცვლებთ მზის ენერგიით მთელი წლის განმავლობაში (365 დ-ლ/წ), და მეორე – “მინიმალური ჩანაცვლება”, როდესაც არსებულ საშუალებებს განაცვლებთ მზის ენერგიით მხოლოდ “ზაფხულის” პერიოდში (დაახლოებით 151 დ-ლ/წ). ამ ვარიანტების შესაბამისი დაზოგვები ნაჩვენებია ცხრ.4-ში.

ცხრილი 4. საქართველოში საყოფაცხოვრებო ცხელწყალმომარაგების არსებული საშუალებების მზის ენერგიით ჩანაცვლებით მოსალოდნელი შედეგები (საექსპერტო შეფასება, 2009)

"ნომინალური ჩანაცვლება"			
ენერგორესურსი	რესურსის დაზოგვა	ერთეულის ფასი	თანხის დაზოგვა
ბუნებრივი აირი	41,178,371 მ3/წ	0.506 ლარი/მ3	20,836,256 ლარი/წ
ელექტროენერგია	316,126,134 კვტ*სთ/წ	0.16 ლარი/(კვტ*სთ)	50,580,181 ლარი/წ
შეშა	2,140,344 მ3/წ	50 ლარი/მ3	107,017,187 ლარი/წ
სხვა	არ გაფასებთ	არ გაფასებთ	არ გაფასებთ
ნახშირორჟანგის ემისია (შეშის გამოკლებით), ტCO ₂ /წ	131,664	არ გაფასებთ	არ გაფასებთ

"მინიმალური ჩანაცვლება"			
ენერგორესურსი	რესურსის დაზოგვა	ერთეულის ფასი	თანხის დაზოგვა
ბუნებრივი აირი	17,035,436 მ3/წ	0.506 ლარი/მ3	8,619,930 ლარი/წ
ელექტროენერგია	130,780,949 მ3/წ	0.16 ლარი/(კვტ*სთ)	20,924,952 ლარი/წ
შეშა	885,457 მ3/წ	50 ლარი/მ3	44,272,864 ლარი/წ
სხვა	არ გაფასებთ	არ გაფასებთ	არ გაფასებთ
ნახშირორჟანგის ემისია (შეშის გამოკლებით), ტCO ₂ /წ	54,469	არ გაფასებთ	არ გაფასებთ

მზის ენერგიით მიღებული ცხელი წყლის ეკონომიკა.

მზის ენერგიით მიღებული ცხელი წყლის ღირებულების შეფასებისთვის საჭიროა წყალგამაცხელებელი ჰელიოსისტემების ფასებისა და ზომების ცოდნა. ადგილობრივ ბაზარზე არსებული ჰელიოსისტემების ფასები და ფასების სტრუქტურა ნაჩვენებია ნახ. 15-ზე. შედარებისთვის აქვე მოცემულია ჰელიოსისტემის ევროპული ფასების ერთი მაგალითი⁶. სისტემის ზომების განსაზღვრა, რაც ითვალისწინებს მზის კოლექტორების ზედაპირის

