

მსოფლიო ენერგეტიკის განვითარების ტენდენციები და საქართველოში ენერგორესურსების წარმოების საშუალოვადიანი პროგნოზი

დავით ჯაფარიძე, სტუ-ს პროფესორი
ნინო გიორგიშვილი, სტუ-ს პროფესორი
ირაკლი ბიჭიაშვილი, სტუ-ს პროფესორი

რეზიუმე

სტატიაში გაანალიზებულია მსოფლიოში ენერგეტიკის განვითარებისადმი მიძღვნილი ცნობილი მეცნიერების შრომები და საერთაშორისო ენერგეტიკული სააგენტოს პროგნოზული მონაცემები, დადგენილია ენერგეტიკის განვითარების მსოფლიო ტენდენციები და ენერგორესურსების წარმოება-მოხმარების პროგნოზული მაჩვენებლები. საქართველოში ენერგეტიკის განვითარების ტენდენციების მეცნიერული კვლევის საფუძველზე განსაზღვრის მიზნით, პროგნოზირების თანამედროვე მეთოდების გამოყენებით, შესრულებულია ენერგორესურსების წარმოების საშუალოვადიანი პროგნოზი. მიღებული პროგნოზული პარამეტრები დაზუსტებულია ექსპერტული შეფასებით, რომელშიც გათვალისწინებულია 2016-2020 წლებში ენერგორესურსების წარმოების ზრდის გეგმიური მაჩვენებლები და რეგულირებადი ტრენდით ექსპონენციალური გამოთანაბრების მეთოდით განსაზღვრულია ენერგორესურსების წარმოების ზედა და ქვედა ზღვრები. ჩატარებული კვლევებით გამორკვეულია, რომ საშუალოვადიან პერიოდში საქართველოში მოსალოდნელია განახლებადი ენერგორესურსების, ელექტროენერგიის წარმოების სწრაფი ტემპებით ზრდა, გაიზრდება აგრეთვე ნახშირის წარმოება. მოსახლეობის გაზიფიკაციის გაფართოების ხარჯზე შემცირდება შეშის მოხმარება. ბუნებრივი გაზისა და ნავთობის მოპოვება პრაქტიკულად დარჩება არსებულ დონეზე, მომავალში შესაძლებელია აღნიშნული ენერგორესურსების მოპოვების კლება.

საკვანძო სიტყვები: ენერგორესურსების წარმოება; ენერგომატარებლები; ელექტრიფიკაცია; პროგნოზირება; ფაქტორი; რეგრესია; მათემატიკური მოდელი.

World Energy Sector Development Trends and Mid-term Forecasting of Energy Resources Production in Georgia

D.JAPARIDZE, Professor of Gtu
N. GIORGISHVILI, Professor of Gtu
I. BICHIAVILI, Professor of Gtu

Summary

Article provides the analyses of works done by scien-

tists regarding future development of energy sector and forecasted data provided by International Energy Agency. In this article trends of energy sector future developments and forecasted parameters of energy resources supply-demand have been estimated. Using advanced forecasting methods mid-term forecasting of energy resources production has been done, results are verified based on specialists' assessments. Using trend-adjusted exponential smoothing method upper and lower margins of energy resources production have been set for 2016-2020 period. According to the research we can safely say that in mid-term period higher production level of renewable energy resources as well as electricity is expected, production of coal will also increase significantly. Due to expansion of gasification process consumption of wood will step-down. Level of fuel and natural gas production will retain, in future production level of mentioned energy resources may fall a bit.

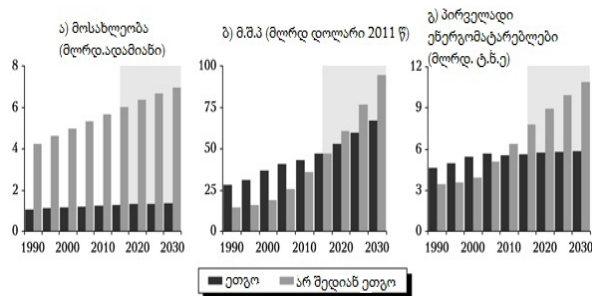
Key words: energy resources production, energy carriers, electrification, forecasting, factor, regression, mathematical model

მსოფლიო ენერგეტიკა ამჟამად განიცდის უპრეცედენტო ცვლილებებს. საერთაშორისო ენერგეტიკული სააგენტოს [11] მონაცემების და ენერგეტიკის განვითარების პროგნოზირებისადმი მიძღვნილი მსოფლიოში ცნობილი მეცნიერების [6,7,8,9,10,11] კვლევების შედეგების ანალიზით ირკვევა, რომ უახლოეს 10 წელიწადში ენერგეტიკის განვითარებაში დომინირებადი იქნება შემდეგი ტენდენციები:

1. ელექტროენერგიაზე მოთხოვნის ზრდა;
2. ბუნებრივი გაზის გამოყენების მატება და არატრადიციული გაზის ამოღების მკვეთრი ზრდა;
3. სუფთა ნახშირის ტექნოლოგიის კომერციალიზაცია;
4. ატომური ენერგიის მსოფლიო აღორძინება;
5. განახლებადი ენერგეტიკის განვითარება;
6. ენერგოეფექტურობის ამაღლება.

ნამყვანი ეკონომისტების პროგნოზით [8,12,13] 2030 წლამდე მოსალოდნელია პლანეტის მოსახლეობა გაიზარდოს 1,3 მილიარდი ადამიანით, მთლიანი შიდა პროდუქტი ორჯერ, ხოლო ენერგომატარებლებზე მოთხოვნა 36%-ით. ენერგომომხმარების მთელი მასშტაბის 93% მოვა ქვეყნებზე, რომლებიც არ შედიან ეკონომიკური თანამშრომლობის და განვითარების ორგანიზაციაში. სურ.№1-ზე მოცემულია მსოფლიოში მოსახლეობის ზრდის და პირველადი

ენერგომატარებლების მოხმარების პროგნოზული ანალიზი.