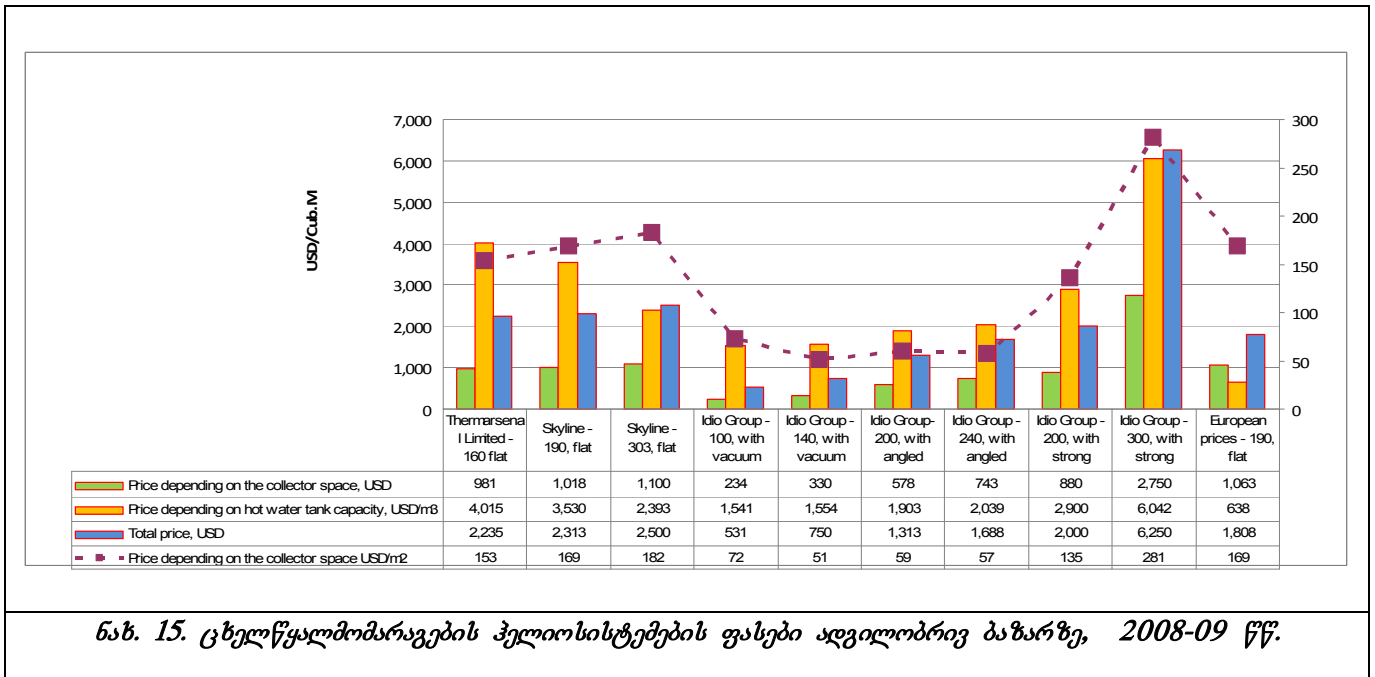
⁶ Artificial Intelligence in Energy and Renewable Energy Systems/Soteris Karogirou/Nova Science Publishers, Inc. New-York, ISBN 1-60021-261-1, 2006, 471 p.

ფართობის და ცხელი წყლის ავზის მოცულობის დადგენას, შესაძლებელია ჩანართ-2-ში მოცემული გამარტივებული მეთოდის საფუძველზე⁷.

გარანტირებული შედეგების მისაღებად არსებითია მზის კოლექტორის ეფექტურობის (η_{sc}) სწორად შეფასება. ამ მიზნით ჩატარებული გაანგარიშების შედეგები ნაჩვენებია ნახ. 16-ზე, სადაც ძირითად გრაფიკებთან ერთად ნაჩვენებია აპროქსიმაციის წრფეები, მათ შორის ორ მათგანს აქვს შედარებით მაღალი კორელაციის კოეფიციენტი ($R=0.469$, $R=0.334$). ამ წრფეებზე დაყრდნობით გაანგარიშებებისთვის ვირჩევთ კოლექტორების ეფექტურობის მეტ-ნაკლებად გარანტირებულ (უმცირეს) მნიშვნელობას – 50%. ინსოლაციის საანგარიშო სიდიდედ ვირჩევთ მის მაქსიმალურ მნიშვნელობას ე.წ. დანარჩენ პერიოდში (ნახ.14) – $3.1 \text{ კვტ} \cdot \text{სთ}/(\text{მ}^2 \cdot \text{დ-ლ})$. შესაბამისად თითოეული ოჯახის ცხელწყალმომარაგებისთვის საჭირო მზის კოლექტორების ფართობი (შთანთქმის ზედაპირის ფართობი) საშუალოდ შეადგენს: $8/(3.1 \cdot 0.5 \cdot 0.95) N \approx 5 \text{ მ}^2/\text{ოჯ.}$ ცხელი წყლის ავზის მოცულობა დგინდება საყოფაცხოვრებო ცხელწყალმომხმარებლისა და ინსოლაციის ტიპური სადღეღამისო გრაფიკებიდან (ნახ. 17), საიდანაც ჩანს, რომ აქტიური ინსოლაციის ხანგრძლივობა დღე-ღამის განმავლობაში შეადგენს დაახლოებით 8 სთ-ს –10-დან 18 სთ-ის ჩათვლით. ამ პერიოდის მიღმა მოთხოვნილება ცხელ წყალზე უნდა დაკმაყოფილდეს ცხელი მაგროვებელი ავზიდან. შესაბამისად ფართობი, რომელიც ქვემოდან შემოსაზღვრულია ინსოლაციის მრუდით, ხოლო ზემოდან ცხელწყალმომხმარებლის მრუდებით, გვიჩვენებს აღნიშნული ავზის მოცულობას (ნახ. 18). ნახაზზე მოცემული მნიშვნელობებიდან შემდგომი ანალიზისთვის ვირჩევთ აშშ-ის ნორმას – 130 ლ.

⁷ a) J.A.Duffe, W.A.Beckman. Solar Energy Thermal Processes. A Wiley-Interscience Publikation. New-York, London, Sydney, Toronto, 1974.

b) Ю.А.Табунщиков. Научные основы проектирования энергоэффективных зданий. АВОК6.№1/1998



ჩანართი 2: მზის კოლექტორების შთანთქმის ზედაპირის ფართობის და ცხელი წყლის ავზის მოცულობის განსაზღვრის მეთოდика

აღნიშვნები:

Q - წყლის გაცხელებისთვის საჭირო ენერგია, კვტ*სთ/(ოჯ*დ-დ);

$I_{(24)} = \int_0^{24} i(t) dt$ - სადღეღამისო ინსოლაცია (მაქსიმუმი “ზაფხულის” და “დანარჩენი” პერიოდის საშუალო სადღეღამისო ინსოლაციებს შორის), კვტ*სთ/(მ²*დ-დ);

c_0 - დრო, სთ;

$i(t)$ - მიმდინარე ინსოლაცია (ინდიკატორული), კვტ/მ² ან ვტ/მ²;

c_1 - სითბური ენერგიის შეკავების ეფექტურობა;

c_2 - კოლექტორის დაზრის კუთხის კოეფიციენტი;

T_i - პირველი წვერის კოეფიციენტი, ვტ/(მ²*⁰C);

- მეორე წვერის კოეფიციენტი, ვტ/(მ²*⁰C²);

T_a - თბოგადამტანის (წყლის, ანტიფრიზის ან სხვ.) ტემპერატურა კოლექტორში შესვლისას, ⁰C;

$i_{(24)}$ - გარემოს ტემპერატურა, ⁰C;

- საშუალო სადღეღამისო ინსოლაცია, ვტ/მ²;
- მ.ქ. კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს სითბოს დანაკარგებს მზის კოლექტორის კონტურის მიღგაყვანილობიდან, %

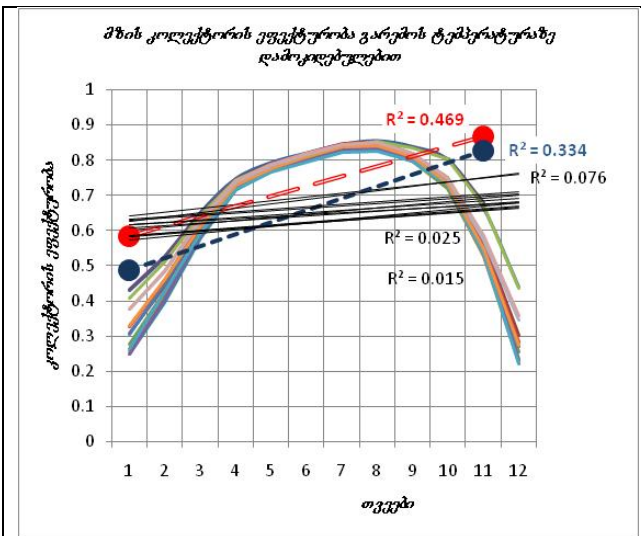
საანგარიშო ფორმულები:

მზის კოლექტორის ეფექტურობა:

$$\eta_{sc} = c_0 k_{ut} - c_1 \frac{T_i - T_a}{i_{(24)}} - c_2 \frac{(T_i - T_a)^2}{i_{(24)}}, \%$$

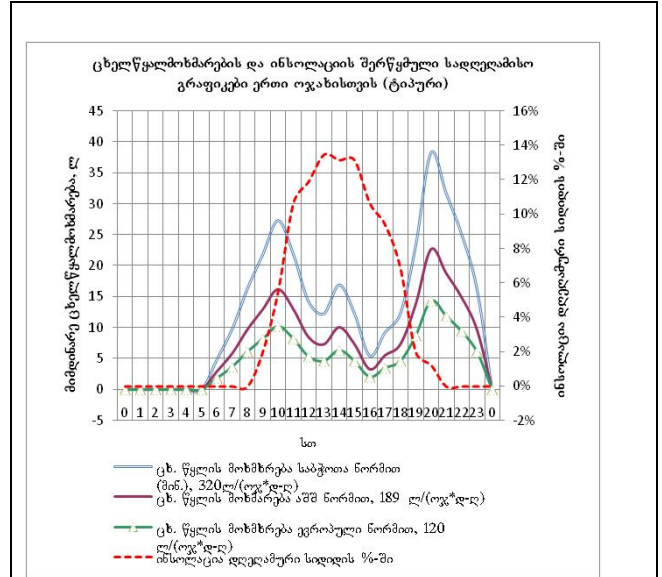
მზის კოლექტორის შთანთქმის ზედაპირის ფართობი:

$$A_{sc} = \frac{Q}{I_{(24)} \eta_{sc}}, \text{ მ}^2$$



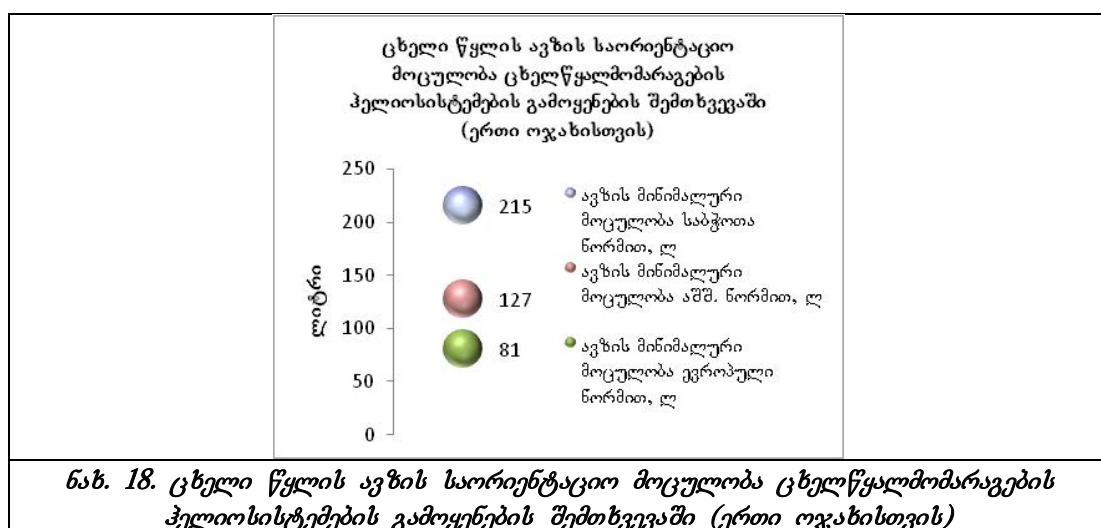
ნახ. 16. მზის კოლექტორის ეფექტურობა გარემოს ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით საქართველოს თოთხმეტი რაიონისთვის (დარაიონების რუკა იხილე ნახ. 14-ზე):

გაანგარიშებულია ჩატარებულია შავად შეღებილი ხაოიანი ზედაპირის მქონე მინით დაფარული ბრტყელი კოლექტორებისთვის შემდეგ პირობებში: კოლექტორების დაყენების კუთხე - 45° ; $C_0=0.792$; $k_{\alpha\tau}=0.9586$; $C_1=6.67$; $C_2=0.06$; $T_f=10^\circ\text{C}$; T_a და $i_{(24)}$ იცვლება გარემოს ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით (აღებულია რაიონების კლიმატური მონაცემებიდან); $\eta_p=95\%$.