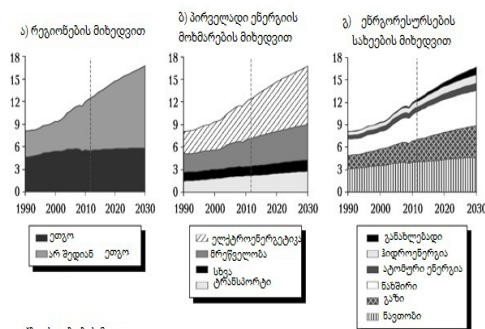


ეთგო --- ეკონომიკური თანამშრომლობის და განვითარების ორგანიზაცია

სურ.№1 მოსახლეობის ზრდა, შემოსავალი და ენერგიის მოხმარება (1990-2030წწ).

ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ეკონომიკური თანამშრომლობის და განვითარების საერთაშორისო ორგანიზაციაში შემავალ ქვეყნებში მოსახლეობის და ენერგომატარებლების მოხმარების ზრდა თითქმის არ შეიმჩნევა. ძირითადად აღნიშნული მაჩვენებლების ზრდა ამ ორგანიზაციაში არ შემავალი ქვეყნების ხარჯზე მოვა. ექსპერტების შეფასებით [8,13] ელექტროენერგიაზე მოთხოვნა აფრიკაში, ჩინეთსა და ინდოეთში გაიზრდება სოფლის რაიონების ელექტრიფიკაციის განვითარების შესაბამისად. ელექტრომობილების და ჰიბრიდული ავტომობილების გამოყენების გაფართოების კვალდაკვალ განვითარებულ ქვეყნებშიც გაიზრდება მოთხოვნა ელექტროენერგიაზე. 2020 წლისათვის მსოფლიოში ელექტრიფიკაციის დონე მიაღწევს 80 %-ს.

ენერგიის მოხმარების ზრდის ძირითადი მამოძრავებელი ძალა იქნება ინდუსტრიალიზაცია. სურათ.№2 მოცემულია ენერგორესურსების მოხმარების პროგნოზი რეგიონების, ენერგიის პირველადი მოხმარების და საბოლოო სახეების მიხედვით.



ზოგადი რაოდენობის რაოდენობა

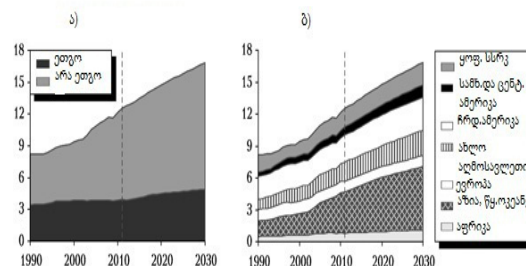
სურ.№2.მსოფლიოში ენერგორესურსების მოხმარების პროგნოზი (1990-2030წწ)

სურათ №2-ზე მოცემული გრაფიკიდან ჩანს, რომ 2030 წელს პირველადი ენერგიის მსოფლიო მოხ-

მარების თითქმის 80% მოვა მოპოვებით საბოლოოზე, თუმცა საპროგნოზო პერიოდში უფრო სწრაფად გაიზრდება განახლებადი ენერგორესურსების მოხმარება. იგი საშუალოდ 8% -ით მოიმატებს. სამომავლოდ მკვეთრად შეიცვლება ენერგიაზე მოთხოვნის გლობალური განაწილება. ერთის მხრივ იქნება სტაგნაცია ევროპაში, მეორეს მხრივ იქნება მკვეთრი ზრდა აზიაში, სადაც თავმოყრილია ენერგიაზე მოთხოვნის 60%, აგრეთვე აფრიკაში, ახლო აღმოსავლეთში და ლათინურ ამერიკაში. 2030 წლისათვის ჩინეთი გახდება ნავთობის უმსხვილესი მომხმარებელი. იგი გაუზარებს ა.შ.შ-ს, სადაც ნავთობის მოხმარება დაიყვანება მინიმუმამდე. ამ მომენტიდან ინდოეთი, სამხრეთ-აღმოსავლეთ აზია, ახალი აღმოსავლეთი და აფრიკის ნაწილი სახარისიდან სამხრეთით მსოფლიო მოთხოვნის ზრდის ძირითადი ლოკომოტივები იქნებიან.

განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს მსოფლიოში ენერგომატარებლების წარმოების პროგნოზული ანალიზი. იხ. სურათ №3.

მსოფლიოში ენერგორესურსების წარმოების პროგნოზი (მლრდ. ტ.წ.)



მლრდ. ტ.წ. --- მილიარდი ტონა ნავთობის ექვივალენტი

სურ.№3.მსოფლიოში ენერგორესურსების წარმოების პროგნოზი (1990-2030წწ).

სურათ. №3-ზე წარმოდგენილი ენერგომატარებლების წარმოების პროგნოზული ანალიზიდან ირკვევა, რომ პირველადი მოპოვებითი რესურსების წარმოებაში ძირითად როლს შეასრულებენ ქვეყნები, რომლებიც არ შედიან ეკონომიკური თანამშრომლობის და განვითარების საერთაშორისო ორგანიზაციაში. მათ წილად მოდის მინოდების თითქმის 80%-ი. ამ ქვეყნებში მნიშვნელოვნად გაიზრდება ენერგორესურსების არა მხოლოდ მოხმარება, არამედ წარმოებაც. წარმოების ყველაზე მეტი მატება მოდის აზიან-წყნარი ოკეანის რეგიონზე, თუმცა ეს ფაქტი იმით აიხსნება, რომ ამ რეგიონში აქტიურად გამოიყენება ნახშირი და რესურსების მოპოვება ხელმისაწვდომია. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ნახშირის მარაგების დიდი მოცულობის გამო მის წარმოებაში პრობლემები არ იქნება. კვლევებით [8,11,13] დადგენილია, რომ 2040 წლისათვის მსოფლიოში მოთხოვნა ნახშირზე გაიზრდება 15%-ით. ამ მატების ორი მესამედი მოვა უახლოეს ათწლეულზე. ჩინეთში მოთხოვნა

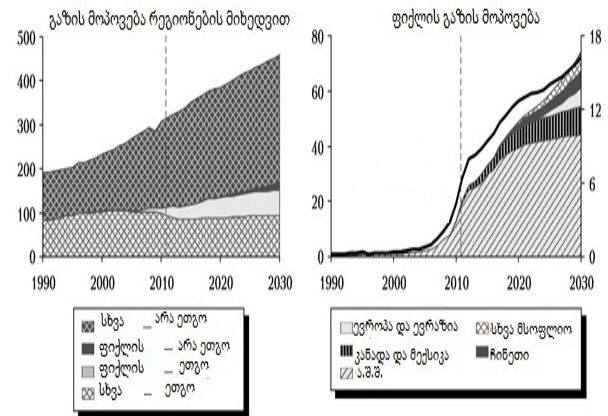
ნახშირზე მიაღწევს მთელი მსოფლიო მოთხოვნის 50%-ს. 2030 წლიდან შემცირდება მოთხოვნა ნახშირზე განვითარებულ ქვეყნებში. მათ შორის ა.შ.შ-ში, სადაც ელექტროენერგიის წარმოებაში ნახშირის მოხმარება შემცირდება ერთი მესამედით. მეორე ადგილზე გავა ინდოეთი და იგი 2020 წლისათვის გახდება ერთ-ერთი უმსხვილესი მომხმარებელი. 2040 წლისათვის ჩინეთზე, ინდოეთზე, ინდონეზიაზე და ავსტრალიაზე მოვა ნახშირის წარმოების 70%-ზე მეტი. ნახშირზე მომუშავე ელექტროსადგურებში მაღალი ტექნოლოგიების დანერგვა და აგრეთვე შორეულ პერსპექტივაში CO₂ გამონაბოლქვისმართვისა და შენახვის პრობლემების გადაწყვეტა შეიძლება გახდეს დაბალნახშირბადიან ენერგეტიკაზე გადასვლის ეფექტური საშუალება.

დადგენილია, [6,8,13] რომ ენერგომატარებლებს შორის ელექტროენერგიის წარმოება წარმოადგენს ყველაზე სწრაფად მზარდს. იმის გათვალისწინებით, რომ მომავალში მოსალოდნელია ელექტროენერგიაზე მოთხოვნის მნიშვნელოვანი ზრდა, საჭირო გახდება აშენდეს 7200 გიგა ვატი სიმძლავრის გენერაციის ობიექტები. მთელს მსოფლიოში ქმედითი ღონისძიებები გატარდება ელექტროენერგიის წარმოებაში განახლებადი ენერგორესურსების გამოსაყენებლად. ამ სახით ელექტროენერგიის წარმოების წილი გაიზრდება მთელი გენერაციის ერთი მესამედით. 2040 წლისათვის განახლებადი ენერგორესურსების ბაზაზე ელექტროენერგიის წარმოების წილი 50%-ს მიაღწევს. ამავე დროს ბიოსათბობის გამოყენება სითბოს გამოსაშუშავებლად გაიზრდება ორჯერ და დღე-ღამეში 4,6 მილიონ ბარს მიაღწევს. განახლებადი ენერგორესურსების გამოყენება ელექტროენერგიის წარმოებაში ყველაზე მეტად გაიზრდება განვითარებად ქვეყნებში და იგი ახლო მომავალში 37%-ს მიაღწევს. ჩინეთში, ინდოეთში, ლათინურ მერიკაში და აფრიკაში გენერაცია განახლებად რესურსებზე გაიზრდება 34%-ით. მათ შორის ჰიდროენერგეტიკა 30%-ით. მზის ენერგეტიკა 18%-ით, ევროპის ქვეყნებში ქარის ენერგიის გამოყენება მიაღწევს 20%-ს. ამჟამად იაპონიაში ზაფხულის პერიოდში მზის ენერგიის გამოყენება შეადგენს 37%-ს.

აღსანიშნავია, რომ ატომური ენერგეტიკა ეროვნული სტრატეგიის შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენს იმ ქვეყნებშიც კი რომლებიც ახორციელებენ ატომური ელექტროსადგურების ეტაპობრივ დახურვას და ეძებენ მათ შემცვლელს. 2040 წლისათვის ატომურ სადგურებზე ელექტროენერგიის წარმოება 2013 წელთან შედარებით გაიზრდება 60%-ით. მსოფლიოში ელექტროენერგიის წარმოებაში ატომური ენერგიის წილად მოვა 12%-ი. 2040 წლისათვის ჩინეთის წილად მოვა ატომური გენერაციის ზრდის 40%-ი. ინდოეთში, კორეაში და რუსეთში ზრდა იქნება 30%-ი. ა.შ.შ-ში ატომური ენერგიის წარმოება გაიზრდება 16%-ით. ევროკავშირში შემცირდება 10%-ით.

საერთაშორისო ენერგეტიკული სააგენტოს მონაცემებით [10] მოთხოვნა ბუნებრივ გაზზე 2030 წლისათვის გაიზრდება 50%-ით. გაზის წარმოების

და მოხმარების ზრდა ძირითადად კონცენტრირებული იქნება ქვეყნებში, რომლებიც არ შედიან ეკონომიკური თანამშრომლობისა და განვითარების ორგანიზაციაში. სურათ №4-ზე ნაჩვენებია ბუნებრივი გაზის მოპოვების პროგნოზი რეგიონების მიხედვით.



ფოტო - ეკონომიკური თანამშრომლობის და განვითარების ორგანიზაციის

სურ.№4. ბუნებრივი გაზის მოპოვების პროგნოზი (1990-2030წწ) რეგიონების მიხედვით (მლრდ კუბ.ფუტი დღე-ღამე)

სურათ. №4-ზე ნათლად ჩანს, რომ გაზის ამოღების ზრდის 37%-ი მოდის ფიქლის გაზზე.

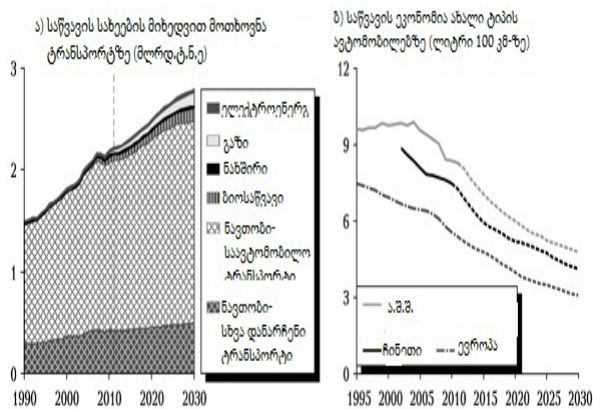
გაზზე მოთხოვნის ძირითადი რეგიონები იქნებიან ჩინეთი და ახლო აღმოსავლეთის ქვეყნები, ხოლო განვითარებად ქვეყნებში გაზი იქნება სათბობის ძირითადი სახე. ენერგეტიკულ ბალანსში ამას ხელს შეუწყობს ა.შ.შ-ს მიერ შემოღებული შეღზუდვები ელექტროსადგურებში ჩმ2 გამოფრქვევაზე. გაზის მოპოვება გაიზრდება ყველგან (გარდა ევროპისა). არასტანდარტულ რესურსებზე მოვა თითქმის 60%-ი. გაზის იმპორტზე მოთხოვნა გაიზრდება აზიის ქვეყნების უმეტეს ნაწილში, აგრეთვე ევროპაში. გაზის მყიდველთა დამაჯერებლობას გაზრდის დეფიციტურ რეგიონებში თხევადი გაზის მინოდების გასამმაგება.