ნახ. 17. ცხელწყალმომარაგების და ინსოლაციის შერწყმული სადღეღამისო გრაფიკები ერთი ოჯახისთვის (ტიპური)

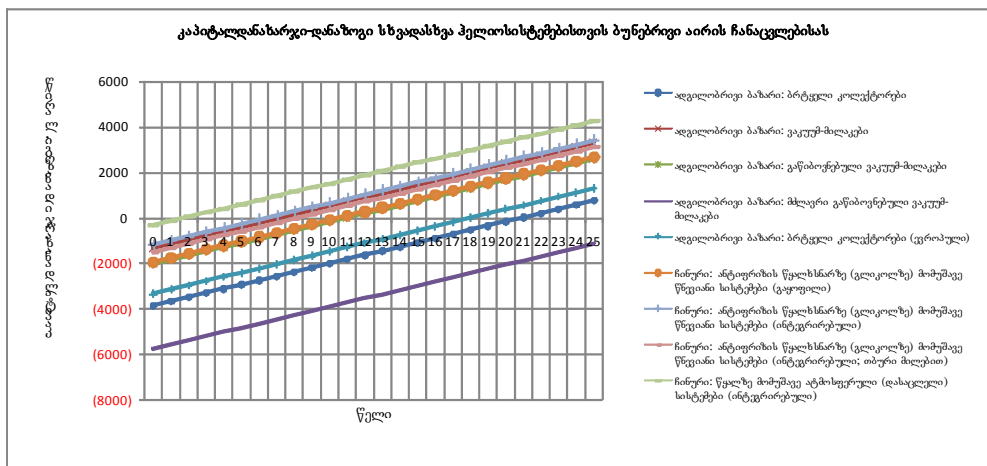
მიღებული სიდიდეებით ვადგენთ ცხელ-წყალმომარაგების ჰელიოსისტემების საორიენტაციო ფასს და დანაზოგებს ერთი ოჯახისთვის (ცხრ.5). ნახ. 19-ზე ნაჩვენებია კაპიტალდანახარჯი-დანაზოგის გრაფიკები სხვადასხვა ჰელიოსისტემებისთვის.



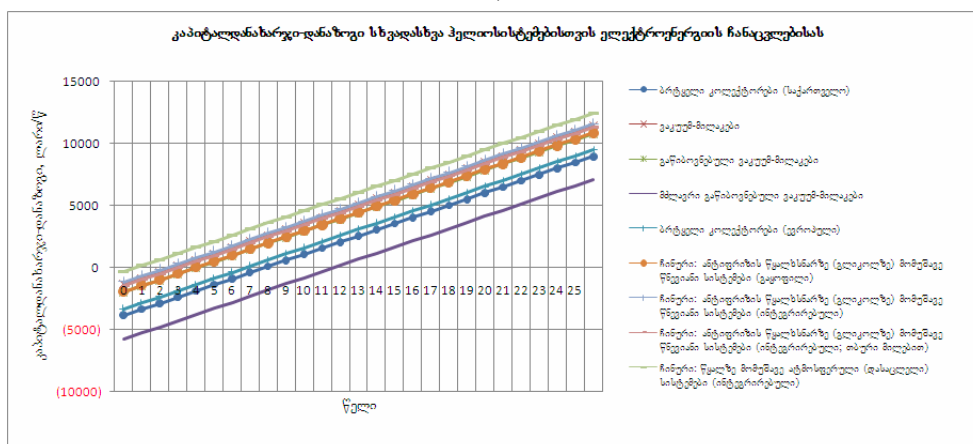
ნახ. 18. ცხელი წყლის ავზის საორიენტაციო მოცულობა ცხელწყალმომარაგების ჰელიოსისტემების გამოყენების შემთხვევაში (ერთი ოჯახისთვის)