მრავალ ქვეყანაში იზრდება ინტერესი ენერგოეფექტურობის ამაღლების მიმართ. განვითარებული ქვეყნების უმეტესობაში აქტიურად ამუშავენ და ნერგავენ ენერგოეფექტურობის ამაღლების ღონისძიებებს საყოფაცხოვრებო ელექტრო-ხელსაწყოებში, აწესებენ კონტროლს მათ მინიმალურ ელექტრონარმადობაზე და ნერგავენ შესაბამის ენერგოსტანდარტებს. ტექნოლოგიები მიმართული სათბობის მოხმარების შემცირებაზე და ნახშირორჟანგის გამოფრქვევაზე. ისეთი ღონისძიებები როგორცაა: მწვანე შენობები, სუფთა ტრანსპორტი მოგვევლინებინ საკვანძო ტექნოლოგიურ საშუალებად ენერგოეფექტურობის ამაღლებასა და CO₂ გამოფრქვევის მოცულობების შემცირებაში.

ამ საქმეში წინა პლანზე იწევს სატრანსპორტო

სფეროში ენერგოეფექტურობის ამაღლების უზრუნველყოფის ამოცანის გადაწყვეტა. ამჟამად საავტომობილო ბაზრის სამი მეოთხედი ექცევა სატბობის სტანდარტების ქვეშ. იმ პირობებშიც კი, როდესაც 2040 წლისათვის ავტომობილების წარმოება გაიზრდება ორჯერ, ტრანსპორტზე ნავთობის სანვავზე მოთხოვნა გაიზრდება მხოლოდ ერთი მეოთხედით, რაც საშუალებას მისცემს მსოფლიოს ნავთობზე მოთხოვნა დღე-ღამეში შეამციროს 23 მილიონ ბარელამდე.

მსოფლიოში ცნობილი მეცნიერები [8,12,13] თვლიან, რომ 2030 წლისათვის ძრავის სატბობზე მოთხოვნა დაახლოებით 5%-ით დაკმაყოფილდება ბუნებრივი გაზის ხარჯზე, 5%-ით ბიოსანვავის ხარჯზე, ელექტროენერგიის წილი იქნება 2%-ი. უფრო გრძელვადიან პერიოდში სიტუაცია შეიცვლება. ტრანსპორტზე ენერგომატარებლებზე მოთხოვნის ანალიზი [11] მოცემულია სურათ.№5-ზე.



სურ.№5. ტრანსპორტზე ენერგორესურსების მოხმარების პროგნოზი (1990-2030წწ).

სურათ.№5 -იდან ჩანს 2030 წლისათვის ნავთობის სანვავის ხარჯი ერთი ავტომობილის 100 კმ-იან გარბენზე ა.შ.შ.-ში 5 ლიტრზე ნაკლები იქნება, ჩინეთში 4,5 ლიტრი, ევროკავშირის ქვეყნებში 3,5 ლიტრი. ავტომობილებზე სანვავის ხარჯის და ჩმ2 შემცირების ამოცანის გადაწყვეტა განსაკუთრებით აქტუალურია საქართველოსთვის, თუმცა ქვეანაში ამ მიმართულებით პრაქტიკულად არაფერი არ კეთდება.

მსოფლიოში ენერგეტიკის განვითარების მიმდინარე ტენდენციების უფრო მეტი თვალსაჩინოებისათვის ცხრილი №1-ში მოცემულია ენერგორესურსების უმსხვილესი მომხმარებელი ქვეყნების გენერაციის სტრუქტურის ანალიზი.

ცხრილი №1. ენერგორესურსების უმსხვილესი მომხმარებელი ქვეყნების წარმოების სტრუქტურის პროგნოზული ანალიზი.(უახლესი 10 წელიწადი)

ქვეყანა	ჩინეთი	ინდოეთი	ბრაზილია	ა.შ.შ.	რუსეთი
ჰესები	15%	25%	80%	6%	16%
ატომური ელექტრო სადგურები	2%	3%		20%	15%
თბოელექტრო-სადგურები		65%			
ნახშირზე მომუშავე ელ.სადგურები	80%		1%	48%	19%
გაზზე მომუშავე ელ.სადგურები	1%		9%	21%	48%
მაზუთზე მომუშავე ელ.სადგურები	1%		3%		2%
არატრადიციული	1%	7%	1%-ქარის 4%-ბიომასა		
გენერაციის სხვა სახეები				5%	

საქართველოში ენერგორესურსების წარმოების განვითარების ტენდენციების და 2020 წლამდე მათი წარმოების რეალური მოცულობების დადგენის მიზნით შესრულებულია ქვეყანაში ენერგორესურსების წარმოების საშუალოვადიანი პროგნოზი. ამ პროგნოზის მაღალი სიზუსტით განხორციელების უზრუნველსაყოფად გამოყენებულია ამ ნაშრომის ავტორების მიერ დამუშავებული პროგნოზირების რეგრესული ანალიზის, მრავალფაქტორიანი და ნეირონული ქსელების ჰიბრიდული მოდელი.[5]

ამ მოდელით საქართველოში ენერგორესურსების წარმოების საშუალოვადიან პერიოდში პროგნოზის განსახორციელებლად მოძიებულ იქნა 2007-2015 წლების სტატისტიკური მონაცემები საქართველოში ენერგორესურსების წარმოებისა და მასზე მოქმედი სავარაუდო ფაქტორების შესახებ [1,2,3]. შედეგები შეტანილია ცხრილ №2 და ცხრილ №3-ში.

ცხრილი №2. საქართველოს ენერგეტიკული რესურსების წარმოების სტატისტიკური მონაცემები 2007-2015 წწ[1,2,3,4,]

ენერგორესურსი	ზომის ერთეული	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
ელ. ენერგია	მლნ. კვტ. სთ	8,346	8,451	8,408	10,058	10,105	9,695	10,059	10,370	10,833
ნავთობი ¹	ტონა	63,850	51,660	52,731	50,413	48,942	44,061	51,018	52,120	50,047
ბუნებრივი აირი ²	1000 მ3	17,776	13,828	12,165	8,148	5,758	5,380	5,424	8,657	10,148
ნახშირი	ტონა	18,891	58,275	168,451	267,664	352,872	421,755	371,847	275,058	177,560
შემა	მ3	805,423	818,231	697,461	798,881	595,433	447,479	626,243	595,359	445,020

ცხრილი №3. ელექტროენერგიისა და შეშის წარმოებაზე მოქმედი ფაქტორების სტატისტიკური მონაცემები 2007-2015 წწ[1,2,3,4]

ენერგორე-სურსი	ზომის ერთეუ-ლი	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
ელექტრო-ენერგიის იმპორტი	მლნ. კვტ. სთ	433	649	255	222	471	615	484	59	699
ელექტრო-ენერგიის ექსპორტი	მლნ. კვტ. სთ	626	680	749	1,524	931	528	450	604	660
პ.უ.ი.- ენ-ერგეტიკის სექტორში	მლნ. აშშ. დოლარი	362.58	294.86	-2.13	21.88	203.95	179.40	244	189.	65.31
ბუნებრივი გაზის მოხმარება	მლნ. კუბუ-რი მეტრი	1,684	1,463	1,184	1,094	1,750	1,933	1,907	2,19	2,4
შეშის წარმოება	კუბური მეტრი	805,423	818,2	697,4	798,8	595,4	447,479	626,	595,3	445
ელექტრო-ენერგიის მოხმარება	მლნ. კვტ. სთ	8,603	8,930	8,533	10,141	10,383	10,087	10,34	11	11,
ელექტრო-ენერგიის სამომხმარებლო ტარიფი	აშშ. ცენტ/კვტ.სთ დღეს-ჩათვლით	8.12	8.12	8.12	7.97	7.97	7.58	7.58	8.20	8.62
საშუალო წლიური გაცვლითი კურსი	აშშ. დოლარი /ლარი	1.6707	1.4902	1.67	1.7826	1.6860	1.6513	1.6	1.76	
მშპ-ს რეალური ზრდა	პროცენტი	12.58	2.61	-3.74	6.2	7.19	6.4	3.32	4.62	2.8
ბუნებრივი გაზის საყოფაცხოვრებო მოხმარება	მლნ. კუბუ-რი მეტრი	980.8	1078.5	886.8	889.2	1086.4	1189.8		1579	
ურბანიზაციის დონე	%	53%	53%	53%	53%	53%	53%	54%	54%	57%

მითითებულ ცხრილებში შეტანილი სტატისტიკური მონაცემების მიხედვით ჩატარდა კორელაციური ანალიზი. კორელაციის შედეგები მოცემულია ცხრილ №4-ში.

ცხრილი №4. ელექტროენერგიის წარმოებაზე მოქმედი ფაქტორების კორელაციური მატრიცა.

ფაქტორები	ელექტროენერგიის წარმოება	ელექტროენერგიის იმპორტი	ელექტროენერგიის ექსპორტი	პ.უ.ი. ენერგეტიკის სექტორში	ბუნებრივი გაზის მოხმარება	შეშის წარმოება	ელექტროენერგიის მოხმარება	ელექტროენერგიის სამომხმარებლო ტარიფი	საშუალო წლიური გაცვლითი კურსი	მშპ-ის რეალური ზრდა
ელექტრო-ენერგიის წარმოება	1.000									
ელექტრო-ენერგიის იმპორტი	-0.020	1.000								
ელექტრო-ენერგიის ექსპორტი	0.125	-0.356	1.000							
პ.უ.ი. ენერგეტიკის სექტორში	-0.331	0.284	-0.502	1.000						
ბუნებრივი გაზის მოხმარება	0.615	0.304	-0.619	0.233	1.000					
შეშის წარმოება	-0.670	-0.313	0.413	0.250	-0.761	1.000				

ელექტრო-ენერგიის მოხმარება	0.986	0.008	0.016	-0.244	0.706	-0.698	1.000			
ელექტრო-ენერგიის სამომხმარებლო ტარიფი	0.096	0.007	0.099	-0.243	0.240	-0.004	0.139	1.000		
საშუალო წლიური გაცვლითი კურსი	0.662	0.161	0.072	-0.478	0.556	-0.551	0.646	0.652	1.000	
მშპ-ს რეალური ზრდა	0.050	0.079	0.089	0.617	0.176	0.127	0.053	-0.157	-0.075	1.000

ცხრილი №5. შეშის წარმოებაზე მოქმედი ფაქტორების კორელაციური მატრიცა.

ფაქტორები	შეშის წარმოება	ბუნებრივი გაზის საყოფაცხოვრებო მოხმარება	ურბანიზაციის დონე
შეშის წარმოება	1.000		
ბუნებრივი გაზის საყოფაცხოვრებო მოხმარება	-0.690	1.000	
ურბანიზაციის დონე	-0.580	0.134	1.000

გამომდინარე იქიდან, რომ საქართველოში წარმოებული ენერგორესურსებიდან ნავთობის, ბუნებრივი აირისა და ნახშირის წარმოებას უმნიშვნელო წილი უკავია ენერგორესურსების მთლიან წარმოებაში, ამ რესურსების წარმოების საშუალოვადიანი პროგნოზირება ჩატარებულია ავტორეგრესული მეთოდით [18] ცხრილ №2-ში მოცემული მონაცემების საფუძველზე. ამავე მეთოდით არის ჩატარებული ელექტროენერგიისა და შეშის წარმოებაზე მოქმედი ფაქტორების საშუალოვადიანი პროგნოზირება. შედეგები შეტანილია ცხრილში №6 და №7.