ცხრილი 5. ცხელწყალმომარაგების ჰელიოსისტემების საორიენტაციო ფასები ერთი ოჯახისთვის და თანხების დანაზოვი სხვადასხვა რესურსის ჩანაცვლების დროს
(კოლექტორის შთანთქმის ფართობი 5 მ², ცხელი წყლის ავზის მოცულობა 130+/- ლ)

ჰელიოსისტემა	ფასი, აშშ დოლარი	ფასი, ლარი	დანაზოვი ბუნებრივი აირის ჩანაცვლებისას (365 ლ/წ)	დანაზოვი ელ.ენერგიის ჩანაცვლებისას (365 ლ/წ)	დანაზოვი შუბის ჩანაცვლებისას (365 ლ/წ)
ბრტყელი კოლექტორებით (საქართველო)	2304	3847	185 ლარი/(ოჯ*წ)	492 ლარი/(ოჯ*წ)	191 ლარი/(ოჯ*წ)
გაკუმ-მილაკებით	789	1317			
გაწიბოვებული გაკუმ-მილაკებით	1206	2014			
მძლავრი გაწიბოვებული გაკუმ-მილაკებით	3437	5740			
ბრტყელი კოლექტორებით (გერმანული)	1989	3322			



ა)



ბ)

ნახ. 19. კაპიტალდანახარჯი-დანაზოვის გრაფიკები სხვადასხვა ჰელიოსისტემებისთვის

დასკვნები

1. მაღალი ინსოლაციის მთიანი რაიონებისთვის, სადაც მოსახლეობის ფინანსური შესაძლებლობები არის შეზღუდული, უპირატესობა უნდა მიენიჭოს იაფი ჰელიოსისტემების გამოყენებას, კერძოდ: 1) ცხელწყალმომარაგების ატმოსფერულ/დასაცლელ ჰელიოსისტემებს ცხელი წყლის ავზის და კოლექტორების ინტეგრირებული ან/და განცალკევებული შესრულებით (ნახ. 5, ა); 2) მაღალი წნევის ჰელიოსისტემებს ანტიფრიზის წყალხსნარზე (ნახ. 6, გ) და 3) ჰელიოსისტემებს თბოგადამტანის ბუნებრივი ან იძულებითი ცირკულაციით (ნახ. 7, ა, ბ, გ). ზომიერი და დაბალი ინსოლაციის რაიონებისთვის, სადაც მოსახლეობის ფინანსური შესაძლებლობები არის შედარებით მაღალი, შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს პრაქტიკულად ყველა ტიპის ჰელიოსისტემა დამონტაჟების კონკრეტული სირთულეების და განვითარების შემდგომი შესაძლებლობების (მაგალითად, გათბობის მიზნით სისტემების შემდგომი გამოყენების) გათვალისწინებით.

2. საქართველოს მოსახლეობისთვის ცხელწყალმომარაგების სტანდარტულ სიდიდედ შეგვიძლია მივიღოთ 47-50 ლ/(სული*დ-ლ); წყლის გასაცხელებლად საჭირო ენერგიის სტანდარტულ სიდიდედ ერთი ტიპური (4-სულიანი) ოჯახისთვის - დაახლოებით 8 კვტ*სთ/(ოჯ*დ-ლ).

3. საექსპერტო შეფასებით, საქართველოს მოსახლეობის ცხელწყალმომარაგებაში ენერგეტიკული რესურსების მოხმარება განაწილებულია: შეშის წილი -45, ბუნებრივი აირის - 31, ელექტროენერგიის - 14 და სხვა რესურსების (თხევადი სათბობი, ქვანახშირი და ა.შ.) - 10%.