ცხრილი №6. ნავთობის, ბუნებრივი აირისა და ნახშირის წარმოების პროგნოზირების ავტორეგრესული მოდელები

ენერგორესურსი	პროგნოზირების ავტორეგრესული მოდელი
ნავთობი	$Y_t = 40432.8223631174 + 0.104320801026442Y_{t-1} + 0.0818645775241203Y_{t-2}$
ბუნებრივი აირი	$Y_t = 2969.59353995853 + 1.11622294697542Y_{t-1} - 0.458041819975042Y_{t-2}$
ნახშირი	$Y_t = 97058.7319735181 + 1.44796250072751Y_{t-1} - 0.85457604756966Y_{t-2}$

ცხრილი №7. ენერგეტიკული რესურსების წარმოებაზე მოქმედი ფაქტორების პროგნოზირების ავტორეგრესული მოდელები

ფაქტორი	პროგნოზირების ავტორეგრესული მოდელი
ელექტროენერგიის იმპორტი 3	$Y_t = 0$
ელექტროენერგიის ექსპორტი	$Y_t = 789.975193574696 + 0.378938100723352Y_{t-1} - 0.392634997479875Y_{t-2}$

პ.უ.ი. ენერგეტიკის სექტორში	$Y_t = 210.495569984267 + 0.169196317323099Y_{t-1} - 0.583783984981085Y_{t-2}$
ბუნებრივი გაზის მოხმარება	$Y_t = 257.527676629157 + 0.686708072223146Y_{t-1} + 0.301623958879744Y_{t-2}$
შეშის წარმოება	გამოყენებულია ხელოვნური ნეირონული ქსელების მეთოდი
ელექტროენერგიის მოხმარება	$Y_t = 2392.06178642462 + 0.545458601047022Y_{t-1} + 0.256232484030564Y_{t-2}$
ელექტროენერგიის სა- მოხმარებლო ტარიფი	$Y_t = 9.73086896037924 + 0.891712900237678Y_{t-1} - 1.11067047743373Y_{t-2}$
საშუალო წლიური გაცვლითი კურსი	$Y_t = 0.804334990959998 + 1.04338625746767Y_{t-1} - 0.460932583109392Y_{t-2}$
მშპ-ს რეალური ზრდა	$Y_t = 6.56345784436357 + 0.0347220665215313Y_{t-1} - 0.580955204861623Y_{t-2}$
ბუნებრივი გაზის საყო- ფაცხოვეტო მოხმარება	$Y_t = -23.7375866716233 + 1.20956961320583Y_{t-1} - 0.122475356147879Y_{t-2}$
ურბანიზაციის დონე	$Y_t = 0.108 + 0.8Y_{t-1} + 0Y_{t-2}$

პროგნოზირების ავტორეგრესულ მოდელებში Y_{t-1} , Y_{t-2} არის საპროგნოზო ფაქტორების წინა 2 წლის მაჩვენებლები.

მე-6 და მე-7 ცხრილებში მოცემული პროგნოზირების ავტორეგრესული მოდელების გამოყენებით გამოთვლილია შესაბამისი ენერგორესურსის წარმოების და ფაქტორების საპროგნოზო მაჩვენებლები. შედეგები შეტანილია შესაბამისად მე-8 და მე-9 ცხრილებში.

ცხრილი №8. ნავთობის, ბუნებრივი აირისა და ნახშირის წარმოების პროგნოზული მაჩვენებლები 2016-2020წწ.

ენერგორესურსი	ზომის ერთეული	2016	2017	2018	2019	2020
ნავთობი	ტონა	49,920	49,738	49,708	49,690	49,686
ბუნებრივი აირი	1000 მ³	10,332	9,854	9,236	8,766	8,524
ნახშირი	ტონა	119,102	117,775	165,811	236,499	297,803

ცხრილი №9. ელექტროენერგიისა და შეშის წარმოებაზე მოქმედი ფაქტორების საპროგნოზო მაჩვენებლები 2016-2020წწ.

ფაქტორი	ზომის ერთეული	2016	2017	2018	2019	2020
ელექტროენერგიის იმპორტი	მლნ. კვტ. სთ	0	0	0	0	0
ელექტროენერგიის ექსპორტი	მლნ. კვტ. სთ	803	835	791	762	768
პ.უ.ი.- ენერგეტიკის სექტორში	მლნ. აშშ. დოლარი	110.66	191.09	178.23	129.09	128.29
ბუნებრივი გაზის მოხმარება	მლნ. კუბური მეტრი	2,568	2,746	2,918	3,089	3,259
შეშის წარმოება	კუბური მეტრი	437,871	425,101	412,706	400,699	389,048
ელექტროენერგიის მოხმარება	მლნ. კვტ. სთ	11,371	11,488	11,572	11,648	11,710
ეკლექტროენერგიის სამომხმარებლო ტარიფი	აშშ. ცენტ/კვტ. სთ დღე-ს ჩათვლით	8.31	7.57	7.24	7.79	8.63

საშუალო წლიური გაცვლითი კურსი	აშშ. დოლარი/ლარი	2.3641	2.2224	2.0334	1.9016	1.8512
მშპ-ს რეალური ზრდა	პროცენტული ცვლილება %	4.0	5.1	4.4	3.8	4.1
ბუნებრივი გაზის საყოფაცხოვეტო მოხმარება	მლნ. კუბური მეტრი	1,826.30	2,003.33	2,199.37	2,414.93	2,651.66
ურბანიზაციის დონე	%	56%	56%	56%	55%	55%

ელექტროენერგიისა და შეშის წარმოებაზე მოქმედი ფაქტორების პროგნოზული მაჩვენებლების დადგენის შემდეგ შესაძლებელი გახდა ელექტროენერგიისა და შეშის წარმოების პროგნოზირება მრავალფაქტორიანი მოდელისა და ხელოვნური ნეირონული ქსელების მეთოდის საშუალებით [14, 19].

მე-8 და მე-9 ცხრილების მონაცემების საფუძველზე PredictorXL პროგრამული პაკეტის მეშვეობით, სხვადასხვა აქტივაციის ფუნქციის, ნეირონების არაფარული და ფარული შრეების სხვადასხვა რაოდენობის მიხედვით ექსპერიმენტით დადგინდა პროგნოზული მაჩვენებლები. კვლევამ აჩვენა, რომ პროგნოზირების ყველაზე მაღალი სიზუსტით განხორციელება შესაძლებელია ნეირონების ფარული შრეების — 1 და აქტივაციის ლოგისტიკურ-სიგმოიდური ფუნქციით. შესაბამისად, საშუალოვადიან პერიოდში ელექტროენერგიისა და შეშის წარმოების პროგნოზირების ხელოვნური ნეირონული ქსელების მოდელი მიიღებს 6 სურათზე მოცემულ სახეს. ელექტროენერგიისა და შეშის წარმოების პროგნოზული პარამეტრები ასახულია ცხრილში №10.

სურათი №6. საშუალოვადიან პერიოდში ელექტროენერგიისა და შეშის წარმოების მაჩვენებლების პროგნოზირების მოდელი.

ცხრილი №10. ელექტროენერგიისა და შეშის წარმოების პროგნოზული პარამეტრები.

ენერგორესურსი	ზომის ერთეული	2016	2017	2018	2019	2020
ელექტროენერგია	მლნ. კვტ. სთ	11,226	11,578	11,948	12,266	12,675
შეშა	მ³	437,871	425,101	412,706	400,699	389,048

ცხრილი №11. ენერგორესურსების წარმოების პროგნოზული პარამეტრები.

ენერგორესურსი	ზომის ერთეული	2016	2017	2018	2019	2020
ელექტროენერგია	მლნ. კვტ. სთ	11,226	11,578	11,948	12,266	12,675
შეშა	მ³	437,871	425,101	412,706	400,699	389,048
ნავთობი	ტონა	49,920	49,738	49,708	49,690	49,686
ბუნებრივი აირი	1000 მ³	10,332	9,854	9,236	8,766	8,524
ნახშირი	ტონა	119,102	117,775	165,811	236,499	297,803

ცხრილი №11 -ში მოცემული პროგნოზული პარ-

ბიზნეს-ინფორმაცია №3. 2016

ამეტრების დაზუსტების მიზნით დეტალურად იქნა შესწავლილი ქვეყანაში ელექტროენერგიის გენერაციის ობიექტების მშენებლობის მიმდინარეობა. აღნიშნულის საფუძველზე დაზუსტდა 2020 წლამდე მათი ექსპლუატაციაში გაშვების გრაფიკი [1], განისაზღვრა ელექტროენერგიის გამომუშავების შესაძლებლობები, ცალკე გაანალიზდა ამჟამად მოქმედი თბოელექტროსადგურების მიერ ელექტროენერგიის გამომუშავების გაზრდის პერსპექტივები. თვალსაჩინოების მიზნით კვლევის შედეგები შეტანილია ცხრილ №12-ში.

ცხრილი №12. საქართველოში 2016-2020 წლებში გენერაციის ახალი ობიექტების ექსპლუატაციაში შესვლის შედეგად დამატებითი ელექტროენერგიის გამომუშავების მაჩვენებლები.

ენერგორე-სურსი	ზომის ერთეუ-ლი	წარ-მოება	2016	2017	2018	2019	2020
ელექტროენერგია	მლნ. კვტ.სთ	ზედა, თეროდირულად შესა-ძლე-ბელი	1,365.5	2,370.5	2,872.0	3,212.1	3,376.3
		ქვედა, რე-ალურად შესა-ძლე-ბელი	1,092.72	1,896.4	2,298.36	2,574.2	2,701.2

ზემოთ მოყვანილი კვლევის შედეგების კომპლექსურად შეფასების, ახალი სანარმოო სიმძლავრეების დადგენილ ვადებში ექსპლუატაციაში შეყვანის, ელექტროენერგიის წარმოებაში თბოსადგურების შესაძლებლობების მაქსიმალურად გამოყენების, მოსახლეობის გაზიფიკაციის შემდგომი გაფართოების ეფექტის გათვალისწინებით, რეგულირებადი ტრენდით ექსპონენციალური გამოთანა-ბრების მეთოდის [19] გათვალისწინებით, დადგინდა ენერგორესურსების წარმოების ზედა და ქვედა ზღვრები. შესაბამისად, საშუალოვადიან პერიოდში საქართველოში ენერგორესურსების წარმოების საშუალოვადიანი პროგნოზი მიიღებს ცხრილ №13-ში მოცემულ სახეს.

ცხრილი №13. საშუალოვადიან პერიოდში საქართველოში ენერგორესურსების წარმოების საშუალოვადიანი პროგნოზი

ენერგორე-სურსი	ზომის ერთეუ-ლი	ზღვარი	2016	2017	2018	2019	2020
ელექტროენერგია	მლნ. კვტ.სთ	ზედა	12,592	13,949	14,820	15,478	16,051
		საბა-ზისო	12,319	13,474	14,246	14,840	15,376
		ქვედა	11,226	11,578	11,948	12,266	12,675
შეშა	მ³	ზედა	459,765	446,356	433,341	420,734	408,500
		საბა-ზისო	437,871	425,101	412,706	400,699	389,048
		ქვედა	415,977	403,846	392,071	380,664	369,596

ნავთობი	ტონა	ზედა	52,416	52,225	52,193	52,175	52,170
		საბა-ზისო	49,920	49,738	49,708	49,690	49,686
		ქვედა	47,424	47,251	47,223	47,206	47,202
ბუნებ-ბრიკი-არი	1000 მ³	ზედა	10,849	10,347	9,698	9,204	8,950
		საბა-ზისო	10,332	9,854	9,236	8,766	8,524
		ქვედა	9,815	9,361	8,774	8,328	8,098
ნახშირი	ტონა	ზედა	125,057	123,664	174,102	248,324	312,693
		საბა-ზისო	119,102	117,775	165,811	236,499	297,803
		ქვედა	113,147	111,886	157,520	224,674	282,913

დასკვნა

ზემოთ მოყვანილი ანალიზიდან და მსოფლიოს სამეცნიერო ანალიტიკური ცენტრების მიერ დამუშავებული პროგნოზირების სცენარებიდან [14] გამომდინარე მსოფლიოში ენერგეტიკის განვითარების მომავალ 15 წელიწადში შეიძლება წარმოდგენილი იყოს შემდეგნაირად:

1. ნავთობის მოხმარება გაიზრდება 10-15%-ით. ამასთან შესაძლებელია, როგორც ზრდა, ისე შემცირება;
2. ბუნებრივი გაზის მოხმარება გაიზრდება 2-2,5 ჯერ და მიაღწევს 5-6 მლრდ.ტ.ნ.ე;
3. ნახშირის მოხმარება შეიძლება გაიზარდოს 15%-ით და მიაღწიოს 4 მლნ ტ.ნ.ე. მატება განპირობებული იქნება განვითარებად ქვეყნებში მოთხოვნის გაზრდით, ამასთან შესაძლებელია მისი შემცირება ეკოლოგიური შეზღუდვების გამკაცრებით;
4. ბიომასის და განახლებადი ენერგორესურსების მოხმარება თითოეულ ამ სახის რესურსზე გაიზრდება 3-4 -ჯერ და მიაღწევს 2,5-3,0 მლრდ.ტ.ნ.ე;
5. ატომური ენერგიის განვითარების პერსპექტივები პირველ რიგში დამოკიდებული იქნება პოლიტიკურ გადაწყვეტილებებზე. ამჟამად ყველაზე რეალისტურად მიჩნეულია ატომური ენერგიის ზრდა 1,5-2,5-ჯერ;
6. სწრაფი ტემპით გაიზრდება მოთხოვნა ელექტროენერგიაზე, განახლებად ენერგორესურსების ბაზაზე ელექტროენერგიის წარმოების წილი მიაღწევს 50%-ს.
7. როგორც შედეგი, მსოფლიოს ენერგეტიკის სტრუქტურა გახდება უფრო დივერსიფიცირებული. ენერგიის საერთო მოხმარების მოცულობა მიაღწევს 19-28 მლრდ.ტ.ნ.ე;
8. კორელაციური ანალიზით დადგენილია საქართველოში ენერგორესურსების წარმოებაზე მოქმედი ფაქტორები პროგნოზირების ავტორეგრესული მოდელების გამოყენებით, განსაზღვრულია საშუალოვადიან პერიოდში ამ ფაქტორების პროგნოზული სიდიდეები;
9. პროგნოზირების მაღალი სიზუსტით განხორციელების მიზნით რეგრესული ანალიზისა და

ხელოვნური ნეირონული ქსელების მეშვეობით შესრულებულა საქართველოში ელექტროენერგიის, შეშის, ნახშირის, ნავთობისა და ბუნებრივი აირის წარმოების საშუალოვადიანი პროგნოზირება, ექსპონენციალური გამოთანაბრების მეთოდით დაზუსტებულია წარმოების პარამეტრები, შესაბამისად, განსაზღვრულია პროგნოზული მაჩვენებლები;

10. პრობლემების გადაწყვეტისადმი კომპლექსური მიდგომით შემუშავებულია საქართველოში საშუალოვადიან პერიოდში ენერგორესურსების წარმოების პროგნოზირების ერთიანი მეთოდика, რომელიც ატარებს უნივერსალურ ხასიათს და მისი გამოყენება შესაძლებელია ნებისმიერ დარგში პროდუქციის წარმოების პროგნოზირებაში. აღნიშნული მეთოდика აპრობირებულია საქართველოს მაგალითზე და, შესაბამისად, განსაზღვრულია საშუალოვადიან პერიოდში ენერგორესურსების წარმოების პროგნოზული პარამეტრები;

11. საქართველოში ენერგეტიკული რესურსების წარმოების პროგნოზული ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ქვეყანაში სწრაფი ტემპით გაიზრდება ელექტროენერგიის წარმოება განახლებადი ენერგორესურსების გამოყენების ხარჯზე. ზრდის ტენდენციებით ხასიათდება ნახშირის წარმოება. მოსახლეობის გაზიფიკაციის ზრდის კვალდაკვალ შემცირდება შეშის მოხმარება. პრაქტიკულად არ გაიზრდება ბუნებრივი გაზის და ნავთობის წარმოება.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. საქართველოს ენერგეტიკის სამინისტრო <http://www.energy.gov.ge/>
2. ელექტროენერგეტიკული სისტემის კომერციული ოპერატორი. ენერგობალანსი 2006-2015. http://esco.ge/index.php?article_id=8&clang=0
3. საქართველოს სტატისტიკის ეროვნული სამსახური. <http://www.geostat.ge/>
4. საქართველოს ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისია, წლიური ანგარიშები. <http://gnerc.org/ge/public-information/reports/tsliuri-angarishi>
5. დ.ჯაფარიძე, ი.ბიჭიაშვილი, ნ. გიორგიშვილი. „საქართველოში საშუალოვადიან პერიოდში ენერგორესურსების წარმოების ოპტიმალური დაგეგმვა“. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომების კრებული. თბილისი, №3. 2016 წ.
6. А. Захаров, М. Овакимян. «Тенденции развития мировой энергетики». Журнал «Экономика ТЕК». №1(32), 2015.
7. В. Кондратьев. « Тенденции развития мировой энергетики» (Ч.1). Электронный журнал «Перспективы». 2013.
8. В. Кондратьев. « Тенденции развития мировой энергетики» (Ч.2). Электронный журнал «Перспективы». №3(7) 2016.
9. «Тренды и сценарии развития мировой

энергетики в первой половине XXI века. «Институт энергетической стратегии». 2011г.

10. Р. И. Хансаяров «Современные тенденции развития мировой энергетики». Журнал «Экономические науки». №12. 2011г.

11. «Прогноз мировой энергетики» (Ч.1) «МЭА» 2015г.

12. К. Рюль «Прогноз развития мировой энергетики до 2030 года» Электронный журнал «Экономический портал» 2013г.

13. А. Никитина «Прогноз развития мировой энергетики ВП 2016» (Ч.1). Национальный отраслевой журнал «Нефтегазовая вертикаль» 2016г.

14. Н. И. Андриянов, С.В. Генералова, С.П.Юякевичюс «Анализ прогнозов развития мировой энергетики». Журнал «Инноватика и экспертиза». 2(11) 2013г.

15. US Energy Information Administration / International Energy Statistics

<http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=3&pid=26&aid=1&cid=GG.&syid=1980&eyid=2012&unit=BCF>

16. Artificial Neural Networks: An Introduction to ANN Theory and Practice edited by P.J. Braspenning, F. Thuijsman, A.J.M.M. Weijters .

17. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года

18. International Energy Outlook 2013. DOE/EIA-0484(2013)

[http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2013\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2013).pdf)

19. Jarkko Isotalo „Basics of Statistics“ 2008. □. □. 79.

20. W. Penny and L. Harrison. **Multivariate autoregressive models**. In K. Friston, J. Ashburner, S. Kiebel, T. Nichols, and W. Penny, editors, *Statistical Parametric Mapping: The analysis of functional brain images*. Elsevier, London, 2006.

21. Mohamad Hassoun, *Fundamentals of Artificial Neural Networks* (MIT Press) 1995.

22. International Energy Agency.