4. სამუშაოს ფარგლებში ჩატარებული გამოკითხვის შედეგები გვიჩვენებს, რომ საქართველოს გაზიფიცირებული მოსახლეობის დაახლოებით 80% ცხელწყალმომარაგებისთვის იყენებს ბუნებრივ აირს, ხოლო 20% - ელექტროენერგიას. ელექტროენერგიის მოხმარება მოსახლეობის ამ ნაწილში გამოწვეულია ობიექტური გარემოებით - მათ საცხოვრებელ ბინებში ბუნებრივი აირის მიყვანა ცხელწყალმომარაგების წერტილებში პრაქტიკულად შეუძლებელია. არაგაზიფიცირებულ მოსახლეობაში წყლის გასაცხელებლად ოჯახების დაახლოებით 10% იყენებს ელექტროენერგიას, 75 - შეშას, ხოლო 15% სხვა (ნავთს, თხევად აირს, ქვანახშირსა და ა.შ.) რესურსებს. ამასთან, ელექტროენერგიის მოხმარების ეფექტურობაა დაახლოებით 95%, ბუნებრივი აირის - 85, შეშის - 50%. შესაბამისად ელექტროენერგიის წლიური ხარჯი საქართველოს მოსახლეობის ცხელწყალმომარაგებაში შეადგენს დაახლოებით 520 000 000 კვტ*სთ/წ, ბუნებრივი აირის ხარჯი - 137 000 000 მ³/წ, ხოლო შეშის - 2 150 000 მ³/წ.

5. მზის გამოსაყენებელი ენერგიის საშუალო სიდიდედ საქართველოში შეგვიძლია მივიღოთ: ზაფხულის პერიოდისთვის (აპრილი-სექტემბერი) 3.5 კვტ*სთ/(მ²*დ-ლ); დანარჩენი პერიოდისთვის - 2.5 კვტ*სთ/(მ²*დ-ლ); გათბობის გრადუს-დღეების მიხედვით “ზაფხულის პერიოდის” საშუალო ხანგრძლივობაა დაახლოებით 151 დღე-ღამე, ხოლო გათბობის (ანუ დანარჩენი) პერიოდის ხანგრძლივობა - 214 დღე-ღამე; მოსახლეობის ცხელწყალმომარაგებისთვის გამოყენებული ენერგეტიკული რესურსების მზის ენერგიით ჩანაცვლება შესაძლებელია მოსახლეობის დაახლოებით 73%-ში. ეს საშუალებას იძლევა მთელი წლის განმავლობაში დაიზოგოს დაახლოებით 41 000 000 მ³/წ ბუნებრივი აირი, რაც დღევანდელი ფასებით ~20 800 000 ლარის ეკვივალენტურია, ~316 000 000 კვტ*სთ/წ ელექტროენერგია (~50 000 000 ლარი), ~2 000 000 მ³/წ შეშა, რითაც ნახშირორჟანგის ემისია შემცირდება ~131 000 ტ/წ-ით; ამასთან ერთად, თითოეული ოჯახი ყოველწლიურად დაზოგავს (2009 წლის ფასებით): ბუნებრივი აირის ჩანაცვლებისას 185 ლარს; ელექტროენერგიის - 492 ლარს და შეშის - დაახლოებით 191 ლარს.

6. ერთი ტიპური (4-სულიანი) ოჯახის ცხელწყალმომარაგებისთვის საჭირო მზის კოლექტორების შთანთქმის ზედაპირის ფართობი საქართველოს პირობებისთვის შეადგენს ~5

მ²/ოჯ, ხოლო ცხელი წყლის ავზის მოცულობა არანაკლებ 130 ლიტრს; ჰელიოსისტემების ასეთი კომპლექტაციის ფასები 2008-2009 წლების მონაცემებით, საქართველოს ბაზარზე იცვლება 1300-დან 5800 ლარამდე დანადგარების კონსტრუქციებზე (ბრტყელი და ვაკუუმმილაკებიანი კოლექტორები, ე.წ. თბური მილები, ინტეგრირებული სისტემები და სხვ.) დამოკიდებულებით; შესაბამისად დანადგარების კაპიტალდანახარჯების/ინვესტიციების მარტივი უკუგების პერიოდი მერყეობს საშუალოდ 1.5-7 წელს შორის.

**Temur MIKIASHVILI, Doctor of Technical Science, Professor,
Technical University of Georgia
Tel.: (995 32) 365172; mob.: (995 99) 720382;
E-mail: temurmikiashvili@yahoo.com**